Schriftenreihe aus dem
Institut für Rohrleitungsbau
Oldenburg

Band 49

ROHRLEITUNGEN UND KABEL – KRITISCHE INFRASTRUKTUR UND VERSORGUNGSSICHERHEIT

Tagungsband zum 35. Oldenburger Rohrleitungsforum

Vulkan Verlag



Wir klären das.

Ob Planungen, Bau und Betrieb von Abwasseranlagen, Inspektion und Sanierung von Kanalnetzen, Entsorgung von Klärschlamm oder energetische Verwertung von Reststoffen: hanseWasser ist das Abwasserunternehmen für die Region. Durch unsere jahrzehntelange Erfahrung können wir Kommunen, Industrie und Gewerbebetrieben maßgeschneiderte Konzepte anbieten, die sicher, umweltgerecht und wirtschaftlich sind.

Wir klären das · Telefon 0421 988-1111 · hanseWasser.de

35. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023

35. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023

„Rohrleitungen und Kabel –
Kritische Infrastruktur und Versorgungssicherheit“

Vulkan Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über **www.dnb.de** abrufbar.

35. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023
Tagungsband

978-3-8027-3519-6 (Print)
978-3-8027-3520-2 (eBook)

© 2023 Vulkan-Verlag GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen, Deutschland
Telefon: 0201 82002-0, Internet: www.vulkan-verlag.de
Kontakt: Nico Hülsdau, n.huelsdau@vulkan-verlag.de

Druck: mediaprint solutions GmbH, Paderborn

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Herausgeber, Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Liebe Freunde des Oldenburger Rohrleitungsforums,



nach zwei vergeblichen Anläufen in den Jahren 2021 und 2022 soll nun endlich das 35. Oldenburger Rohrleitungsforum stattfinden. Selten hat das Wörtchen „endlich“ so gut gepasst. Nach dann etwa drei Jahren, in denen wegen der Corona-Pandemie keine oder nur wenige Treffen haben stattfinden können, werden sich im März 2023 die Protagonisten der Rohrleitungs- und Kabelleitungsbaubranche wieder austauschen können. Da wir wegen der dann immer noch möglichen Auflagen und Einschränkungen zur Versammlungsfreiheit in Zeiten von hoffentlich an Bedeutung verlierenden Coronaviren vorsichtshalber auf etwas mehr Abstand setzen, haben wir uns entschieden, mit dem Forum umzuziehen. In den Weser-Ems-Hallen und auf dem Freigelände werden wir mehr Platz als in den engen Räumen der Hochschule zur Verfügung haben. Zwar geht ganz sicher etwas das Flair der alten Fachhochschule verloren, jedoch gewinnen wir Sicherheit und leisten dem Gesundheitsschutz Vorschub.

Das Ihnen in diesem Band im Wesentlichen vorliegende Vortragsprogramm zum 35. Oldenburger Rohrleitungsforum verdient Aufmerksamkeit. Unter dem gewählten Leitthema

„Rohrleitungen und Kabel – Kritische Infrastruktur und Versorgungssicherheit“

subsummieren sich zahlreiche Themenblöcke, die wiederum mit drei, bisweilen vier Referaten bestückt sind. Und gerade in der Vorbereitung der Vortragsthemen haben das iro so zahlreiche und interessante Vortragsvorschläge erreicht wie selten zuvor. Wir haben uns daher entschlossen, ein weiteres Angebot für Sie zu öffnen, indem wir eine zusätzliche Vortragsreihe in das Programm aufgenommen haben. Noch niemals zuvor wurden Ihnen derart viele und damit auch breit gestreute Fachreferate angeboten.

Selbstverständlich bekommt der Wasserstoff breiten Raum, auch Flüssiggas (LNG) und der Transport von Kohlendioxid werden thematisiert. Weiterhin spielen Wasserversorgungs- und -entsorgungsthemen eine große Rolle. Der Kabelleitungsbau wird in mehreren Referaten bespielt, dabei ist auch der Kabelleitungstiefbau Thema. Übergeordnet werden sich besondere Fragen zur Digitalisierung der Netzinfrastruktur diskutieren lassen. Weiterhin werden natürlich zahlreiche Spezialthemen der unterirdischen Infrastruktur Raum finden – so wie Sie es (schon) seit mehr als dreißig Jahren gewohnt sind.

Und erneut gilt es dem Vulkan-Verlag für die Kooperation bei der Erstellung und Gestaltung dieses hochwertigen Tagungsbandes zu danken.

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Wegener

Qualität ist viel wert



Stadt: **Bremen**
Am Herzogenkamp
Inbetriebnahme des Kanals: 1930

Bild: hanseWasser Bremen GmbH

Gütesicherung Kanalbau RAL-GZ 961

www.kanalbau.com

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 5

Eröffnung des 35. Oldenburger Rohrleitungsforums 21

Die Zukunft der Erdgasverteilnetze – das große Thema in der Erdgaswirtschaft . 22
Dr. Dipl.-Volkswirt Gerrit Volk

I Rohrleitungen und Kabel – Kritische Infrastruktur und Versorgungssicherheit 29

A Wasser in Ver- und Entsorgung – Teil der kritischen Infrastruktur 29

1 Operatives Asset-Management: Material im Fokus 29

Inspektion und Bewertung des Abnutzungsgrades sowie der Lebensdauer des Weserdükers in Bremen *
Dipl.-Ing. Andreas Beuntner

Emissionsuntersuchungen zum Mikroabrieb von Kunststoffrohren 30
Dipl.-Ing. (FH) Mike Böge, Pascal Hinrichs B.Eng.

Mineralische Sanierung von Mauerwerkkanälen mit dem Düsseldorfer Verfahren 37
Dipl.-Ing. Roland Baum

2 Sicherung der Infrastruktur in der Großstadt Hamburg 45

Koordinierte Infrastruktur-Großprojekte in Hamburg – Grundinstandsetzung der Elbchaussee 46
Roland Stutzki

Hydraulische Bewertung von Entwässerungssystemen im Kontext eines kommunalen Starkregenrisikomanagements – Neufassung des DWA-Arbeitsblattes A 118 59
Dipl.-Ing. Klaus Krieger

* Der Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor.

Notfallvorsorge Stromausfall bei HAMBURG WASSER – RAUTEE# Resiliente, autarke und umweltfreundliche Trinkwassergrundversorgung durch den Einsatz Erneuerbarer Energien in Hamburg 65
Katarina Seiffert, Jan Gerrit Hobe

3 Wasserversorgung in Krisenzeiten 69

Resilienz der Wasserversorgung – Maßnahmen der Sicherstellung der Wasserversorgung in Notsituationen 70
Dipl.-Ing. Axel Frerichs

Rechtlicher Rahmen der Wasserversorgung in Notsituationen 78
Rechtsanwältin Beate Kramer, Rechtsanwältin Dr. Anna Alexandra Seuser

Sichere Wasserversorgung durch integriertes Risikomanagement – Zusammenspiel von Managementsystemen in der Wasserversorgung 85
Dr. Lisa Broß, Christoph Euringer, Chris Hetkämper, Prof. Dr. Alexander Fekete

4 Kritische Infrastrukturen – Belastungen und Katastrophen 89

Kritische Infrastruktur – Lehren aus der Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal 90
Dipl.-Ing. Jens Heckenbach

Von der Katastrophe zur nachhaltigen Zukunft 97
Dipl.-Ing. Theo Waerder

Schutz kritischer Infrastruktur – Kritische Infrastruktur – Kombinetzbetreiber für Strom, Gas, Fernwärme/Fernkälte und Telekommunikation 103
Ing. Walter Dosek

5 Energiewende als Herausforderung der Wasserversorgung – was gerne vergessen wird! 113

Wasser für die Wasserstoffwirtschaft in der Nordwestregion Deutschlands – Herausforderungen und Potentiale 114
Dr. Urte Brand-Daniels, Julian Bartels M.Sc.

Herausforderungen der Energiewende für die Wasserversorgung 120
Dipl.-Ing. Kerstin Krömer, Dipl.-Geogr. Julia Oberdörffer, Lars-Ole Steffen M.Eng.

Reines Wasser für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff mit Hilfe von innovativen Technologien 133
Dipl.-Ing. Michael Kuhn

6 Barfuß im Regen – wohin mit dem Wasser? 137

CATCH – Bilanz eines europäischen Kooperationsprojekts 138
Alp.-Prof. Dr. Helge Bormann, Dipl.-Ing. Mike Böge

Vier Jahre Überflutungsgefahrenkarte in Bremen: Erwartungen – Erfahrungen – Ausblick 150
Geogr. Jens Wurthmann M.A.

Future City Flow – Wasserströme in der Stadt im Griff – Wertbasiertes, online Entscheidungshilfesystem für optimierte Echtzeitprognose und Steuerung von Kanalnetzen 161
Dipl.-Ing. Christian Pohl, Tekn. Lic. Douglas Lumley, Dennis Wanninger M.Sc., Åsa Magnusson M.Sc., David I'Ons M.Sc., DI Katharina Steinmayr

Innovative Stauraumkanäle – Option für ein modernes Wassermanagement 173
Dipl.-Ing. (BA) Marc Hirschmann

7 Neue Regeln für die Baupraxis Wasserleitungen und Kabelleitungstiefbau 177

Umsetzung der neuen Hygieneanforderungen aus der Trinkwasserverordnung im Leitungsbau (DVGW W 291, DVGW W 263) 178
Dipl.-Ing. Manfred Hochbein MBA

Neue Anforderungen bei der Durchführung von Druckprüfungen an Wasserleitungen – DVGW W 400-2 185
René Stangl

GF Piping Systems

+GF+

Wasser im Gleichgewicht

NeoFlow Druckregelventil

Ermöglicht ein intelligent ausgewogenes, präzises sowie optimiertes Druckmanagement innerhalb Ihres Wasserversorgungsnetzes.



Georg Fischer GmbH | 73095 Albershausen | Telefon 07161 / 302-0 | www.gfps.com/de

Lay_VS_anz_148x105_IR022 (02/23)

Die Berücksichtigung des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe in der Praxis – Was ist bei Druckprüfung, Rohreinzug und Betrieb zu beachten? 187
Dr.-Ing. Thorsten Späth

B Kabelgebundener Energietransport 195

1 Moderne Verfüllbaustoffe für diverse Einsatzzwecke 195

Systemlösung für erdverlegte Kabel – Hohe Wärmeableitfähigkeit und Grabeschutz 196
Vera Vorholz B.Eng., Dr.-Ing. Jan Schröder

Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen . . 204
Eike Sophie Winkler M.Sc.

Minimal-invasive Hohlraumauffüllung bei Ausspülungen im Baugrund – Minimal-invasive Betonbodenanhebung, Gründungssanierung und Baugrundverstärkung 210
Dipl.-Ing. (FH) Jens Gnauck

2 Innovative Kabelverlegetechnik 219

Randbedingungen, Voraussetzungen und Einsatzgebiete für alternative Verlegung – Errichten von 380-kV-Zwischenverkabelungsabschnitten 220
Mariusz Frankowski

Entwicklung, Anwendung und Umsetzung von alternativen Verlegemethoden im Projekteinsatz – Ein Kabel- und Rohrschlitten für das Projekt Wahle–Mecklar, Abschnitt C 228
Dr. Frank Krögel, Philipp Oliv M.Eng.

Vergleich der Verlegeparameter in der herkömmlichen, offenen Bauweise mit der alternativen Verlegung 239
Dr.-Ing. Norbert Markwardt

3 Kabelschutzrohre in Theorie und Praxis 247

Neues Verfahren zur Verlegung von PP-Leitungen für Hoch- und Höchstspannungen – PP-Leitungen im Vergleich zu PE-Leitungen 248
Dipl.-Ing. Thomas Lindner

Die Bemessung von Kabelschutzrohren für Einbaubedingungen im Grenzbereich – Auswertung einer Sandkastenprüfung 261
Dr. Ricky Selle

Praxiserfahrungen aus Verlegung von Kabelleerrohren für 30 kV und 110 kV im Großraum Frankfurt am Main 265
Dipl.-Ing. Amel Kurtović

C Wasserstoff und andere Gase – Ein Beitrag zur Versorgungssicherheit 271

1 Leitungssysteme für Wasserstoff anstelle von Erdgas 271

Gasverteilnetze – Technische Voraussetzungen bei einer Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff 272
Dipl.-Ing. Werner Weßing

Grenzüberschreitender Wasserstoff-Backbone in Norddeutschland – Technische Anforderungen an die Umstellung von bestehenden Erdgasleitungen 283
Dr.-Ing. Hans-Jürgen de Buhr, Lara Amelie Hauck M.Sc.

H_2HoWi: Erste Umstellung einer Erdgasleitung der öffentlichen Versorgung auf 100 % Wasserstoff – Neues Gas im bewährten Netz 292
Dipl.-Ing. Carsten Stabenau



2 Wasserstoff anstelle von Methan: Der Blick ins Detail 297

Ergebnisse des DVGW-Projektes SyWeSt H2: „Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit“ 298
Dr.-Ing. Ulrich Marewski

Umstellung einer Erdgasleitung auf Wasserstoff inkl. Molchung *
Dennis Hoeveler B.Eng./IWE

Bewertung der Wasserstofftauglichkeit durch bruchmechanische Berechnung – Das neue DVGW-Merkblatt G 464 311
Dipl.-Ing. Christian Engel

3 Leitungen und Komponenten im Wasserstoffnetz 317

Umstellung bestehender Gastransportleitungen auf Wasserstoff – Alles ganz einfach?! 318
Dr.-Ing. Gundula Stadie, Dr. Christian Mayer, Leonard Commandeur

Welche Rolle können Kunststoffrohre im Wasserstofftransport spielen? 323
Dr.-Ing. Thorsten Späth

Flachdichtung, was gibt es bei Wasserstoff zu beachten? *
Gerald Klein

4 Carbon Capture and Storage – gibt es eine neue Chance? 329

Rechtliche Anforderungen an CO_2-Rohrleitungen – CCS und CCU vor neuen Chancen? 330
Dr. jur. Michael Neupert

Herausforderungen beim CO_2-Transport in Pipelines 337
Dr. Christian Mayer, Henning Schmelzeisen, Dr.-Ing. Gundula Stadie

Chancen und Risiken der CCS-Technologie für Deutschland *
Dr. Wilhelm Kuckshinrichs

5 LNG – Flüssigerdgas erobert die Versorgungswirtschaft 343

Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit Gas in der aktuellen politischen Situation *
Björn Munko

Versorgungssicherheit für Deutschland – LNG-Terminal Wilhelmshaven 344
Dr.-Ing. Christian Janzen

Wilhelmshavener Anbindungsleitung (WAL) – ein Rekordprojekt 350
Dipl.-Ing. Bård Strand

* Der Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor.

II Aktuelles vom Rohrleitungsmarkt 361

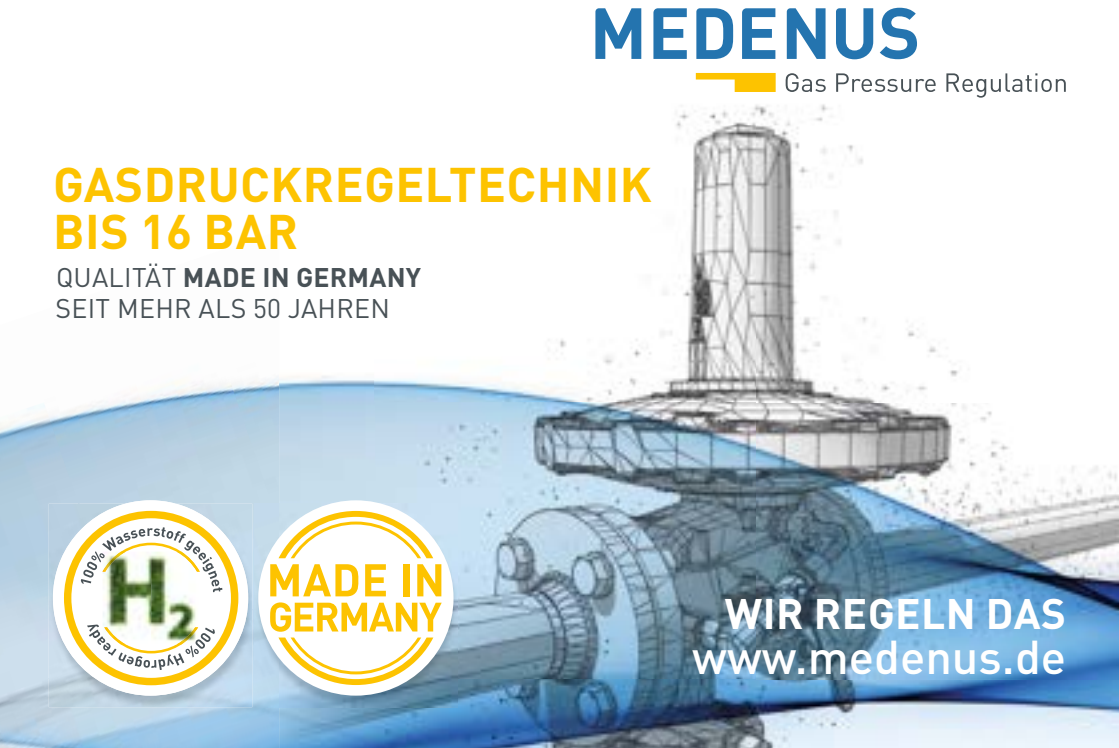
A Rohrmaterialien und Zubehör 361

1 Stahlrohre für Menschen, Industrie und Umwelt 361

Wasserstoffleitungen – Anforderungen und relevante Prüfungen für Stahlrohre . . 362
Dr.-Ing. Susanne Höhler, Dr. Elke Wanzenberg, Dr.-Ing. Holger Brauer, Dr. Christoph Kalwa, Elke Muthmann, Daniel Ratke, Dr. Alexander Völling

Stahlrohre für die Energiewende – already ready 375
Dr.-Ing. Holger Brauer, Dr.-Ing. Georg Golisch

Komplette Armaturengruppe aus Werksfertigung 391
Boris Schütte



2 Gussrohrsysteme 393

Härtung der kritischen Infrastruktur: Doppelung der Trinkwasser-Fernverbindungsleitung Aggerverband – Kreis Altenkirchen – Planung und Bau von 7 km DN 600, GGG 394
Dipl.-Ing. Hubertus Hanschke

Regionales Verbundsystem Westeifel (RVWE) sowie Nutzung von Synergien durch Mitverlegung – Sichere Trinkwasserversorgung durch Verbundnetzlösung und spartenübergreifende Weiterentwicklung durch Mitverlegung weiterer Medien 405
Dr.-Ing. Helfried Welsch

Acht gute Gründe für duktile Guss-Rohrsysteme 410
Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt

3 Steinzeugrohre 417

Homogenbereiche für Böden und Fels – Erweiterung der GSTT-Information 28-2 „Arbeitshilfe Baugrunderkundung und Baugrundbeschreibung für Rohrvortriebe“ 418
Dr.-Ing. Hans-Peter Uffmann

Neubau des Schmutzwasserhauptsammlers in Quedlinburg – Großprojekt mit Steinzeugrohren DN 800 425
Dipl.-Ing. Jens-Uwe Apitzsch

Vergabe von Bauleistung unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien, Energiepreisen und Verfügbarkeit – Wo stehen wir heute, auch angesichts der aktuellen Ereignisse 431
Marc-Georg Pater M.Sc.

4 Kunststoffrohrsysteme 435

Schutzrohrsysteme für erdverlegte Hoch- und Höchstspannungskabel – Anforderungen, Eigenschaften und Erfahrungsberichte 436
Sven Lindner

Nachhaltige Lösungen mit Kunststoffrohrleitungen 444
Bernd Schuster

Kunststoffrohre für eine bessere Zukunft – Nachhaltige Ver- und Entsorgungssysteme im Siedlungsbau 452
Dipl.-Ing. Oliver Denz

5 Betonkanalsysteme – CO_2-arm, nachhaltig und innovativ 459

BIM im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau – Erfahrungen einer Pilotbaumaßnahme 460
Lukas Schrode B.Eng.

Nachhaltige Kanalsysteme – Lebenszyklusbetrachtung von Betonbauteilen – Die Dokumentation als Erfolgsfaktor für eine lebenszyklusübergreifende Betrachtung und die Nachhaltigkeit von Kanalnetzen 466
Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Mario Bodenbender M.Sc.

Rahmenbauteile: Modulares Bauen mit innovativen Ideen 477
Dipl.-Ing. Paul-Martin Großkopff

B Grabenloses Bauen 483

1 Grabenlose Verlegetechniken I 483

Leitungen aus Polyamid mit 16 bar Betriebsdruck: Verlegung mittels Horizontal Directional Drilling 484
Tobias Männel B.Eng.

Drilling long under Lake Sakakawea 489
Raelison Noaves M.Eng. B.Sc.C.E., Dipl.-Ing. Michael Lubberger

Separationstechnik im Spezialtiefbau – worauf kommt es bei Zentrifugen wirklich an? 497
Benedikt Haider B.Eng. (FH)

2 Grabenlose Verlegetechniken II 507

Umverlegung einer 34"-Mineralölpipeline – Vom Umgang mit erwarteten und unerwarteten Herausforderungen 508
Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

DCA-Arbeitskreis Umhüllungen 523
Dipl.-Ing. (FH) Marc Schnau

HDD Engineering challenges crossing primary sea defence – Wijk aan Zee, Netherlands 528
Dick Vergoes Houwens, Ing. Mark de Bruijn

C Digitalisierung und Regelwerke 541

1 Digitalisierung und BIM im Leitungsbau 541

BIM im Leitungsbau: Aktuelle Aktivitäten in der Verbände- und Normenlandschaft 542
Dipl.-Ing. (FH) Mike Böge

BIM-Anwendung im Leitungsbau – Adaptation der BIM-Methodik (BIM) für die Verlegung einer Wasserleitung – Erfahrungsbericht eines Leitungsbauunternehmens 547
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Heidel, Anna Wörle

BIM für die Kanalerneuerung: Musterprojekt „Am Lachgraben“ – Herangehensweise und erste Erfahrungen eines Netzbetreibers *
Dipl.-Ing. (FH) Simone Püsch, Dipl.-Ing. (FH) Michael Voß

2 Digitale Instrumente in praktischer Anwendung 555

SecureSafety: Integrierte Risikobewertung für kritische Infrastruktur zur Unterstützung der Versorgungssicherheit 556
Marcus Geiger M.Sc.

Der digitale Monteur – Was braucht es für die digitale Arbeit im Graben? – Das Smartphone als Arbeitsmittel zur Baudokumentation 565
Dennis Bienkowski M.A., Maximilian Erdmann

Digitale Instandhaltung und Wartung im Bereich Wasserversorgung *
Dipl.-Geol. Thomas Trettel

3 GIS für Infrastruktur und Versorgung 573

Utility GIS als Service aus der Cloud 574
Dr. Martin Scheu

Geodatenanalyse zur Abschätzung der Wärmenetzeignung im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung 581
Marvin Schnabel M.Sc., Prof. Dr. Sascha Koch

GIS gestützte Optimierung von Planungs- und Bauprozessen durch die Nutzung von Straßenbefahrungsdaten als IT-Service 591
Aleksej Bojarkin

4 Daten erfassen und auswerten 597

3D-Laserscanningverfahren in nicht begehbaren Kanälen – Referenzmessungen für die Unterwelt in Kombination mit Oberflächenscans durch autonom fliegende Laserscanner 598
Dipl.-Ing. Lüdeke Graßhoff

Inspektion von Rohrleitungen mit Drohnen – Praxisbeispiele für die Inspektion von Großkanälen 613
Dipl.-Ing. Dipl.-Umweltwiss. Andreas Obermayer, Simon Lukaschewsky M.Sc.

Nachhaltige Sicherung der Kanalinfrastruktur mit Methoden der Künstlichen Intelligenz 624
Dipl.-Ing. Arno Jugel

* Der Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor.

D Planen, Bauen, Betreiben und Sanieren von Rohrleitungssystemen 631

1 Intelligent planen, bauen und betreiben – Umwelt im Fokus 631

Einsatz nachhaltiger Produkte im Tief- und Rohrleitungsbau – Was heißt hier EPD und LCA? 632
Prof. Dr.-Ing. Frank Heimbecher, Raoul Mancke M.Sc.

Auf dem Weg zum kleineren CO_2-Fußabdruck: Neue Techniken im Leitungsbau . 636
Dipl.-Ing. (Univ.) Hans German Fall

Infrastrukturen nachhaltig erhalten – Erfahrungen mit einem flächendeckenden Sanierungskonzept *
Dr.-Ing. Martin Wolf

2 Der ewige Konflikt: Rohrleitungen und Wurzelzone 649

Das Prinzip „Schwammstadt für Straßenbäume – Regenwasser in nachhaltiger Nutzung“ 650
Frank Horstmann

Botanische und technische Faktoren in der Koexistenz Baum/Rohr – Kritische Konstellationen im Fokus 657
Michael Honds

Aktiver und passiver Schutz bei Wurzelwachstum in Leitungstrasse und Rohrsystem 668
Jürgen Herbst

3 Gashochdruckleitungen – außergewöhnliche Bauprojekte 675

Schutz eines Dükers in einer Schifffahrtsstraße durch Abdeckung mit Betonmatten 676
Dr.-Ing. habil. Steffen Päßler

Einsatz von Flüssigboden im Leitungsbau am Beispiel ZEELINK 679
Dipl.-Ing. Agr. (FH) Franz-Josef Kißing, Dipl.-Wirt.-Ing. André Graßmann

Bau einer Gashochdruckleitung quer durch eine Großstadt 689
Stanislav Daschevski M.Eng.

4 Rohrsanierung: Neuerungen für Hauptkanäle, Grundstücksentwässerungsanlagen, Fernwärmeleitungen 699

Grabenlose Renovierung und Erneuerung von stark beschädigten Kanälen 700
Dipl.-Wirt.-Ing. Benedikt Stentrup

* Der Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor.

Grundlagen zur Qualität bei Renovierung und Reparatur von Entwässerungsleitungen und Schächten 708
Michelle Peeck B.Sc.

Sanierung von Fernwärmenetzen mit Schlauchlinern – Testbaustelle mit dem AGFW, Beispiele aus der Praxis, Erkenntnisse, Möglichkeiten und Einsatzgrenzen 715
Dipl.-Ing. (FH) Lars Quernheim, Max Gottschalk

5 Neues aus dem Rohrleitungsbau 723

Seismische Einwirkungen auf segmentierte erdverlegte Rohrleitungen 724
Dr. Timo Schmitt, Dipl.-Ing. Roland Satlow, Ing. Christoph Melcher

Herstellen neuer Abgänge unter Druck und Temperatur – ohne Versorgungsunterbrechung 736
Tobias Bunse

Rissprüfmolchung von Gastransportleitungen mit der EMAT Technologie *
Dipl.-Ing. Michael Tewes

E Korrosionsschutz, Fernwärme, Schweißtechnik 745

1 Neue Entwicklungen auf dem Fachgebiet des KKS 745

Bessere Integration des Kathodischen Korrosionsschutzes innerhalb von Stahlrohrleitungsbauprojekten 746
Dipl.-Ing. (FH) Dirk Krümmel

Einrichtung und Betrieb des KKS an Wasserleitungen aus Stahl 755
Dipl.-Ing. Anton Wadenstorfer, Stefan Roth B.Eng.

Praktische Erfahrungen mit Bewertungskriterien für den kathodischen Korrosionsschutz und für die Integritätsbewertung von Gashochdruckleitungen . 763
Dr. rer. nat. Ashokanand Vimalanandan

2 Fernwärme 775

Innovativer Einsatz der Wärmepumpe in Wärmenetzen 4.0 – AiF-Foschungsthemen am FFI 776
Dr.-Ing. Fang Yang

Aramidverstärkte PE-Xa-Fernwärmeleitungen: Die Alternative zu KMR 787
Markus Euring M.Eng.

* Der Beitrag lag bei Redaktionsschluss nicht vor.



AUGEL®
Planen·Bauen·Sichern

- Rohrbau
- Sanierung, Wartung
- Saugbaggerarbeiten
- Rohrschnitt und -fräsen
- Kathodischer Korrosionsschutz
- Polyurethanbeschichtung
- Umhüllungsarbeiten
- Oberflächenenthüllung

Hoch- Tief- Mineralöl- Industriebau

Tel 0 26 55 / 95 00-0
www.augel.de

Augel GmbH
Windkaulweg 1
D-56745 Weibern

Kunststoffmantelrohr – das bewährte System für Nah- und Fernwärme – Stand der Technik und Entwicklungsperspektiven 792
Martin Beck

3 Schweißtechnik 797

Schäden an mit Trinkwasser gefüllten Rohren 798
Dipl.-Ing. Elke Epperlein

Projektbericht Laserstrahlschweißen an einer Trinkwasserpipeline 802
Prof. Dr.-Ing. Steffen Keitel, Hendrik Neef, Jörg Brozek, Amadeus Aurin B.Eng./IWE

FTW-Trinkwasserbehälter, in modularer Bauweise für Hochbehälter bis 800 m^3 – Schweißen von gewickelten Großrohren 809
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Haese

Autorenverzeichnis 818

Moderatorenverzeichnis 828

Inserentenverzeichnis 833

Eröffnung des 35. Oldenburger Rohrleitungsforums

Die Zukunft der Erdgasverteilnetze – das große Thema in der Erdgaswirtschaft

Von Gerrit Volk

1 Problemstellung

Kein Jahr der vergangenen Jahrzehnte hat zu solch dramatischen Veränderungen in der Erdgaswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland geführt, beziehungsweise wird noch dazu führen, wie das Jahr 2022. Der ab dem 24. Februar 2022 von Präsident Putin initiierte Angriffskrieg von Russland auf die Ukraine, die daraus resultierenden Sanktionen und die hierauf folgende Nicht-Erfüllung von Lieferverträgen hat zu einer sukzessiven Reduzierung aller russischen Erdgaslieferungen mittels Pipelines nach Europa und damit auch Deutschland bis zum Herbst des Jahres geführt. Die alternative Beschaffung des für den aktuellen Verbrauch und insbesondere die Befüllung aller Untergrundspeicher bis zum Beginn der Heizperiode benötigten Erdgases insbesondere mittels Liquefied Natural Gas (LNG) hat zu sehr stark angestiegenen Erdgaspreisen geführt. Im Sommer 2022 wurde noch nie in Deutschland gesehene Erdgaspreise erreicht.

Diese Marktentwicklung ereignete sich vor der schon länger geäußerten Forderung bestimmter politischer Kreise, den endgültigen Ausstieg aus der Kernkraftwirtschaft zum 31. Dezember 2022 abschließend umzusetzen bei gleichzeitig möglichst schnellem Ausstieg aus der Nutzung von fossilen Energie- und Wärmequellen. Bei wörtlicher Umsetzung dieser Forderung ist damit auch die Nutzung von Erdgas zu energetischen Zwecken und Wärmeerzeugung ausgeschlossen. Deutschland verfügt über ein nahezu flächendeckendes Erdgas-Fernleitungs- und Verteilernetz. Hinzu kommen 50 Untergrundspeicher (UGS)[1] mit einem Arbeitsgasvolumen von circa 25,7 Mrd. m³. Damit verfügt Deutschland über das größte nutzbare Gas-Speichervolumen in West-Europa und nach der Ukraine über das zweitgrößte Gas-Speichervolumen in Europa. Was geschieht mit dieser hervorragend gewarteten Infrastruktur (dazu später), wenn Erdgas zumindest in Deutschland aus der Verfolgung klimapolitischer Ziele heraus keine Verwendung mehr findet? Dieser Beitrag[2] stellt den Versuch einer Beantwortung dieser Frage dar.

2 Die Gas-Infrastruktur

2.1 Die Gasnetze

Eine Gasversorgung zu Beleuchtungs- und Heizzwecken sowie zur industriellen Nutzung besteht in Deutschland seit über 150 Jahren. Am Anfang der Gasproduktion und Gasnutzung entstanden lokale Inselnetze um die Produktionsstätten herum. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die Inselnetze miteinander verbunden und es bildeten sich Ferngasgesellschaften. Die

[1] Vgl. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen: Untertage Gasspeicherung in Deutschland, Erdöl Erdgas Kohle (EEK) Heft 11/2022 S. 25 ff. (27).
[2] Der Beitrag wurde am 28.11.2022 abgeschlossen.

ältesten deutschen Ferngasgesellschaften sind bzw. waren die Thyssengas GmbH[3] und die mittlerweile untergegangene, zerschlagene Ruhrgas AG.[4] Demzufolge splittet sich die deutsche Gasnetzstruktur in zwei Ebenen auf: Die 16 Ferngasgesellschaften stellen die „Autobahnen" der Netzlandschaft dar. Sie sind die den circa 725 Gasverteilernetzgesellschaften vorgelagerte Transportstufe. Die Ferngasgesellschaften betreiben ihr System ausschließlich im Hochdruckbereich (1 bar bis 100 bar), während die Verteilernetzgesellschaften überwiegend mit Verhältnissen im Nieder- und Mitteldruck tätig sind. Von dem insgesamt circa 550.000 km Gasrohrnetzen entfallen circa 34.000 km auf die Ferngasgesellschaften; der Rest und damit der erhebliche Großteil des Gasnetzes ist im Besitz der Verteilernetzbetreiber. Die Verteilernetze betreffen sowohl „klassische" Netze in Städten und Gemeinden, als auch Regionalgesellschaften, die das Gas von den Ferngasgesellschaften „in die Fläche" an die lokalen Netze verteilen. Während im Strombereich die Übertragungsnetzbetreiber, die im Höchstspannungsbereich tätig sind, eine reine Transportfunktion übernehmen, sind bei den Ferngasgesellschaften auch große industrielle Erdgasnutzer wie z. B. chemische Werke, Automobilfabriken oder metallproduzierende Industrieunternehmen direkt angeschlossen.

2.2 Die Untergrundspeicher

In Deutschland werden 50 UGS betrieben. Während die Kavernenspeicher im Wesentlichen im Nordwesten Deutschlands liegen, befinden sich die großen Porenspeicher im Süden. Kavernen sind Hohlräume in Salzstöcken, die sich gut für die Einlagerung von gasförmigen Stoffen wie z. B. Erdgas oder flüssigen Stoffen wie. z. B. Mineralöl eigen. Porenspeicher sind poröse, gasdichte Sandformationen, die zur Speicherung von Erdgas benutzt werden. Die Speicherung von Gas ist ein integraler Bestandteil des Gashandels.

Während der industrielle Gasverbrauch stark konjunkturabhängig ist, wird der private Verbrauch im Wesentlichen vom Wärmebedarf beeinflusst. Somit sorgen die Gasspeicher für den Strukturausgleich zwischen verbrauchsstärkeren und –schwächeren Perioden, da die Importe i. d. R. verbrauchsunabhängig erfolgen. Die Ferngasnetzbetreiber, an die die UGS angeschlossen sind, haben die bidirektional eingesetzten Anschlussleitungen bedarfsgerecht zu steuern. Die Einspeicherleistung erfolgt im Sommer, die Ausspeicherleistung im Winterhalbjahr. Somit bestehen enge Geschäftsbeziehungen in technischer Hinsicht zwischen UGS- und Gasnetzbetreiber. Kommerzielle Beteiligungsverhältnisse sind aufgrund des Unbundling-Grundsatzes untersagt.

[3] Sehr informativ Kanther, Michael A.: Thyssengas. Die Geschichte des ersten deutschen Unternehmens der Ferngasversorgung von 1892 bis 2020, Münster 2021, S. 37 ff.
[4] Ausführlich und anschaulich Bleidick, Dietmar: Die Ruhrgas 1926 bis 2013. Aufstieg und Ende eines Marktführers, Berlin/Boston 2018, S. 33 ff., kommentierend hierzu Volk, Gerrit: Deutsche Gasgeschichte im 20 Jahrhundert oder: Die Geschichte der Ruhrgas AG, gwf Gas + Energie 9/2018, S. 68 ff.

3 Die Zukunft der Erdgasversorgung in Deutschland

Eine Beschäftigung mit der zukünftigen Erdgasversorgung beinhaltet stark spekulative Überlegungen, da die deutsche Erdgaswirtschaft im Jahr 2022 einen plötzlichen und radikalen Umbruch erlebt hat. Nur eine Feststellung dürfte relativ unstrittig sein: Eine Erdgasversorgung mittels Pipeline wie in den Jahren und Jahrzehnten vor 2022 auf dem damals herrschenden Preisniveau wird es niemals wieder in Deutschland geben!

Wie wird sich die zukünftige Gasversorgung darstellen und wie wird der Weg dorthin gestaltet sein? Eine erdgasfreie Versorgung der Industrie einschließlich der Kraftwerke, aber auch der Haushalte bis zum Jahr 2040, kann ich mir nicht vorstellen. Dieses mangelnde Vorstellungsvermögen basiert auf der Unterstellung, dass bis dahin Kernkraft und Kohle nur noch indirekt über Stromimporte in Deutschland eine Rolle spielen. In der Nutzung von Wärmepumpen liegt eine große Hoffnung, eine CO_2-freie Wärmeversorgung im großen Stil aufbauen zu können. Dabei wird aber oftmals vergessen, dass nicht an allen Standorten Wärmepumpen aus geologischen oder wasserrechtlichen Gründen (Stichwort Grundwasser) installiert werden können oder dürfen. Auch sind manchmal Rahmenbedingungen (z. B. extreme Bohrtiefen) gegeben, die die Installation einer Wärmepumpe aus wirtschaftlichen Gründen verbietet. Auch Luftpumpen können eine CO_2-arme und –vermeidende Lösung sein, sind aber aus geräuschtechnischen Gründen nicht überall einsetzbar.

Für die Industrie, die derzeit circa 40% des Letztverbraucherabsatzes von Erdgas ausmacht, bietet sich eine Umrüstung auf Wasserstoffnutzung an. Für die Fernleitungsnetze bedeutet dies, dass sie in einer Übergangsphase sowohl für den weiteren Transport von Erdgas und Biomethan als auch zum Aufbau einer wasserstoffbasierten Energieversorgung benötigt werden. Sicherlich werden in der ersten Umrüstungsphase „Insellösungen“ realisiert, bei denen besonders energieintensive Letztverbraucher wie z. B. Stahlwerke und Aluminiumhütten in einem ansonsten noch erdgasversorgten Gebiet auf Wasserstoffversorgung umgerüstet werden. Hier wird es sicherlich zu einem (temporären) Zubau von Parallelleitungen des Fernleitungsnetzes kommen.

Beim Gasverteilernetz wird es flächendeckend wohl kaum zu einer vollständigen Umstellung auf einer das Erdgas substituierenden Wasserstoffversorgung kommen. Durch den Einsatz alternativer Energien wie z. B. Strom und biogener Quellen insbesondere in der häuslichen Wärmeversorgung wird ein vorhandenes Gasverteilernetz zunehmend unwirtschaftlich und letztendlich stillgelegt werden müssen. Somit ergibt sich die Entwicklung, dass insbesondere die Stilllegung und der anschließende Rückbau außerhalb hochverdichteter Innenstadtlagen die Verteilernetze am ehesten treffen werden.

4 Erneuerbare Gas in Deutschland

Unter erneuerbaren Gasen soll im Weiteren Biomethan und Wasserstoff verstanden werden. Bei Biomethan in Erdgasqualität wurde der durch die Verbrennung freigesetzte CO_2 vorher bereits in den Einsatzmaterialien wie z. B. Mais, Stroh oder biogene Abfälle gebunden. Insofern ist bei einer „Lebenszyklus-Betrachtung“ die CO_2-Bindung eine Null-Summen-Rechnung. Die

Energieerzeugung aus biogenen Einsatzstoffen ist so alt wie die Menschheit, denkt man an die Wärmeerzeugung mittels Holzverbrennung. Durch die Fermentation von biogenen Einsatzstoffen lassen sich Gase generieren,[5] die z. B. mittels Blockheizkraftwerken oder Turbinen zu Elektrizität und Wärme gewandelt werden können. Eine reine Verstromung von Biogas bietet kein Nutzungskonzept für die bei jedem Verbrennungsvorgang anfallende Wärme. Im Gegenteil, die ungenutzte Wärme trägt durch die unkontrollierte Abgabe an die Umluft zur globalen Klimaerwärmung bei.

Die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität (Biomethan)[6] und die anschließende Einspeisung in das Erdgasnetz lässt eine Nutzung „wie Erdgas" bei einer gleichzeitigen CO_2-Neutralität zu. Somit bietet Biomethan eine klimaneutrale Energiequelle, um die vorhandene und sehr gut gewartete Erdgas-Infrastruktur[7] auch weiterhin vollumfänglich zu nutzen. Problematisch dürfte aber die Beschaffungsfrage sein. Seit 2006 gibt es innerhalb der GasNZV einen gesonderten Teil, der der Zugangsproblematik von Biomethan in das Erdgasnetz gewidmet ist. Ursprünglich hatte der Verordnungsgeber auch Mengenziele für die Einspeisung (und damit Substitution von fossilem Erdgas) von Biomethan formuliert und in § 41a GasNZV[8] dokumentiert. 6 Mrd. m³ Biomethan sollten bis 2020 und 10 Mrd. m³ Biomethan bis 2030 in das deutsche Erdgasnetz eingespeist werden.[9] Diese Ziele wurden Jahre später ersatzlos gestrichen, weil die Förderung der erneuerbaren Energie auf die Photovoltaik und die Windkraft konzentriert wurde.

Wasserstoff wird in Deutschland, aber auch in vielen anderen Teilen der Welt, als Lösung der Energieversorgung unter Beachtung der Klima-Schutzzielen gesehen. Dabei kennt die Begeisterung für Wasserstoff kaum Grenzen und dem Produkt wird sogar ein Sex-Appeal zugesprochen.[10] Die große Begeisterung lässt jedoch manchmal eine seriöse Beschäftigung mit dem Element Wasserstoff vermissen. Eine Gleichsetzung von H_2 mit CH_4, wie in vielen populären Veröffentlichungen vorgenommen, ist aus vielen Gründen nicht zulässig. Die folgenden Fragen können nicht vollständig das Problemspektrum aufzeigen, sollen aber die Illusion erschüttern, dass Wasserstoff ohne Weiteres Erdgas ersetzen kann. Erdgas hat im Vergleich zu Wasserstoff eine 2,7 bis 3 Mal so hohe Energiedichte: Wie lässt sich dieses deutlich größere Volumen mit der bestehenden Infrastruktur transportieren und verteilen? Wasserstoffmoleküle sind deutlich kleiner als Methan-Moleküle: Verhindert die Permeabilität der Rohrleitungen und Verdichter auf

[5] Vgl. ausführlich Lemmer, Andreas: Biogaserzeugung, in Graf, Frank/Bajohr, Siegfried (Hrsg.): Biogas. Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung, München 2011, S. 120 ff.
[6] Vgl. hierzu Klaas, Uwe: Biogaseinspeisung – das technische Regelwerk, in Graf, Frank/Bajohr, Siegfried (Hrsg.): Biogas. Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung, München 2011, S. 57 ff.
[7] Die Qualität eines Erdgasnetzes findet ihren Niederschlag im SAIDI; dieser betrug im Jahr 2021 2,18 Minuten; ausführlich hierzu Volk, Gerrit: Gas-Versorgungsunterbrechungen nach § 52 EnWG, gwf Gas + Energie 2013, S. 678 ff.
[8] Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) vom 25. Juli 2005 in der Fassung vom 17. Oktober 2008.
[9] Ausführlich Volk, Gerrit: Gasnetzzugangsverordnung – Fallstricke und Lösungen in der Praxis, in Urban, Wolfgang (Hrsg.): Rechtsfragen bei der Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Umsicht-Schriftenreihe band 64, Oberhausen 2010, S. 120 ff.
[10] Vgl. Volk, Gerrit: Geleitwort, in Graf, Frank/Schoff, Rene/Zdrallek, Markus (Hrsg.) Power-to-Gas. Grundlagen – Konzepte – Lösungen, Essen 2021, S. XXI.

allen Transport- und Verteilstufen größere Gasverluste? Der „Austausch“ von Erdgas in Wasserstoff aus ökologischen Gründen macht nur Sinn, wenn der Wasserstoff klimaneutral („grün“) ist: Wann ist so viel grüner Wasserstoff in Deutschland verfügbar, um Erdgas vollständig oder größtenteils zu ersetzen?

5 Thesenförmige Zusammenfassung und Ausblick

I. Die Erdgas-Importsituation wird einen deutlichen Wandel erfahren. Der vergleichsweise preisgünstige Import, so wie er vor dem russischen Überfall auf die Ukraine festzustellen war, wird nach einer Beendigung des Krieges (wann immer das auch sein wird) höchstwahrscheinlich nicht wiederkehren.

II. Der Erdgas-Import wird durch die kurzfristig angemieteten schwimmenden Regasifizierungsanlagen und dem Kauf frei erhältlicher LNG-Mengen sehr viel teurer als bisher.

III. Aus der Not geborene Erdgas-Einsparmöglichkeiten werden dazu führen, dass über (politisch) geplante Einsparmöglichkeiten hinaus der deutsche Erdgas-Verbrauch in verhältnismäßig kurzer Zeit drastisch zurückgeht.

IV. Das Ziel, bisherige Erdgasmengen zu einem großen Teil durch grünen Wasserstoff zu substituieren, wird nicht in dem angestrebten Zeitrahmen zur Erlangung einer CO_2-freien Energieversorgung erreicht werden. Grund hierfür ist die mangelnde mengenmäßige Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff aus heimischen Quellen, aber auch mittels H_2-Importen.

V. Eine Umstellung des deutschen Erdgasnetzes auf Wasserstoff erfolgt in erster Linie auf der Ferngas-Netzebene und eventuell in hochverdichteten Innenstadtlagen.

VI. Noch ist nicht abschließend untersucht, ob die deutlich geringere Molekülgröße von Wasserstoff eine verlustfreie Verteilung von Wasserstoff überhaupt ermöglicht.

VII. Fraglich ist, ob eine ausreichende Beschaffung von grünem Wasserstoff aus (politisch akzeptablen?) anderen Ländern neben der Produktion auf deutschen Boden überhaupt möglich ist.

VIII. Gasverteilernetze in reinen Wohngebieten mit typischer Ein- und Zwei-Familienhausbebauung werden aufgrund alternativer Energiekonzepte (wie z. B. Wärmepumpen und Pellet-Heizungen sowie Solarthermie) zunehmend unwirtschaftlich und stillgelegt bzw. zurückgebaut.

IX. Der Rückbau des Gasverteilernetzes wird sich aufgrund damit einhergehender deutlicher Netzentgeltsteigerungen selbst beschleunigen.

X. Das deutsche Erdgasnetz wird sich aufgrund ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen deutlich reduzieren.

Autor:

Dipl.-Kfm. Dipl.-Volksw.
Dr. Gerrit Volk
Bundesnetzagentur, Bonn

Tel.: 0228 14-5820
E-Mail:
gerrit.volk@bnetza.de
Internet:
www.bundesnetzagentur.de



I
Rohrleitungen und Kabel – Kritische Infrastruktur und Versorgungssicherheit

A
Wasser in Ver- und Entsorgung – Teil der kritischen Infrastruktur

1
Operatives Asset-Management: Material im Fokus

Emissionsuntersuchungen zum Mikroabrieb von Kunststoffrohren

Von Mike Böge und Pascal Hinrichs

1 Einleitung

Es besteht der Anfangsverdacht, dass Sande im Rohrleitungssystem abrasiv auf den Rohrleitungswerkstoff wirken und so kleinste Kunststoffpartikel ins Abwasser gelangen könnten und somit auch in den Wasserkreislauf. Viele Kanalnetzbetreiber, wie auch die Initiatoren des vorliegenden Forschungsprojektes, der Oldenburgisch - Ostfriesische Wasserverband (OOWV) und die hanseWasser Bremen GmbH, verwenden in der Erneuerung für ihr Kanalnetz Rohre aus Kunststoff. Die gängigen Kunststoffrohre bestehen aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder auch Polyvinylchlorid (PVC). In diesem Forschungsprojekt soll festgestellt werden, ob und in welchem Umfang eine Anreicherung von Kunststoffpartikeln im Abwasser durch die Verwendung von Kunststoffrohren zu erwarten ist.

Im ersten Projektabschnitt wurden verschiedene Kunststoffrohre auf Abriebfestigkeit mittels - Darmstädter-Kipprinne nach DIN EN 295-3 [1] geprüft. Vor dem Hintergrund der immer wiederkehrenden und nicht eindeutig zu beantwortenden Frage nach der Aussagekraft dieses Laborversuches im Hinblick auf die realen Bedingungen in den Kanalnetzen, sollen Parameter praxisnäher definiert werden. So spielt beispielsweise das Abriebmittel selbst eine entscheidende Rolle. In den Netzen des OOWV und hanseWasser liegen hauptsächlich feinkörnige Kanalsande vor, deren Abriebwirkung sich in den Kipprinnenversuchen anders darstellt als das nach DIN EN 295-3 [1] zu verwendende Material. Ein weiterer Projektabschnitt beinhaltet die Abbildung des gleichmäßigen Transports der Sedimente über die Rohrsohle. Hierzu wurde seitens der iro GmbH Oldenburg ein Lang-Zeitströmungsversuch entwickelt, mit dessen Hilfe das praxisnähere Abriebverhalten an ausgewählten Probekörpern untersucht werden kann.

2 Grundlagen

Mikroplastik sind kleine, wasserunlösliche, feste, nicht biologisch abbaubare Teilchen (Kunststoffpolymere), die durch menschliches Handeln indirekt oder direkt in die Umwelt gelangen. Bei der Definition der Größe von Mikroplastik gibt es je nach Quelle unterschiedliche Angaben. Einige Quellen, wie der BfR [3], definieren den Größenbereich von 0,1 Mikrometer – 5 Millimeter. Andere Quellen, wie der BUND [2], definieren den Bereich zwischen 1 Mikrometer – 5 Millimeter. Somit besteht nur bei der maximalen Größe Konsens. Mikroplastik wird damit einheitlich als Partikelgröße ≤ 5 Millimeter definiert. Grundsätzlich ist bei der Entstehung von Mikroplastik in zwei Mikroplastikarten zu differenzieren: primäres und sekundäres Mikroplastik. Auch hier gibt es keine einheitliche Definition. Die Fraunhofer UMSICHT-Konsortialstudie [4] definiert die Begriffe folgendermaßen:

Als primäres Mikroplastik Typ A werden gezielt produzierte Partikel (z.B. Reibekörper in Kosmetikprodukten, Zahnpasta, Sonnencreme) bezeichnet. Durch die Nutzung dieser Produkte gelangt ein Teil dieses Mikroplastiks in die Umwelt bzw. ins Abwasser. Primäres Mikroplastik Typ B entsteht erst während der Nutzung eines Produktes (z.B. Reifenabrieb, Verschleiß der Fahrbahnmarkierung, Waschvorgänge von Textilien). Durch Verwitterungsprozesse generiertes Mikroplastik (z.B. Baukunststoffe) werden als sekundäres Mikroplastik bezeichnet. Hierzu gehören auch z.B. Plastiktüten, die sich langsam unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen oder durch Wellenbewegung im Meer zersetzen. Das Umwelt Bundesamt [9] definiert primäres Mikroplastik als gezielt produzierte Mikropartikel und sekundäres Mikroplastik als Mikropartikel, die während der Nutzungsphase entstehen.

Die Abriebprodukte aus dem Kunststoffrohren sind somit je nach Definition dem primären Mikroplastik Typ B oder sekundäres Mikroplastik zuzuordnen.
Die Abriebfestigkeit von Kanalrohren wird standartmäßig durch den sogenannten „Darmstädter-Kipprinnenversuch" geprüft (Abbildung 1). Dieser Versuch wird in der DIN EN 295-3 [1] beschrieben. Obwohl es sich hierbei um eine Prüfnorm für Steinzeugrohre handelt, wird diese als Grundlage auch für weitere im Kanalbau zu verwendende Rohrwerkstoffe verwendet. Bei dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden ausschließlich thermoplastische Kunststoffrohre der Werkstoffe Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) sowie Polyvinylchlorid (PVC) betrachtet. Auf die Anforderungen an die Abriebfestigkeit nach DIN EN 295-3 [1] wird für die genannten Kunststoffrohre in folgenden Normen verwiesen:

- PE DIN EN 12666-1 [5]
- PP DIN EN 14758-1 [6]
- PVC-U DIN EN 1401-1 [7]

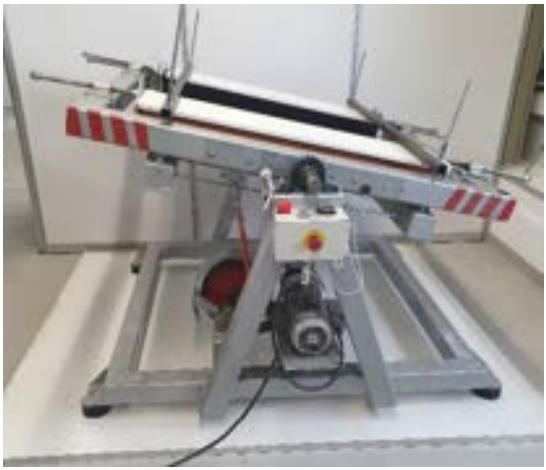


Abbildung 1: Darmstädter-Kipprinne

3 Abriebversuche mit der Darmstädter-Kipprinne

Bei der Darmstädter-Kipprinne wird ein Rohrabschnitt (oder Rohrhalbschale) von 1 Meter Länge durch ein definiertes Kies-Sand-Wasser-Gemisch (Abriebmittel) belastet. Das Rohr wird wechselseitig in Längsrichtung in einem definierten Winkel (±22,5°) geneigt. Vor und nach der Prüfung (100.000 Lastwechsel) wird die Sohle des Prüfmusters vermessen. Die so ermittelte Differenz kann als Abrieb - folglich auch als Mikroplastik angenommen werden.

Der erste Projektabschnitt sah ausschließlich Abriebversuche mit der „Darmstädter-Kipprinne“ an Kunststoffrohren der genannten Werkstoffe vor. Hierfür wurden jeweils Prüfmuster der Dimension DN 200 verwendet. Die durch die Standartversuche generierten werkstoffspezifischen Abriebwerte dienen für die weiteren Untersuchungen als Referenzwerte.

Da sich das in den Standartversuchen verwendete Abriebmittel von den tatsächlich in den Netzen des OOWV und hanseWassers (Bremen) vorhandenen Sedimenten unterscheidet (siehe Abbildung 2), soll auch der Einfluss von praxisnäheren Abriebmittel untersucht werden. Hierzu wurde aus der Kläranlage in Oldenburg eine repräsentative Kanalsandprobe entnommen, unter dessen Verwendung die beschriebenen Versuche nach DIN EN 295-3 [1], Darmstädter-Kipprinne, wiederholend durchgeführt wurden.

Im Anschluss folgte eine Reihe weiterer Abriebversuche, die aus Gründen der Reproduzierbarkeit mit nachgestelltem Kanalsand durchgeführt wurden. Zur Nachstellung des Kanalsandes wurde der originale Kanalsand getrocknet und seine organischen Anteile entfernt (Abbildung 2). Anschließend wurde eine Sieblinie, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, in Anlehnung an DIN 18123 [8] ermittelt. Diese wird fortan als in dieser Region zutreffende Körnung für des abriebwirksame Sediments angenommen.



Abbildung 2: Abriebmittel nach Norm, org. Kanalsand und nachgestellter Kanalsand

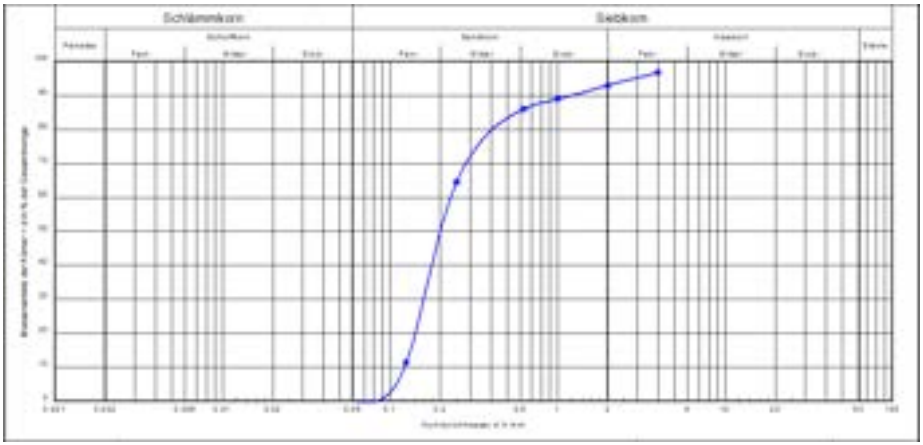


Abbildung 3: Sieblinie Kanalsand

Die Grafik in Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Abriebversuchen in Abhängigkeit des Rohrwerkstoffs und des verwendeten Abriebmaterials. Demnach ist erkennbar, dass sich bei dem realitätsnäheren „Kanalsand“ bei allen Rohrmustern ein deutlich geringerer Abrieb einstellt als es bei den Abriebmitteln nach Norm der Fall ist. Folglich ist unter Annahme des hier untersuchten Kanalsandes von einer geringeren Mikroplastikemission ins Abwasser im Vergleich zu grobkörnigen Sedimenten auszugehen.

Zudem zeigen die Ergebnisse, dass der Abrieb bei dem verwendeten PE-Rohr am größten ist. Im Vergleich dazu weist das PP- Rohr einen geringeren, das PVC-Rohr den geringsten Abrieb auf.



Abbildung 4: Balkendiagramm - Norm, originaler und nachgestellter Kanalsand (von plausiblen Abrieben)

4 Abriebverhalten im Strömungsversuch

Die Frage nach der Vergleichbarkeit der durch die „Darmstädter-Kipprinne“ gewonnenen Ergebnisse mit den realen Kanalbedingungen führte zur Überlegung eines Strömungsversuches (Abbildung 5). Nur auf diese Weise ist es möglich, Aussagen über den Abrieb eines aus nur einer Richtung angeströmten Rohres (Realbedingungen) im Vergleich des „Darmstädter-Kipprinnenversuches“ treffen zu können. Für die Errichtung des ca. 8,50 m langen Versuchskanals werden Rohre und Formteile der Nennweite DN 200 verwendet. Als Versuchsrohre dienen analog zu den Kipprinnenversuchen ein PE-Rohr- und ein PP-Rohrabschnitt von jeweils 1,0 Meter. Der Werkstoff PVC wird nicht weiter betrachtet, da er im Gegensatz zu PE und PP dem geringsten Abrieb unterliegt (vgl. Kap 3).

Die ersten Untersuchungen hierzu werden mit dem konservativen Abriebmittel (Körnung und Menge) aus dem Darmstädter-Kipprinnenversuch nach DIN EN 295-3 [1] durchgeführt und sind mit Abgabe des Manuskripts noch nicht beendet.



Abbildung 5: Strömungsversuch

Zur Einhaltung der kontinuierlichen Beschleunigung des Wassers bzw. Mobilisierung der Sedimente hat sich ein modifizierter Propellerantrieb bewährt. Bei Vollfüllung des Versuchskanals wurde zunächst eine Mindestströmungsgeschwindigkeit von1 m/s ermittelt, bei der das Größtkorn des Abriebmittels mobilisiert und durchgehend über die Rohrsohle transportiert wird. Die Umlaufszeit des Größtkorns wurde unter Berücksichtigung der Mindestströmungsgeschwindigkeit durch farbliche Markierungen und Zeitmessungen (Stoppuhr) ermittelt. In Anlehnung auf die in der „Darmstädter-Kipprinne“ belastete Rohrprüfstrecke (1 Lastwechsel entspricht 2 m Rohrlänge) wurde für den Strömungsversuch eine Dauer von 38 Tagen errechnet. Leider hat sich in den ersten Versuchsanläufen gezeigt, dass die gesamte Menge des nach DIN EN 295-3 [1] verwendeten Abriebmittel nicht gleichmäßig transportiert wird. Erst die Halbierung der Menge

führte zu einem gleichmäßigen Transport. Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus dem Kipprinnenversuch zu erhalten, verdoppelt sich die Versuchsdauer auf 76 Tagen. Um die Abrundung der Sedimente zu kompensieren, ist ein Austausch des Geschiebematerials alle 7 Tage vorgesehen.

Im Anschluss an diesen Langzeit-Strömungsversuch erfolgt die Vermessung der Rohre mittels Laserdistanzsensoren. Der so ermittelte Materialabtrag kann mit den Ergebnissen aus den Abriebversuchen nach DIN EN 295-3 [1] verglichen werden.

5 Ausblick

Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt die Ergebnisse der Abriebversuche im Strömungskanal noch nicht vorliegen, wird die Frage, wieviel Mikroplastik im Laufe der Nutzungsdauer von Kunststoffrohre entstehen kann, nach Ablauf der Versuche nicht gänzlich zu beantworten sein. Hierzu müssten weitere Parameter praxisnäher definiert werden. So ist beispielsweise die Menge des Abriebmittel den realen Bedingungen anzupassen. Hier wird aktuell mit einer erhöhten Fracht von Sedimenten in Anlehnung an DIN EN 295-3 [1] verfahren. Eine Mengenanalyse am Standort der Kläranlage Bremen hat beispielsweise ergeben, dass die dort im Jahr anfallende Kanalsandmenge bezogen auf die Abwassermenge deutlich geringer ist, als in den derzeitigen Versuchen berücksichtigt wird.

6 Literatur

[1] DIN EN 295-3, Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 3: Prüfverfahren, März 2012

[2] Mikroplastik: Einfluss auf die Umwelt, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) – Friends of the Earth Germany, Abgerufen: 04.01.2023 von https://www.bund.net/meere/mikroplastik/?gclid=Cj0KCQjwhb36BRCfARIsAKcXh6

[3] Mikroplastik: Fakten, Forschung und offene Fragen (Juni 2018), Bundesinstitut für Risikobewertung BFR, Abgerufen; 05.01.2023 von https://www.bfr.bund.de/cm/343/mikroplastik-fakten-forschung-und-offene-fragen.pdf

[4] Begriffe, Chronologie und Wahrnehmung, Frauenhofer Umsicht Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik, (06.2018), Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, und Energietechnik UMSICHT

[5] DIN EN 12666-1, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, November 2011

[6] DIN EN 14758-1, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen mit mineralischen Additiven (PP-MD) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, Mai 2012

[7] DIN EN 1401-1, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem, September 2019

[8] DIN 18123, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung, April 2011
[9] Kunststoffe in Böden Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen, Umweltbundesamt, Abgerufen: 05.01.2023 von umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/factsheet_kunstoffe_in_boeden.pdf

Autoren:

Dipl.-Ing. Mike Böge
iro GmbH Oldenburg, Oldenburg

Tel.: 49 441 36103917
E-Mail:
boege@iro-online.de
Internet:
www.iro-online.de



B. Eng. Pascal Hinrichs
iro GmbH Oldenburg, Oldenburg

Tel.: +49 441 36103938
E-Mail:
hinrichs@iro-online.de
Internet:
www.iro-online.de



Mineralische Sanierung von Mauerwerkkanälen mit dem Düsseldorfer Verfahren

Von Roland Baum

1 Einleitung / Veranlassung

Der Rat der Stadt Düsseldorf hatte bereits im Jahr 1986 vorausschauend – seinerzeit im Bundesvergleich recht frühzeitig – ein erstes Konzept zur flächendeckenden, systematischen Untersuchung des öffentlichen Kanalnetzes der Landeshauptstadt Düsseldorf auf seinen baulichen und betrieblichen Zustand, sowie zu seiner planmäßigen Sanierung / Substanzerhaltung beschlossen. Dieses Substanzerhaltungskonzept zum langfristigen Erhalt des Düsseldorfer Abwassernetzes wurde im Jahr 2011 fortgeführt und aktualisiert.

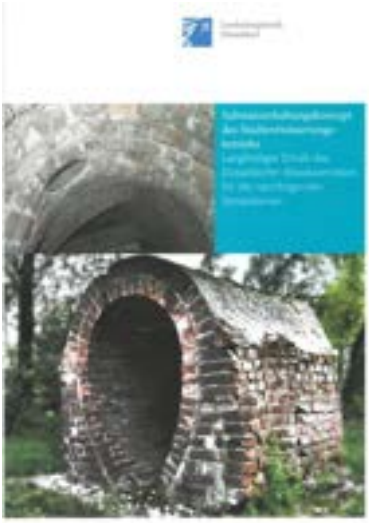


Bild 1: Substanzerhaltungskonzept 2011

Als ein Sanierungsschwerpunkt für die folgenden Jahre wurden die vorhandenen Mauerwerkkanäle ermittelt.
Diese Profile wurden größtenteils zwischen den Jahre 1874 und 1930 hergestellt. Sie stellen auch heute noch einen Teil der Hauptschlagadern des städtischen Kanalnetzes dar, und verlaufen aus diesem Grund vornehmlich im Innenstadtbereich, häufig unter Hauptverkehrsstraßen bzw. im Gleisbereich des ÖPNV. Aus diesem Grund ist es unser Bestreben, die Substanz ins besonders dieser Kanalabschnitte langfristig zu erhalten.



Bild 2: Bau eines Mauerwerkkanals in Düsseldorf

Diese oft über hundert Jahre alten Mauerwerkprofile werden in Düsseldorf seit vielen Jahren in regelmäßigen Abständen gem. DWA-M 149 inspiziert und bewertet. Hierbei wurden teilweise erhebliche Auswaschungen des Fugenmaterials, jedoch größtenteils noch völlig ungeschädigte Klinkersteine vorgefunden.

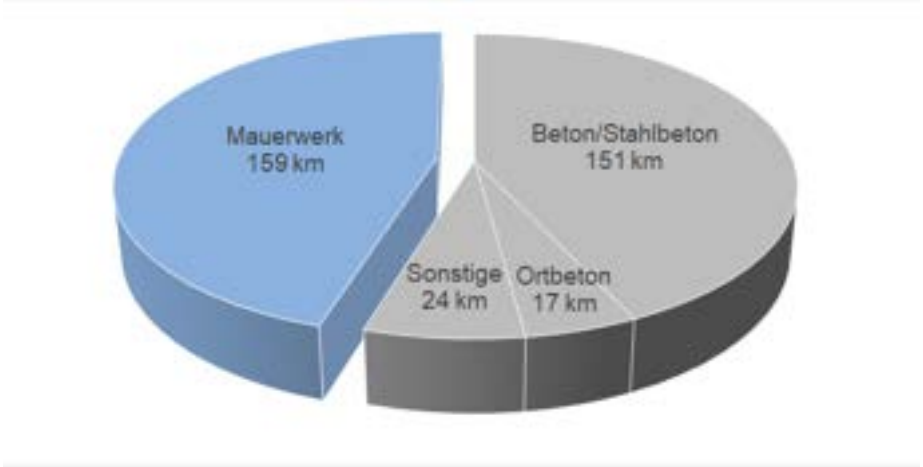


Bild 3: Materialaufteilung der begehbaren Profile in Düsseldorf

Somit wurde ein Anforderungskatalog mit den Vorgaben für die Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahren für Mauerwerkkanäle aufgestellt:
- Einordnung als Renovationsverfahren und damit eine Abschreibungsmöglichkeit der investiven Kosten
- Grabenloses Verfahren
- Keine hydraulische Verschlechterung
- Lange Nutzungs- und Abschreibungszeiträume
- Die Inspektion und Bewertung der vorhandenen Substanz muss weiterhin möglich sein und ggf. mit entsprechenden Verfahren überprüfbar bleiben
- Nach Ablauf der Nutzungsdauer muss eine weitere Renovierung möglich sein
- Ressourcen schonend

Da zum damaligen Zeitpunkt kein entsprechendes Verfahren am Markt zur Verfügung stand, wurde mit eigenen Mitarbeitern das „Düsseldorfer Verfahren“ zur haltungsweisen Mauerwerksanierung von begehbaren Profilen entwickelt.

2 Düsseldorfer Verfahren

2.1 Vorarbeiten zur Sanierung

1. Erweiterte Zustandserfassung
   Hierzu gehört der Nachweis der Standsicherheit einschließlich Wanddickenermittlung und Baugrunderkundung sowie eine statische Betrachtung auch für den statischen Zustand während der Sanierungsarbeiten.

2. Überprüfung und Zuordnung der vorhandenen Anschlüsse
   Zur Identifizierung der nicht mehr genutzten Anschlüsse werden alle Anschlussstutzen den entsprechenden Grundstücken bzw. Straßenabläufen zugeordnet. Nicht mehr genutzte Anschlüsse werden verschlossen.

3. Planung der Abwasserhaltung
   Der anfallende Trockenwetterabfluss wird über eine Abwasserhaltung innerhalb des Sanierungsabschnitts übergeleitet. Mittlere und größere Regenereignisse werden erst zurückgestaut, und ab einem Wasserstand von ca. 2/3 des Kanalquerschnitts in den Sanierungsabschnitt abgeschlagen. Die Auswirkungen auf das oberhalb liegende Kanalnetz sind zu prüfen, und entsprechend der Höhe der Abmauerung zu planen.

4. Planung der Zugänglichkeit der Schachteinstiege (Verkehrsplanung)
   Da, wie oben beschrieben, die zu sanierenden Haltungen in den allermeisten Fällen im Innenstadtbereich verlaufen, sind häufig umfangreiche Verkehrsführungen zu planen, und zeitlich mit anderen städtebaulichen Maßnahmen abzustimmen.

2.2 Verfahrensbeschreibung

Bei dem in Düsseldorf entwickelten und eingesetzten Verfahren werden alle Stoß- und Lagerfugen in dem zu sanierenden Bereich auf eine vorher definierte Tiefe mechanisch ausgeräumt und mittels Mörtelpumpe neu verfugt. Im Zuge dieser Arbeiten werden weiterhin evtl. vorhandene Risse verpresst sowie schadhafte Klinkersteine ersetzt. Des Weiteren werden nicht in Betrieb befindliche Anschlüsse verschlossen und geschädigte Anschlussstutzen beigearbeitet.
Ein zu sanierender Bereich umfasst in der Länge immer mindestens eine Haltung mit den dazugehörigen Schachtbauwerken, und wird somit ganzheitlich betrachtet und saniert.

2.3 Arbeitsablauf des Düsseldorfer Verfahrens

1. Kanalgrundreinigung
   Diese erfolgt mittels herkömmlichen Hochdruckspülverfahren mit maximal 150 bar (keine Höchstdruckreinigung).

2. Trockenlegung des Sanierungsabschnitts, Einbau einer Abwasserhaltung
   Hierzu wird der zu sanierende Kanalabschnitt mittels einer Abmauerung in der oberhalb liegenden Haltung, trockengelegt. Der anfallende Trockenwetterabfluss, sowie die Anschlüsse innerhalb der zu sanierenden Haltung werden über eine Abwasserhaltung innerhalb des Sanierungsabschnitts übergeleitet. Bei größeren Regenereignissen wird das anfallende Abwasser über die Abmauerung abgeschlagen und der Sanierungsabschnitt geflutet. Hierzu sind ständige Wetterbeobachtungen mit den entsprechenden Warnsystemen vorzuhalten.



Bild 4: Einbau einer Abwasserhaltung

3. Begehung – Festlegung des Sanierungsumfangs
   Im Zuge der ersten gemeinsamen Kanalbegehung (Auftraggeber / Auftragnehmer) werden neben der Fugensanierung der genaue Umfang der weiteren Arbeiten wie z.B. Rissverpressungen, Anschlusssanierungen und Erneuerung von Steighilfen in den Schachtbauwerken festgelegt.

4. Ausräumen der Fugen
   Hierzu werden alle Stoß- und Lagerfugen in der zu sanierenden Haltung auf eine vorher definierte Tiefe von mindestens 2,0 cm ausgeräumt. Dies geschieht ausdrücklich nicht mit Wasser- oder Sandstrahl, sondern händisch mittels Winkelschleifer (Lagerfugen) bzw. einer Fräse (Stoßfugen).



Bild 5: Ausräumen der Lagerfugen



Bild 6: Ausräumen der Stoßfugen

5. Erneute Kanalreinigung
   Auch diese erneute Kanalreinigung erfolgt mittels Hochdruckspülverfahren mit maximal 150 bar und ist insbesondere für die Entfernung des Frässtaubes aus den Fugen und der Sohle erforderlich.

6. Begehung – Abnahme der ausgeräumten und gereinigten Fugen
   Hierbei werden die Tiefe der ausgeräumten Fugen sowie die Vollständigkeit aller Fugen überprüft und abgenommen.

7. Neuverfugung
   Nun werden die Fugen mit einem kunststoffmodifizierten Mörtel (PCC-Mörtel) gemäß DIN19573 (chemischer Widerstand XWW3) verfugt. Da eine vollfüllige Verfugung zur Vermeidung späterer Schäden unbedingt erforderlich ist, muss diese in jedem Fall maschinell mittels Mörtelpumpe erfolgen, eine händische Verfugung mittels Fugeisen ist nicht zulässig.



Bild 7: Verfugung



Bild 8: Mörtelpumpe

8. Durchführung weiterer Arbeiten
   In einem weiteren Schritt werden die im Zuge der ersten Begehung festgelegten weiteren Arbeiten durchgeführt. Statische Längs- und Querrisse werden über Packer mit Zementsuspension verpresst. Ausgebrochene und geschädigte Anschlussstutzen werden händisch mit Mörtel fachgerecht neu angeschlossen. Weiterhin sind geschädigte oder korrodierte Einstieghilfen in Schachtbauwerken zu erneuern.

9. Begehung - Abnahme
   In einer letzten Kanalbegehung werden alle ausgeführten Arbeiten abgenommen. Zur Überprüfung der vollfülligen Verfugung werden stichprobenartig Bohrkerne gezogen.



Bild 9: Überprüfung der vollfülligen Fuge

3 Nachweis Investives Verfahren / Nutzungs- bzw. Abschreibungszeitraum

Im DWA-M 143-1 werden die Begriffe Reparatur und Renovierung aus der DIN EN 752-5 zitiert und folgendermaßen definiert:

Renovierung: „Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und –kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“

Reparatur: „Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden.“

Bei dem Düsseldorfer Verfahren werden nicht nur örtlich begrenzte Schäden saniert (dies wären Verfahren von jeweils maximal wenigen Metern Länge), sondern immer in haltungsweisen Bereichen. Hier werden dann in dem festgelegten Querschnitt alle, auch die nicht geschädigten Fugen, saniert.
Da unter Einbeziehung der ursprünglichen Substanz (Kanalklinker) die aktuelle Funktionsfähigkeit (Standsicherheit, Dichtigkeit) verbessert bzw. verlängert wird, handelt es sich eindeutig um ein Renovierungsverfahren. Der Begriff „Abwasserleitungen und –kanäle“ bezeichnet immer eine „größere Einheit“ (Mindestens eine Haltung), daher wird dieser Begriff bei der Definition der Reparatur auch ausdrücklich nicht erwähnt.

In der DIN EN 15885 „Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und –leitungen“ erfolgt unter Punkt 5 die Klassifizierung der Renovierungstechniken. Unter Punkt 5.8 „Rohrsegment-Lining“ wird ausdrücklich die Möglichkeit einer, den Rohrumfang nur teilweise abdeckenden Renovierung beschrieben. Auch unter Punkt 5.9 „Lining mit Beschichtungsverfahren“ wird in Tabelle 8 die Möglichkeit einer Teilbeschichtung aufgeführt.

Somit kann abschließend festgestellt werden, dass bei dem in Düsseldorf entwickelten Verfahren zur Sanierung von begehbaren Mauerwerkkanälen die ganzheitliche Betrachtung einer gesamten Haltung erfolgt, und es sich somit um ein Renovationsverfahren handelt.

Die technische Nutzungsdauer wie auch der Abschreibungszeitraum wurden aus diesen Gründen mit einer Dauer von 80 Jahren festgelegt.

Die Einordnung als Renovationsverfahren, wie auch die Länge der Nutzungsdauer, wurden durch ein Ingenieur-technisches Gutachten im September 2015 bestätigt.

4 Fazit / Ausblick

Seit 2015 wurden somit ca. 7,2 km Mauerwerkkanal mit dem Düsseldorfer Verfahren saniert. Die Investitionskosten hierfür lagen bei ca. 9,1 Mio. EUR. Weiterhin konnten alle Vorgaben gemäß dem Anforderungskatalog umgesetzt werden und somit ein erster Anteil der Schlagadern des Düsseldorfer Kanalnetzes langfristig erhalten werden. Auch konnten auf Grund der grabenlosen Bauweise die Einschränkungen auf die weitere Düsseldorfer Infrastruktur weitestgehend geringgehalten werden.
Für die nächsten Jahre sind bereits weitere Sanierungsmaßnahmen von ca. 1,0 – 2,0 km / Jahr geplant, um so sukzessive alle gemauerten Profile des Düsseldorfer Kanalnetzes langfristig zu erhalten.

Autor:

Roland Baum
Landeshauptstadt Düsseldorf
Stadtentwässerungsbetrieb

Tel.: 0211/89-92254
E-Mail:
roland.baum@duesseldorf.de
Internet:
www.duesseldorf.de/kanal.html



2
Sicherung der Infrastruktur in der Großstadt Hamburg

Koordinierte Infrastruktur-Großprojekte in Hamburg – Grundinstandsetzung der Elbchaussee

Von Roland Stutzki

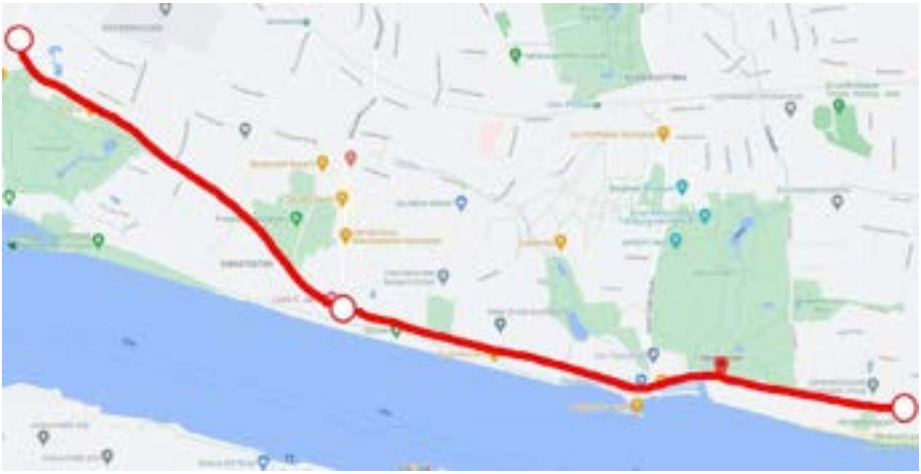
Beim Oldenburger Rohrleitungsforum 2020 hatte ich bereits über das erste koordinierte Infrastrukturprojekt im innerstädtischen von Hamburg referiert. Als Schlusswort habe ich den Zuhörern damals eine Fortsetzung versprochen. Hiermit möchte ich mein Versprechen einlösen.

Beim Vortrag 2020 ging es um die vorbereitenden Maßnahmen für den Bau des A7 Deckel Altona. Die vorbereitenden Maßnahmen für den letzten Abschnitt, die sogenannte Lärmschutzmaßnahme Altona, kurz LÄM Altona genannt, umfassten die Verlegung der Ver- und Entsorgungsleitungen an insgesamt vier Brückenbauwerken unter die BAB 7.

1 Einleitung

Die zweitlängste Straße Hamburgs wird seit 2021 umfassend saniert: Die mehr als acht Kilometer lange Elbchaussee ist eine der Hauptverkehrsadern der Hansestadt, bis zu 40.000 Fahrzeuge passieren sie am Tag. Und so sind alle Beteiligten, und besonders die Großprojektleiter von HAMBURG WASSER, gefordert, einen reibungslosen Ablauf der umfangreichen Bautätigkeiten und des regen Verkehrs von Bussen, Lkw, Pendler-Pkw und Fahrrädern zu ermöglichen. Das Vorhaben gilt als Modellprojekt, da erstmals in Hamburg nur städtische Versorgungsunternehmen ein Bauvorhaben gemeinsam angehen.

Der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG), HAMBURG WASSER (HW), Gasnetz Hamburg (GNH) und Stromnetz Hamburg (SNH) werden gemeinsam und in enger Koordination als Kooperationspartner der INFRACREW HAMBURG die Elbchaussee sanieren. Die Arbeiten für den ersten Bauabschnitt von der Parkstraße bis zur Manteuffelstraße haben am 3. Mai 2021 begonnen, und werden bis voraussichtlich Anfang 2024 abgeschlossen sein.



Über die INFRACREW HAMBURG:
Bei dieser Baumaßnahme handelt es sich um ein Kooperationsprojekt der INFRACREW HAMBURG. Die INFRACREW HAMBURG ist ein Zusammenschluss einiger städtischer Baulastträger. Gemeinsam gestalten sie Hamburgs Infrastruktur. Die Modernisierung der unterirdischen Leitungen, die Verbesserung der Straßen und Wege, die Erneuerung der Brücken- und Gewässerbauwerke in Hamburg liegen in ihrer Hand. Gemeinsam planen, bauen, koordinieren und kommunizieren sie ihre Dienstleistungen, um für alle Hamburgs Verkehrsraum sicher und ihre Tätigkeiten sichtbar zu machen. Die INFRACREW HAMBURG sind die Hamburger Bezirke, die Hamburg Port Authority, HAMBURG WASSER, Gasnetz Hamburg, der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer und Stromnetz Hamburg. Wir bauen Hamburg. Zusammen.

2 Herausforderungen Elbchaussee 1. BA – Verschiedene Gewerke

Wie kommt es jetzt dazu das ein Straßenzug wie die Elbchaussee für ein Kooperationsprojekt ausgewählt wurde?
Zuerst wurden alle Baubedarfe ermittelt, dabei ist man für den 1. BA der Elbchaussee auf folgende Zahlen gekommen:

- Neubau Trinkwasserleitung DN 800 - 4.300m
- Straßenerneuerung (Grundinstandsetzung) - 32.000m²
- Neubau Straßenentwässerung - 2.500m
- Neubau von Schmutzwasserkanälen - 1.500m
- Neubau Gasleitungen DN 150 – DN 300 - 4.000m
- Erneuerung von Stromleitungen - 14.000m
- Verlegung von Leerrohren für Verkehrsleittechnik - 10.000m
- Leitungen für Telekommunikation - 12.000m

Hierbei spielen zwei Faktoren eine sehr große Rolle, und zwar der Zustand der Straße einschl. der Situation von Fuß- und Radwegen, und die Trinkwassertransportleitung DN800. Diese Leitung ist am Ende ihrer Funktionsdauer und muss deshalb dringend ausgetauscht werden.
Diese beiden Gewerke sind die größten Eingriffe, und geben quasi auch die Bauzeit vor. Bei solch einem großen Eingriff in die Straße wäre es natürlich nicht schlau wenn die anderen Leitungen im Randbereich der Straßen unberücksichtigt blieben, die man zum großen Teil im Schatten der Trinkwasserleitung ebenfalls erneuern kann. Und dadurch kommt es zu der Menge an Leitungen, oder Herausforderungen, die in der Elbchaussee zu erneuern sind.
Es wäre sehr schön und einfach, wenn jetzt auf Basis der ermittelten Mengen die Kooperation zu Stande kommen kann, und die Planung für die Ausschreibung startet.
Leider ist es nicht so einfach.
Hier beginnt ein richtungweisender Teil der Kooperation, denn aus juristischer Sicht muss nun noch ein bisschen Formalismus erfolgen. Projektbezogen wurden dazu auf baufachlicher Ebene Kooperationsverträge abgeschlossen, die mit der Bündelung aller Baulastträger beginnen. Danach erfolgt die Bildung einer Einkaufsgemeinschaft, in der die kaufmännische Abwicklung während der Ausschreibungs- und Bauphase gesichert werden. Und erst
dann wurden die Leistungen gemeinsam geplant, ausgeschrieben und entsprechend baulich umgesetzt.



Sind die Verträge abgeschlossen stimmen die Partner ihre Bauablaufplanung inklusive des Verkehrskonzepts, und ihre verschiedenen Baumaßnahmen und Gewerke innerhalb des Bauprojekts aufeinander ab, und setzen ihre Leistungen in einer gemeinsamen Baustelle um.
Die fachliche Steuerung erfolgt durch eine zentrale Gesamtprojektleitung die in diesem Fall von HAMBURG WASSER übernommen wurde.

3 Die ersten Planungsschritte - Verkehrskonzept

Um ein Projekt dieser Größenordnung mit verschiedenen Leitungsbaugewerken durchführen zu können ist eine durchdachte Verkehrsführung von oberster Priorität.
Nach unzähligen Gesprächen und Diskussionen mit Hamburger Straßenverkehrsbehörden und Verkehrsdirektionen hat man sich auf das sogenannte Konzept „Wechselverkehrsführung“ geeinigt. Welches wie folgt umgesetzt werden sollte:
Um den Verkehr, der auf der Elbchaussee zu Stoßzeiten insbesondere vom Berufsverkehr geprägt ist, möglichst wenig zu beeinträchtigen, wird zwischen Manteuffelstraße und Parkstraße eine lastabhängige Wechselverkehrsführung eingerichtet.
Das bedeutet: Die Elbchaussee wird täglich von 2 Uhr morgens bis 12 Uhr mittags stadteinwärts befahren. Im Bereich der Baufelder wird sie zur Einbahnstraße mit einer Fahrspur. Von 12 Uhr mittags bis 2 Uhr morgens wird der Verkehr in Richtung stadtauswärts geführt. Es darf im Bereich der Baufelder nur stadtauswärts gefahren werden. In den Bereichen der Elbchaussee ohne Bautätigkeit können die Anliegerinnen und Anlieger die Elbchaussee in beide Richtungen befahren.
In der Realität stellte sich sehr schnell heraus, dass dieses am Grünen Tisch geplante Verkehrskonzept „Wechselverkehrsführung“ nur bedingt für die Umsetzung der Baustelle Elbchaussee tauglich war.
Sinn und Zweck der Kooperation war und ist es möglichst viele Gewerke parallel herzustellen. Um das zu ermöglichen war Platz erforderlich um leistungsfähige Baumaschinen einzusetzen. Aufgrund der sehr engen Straßenverhältnisse von ca. 7,50m Fahrbreite musste wegen der Wechselverkehrsführung ein Großteil der Tiefbauarbeiten für die Erneuerung der Wasserleitung DN 800 in Vor-Kopf-Bauweise ausgeschrieben werden. Das ist zum einen teuer, und da die alte Wasserleitung leider auch nicht immer dort in der Straße lag wo man sie vermutet hat, auch so eng das die ASR Richtlinien nicht mehr eingehalten werden konnten. Die folgenden Bilder sprechen für sich, und geben den Sachverhalt besser wieder als lange Texte.









Um bei größer werdenden Baufeldern trotzdem noch das Gefahrenpotential für Verkehrsteilnehmer und Bauarbeiter so gering wie möglich zu halten, musste bei Aufrechterhaltung der Wechselverkehrsführung die Baugeschwindigkeit erheblich reduziert werden. Wenn aber die Bauzeit bis Anfang 2024 eingehalten werden sollte, musste für die Wechselverkehrsführung eine alternative geplant und beantragt werden. So wurde dann das gesammelt Bildmaterial zusammengetragen um in einer Präsentation in politischen Gremien das hohe Gefahrenpotential auf der Baustelle vorzustellen. Ebenso wurden auch Hochrechnungen der Bauzeit mit Wechselverkehrsführung, und mit einer Alternativen gegenübergestellt. Bei den örtlichen Gegebenheiten und den bereits gesammelten Erfahrungen stand als alternative Verkehrsführung einzig und allein die Vollsperrung zur Debatte.
Straßenverkehrsbehörden, Verkehrsdirektion und politische Entscheider waren beeindruckt und geschockt zu gleich, und stimmten trotz anfänglicher Bedenken einer neuen Verkehrsplanung unter teilweiser Vollsperrung zu.

4 Straßenbau – Elbchaussee wird neugestaltet

Der Straßen- und Verkehrsraum soll den heutigen Anforderungen an Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Komfort gerecht werden. Durch die Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur wird der Radverkehr sicherer und komfortabler gestaltet durch Kopenhagener Radwege, Piktogrammkette mit Sharrows und Schutzstreifen. Der Charakter der Elbchaussee bleibt weitgehend erhalten (alter Baumbestand, Einfriedungen, teils unbefestigte Flächen).

Radverkehr
Mit Ausnahme der Kreuzungs- und Einmündungsbereiche wird der bisher vorgesehene Radfahrstreifen überall durch den so genannten Kopenhagener Radweg ersetzt. Dieser wird deutlich mit einem Bordstein zur Fahrbahn abgegrenzt.
Eine Führung des Radverkehrs im Mischverkehr ist in Teilen sowohl stadteinwärts als auch in einem sehr kurzen Stück stadtauswärts unumgänglich. Um den Radverkehr auf der Straße in diesen Bereichen besser sichtbar zu machen, werden in regelmäßigen Abständen Fahrradsymbole mit Pfeilen auf der Fahrbahn aufgebracht (so genannte Piktogrammkette). Ein herkömmlicher Radweg, wie bisher, ist stadteinwärts nur im Bereich Teufelsbrück geplant.

Fußverkehr
Die Gehwege werden nicht zur Nutzung für den Radverkehr freigegeben, um Konflikte zwischen Rad- und Fußverkehr zu vermeiden. Die Gehwege werden von der Breite her barrierefrei hergestellt.

Autoverkehr
Die Fahrbahnbreite für den Kfz-Verkehr wird auf max. 6,50 m reduziert, ein Aneinander-Vorbeifahren von zwei Bussen oder LKW ist sichergestellt. Auf einem gut 320 m langen Abschnitt östlich der Kirche Nienstedten wird Tempo 30 eingerichtet, ansonsten gilt Tempo 50 auf diesem Abschnitt der Elbchaussee.



5 Grundlegende Planungen für den Leitungsbau

Die gründlich durchdachte Planung für die verschiedenen Leitungsbaugewerke sind der Garant für eine zeitgerechte und zielorientierte Umsetzung eines großen Infrastrukturprojektes. So muss auch schon während der Planung darüber nachgedacht werden wie man es umsetzen kann so viel Gewerke wie möglich parallel zu bearbeiten. Ich persönlich habe mir dazu für einen

kleinen Baufeldbereich eine Art Sandkasten mit maßstabsgerechten Baumaschinen sowie Straßen und Baufelder gebastelt. Daraus wurde bei Versuchen mögliche Synergien, aber auch Kollisionen und verschiedene Bauszenarien abgeleitet.
Um auf jeden Fall nach der Ausschreibung eines solchen Projektes keine Überraschung zu erfahren, sollte man sich bei der Planung auf ein realisierbares Ergebnis konzentrieren. Zumindest sollte man sich sicher sein das es möglich ist das geplante und ausgeschriebene auch umsetzen zu können. Eine nicht durchdachte Planung auszuschreiben, nur mit einem Warenkorb an Leistungen, bringt oftmals nicht das erhoffte Ergebnis.

6 Trinkwassertransportleitung – Alt gegen Neu in vorhandener Trasse

Die Leitung ist existentiell für die Versorgung des Hamburger Westens. Sie hat eine Nennweite von DN 800 / 850 und wurde zwischen 1906 und 1908 aus Grauguss hergestellt. Die Leitung fiel in jüngerer Vergangenheit durch mehrere Rohrbrüche auf, so dass im Jahr 2013 ein TÜV-Gutachten beauftragt wurde. Dieses bestätigte, dass eine starke Spongiose (Eisenschwamm) und Korrosion vorhanden ist. Das ist ein für das Herstellungsjahr typisches Schadensbild und führt dazu, dass sich der ursprüngliche Wanddurchmesser von 25-26 mm auf bis zu 8 mm reduziert hat. Darüber hinaus hat das TÜV-Gutachten ergeben, dass die Zugfestigkeit des Rohrmaterials extrem abgenommen hat. Dies wiederum führt zu einer starken Erhöhung der Bruchempfindlichkeit. Insgesamt sind die Rohre so geschwächt, dass ein zunehmendes Risiko eines Rohrbruchs besteht.
Bild 08
Im Zuge der Planung wurde ein Variantenvergleich in Bezug auf die Bauweise der Erneuerung durchgeführt. Dabei wurden folgende Möglichkeiten betrachtet:

- Rohrrelining mit Stahlrohren DN 600
- Rohrrelining mit PE-Rohren da 630
- Neubau in vorhandener Trasse mit Stahlrohren DN 800und Schweißverbindungen
- Neubau in vorhandener Trasse mit duktilen Gussrohren DN 800 und Steckmuffen

Die Variante Rohrrelining mit Stahlrohren war im Grunde eine wirtschaftliche Möglichkeit, obwohl hydraulisch gesehen eher kritisch zu betrachten. Die vorhandene Trassenlage war sehr kurvig, und es bestand bei dieser Variante ein hohes Nachtragsrisiko durch unvorhersehbaren Tiefbau in Kurvenlagen.
Bei der Variante Rohrrelining mit PE-Rohren da 630 war das Nachtragsrisiko durch unvorhersehbaren Tiefbau eher gering, jedoch aus hydraulischer Sicht war diese Variante sehr grenzwertig.
Aufgrund der hydraulischen Vorgaben wurden die beiden Rohrreling-Varianten wieder verworfen, und die beiden Neubauvarianten genauer betrachtet, auch in Bezug auf deren Wirtschaftlichkeit. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung machte dann die Gussrohr-Variante das Rennen. Durch die Schweißverbindungen der Stahlrohre waren zum einen breitere Baugruben erforderlich, und zum anderen lag ein nicht ganz unerheblicher Unterschied in der Bauzeit zu Grunde.
Der Favorit war nun erst mal die Gussrohr-Variante. Wer jetzt denkt wir haben die Bauvariante für die Trinkwasserleitung fertig, denkt falsch. Gussrohre sind in verschiedenen Variationen erhältlich. Angefangen bei den Verbindungen bis hin zur Umhüllung gibt es bei den jeweiligen

Rohrvarianten noch jede Menge Einsparpotential, bzw. Faktoren die es gilt zu beachten. Folgender Abschnitt ist ein Auszug der Ausschreibung für die nur für die Gussrohre, hieraus lässt sich gut erkennen wo und wie allein bei der Rohrvariante nicht nur Geld, sondern auch Zeit gespart werden kann:

Beispiel: Bewertungskriterien für die Ausschreibung der Trinkwasserrohre
Liefervoraussetzungen:
Während der gesamten Bauzeit für die Trinkwasserleitung DN 800 soll mit 2 Arbeitskolonen gearbeitet werden, dabei wird von einer täglichen Arbeitsleistung mit 12m pro Kolone gerechnet. Daraus ergibt sich rechnerisch eine Arbeitsleistung von 120m pro Woche (siehe auch Anlagen „Bauzeiten_Bauverfahren_HWWDN800GGG_20_05_13“ und „Stu_Baufelder_Bauzeiten_GussrohreDN800_2020_05_13-ÜLP-VF M5.000“. Bedingt durch unvorhersehbare Verzögerungen kann tatsächlich von einer Arbeitsleistung beim Einsatz von 2 Kolonen durchschnittlich mit 90m pro Woche gerechnet werden.
Da ausgewällte Bereiche (z. B. wo Formstücke eingebaut werden) Rohre mit einer zugfesten Verbindung eingesetzt werden, muss hier ein vorgegebener Rahmen von Flexibilität gegeben sein. Wir können diese Bereiche jetzt noch nicht genau vorhersagen, und wollen dem AN auch hier einen gewissen Rahmen von Flexibilität belassen. Um diese Flexibilität zu gewährleisten müssen in der ersten Maiwoche 2021 200m Rohre mit zugfester Verbindung bei den Hamburger Wasserwerken zur Verfügung stehen.
Zusammenfassung Rohrlieferplan:
Eine wöchentliche Lieferung von 90m Rohre muss ab KW 18 2021 über einen Zeitraum von 46 Folge-KW gewährleistet werden.
Ab KW 18 2021 müssen bei den Hamburger Wasserwerken (Lagerplatz) 200m Rohre mit zugfester Verbindung zur Verfügung stehen, weitere rd. 200m müssen in der KW 23, KW 27, und KW 31 2021 zum Lagerplatz der Hamburger Wasserwerken geliefert werden.
Die Formteile müssen ab KW 18 2021 auf dem Lagerplatz der Hamburger Wasserwerke zur Verfügung stehen.
Losaufteilung:
Eine Losaufteilung kann im jetzigen Planungsstadium nicht erfolgen. Es gibt einen Rahmenterminplan (Anlage „BA 01 Elbchaussee Kooperationsprojekt Rahmenterminplan Stand 13_10_20“) der die Bauzeiten in den jeweiligen Bauabschnitten definiert, dem künftigen AN aber nicht zwingend im Detail aufgebürdet wird. Nach jetzigem Planungsstand wird dem AN zwingend der Baubeginn und das Bauende vorgegeben. Ggf. werden dem AN noch weitere Meilensteine bedingt durch noch anzupassende Straßenverkehrssituationen vorgegeben, diese sind jetzt aber noch nicht absehbar.
Eine Losaufteilung kann im jetzigen Planungsstadium auch nicht erfolgen, weil die Abstimmung der einzelnen Baufelder mit den verschiedenen Gewerken (Stromleitungen, Gasleitungen und Straßenbau) dem AN überlassen werden muss.
Rohrumhüllungen:
Nach Abstimmung mit dem Netzbetrieb sollen zwei verschieden Rohrumhüllungen im Zuge der Ausschreibung angeboten werden.
Es wurden deshalb im LV für die Angebotsaufforderung für die Rohre jeweils eine Grundposition und eine Wahlposition den Bietern zur Verfügung gestellt.

In der Grundposition wurde das Gussrohr einer Kunststoffumhüllung (PE/PU) beschrieben, und in der Wahlpostion die Gussrohre mit ZM U beschrieben. Ob PE oder PU wird dabei als gleichwertig betrachtet.
Bewertungskriterien der Rohrumhüllungen
Gussrohre mit Kunsstoffumhüllung (PE/PU)
Der Basispreis für die Bewertung der Rohre ergibt sich aus der Grundposition Gussrohre mit PE/PU Umhüllung (HWW Standard).
Gussrohre mit ZM U
Stichproben einer Bewertung des anstehenden Bodens in der Elbchaussee von Parkstraße bis Mannteufelstraße haben ergeben das bei ZM U Rohren ggf. in größeren Bereichen auf einen Bodenaustausch verzichtet werden kann. Für die Bewertung der Wahlposition Gussrohre mit ZM U kann vom Gesamtpreis wegen teilweise nicht erforderlichem Bodenaustausch und zusätzlichem Muffenschutz rd. 90.000 Euro abgezogen werden.
Diese 90.000 € setzen sich wie folgt zusammen:

Länge Baustrecke:	4.300m
Baugrubenbreite:	1,90m
Höhe Bettungszone:	1,10m
Fläche Bettungszone:	2,09m²
Fläche Rohr:	0,64m²

Gesamtvolumen Bettungszone abzüglich Fläche Rohr: 6.235m³
Für den Bodenaustausch müssen gesamt rd. 6.235m³ vorhandenen, steinhaltigen Boden zum geschätzten m³ Preis von rd. 12,00€/m³ abgefahren werden, ergibt in Summe 74.820 €.
Ebenso müssen gesamt rd. 6.235m³ steinfreier Boden zum geschätzten Preis von rd. 35,00 €/m³ angeliefert werden, ergibt in Summe 218.225 €.
Da die Muffe der ZM U Rohre mit einer Schutzmanschette gesichert werden muss, und dieser Vorgang ca. ½ Stunde Arbeitszeit in Anspruch nimmt, muss hier noch etwas dagegen gerechnet, bzw. in Abzug gebracht werden. Ausgegangen von einem Arbeitszeitwert von 200,00 €/h (einschl. Maschinen und Fachkräfte) multipliziert mit der Gesamtzahl der Rohre bzw. Muffenverbindungen (bei 7,00m Länge – 614 Rohre) ergibt sich daraus ein Wert von rd. 61.000 €.
Zusammenstellung Ergebnis:

Einsparung Bodenabfuhr:	74.820 €
Einsparung Bodenlieferung:	218.225€
Zwischensumme:	293.045€
Abzüglich Ungewissheit Bodenaustausch 50%:	-146.522€
Zwischenergebnis:	146.522€
Abzüglich Muffenschutz:	-61.000€
Endergebnis:	**85.522€**

Da davon ausgegangen werden kann das auf einen Bodenaustausch über 50% verzichtet werden kann, sollten die Kosten für 50% Bodenaustausch in die Bewertung der ZN U Rohre berücksichtigt werden.
Daraus resultiert dann folgendes Ergebnis:
Einsparung Bodenaustausch 50% ist gerundet 90.000€

Bewertungskriterien unterschiedliche Rohrlängen

Grundlage der Planung waren Einzelrohrlängen von rd. 7,00m. Bei einer gesamten Rohrlänge von rd. 4.300m werden bei 7,00m Rohren rd. 615 Rohre verlegt.

Bei der Einzelrohrlänge von 6,00m werden rd. 716 Rohre verlegt. Für das einheben der Rohre (unabhängig von der Rohrlänge) in die Baugrube einschließlich Transport von der Lagerfläche auf der Baustelle zur Baugrube, sowie das Zusammenfügen der Rohre einschließlich Muffenschutz, wird ca. 1 Stunde benötigt.

Bei der Differenz von einer Mehrmenge von 101 Rohren die bei der Verwendung von 6,00m Längen verlegt werden, muss mit Mehrkosten von **rd. 20.200 €** gerechnet werden. Für die Berechnung wurde ein Arbeitszeitwert von 200,00 €/h (einschl. Maschinen und Fachkräfte) zu Grunde gelegt.

Am Ende fiel die Wahl auf die duktilen Gussrohre mit Faserzementmörtel-Umhüllung, da bei diesen Rohren das Einsparpotential beim Bodenaustausch höchsten war.



7 Trinkwassertransportleitung - Wichtige Unterlagen die unerlässlich für die Ausschreibung sind

Um ein seriöses und unmissverständlich zu bewertendes Angebot bei der Ausschreibung für die Trinkwassertransportleitung zu bekommen, sollte der Ausschreibung ein detaillierter Rohrverlegeplan beigefügt werden. Für das Fachlos Trinkwasser haben wir beim Projekt Elbchaussee diesen Plan auf Basis eines digitalen Geländemodells erstellt. Dabei wurden die neuen Rohre maßstabsgerecht mit original Maßen in die vorhandene Trasse konstruiert. Hier wurden dann auch die möglichen Abwickelungen der Gussrohre berücksichtigt, und entsprechende Formstücke dort platziert wo es erforderlich war. Leider stellte sich bei der Herstellung nach wenigen hundert Metern heraus das die Dokumentation der alten Trasse nicht in allen Bereichen mit der Realität übereinstimmte. Bei Leitungen die vor über 100 Jahren verlegt wurden ist so etwas schon möglich. Da es bei so alten Leitungen auch nicht möglich ist die Lage korrekt durch elektronische Messungen zu ermitteln, und dadurch das die Leitung erst kurz vor Baubeginn außer Betrieb genommen werden kann, ist es aus hygienischen Gründen auch nicht möglich diese mit einer Kamera zu befahren um dadurch die Lage zu ermitteln. Um aber bei den restlichen ca. 3.000m Wasserleitung nicht weitere Überraschungen bezüglich der Lage zu erfahren, haben wir dann die Lage der still gelegten Leitung mittels Kreiselkompass ermittelt. Mit den dadurch gewonnenen Daten wurde unser Rohrverlegeplan überarbeitet und die Rohrverlegung einschl. Tiefbau konnte somit für den weiteren Bauverlauf verbindlich und sicher geplant und durchgeführt werden.
Man könnte über jeden einzelnen Planungsvorgang bei so einem großen Kooperationsprojekt dicke Bücher füllen, für die Trinkwasserleitung soll hier aber erst mal Schluss sein. Vielleicht ist es für den Leser nicht ganz unwichtig zu erfahren das die insgesamt 4,3 Kilometer lange Trinkwassertransportleitung bereits im Oktober 2022 fertig gestellt wurde. Die Bauzeit betrug 17 Monate, exakt die Bauzeit die auch bei der Planung im Rahmenterminplan festgelegt wurde.

8 Gas, Strom Telekomunikation und Co.

Jeder Leitungsbauer kennt das Problem mit den Leitungen in den Nebenflächen. Die Betreiber möchten auf ihren Anspruch, dass ihre Leitung in der Nebenfläche verbleiben, nicht verzichten. Parallele Arbeiten sind somit oft nicht oder sehr schwer möglich, weil erst z. B. eine neue Stromleitung verlegt und komplett angeschlossen werden muss, bevor dann ggf. die Telekomunikationsleitungen verlegt werden können. Leider gibt es heute aber mittlerweile so viel Leitungen in den Nebenflächen das dieser Anspruch in vielen Fällen nicht mehr haltbar ist. Um in Zukunft schneller und wirtschaftlicher bauen zu können sollte man sich hierfür alternative Regelungen einfallen lassen, ggf. muss ein Teil des Straßenraumes auch für Kabel und Gasleitungen offiziell in Betracht gezogen werden können. Vielleicht wären auch Medienkanäle in den Nebenflächen für Strom und Telekom eine Alternative zu unzähligen Kabelleerrohren.



9 Resümee

Durch die kooperativen Bauleistungen sorgt die INFRACREW HAMBURG für viele Synergieeffekte, zum Beispiel hinsichtlich des zeitlichen und des kostentechnischen Aufwands. Dabei dürfen nicht nur die Kosten für Material und Bauleistungen berücksichtigt werden. Auch die indirekten Kosten in Folge von volkswirtschaftlichen Belastungen müssen berücksichtigt werden. Gemeinsam genutzte Leistungen, wie das Verkehrskonzept und die Verkehrslenkung werden gemeinsam getragen. Außerdem muss die Baustelle für alle Gewerke nur einmal eingerichtet und nach Beendigung auch nur einmal wieder abgebaut werden. Diese gesamten Abläufe werden

von einem gemeinsam beauftragten Generalunternehmer durchgeführt. Das bedeutet, die lokale Infrastruktur wird kostengünstiger und in kürzester Zeit in vielerlei Hinsicht fit für die Zukunft gemacht. Und das bedeutet weniger Belastungen und Einschränkungen für die Bürgerinnen und Bürger Hamburgs.

Der Baubeginn der Kooperationsmaßnahme Elbchaussee 1. BA war im Mai 2021. Im Zuge der Planung wurde ein detaillierter Rahmenterminplan aufgestellt, dessen Prognose für das Bauende bei April 2024 lag. Heute, nach rd. 1,5 Jahren Bauzeit können wir die verbindliche Aussage treffen das wir das prognostizierte Bauende April 2024 einhalten werden.

Autor:

Großprojektleitung
Roland Stutzki
HAMBURG WASSER,
Hamburg

Tel.: 040-7888 81633
E-Mail:
roland.stutzki@hamburgwasser.de
Internet:
www.hamburgwasser.de



Hydraulische Bewertung von Entwässerungssystemen im Kontext eines kommunalen Starkregenrisiko-managements

Neufassung des DWA-Arbeitsblattes A 118

Von Klaus Krieger

1 Einleitung

Mit der Neufassung des DWA-Arbeitsblattes A 118 wird das deutsche Regelwerk für die Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen an die aktuellen technischen und normativen Rahmenbedingungen angepasst. Dabei wird entsprechend DIN EN 752 eine an den potenziellen Auswirkungen von Systemüberlastungen durch Starkregen ausgerichtete Klassifizierung von Schutzkategorien zugrunde gelegt, welche eine zielgerichtete Festlegung der Anforderungen an Entwässerungssysteme hinsichtlich der Aspekte Überstau- und Überflutungshäufigkeit gewährleistet.

Wesentliche inhaltliche Anpassungen des Arbeitsblattes erfolgten zuletzt 1999. Aufgrund der in den letzten zwei Jahrzehnten erfolgten Weiterentwicklungen des Normen- und Regelwerkes, der technologischen Möglichkeiten sowie der Rahmenbedingungen für die Entwässerungsplanung wurde eine grundlegende Überarbeitung erforderlich. Anpassungsbedarf bestand dabei insbesondere hinsichtlich der hydraulischen Bewertung von Entwässerungssystemen für Regen- und Mischwasser im Kontext eines kommunalen Starkregenrisikomanagements (Schmitt, 2011) unter Berücksichtigung der überarbeiteten Euronorm DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement“ (2017) sowie des DWA-Merkblatts M 119 „Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen“ (2016).

2 Grundsätze zur hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungs-systemen

Die Aufrechterhaltung hygienischer Verhältnisse sowie die weitgehende Vermeidung von Überflutungsschäden sind maßgebliche Zielsetzungen für die Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen. Zentrales Anliegen der Neufassung des Arbeitsblattes A 118 war daher die Überarbeitung der Kriterien für einen hinreichenden Schutz vor Überflutungen in Abhängigkeit vom anzustrebenden Schutzniveau anhand von Überstau- und Überflutungshäufigkeiten.

Entwässerungssysteme für Regen- und Mischwasser leisten im Regelfall auch bei Niederschlagsintensitäten oberhalb der vorgegebenen Bemessungsansätze einen wesentlichen Beitrag zur Minderung von starkregenbedingten Überflutungen und damit verbundenen Schäden. Die Anforderungen an den Überflutungsschutz können bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen jedoch oftmals nicht alleine durch das kanalgebundene Entwässerungssystem,

sondern nur unter zusätzlicher Berücksichtigung von Speicher- und Ableitungskapazitäten an der Oberfläche sowie Maßnahmen des Objektschutzes erfüllt werden (Abbildung 1).

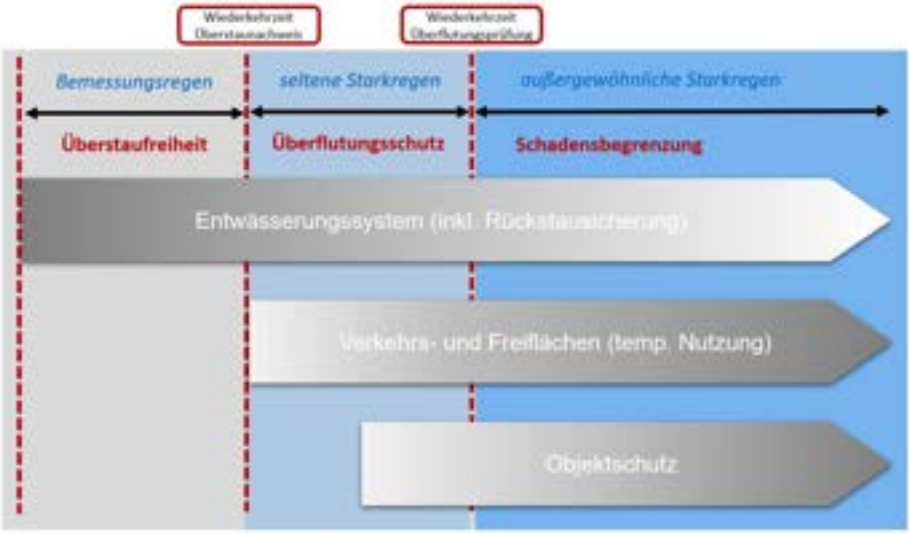


Abbildung 1: Elemente der kommunalen Überflutungsvorsorge (DWA, 2022)

3 Belastungsgrößen

Das Arbeitsblatt A 118 gibt Ansätze für die Ermittlung der relevanten Belastungsgrößen Schmutzwasser-, Fremdwasser- und Regenwasserabfluss vor. Die Niederschlagsintensität als wesentliche Belastungsgröße für die Überstau- und Überflutungsbetrachtung bei Regen- und Mischentwässerungssystemen kann dabei anhand von Modellregen entsprechender Wiederkehrzeiten, anhand von gemessenen oder synthetischen Niederschlagsreihen oder anhand von Radarregendaten angesetzt werden.

Eine pauschale Erweiterung von Kanalkapazitäten zur Berücksichtigung möglicher Veränderungen der Niederschlagsbelastungen aufgrund des Klimawandels wird vor dem Hintergrund der bislang unzureichenden Quantifizierbarkeit der Auswirkungen des Klimawandels auf das Niederschlagsgeschehen weiterhin nicht empfohlen. Jedoch sollen bei Neubemessungen und Maßnahmenplanungen im Rahmen von szenarischen Betrachtungen Systemempfindlichkeiten berücksichtigt werden. Dabei wird empfohlen, unter Kosten-Nutzen-Abwägungen Leistungsreserven bei der Maßnahmenplanung vorzuhalten.

4 Hydraulische Berechnung und Nachweisführung

Die Anforderungen an die hydraulische Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen für Regen- und Mischwasser werden abhängig vom anzustrebenden Schutzniveau gegenüber

starkregenbedingten Überflutungen und deren Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch, Umwelt, Versorgung, Wirtschaft und Kultur in vier Schutzkategorien festgelegt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anforderungen an öffentliche Entwässerungssysteme für Regen- und Mischwasser (DWA, 2022)

Schutzkategorie für Mensch, Umwelt, Versorgung, Wirtschaft, Kultur	Auswirkungen auf Flächen und Objekte Zuordnung nach DIN EN 752, Tab. 3	Bereichsklassifizierung Beispielhafte Nutzung	Überstauhäufigkeit 1-mal in „n" Jahren Bestand	Überstauhäufigkeit 1-mal in „n" Jahren Neubau	Überflutungshäufigkeit 1-mal in „n" Jahren
(1) gering	sehr gering	Bereiche, in denen das Wasser überwiegend schadlos und ohne Nutzungseinschränkungen auf der Oberfläche abfließen oder verbleiben kann	1	2	10
	gering	z.B. ländliche Gebiete / Streusiedlungen, Grün- und Freiflächen, Parks			
(2) mäßig	gering bis mittel	Bereiche, in denen Überflutungen geringe bis mittlere Schäden oder Nutzungseinschränkungen verursachen können und die Sicherheit und Gesundheit nicht gefährden	2	3	20
	mittel	z.B. Wohn- und Mischgebiete mit Wohnbebauung und/oder Einzelhandel und Kleingewerbe ohne zu Wohn- oder Gewerbezwecken genutzte Untergeschosse			
(3) stark	mittel bis stark	Bereiche in denen Überflutungen lokal zu größeren Schäden oder Nutzungseinschränkungen führen oder die Sicherheit und Gesundheit potenziell gefährden können,	3	5	30
	stark	z.B. Stadtzentren, Wohngebiete mit zu Wohn- oder Gewerbezwecken genutzten Untergeschossen, Gewerbe-/ Industriegebiete, Verkehrswege und Flächen von besonderer Bedeutung, Tiefgaragen und verkehrstechnisch untergeordnete Straßenunterführungen			
(4) sehr stark	sehr stark	Bereiche in denen Überflutungen zu weitreichenden größeren Schäden oder Nutzungseinschränkungen führen oder die Sicherheit und Gesundheit akut gefährden können,	5	10	50
		z.B. Bereiche mit kritischer Infrastruktur, Tiefbahnhof-Zugänge, oder verkehrstechnisch übergeordnete Infrastrukturen / Tiefgaragen			

Die hydraulische Bewertung der Entwässerungssysteme erfolgt anhand der Kriterien „Überstauhäufigkeit" und „Überflutungshäufigkeit" (Abbildung 2). Die Überstauhäufigkeit stellt ein praxisbewährtes und relativ genau zu berechnendes Kriterium zur Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von kanalgebundenen Entwässerungssystemen dar. Aus der Erfüllung des Überstaukriteriums allein kann jedoch noch kein hinreichender Überflutungsschutz abgeleitet werden. Demgegenüber kann die zulässige Überstauhäufigkeit im Einzelfall geringfügig überschritten werden, wenn aufgezeigt wird, dass das geforderte Schutzniveau hinsichtlich des Überflutungsschutzes erreicht wird.



Abbildung 2: Systemzustände Überlastung, Überstau und Überflutung (Hamburg Wasser, 2012)

Die Überflutungshäufigkeit bezieht sich auf kanalinduzierte Überflutungen sowie Überflutungen aufgrund oberflächiger Zuflüsse unter Berücksichtigung der hydraulischen Kapazitäten des Entwässerungssystems, der Speicher- und Ableitungskapazitäten an der Oberfläche sowie der Ausprägung des vorhandenen Objektschutzes. Unter Überflutung wird dabei abweichend von der Definition in DIN-EN 752 ein Zustand verstanden, bei dem Abwasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten kann und dies zu Schäden oder Nutzungseinschränkungen führen kann.

Die gebräuchlichen Berechnungsverfahren für die Überstau- und Überflutungsprüfungsberechnungen sind umfassend im DWA-Merkblatt M 165-1 „Anforderungen an Niederschlag-Abfluss- und Schmutzfrachtmodelle in der Siedlungsentwässerung“ beschrieben (DWA, 2021). Die Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen für Regen- und Mischwasser erfolgt nach Abbildung 3.



Abbildung 3: Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen (DWA, 2022)

Dabei um fasst die Überprüfung bestehender Systeme den Nachweis der Überstauhäufigkeit nach Tab. 1 und eine generelle Prüfung der Überflutungsrisiken entsprechend der Empfehlungen nach DWA-M 119 mit einer Gefährdungsanalyse als zentralem Bestandteil (Abb. 3, linke Säule). Sie bildet die Grundlage für die Identifizierung des aus Sicht des kommunalen

Überflutungsschutzes bestehenden Handlungsbedarfes und der Priorisierung abzuleitender Maßnahmen. Hieraus sollen weitergehend auch Maßnahmen der Informationsvorsorge z.B. über Starkregengefahrenkarten oder Starkregenhinweiskarten abgeleitet werden (Abbildung 4).



Abbildung 4: Starkregenhinweiskarte für Hamburg (Ausschnitt, BUKEA, 2021)

Die hydraulische Auslegung umzusetzender Maßnahmen erfolgt analog der Sanierungs- und Erschließungsplanung im Rahmen der Neuplanung von Entwässerungssystemen (Abbildung 3, rechte Säule). Sie umfasst die Vorbemessung, den Nachweis der Überstauhäufigkeit und die Prüfung der Überflutungshäufigkeit.

Bei der Prüfung der Überflutungshäufigkeiten ist zu berücksichtigen, dass die damit verbundenen Anforderungen nach Tabelle 1 oftmals nicht alleine durch das kanalgebundene Entwässerungssystem erfüllt werden können. Daher müssen hierbei zusätzlich Speicher- und Ableitungskapazitäten an der Oberfläche sowie Maßnahmen des Objektschutzes berücksichtigt werden. Hierfür ist eine enge Kooperation der kommunalen Maßnahmenträger (u.a. Entwässerungsbetrieb, Straßenbaulastträger, Stadtplanung, Grünflächenämter und Grundeigentümer) bei der Planung, Finanzierung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen von besonderer Relevanz.

5 Literatur

[1] BUKEA (2021): Starkregenhinweiskarte Hamburg, Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft in Kooperation mit Hamburg Wasser, Hamburg, 2021 (https://www.hamburg.de/starkregenhinweiskarte)

[2] DIN (2017): DIN EN 752 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Juli 2017

[3] DWA (2006): Arbeitsblatt A 118 „Bemessung und hydraulischer Nachweis von Entwässerungssystemen“, DWA-Regelwerk, Hennef, März 2006

[4] DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119 „Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen“, DWA-Regelwerk, Hennef, November 2016

[5] DWA (2021): Merkblatt DWA-M 165 „Anforderungen an Niederschlag-Abfluss- und Schmutz-frachtmodelle in der Siedlungsentwässerung“, DWA-Regelwerk, Hennef, 2020

[6] DWA (2022): Arbeitsblatt A 118 „Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen“, Entwurf zur Stellungnahme, DWA-Regelwerk, Hennef, August 2022

[7] Krieger, K. (2021): Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen – Stand der Überarbeitung des Arbeitsblattes DWA-A 118, DWA RegenwasserTage Online, 22.06.2021

[8] Krieger, K. (2021): Planung und hydraulische Überprüfung von öffentlichen Entwässerungssystemen - Werkstattbericht zur Überarbeitung des Arbeitsblattes DWA-A 118, Korrespondenz Abwasser, Abfall (68), Nr. 10, 822-826, 2021

[9] Krieger, K., Fuchs, L. (2022): Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Kanalnetzen: Die neue Richtlinie DWA-A 118, Aqua Urbanica – Grün statt Grau, Zweideln-Glattfelden, Schweiz, 14.-15. November 2022

[10] Schmitt, T.G. (2011): Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen – Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz?, KA Korrespondenz Abwasser (58) Heft 1, Januar 2011, S. 40-49

Autor:

Dipl.-Ing. Klaus Krieger
HAMBURG WASSER
Zweckverband Obere Bille

Tel.: 04154/79559-0
E-Mail:
klaus.krieger@hamburgwaser.de
Internet:
www.hamburgwasser.de
www.zv-obere-bille.de



Notfallvorsorge Stromausfall bei HAMBURG WASSER

RAUTEE#
Resiliente, autarke und umweltfreundliche Trinkwassergrundversorgung durch den Einsatz Erneuerbarer Energien in Hamburg

Von Katarina Seiffert und Jan Gerrit Hobe

1 Einleitung

Die Wasserversorgung der mehr als 2 Mio. Menschen in der Hamburger Metropolregion wird im Normalbetrieb durch 17 Wasserwerke sichergestellt, die sich in vier Versorgungszonen unterschiedlichen Druckniveaus unterteilen. Ein möglicher Ausfall einzelner Wasserwerke kann durch eine erhöhte Abgabemenge in den verbleibenden Wasserwerken kompensiert werden. Im Falle eines Katastrophenszenarios wie einem großflächigen Stromausfall, von dem mehrere oder sämtliche Wasserwerke betroffen sind, ist eine solche Kompensation derzeit nicht möglich.

Vor dem Hintergrund der angespannten Energiesituation sowohl bezüglich der Energiesicherheit als auch der Energiepreise beabsichtigt HAMBURG WASSER sich hinsichtlich der Stromabhängigkeit resilient und zukunftsfähig aufzustellen. Hierzu soll eine stromnetzunabhängige Trinkwassergrundversorgung mit einem möglichst hohen Anteil Erneuerbarer Energien und intelligenten Batteriespeichersystemen realisiert werden. Neben der erhöhten Versorgungssicherheit bei großflächigen Stromausfällen bietet eine hohe Energieeigenerzeugungsquote zudem ökonomische und ökologische Vorteile im Normalbetrieb.



Abbildung 1: Versorgungsgebiet HAMBURG WASSER

2 Konzept

Im Projekt RAUTEE# soll unter Einbeziehung eines möglichst hohen Anteils erneuerbarer Energien eine stromnetzunabhängige leitungsgebundene Trinkwassergrundversorgung in der Hamburger Metropolregion konzipiert werden. Hierzu sollen ausgewählte Wasserwerksstandorte mit Windenergieanlagen, Photovoltaik und Batteriespeichern ausgestattet werden. Ergänzend wird an einzelnen Standorten eine konventionelle Notstromversorgung vorzusehen sein, um das gesamte Versorgungsgebiet abzudecken. Die Trinkwassergrundversorgung ist für den Krisenfall vorgesehen und umfasst eine im Vergleich zum Normalbetrieb um 40% verminderte Abgabemenge. Hinsichtlich der Trinkwasserqualität sollen keine Einschränkungen vorgenommen werden.

Der überwiegende Einsatz regenerativer Energien in dem Notstromkonzept ermöglicht eine hohe Energieeigenerzeugungsquote auch im Normalbetrieb. Dadurch wird der Lösungsansatz nicht nur für den Krisenfall konzipiert, sondern ist darüber hinaus eingebettet in eine systemische Neugestaltung des Normalbetriebs mit dem Ziel Emissionen einzusparen und die Vorhaltung von Ressourcen allein für den Krisenfall zu vermeiden. Zudem wird eine Unabhängigkeit von steigenden Energiepreisen erreicht und das bei konventionellen Notstromkonzepten bestehende Problem des Treibstoffnachschubs entfällt. Im Normalbetrieb kann der Batteriespeicher als ausgleichendes Element zwischen Stromerzeugern und Verbrauchern eingesetzt werden, um eine hohe Eigenerzeugungsquote zu erreichen oder um Abnahmespitzen im Fremdbezug zu vermeiden (Peak Shaving). Im Notstrombetrieb stellt der Batteriespeicher einen sicheren Betrieb auch bei wetterbedingt niedriger oder kurzzeitig ausbleibender regenerativer Energieerzeugung sicher.

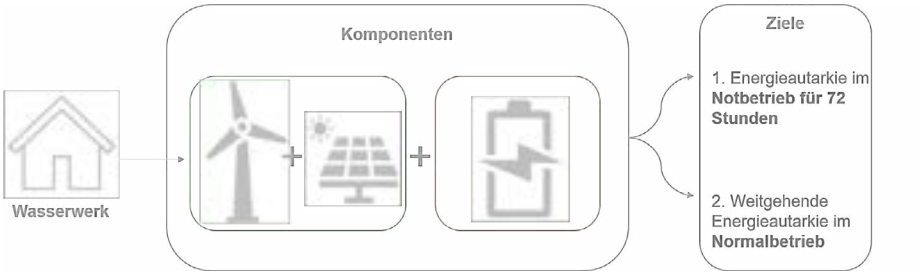
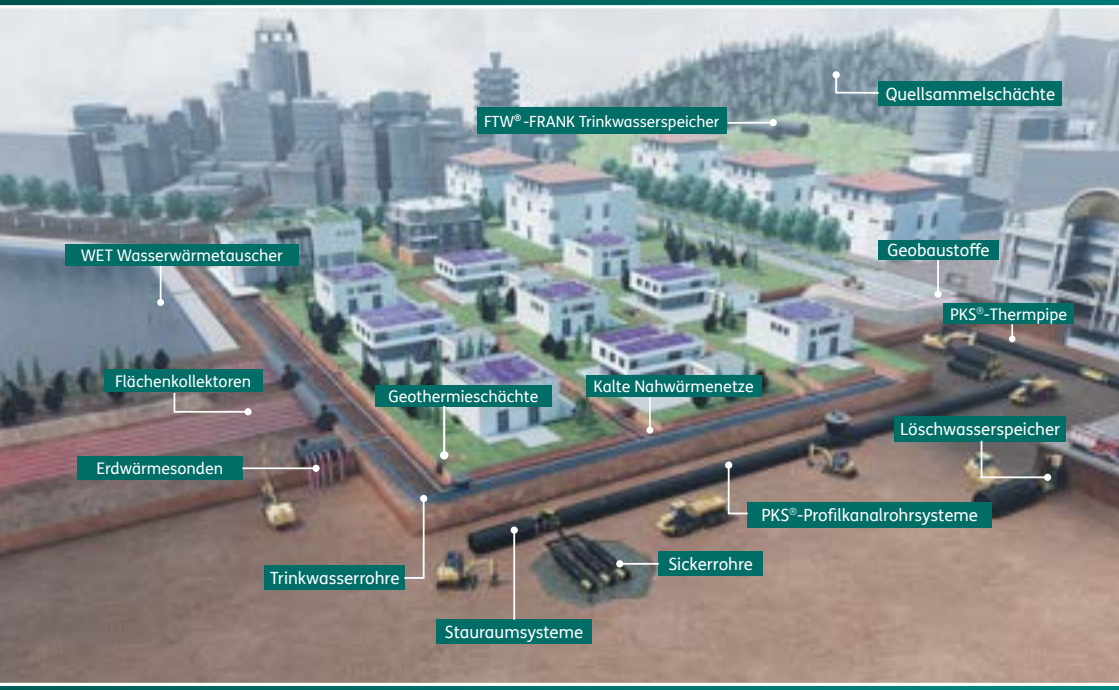


Abbildung 2: Konzept RAUTEE#

Verschiedene Machbarkeitsstudien an einem ausgewählten Pilotstandort mit hohem Erneuerbare-Energien-Potenzial kamen zu einem positiven Ergebnis hinsichtlich der Umsetzbarkeit des Vorhabens. Hierbei standen neben genehmigungsrechtlichen Fragestellungen vor allem die für den Notstrombetrieb optimierte Batteriespeicherauslegung sowie die Inselfähigkeit des Gesamtsystems im Vordergrund. Derzeit wird an der Umsetzung des RAUTEE# Konzeptes am Pilot-

FRANK

Nachhaltige Infrastrukturen aus Kunststoff



Moderne PE-Kunststoffe sind für den Einsatz in technischen Infrastrukturen wie geschaffen. Ihre anwendungsgerechten und umweltfreundlichen Eigenschaften machen sie zur nachhaltigen Alternative zu den herkömmlichen Rohrwerkstoffen, wie z. B. Beton oder Stahl. FRANK PE-Rohrsysteme und -Behälter lassen sich dauerhaft dicht schweißen, sie sind korrosionsfest, chemisch widerstandsfähig und gewährleisten einen extrem langen wartungsarmen Betrieb. Nach einer Nutzungsphase von weit über 100 Jahren können sie mit wenig Aufwand vollständig werkstofflich wiederverwertet werden.

www.frank-gmbh.de

standort gearbeitet. Neben dem Pilotstandort wurden weitere Wasserwerksstandorte identifiziert, auf die das RAUTEE# Konzept nach erfolgreicher Umsetzung des Pilotstandortes übertragen werden kann.

3 Ziele

Durch erfolgreiche Umsetzung des RAUTEE# Konzepts wäre eine stromnetzunabhängige Trinkwassergrundversorgung in der Hamburger Metropolregion jederzeit sichergestellt, ohne hierbei Komponenten und Anlagen allein für das Krisenszenario eines Stromausfalls vorhalten zu müssen.

Mit Blick auf die Umweltentlastung könnten durch die Realisierung des RAUTEE# Konzepts allein am ausgewähltem Pilotstandort ca. 1.500 Tonnen CO_2 jährlich eingespart werden. Durch die für den Batteriespeicher im Normalbetrieb bestehende Flexibilisierungsoption könnten zudem Lastspitzen im Fremdbezug vermieden und das Stromnetz hierdurch entlastet werden.

Die aus der Umsetzung des RAUTEE# Konzeptes resultierende hohe Energieeigenerzeugungsquote würde darüber hinaus die Auswirkungen steigender Energiepreise deutlich reduzieren, wodurch das Vorhaben nennenswert zur Stabilisierung des Wasserpreises beitragen kann.

Autoren:

Katarina Seiffert
HAMBURG WASSER, Hamburg

Tel.: +49 (0)40 7888 42205
E-Mail:
katarina.seiffert@hamburgwasser.de
Internet:
www.hamburgwasser.de



Jan Gerrit Hobe
HAMBURG WASSER, Hamburg

Tel.: +49 (0)40 7888 83129
E-Mail:
jan.gerrit.hobe@hamburwasser.de
Internet:
www.hamburgwasser.de



3
Wasserversorgung in Krisenzeiten

Resilienz der Wasserversorgung – Maßnahmen der Sicherstellung der Wasserversorgung in Notsituationen

Von Axel Frerichs

Einleitung

Die öffentliche Wasserversorgung ist in Deutschland eine zentrale Aufgabe der kommunalen Daseinsvorsorge. Sie ist Teil der kritischen Infrastruktur mit dem Ziel, die gesicherte Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser in einer einwandfreien Qualität, ausreichender Menge und ausreichendem Druck zu gewährleisten. Um sich auf verändernde Rahmenbedingungen und mögliche Risiken einzustellen, ist ein Maß an hoher Anpassungsfähigkeit und Reaktionsfähigkeit gefordert. Die Steigerung der Resilienz und die Ausgestaltung der dafür erforderlichen Maßnahmen der Wasserversorgung kommen in den Fokus und erfordern massive technische, organisatorische und personelle Maßnahmen.

1 Vorstellung des Unternehmens OOWV

Verantwortung und Zukunft innerhalb der Branche der Wasserver- und -entsorgung. Fachleute planen den Ausbau und die Erneuerung von Wasserleitungen und Abwasserkanälen. Konstrukteur*innen entwerfen Anlagen, die in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung benötigt werden. Im Bereich der Trinkwassergewinnung beobachten Geolog*innen und Hydrogeolog*innen die Entwicklung der Grundwasserqualität und Dargebote und arbeiten an Forschungsprojekten. Ingenieur*innen des Unternehmens arbeiten an Projekten der Wasserwiederverwendung – seit 2020 preisgekrönt. In den 15 Wasserwerken, 45 Kläranlagen und 13 Betriebsstellen sorgen Fachkräfte für den reibungslosen Betrieb der Anlagen und Netze. Die Qualität überwachen Expert*innen in unserem Trinkwasserlabor und in unserem Abwasserlabor.



Abbildung 1 – Verbandsgebiet OOWV – Quelle: OOWV

Seit 1948 versorgt der OOWV eine stetig wachsende Kundenzahl zuverlässig mit dem kostbaren Gut Trinkwasser und übernimmt damit eine wichtige Aufgabe in der Daseinsvorsorge. Mehr als eine Million Menschen vertrauen Tag für Tag auf die hohe Qualität des Trinkwassers. So hoch wie der Anspruch an das wichtigste Nahrungsmittel ist, so groß ist die Verantwortung jedes einzelnen Mitarbeitenden. Dies gilt auch für die Entsorgung des Abwassers.

2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

2.1 Anforderungen

Die sich aus dem kommunalen Auftrag der Wasserversorgung ergebenden Ziele und Anforderungen sind im Detail wie folgt formuliert: „Für die öffentliche Wasserversorgung ist im Rahmen der Daseinsvorsorge die sichere Versorgung mit einem Wasser von einwandfreier Beschaffenheit das prioritäre Ziel. Es gilt, mögliche Verfügbarkeitseinschränkungen auf ein angemessenes Maß zur reduzieren. Dafür sind auf das jeweilige Wasserversorgungsgebiet angepasste, resiliente Wasserversorgungssysteme und -strukturen, funktionsfähige Anlagen sowie zuverlässige Betriebsorganisationen auf Dauer vorzuhalten. Dabei sind alle Wertschöpfungsstufen zu berücksichtigen."[1]
Die Herausforderungen für den OOWV sind dabei alleine durch die regionale Ausprägung eines Verbandsgebiets von rd. 7500 km² sowie 15 Wasserwerken und eine Netzlänge von rd. 14.500 km Haupt- und Versorgungsleitungen (Abb. 1) als sehr komplex anzusehen. Hinzu kommt seit 2013 ein weiter steigender Bedarf an Trinkwasser über das Szenario Wachstum Plus auf nunmehr rd. 86 Mio m³/a.



Abbildung 2 - Entwicklung Trinkwasserabgabe – Quelle OOWV

[1] DVGW W 1003 (A) (2022), Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung, Seite 9f

„Grundsätzliche Anforderungen einer einwandfrei funktionierende öffentlichen Wasserversorgung finden sich in Gesetzen, Verordnungen und DVGW-Regelwerk:

- Wasserwirtschaft- und gesundheitsbezogene Anforderungen (Wasserhaushaltsgesetz, Trinkwasserverordnung)
- ästhetische Anforderungen: Trinkwasser ist appetitlich, regt zum Genuss an, ist farblos, klar, kühl sowie geruchlich und geschmacklich einwandfrei (DIN 2000)
- versorgungstechnische Anforderungen: Wasser in der erforderlichen Menge und ausreichendem Druck mit hoher Versorgungssicherheit zur Verfügung gestellt (DVGW W 400-1 (A))
- Substanzerhalt der technischen Anlagen (DVGW W400-3 (A), DVGW W403 ((A))
- personelle und organisatorische Anforderungen (DVGW W 1000 (A))

Die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen sowie die Leistung des Wasserversorgungssystems muss unter den spezifischen Rahmenbedingungen des jeweiligen Gewinnungs- oder Wasserversorgungsgebietes (Strukturmerkmale) erbracht werden.“[2]

2.2 Rahmenbedingungen

2.2.1 Allgemein

Die Strukturmerkmale der Wasserversorgung sind stark geprägt von den spezifischen Rahmenbedingungen innerhalb der Versorgungsgebiete. Regionale und lokale Bedingungen müssen grundsätzlich in beeinflussbar und nicht beeinflussbar unterteilt werden, unterliegen aber in beiden Kategorien grundsätzlich der Veränderung. Bei den veränderlichen Rahmenbedingungen ist ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit gefordert.

2.2.2 Anpassungsbedarf beim OOWV

Die Herausforderungen für den OOWV sind dabei alleine durch die regionale Ausprägung eines Verbandgebiets von rd. 7500 km² sowie 15 Wasserwerken und eine Netzlänge von rd. 14.500 km Haupt- und Versorgungsleitungen (Abb. 1) als sehr komplex anzusehen. Hinzu kommt seit 2013 eine weiterhin steigender Bedarf an Trinkwasser über das Szenario Wachstum Plus auf nunmehr rd. 86 Mio. m³/a. Einhergehend sind damit in weiten Teilen die ausgereizten wasserrechtlichen Genehmigungen für die Förderung von Wasser aus dem Grundwasserkörper und die erforderlichen Asset-Entwicklungen der Wassergewinnung, -aufbereitung, -speicherung und -verteilung.

Die mit dem Klimawandel entstehenden Herausforderungen für den Wasserversorger sind ein weiterer Punkt, der sich aktuell zwar beim OOWV noch nicht maßgeblich auf die Gesamtmenge der Belieferung niederschlägt, sehr wohl aber auf die Differenz zwischen Normallast und Spitzenlastfall.

[2] DVGW W 1003 (A) (2022), Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung, Seite 10

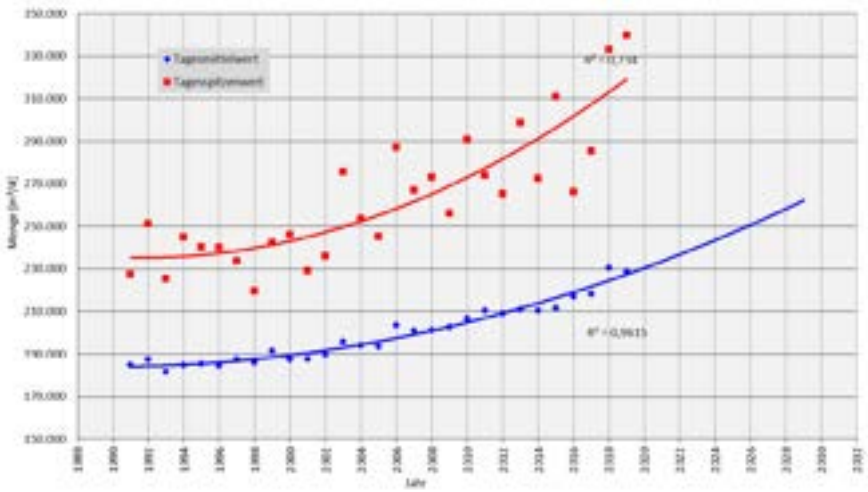


Abbildung 3: Entwicklung Tagesmittel- und Tagesspitzenwerte – Quelle: OOWV

Die heißen Tage sind vom Jahr 2018 bis 2021 im Verbandsgebiet des OOWV stetig mehr geworden. Eine noch nicht qualitätsgesicherte Feststellung ist die Situation um die max. Höhe der Tagesabgabe, die in 2022 trotz langanhaltender Hitze keine Spitzenwerte mehr ergab. Als erste Gründe können die Sensibilisierung und Aufklärung der Kunden im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit sein. Rasen sprengen und Poolbefüllungen wurden in einer Kampagne thematisiert.

	250.000	260.000	270.000	280.000	290.000	300.000	310.000	320.000	330.000	340.000
2003	6	4	2							
2006	16	13	8	2						
2010	16	9	5	3	1					
2018	70	50	39	29	19	11	8	3	2	
2019	58	40	25	17	10	9	5	4	2	1
2020	63	41	27	21	16	10	8	3		
2021	40	17	13	8	4	3	1			
2022	65	37	23	13	4	1				

Abbildung 4: Entwicklung der Spitzenlast seit 2003 (Summe Anzahl Tage mit TW-Abgabe über x m³/d pro Jahr) – Quelle: OOWV

3 Strategien und Managementsysteme

3.1 Strategien

Das Leitbild aus Visionen, strategischen Unternehmenszielen, Werten und Zielvereinbarungen bildet die Grundlage für eine fokussierte Ausrichtung des Unternehmens. Auf dieser Basis entstehen Strategien, Konzepte und Projekte.
Um die erforderlichen mittel- und langfristigen Maßnahmen zur Entwicklung und Anpassung der Assets zu ermitteln, werden umfangreiche Erhebungen und Daten verarbeitet. Diese münden dann in strategische Konzepte. So verfolgt der OOWV mit seinem Wasserversorgungskonzept folgende vier Säulen:

- weiterer bedarfsgerechter Ausbau der Infrastruktur und der Wasserrechte
- alternative Lösungen der Brauchwassernutzung
- Implementierung eines Wasserressourcenmanagements
- Öffentlichkeitsarbeit und Preisstrategie

Bis vor etwa sechs Jahren lag der Fokus auf der ersten Säule, dem weiteren Ausbau. Es wurde maßgeblich nach einer Assetstrategie gearbeitet. Seit einigen Jahren bekommen Projekte der Brauchwassernutzung zur Substitution von Trinkwasser immer mehr Bedeutung. Ebenso ist es ein erklärtes Ziel als Kompetenzzentrum für Wasser, alle Nutzer zum Dialog für gemeinsame Lösungen einzuladen und diesen zu gestalten. Dieses dient um der Nutzungskonkurrenz um die Wasserressource gerecht zu werden. Die Öffentlichkeitsarbeit begleitet viele der vorgenannten Aufgaben, geht aber auch mit eigenen Kampagnen zum Thema Wassersparen, zielgerichteter Einsatz von Wasser, in den Dialog mit den Kunden und begleitet auch eine Preisstrategie, die den sorgsamen Umgang mit Wasser belohnen soll.
Alle vier Säulen des Wasserversorgungskonzepts tragen direkt oder indirekt zur Steigerung der Resilienz der Wasserversorgung bei.

3.2 Managementsysteme

Zur Steuerung der Art und Weise, wie sich Unternehmen in ihren Strukturen und Abläufen organisieren, um reibungslose Abläufe zu gewährleisten und um geplante Ziele zu erreichen, werden eine Vielzahl an Managementsystemen eingesetzt. Branchenspezifisch unterschiedlich ausgeprägt, finden in den Wasserversorgungsunternehmen jedoch meistens folgende Themen eine Berücksichtigung:

- Qualitätsmanagement
- Arbeitsschutzmanagement
- Umweltmanagement
- Energiemanagement
- Sicherheitsmanagement
- Risikomanagement
- Krisenmanagement
- Projektmanagement
- Betriebliches Gesundheitsmanagement

Idealerweise sind diese Managementsysteme in ein Integrierten Managementsystem (IMS) überführt. So können Synergien genutzt und Ressourcen gebündelt werden. Einige sind bereits je nach Einstufung des Unternehmens verpflichtend, Einige werden es in Zukunft werden. Die maßgeblichen Systeme werden regelmäßig durch Audits überprüft und unterliegen inhaltlich einem kontinuierlichem Verbesserungsprozess (KVP).
Die Bedeutung zur Sicherstellung oder Steigerung der Resilienz der Wasserversorgung in den einzelnen Managementsystemen ist sehr unterschiedlich. Besonderes Augenmerk ist aber aktuell auf das Risiko- und Krisenmanagement gerichtet[3]. Im Risikomanagement werden nach Eintrittswahrscheinlichkeit, ermittelter Schadenshöhe und möglicherweise die Verfügbarkeitseinschränkungen die Risiken entsprechend bewertet und mit Maßnahmen zur Minderung des Risikos belegt. Beim Krisenmanagement werden potentielle Szenarien vorgedacht und im Ereignisfall innerhalb einer besonderen Krisenstabsorganisation mit dem Ziel der Bewältigung bearbeitet.

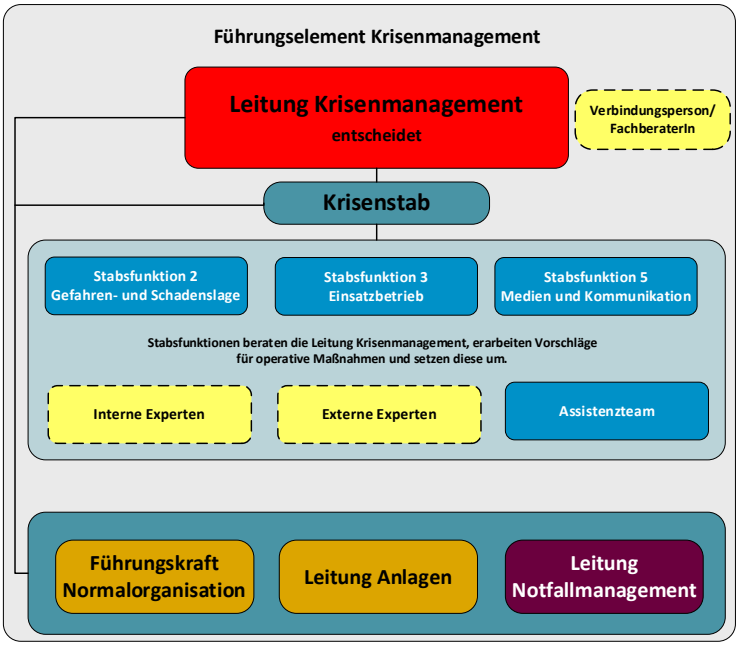


Abbildung 5: Krisenmanagement Aufbauorganisation – Quelle: infraprotect, Wien

[3] DIN EN 15975 Teil 1 und 2, Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitfaden für das Risiko- und Krisenmanagement

4 Maßnahmen zur Stabilisierung der Wasserversorgung

„Auf Basis der rechtlichen Bestimmungen werden im DVGW-Regelwerk insbesondere sicherheitstechnische, hygienische und organisatorische Anforderungen für Planung, Bau und Betrieb und Instandhaltung von Wasserversorgungssystemen definiert.“[4]

Die Kernaspekte der Resilienz gem. Arbeitsblatt DVGW W 1003 (A) sind:

- Auslegung der technischen Struktur mit Ausgestaltung der Anlagenkomponenten anhand der Anforderungen
- Schaffung von angemessenen Redundanzen und Reservekapazitäten
- Minimierung von potentiellen Schadensausmaßen
- Schaffung und Bereitstellung der notwendigen Personal- und Materialressourcen

Die Basis für diese Kernaspekte sind Datenerhebungen und Kennzahlen aus unterschiedlichen Gesichtspunkten heraus. Statistiken aus Störungseinsätzen und Schadensstatistiken, Anlagenauslastungsgrade, Hinweise auf die betriebliche Organisation etc. seien hier nur beispielhaft genannt.
Zur ersten Einschätzung kann die Tab. 5 Bewertungskriterien der Versorgungssicherheit in der Wasserversorgung aus dem Arbeitsblatt DVGW W 1003 (A) genutzt werden. Hier wird je nach Prozessen der Grad der Versorgungssicherheit ermittelt.

5 Fazit

Die öffentliche Wasserversorgung ist eine zentrale Aufgabe der kommunalen Daseinsvorsorge. Sie ist Teil der kritischen Infrastruktur. Die Herausforderungen der Zukunft sind komplexer geworden und unterliegen sich schneller verändernder Rahmenbedingungen und Anforderungen. Die Steigerung der Resilienz der Wasserversorgung ist daher eine wichtige Aufgabe, die ein systematisches Handeln erfordert. Datensammlungen und Erhebungen müssen strukturiert genutzt werden, um über Kennzahlen eine Einschätzung der Ist-Situation zu bekommen. Bereits vorhandene Managementsysteme müssen integriert genutzt werden, um den Prozess optimal zu begleiten. Das Arbeitsblatt DVGW W 1003 (A) bildet dazu einen guten Leitfaden, der auf das jeweilige Unternehmen angepasst werden muss.
Der OOWV arbeitet seit einigen Jahren mit diesen Systemen und verfolgt mit festgelegten Strategien seine Unternehmensziele. Daraus ergeben sich technische, organisatorische und personelle Anforderungen. Aus aktuellem Anlass müssen die Punkte Sicherheit-, Risiko-, und Krisenmanagement vermehrt betrachtet werden.

[4] DVGW W 1003 (A) (2022), Resilienz und Versorgungssicherheit in der öffentlichen Wasserversorgung, Seite 13

Autor:

Axel Frerichs
Stellv. Geschäftsführer
(Technik)
OOWV, Brake

Tel.: +49 (0)4401 916-233
E-Mail:
a.frerichs@oowv.de
Internet:
www.oowv.de



Rechtlicher Rahmen der Wasserversorgung in Notsituationen!

Von Beate Kramer und Anna Alexandra Seuser

Einleitung

Die der Allgemeinheit dienende Wasserversorgung ist in der Bundesrepublik Deutschland eine Aufgabe der Gemeinden. Als Teil der kommunalen Daseinsvorsorge ist diese Aufgabe im Rahmen der Selbstverwaltungsgarantie Art. 28 Abs. 2 GG verankert und genießt einen hohen gesellschaftlichen Stellenwert. Einfachgesetzlich drückt § 50 Abs. 1 WHG im Zusammenspiel mit den Landeswassergesetzen (vgl. § 37 Abs. 2 Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen) diese Einordnung der öffentlichen Wasserversorgung als daseinsvorsorgerelevante Leistung aus. Dies dokumentiert das gesetzgeberische Verständnis darum, dass Trinkwasser ein in besonderem Maße lebensrelevantes Lebensmittel darstellt, aus. Dessen Bereitstellung wird der Wassernutzung zu industriellen oder sonstigen Zwecken vorangestellt.

1 Wasserversorgung im Normalbetrieb

In Normalsituationen, also in Zeiten des Normalbetriebes, wird die der Allgemeinheit dienende Wasserversorgung durch Wasserversorger in öffentlich- und privatrechtlicher Unternehmensform erbracht. Setzt die Gemeinde, welche die Aufgabe der öffentlichen Wasserversorgung als Pflichtaufgabe innehat, diese Aufgabe nicht selbst in öffentlich-rechtlicher Form um, sondern überträgt deren Umsetzung auf ein privat-rechtlich organisiertes Unternehmen, verbleibt die Daseinsvorsorgeaufgabe dennoch weiterhin als Pflichtaufgabe bei der Gemeinde, die deren Erfüllung ggü. dem Bürger gewährleistet. Im Normalbetrieb zeichnet sich das Wasserversorgungsunternehmen dafür verantwortlich eine leitungsgebundene Trinkwasserversorgung der Allgemeinheit sicherzustellen und damit eine Daseinsvorsorgeaufgabe der Gemeinde auszuführen. Hierbei hat das Wasserversorgungsunternehmen rein rechtlich betrachtet neben den Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und des jeweiligen Landeswassergesetzes (LWG) auch die trinkwasserhygienischen Vorgaben der Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (TrinkwV) sowie aufgrund des Verweises in § 4 Abs. 1 Nr. 1, § 17 Abs. 1 TrinkwV die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) zu berücksichtigen. Der Umfang der Pflicht des Wasserversorgungsunternehmens, Trinkwasser bereitzustellen richtet sich nach der jeweiligen Satzung bzw. den Regelungen der Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV) und den bestehenden Sonderverträgen mit Weiterverteilern, Industriekunden und im Hinblick auf Löschwasser.

2 Wasserversorgung in Notsituationen

Auch wenn in der Bundesrepublik Deutschland grundsätzlich nicht von einer Wassermangelsituation gesprochen werden kann, hat die jüngste Vergangenheit die Allgemeinheit dafür sensibilisiert, dass Krisen- und im schlimmsten Falle Katastrophensituationen schnell und unvorhergesehen eintreten können bzw. könnten und dass es in solchen Situationen umso wichtiger ist, sich auf gesicherte Strukturen und funktionierende Versorgungsstrukturen verlassen zu können. Im Bereich der Trinkwasserversorgung ist dies alternativlos.

Benötigt das Wasserversorgungsunternehmen zur Bewältigung der Situation besonderen bzw. zusätzliche Ressourcen oder Mittel, handelt es sich nicht mehr um den sogenannten Normalbetrieb, sondern um eine Notsituation, die sich je nach Ausmaß des auslösenden Ereignisses als Notfall, Krise oder Katastrophenfall einordnen lässt.[1] Die Begriffe Notfall, Krise sowie Katastrophe sind wie folgt einzuordnen:

- Unter einem **Notfall** wird eine Situation mit dem Potenzial für oder mit bereits eingetretenen Schäden an Schutzgütern aufgefasst, die neben Selbsthilfemaßnahmen des Einzelnen staatlich organisierte Hilfeleistung erforderlich machen kann (z.B Versorgungsunterbrechungen für einen Ort/Ortsteil).
- Bei einer **Krise** handelt es sich nach dem Glossar des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) bzw. der landesrechtlichen Regelungen [2] demgegenüber um eine vom Normalzustand abweichende Situation mit dem Potenzial für oder mit bereits eingetretenen Schäden an Schutzgütern, die mit der normalen Aufbau- und Ablauforganisation nicht mehr bewältigt werden kann, so dass eine besondere Aufbauorganisation (BAO) erforderlich ist (z.B. Überschreitung der Grenzwerte der TrinkwV mit Gesundheitsgefährdung).
- Unter einer **Katastrophe** soll schließlich nach dem Glossar des BBK (ganz allgemein) ein Geschehen zu verstehen sein, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder die natürlichen Lebensgrundlagen oder bedeutende Sachwerte in so ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden, dass die Gefahr nur abgewehrt oder die Störung nur unterbunden und beseitigt werden kann, wenn die im Katastrophenschutz mitwirkenden Behörden, Organisationen und Einrichtungen unter einheitlicher Führung und Leitung durch die Katastrophenschutzbehörde zur Gefahrenabwehr tätig werden (z. B. großflächiger Ausfall oder Unterbrechung der Trinkwasserversorgung / große Anzahl an betroffenen Personen).

In solchen Notsituationen, deren Bewältigung mit den normalen Ablauf- und Aufbauorganisationen des Wasserversorgungsunternehmens (im Normalbetrieb) nicht realisierbar ist, ergibt sich auch eine Anpassung der Zuständig- und Verantwortlichkeiten. Im Normalbetrieb bleibt auch bei „normalen“ Versorgungsstörungen (z. B. Leitungsschaden) die

[1] DIN EN 15975-1, Sicherheit Der Trinkwasserversorgung - Leitlinien Für Das Risiko- Und Krisenmanagement, 2016.
[2] Die Definition der Katastrophen kann entsprechend landesrechtlicher Regelungen abweichend gefasst sein, s. DIN 13050:2015- 04 (Begriffe im Rettungswesen).

Zuständigkeit des Wasserversorgungsunternehmens für die Sicherstellung und damit die Wiederherstellung der öffentlichen Wasserversorgung fortbestehen. Damit sind bei dem Wasserversorgungsunternehmen Entscheidungen bezüglich der weiteren Gewährleistung der öffentlichen Wasserversorgung als Normalversorgung (unter Einhaltung der trinkwasserhygienischen Anforderungen (Grenzwerte) der TrinkwV und der a.a.R.d.T.) zu treffen. Im Notfall und in einer Krise, wenn die erforderliche Wassermenge nicht bzw. nicht mehr unter Einhaltung der Grenzwerte der TrinkwV durch die Gemeinde oder das Wasserversorgungsunternehmen bereitgestellt werden kann (Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung), treten – je nach Schwere und Reichweite des Ereignisses – das Gesundheitsamt, die Katastrophenschutzeinheiten, das Technische Hilfswerk, die Feuerwehr und gegebenenfalls private Dienstleister als zusätzliche Akteure auf den Plan. In derartigen Situationen greift die sog. Ersatzwasserversorgung ein. Eine Ersatzwasserversorgung stellt gemäß DIN 2001-3 (2015) eine zeitlich begrenzte Bereitstellung von Trinkwasser, das der TrinkwV entspricht, bei Unterbrechung des Normalbetriebs dar. Diese Versorgung erfolgt jedoch mit anderen Ressourcen als im Normalbetrieb. Somit kann für die Versorgung z. B. Wasser aus Notbrunnen eingesetzt werden, welches vor Ort zu Trinkwasser aufbereitet und an die Verbrauchenden leitungsgebunden oder -ungebunden abgegeben wird. Im Falle einer Ersatzversorgung handelt es sich weiterhin um einen Bereich der Daseinsvorsorge, sodass die Vorgaben und Zuständigkeiten gemäß der TrinkwV, des WHG und der Landeswassergesetze gelten. Zudem sind die Katastrophenschutzgesetze der Länder, das Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG) sowie das Wassersicherstellungsgesetz (WasSiG) zu berücksichtigen. [3] Hier entscheidet das Gesundheitsamt, ob die Gesundheit der betroffenen Verbraucher gefährdet ist und ob eine Anordnung zur leitungsgebundenen oder zur leitungsungebundenen Ersatzversorgung ergehen muss. Kann die leitungsgebundene Wasserversorgung vom Wasserversorgungsunternehmen nicht aufrechterhalten werden und das Gesundheitsamt ordnet eine leitungsungebundene Wasserversorgung an, liegt die Verantwortung für die Wasserversorgung als Aufgabe der Daseinsvorsorge bei der Kommune. Die Kommune hat anhand der örtlichen Gegebenheiten zu überprüfen, welche Versorgungsarten für die Ersatzwasserversorgung in Frage kommen und welche Ressourcen hierfür benötigt werden. Grundsätzlich soll aber die leitungsgebundene Wasserversorgung so lange wie möglich aufrechterhalten werden. Dem Wasserversorgungsunternehmen stehen bei der Aufrechterhaltung der leitungsgebundenen Wasserversorgung verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, um diese auch im Falle von Abweichungen, aufrechtzuerhalten. Die Maßnahmen unterscheiden sich nach der Art und Herkunft einer Beeinträchtigung und sollten in einem Handlungsplan (gemäß DVGW W 1020) beschrieben und festgelegt werden. Die Maßnahmen zur Umstellung auf eine Ersatzwasserversorgung sind dabei im Maßnahmenplan gemäß § 16 Absatz 5 TrinkwV festzulegen.[4] Kann das Wasserversorgungsunternehmen die leitungsgebundene Ersatzversorgung nicht erbringen, so kann die Gefahrenabwehr bzw. der Katastrophenschutz der Kreise oder kreisfreien Städte Unterstützung leisten z.B. durch die Bereitstellung von Ressourcen zur Ersatzwasserversorgung (Wassertransportfahrzeuge,

[3] Siehe hierzu auch Broß, Wasserversorgung in Notsituationen, Universität der Bundeswehr München, 2020, S. 34 f.
[4] Siehe Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophensicherheit, Sicherheit der Trinkwasserversorgung, Teil 2: Notfallvorsorgeplanung, Band 15, September 2019.

abgepacktes Trinkwasser, etc.).[5] Im Katastrophenfall, in dem eine große Anzahl von Personen durch den großflächigen Ausfall oder die großflächige Unterbrechung der Trinkwasserversorgung betroffen ist, verlagert sich die Entscheidungszuständigkeit in die Hände des behördlichen Krisenstabes bei den für das Wasserversorgungsunternehmen zuständigen Verwaltungsbehörden, der sodann die Entscheidung über eine leitungsgebundene oder -ungebundene Ersatz- oder Notversorgung fällt und sich dabei rein rechtlich (auch) auf der Grundlage des Katastrophenschutzgesetzes bewegt.[6] Auch hier treten die zuvor genannten zusätzlichen Akteure (KatS-Einheiten usw.) auf den Plan.

Um solchen Notsituationen bestmöglich begegnen zu können, sind die Kommunen und Länder angehalten, Notfallvorsorgekonzepte zu erarbeiten. Die Notfallvorsorge als Gesamtheit aller Planungen für die Ersatz- und Notwasserversorgung umfasst zahlreiche Aspekte, die bei einer Unterbrechung des Normalbetriebs Berücksichtigung finden und die Resilienz von Wasserversorgungssystemen erhöhen. Zur Beurteilung des Status Quo der Notfallvorsorgeplanung wird ein Bewertungssystem benötigt, dass die präventiven Maßnahmen, die Festlegung von Ressourcen und Verantwortlichkeiten sowie die Planungen für das Krisenmanagement umfasst.[7]

3 Wasserversorgung im Verteidigungsfall

Die Wasserversorgung im Verteidigungsfall ist gesondert im sogenannten Wassersicherstellungsgesetz (WasSiG) geregelt und stellt eine Maßnahme des Bevölkerungsschutzes dar. Aufgabe der Trinkwassernotversorgung nach Wassersicherstellungsgesetz (WasSiG) ist die Gewährleistung einer Grundversorgung der Bevölkerung in Deutschland mit überlebensnotwendigem Trinkwasser im Verteidigungsfall. Die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Notzeiten ist die Aufgabe des BBK. Unterstützt wird das Amt vor Ort von den Kommunen (§ 16 WasSiG) und dem Technischen Hilfswerk (THW, § 1, 2 THWG). Abweichende Szenarien neben dem Verteidigungsfall regelt das WasSiG in seiner derzeitigen Form nicht, was speziell im Lichte des Klimawandels unter Fachleuten einen heftig diskutierten Kritikpunkt darstellt. Basierend auf dem WasSiG gelten die erste und die zweite Wassersicherstellungsverordnung zur Sicherstellung des lebensnotwendigen Bedarfs an Trink-, Betriebs- und Löschwasser (1./2. WasSV). In der Verordnung sind außerdem vorbeugende Maßnahmen für den Not- und Katastrophenfall festgelegt. Für den Fall, dass es zu einem Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung im Verteidigungsfall kommt, erfolgt die dann umgesetzte Ersatz- oder Notversorgung basierend auf autarken Brunnen, Transportbehältern, Verbundleitungen und mobiler Ausstattung. Die vorgesehene Wassermenge pro Person und Tag beträgt ausweislich der 1. WasSV dabei 15 Liter. Die derzeit vorhandene installierte Versorgungskapazität durch Brunnen und Verbundleitungen reicht für die gleichzeitige Versorgung von ca. 30 % der Gesamtbevölkerung, wenn der jeweilige Bedarf

[5] Siehe Fn. 4, S. 19.
[6] Verantwortlichkeiten abhängig vom Ausmaß der Notsituation gemäß DIN 2001-1 (2019), TrinkwV und ZSKG.
[7] Siehe Broß, Wasserversorgung in Notsituationen, Universität der Bundeswehr München, 2020, S. 20.

gemäß 1. WasSV pro Person (ohne Sonderbedarfe) zu Grunde gelegt wird. [8] Darüber hinaus muss Trinkwasser für Krankenhäuser und andere vergleichbare Einrichtungen, Betriebswasser für überlebenswichtige Betriebe, eine Löschwasserversorgung sowie auch Wasser für Nutztiere bereitgestellt werden. [9] Im Zivilschutzfall greifen – abweichend von der Trinkwasserverordnung – die Vorschriften des Wassersicherstellungsgesetzes mit teilweise herabgesetzten Qualitätsanforderungen. Mit den sogenannten „Qualitätsstandards für die Anlagen der Trinkwassernotversorgung“ hat der Bund Richtwerte für die Wasserqualität festgelegt, die für eine Versorgungdauer von bis zu 30 Tagen ausgelegt sind. Die Anlagen der Trinkwassernotversorgung, wie z.B. mobile Trinkwasserkomponenten oder die Bundesnotbrunnen können grundsätzlich auch außerhalb des Zivilschutzfalles eingesetzt werden. Die dabei zu berücksichtigende TrinkwV erfordert die Entscheidung des zuständigen Gesundheitsamtes, ob und mit welchen Auflagen Wasser aus Notbrunnen oder anderen Quellen über welchen Zeitraum verwendet werden darf.[10] Neben WasSiG und 1./2. WasSV gelten im Verteidigungsfalle auch die Regelungen des ZSKG.

Ausweislich § 2 Abs. 1 Nr. 1, 2 WasSiG können zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung im Verteidigungsfalle die Inhaber von Wasserversorgungsanlagen zur Erhaltung dieser Anlagen und zum Bau und Umbau von Brunnen, Wasserbehältern, Verbundleitungen, Umgehungsleitungen und Pumpanlagen sowie von ähnlichen Anlagen verpflichtet werden, soweit dies als Vorsorge für den Verteidigungsfall neben den vorhandenen Anlagen und Einrichtungen und neben den unabhängig von Verteidigungszwecken zu treffenden Maßnahmen erforderlich ist. Nach § 10 Abs. 1 WasSiG erhält der Leistungspflichtige Ersatz der Aufwendungen für die Durchführung von Maßnahmen, zu denen er verpflichtet ist. Den Aufwendungsersatz leistet die zuständige Behörde für Rechnung des Bundes. Nach § 9 Abs. 1 WasSiG haben die Leistungspflichtigen die Anlagen, zu deren Bau, Umbau oder Erhaltung sie nach § 2 WasSiG verpflichtet wurden, ordnungsgemäß zu warten und betriebsfähig zu halten. Nach § 9 Abs. 2 WasSiG hat der Inhaber einer solchen Anlage, der die Anlage wesentlich ändern will, dies der zuständigen Behörde unter Beifügung der zur Beurteilung erforderlichen Unterlagen anzuzeigen. Die zuständige Behörde kann die Änderung untersagen, wenn dadurch der Zweck der Trinkwassersicherstellung im Verteidigungsfall gefährdet wird. Nach § 10 Abs. 2 WasSiG werden die Kosten der Instandhaltung nach § 9 Abs. 1 WasSiG nur ersetzt, soweit dies zum Ausgleich oder zur Abwendung unbilliger Härten geboten erscheint.

Zu Planung, Neubau, Herrichtung, Wartung, Betrieb und Verwaltung von Anlagen zur Trinkwasser-Notversorgung sind vom Bund mit dem „Regelwerk für Maßnahmen zur Sicherstellung der Trinkwasser-Notversorgung nach dem Wassersicherstellungsgesetz“ (RW WasSG) und den „Ausführungsbestimmungen des Bundes zur Ausführung des Wassersicherstellungsgesetzes“ (WasSG AB) zahlreiche Vorgaben entwickelt worden. Das BBK nimmt für den Bund heute die Aufsichtsfunktion zur Umsetzung des

[8] Siehe Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Rahmenkonzept der Trinkwassernotversorgung, Fassung v. 22.02.22, S. 5.
[9] Siehe https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/Sektoren-Branchen/Wasser/Wassersicherstellung/wassersicherstellung_node.html.
[10] Siehe Fn. 6.

Wassersicherstellungsgesetzes wahr. Die genannten Vorgaben werden im Zuge der Bundesauftragsverwaltung von den Ländern und von den für die Brunnen verantwortlichen Stellen beachtet und ausgeführt. Im Einzelfall können objektbezogene Sonderregelungen getroffen werden. Für die Ausführung von Arbeiten an den Brunnen werden bei den Kommunen zudem die einschlägigen DVGW Arbeitsblätter zugrunde gelegt. Während die Kosten für die Planung von Brunnen sowie deren dauerhafte Wartung nach dem Wassersicherstellungsgesetz den Ländern obliegen, übernimmt der Bund die Sachkosten bei Voruntersuchungen sowie die Investitionen für Brunnenneubau sowie zur Abwicklung von Rückbaumaßnahmen. Darüber hinaus werden vom Bund Ausstattungsgegenstände wie Gruppenzapfstellen, Trinkwasserdesinfektionstabletten und Notstromaggregate zentral beschafft.

Die Vorsorgemaßnahmen können gemäß § 8 WasSiG als zusätzliche Maßnahmen für die Zivilbevölkerung, auch bei friedensmäßigen Extremereignissen eingesetzt werden.[11].

4 Fazit

Angesichts der Vielfältigkeit möglicher Gefährdungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist historisch bedingt eine allein auf den Verteidigungsfall zugeschnittene gesetzliche Regelung einer Notversorgung nach WasSiG unzureichend, um eine lückenlose Versorgung der Bevölkerung mit dem lebensnotwendigen Trinkwasser zu gewährleisten.[12] Eine Unterbrechung oder ein Ausfall der öffentlichen Wasserversorgung sind heute schließlich nicht allein im Fall eines militärischen Angriffs, sondern auch als mögliche Folge klimatisch bedingter Ressourcenknappheit oder durch sonstige Angriffe Dritter auf die mittlerweile hochtechnisierte kritische Versorgungsinfrastruktur denkbar. Bereits im Jahr 2020 wies Manuel Atug, Gründer und Sprecher der unabhängigen Arbeitsgemeinschaft Kritische Infrastrukturen (AG Kritis) auf das schutzlose Ausgeliefertsein kleinerer Wasserversorger gegenüber sogenannten Hacker-Angriffen hin.[13] Die kommunalen kleinen Wasserversorger gelten regelmäßig nicht als kritische Infrastruktur im Sinne von Anhang 2 der Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz. Das am 23. April 2021 im Deutschen Bundestag verabschiedete und am 7. Mai 2021 im Bundesrat gebilligte IT-Sicherheitsgesetz 2.0 und die Korrektur der Schwellenwerte durch die 2. Änderungsverordnung der BSI-Kritisverordnung, die seit dem 01.01.2022 in Kraft ist, haben hier nur wenig Verbesserung geschaffen. Zwar sind nun auch Stauanlagen in den Bereich der Gewinnungsanlagen einbezogen und zählen damit zu Anlagen der kritischen Infrastruktur, der Schwellenwert der Netzeinspeisung liegt jedoch weiterhin bei 22 Mio. m3/Jahr, was die Einstufung kleinerer Versorger als kritische Infrastruktur nicht vereinfacht. Auch dem Gesetzgeber sind die immer präsenter werdenden Gefährdungen aus den Bereichen Klimawandel und IT wohlbekannt. Bereits 2021 äußerte sich das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi) dahingehend, die verfassungsrechtlichen Grundlagen für den Erlass angepasster Regelungen zu schaffen.[14] Seither hat sich allerdings keine Neuerung in dem genannten Spezialgesetz ergeben.

[11] Siehe Fn. 4, S. 19.
[12] Dazu auch Reinhardt, Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung im Notfall, ZUR 2020, 119 ff.
[13] Siehe hierzu auch https://ag.kritis.info/wp-content/uploads/2021/03/Rede-von-Manuel-Atug-der-AG-KRITIS-zum-ITSIG20-v1.0.pdf
[14] 52. Wasserwirtschaftlicher Gesprächskreis des IDEW am 19.05.2021.

Es bleibt abzuwarten, wann die offensichtlich erforderlichen Schritte durch den Gesetzgeber ergriffen werden, damit die Notwendigkeit eines aushilfsweise eigenverantwortlichen Notfallmanagements der zuständigen staatlichen Umwelt-, Gesundheits- und Katastrophenschutzbehörden in Zusammenarbeit mit den kommunalen Versorgern obsolet wird.

Autorinnen:

Beate Kramer
Rechtsanwältin
Becker Büttner Held
Rechtsanwälte Steuerberater
Wirtschaftsprüfer PartGmbB,
Berlin

Tel.: 030 6112840-851
E-Mail: beate.kramer@bbh-online.de
Internet: www.bbh-online.de



Dr. Anna Alexandra Seuser
Rechtsanwältin
Becker Büttner Held
Rechtsanwälte Steuerberater
Wirtschaftsprüfer PartGmbB,
Berlin

Tel.: 030 6112840-35
E-Mail: anna.seuser@bbh-online.de
Internet: www.bbh-online.de



Sichere Wasserversorgung durch integriertes Risikomanagement

Zusammenspiel von Managementsystemen in der Wasserversorgung

Von Lisa Broß, Christoph Euringer, Chris Hetkämper, Alexander Fekete

Einleitung

Die Betreiber der Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) des Sektors Wasser stehen vor zahlreichen und vielfältigen, aktuellen und zukünftigen Herausforderungen zur Sicherstellung ihrer kritischen Dienstleistungen. Die klimatischen Veränderungen können durch Dürreperioden das Wasserdargebot beeinflussen sowie durch Starkregenereignisse und Hochwässer die Wasserqualität verändern. Das Trockenjahr 2022 führte zu Engpässen bei der Wassergewinnung und -speicherung sowie bei der Einhaltung des Mindestversorgungsdrucks und gefährdete in einigen Teilen Deutschlands somit die Versorgungssicherheit. Darüber hinaus können potenziell gefährdende Ereignisse wie z.B. Stromausfälle oder IT-Angriffe die Sicherheit der Trinkwasserversorgung beeinflussen.

„Das zur Sicherstellung einer angemessenen Risikobeherrschung angewendete Verfahren wird als Risikomanagement bezeichnet“ [DIN EN 15975-2 2013]. Den Anlagenbetreibern ermöglicht ein einheitliches, systematisches und prozessorientiertes Risikomanagement die Risiken, die in den Prozessen des Trinkwasserversorgungssystems auftreten können, zu analysieren und miteinander zu vergleichen.

Die Aufrechterhaltung wasserbezogener, aber auch anderer, kritischer Dienstleistungen kann in Krisensituationen oftmals nur unter großer Anstrengung gewährleistet werden. Ein organisationsspezifisches Risikomanagement adressiert bereits die internen Belange einer Einrichtung, lässt dabei jedoch häufig die Abstimmung und Kooperation mit weiteren relevanten Akteur:innen des Risiko- und Krisenmanagements außer Acht, die zur Prävention, aber auch zur Bewältigung von Krisen unerlässlich sind. Die Prävention und Bewältigung dieser vielfältigen Herausforderungen sind nur durch die Zusammenarbeit aller relevanten Akteure möglich.

Das Ziel des integrierten Risikomanagements (IRM) ist es, die Zusammenarbeit der relevanten Akteure zu optimieren und somit insbesondere die Unternehmen der Kritischen Infrastrukturen in der Sicherstellung ihrer Dienstleistungen zu unterstützen [DIN SPEC 91390 2019, Lauwe 2018]. Dabei sollen Schnittstellen in den Risikomanagementprozessen der Akteure erkannt und der Informationsbedarf an diesen Schnittstellen aufgezeigt werden. Somit werden keine neuen Methoden entwickelt, sondern bestehende Managementsysteme enger verzahnt.

Managementsysteme zur kontinuierlichen Verbesserung der Versorgungssicherheit

Managementsysteme stellen aufeinander abgestimmte und miteinander verbundene Elemente, wie z.B. Aufgaben, Pflichten, als System dar, um systematisch die Ziele einer formalen Organisation zu erreichen. Um die Unternehmensprozesse und somit die Versorgungssicherheit fortlaufend wirksam zu verbessern, basieren zahlreiche Managementsystemnormen und -regelwerke auf dem PDCA-Zyklus: von Planen (Plan), Durchführen (Do), Prüfen (Check) und

Handeln (Act). Abbildung 1 zeigt diesen PDCA-Zyklus. Die Umsetzung des IRM erfolgt ebenfalls als kontinuierlicher Verbesserungsprozess durch sich zyklisch wiederholende Tätigkeiten [McLoughlin 1985].

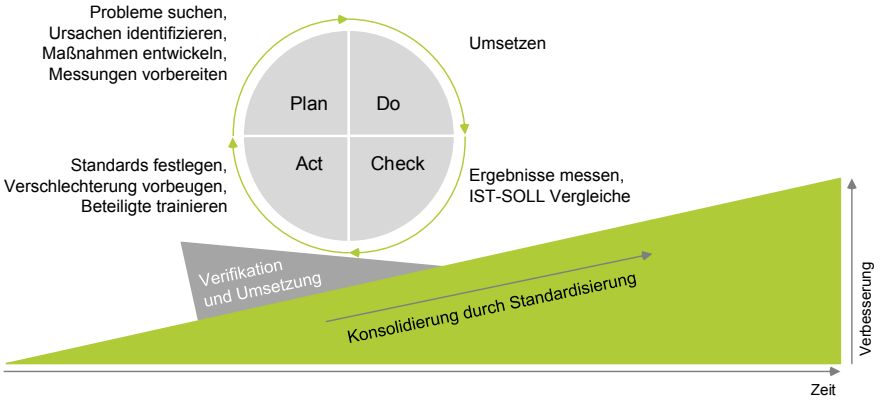


Abbildung 1: PDCA Zyklus

Aufgrund der hohen gesellschaftlichen Bedeutung der sicheren und einwandfreien Wasserversorgung für die Bevölkerung, verlangt die Trinkwasserverordnung (TrinkwV), dass Anlagen für die Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser mindestens nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu bauen und zu betreiben sind. Hierbei wird in rund 300 verschiedenen technischen Regeln erläutert, was in der Trinkwasserversorgung zu beachten ist. Das Risikomanagement im Normalbetrieb wird dabei im Wesentlichen in der DIN EN 15975-2 (2013) dargelegt. Die Sicherheit im Krisenfall ist Bestandteil der DIN EN 15975-1 (2016). Für das Integrierte Risikomanagement der Betreiber Kritischer Infrastrukturen des Sektors Wasser sind zudem das Risiko- und Krisenmanagement nach BMI (2011) und BBK (2016, 2019) relevant, sowie ausgewählte im Bereich des IRM bereits zur Anwendung kommende Maßnahmen, Verfahren und Methoden.

Abbildung 2 zeigt die möglichen Schnittstellen im Integrierten Risikomanagement zwischen Betreibern Kritischer Infrastrukturen und staatlicher sowie kommunaler Stellen. Die Verfahrensabläufe für den Sektor Wasser sind in den genannten DIN-Normen, Regelwerken insb. des DVGW oder Leitfäden des BMI oder BBK aufgezeigt. Für das Risikomanagement der staatlichen und kommunalen Stellen stehen Leitfäden wie bspw. der vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe veröffentlichte Leitfaden zur Erstellung einer Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz zur Verfügung. Zentral in der Abbildung dargestellt sind die Möglichkeiten zur Zusammenarbeit im Risikomanagement. Durch eine gemeinsame Vorplanung können Gefahrenszenarien festgelegt, Schutzziele definiert und Zeitpläne erstellt werden. Die Ergebnisse der organisationsinternen Risikoanalysen sollen geteilt und besprochen werden. Anschließend sollen gemeinsame Maßnahmen beschlossen, geplant und umgesetzt werden.

Ein erfolgreiches Integriertes Risikomanagement erfordert somit die Zusammenarbeit von verschiedenen Akteur:innen, die insbesondere in Abhängigkeit der betrachteten Kritischen Infrastruktur variieren. Durch eine proaktive Zusammenarbeit zwischen Betreibern Kritischer Infrastrukturen (KRITIS), Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) und staatlichen sowie kommunalen Stellen werden Synergieeffekte genutzt, um eine gemeinsame und praxisorientierte Planung sicherzustellen und zukünftige Krisenereignisse vorzubeugen. Hierzu ist jedoch der gezielte und kontinuierliche Austausch von Informationen, Ergebnissen und Erkenntnissen zwischen den Betreibern der Kritischer Infrastrukturen sowie den kommunalen und staatlichen Akteuren erforderlich.

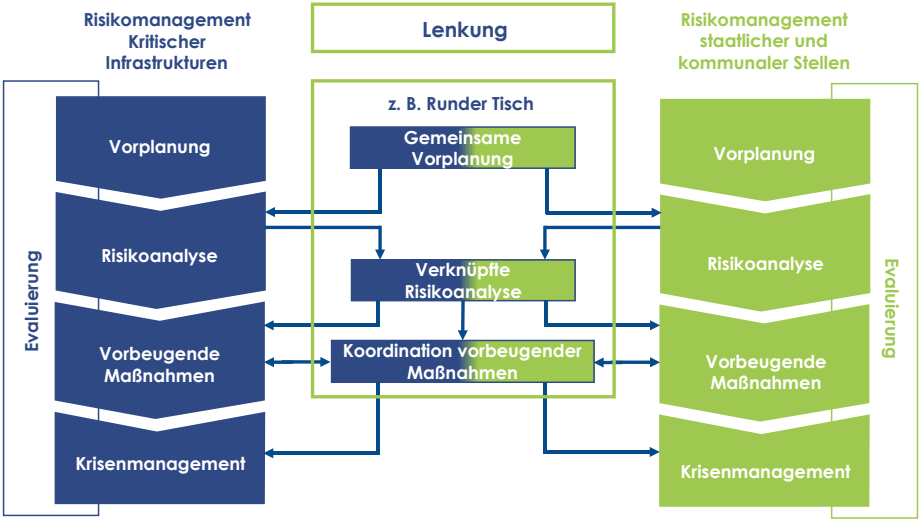


Abbildung 2: Integriertes Risikomanagement zwischen Betreibern Kritischer Infrastrukturen und staatlicher sowie kommunaler Stellen (nach Lauwe 2018)

Diese Arbeit basiert auf Untersuchungen, die im Rahmen des Forschungsprojekts IMPULS (Integriertes Risikomanagement – Push- und Pull-Faktoren der Kritischen Infrastrukturen mit besonderem Fokus auf den Sektor Wasser) mit Förderung des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe durchgeführt wurden. Sie spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung der Förderinstitution wider.

Literaturverzeichnis

BBK (2016) Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil 1: Risikoanalyse. Bd. 15. Praxis im Bevölkerungsschutz. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

BBK (2019) Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Teil 2: Notfallvorsorgeplanung. Bd. 15. Praxis im Bevölkerungsschutz. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

BMI (2011) Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behören. Bundesamt des Innern, für Bau und Heimat.
Bross, L.; Wienand, I.; Krause, S. (2020) Stand der Notfallvorsorgeplanung in der Wasserversorgung in Deutschland. GWF-Wasser Abwasser Nr.9/2020 S.40 – 51
DIN EN 15975-1 (2016) Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitfaden für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil 1: Krisenmanagement
DIN EN 15975-2 (2013) Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitfaden für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil 2: Risikomanagement
DIN SPEC 91390 (2019) Integriertes Risikomanagement im Bevölkerungsschutz
Lauwe, P. (2018) Integriertes Risikomanagement: Ein strategischer Ansatz für eine intensive Zusammenarbeit im Bevölkerungsschutz. BBK Bevölkerungsschutz 3 | 2018 · Integriertes Risikomanagement
McLoughlin (1985) Integrated Emergency Management System (IEMS), FEMA

Autoren:

Dr.-Ing. Lisa Broß
Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz, Bodenheim



E-Mail:
L.Bross@wvr.de
Internet:
www.wvr.de

Christoph Euringer
Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz, Bodenheim



E-Mail:
C.Euringer@wvr.de
Internet:
www.wvr.de

Chris Hetkämper
Technische Hochschule Köln



E-Mail:
Chris.Hetkaemper@th-koeln.de
Internet:
www.th-koeln.de

Prof. Dr. Alexander Fekete
Technische Hochschule Köln



E-Mail:
Alexander.Fekete@th-koeln.de
Internet:
www.th-koeln.de

4
Kritische Infrastrukturen – Belastungen und Katastrophen

Kritische Infrastruktur

Lehren aus der Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal

von Jens Heckenbach

1 Einleitung

Mitte Juli 2021 verursachte das Tief Bernd zwischen dem 12. und 19. Juli in mehreren Regionen Deutschlands schwere Niederschläge. Binnen 24 Stunden, mit Schwerpunkt 14. Juli 2021, fielen mancherorts mehr als 150 Liter Regen pro Quadratmeter. Im Ahrtal entstand durch diese Regenmassen eine Flutwelle, die durch Verklausungen an den zahlreichen Brücken noch vergrößert wurde, die einem 400- bis 500-jährigen Hochwasserereignisses gleichkam.

Diese Flutwelle forderte hier nicht nur in Summe 134 Todesopfer, sondern stürzte auch rund 17.000 Menschen im Kreis Ahrweiler in eine nicht enden wollende Katastrophe. Von den mehr als 3000 beschädigten Gebäuden wurden mindestens 467 komplett zerstört, darunter fast 200 Wohnhäuser.

Der Schaden in der öffentlichen Infrastruktur ist ebenfalls nicht zu unterschätzen. Mehrere Kilometer Straßen wurden komplett zerstört, über 73,9 Kilometer Straßen, Wege und Brücken an der Ahr wurden beschädigt. Entlang der Ahrtalbahn wurden mindestens sieben Eisenbahnbrücken und rund 20 Kilometer Gleis durch Über- und Unterspülungen zerstört. Im Landkreis Ahrweiler wurden insgesamt 62 Brücken zerstört und weitere 13 schwer beschädigt, auch erlitten z.B. 19 Kindertagesstätten und 14 Schulen Beschädigungen bis zum Totalverlust.



Abbildung 1: Bad Neuenahr am 15.07.2022

Daneben waren und sind die Netze zahlreicher Ver- und Entsorger von der Flut betroffen. Etliche Kilometer Gas-, Wasser-, Abwasser-, Strom-, Fernwärme- und Telekommunikationsleitungen waren nach der Flut verschwunden oder nicht mehr nutzbar. Die Grundversorgung war somit schwierig und man lernte hier im Ahrtal den Wert einer funktionierenden Infrastruktur, die fließend Wasser, Strom und Gas liefert, neu zu schätzen. Die Netzbetreiber leisteten in den Monaten nach der Flut bis heute noch Unvorstellbares, damit das Leben hier im Ahrtal wieder normal und lebenswert wird. Es wurden zunächst unendliche Provisorien erstellt, um kurzfristig wieder einer Grundversorgung sicherzustellen. Diese Provisorien werden nun nach und nach ersetzt durch endgültige und nachhaltige Konstruktionen. Weiterhin eine Mammutaufgabe. Die Lehren, die aus dieser Katastrophe für die Netze gezogen werden konnten, fließen hier ein.

Als Planungsbüro, welches in Bad Neuenahr-Ahrweiler unweit der Ahr zu Hause ist, mussten wir selbst unser Heim für eine Zeit des Wiederaufbaus verlassen. Wir durften aber von der ersten Stunde an in spontan gegründeten Infrastrukturrunden unser Wissen als lokale Experten nutzen, um unsere Heimat wieder funktionstüchtig und mit dem Blick auf Morgen auch neu aufzubauen.

Nachfolgend sollen einige unserer gewonnen Erfahrungen die identifizierten Schwachpunkte in den Netzen darstellen, um zu animieren, in vergleichbaren Topografien entsprechende verbeugende Maßnahmen zu ergreifen.

2 Die Netze in der Tallage

Die Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler liegt im nördlichen Rheinland-Pfalz vornehmlich im engen Tal der Ahr und weist hierbei eine starke Ausdehnung in Ost-West-Richtung vor. Die Hauptzentren Bad Neuenahr, Heimersheim und Ahrweiler liegen dabei eng aufgereiht unmittelbar an der Ahr. Die Ahr wird hierbei immer als „Verbindungsschnur“ gesehen. Die Achse der Ahr oder besser gesagt der Korridor der Ahr verbindet schnell auf kurzem Wege auf einer Länge von insgesamt rund 12 km die einzelnen Zentren bzw. Stadteile. Nach Norden oder Süden schließen sich



Abbildung 2: Brücken im Stadtgebiet

recht zügig Berghänge an die bebaute Tallage an. Vor der Flut gab es in Bad Neuenahr-Ahrweiler 119 Brücken in Trägerschaft der Stadt, 19 davon über die Ahr, hinzu kamen noch zahlreiche Brücke der klassifizierten Straßen und der Bahn.



Abbildung 3: Gasnetz vor der Flut - Quelle: Ahrtalwerke GmbH

Diese geographische bzw. topographische Situation ist mit Blick auf die zurückliegende Katastrophe Fluch und Segen zugleich. Sämtliche Netze der Ver- und Entsorger nutzen vor der Flut den Korridor der Ahr als Trasse für ihre Leitungen, sei es im direkten Böschungsbereich der Ahr oder in den ahrbegleitenden Wegen. Teilweise und im Strom- und Telekommunikationsnetz im Besonderen dienten Leitungen in den Brücken als Abzweigungen von dieser Haupttrasse oder als Maschen im Netz. Von der Ahr aus verteilte sich zum Beispiel das Gasnetz in die Stadtteile und zur Ahr hin sammelte das Abwassernetz seine Fracht.

3 Situation nach der Flut

Nun wurden durch die Flut fast alle Brücken im Stadtgebiet zerstört. Weiterhin verbreiterte die Ahr ihr Bett deutlich. Als Beispiel hierzu ist die Örtlichkeit der Kurgartenbrücke in Bad Neuenahr zu nennen. Hier hatte die alte Brücke eine Spannweite von rund 30 Metern, die nun dort liegende Behelfsbrücke hat eine Spannweite von rund 46 Metern. Durch diese Veränderungen des Flussbettes wurden maßgebliche Teile der Netze zerstört, weggerissen oder geflutet.

In dieser Folge waren das Stromnetz und das Gasnetz komplett ausgefallen, die Telekommunikationsnetz nicht mehr nutzbar, die Wasserversorgung zusammengebrochen und das Abwassernetz nur noch lückenhaft vorhanden.

Durch dieses Schadensbild blieben wir hier zunächst im Tal der Ahnungslosen zurück. Ohne Strom, ohne Wasser, ohne Telefon, mit einem zerstörten Haus, mit einer zerstörten Existenz. Aber so erging es auch denjenigen, die sich für die Netze verantwortlich zeichnen. Wenige waren verfügbar oder in dieser extremen Lage in der Lage entsprechende Entscheidungen zu treffen. Die Lage war unübersichtlich, Fake News waren an der Tagesordnung,

Entscheidungsgrundlagen mussten erarbeitet werden. Die die helfen mussten, benötigten selbst Hilfe, hatte Tote in der Nachbarschaft, im Freundeskreis oder gar in der Familie zu beklagen.



Abbildung 4: Heimersheim am 15.07.2022

4 Bewältigung der Katastrophe

Nach der Katastrophe entwickelte sich recht schnell ein Krisenstab, eine „Blaulicht- und Infrastrukturrunde“ der Kommune. Hier traten die Planer, die im Umfeld des Krisengebietes tätig sind, zusammen und bildeten gemeinsam mit den Netzbetreibern, den Baulastträgern, dem Katastrophenschutz und den politischen Entscheidern ein übergreifendes Gremium, was in der Lage war, mit der vorhandenen lokalen Expertise schnell Entscheidungen für einen Weg aus der Krise heraus zu treffen. Es galt die Grundversorgung wieder in Gang zu setzen, das öffentliche Leben zu rebooten und für den kommenden Winter eine Versorgung mit Gas oder anderen Wärmeträgern sicherzustellen.

Um schnelle Entscheidungen vorzubereiten zu können, traten, kommunale Grenzen übergreifend, in der sogenannten „Thürer Runde“, zahlreiche weitere lokale Experten zusammen. Hier wurden für die o.g. örtlichen „Blaulicht- oder Infrastrukturrunden“ auf kurzem Wege umsetzbare Provisorien entwickelt und technische Vorschläge erarbeitet. Das Schadensbild wurde zusammengetragen, z.B. neue Trassen für die benötigten Leitungen gesucht und gefunden, Material und Manpower beschafft. Diese Runde trifft sich bis heute in regelmäßigen Abständen. Dieser Austausch in einem breit aufgestellten Expertengremium hat Tempo in die Bewältigung der Katastrophe gebracht und tut dies noch heute. Kurze Wege führen schneller zum Ziel.

Hier wurde die Ver- und Entsorgung des Stadtgebiet und des gesamten Ahrtals komplett neu gedacht. Der zerstörte Ahrkorridor stand nicht mehr zur Verfügung. Die Haupttrassen wurden in den nördlichen Berghang verlegt. Die Ahr wurde, wo notwendig, mittels tiefer Düker gekreuzt,

die Trasse der Abwasserentsorgung neu festgelegt. Um die erdachten Provisorium möglichst schnell umsetzen zu können, wurden laufende Baumaßnahmen und somit die dortigen Kapazitäten umgeleitet. Rohre für andere Maßnahmen kamen ins Ahrtal, Baufirmen setzen kurzfristig ihre Baustelleneinrichtung um, um bauten fortan im Ahrtal.



Abbildung 5: Spontane Aufarbeitung der Katastrophe

5 Lehren und Empfehlungen

In den Rückspiegel betrachtet war diese schnelle Bildung von lokalen Gruppen von Experten örtlich wie überörtlich der größte Erfolgsfaktor zur schnellen Bewältigung der Katastrophe. Die „Thürer Runde“ hat ebenso wie die Infrastrukturrunden der jeweiligen Kommunen maßgeblich daran mitgewirkt, dass im Ahrtal das „Normale“ möglichst schnell wieder verfügbar wurde: fließendes frisches Wasser, Strom, Gas für die Heizung und eine geregelte Abwasserableitung als Grundlage für einen seuchenfreien Neuaufbau.

Bilden Sie ein Netzwerk aus diesen Experten schon jetzt!

Ein gutes, freundliches und vertrauensvolles Miteinander spart im Fall der Katastrophe wertvolle Zeit und Nerven!

Integrieren Sie diese Experten in Ihre Alarm- und Einsatzpläne!
Lernen Sie sich kennen und teilen Sie die „geheimnisse“ Ihrer Netze in diesem Kreis!



Abbildung 6: Neues Zielnetz Gas - Quelle: Ahrtalwerke GmbH

Aber bewerten Sie Ihre Netze auch vor dem Hintergrund des Unerwarteten neu!

Oder „expect the unexpected“ wie ein Sportausstatter mal in seiner Werbung postulierte. Ist mein Netz krisensicher? Gibt es anfällige Punkte? Was passierte, wenn Trasse A ausfällt? Wie schnell kann ich welche Hilfe bekommen?

Der Klimawandel ist da und Starkregen kann jeden von Ihnen treffen – morgen! Erstellen Sie entsprechende Konzepte! Denken Sie um die Ecke.

Vorbereitung kann man nicht nachholen!

6 Ausblick

Hier im Ahrtal sind wir mit dem Begriff „Wiederaufbau“ nicht wirklich glücklich. Wir wollen natürlich unsere Heimat neu aufbauen. Wichtig ist dabei der neue Gedanke, der schlechte Eigenschaften des Zerstörten durch neue gute Ideen ersetzt. Es ist noch ein sehr langer Weg aber wir gehen ihn, stets in der Hoffnung nicht nochmal das erlebte erleben zu müssen.



Abbildung 7: Ahr wie Aufbruch

Autor:

Dipl.-Ing. Jens Heckenbach
PlannIng GmbH,
Bad Neuenahr-Ahrweiler



Tel.: 02641 / 914 769 0
E-Mail:
jens.heckenbach@planning.plus
Internet: www.planning.plus

Von der Katastrophe zur nachhaltigen Zukunft

Von Theo Waerder

1 Allgemeines

Der Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr (Betriebsführerin ist die SWB Regional GmbH, ein Tochterunternehmen der Stadtwerke Bonn) ist der Wasserversorger der beiden Verbandsgemeinden Adenau und Altenahr. Er versorgt somit entlang der Ahr auch von Dorsel bis Marienthal die Menschen mit Trinkwasser. Dies sind rd. 40 km Flusslänge und somit rd. die Hälfte des gesamten Flusslaufes der Ahr.



Der Zweckverband hatte in den letzten Jahren sein Wassertransportsystem und seine Wasserbezugsquellen stark ausgebaut und sich damit eine sichere Ersatzwasserversorgung aufgebaut, um bei Ausfällen einzelner Bezugsquellen die Wasserversorgung schnell umstellen zu können. Ziel war es, die Bürger immer ausreichend mit Trinkwasser zu versorgen. Dieses Sicherungssystem funktioniert aber natürlich nur dann, wenn auch entsprechende Wassertransportleitungen zu Verfügung stehen.

Bild 1: Versorgungsgebiet

2 Die Katastrophe

Nach der Flutkatastrophe am 14./15. Juli 2021 waren aber plötzlich 26 von 49 versorgten Orten ohne Trinkwasserversorgung. Die Ursache war u.a. eine massive Beschädigung der sogenannte Tallinie, dies ist die Wasser-Transportleitung vom Hochbehälter Nohn nach Dorsel und weiter bis Marienthal. Aber auch im Sahrbachtal wurde eine zentrale Transportleitung in großen Abschnitten zerstört und fortgespült und führte zu einer massiven Versorgungsstörung im Verbandsgebiet. Insbesondere im Bereich der Tallinie von Schuld bis Dernau, wurde diese auf vielen Abschnitten erheblich oder irreparabel beschädigt bzw. von der Flut vollständig zerstört.

Verbliebene Reststücke sind teilweise verschlammt und/oder mit belastetem Flusswasser gefüllt oder kontaminiert worden und waren somit für eine Trinkwasserversorgung nicht mehr nutzbar. Zum Teil war auch Heizöl bzw. Heizölgemische in die Leitungen, Anlagen und Systeme eingedrungen, so dass auch diese Kontaminationen das Trinkwasser ungenießbar machen würden. Aufgrund weiterer einzelner punktueller Schäden an dem Rohrsystem der Tallinie waren aber auch die Ortschaften von Dorsel bis Schuld ohne Trinkwasser.
Schlimmer noch, selbst von der Flut nicht betroffene Höhenorte wie z.B. Aremberg, Wershofen, Hümmel oder Hoffeld waren von der Trinkwasserversorgung abgetrennt, da das Trinkwasser über die zentrale Tallinie und entsprechende Pumpwerke in Dorsel und in Antweiler normalerweise dorthin transportiert wird.
Weiterhin waren Ortnetzleitungen und Hausanschlüsse in vielen Orten durch die Flut zerstört oder beschädigt.



Bild 2: Zerstörtes Gebäude in Marienthal



Bild 3: Gebäude wurde von der Flutwelle mitgerissen

Übergabegebäude, Brückenquerungen und Düker waren ebenfalls in erheblichem Umfange zerstört oder irreparabel beschädigt.
In den ersten Tagen nach der Flut waren von den rd. 10.800 versorgten Haushalten rd. 5.000 Haushalte vom Versorgungsnetz und damit der Trinkwasserversorgung abgeschnitten.

3 Erste Maßnahmen

Durch eine Vielzahl temporärer Maßnahmen, Notversorgungen und zahlreicher Provisorien wurde nach der Katastrophe versucht, wieder Brauchwasser (eine leitungsgebundene Trinkwasserversorgung war unter den damaligen Bedingungen überhaupt nicht möglich) in Orte und Häuser zu bringen.
Hierzu wurden zwei Brunnen neu gebohrt, vier Wasseraufbereitungsanlagen installiert, fünf Wasserhochbehälter dauerhaft mit Trinkwasserfahrzeugen beschickt und gleichzeitig mit Hochdruck versucht, Leitungsabschnitte wieder in Betrieb zu nehmen. Die Mitarbeitenden haben hierbei enormes geleistet, ihren Urlaub verschoben und unzählige Überstunden, teils sieben Tage die Woche, erbracht. In dieser Not war teilweise das Arbeitszeitgesetz außer Kraft gesetzt. Unterstützt wurde der Verband aber auch von externen Unternehmen. Insbesondere andere Versorgungsunternehmen und fachkundige Helfer haben hier wirkungsvoll unterstützt.



Bild 4: Tunnel Altenahr

Aufgrund der enormen Beschädigungen im Altenahrer Tunnel war auch die Wassertransportleitung zur Unteren Ahr irreparabel beschädigt und teilweise nicht mehr vorhanden. Somit waren die Orte Reimerzhoven, Laach, Mayschoß, Rech, Dernau und Marienthal ohne jedwede Anbindung an ein Versorgungssystem. Hier wurden die Hochbehälter Mayschoß und Dernau mit speziellen Transportfahrzeugen mit Wasser befüllt und gleichzeitig über mehr als 4 km eine neue provisorische Transportleitung von Kalenborn zu den beiden Hochbehältern gebaut.

Bei Gebäuden und Querungen wurden Notlösungen, Provisorien (Ahrquerung an Pontonbrücke gehängt) aber auch dauerhafte Lösungen z.T. auch mit Horizontalbohrungen zeitnah geschaffen.

Alle Maßnahmen wurden immer wieder an die lokalen Organisationsstäbe von Orts- und Verbandsgemeinden weitergegeben, damit dies in Einklang mit dem aktuellen Bedarf erfolgte.

Ziel war es alle Ortschaften wieder leitungsgebunden mit Trinkwasser zu versorgen und die vom Gesundheitsamt erlassenen Abkochgebote wieder vollständig aufzuheben. Dies wurde dann für alle Orte auch nach knapp einem halben Jahr erreicht.

4 Der Neuaufbau

Statt der Provisorien mussten dann aber dauerhafte, langfristige aber vor allem auch wieder leistungsfähige Systeme installiert werden, da die ersten umgesetzten Maßnahmen i.d.R. nicht die Erfordernisse der Zukunft decken und auch oft betriebswirtschaftlich unwirtschaftlich betrieben werden mussten und müssen.
Gleichzeitig waren und sind erhebliche Reparaturen und Erneuerungen an einzelnen Ortsnetzleitungen, Hausanschlüsse, Armaturen, Schieber, Hydranten usw. oder Anlagen auszuführen.
Aufgrund begrenzter personeller und/oder externer Kapazitäten eine enorme Herausforderung.

Aus der endgültigen Schadensanalyse ergab sich eindeutig, dass die Tallinie nahezu vollständig zwischen Schuld und Dernau zu erneuern war, um wieder geeignete Trinkwassertransportleitungen wie vor der Flut, jedoch in hochwasserresilienten Trassen, zu erhalten. Damit wäre das in vielen Jahren aufgebaute Ersatzwassersystem auch in Zukunft wieder im vollen Umfang nutzbar. D.h. auf einer Länge von rd. 30 km muss die Wassertransportleitung vollständig, durchgängig und hochwassersicher neu verlegt werden.

5 Chancen beim Neuaufbau

Eine Neuverlegung kann erfolgen, in dem man das bisherige System neu aufbaut, oder aber diese Chance für die Region und die Menschen nutzt. Der Zweckverband hat sich für den zweiten Weg entschieden und baut hochwasserresilient eine neue s.g. Infrastrukturtrasse. Dies bedeutet, dass neben der Trinkwassertransportleitung teils auch eine Trinkwasserortsnetzleitung mitverlegt wird. Weiterhin werden Leerrohre für Steuerleitungen und Glasfaser (der Zweckverband besitzt hierfür seit Jahren eine Annex-Genehmigung der Landesregierung von Rheinland-Pfalz) in demselben Graben verlegt. Auf großen Streckenabschnitten (Altenahr-Dümpelfeld und Mayschoß-Rech) werden zusätzlich Abwasserdruckrohre für das Abwasserwerk der Verbandsgemeinde

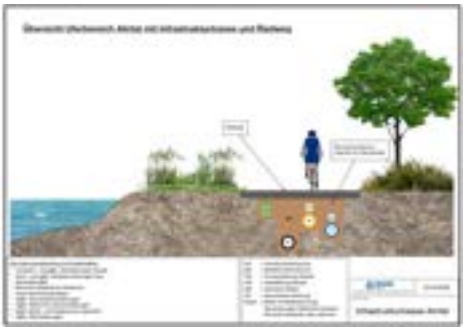


Bild 5: Infrastrukturtrasse

Altenahr ebenfalls im Grabenprofil verbaut. Mit dieser generellen Vorgehensweise auf allen Bauabschnitten und mit der Verlegung anderer Gewerke wird ein Höchstmaß an Synergie erreicht. Weiterhin werden hiermit die Anzahl der Baumaßnahmen und die der anthropogenen Eingriffe in die Landschaft minimiert. Dies insbesondere dann, wenn diese Infrastrukturtrassen (wie vorgesehen) später als Rad- oder Verkehrswege genutzt werden.




Bild 6 und 7: Infrastrukturtrasse in Liers und Baumaßnahme Reimerzhoven

Soweit keine alternativen hochwassersicheren Trassen zur Verfügung stehen werden geeignete bodenverbessernde Bauverfahren oder Schutzmaßnahmen der Leitungen eingesetzt.

Der Bau der Infrastrukturtrasse wird auch von der Landesregierung Rheinland-Pfalz befürwortet. Insbesondere die Zusammenführung diverser Gewerke, die Schnelligkeit des Neubaus und der geringe Eingriff in die Umwelt finden dort große Unterstützung.

6 Aufbau einer Biogasversorgung und nachhaltige Zukunft

Neben den genannten Verlegungen in der Infrastrukturtrasse hat sich der Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr auch entschieden, Leitungen für den Aufbau einer Biogasversorgung mitzulegen. So werden auf der gesamten Länge von Dernau bis Schuld je eine Gashochdruck- und -mitteldruckleitung ebenfalls in der Infrastrukturtrasse verlegt. Grundlage dieser Vorgehensweise sind die enormen Schäden, die durch die überwiegende Heizölbenutzung entstanden sind und die es zukünftig zu vermeiden gilt, sowie die Überlegungen, die Energieversorgung im Versorgungsgebiet auf eine nachhaltige Versorgung umzustellen. Die beiden Leitungen sollen somit zukünftig das Rückgrat einer regenerativen, resilienten und regionalen Energieversorgung bilden. Jeder Ort entlang der Trasse kann somit in Zukunft Biogas/Biomethan für eine ökologische Wärme- und Stromversorgung z.B. in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nutzen. Die Leitungen werden natürlich auch wasserstofffähig (H2-ready) gebaut.
Gewonnen und erzeugt werden soll dieses Biogas/Biomethan in der zu erweiternden Kläranlage Dümpelfeld, die in Kürze eine Klärgasfaulung erhalten wird. Weiterhin soll in unmittelbarer Nähe eine neue Biogasanlage entstehen, die ausschließlich aus Reststoffen (Bioabfällen, Landschaftsschnitt, Grünabfällen, Gärreste Weinbau usw.) Biogas erzeugt. Mit einem Wasserstoff-Elektrolyseur soll aus Überschussstrommengen Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden, wobei der Wasserstoff zur Methanisierung des CO^2 in den erzeugten Biogasen und der Sauerstoff zur Optierung der Kläranlagenprozesse eingesetzt werden soll. Die geplante komplexe An-

lagenkombination bedarf natürlich eines umfassenden Stoffstrommanagements, bietet aber natürlich aber ein hohes Synergiepotential. Ergänzend besteht auch die Überlegung, je eine Biomethan- und Wasserstofftankstelle vorzusehen, um klimaneutrale Mobilität zu ermöglichen.



Bild 8: Projektplanung „Energiefabrik Ahrtal“ (EFAhr)

Eine Machbarkeitsstudie hat die Planungen zur „Energiefabrik Ahrtal“ (EFAhr) bestätigt und ermöglicht die konkrete Umsetzung. Der Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr ist aktuell dabei, auch mit den lokalen Energieversorgern, dem Abfallwirtschaftsbetrieb und den Entscheidungsträgern die weiteren Planungen zu konkretisieren und Fördermöglichkeiten bei Bund und Land zu eruieren, damit eine zeitnahe Umsetzung erreicht werden kann.
Somit wird aus der schrecklichen Flutkatastrophe ein sektorübergreifender Neuanfang für das Ahrtal mit der Chance, eine regionale, regenerative und resiliente Energieversorgung aufzubauen und die Orte und Menschen nachhaltig mit Wärme und Strom zu versorgen. Die „Energiefabrik Ahrtal“ (EFAhr) in Verbindung mit Deutschlands größtem reinem Biogas/Greengasnetz wäre ein Modellprojekt für ganz Deutschland. Es entspräche der Vision das „Neue Ahrtal“ als Modellregion für die Energiewende zu gestalten.

Autor:

Dipl. Ing. Theo Waerder
SWB Regional GmbH, Adenau

Tel.: 02692/921520
E-Mail:
Theo.Waerder@stadtwerke-bonn.de
Internet:
www.swb-regional.de



Schutz kritischer Infrastruktur

Kritische Infrastruktur – Kombinetzbetreiber für Strom, Gas, Fernwärme/Fernkälte und Telekommunikation

Von Walter Dosek

1 Einleitung

Die Funktionsfähigkeit von Infrastrukturen kann durch Naturkatastrophen, technische Unfälle, menschliches Versagen, Gefahren im Cyber-Raum, Kriminalität und Terrorismus gefährdet sein. Der Schutz kritischer Infrastrukturen gewinnt somit zunehmend an Bedeutung.

Wien ist zum wiederholten Male zur lebenswertesten Stadt der Welt gekürt worden, was vor allem der sicheren Versorgung mit Energie zu verdanken ist.

Netze sind die Versicherung für eine ununterbrochene Versorgung mit Energie. Die Veränderung des Energiesystems (Erneuerbare, E-Mobilität, Photovoltaik, …) macht neue Strategien und Technologien notwendig. Hohe Versorgungsicherheit ist einer der Top3 Merkmale eines attraktiven Wirtschaftsstandortes.

Der Schutz der Netze ist in dieser herausfordernden Zeit von besonderer Bedeutung.

2 Wiener Netze als Betreiber kritischer Dienste

Die Wiener Netze GmbH gilt in Österreich als ein von den staatlichen Behörden eingestufter strategischer Betrieb. Laut dem Bescheid des Bundeskanzleramtes vom 18.11.2019 „NIS Sektor Energie, Teilsektoren Elektrizität und Erdgas“ sind WN gemäß §16 Abs. 1, 2 und 4 Z 1 NISG als Betreiber wesentlicher Dienste ermittelt.

Aus diesem Grund werden maßgebliche Investitionen und Bemühungen in Maßnahmen gesetzt, welche den umfassenden Schutz der Sicherheit aller MitarbeiterInnen gewährleisten und darüber hinaus das strukturierte und systematische Ausrichten und Anpassen der Prozesse unserer Organisation auf das Ziel, die materiellen und immateriellen Werte zu schützen.

Vor dem Hintergrund der am 17.7.2019 in Kraft getretenen Netz- und InformationsSystemSicherheitsVerordnung Nr. 215 im Bundesgesetzblatt (NISV) sind die Wiener Netze ein Teil der „Wesentlichen Dienste“ (Sektor Energie) und damit Teil der KRITIS (Kritische Infrastruktur). Die WN tragen dadurch eine besondere Verantwortung. Somit sind folgende Security-Themen in der Organisation der WN klar zu regeln bzw. zu strukturieren:

- Physische Sicherheit
- Betriebskontinuität (BCM – Business Continuity Management)
- Corporate Security Management
- Risikomanagement (Analyse, Richtlinien, Prüfungen…)

– Identitäts- und Zugriffsmanagement
– Erkennen und Bewältigen von Vorfällen
– Krisenmanagement

Übergeordnet gibt das „Österreichische Programm zum Schutz kritischer Infrastruktur“ (APCIP – Austrian Program for Critical Infrastructure Protection) den Rahmen für die Restrukturierung.

Eine Corporate Security Policy unterstreicht die Wichtigkeit der Thematik und gibt allen Mitarbeiterinnen hierfür den Rahmen vor.

Die Hausordnung ist ein Teil des Security Management Handbuchs der Wiener Netze.

2.1 Das Unternehmen

Die Wiener Netze sind mit 2.400 Mitarbeiterinnen das Infrastrukturunternehmen Wiens. Die Wiener Netze sind Teil der Wiener Stadtwerke, die zu 100 Prozent im Eigentum der Stadt Wien stehen.
Das Unternehmen ist ein Teil des Wiener Stadtwerke Konzerns, in dem folgende Teilunternehmen enthalten sind:

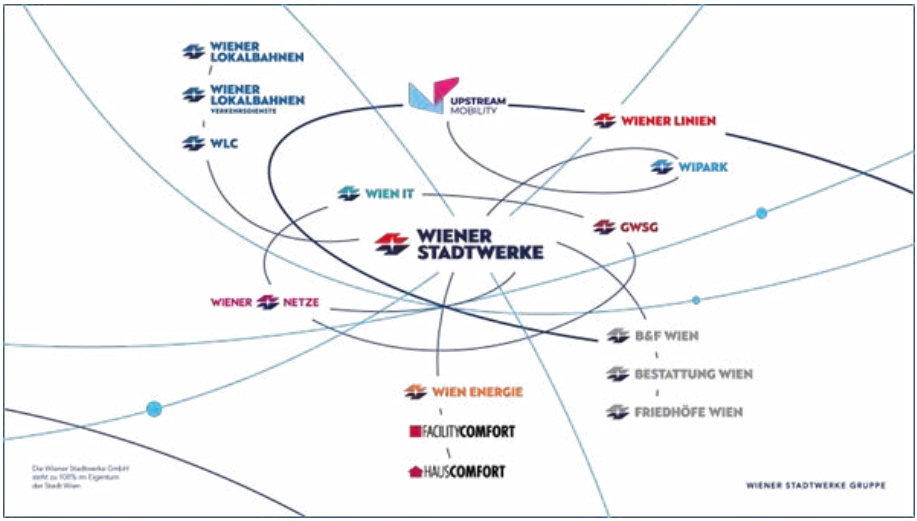


Bild 1: Wiener Stadtwerke Gruppe

2.2 Aufgaben des Sicherheitsmanagements

Die Aufgaben der Abteilung Corporate Security Management erstrecken sich über folgende Gebiete bzw. Maßnahmen:

- Angemessene Bedrohungs-, Verwundbarkeits- und Auswirkungs-Minimierungsmaßnahmen
- laufende Evaluierung des Zustandes der Wiener Netze zur Aufrechterhaltung der Versorgungs- und Dienstleistungssicherheit, unter Berücksichtigung der Strategieelemente Schutz, Abschreckung und Akzeptanz
- rasche Sicherstellung der benötigen internen und externen Ressourcen (gilt auch für andere Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben)
- Informierung des Point of Contact und Wahrnehmung der SPOC-Rolle bei terroristischen Bedrohungsszenarien
- Schulung der Krisenstabsmitglieder
- BOS – Handfunkgeräte, Aktualisierung der Krisenunterlagen und Krisenlaptops, Krisenräumlichkeiten
- Ständige Abstimmung mit dem CISOgemäß ÖNORM 27001
- Vertretung zu den Behörden nach Außen
- DSN, MDKS, MA 31, LPD, WStW-Konzern etc.

3 Integration in das APCIP

Beauftragt für den Schutz sind das Bundesministerium für Inneres und das Bundeskanzleramt; diese werden vom APCIP in der Umsetzung unterstützt.

Österreich hat verbindliche bilaterale Verträge mit den Ländern Slowakei und Tschechien, in denen sie sich gegenseitige Hilfe in Notlagen zusichern. Auch eine D-A-CH-Kooperation sowie die Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission bei EPCIP (European Programme for Critical Infrastructure Protection), Fonds Innere Sicherheit (kurz ISF) und CIWIN (Critical Infrastructure Warning Information Network) bestehen (*Quelle: „Österreichisches Programm zum Schutz kritischer Infrastrukturen*“).

3.1 Sicherheit ist ein allumfassendes Thema für alle Lebensbereiche

Es betrifft jeden Menschen und ist ein wichtiger – wenn nicht der wichtigste – Baustein für ein geordnetes Zusammenleben.

Aus diesem Grund hat die Europäische Union einen ganzheitlichen Sicherheitsansatz, wie er auch im österreichischen APCIP verfolgt wird, beschlossen.

Die Strategie enthält vier strategische Prioritäten auf EU-Ebene:

- Gewährleistung eines zukunftsfähigen Sicherheitsumfelds für Einzelpersonen
- Umgang mit sich wandelnden Bedrohungen
- Schutz der Europäerinnen und Europäer vor Terrorismus und organisierter Kriminalität
- Entwicklung einer stärkeren europäischen Sicherheitsgemeinschaft

3.2 Gemeinsame Grundlagen und Ziele

Gemeinsam mit der RKE-Richtlinie hat die Europäische Kommission auch einen Vorschlag für eine Richtlinie über Maßnahmen für ein hohes gemeinsames Cybersicherheitsniveau in der Union (NIS 2) vorgelegt, mit den entsprechenden Entwicklungen im Bereich Cyber Rechnung getragen werden soll.
Im Mai 2022 hat der Rat der europäischen Union und das europäische Parlament eine Einigung über den Vorschlag erzielt.

Die Mitgliedsstaaten müssen für eine Koordinierte Umsetzung der beiden Rechtstexte sorgen. Jene kritischen Einrichtungen, die gem. der RKE-Richtlinie ermittelt wurden, unterliegen auch den in der NIS 2-Richtlinie festgelegten Verpflichtungen zur Cyberabwehrfähigkeit.

Eine Kooperation und enger inhaltlicher Austausch zwischen den Behörden der NIS 2 und der RKE-Richtlinie muss gewährleistet sein.

- EPCIP: European Programme for Critical Infrastructure Protection
- APCIP: Austrian Program for Critical Infrastructure Protection Österreichisches Programm zum Schutz kritischer Infrastrukturen
- NIS 2: Rahmen für Cyber Security bei Betreibern Kritischer Infrastrukturen
- RKE: Richtlinie über die Widerstandsfähigkeit kritischer Einrichtungen
- Leitfäden, z.B. „Sicherheit in Unternehmen mit strategischer Bedeutung“ (BMI / BVT (Neu DSN))
- Normen und Standards
- Gesetzliche Verordnungen

Ziele sind resiliente Unternehmen und eine umfassende betriebliche Sicherheitsarchitektur.

3.3 Normative und rechtliche Rahmenbedingungen

- APCIP - Österreichisches Programm zum Schutz kritischer Infrastrukturen (insb. HF 4)
- NISG - Netzwerk- und Informationssystemsicherheitsgesetz (insb. Abschnitt 5)
- NISV – Netzwerk- und Informationssystemsicherheitsverordnung (insb. § 4, Abschnitt 3)
- NIS 2: Rahmen für Cyber Security bei Betreibern Kritischer Infrastrukturen
- RKE: Richtlinie über die Widerstandsfähigkeit kritischer Einrichtungen
- QuaSteV – Verordnung über qualifizierte Stellen gemäß NISG
- ÖNORM S 2412ff – Security Management System
- ÖNORM S 2420 – Anforderungen an Objektschutzkonzepte
- ÖNORM S 2450 – Umgang mit Verschlusssachen
- OVE Richtlinien R 2, R 9, R 10 – Techn. Objektschutz
- EN 50518 – Alarmempfangsstellen
- ISO 27000ff – Informationssicherheitsmanagementsystem
- ISO 27019 – ISMS Energieunternehmen
- ISO 31000 und ONR 49000 – Risikomanagement
- ISO 22301 – Business Continuity Management
- ISO 22320 – Notfallmanagement

3.4 Aufgaben der Betreiber wesentlicher Dienste

- Risikomanagement (RM)
- Business Continuity Management (BCM)
- Sicherheitsmanagement (CSM)
- Definieren von Schutzstandards
- Meldung von Vorfällen
- Nominierung von POC

Ziel: Resilientes Unternehmen



Bild 2: Beispiel für Schäden am Perimeter der Anlagen der kritischen Infrastruktur

3.5 NISG Plattform für Meldungen

Im NIS-Meldesystem können Vorfälle eines Netz- und Informationssystems gemeldet werden.

- BKA / DSN führen ein Ermittlungsverfahren durch und stellen anschließend die Bescheide an die BwD aus.
- Die BwD werden wiederkehrend von einer qualifizierten Stelle überprüft.
- Die Wiener Netze sind mit dem SKI-Projekt gut gerüstet auf die Anforderungen nach NIS-Gesetz.

3.6 Nationale Vorhaben zum Schutz kritischer Infrastruktur in Deutschland und Österreich

Österreichisches Programm zum Schutz kritischer Infrastrukturen
https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:bb6a1a41-eb1d-4552-96da-9b460bbc5c0b/%C3%96sterreichisches%20Programm%20zum%20Schutz%20kritischer%20Infrastrukturen%20(APCIP).pdf

Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement: Leitfaden für Unternehmen und Behörden - Bundesministerium des Innern, Deutschland
https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis-leitfaden.pdf;jsessionid=28AC2096398A0F73B9D20B62CD9ECEFD.2_cid364?__blob=publicationFile&v=6



Bild 3: Programme zum Schutz kritischer Infrastrukturen

3.7 RKE-Richtlinie über die Widerstandsfähigkeit kritischer Einrichtungen in der EU / Critical Entities Resilience / CER-Richtlinie

Resilienzmaßnahmen kritischer Einrichtungen:

- Stärkung der Resilienz kritischer Einrichtungen durch Erhöhung der Widerstandsfähigkeit kritischer physischer und digitaler Einrichtungen zu erreichen.
- Die Ausrichtung soll weggehen von einer isolierten Betrachtung physischer und digitaler Risiken (NIS) hin zu einer engen Abstimmung der Maßnahmen und der rechtlichen Grundlagen (NIS2 & RKE).
- Die Mitgliedsstaaten müssen in Zukunft verpflichtend nationale Strategien für die Widerstandsfähigkeit kritischer Einrichtungen verfassen.
- Die Mitgliedsstaaten haben nunmehr die Pflicht, regelmäßige Risikobewertungen und die Identifikation von kritischen Einrichtungen in den Sektoren durchzuführen.
- Vorschlag – Begründung: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020PC0829&from=EN

4 Krisenvorsorgemanagement & Energielenkung

4.1 Bereich Energie

Eine der größten Herausforderungen unserer Zeit ist die konstante und stetige Versorgung der Menschen mit den derzeitigen Energieträgern und die gleichzeitige Berücksichtigung umweltschonender Aspekte. Immer wieder treten Ereignisse ein, die die kontinuierliche Versorgung gefährden könnten und die mit möglichst effizienten Maßnahmen bewältigt werden müssen.

- Energielenkungsgesetz (EnLG) 2012
- Energielenkungsbeirat
- Notfallplan Gas der Republik Österreich
- Notfallplan für die sichere Versorgung der Republik Österreich mit Erdöl und Erdölerzeugnissen

Quelle: https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/krisenvorsorgemgmt.html

4.2 E-Control: Energielenkung und Krisenvorsorge

Die E-Control ist für die Vorbereitung und Koordinierung der im Anlassfall vorzusehenden Lenkungsmaßnahmen zur Sicherstellung der Erdgasversorgung verantwortlich. Zu diesem Zweck monitort die E-Control laufend die Versorgungssicherheit.

In Krisenfällen werden von der E-Control alle Maßnahmen gesetzt, um die Versorgung Österreichs bestmöglich zu gewährleisten. Sollten marktkonforme Maßnahmen nicht ausreichen, um die Versorgung aller Kunden zu gewährleisten, sind operative Tätigkeiten im Speicher-, Produktions- und Netzbereich vorzubereiten bzw. zu koordinieren.

Unter Krisenvorsorge versteht man die vorsorgliche Planung und Vorbereitung von Maßnahmen zur Sicherstellung der Erdgasversorgung im Fall von krisenhaften Entwicklungen bzw. Situationen, wozu auch Fälle grenzüberschreitender Gassolidarität gezählt werden können. Vorsorgemaßnahmen können sowohl im Produktions-, Speicher- und Transportbereich als auch im Bereich der Erdgasendverbraucher, z.B. durch Sparappelle, Kontingentierungen, getroffen werden.

Die Vorbereitung und Koordinierung allfälliger Energielenkungsmaßnahmen, die durch Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie im Krisenfall angeordnet werden können, erfolgt durch die E-Control. Die operative Durchführung der Maßnahmen obliegt dem Marktgebietsmanager unter Aufsicht der E-Control, unter Einbindung der relevanten Marktteilnehmer und Systemoperatoren.

Zur Sicherstellung einer gesicherten Datenbasis für die Vorbereitung und Durchführung von Lenkungsmaßnahmen zur Krisenvorsorge ist die E-Control gemäß § 27 Abs 2 Energielenkungsgesetz 2012 ermächtigt, mittels Verordnung die Meldung von Daten in periodischen Abständen anzuordnen.
Quelle: https://www.e-control.at/industrie/gas/versorgungssicherheit/energielenkung

4.3 Land Österreich Energielenkungsgesetz EnLG 2012

Das Energielenkungsgesetz 2012, BGBl. I Nr. 41/2013, als rechtliche Grundlage für die Erlassung von Lenkungsmaßnahmen dienend, trifft in Österreich Vorsorge für Krisenfälle in den Bereichen feste und flüssige Energieträger, Elektrizität sowie Erdgas.

Anwendung findet ebenjenes Gesetz bei einer länger andauernden, nicht mehr als geringfügig zu bezeichnenden Störung der Energieversorgung.

Darüber hinaus greift das Gesetz, wenn Beschlüssen von internationalen Organisationen zur Setzung von Notstandmaßnahmen Folge zu leisten ist.
Quelle: https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20008276

4.4 Österreichs Energie: Energie-Lenkung Bereich Gas – Abfolge der Phasen

- Aufruf an alle Gas zu sparen
- E-Control: Großkunden sollen Leistung reduzieren bzw. umstellen auf Heizöl-Leicht
- Flächenabschaltungen in Sektoren

Ablauf einer Energielenkung:

- BMK: Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
- Energielenkungsbeirat
- E-CONTROL: Regulierungsbehörde für Strom und Gas
- AGGM: Austrian Gas Grid Management
- APG: Austrian Power Grid

5 Zusammenfassung

Mit der neuen Strategie für die Sicherheitsunion wird das Fundament für eine Sicherheitsgemeinschaft gelegt, die die gesamte europäische Gesellschaft umfasst. Sie beruht auf dem Wissen, dass Sicherheit eine gemeinsame Verantwortung ist. Sicherheit geht jeden an – staatliche Stellen, Unternehmen, soziale Organisationen, Institutionen, Bürgerinnen und Bürger.

Sicherheitsfragen müssen heute aus einem viel breiteren Blickwinkel betrachtet werden als in der Vergangenheit. Differenzierungen zw. physisch und virtuell sind zum Teil nicht mehr gegeben.

Die EU-Strategie für die Sicherheitsunion vereint das gesamte Spektrum der Sicherheitsbedürfnisse und konzentriert sich auf die Bereiche, die für die Sicherheit der EU in den kommenden Jahren am wichtigsten sein werden.

Sie trägt auch dem Umstand Rechnung, dass Sicherheitsbedrohungen nicht an Landesgrenzen haltmachen und innere und äußere Sicherheit zunehmend ineinandergreifen.
Jede Politik oder Maßnahmen ist nur so gut wie ihre Umsetzung.

Aufgrund dieser Vorgaben wird die Umsetzung für Unternehmen personal- und zeitaufwändig, aber auch sehr kostenintensiv sein. Das permanente Monitoring und Dokumentation der kritischen Anlagen ist eine Voraussetzung für die zukünftigen Sicherheits-Audits mit den Behörden. Eine Durchführung und Berücksichtigung dieser Kosten in den Wirtschaftsplänen der Unternehmen muss zeitnah und permanent erfolgen.

Autor:

Walter Dosek
Wiener Netze GmbH
Wien

Tel.: +43 50128 93500
E-Mail:
walter.dosek@wienernetze.at
Internet:
www.wienernetze.at



5
Energiewende als Herausforderung der Wasserversorgung – was gerne vergessen wird!

Wasser für die Wasserstoffwirtschaft in der Nordwestregion Deutschlands

Herausforderungen und Potentiale

Von Urte Brand-Daniels, Julian Bartels

1 Einleitung

Die Bundesregierung und insbesondere der Norden Deutschlands haben sich ambitionierte Wasserstoffausbauziele gesetzt. So soll der nationale Wasserstoffbedarf von ca. 90 bis 110 TWh/a in 2030 zum Teil durch heimische Wasserstofferzeugungsanlagen (möglichst grüner Wasserstoff) mit einer Gesamtkapazität von 5 bis 10 GW gedeckt werden [1]. Für das Jahr 2050 wird in Forschungsstudien ein Wasserstoffbedarf von bis zu 643 TWh/a geschätzt [2].
Die norddeutschen Bundesländer haben sich in ihrer Norddeutschen Wasserstoffstrategie das Ziel gesetzt, 5 GW Elektrolyseleistung zur Erzeugung von grünem Wasserstoff bis 2030 zu installieren [3]. Insbesondere die Nordwestregion birgt dabei große Potentiale, gleichzeitig existieren jedoch Herausforderungen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft, die im vorliegenden Beitrag näher beleuchtet werden.

2 Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Nordwestregion Deutschlands

Mit den eben beschriebenen H2-Ausbauzielen bis 2030 hat der Norden Deutschlands eine Vielzahl von Projekten initiiert. Insbesondere werden Projekte gemeinsam mit den Niederlanden forciert wie das Gemeinschaftsprojekt Clean Hydrogen Coastline, in welchem 400 MW Elektrolysekapazität bis 2026 realisiert werden sollen [4]. Dieses Projekt ist u.a. als „Important Project of Common European Interest“ (IPCEI) deklariert, was die Bedeutung der Nordwestregion Deutschlands in Bezug auf grünen Wasserstoff besonders unterstreicht. Abbildung 1 (links) zeigt weitere geplante und laufende IPCEI Projekte in der Region Nordwest, in denen Möglichkeiten der Wasserstofferzeugung bzw. des Infrastrukturaufbaus beleuchtet werden oder mögliche Anwendungsfelder für Wasserstoff im Bereich der Mobilität und Industrie erprobt werden.

2.1 Potentiale

Förderlich für den Aufbau einer grünen Wasserstoffinfrastruktur in der Nordwestregion ist das maßgebliche Vorhandensein von und das hohe Potential an erneuerbaren Energien (u.a. Onshore/Offshore-Windkraft). So wird derzeit 19,6% Strom aus erneuerbaren Energien allein in Niedersachsen im Vergleich zu Gesamtdeutschland erzeugt. Vorteilhaft wirkt sich auch die Küstennähe der Nordwestregion aus, indem Wasserstoffimporte z.B. über den JadeWeserPort realisiert werden könnten (z. B. Import von grünem Wasserstoff aus Kanada [5]).
Zudem könnte die sich im Aufbau befindliche Offshore-Windkrafterzeugung in Nord- und Ostsee mit hohem Wirkungsgrad zukünftig zur direkten und damit effizienten Elektrolyse von Wasserstoff auf See genutzt werden, was bereits in Forschungsprojekten wie Aquaventus erprobt wird [6].



Abbildung 1: Ausschnitt der Nordwestregion Deutschlands für (links) die Landkarte der wasserstoffbezogenen IPCEI-Projekte [16] und (rechts) das Gasnetzmodell aus dem Forschungsprojekt SciGRID_gas [19]. Modellkomponenten (bspw. Speicher, Produktionsstätten) sind als grüne Punkte gekennzeichnet und durch das Gasnetz (graue Linien) miteinander verbunden.

Des Weiteren verfügt die Nordwestregion bereits über eine gut ausgebaute Erdgasinfrastruktur, die perspektivisch zum Transport von Wasserstoff durch Leitungsumrüstung genutzt werden könnte. Abbildung 1 (rechts) zeigt die Gastransportinfrastruktur in der Nordwestregion.
Neben den eben beschriebenen vorteilhaften Erzeugungs- und infrastrukturellen Bedingungen sind große Wasserstoffabnehmer in der Region verortet (z.B. Stahlwerke Bremen), welche zu einer lokalen Nachfrage führen. Im Vergleich zu einem derzeit viel diskutierten Import von H_2 ist mit einer nationalen Eigenerzeugung der Vorteil der Unabhängigkeit von anderen Ländern verbunden. Zudem werden etwaige damit verbundene Umweltwirkungen nicht in andere Länder verschoben bzw. verstärkt (z.B. Trockenheit und Wasserversorgungsengpässe in der MENA-Region).

2.2 Herausforderungen

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der eben aufgezeigte „grüne“ Wasserstoffausbau infrastrukturelle Voraussetzungen hat. Dazu gehören wie erwähnt die Umrüstung der Erdgasleitungen sowie der eigentliche Aufbau von Elektrolyseanlagen und Speichermöglichkeiten. Blickt man auf die Eingangsparameter, dann ist eine Netzanbindung notwendig und je nach gewünschten Derivaten (z.B. Methanol, Power-to-Liquid) z.B. das Vorhandensein von CO_2 oder anderen chemischen Stoffen für Syntheseprozesse. Was bisher jedoch noch völlig unterschätzt wird, wenn man sich die derzeitige Forschungslandschaft ansieht, ist der zusätzliche Wasserbedarf und die hierfür notwendigen Wasseraufbereitungserfordernisse für die Wasserstoffproduktion.

Für die Herstellung von 1 kg H_2 mittels Wasserelektrolyse sind ca. 9 Liter Wasser notwendig [7]. Unter Berücksichtigung von Verlusten kann von einem Wasserbedarf von 10 Litern pro 1 kg H_2 ausgegangen werden, vorausgesetzt es handelt sich um eine hohe Ausgangswasserqualität (z.B. Trinkwasser). Wissenschaftliche Studien betonen jedoch, dass durchaus höhere Wasserbedarfe zu verzeichnen sind. So zeigten Elgowainy et al., dass neben Wasseraufbereitungsprozessen (z.B. Umkehrosmose) auch Kühlwasserbedarfe bestehen, so dass sie auf

Wasserbedarfe von bis zu 30,3 Litern pro kg H_2 kommen [8]. Mit Blick auf die in 2030 geschätzte Wasserentnahme aus Grundwasser in Niedersachsen und die geplanten Ausbauziele für Norddeutschland von 5 GW in 2030 ergeben sich die in Abbildung 2 dargestellten Wasserbedarfe für Wasserelektrolyse.

Bei den eben beschriebenen Wasserstoffausbaupfaden ist zu berücksichtigen, dass die Wasserstoffproduktion nicht zwangsläufig flächendeckend oder in wasserreichen Regionen stattfin-

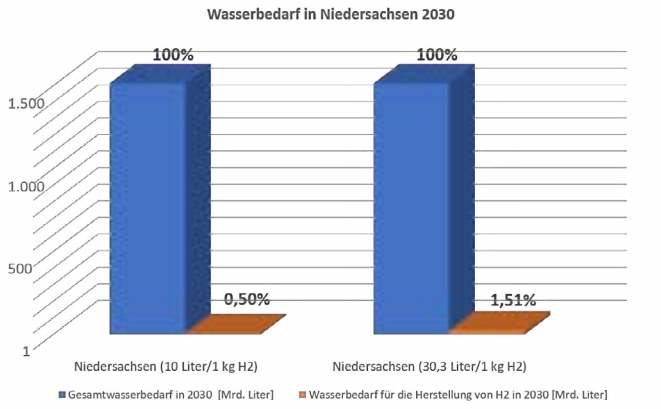


Abbildung 2: Wasserbedarf für Wasserelektrolyse (Ausbauziel: 5 GW bzw. 24,075 TWh bei 4.815 Volllaststunden pro Jahr) mit 10 Liter pro 1 kg H2 (Best case) und 30,3 Liter pro 1 kg H2 (Worst case) im Vergleich zur erwarteten Gesamtentnahme aus dem Grundwasser in 2030 ([10], [18]).

det. Nach Angaben des Deutschen Dürremonitors sind die Wasserressourcen ebenfalls regional und saisonal sehr unterschiedlich [9]. Erschwerend kommen Nutzungskonflikte durch wasserintensive Industrien wie die Stahl- und Papierindustrie sowie die Nahrungs- und Futtermittelproduktion und die Bewässerung im Baumschulenbereich (Feldberegnung) vor allem in der nordwestlichen Region hinzu [10].

Darüber hinaus wird erwartet, dass der Klimawandel einerseits zu Dürreperioden und zur Absenkung des Grundwasserspiegels und andererseits zu Starkregenereignissen und damit zum Überlaufen von Mischwasserkanälen und zur Verschmutzung von Hafen- und Badeseegewässern in Norddeutschland führen wird [11]. Schließlich benötigt die Elektrolyse hochreines Wasser, doch gerade Teile des Grundwassers in Nordwestdeutschland haben einen hohen Salzgehalt, so dass die Wasseraufbereitung aufwändig und kostenintensiv sein könnte [10]. Es ist dementsprechend damit zu rechnen, dass die eben beschriebenen Aspekte zukünftig zu einer Verringerung des Grundwasserdargebots und einer Erhöhung der Grundwasserentnahme führen wird [10].

3 Ansätze für die Wasserbereitstellung für die Wasserstoffwirtschaft

Der anvisierte Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft könnte trotz der diskutierten Herausforderungen im Bereich der Wasserversorgung mit moderaten Änderungen in der Energie- und Wasserversorgung gelingen. Eine Option wäre die räumlich enge Verknüpfung und einem entsprechenden Aufbau von Elektrolyseuren direkt bei Anlagen zur Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung. Der Sauerstoff als Produkt der Elektrolyse könnte in diesem Fall direkt als Luftersatz beim Belebtschlammverfahren der Abwasserreinigung genutzt werden mit einem Energieeinsparpotenzial von 30% [12]. Gleichzeitig könnte das gereinigte und aufbereitete Wasser aus der Wasseraufbereitungsanlage für die Elektrolyse genutzt werden. Durch die räumliche Nähe ist zudem wenig zusätzliche Wasserinfrastruktur für den Anschluss der Elektrolyse notwendig. Des Weiteren lässt sich von einer hohen gesellschaftlichen Akzeptanz ausgehen, da die Elektrolyseure wie die Kläranlagen in der Regel nicht in Wohngebieten lokalisiert wären und dennoch durch ihre Nähe zum Verbraucher die Transportkosten (Wasserstoff für den Wärme- und Mobilitätssektor) angemessen bleiben. Ein Nachteil dieses Ansatzes ist die Kopplung von zwei kritischen Infrastrukturen, was ein entsprechendes Sicherheitsrisiko beinhaltet.

Eine weitere Option wäre die komplette Entkopplung der Elektrolyseure von der Wasserversorgung mit entsprechender Wasserautarkie des Elektrolyseurs. Die Elektrolyseure besäßen in diesem Fall einen entsprechenden Zugang zum Grundwasser oder/und es finden (ergänzend) andere (autarke) Wasseraufbereitungsschritte statt (z.B. von Regenwasser, Meerwasser, Industrie/-Prozessabwässer). Neben der Erhöhung der infrastrukturellen Sicherheit könnte es durch die Entkopplung und abhängig von der Wasseraufbereitungsart zu einer sehr geringen zusätzlichen Belastung für die Wasserversorgung kommen[1]. Ein dabei zu setzender Anreiz wäre die Kreislaufführung von Wasser bei der Elektrolyse. Durch eine Elektroabscheidung des anfallenden Prozesswassers aus der Elektrolyse könnte das sich ablösende Anodenmaterial aufgefangen und wiederverwendet werden. Dies wurde bereits jüngst für Abwässer der Batterieindustrie untersucht [13]. Der Ansatz der hohen Wasserautarkie hat allerdings den Nachteil einer komplexen regulatorischen Änderung mit entsprechend langen Genehmigungsverfahren.

Eine dritte Option wäre die beliebige Verortung der Elektrolyseure wie beispielsweise in Regionen mit hohem Potenzial an Erneuerbaren Energien. Wenn die Parameter der Wasserströme (bspw. Druck oder Temperatur) vom Elektrolyseurbetreiber an den Wasserversorger übermittelt werden, bietet diese Option das Einsparpotenzial von Messpunkten zur Überwachung dieser Strömungsparameter für den Wasserversorger. Des Weiteren könnten die Elektrolyseure hierbei auch als Regler im Wassernetz dienen und so zur Stabilität der Wasserversorgung beitragen. Unter gewissen Bedingungen könnten sich auch eine reine Abwassernutzung aus Sicht des Elektrolyseurbetreibers als wirtschaftlich erweisen. Beispielsweise durch eine erfolgreiche Hochskalierung der Elektrolyse mit Abwasser und gleichzeitiger Wasserstoffproduktion für den Energiebereich [14] oder durch die Eröffnung weiterer Geschäftsfelder wie die Produktion von Dünger aus der Abwasseraufbereitung [15].

[1] Im Falle einer Grundwasserentnahme für den Elektrolyseur käme es jedoch unter Umständen zu Nutzungskonflikten für z.B. den Trinkwasserbedarf.

4 Zusammenfassung

Norddeutschland plant im Zuge der Norddeutschen Wasserstoffstrategie bis 2030 eine Elektrolyseleistung von 5 GW zur Herstellung von grünem Wasserstoff zu installieren [3]. Insbesondere die Nordwestregion bietet hierfür gute Bedingungen (u.a. hohes EE-Potenzial, Küstennähe), allerdings erhöht die Produktion grünen Wasserstoffs auch den Wasserbedarf entsprechend.
Obwohl sich der Wasserbedarf in der Nordwestregion durch die Elektrolyse in 2030 voraussichtlich im niedrigen einstelligen Prozentbereich erhöhen wird, kann dies aufgrund regional und saisonal unterschiedlicher Wasserressourcen sowie einer zusätzlichen klimawandelbedingten Verringerung des Wasserdargebots zu Versorgungsengpässen führen.
Es existieren verschiedene Optionen zur geeigneten Wasserbereitstellung für Elektrolyseure, die mittelfristig hinsichtlich der Aspekte Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, synergetische Nutzung, gesellschaftliche Akzeptanz und regulatorischem Rahmen zu bewerten sind.

5 Literatur

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Die Nationale Wasserstoffstrategie," 2020. [Online]. Available: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html.

[2] LBST, „Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen – Eine Expertise für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.," 2019. [Online]. Available: https://lbst.de/wp-content/uploads/2021/03/LBST_Wasserstoffstudie_NRW.pdf.

[3] Norddeutsche Wasserstoffstrategie, 2019. [Online]. Available: https://norddeutschewasserstoffstrategie.de/wp-content/uploads/2020/11/norddt-H2-Strategie-final.pdf.

[4] EWE, 08 November 2022. [Online]. Available: https://www.ewe.com/de/media-center/pressemitteilungen/2021/11/clean-hydrogen-coastline-und-element-eins-gehen-gemeinsam-mit-grnem-wasserstoff-richtung-klimaneutra.

[5] Energate, 2022. [Online]. Available: https://www.energate-messenger.com/news/224863/eon-and-uniper-bring-canadian-hydrogen-to-germany.

[6] Aquaventus, 2022. [Online]. Available: https://aquaventus.org/en/.

[7] J. Pohle, „Energietage Journal 2021. Factsheet Wasserstoff," 2021. [Online]. Available: https://www.energietage.de/fileadmin/user_upload/2021/Magazin/ENERGIETAGE_Journal_2021_Factsheet_Wasserstoff.pdf.

[8] A. Elgowainy, D. Lampert, C. Hao, J. Han, J. Dunn und M. Wang, „Life-Cycle Analysis of Water Use for Hydrogen Production Pathways," *DOE Hydrogen and Fuel Cells Program No. FY 2015 Annual Progress Report,* 2015.

[9] Helmholtzer Zentrum für Umweltforschung, „Dürremonitor Deutschland," 2022. [Online]. Available: https://www.ufz.de/index.php?de=37937.

[10] Land Niedersachsen, „Wasserversorgungskonzept Niedersachsen," Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover, 2022.

[11] Norddeutsches Küsten- und Klimabüro und H.-Z. Geesthacht, „Norddeutschland im Klimawandel," Dr. Insa Meinke, Geesthacht, 2020.

[12] H. Mohammadpour, R. Cord-Ruwisch, A. Pivrikas und G. Ho, „Utilisation of oxygen from water electrolysis – Assessment for wastewater treatment and aquaculture," *Chemical Engineering Science,* 246, 2021.

[13] Z. Chen, W. Wei, W. Zou, J. Li, R. Zheng, W. Wei, B.-J. Ni und H. Chen, „Integrating electrodeposition with electrolysis for closed-loop resource utilization of battery industrial wastewater," *Green Chemistry,* 8, 2022.

[14] M. Cartaxo, J. Fernandes, M. Gomes, H. Pinho, V. Nunes und P. Coelho, „Hydrogen Production via Wastewater Electrolysis — An Integrated Approach Review," *The Proceedings of the International Conference on Smart City Applications,* 5, 2022.

[15] X. Ji, X. Liu, W. Yang, T. Xu, X. Wang, X. Zhang, L. Wang, X. Mao und X. Wang, „Sustainable phosphorus recovery from wastewater and fertilizer production in microbial electrolysis cells using the biochar-based cathode," *Science of The Total Environment,* 807, 2022.

[16] BMWK, „IPCEI-Projekte," 2020. [Online]. Available: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/ipcei-standorte.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

[17] Destatis, 2022. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/_inhalt.html#sprg238684.

[18] DIW Econ und Wuppertal Institut, „Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung," Studie für den Landesverband Erneuerbare Energien NRW e.V., 2020.

[19] J. Diettrich, W. Medjroubi und A. Pluta, „SciGRID_gas INET_Filled (1.1.0) [Dataset]," 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.4642563.

Autoren:

Dr. Urte Brand-Daniels
DLR, Institut für Vernetzte Energiesysteme

Tel.: 0441-99906116
E-Mail:
urte.brand@dlr.de
Internet:
https://www.dlr.de/ve/



Julian Bartels
DLR, Institut für Vernetzte Energiesysteme, Oldenburg

Tel.: 0441-99906138
E-Mail:
julian.bartels@dlr.de
Internet:
https://www.dlr.de/ve/



Herausforderungen der Energiewende für die Wasserversorgung

Von Kerstin Krömer, Julia Oberdörffer und Lars-Ole Steffen

1 Einleitung

Deutschland ist ein wasserreiches Land, das primär Grundwasser als natürliche Trinkwasserressource nutzt [1]. Dennoch kam es in den letzten Jahren wiederholt in ausgewählten Regionen bei länger anhaltender Trockenheit lokal und temporär zu Anspannungen im Dargebot und damit verbunden zu Einschränkungen in der Trinkwasserförderung und -versorgung. Es besteht mittlerweile wissenschaftlicher Konsens, dass diese in Deutschland bisher nicht üblichen Trockenphasen sich mit fortschreitendem Klimawandel sowohl in Dauer als auch Häufigkeit intensivieren werden.

In Industrie und Gewerbe wird bisher vielfach Trinkwasser bzw. Wasser aus Trinkwasserressourcen als Brauchwasser für Produktionsprozesse eingesetzt. Hieraus resultieren Auswirkungen auf die Umwelt und wachsende Konfliktpotenziale, die aus der steigenden Nutzungskonkurrenz um Trinkwasser entstehen. Für deren Lösung wird von wichtigen Verbänden und Organisationen der deutschen Wasserwirtschaft und der Politik eine ganzheitliche Herangehensweise eingefordert, die die Nutzung alternativer Wasserressourcen beinhaltet [2, 3].

Mit der Umsetzung der Energiewende werden zusätzliche Herausforderungen an die Wasserver- und Abwasserentsorgung gestellt. Insbesondere für die Produktion von grünem Wasserstoff, aber auch für die Batterieproduktion, Flüssigerdgasindustrie und hieraus resultierende periphere Industrien werden in Norddeutschland hohe Wasserbedarfe erwartet. So besteht laut Niedersächsischem Wasserstoff-Netzwerk für das Szenario 2030 ein Bedarf an 18 TWh Wasserstoff, entsprechend 13 GW installierter Elektrolyseleistung in Niedersachsen [4]. Dies entspricht bereits bei einer rein stöchiometrischen Betrachtung, also bei einer verlustfreien Umwandlung, einem Wassermehrbedarf von ca. 5 Mio. m^3 demineralisierten Wassers [5]. Auch wenn diese Mengen aktuell nur unzureichend eingeschätzt werden können, zeigen die Ankündigungen einzelner Großprojekte bereits heute die zu erwartenden Dimensionen, etwa eine Anlage zur Wasserstoffproduktion durch Uniper und EWE in Huntorf mit einer potentiellen Kapazität von 300 MW [6] und eine Anlage der EWE in Emden mit einer Kapazität von 320 MW [7]. Die entsprechenden Wassermengen können im Versorgungsgebiet des OOWV nicht über Ressourcen der öffentlichen Trinkwasserversorgung gedeckt werden.

In diesem Beitrag werden Grundlagen zum Wasserbedarf bei der Produktion von grünem Wasserstoff vorgestellt und Optionen zur alternativen Brauchwasserversorgung diskutiert.

2 Wasserbedarf für grünen Wasserstoff

Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff, also die Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse, ist neben Energie in erster Linie Wasser erforderlich. Das Wasser wird direkt für den Elektrolyseprozess und die Kühlung des Prozesses benötigt (s. Abbildung 1). Der im Wasser befindliche

Anteil an Wasserstoff beträgt etwa 1 kg Wasserstoff pro 9 kg Wasser und entspricht damit dem stöchiometrischen Wasserbedarf. Es gibt im Elektrolyseprozess jedoch zusätzliche Verluste, etwa da beide produzierten Gase (H2, O2) das System feucht verlassen und hierbei Wasser mit austragen. Diese werden laut Literatur auf etwa 25 % beziffert [8].

Das Wasser für den Elektrolyseprozess wird in sehr weit aufgereinigter Form als demineralisiertes Wasser für den Prozess benötigt und häufig synonym als demineralisiertes oder entmineralisiertes Wasser, VE-Wasser sowie Reinstwasser bezeichnet. Die Anforderungen an dieses Wasser sind Partikelfreiheit, sehr geringe Konzentrationen an Metallen und Ionen und sehr geringe Gehalte an organischen Stoffen. Je nach Betriebsweise und Technologie des Elektrolyseurs werden darüber hinaus spezifische Anforderungen an die Reinheit des Wassers gestellt. Die hohen Anforderungen an die Wasserqualität sichern hohe Nutzungsdauern der Elektroden und des Gesamtsystems sowie einen möglichst hohen Wirkungsgrad des Elektrolyseprozesses.

Bei Verunreinigungen des demineralisierten Wassers mit Ionen kommt es zur Beschädigung der Elektroden bzw. der Katalysatorschichten auf diesen. So werden die Ionen im Wasser an den Elektroden oxidiert oder reduziert, da durch die Zellspannung die notwendige Energie zur Verfügung gestellt wird. Diese Reaktionen stehen in Konkurrenz zur Elektrolysereaktion und laufen bevorzugt ab, wenn das Redoxpotential und/oder die Reaktionskinetik günstiger sind als die der Wasserelektrolyse. Dies führt einerseits zu einer lokalen pH-Wert-Verschiebung an den Elektroden und der nachfolgenden Ablagerung von ausfallenden Stoffen, etwa von Magnesiumhydroxid. Andererseits können durch die Redoxreaktionen unerwünschte Nebenprodukte wie Hypochlorit-Ionen oder Chlorgas entstehen. Einige Kationen, etwa Ammonium- oder Eisen(III)-Ionen konkurrieren zudem mit den Protonen um die Bindung an die Sulfonsäure-Gruppen an der Nafion-Membran. Lagern diese sich dort ab, wird die Protonenleitfähigkeit der Membran deutlich verringert, was die Ladungs- und Massenübertragung der Membran und somit die Zellleistung erheblich mindert [9].

Für die „Proton Exchange Membrane“ (PEM) Elektrolyse wird daher vielfach eine Leitfähigkeit von 0,1 µS/cm von Herstellern gefordert. Diese Elektrolyse ist auf Grund des guten Lastgangverhaltens gerade für die Produktion von grünem Wasserstoff gut geeignet und hat verhältnismäßig geringe Anforderungen an Wartung und Betriebsmittel.

Das demineralisierte Wasser wird durch die Kombination von verschiedenen Wasseraufbereitungsverfahren aufbereitet Je sauberer hierbei die ursprüngliche Wasserressource, desto weniger kosten-, ressourcen, und energieintensiv ist die weitergehende Behandlung. Aus diesem Grund wird häufig von Trinkwasser zur Produktion des demineralisierten Wassers ausgegangen, das dann über eine Kombination von Umkehrosmose und Ionenaustauscher demineralisiert wird.

Die relativ großen Mengen an Abwärme, die bei der Wasserstoffelektrolyse entstehen, werden idealerweise in Nah- und Fernwärmenetzen genutzt. Ist dies nicht möglich, erfolgt eine Wärmeabfuhr über geschlossene (Luftkühlung oder Kältekompressionskühlung) oder offene Kühlsysteme (Verdunstungskühlung). Die wasserverlustfreie bzw. -arme Kühlung in geschlossenen Kühlkreisläufen ist für die Planung des Wasserbedarfs von untergeordneter Bedeutung. Für

größere Wasserstoffelektrolyseure (> 50MW) wird aber häufig eine Verdunstungskühlung (z. B. Kühlturme) gewählt, die z. T. erhebliche zusätzliche Frischwasserbedarfe generieren. Für einen langfristig wirtschaftlichen und störungsfreien Betrieb wird auch hier sehr hochwertiges Wasser, z. B. Trinkwasser oder weitergehend aufbereitetes Wasser eingesetzt. Bei zu schlechter Wasserqualität treten insbesondere folgende Herausforderungen auf:

– Partikuläre Verschmutzung: feine Partikel aber auch gelöste Metalle (bei Trinkwasser meist Eisen oder Mangan), die oxidiert ausfallen;

– Anorganische Beläge: Härtebildner insbesondere Calcium, aber auch Silikate;

– Mikro- und Makrobiologisches Wachstum (z. B. Algen oder Bakterien): das zu Ablagerungen und Schleimbildung an Oberflächen bis hin zu Verstopfungen führen kann;

– pathogene Keime: wie z. B. Legionellen, die insbesondere in Kühltürmen einem dezidierten Monitoring unterstehen;

– Korrosion: pH-Wert, Salz- bzw. Chlorid-Gehalt (oft geregelt über elektrische Leitfähigkeit).

Die Schäden durch partikuläre und biologische Verschmutzung führen zu vermindertem Wasserdurchfluss, Leistungsverlust der Wärmeübertrager, verstopfte Kühlwasserfilter und höherem Energieverbrauch bis hin zu einem Stillstand des Kühlsystems und damit im schlimmsten Fall zum Ausfall der Wasserstoffproduktion. Das mikrobiologische Wachstum kann darüber hinaus in erhöhten Belastungen durch pathogene Keime zur Folge haben (z. B. Legionellen). Um dies zu vermeiden werden in Kühlsystemen i. d. R. chemische Zusätze eingesetzt. Hierzu zählen:

– Dispergatoren, diese halten Stoffe „in Schwebe“ und vermeiden deren Ablagerung

– Härtestabilisatoren, die die Bildung von Kalk (Calciumcarbonat) und weiteren anorganischen Belägen verhindern

– Korrosionsinhibitoren bzw. Korrosionsschutzmittel zur Verminderung von Korrosion / Rost

– pH-Stabilisatoren, diese stabilisieren und passen pH-Wert auf gewünschten Wert an

– und Biozide bzw. Desinfektionsmittel zur Verminderung von Biofilmen und Mikrobiologischem Wachstem, z. B. Legionellen).

Je hochwertiger das Wasser ist, desto geringer ist die erforderliche Konzentration an diesen Chemikalien und die Zehrung dieser. Zusätzlich kann bei besserer Qualität des Kühlturmzusatzwasser eine höhere Aufkonzentration, also Kühlungsleistung je m^3 Frischwasser, erzielt werden.

Die zur Kühlung des Elektrolyseurs erforderliche Wassermenge richtet sich nach der Menge der abzuführenden Wärme, also der Kapazität, der Technologie des Elektrolyseurs, dem gewählten Kühlsystem und den standortbedingten Randbedingungen. Die für das Kühlsystem erforderliche Wassermenge kann daher von vernachlässigbar gering (geschlossenes Kühlsystem) bis hin zu einem Vielfachen des stöchiometrisch für den reinen Elektrolyseprozess erforderlichen

Wasserbedarfs liegen. Der Kühlwasserbedarf ist daher für jedes Projekt individuell zu ermitteln und bei der Wasserbedarfsplanung zu berücksichtigen. Angaben zum Kühlwasserbedarf aus geplanten Projekten sowie in veröffentlichter Literatur weisen daher auch sehr große Unterschiede auf. In der Literatur wird zum Teil von Faktoren des 50 bis 300-fachen der Wassermenge für die Elektrolyse ausgegangen [10].

Andere Quellen rechnen mit etwa 50 % der Elektrolysewassermenge bei zentraler Erzeugung ohne Nutzung der Abwärme und 0 % bei einer Nutzung der Abwärme zu dezentraler Produktionsnutzung über geschlossene Kühlkreisläufe [11].

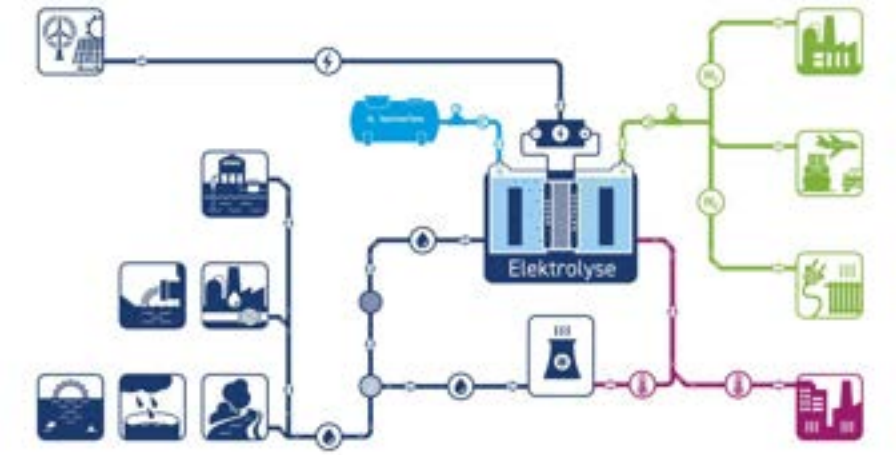


Abbildung 1: Erläuternde Darstellung zur Produktion von grünem Wasserstoff (Illustration: Niedersachsenwasser)

3 Versorgungsoptionen im Verbandsgebiet des OOWV

Grundsätzlich müssen für eine umweltverträgliche Wassergewinnung für Wasserstoffprojekte alle Wasserbedarfe und Wasserressourcen betrachtet und bewertet werden. Grundsätzlich zählen zu den Ressourcen die öffentliche Trinkwasserversorgung, Grundwasser, Oberflächenwasser, Brackwasser, Meerwasser, Regenwasser sowie kommunale und industrielle Abwasserströme. Nachfolgend werden ausgewählte Ressourcen und die Herausforderungen bei der Erschließung und Implementierung in den Prozess diskutiert.

Für die nachfolgenden Betrachtungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Der überschlägige Wasserbedarf an demineralisiertem Wasser für den Elektrolyseur beträgt 1.000 m³/a je MW Elektrolyseleistung. Der Kühlwasserbedarf wurde mit einem gemittelten Faktor Kühlwasser: Wasserbedarf Elektrolyseur = 6,15, also mit 6.150 m³/a je MW Elektrolyseleistung, angenommen. Die durchgeführten Berechnungen dienen einer ersten Einschätzung der Wasserverfügbarkeit und sind ausschließlich überschlägige Berechnungen, wobei keine standortspezifischen Faktoren oder individuellen Wasserqualitäten berücksichtigt werden.

3.1 Wasserressource Trinkwasser

Die seitens der Hersteller oder Betreiber favorisierte Variante ist häufig die öffentliche Trinkwasserversorgung, da hier bereits eine sehr hohe Wasserqualität mit einer hohen Versorgungssicherheit bereitgestellt wird. Die weitergehende Aufbereitung des Trinkwassers zu demineralisiertem Wasser ist daher für den Betreiber mit geringeren Investitions- und Betriebskosten verbunden.

Tatsächlich sind bei großen zusätzlichen Wasserbedarfen auch Anpassungen an der Infrastruktur der öffentlichen Wasserversorgung (Grundwassergewinnung, Aufbereitung und Verteilung) erforderlich. Darüber hinaus können diese Mengensteigerungen auch Erhöhungen der Wasserentnahmerechte zur Folge haben, die i. d. R. eine mehrjährige Vorbereitung und ein mehrjähriges Verfahren bedeuten.

Die Trinkwasserbereitstellung erfolgt im Verbandsgebiet des OOWV ausschließlich aus Grundwasser, das naturnah aufbereitet wird. Das Grundwasser wird im Wasserwerk belüftet (Riesler, Oxidatoren oder technischer Sauerstoff) und durch eine meist mehrstufige Filtration mit Kies und/oder Juraperle (Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat) zu Trinkwasser aufbereitet.

Die weitergehende Aufbereitung zu demineralisiertem Wasser kann dann über eine Filtration oder Ultrafiltration mit anschließender Umkehrosmose zur Entfernung des Großteils der Ionenfracht erfolgen. Zur weiteren Verringerung des Ionengehalts kann eine Entsalzung über Mischbettionentauscher oder Elektrodialyse erfolgen.

In Abbildung 2 sind die Wasserverluste der Aufbereitungsstufen, die von der Entnahme bis zur Nutzung enstehen, dargestellt. Wasserverluste entstehen hierbei durch die Spülung und Konzentratabführung in den einzelnen Verfahrensstufen. In den Wasserwerken fallen etwa 4 % Filterspülwasser für die Rückspülung der Kies- und Juraperle-Filter an, für die Filtration bzw. Ultrafiltration wurde von einer Ausbeute von etwa 98 % ausgegangen. Für die Umkehrosmose kann bei geringen Leitfähigkeiten wie im Trinkwasser eine Ausbeute von etwa 80 % erreicht werden, für den Ionentauscher fallen etwa 2 % Spülwasser zur Regeneration der Ionentauscherharze an. Der Gesamtverlust beträgt somit etwa 36 % der produzierten Menge demineralisierten Wassers. Für die Kühlwasseraufbereitung fallen ebenfalls die 4 % Verluste im Wasserwerk sowie 2 % Rückspülwasser für die Ultrafiltration an (s. Abbildung 3).

Bei einer Elektrolyseleistung von 500 MW entspricht dies einer Trinkwassermenge von etwa 0,68 Mio. m³ für die Elektrolyse und zusätzlichen 3,27 Mio. m³ für die Kühlwasserversorgung, also insgesamt 3,95 Mio. m³ Trinkwasser jährlich.

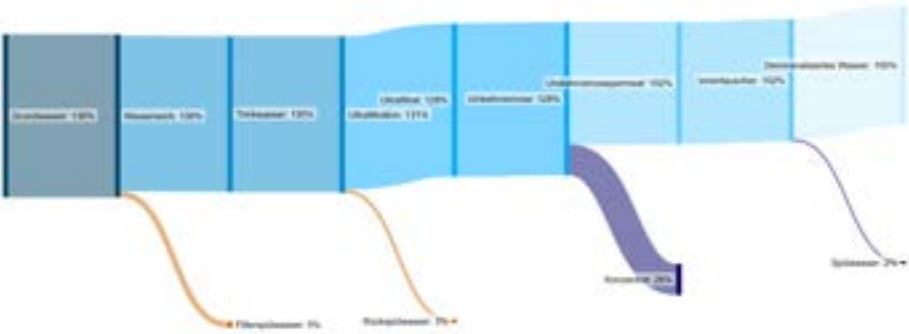


Abbildung 2: Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Grundwasser zu demineralisiertem Wasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser

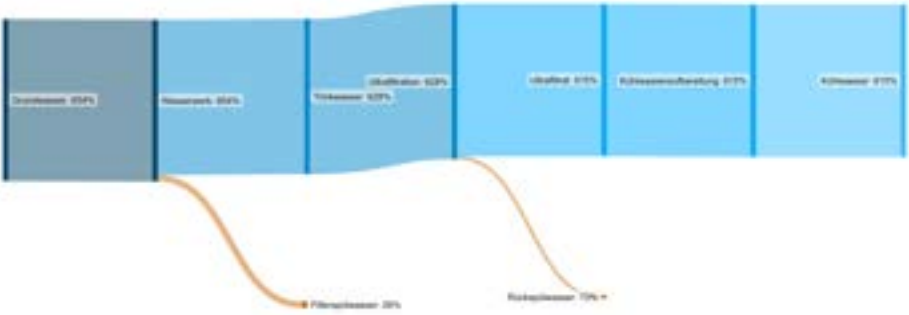


Abbildung 3: Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Grundwasser zu Kühlwasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser

3.2 Wasserressource Regenwasser

Grundsätzlich gibt es ein sehr großes Potential zur Nutzung von Regenwasser im Verbandsgebiet des OOWV: Eine Niederschlagsmenge von über 800 mm jährlich bei einem Verbandsgebiet von über 7.500 Quadratkilometern ergibt Niederschläge in Höhe von über 6 Mrd. Kubikmetern jährlich.

Regenwasser ist aber eine Ressource mit stark schwankendem Aufkommen, deren Verfügbarkeit nicht mit der Verfügbarkeit von freien Energieressourcen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff korreliert oder dieser sogar, etwa bei Solarenergie, entgegensteht. Zur Nutzung des Potentials sind umfangreiche und kostenintensive Ableitungs- und Speicherungsmaßnahmen zu treffen. Voraussichtlich ist die Nutzung von ausschließlich Regenwasser für die Produktion von grünem Wasserstoff weder unter ökologischen noch ökonomischen Gründen vertretbar. Die Regenwassernutzung wird daher nur eine untergeordnete Rolle in der Kombination mehrerer

Ressourcen spielen können und hier ggf. durch Verschneidung die Rohwasserqualität verbessern.

Der Vorteil der Ressource ist aber eine sehr geringe Leitfähigkeit von etwa 50 µS/cm, was zu sehr geringen Energiebedarfen und hohen Ausbeuten für die Verfahrensstufen zur Demineralisierung führt.

Um das Regenwasser für die Elektrolyse nutzbar zu machen, müssen dem abgeleiteten Regenwasser Störstoffe wie Partikel und grobe Verunreinigungen durch eine Vorfiltration entfernt werden, auch um die nachfolgenden Membranstufen zu schützen. Die Ultrafiltration reinigt dann das Wasser von feinen Partikeln und anderen festen Wasserinhaltsstoffen wie Algen sowie pathogenen Keimen. Die Umkehrosmose dient dann wieder dazu, den Großteil des Salzgehaltes zu entfernen. Die weitergehende Verringerung des Ionengehalts geschieht über Mischbettionentauscher (s. Abbildung 4).

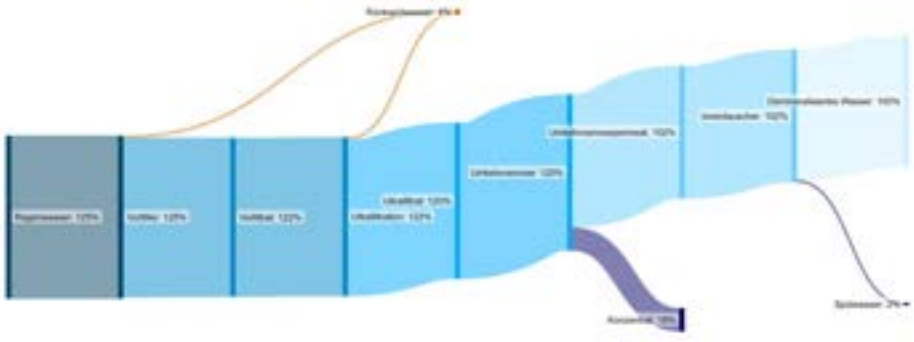


Abbildung 4 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Regenwasser zu demineralisiertem Wasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Für den Vorfilter fallen etwa 2 % Filterspülwasser für die Rückspülung an, für die Ultrafiltration wurde von einer Ausbeute von etwa 98 % ausgegangen. In der Regel hat Regenwasser bereits eine geringe Leitfähigkeit von ca. 50 µS/cm. Diese kann durch Einträge während der Regenwasserableitung und -speicherung ansteigen, sollte jedoch deutlich unterhalb der von Trinkwasser liegen. Daher kann für die Umkehrosmose eine hohe Ausbeute von 85 % oder mehr erreicht werden. Für den Ionentauscher fallen etwa 2 % Spülwasser zur Regeneration der Ionentauscherharze an. Der Gesamtverlust beträgt somit etwa 25 % der produzierten Menge demineralisierten Wassers.

In Abbildung 5 sind die Wasserverluste für die Kühlwasseraufbereitung aus Regenwasser dargestellt. Hierfür fallen ebenfalls die 2 % Verluste durch den Vorfilter sowie 2 % Rückspülwasser für die Ultrafiltration an. Das durch die Ultrafiltration gereinigte Regenwasserwasser kann i. d. R. direkt als Kühlwasser genutzt werden.

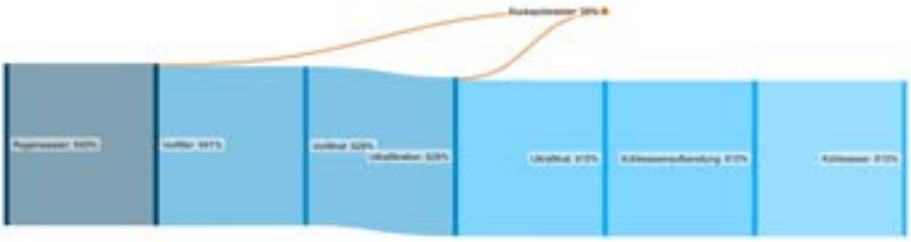


Abbildung 5 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Regenwasser zu Kühlwasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Bei einer Elektrolyseleistung von 500 MW entspricht dies einer Menge an Regenwasser von etwa 0,62 Mio. m^3 für die Elektrolyse und zusätzlichen 3,20 Mio. m^3 für die Kühlwasserversorgung, in Summe etwa 3,83 Mio. m^3 Regenwasser.

3.3 Wasserressource kommunales Abwasser

Kommunales Abwasser ist eine dürreresistente Wasserressource, die auf Grund der Vorreinigung durch eine kommunale Kläranlage bereits eine gute und relativ gleichbleibende Qualität sowie einen geringen Salzgehalt aufweist. Darüber hinaus sind entnahmerechtliche Regelungen i. d. R. einfacher als bei natürlichen Gewässern.

Dem in der Kläranlage aufbereiten Abwasser werden in der weitergehenden Aufbereitung Störstoffe wie Partikel und grobe Verunreinigungen durch eine Vorfiltration entfernt, um die nachfolgenden Membranstufen zu schützen. Die Ultrafiltration reinigt das Wasser von feinen Partikeln und anderen festen Wasserinhaltsstoffen wie Algen sowie pathogenen Keimen. Die Umkehrosmose dient dazu, den Großteil des Salzgehaltes zu entfernen. Die weitergehende Verringerung des Ionengehalts geschieht über Mischbettionentauscher.

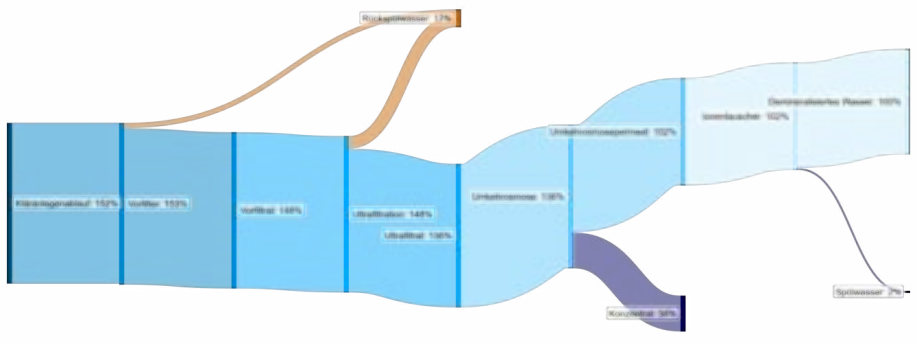


Abbildung 6 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Abwasser zu demineralisiertem Wasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Wasserverluste entstehen hierbei durch die Spülung (Vorfiltration 3%, Ultrafiltration 8%) und Konzentratabführung in den einzelnen Verfahrensstufen. Bei im Vergleich zum Grundwasser leicht erhöhten Salzgehalten im kommunalen Abwasser wurde für die Umkehrosmose von einer Ausbeute von etwa 75 % ausgegangen. Bei der weiteren Entsalzung im Ionentauscher fallen etwa 2 % Spülwasser zur Regeneration der Ionentauscherharze an. Der Gesamtverlust beträgt somit etwa 52 % der produzierten Menge demineralisierten Wassers (s. Abbildung 6). Für die Kühlwasseraufbereitung fallen ebenfalls 3 % Verluste durch den Vorfilter sowie 8 % Rückspülwasser für die Ultrafiltration an (s. Abbildung 7).

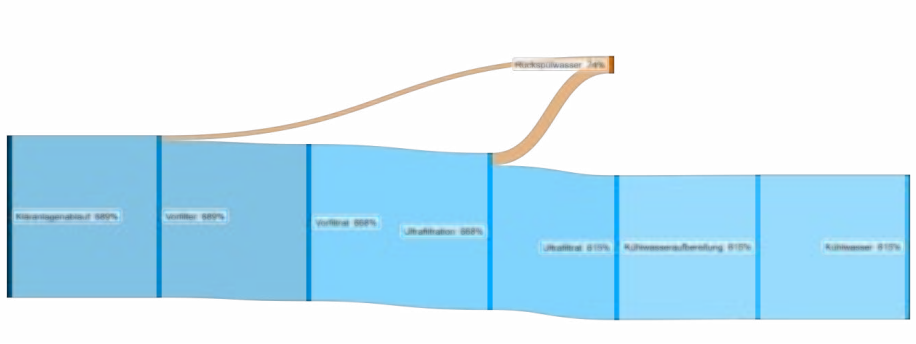


Abbildung 7 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Abwasser zu Kühlwasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Bei einer Elektrolyseleistung von 500 MW entspricht dies einer Menge an gereinigtem kommunalen Abwasser von etwa 0,76 Mio. m^3 für die Elektrolyse und zusätzlichen 3,45 Mio. m^3 für die Kühlwasserversorgung, in Summe etwa 4,21 Mio. m^3 gereinigtes Abwasser.

3.4 Wasserressource Meerwasser

Die Meerwasserentsalzung ist hierbei die kosten- und energieintensivste Ressource, da die Entsalzung über die Umkehrosmose Drücke von 60 bis 80 bar erfordert. Demgegenüber steht die hohe Verfügbarkeit von Salzwasser, gerade in der Küstenregion Niedersachsens.

Vor der eigentlichen Entsalzung werden Störstoffe wie Partikel und grobe Verunreinigungen durch eine Vorfiltration entfernt, um die nachfolgenden Membranstufen zu schützen. Die Ultrafiltration reinigt das Wasser von feinen Partikeln und anderen festen Wasserinhaltsstoffen wie Algen sowie pathogenen Keimen. Die Umkehrosmose dient dazu, den Großteil des Salzgehaltes zu entfernen. Die weitergehende Verringerung des Ionengehalts geschieht über Mischbettionentauscher.

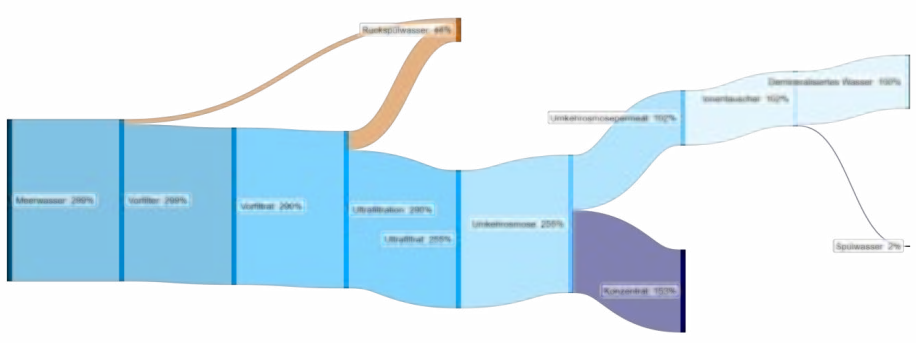


Abbildung 8 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Meerwasser zu demineralisiertem Wasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Wasserverluste entstehen hierbei durch die Spülung und Konzentratabführung in den einzelnen Verfahrensstufen. Für den Vorfilter fallen etwa 3 % Filterspülwasser für die Rückspülung an, für die Ultrafiltration wurde von einer Ausbeute von etwa 88 % ausgegangen. Bei hohen Salzgehalten wie im Meerwasser wurde für die Umkehrosmose von einer Ausbeute von etwa 40 % ausgegangen, für den Ionentauscher fallen etwa 2 % Spülwasser zur Regeneration der Ionentauscherharze an. Der Gesamtverlust beträgt somit etwa 199 % der produzierten Menge demineralisierten Wassers.

Für die Kühlwasseraufbereitung fallen ebenfalls die 3 % Verluste durch den Vorfilter sowie 12 % Rückspülwasser für die Ultrafiltration an. Da das durch die Ultrafiltration gereinigte Meerwasser noch sehr viele Ionen enthält, muss es für eine Nutzung als Kühlwasser zumindest teilentsalzt werden, wobei für die Enthärtung, etwa durch eine Nanofiltration von einer Ausbeute von 65 % gerechnet wird.

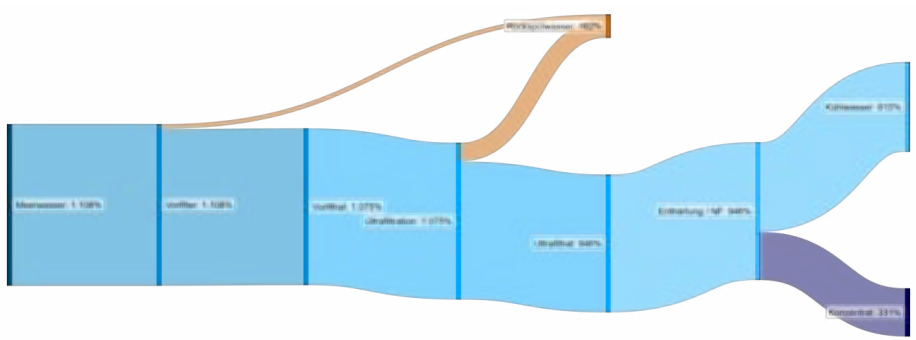


Abbildung 9 Sankey-Diagramm der Aufbereitung von Meerwasser zu Kühlwasser. Referenzgröße 100 % demineralisiertes Wasser.

Bei einer Elektrolyseleistung von 500 MW entspricht dies einer Menge an Meerwasser von etwa 1,49 Mio. m^3 für die Elektrolyse und zusätzlichen 5,54 Mio. m^3 für die Kühlwasserversorgung, in Summe etwa 7,04 Mio. m^3 Meerwasser.

4 Zusammenfassung

Durch die Produktion von grünem Wasserstoff werden große Mengen an demineralisiertem Wasser für den Elektrolyseprozess (500 MW-Anlage: etwa 500.000 m3/a) und standortspezifisch noch größere Mengen an Kühlwasser benötigt (500 MW-Anlage: bis zu 5.000.000 m3/a).

Diese Wassermengen können voraussichtlich nicht aus der zentralen Trinkwasserversorgung bereitgestellt werden. Daher müssen sämtliche lokalen Wasserressourcen für die Wasserversorgung berücksichtigt werden. Hierzu zählen u.a. dezentrale Grundwässer, Regenwasser, Oberflächenwasser, kommunale und industrielle Abwässer und Meerwasser. Hierbei sind auch saisonale Verfügbarkeit und Qualität zu prüfen.

Je nach Wasserressource fallen bei der Aufbereitung zu demineralisiertem Wasser unterschiedlich hohe Wasserverluste (u.a. durch Spülwässer und Konzentrate) an. Diese sind bei Nutzung von Regenwasser mit etwa 45 % am geringsten und bei Meerwasser mit fast 200 % am höchsten. Auch die erforderlichen Investitionen und Betriebskosten, hier insbesondere der Energiebedarf, sind stark von der Ressource und den regionalen Bedingungen abhängig.

Bei der Entnahme von Wasser aus natürlichen Systemen (Grundwasser, Flüsse, Meerwasser), sind Bewilligungen bzw. Erlaubnisse erforderlich, die häufig in der Vorbereitung und Durchführung sehr zeitaufwendig sind. Die Nutzung von industriellen und kommunalen Abwässern ist hingegen häufig ohne behördliche Entnahmegenehmigung möglich und bietet eine dürreresistente Ressource. Aber für alle Ressourcen sind genehmigungsrechtliche Fragen insbesondere für die Reststoffverwertung (z.B. Konzentratableitung) erforderlich.

Es gibt keine pauschale Lösung zur Deckung des Wasserdarfs für große Projekte zur Produktion von grünem Wasserstoff. Durch den Ansatz eines integrierten Wasserressourcenmanagements und die Kombination verschiedener Ressourcen kann aber eine unter ökologischen und ökonomischen gute Wasserversorgung zur Produktion von grünem Wasserstoff realisiert werden. Dies führt letztendlich dazu, dass realistische Wasserversorgungsszenarien bereits in frühen Konzeptionsphasen von Wasserstoffprojekten ausgearbeitet und abgestimmt werden müssen.

5 Literatur

[1] https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/wasserwirtschaft/oeffentliche-wasserversorgung#grundwasser-ist-wichtigste-trinkwasserressource

[2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Nationale Wasserstrategie, Entwurf des Bundesministeriums (2021)

[3] BDEW: Eine Wasserstrategie für Deutschland. Handlungsempfehlungen der Wasserwirtschaft für die 20. Legislaturperiode. Berlin (2021)

[4] Niedersächsiches Wasserstoff-Netzwerk (2022)

[5] https://itm-power-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/Green_Hydrogen_Water_Use_56b96f577d.pdf

[6] https://www.uniper.energy/de/medien/projekte/projekt-chess

[7] https://www.ewe.com/de/media-center/pressemitteilungen/2022/10/ewe-plant-wasserstofferzeugung-im-kraftwerksmastab-in-ostfriesland-ewe-ag

[8] https://www.academia.edu/download/67977609/j.solener.2004.09.00320210710-21301-aid670.pdf

[9] A review of PEM hydrogen fuel cell contamination Impacts mechanisms and mitigation

[10] Tjarks, Geert: PEM-Elektrolyse-Systeme zur Anwendung in Power-to-Gas Anlagen (2017)

[11] Lampert, David et al.: Development of a live cycle inventory of water consumption associated with the productionof transportation fuels (2015)

Autoren:

Dipl. Ing. Kerstin Krömer
OOWV, Brake

Tel.: 0171 8661158
E-Mail:
kroemer@oowv.de
Internet:
www.oowv.de



Dipl.- Geogr. Julia Oberdörffer
OOWV, Brake

Tel.: 0171 8406293
E-Mail:
oberdoerffer@oowv.de
Internet:
www.oowv.de



M. Eng. Lars-Ole Steffen
IWAG, Brake

Tel.: 0151 46136441
E-Mail:
steffen@oowv.de
Internet:
www.oowv,de



Reines Wasser für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff mit Hilfe von innovativen Technologien

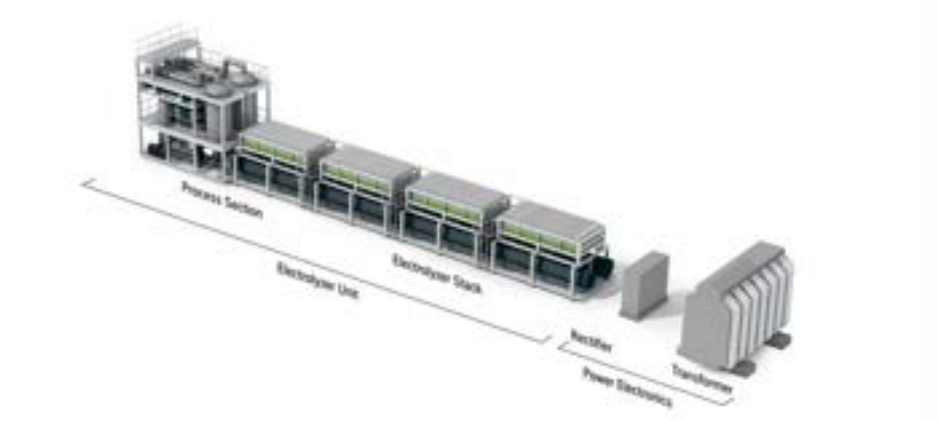
Von Michael Kuhn

1 Vorwort

Wenn wir von Wasser sprechen, dann denken wir gerne an Meer, Sonne und Strand, den abgelegenen Bergsee, die Gebirgsquelle, die Flusslandschaft oder den Bach hinter dem Haus. Wasser ist eine lebensnotwendige Grundlage. Wasser aus natürlichen Vorkommen enthält gelöste und ungelöste organische und anorganische Stoffe. In §1 der Deutschen Trinkwasserverordnung heißt es: „Zweck der Verordnung ist es, die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben, das für den menschlichen Gebrauch bestimmt ist, […] zu schützen." In Bezug auf technische Prozesse, in denen Wasser verarbeitet wird, schützen Wasserspezifikationen vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus den im Wasser enthaltenen Stoffen ergeben.

2 Erzeugung von Grünem Wasserstoff

Die Erzeugung von Grünem Wasserstoff erfolgt durch elektrolytische Zersetzung von Wasser mit Hilfe von Elektrolyseuren, deren Stromversorgung über regenerative Energiequellen gespeist wird. Bisher haben sich zwei Typen von Elektrolyseuren für großtechnische Anwendungen etabliert: die sogenannte alkalische Wasserelektrolyse, wie in der Grafik 1 dargestellt und die saure Wasserelektrolyse, letztere besser bekannt als PEM Elektrolyse.



Grafik 1: ©thyssenkrupp nucera - sie zeigt die alkalische Wasserelektrolyse Einheit. Die Grafik darf nicht ohne schriftliche Genehmigung von thyssenkrupp nucera kopiert oder anderweitig verwendet werden.

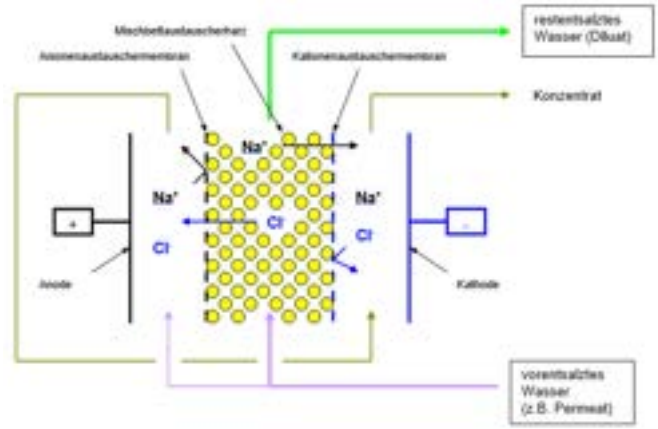
Bei der alkalischen Wasserelektrolyse dient eine wässrige Kalilauge als Elektrolyt während bei der sauren Wasserelektrolyse eine spezielle Polymermembran als Elektrolyt dient, die sogenannte Polymer Elektrolyt Membran, kurz PEM. Gespeist werden beide Systeme mit reinem Wasser.

3 Anforderungen an die Wasserqualität für den Elektrolyseprozess

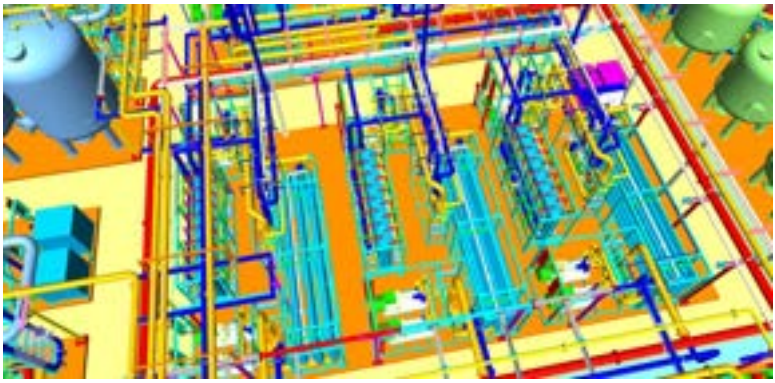
Die Hersteller von Elektrolyseuren geben in den aktuellen Projekten individuelle Spezifikationen für die Wasserqualität an. In Wasserelektrolyseprozessen wird Wasser in die Gase Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt, was die Nachspeisung von Wasser in diese Prozesse erforderlich macht. Die Qualität dieses Wassers bewegt sich in einem Bereich zwischen 0,055 und < 20 µS/cm. Weiterhin sind oft einzelne Stoffe (Metalle, Mineralsäuren und organische Stoffe) in ihrem Gehalt im Wasser stark limitiert. Dabei bewegen sich die Konzentrationsangaben zum Großteil im unteren ppb-Bereich (µg/kg).
Der Anspruch an die im Elektrolyseur eingesetzte wässrige Flüssigkeit ist, dass diese für einen möglichst langen Zeitraum in der Prozesseinheit verbleibt. Je geringer die Qualität der Elektrolytlösung durch das nachgespeiste Wasser beeinträchtigt wird, umso besser werden die Ansprüche erfüllt.
Bei der PEM Elektrolyse wird reines Wasser im Kreislauf geführt. Weiterhin ist es bei diesem Prozess bisher unvermeidbar, dass bestimmte Stoffe aus der Polymer Elektrolyt Membran in das im Kreislauf geführte Wasser abgegeben werden. Um die Qualität des Kreislaufwassers aufrecht zu erhalten, muss zumindest ein Teilstrom dieses Kreislaufwassers unabhängig von der Nachspeisung behandelt werden, über den die eingetragenen Stoffe wieder aus dem System ausgetragen werden.

4 Technologien zur Wasseraufbereitung, die die Anforderungen erfüllen

Der Umfang an Behandlungstechnologien, mit denen das Wasser für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff aufbereitet wird, richtet sich nach dem Ursprung des Wassers. In der Regel sind Vorbehandlungen erforderlich, bevor die eigentliche Technologie in der Hauptaufbereitung zum Einsatz kommen kann, mit der die geforderte Wasserqualität erzielt wird. In der Vorbehandlung kommen oft mechanische Behandlungsverfahren wie Filtration, chemisch-physikalische Behandlungsverfahren (Envochem®) wie Fällung-Flockung oder auch biologische Behandlungsverfahren (Biomar®) zum Einsatz. In der Hauptaufbereitungsstufe sind es im Wesentlichen Verfahren zur Entfernung von gelösten organischen und anorganischen Stoffen. Für letztere eignen sich Membranverfahren (Envopur®) wie die Umkehrosmose sehr gut, die aufgrund ihrer homogenen dichten Membranstruktur auch den Großteil gelöster Salze zurückhalten. Zur Restentsalzung sind der Umkehrosmose Behandlungsstufe entweder diskontinuierlich arbeitende Mischbett-Ionenaustauscher oder die kontinuierlich arbeitende elektrochemische De-Ionisation (EDI) nachgeschaltet. Grafik 2 zeigt das Funktionsprinzip der elektrochemischen De-Ionisation. Die kontinuierliche Regeneration der in dieser Art Module eingesetzten speziellen Ionenaustauschharze erfolgt über das elektrische Feld zwischen Kathode und Anode. In Grafik 3 ist eine realisierte Anlage mit Umkehrosmose und nachgeschalteter elektrochemischer De-Ionisation dargestellt.



Grafik2: Funktionsprinzip der kontinuierlich arbeitenden elektrochemischen De-Ionisation



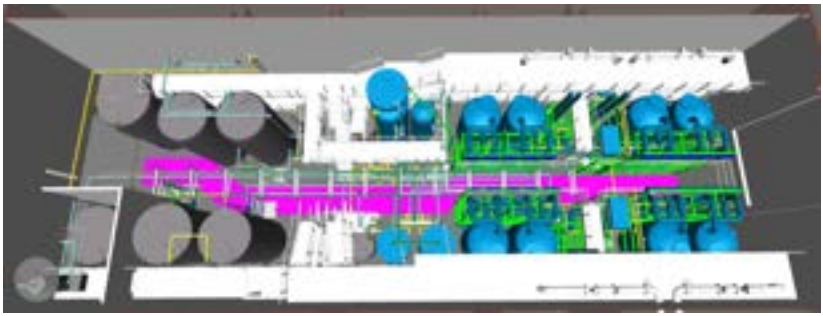
Grafik 3: ©EnviroChemie GmbH –Envopur® Umkehrosmose mit nachgeschalteter elektrochemischer Delonisation

Je nach Anforderung an die zu erzeugende Wasserqualität können auch Oxidations- oder Entgasungsverfahren notwendig werden. So können zum Beispiel restliche gelöste organische Wasserinhaltsstoffe, die die Umkehrosmose Membran passiert haben, mit Hilfe von UV-Licht bei einer Wellenlänge von ca. 185 nm „verbrannt“ werden. Vorhandenes Kohlenstoffdioxid wie auch leichtflüchtige organische Kohlenwasserstoffe können mittels Membranentgasung entfernt werden. Bei sehr hohen Anforderungen an die Restleitfähigkeit (0,055 µS/cm) ist die Verwendung von speziellen Mischbett-Ionenaustauschharzen unverzichtbar. Dabei ist auch an die Materialien zu denken, mit denen das Produktwasser in Berührung steht (Behälter, Rohrleitungen, usw.). Die Auswahl sollte so erfolgen, dass aus diesen Materialien möglichst keine Substanzen in das Produktwasser abgegeben werden.

5 Innovationen

Dem Grünen Gedanken folgend gilt auch für die Wasseraufbereitung:
– ressourcenschonende Technologien einzusetzen
– Wassermengen durch Mehrfachnutzung und Recycling-Verfahren zu minimieren
– Abfallstoffe zu minimieren
– Chemikalieneinsatzmengen zu minimieren

Die Weiterentwicklung im Bereich des Grünen Wasserstoffs ist offensichtlich. Die Anzahl an Projekten nimmt weltweit zu. Auch die Projektgrößen nehmen zu. Grüne Wasserstoff Produktionsanlagen im Megawatt Leistungsbereich sind schon heute keine Seltenheit. Die Zukunft denkt in Gigawatt. Die Bedarfsmengen an Ionenaustauschharz, wie sie in den Polisher-Mischbettanlagen in der Wasseraufbereitung für Grünen Wasserstoff benötigt werden, werden somit zunehmen. Üblicherweise werden diese Harztypen nicht für die Anwendung in Reinstwasseranlagen regeneriert. Im Harzservice, wo die beladenen Harze dieser Art angenommen werden, werden sie in den Harzpool für normale Mischbettanwendungen aufgenommen. Der entstehende Überschuss an Harzen im Pool fällt dann als Abfall an. Wir, die Enviro Water Group haben die Regeneration der speziellen Harze für die Anwendung in der Grünen Wasserstoff Produktion im Blick. Grafik 4 zeigt eine solche Envochem® Anlage.



Grafik 4: ©EnviroChemie GmbH – Envochem® Regenerieranlage für Polisher-Mischbett Ionenaustauscher

Autor:

Dipl.-Ing. Michael Kuhn
EnviroChemie GmbH, Rossdorf



Tel.: +49 6154 6998-26
E-Mail:
michael.kuhn@envirochemie.com
Internet:
www.envirochemie.com

6
Barfuß im Regen – wohin mit dem Wasser?

CATCH – Bilanz eines europäischen Kooperationsprojekts

Von Helge Bormann und Mike Böge

1 Einleitung

In der jüngeren Vergangenheit wurde vor dem Hintergrund des Klimawandels in vielen Regionen Deutschlands eine Häufung extremer Niederschlagsereignisse beobachtet, die vor allem Städte vor große Herausforderungen gestellt haben. Lokale Starkniederschläge wie in Dortmund (2008), Münster (2014) oder Braunsbach (2016) führten zu erheblichen Schäden und verdeutlichten einen großen Handlungsbedarf im Umgang mit extremen Wassermengen im urbanen Kontext. Spätestens das Extremhochwasser in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im Juli 2021 haben die Themen „Starkregenvorsorge und Klimaanpassung“ regionsübergreifend wieder auf die Agenda gebracht. Eine derartige Häufung des Auftretens extremer Wetterereignisse macht eine umgehende Anpassung von Städten und Kommunen an den Klimawandel dringend erforderlich. Aktuelle Beobachtungen bestätigen die Fortsetzung der des in der Vergangenheit beobachteten Klimawandeltrends [1], und der aktuelle sechste Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC [2] weist nachdrücklich darauf hin, dass mit einer weiteren Intensivierung des Klimawandels zu rechnen ist. Gleichzeitig wurden in der Öffentlichkeit im Hinblick auf viele Handlungsbereiche Defizite im Umgang mit extremen Ereignisse wie dem Ahr-Hochwasser (2021) diskutiert. So wurde darauf hingewiesen, dass bereits viele Beispiele guter Praxis bereitstehen, deren konsequente Umsetzung das Schadensrisiko bei vergleichbaren Ereignissen erheblich senken könnte [3]. Einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung kann eine „wassersensible Stadtentwicklung“ leisten, um den gezielten Umgang mit Starkregen im Sinne des Konzepts der „Schwammstadt“ [4] zu unterstützen. Während Großstädte den Anpassungsprozess vielfach bereits gestartet haben, fehlen kleinen und mittleren Städten oft die nötigen Ressourcen [5, 6] für die erforderliche strategische Ausrichtung.
Das Projekt CATCH (*water sensitive Cities: the Answer To CHallenges of extreme weather events*) hat sich dieser Herausforderung angenommen [7]. In sieben Städten im Nordseeraum wurden von 2017-2022 inspirierende Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt. Diese Pilotprojekte dienen als Beispiele guter Praxis für das Web-basierte CATCH-Klimaanpassungstool, das der Entscheidungsunterstützung dient und die Kommunen sowohl bei der Strategieentwicklung als auch bei der Vorbereitung und Umsetzung von Maßnahmen unterstützt [8].

2 Das CATCH-Projekt

Ziel des von der EU geförderten Interreg VB-Projekts CATCH (2017-2022; https://northsearegion.eu/catch/) war, die Resilienz mittelgroßer Städte und Kommunen im Nordseeraum im Umgang mit Extremwetterereignissen zu steigern. Beteiligt waren sieben Städte (Arvika, Enschede, Herentals, Norwich, Oldenburg, Vejle, Zwolle), zwei Provinzen (Overijssel, Värmland), zwei Hochschulen (Universität Twente, Jade Hochschule) und zwei Wasserverbände (Waterschap Vechstromen, Oldenburgisch Ostfriesischer Wasserverband) aus insgesamt sechs Ländern der Nordseeregion [6, 7].

Die in CATCH erarbeiteten Ergebnisse und Produkte unterstützen die zentralen Schritte für eine maßgeschneiderte Unterstützung von Städten und Kommunen bei der Klimaanpassung:

– die Einschätzung des Ist-Zustandes des urbanen Wassermanagementsystems [9],
– die Erfassung der spezifischen Bedürfnisse beispielhafter kleiner und mittelgroßer Städte [6],
– die Entwicklung eines Beratungstools zur Unterstützung bei der Planung und Umsetzung konkreter Maßnahmen [8]
– sowie die Umsetzung beispielhafter Pilot-Anpassungsmaßnahmen zur Demonstration von Beispielen guter Klimaanpassungspraxis.

Als Grundlage für die Einschätzung des Status Quo der Städte dient das in Australien entwickelte Konzept der „wassersensiblen Stadtentwicklung“ [10]. Das Konzept beschreibt die historischen und zukünftig erforderlichen Entwicklungsschritte einer Stadt in Bezug auf deren Wassermanagementsystem und kann für die Beantwortung der Frage genutzt werden, inwieweit eine Stadt bereits auf potenzielle Klimawandelfolgen vorbereitet ist. Das Konzept dient damit sowohl als Grundlage für eine Selbsteinschätzung (Wo befinden wir uns derzeit, und in welchen Bereichen gibt es Defizite?) als auch als zielorientierter Fahrplan zur „wassersensiblen Stadt“ (Wo wollen wir hin, und was müssen wir dafür verbessern?). Das Konzept der wassersensiblen Stadtentwicklung bewertet drei unterschiedliche Handlungsbereiche:

1. Betrachtung von Städten als Einzugsgebiete, in denen natürliche Wasserhaushaltsprozesse wie Speicherung, Infiltration, etc. ihren Platz haben und Wasser auch als wertvolle Ressource verstanden wird.
2. Betrachtung von Städten als Orte, an denen und von denen Ökosystemleistungen angeboten werden. Positive Wirkungen von blaugrünen Strukturen sollen bewertet werden und in Entscheidungsprozesse einfließen.
3. Betrachtung von Städten als Orte wassersensibler Gemeinschaften und Netzwerke. Die Umsetzung integrierter Lösungen bedarf einer intensiven Kommunikation der beteiligten Akteure, die durch geeignete Formate und Werkzeuge gefördert werden kann.

Eine Herausforderung zu Beginn des CATCH-Projekts war die Anpassung des australischen Konzepts der wassersensiblen Stadtentwicklung auf die Verhältnisse des Nordseeraums. Hierbei galt es, regionalspezifische Rahmenbedingungen wie klimatische [11], hydrologische und wasserwirtschaftliche Aspekte angemessen zu berücksichtigen. In der Nordseeregion stehen Wasserrisiken in Form von Starkregen und Überschwemmungen stärker im Vordergrund als Dürreperioden. Darüber hinaus spielt die Integration der Ziele wasserrechtlicher Rahmenbedingungen in ein regional angepasstes Konzept eine wichtige Rolle, z.B. der Stand der Umsetzung der betreffenden EU-Rahmenrichtlinien [12, 13].

3 Unterstützungsbedarfe mittelgroßer Städte bei der Klimaanpassung

Die Selbsteinschätzung der Pilot-Städte zu Beginn des CATCH-Projekts ergab, dass sich die meisten Städte in Bezug auf die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung gut aufgestellt

sehen, aber im urbanen Raum noch kein integratives Wassermanagement betreiben. Wasserversorgung, die Abwasserentsorgung und -aufbereitung sowie das Regenwassermanagement entsprechen überwiegend dem Stand der Technik und sind in die aktuellen Planungsprozesse integriert. Allerdings gibt es gerade innerhalb der Städte noch Defizite hinsichtlich der Gewässerstruktur und der Wasserqualität. Über eine adaptive, multifunktionale Infrastruktur verfügt noch keine der Pilot-Städte. Der strategische Planungsprozess dorthin befindet sich entweder in den Anfängen oder ist noch nicht angestoßen.
Daraus konnten direkt Unterstützungsbedarfe abgeleitet werden, die auch im Rahmen von umfangreichen Interviews mit Stakeholdern aus den Pilotstädten bestätigt wurden:

– Die Pilotstädte sind sich der klimawandelbedingten Risiken bewusst, benötigen aber Unterstützung beim proaktiven Umgang mit diesen Risiken und bei der Initiierung eines Klimaanpassungsprozesses [6].
– Integrative Klimaanpassungskonzepte sind entweder noch nicht vorhanden, oder das Regenwasser- und das Hochwasserrisikomanagement sind noch nicht in übergreifende Planungen integriert [6].
– Unterstützungsbedarfe werden hinsichtlich Kriterien und Werkzeugen für die Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen formuliert. Konzepte für die Evaluation des Erfolges umgesetzter Maßnahmen sind zwar erwünscht, aber nicht vorhanden [6].
– Ökosystemleistungen entsprechend dem Konzept der wassersensiblen Stadt werden nur in Ausnahmefällen einbezogen. Ebenso sehen alle Pilotstädte Potenzial, durch Einbindung weiterer Akteure die unterschiedlichen Interessenslagen beim integrativen Planungsprozessen besser berücksichtigen zu können [7].

4 Klimaanpassungstool zur Unterstützung der Städte

Basierend auf dieser Bedarfsanalyse mittelgroßer Städte im Nordseeraum für eine nachhaltige Anpassung an den Klimawandel [6] wurde in CATCH ein webbasiertes Klimaanpassungstool entwickelt [8]. Hierbei steht vor allem der Umgang mit Starkregen und Hochwasser im Vordergrund. Das Tool richtet sich an die kommunal Verantwortlichen und Planenden. Eine Kombination aus Selbsteinschätzung (Analyse des Status quo) und Hinweisen zum strukturierten Vorgehen bei der Klimaanpassung von Städten wird durch Beispiele guter Anpassungspraxis ergänzt, die zum Teil im Rahmen der CATCH-Pilotmaßnahmen generiert wurden. Das CATCH-Klimaanpassungstool steht im Einklang mit dem ISO Standard 14090 [14] und ist in englischer Sprache frei im Internet zugänglich [https://www.catch-tool.com]. Es besteht aus vier Komponenten (Bild 1):

1. Selbsteinschätzungstool (*Self Assessment*), basierend auf der Theorie der wassersensiblen Stadtentwicklung [10],
2. Klimaanpassungskreislauf (*Climate Adaptation Cycle*), aufbauend auf einem Konzept für die Klimaanpassung von Küstenregionen [15],
3. Governance-Analyse (*Governance Assessment*), als Weiterentwicklung eines Water-Governance-Analyse-Tools mit dem Fokus auf Dürreprobleme [16],
4. Einschätzung der Ökosystemleistungen (*Ecosystem Services Assessment*).

Ein Frage-Antwort-Spiel spiegelt die Stärken und Schwächen im aktuellen Umgang mit wasserbedingten Herausforderungen wider und begleitet Anwendende durch den Klimaanpassungsprozess. Das Tool gibt wertvolle Hinweise auf Begleitmaterialien und weist ggfs. auf Schwachstellen im lokalen Governance-Kontext sowie auf die Ökosystemleistungen hin, die mögliche Klimaanpassungsmaßnahmen mit sich bringen können [8].

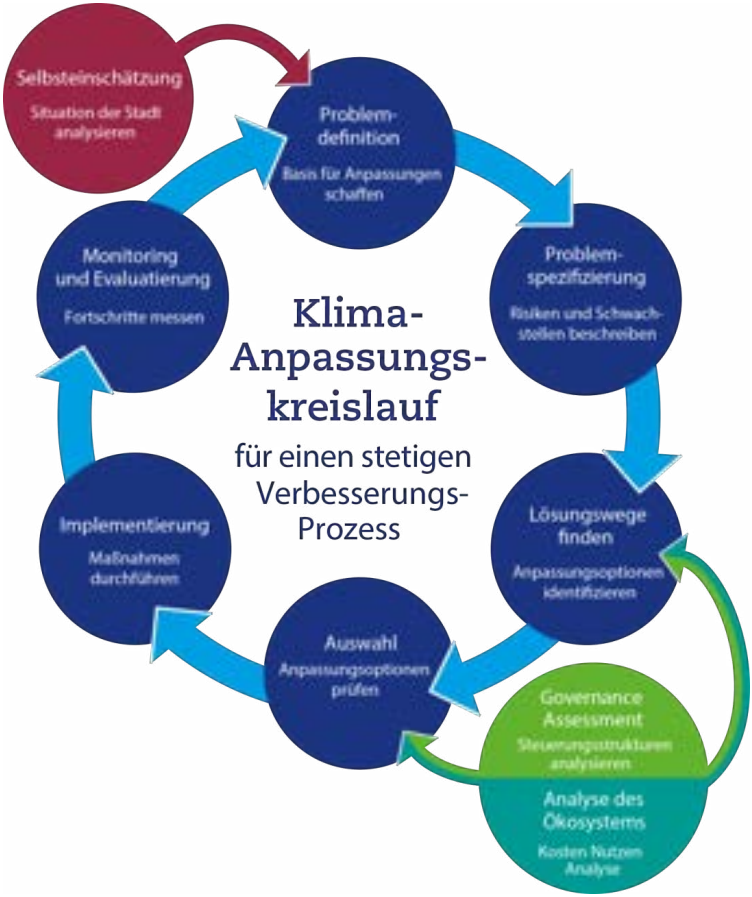


Bild 1: Die Elemente des CATCH-Klimaanpassungstools: Selbsteinschätzung, Klimaanpassungstool, Governance Assessment und Analyse der Ökosystemfunktionen.

Das CATCH Klimaanpassungstool ist damit ein einfach zu bedienendes Online-Werkzeug zur Unterstützung kleiner und mittelgroßer Städte. Der Schwerpunkt des Tools liegt darauf, den

Nutzenden bei der Identifizierung der drängenden Handlungsfelder im Rahmen der Klimaanpassung zu helfen und sie durch den komplexen Anpassungsprozess zu begleiten. Dabei generiert das Tool keine „*One fits all*"-Lösungen und ersetzt keinen Diskussions- und Entscheidungsprozess, stellt aber zielgerichtete Fragen, mit denen passfähige Lösungen erarbeitet werden können [8]. Einen wertvollen Impuls tragen die Beispiele guter Klimaanpassungspraxis bei, die im Rahmen der Pilotmaßnahmen konzipiert und umgesetzt wurden. Die Beispiele sind zwar nicht in jedem Falle direkt übertragbar, stellen aber einen wichtigen Erfahrungsschatz dar.

5 Pilotmaßnahmen im Nordseeraum

Alle am CATCH Projekt beteiligten Pilot-Städte rechnen damit, dass sich bestehende wasserbedingte Risiken durch den Klimawandel verstärken werden [11]. Die Anpassung an diese Veränderungen wird deswegen bei kleinen und mittelgroßen Städten zukünftig weiter oben auf der Agenda stehen müssen. Aufgrund der identifizierten Bedarfe und Limitationen ist eine Unterstützung bzgl. der Klimaanpassung sowohl auf der strategischen wie auch auf der praktischen Arbeitsebene erforderlich. An Standards für Klimaanpassungsmaßnahmen und einer integrativen Einbettung von Maßnahmen in die Vision einer zukünftigen Entwicklung mangelt es überwiegend noch. Beispiele guter Praxis aus anderen Pilotstädten können insofern wertvolle Anregungen geben, ebenso wie die Dokumentation eventuell gemachter Fehler anderer Kommunen. Damit können Städte im Sinne von „Städtenachbarschaften" voneinander lernen [6]. Den im Rahmen von CATCH umgesetzten und im Folgenden beschriebenen Pilot-Anpassungsmaßnahmen (Tabelle 1) kommt damit sowohl bzgl. der Inspiration durch andere Städte als auch dem Erfahrungsaustausch der beteiligten Akteure eine große Bedeutung zu. Sie decken ein weites Spektrum verschiedener Maßnahmen ab, die sich im Sinne eines integrativen Risikomanagements in ihrer Wirkung ergänzen können.

Stadt (Land)	Einwohner	Fläche [km²]	Angrenzender Wasserkörper	Risiken	Maßnahme(n) / Pilote
Arvika (Schweden)	14.000	11	See	Starkregen, Eutrophierung	Sedimentfang; Regenrückhaltebecken
Enschede (Niederlande)	158.000	142	Fluss	Hochwasser, Starkregen	Multifunktionale Fläche; Öffnung eines urbanen Fließgewässers
Herentals (Belgien)	26.000	48	Fluss	Hochwasser, Starkregen	Vergleichende Planung urbaner Überflutungsflächen
Norwich (Großbritannien)	194.000	39	Fluss	Hochwasser, Starkregen	Kostenlose Regentonnen
Oldenburg (Deutschland)	168.000	103	Fluss	Starkregen	Starkregengefahren-Karte; Smarte Verkehrslenkung
Vejle (Dänemark)	59.000	144	Fluss, Fjord	Hochwasser, Starkregen, Sturmflut	Multifunktionale Fläche (Sportplatz)
Zwolle (Niederlande)	124.000	119	Fluss, See	Hochwasser, Starkregen, Sturmflut	*Climate Escape* Mobil, *Garden battle* (*Serious Game*)

Tabelle 1: Übersicht über die CATCH Pilotstädte, deren Herausforderungen und Ansätze



Bild 2: Beispiele in CATCH umgesetzter Pilotmaßnahmen: *Climate Escape* Mobil (Zwolle, oben links), Multifunktionale (Sport-)Fläche (Vejle, oben rechts), Smarte Verkehrslenkung (Oldenburg, Mitte links), kostenlose Regentonnen (Norwich, Mitte rechts), urbanes Fließgewässer (Enschede, unten).

5.1 Arvika (Schweden)

Die Kommune Arvika in Schweden wurde Anfang des Jahrtausends mehrfach durch Hochwasser des Glasfjorden Sees betroffen, am stärksten im Jahr 2000. Im Rahmen des EU-Interreg Projekts *Climate Proof Areas* [15] wurde bereits der Bau eines Sperrwerks zum Schutz der Stadt vorbereitet, das in der Zwischenzeit in Betrieb genommen wurde und die Stadt vor vergleichbaren Ereignissen schützt. Durch das Sperrwerk wurde allerdings der Wasseraustausch mit dem direkt in der Stadt liegenden Teil des Sees beeinträchtigt, so dass es dort seitdem zu einer verstärkten Eutrophierung kommt. Hintergrund ist der Nährstoffeintrag aus umliegenden, landwirtschaftlich genutzten Flächen.
Im Rahmen von CATCH wurden in Arvika an den Zuläufen in den See Sediment-Fangnetze installiert, um partikuläre Stoffeinträge nach Starkniederschlägen aufzufangen und die Wasserqualität zu verbessern. Darüber hinaus wurden im Hinterland zusätzliche Regen-Rückhaltebecken installiert, um Wohngebiete lokal vor Überflutung bei Starkregen zu schützen und auch schon im Einzugsgebiet Sedimente zurückzuhalten.

5.2 Enschede (Niederlande)

Die Stadt Enschede steht vor der Herausforderung, mit wasserbedingten Risiken von drei Seiten umgehen zu müssen: Starkregen, Flusshochwasser und Grundwasser. Vor diesem Hintergrund unternimmt die Stadt große Anstrengungen, durch blau-grüne Strukturen zusätzlichen Retentionsraum in der Stadt zu schaffen und die Entsiegelung voranzutreiben. So wurden bereits in der Vergangenheit verrohrte Fließgewässer offengelegt sowie das Anlegen von „Wadis“ – eine Art Muldenrigole – in Gärten und die Gestaltung von Gründächer gefördert.
Der Schwerpunkt des CATCH-Piloten lag darauf, einen verrohrte Fließgewässerabschnitt wieder offen zu legen und multifunktionale Flächen direkt an das Fließgewässer anzuschließen. Im Pilotgebiet „Pinkeltjesplein“ wurden beide Maßnahmentypen kombiniert an einem Ort im Sinne eines „*Water Square*“ umgesetzt (Bild 2). Neben der Schaffung von Retentionsraum wurde mit der Maßnahme auch ein Beitrag zum Stadtklima geleistet und die Naherholung gefördert. Die Umsetzung wurde durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit (u.a. Newsletter) begleitet. Nachfolgeuntersuchungen deuten bereits an, dass infolge der Maßnahme der Naherholungswert im Quartier erheblich gestiegen ist.

5.3 Herentals (Belgien)

Die Gemeinde Herentals plant im Zuge einer Flußrenaturierung der „Kleinen Neete“ die Entwicklung einer Überflutungsfläche im Stadtgebiet. In erster Linie soll neben der Nutzung der Fläche auch über die zukünftige Verkehrslösung entschieden werden. Die geschieht unter der Maßgabe, dass ausreichend Raum für Überflutungen vorgehalten wird, um die potenzielle Gefährdung durch zukünftige Hochwasserereignisse möglichst gering zu halten. Um diesen Prozess voranzubringen und Materialien für Entscheidungsträger und einen Beteiligungsprozess zu erstellen, wurden vergleichende Planungsvarianten entwickelt und visualisiert, von denen sich im Laufe des Prozesses zwei Varianten für das weitere Vorgehen herauskristallisiert haben. In diesen Auswahlprozess wurden die Bürgerinnen und Bürger intensiv eingebunden. Die im Rahmen der Renaturierung gestalteten Überflutungsflächen führen schon jetzt dazu, dass die „Kleine Neete“ verstärkt im Rahmen der Naherholung genutzt wird.

5.4 Norwich (Großbritannien)

Die Stadt Norwich ist in der Vergangenheit wiederholt sowohl von Flusshochwasser als auch von Starkregen betroffen gewesen. Gerade in der näheren Vergangenheit sind Überlastungen beim Regenwassermanagement aufgetreten, die zu lokalen Überflutungen und erheblichen finanziellen Schäden geführt haben.
Vor diesem Hintergrund wurde vom Norfolk City Council ein Programm aufgelegt, um Grundstücksbesitzenden die Installation kostenloser Regentonnen anzubieten, um so die Belastung des Kanalnetzes bei Starkregen zu reduzieren. Eine große Bedeutung kam dabei einer *Social Media* Kampagne zu, um möglichst viele Bürgerinnen und Bürger zu erreichen und für das Programm zu mobilisieren (Bild 2). Am Ende der Kampagne konnte eine vierstellige Zahl an Regentonnen vermeldet werden, die im Stadtgebiet auf privatem Grund installiert wurde.

5.5 Oldenburg (Deutschland)

In der Stadt Oldenburg sind in den letzten zwei Jahrzehnten gehäuft Starkregenereignisse aufgetreten, die statistisch gesehen nicht so häufig zu erwarten waren, und die zu lokalen Überschwemmungen im Innenstadtgebiet geführt haben. Gefahren gingen und gehen dabei in großem Maße von durch die Überschwemmungsgebiete fahrenden Autos aus, die Bugwellen erzeugen und damit das Risiko für die Anwohnenden erhöhen.
In CATCH wurde vom Oldenburgisch Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) in Kooperation mit der Stadt Oldenburg auf Basis der zuvor entwickelten Starkregengefahrenkarte im Risikogebiet „Alexanderstraße“ eine Pilotanlage für eine smarte Verkehrslenkung umgesetzt (Bild 2), die im Falle von Starkregen bei kritischen Wasserständen im Kanalnetz automatisch eine Ampel-gesteuerte Umfahrung der überflutungsgefährdeten Bereiche auslöst. Damit kann zwar nicht die Überschwemmung selbst verhindert, aber deren potenzieller Schaden reduziert werden. Beide Maßnahmen tragen erheblich zur Bewusstseinsbildung der Bürgerinnen und Bürger im Hinblick auf die Starkregengefährdung im Stadtgebiet bei.

5.6 Vejle (Dänemark)

Die Stadt Vejle steht vor der Herausforderung, mit wasserbedingten Risiken von drei Seiten umgehen zu müssen: Starkregen, Flusshochwasser und Sturmfluten. Im Stadtgebiet wurden daher bereits eine Vielzahl von Maßnahmen umgesetzt, um die Stadt resilienter im Umgang mit dem Klimawandel und mit Extremereignissen zu machen. Gleichzeitig wurden punktuell Schöpfwerkskapazitäten ausgebaut, blaugrüne Strukturen und zusätzlicher Retentionsraum geschaffen.
Im Rahmen des CATCH-Projekts wurde ein Fußballplatz in eine multifunktonale Freizeitfläche umgebaut, die sowohl Raum für verschiedene Freizeitaktivitäten als auch Rückhalteraum für Wasservolumina schafft (Bild 2). Regenmengen unterschiedlicher Jährlichkeit aus einem bachaufwärts vorgelagerten Einzugsgebiet können hier zwischengespeichert und verzögert wieder der herkömmlichen Entwässerung durch das Stadtzentrum hindurch in den Fjord zugeführt werden. Gleichzeitig wurde eine Fläche geschaffen, die der Bevölkerung eine Vielzahl von Freizeitmöglichkeiten bietet. Die Fläche wird besonders von Jugendlichen und Familien sehr gut angenommen, und auch die direkten Anwohner erkennen einen erheblichen Mehrwert.

5.7 Zwolle (Niederlande)

Auch die Stadt Zwolle steht vor der Herausforderung, mit wasserbedingten Risiken von drei Seiten umgehen zu müssen: Starkregen, Flusshochwasser und Sturmfluten des Ijsselmeers. In Zwolle wurden in den vergangenen Jahren schon diverse technische Maßnahmen umgesetzt, um die Stadt wassersensibler zu machen. Auch wurde ein „*Climate Campus*“ eingerichtet, um interdisziplinäre Konzepte zu entwickeln, die die städtebauliche Klimaanpassung fördern.
Zwolle hat sich im Rahmen von CATCH auf Maßnahmen konzentriert, die das „*Community Building*“ unterstützen. Eine wesentliche Maßnahme war die Konzipierung und Umsetzung eines „*Climate Escape* Mobils“, eine Art „Escape-Spiel“, um das Bewusstsein für den Klimawandel und für Anpassungsmöglichkeiten im Stadtgebiet zu stärken (Bild 2). Auf spielerische Weise lernen die Besucher, wie sie die Klimaanpassung im Rahmen einer wassersensiblen Stadtentwicklung unterstützen können. Als weitere Maßnahme wurde ein virtueller Wettbewerb initiiert, Gärten im Rahmen eines *Serious Gaming* wassersensibler zu gestalten (*Garden Battle*).

6 Evaluation der Pilotmaßnahmen

Die Evaluation der Pilotvorhaben ergab, dass der überwiegende Teil der Pilotstädte zu Projektbeginn nicht über eine übergreifende Klimaanpassungsstrategie verfügte und die jeweilige Pilotmaßnahme damit auch nicht in einen strategischen Anpassungsprozess integriert sein konnte (Tabelle 2). Nur die Stadt Vejle besaß eine eigene Klimaanpassungsstrategie, in den Niederlanden waren lediglich regionale Strategien vorhanden. Drei der sieben Pilotstädte formulierten dieses Defizit explizit auch als ein zentrales Lernergebnis, das möglichst unverzüglich angegangen werden sollte. So wurden in CATCH bereits bei der Planung der Pilotprojekte erste Schritte in diese Richtung unternommen, um Reibungsverluste bei der Umsetzung zu vermeiden.
Maßnahmenhindernisse wurden auf verschiedenen Ebenen identifiziert und reichten vom großen politischen Rahmen (Norwich) über administrative Rahmenbedingungen (Arvika) bis hin zu technischen Details (Oldenburg) oder äußeren Umwelteinflüssen (Arvika, Enschede). Der Stadt Vejle benannte darüber hinaus ehrgeizigen Ziele als Hindernis. Der Umfang der Anpassungsvision der Stadt übersteigt die Möglichkeiten von Projekten bei weitem, so dass Anpassungsmaßnahmen in bearbeitbare „Päckchen“ aufgeteilt werden müssen (Tabelle 2).
Es wurden aber auch eine Reihe von Erfolgsfaktoren identifiziert, von denen zuallererst eine aktive Beteiligung der wesentlichen Akteure aus Politik und Gesellschaft hervorzuheben ist. Beteiligung und Kommunikation wurde von allen Pilotstädten als entscheidender Erfolgsfaktor genannt (Tabelle 2). Als sehr wertvoll wurde auch der transnationale Erfahrungsaustausch eingeschätzt, da unterschiedliche Kulturen auch unterschiedlich an vergleichbare Herausforderungen herangehen. Nicht zuletzt wurde diesbezüglich auch die Anknüpfung von Pilotaktivitäten an strategische Zielen benannt – so solche verfügbar sind.
Für zukünftige Aktivitäten haben die beteiligten Akteure v.a. die Notwendigkeit der Einbindung von Bevölkerung und Akteuren im Sinne eines „*Community Building*“ aus dem Projekt mitgenommen. Bewusstseinsbildung ist der Schlüssel zum Erfolg, alle Beteiligten möchten sich mitgenommen fühlen. Dabei müssen die Rollen aller beteiligten Akteure geklärt sein. Von zentraler Bedeutung ist darüber hinaus die generelle strategische Ausrichtung, die Integration der Klimaanpassung in die Umweltpolitik.

Stadt	Strategische Einbettung	Hindernisse	Erfolgsfaktoren	Lessons Learned
Arvika	Keine Klimaanpassungsstrategie vorhanden	Genehmigungsprozess; eingeschränkte Zeitfenster für die Installation	Einbindung politischer Entscheidungsträger; Inspiration durch Vorgehensweise der anderen Pilot-Städte; neue Formen der Zusammenarbeit mit Akteuren	Klimaanpassungsstrategie erforderlich; Einbindung der Bevölkerung sehr wichtig
Enschede	Regionale Strategie ist in Entwicklung	Schlechtwetter-Periode während der Implementierung	Aktive Beteiligung der Bevölkerung; Verknüpfung des Pilotvorhabens mit strategischen Zielen	Öffnung des Austauschs mit weiteren Akteuren; Praxis-Forschung-Kommunikation
Herentals	Klimaanpassungsstrategie auf der Ebene der Provinz	Eher bei der Implementierung erwartet (hier: Konzeptstudie)	Einbindung der Bevölkerung	Klärung der kommunalen Rolle in der Klimaanpassung erforderlich
Norwich	Keine Klimaanpassungsstrategie vorhanden	Unsicherheiten durch den Brexit	Kampagne in den sozialen Medien zur Bewusstseinsbildung	Integration von Klimaanpassung in Umweltpolitik notwendig
Oldenburg	Keine Klimaanpassungsstrategie vorhanden	Risiko der technischen Spezifizierung	Einbindung der relevanten Akteure; transnationaler Erfahrungsaustausch; Einbindung in übergeordnete Aktivitäten	Übergeordnete Strategie ist erforderlich; Risikokarte als erfolgreiches erstes Element
Vejle	Visionsplan ist verfügbar	Hohe Kosten zur Umsetzung des Visionsplans	Pilotprojekt schafft Aufmerksamkeit für das Thema	Bewusstseinsbildung als Schlüssel für den Erfolg
Zwolle	Regionale Strategie ist in Entwicklung; *Climate Campus* ist etabliert	Passfähigkeit der Expertise zur Pilot-Aktivität	Gute Kommunikation, Spaß bei der Nutzung des *Escape Rooms* und des *Garden Battle*; Passfähigkeit zum Gesamtkonzept der Klimaanpassung	*Community Building* Strategie sollte im Mittelpunkt stehen

Tabelle 2: Evaluation der Pilotprojekte für eine nachhaltige Steigerung der Klima-Resilienz.

7 Bilanz des CATCH-Projekts

Die vorgestellten Pilotmaßnahmen im Rahmen des CATCH-Projekts stellen einen wertvollen Beitrag im Rahmen der Klimaanpassung kleiner und mittelgroßer Städte dar. Beispiele guter Praxis dienen ebenso als Orientierung wie Erfahrungen zu Hindernissen oder gar Misserfolgen, von denen andere Akteure im Sinne einer Vermeidung profitieren können. Maßnahmen sind zwar in der Regel nicht direkt übertragbar, können aber inspirieren und damit wertvolle Impulse geben. Vor allem der transnationale Austausch der Praxisakteure eröffnete neue Perspektiven, wie auf unterschiedliche Weise mit vergleichbaren Herausforderungen umgegangen werden kann.

Deutlich geworden ist auch, dass es nicht DIE eine Maßnahme gibt, die die Klima-Resilienz der Städte ausreichend stärken wird. Die Pilotstädte liefern Beispiele, die vor allem in Kombination und angepasst an die lokalen Verhältnisse zur Klimaanpassung beitragen. Das CATCH-Klimaanpassungstool integriert diese Beispiele guter Praxis in eine Begleitung der Städte und

Kommunen bei ihrem individuellen Klimaanpassungsprozess. Es generiert keine „*one fits all*“ Lösungen und ersetzt keinen Diskussions- und Entscheidungsprozess, stellt aber zielgerichtete Fragen und weist auf hilfreiche Materialen hin, mit denen passfähige Lösungen erarbeitet werden können.
Diese müssen zwangsläufig in eine integrierende Klimaanpassungsstrategie eingepasst sein, um eine optimale Wirkung im Zusammenhang mit weiteren Maßnahme und übergeordneten strategischen Zielen entfalten zu können. Hier wird von allen Projektpartnern ein erhebliches Potenzial gesehen, um kleine und mittelgroße Städte wassersensibler und klimaangepasst zu gestalten. Das Klimaanpassungstool kann die Planenden dabei unterstützen, derartige Prozesse auf integrative Weise und unter Beteiligung der wesentlichen Akteure durchzuführen.

8 Danksagung

Die Autoren danken der EU für die Förderung des Projekts CATCH im Rahmen des EU-Interreg-VB-Programms („*North Sea Region Programme*“; 2017-2022; https://northsearegion.eu/catch/).

9 Literatur

[1] Bronstert, A., Bormann, H., Bürger, G., Haberlandt, U., Hattermann, F., Heistermann, M., Huang, S., Kolokotronis, V., Kundzewicz, Z.W., Menzel, L., Meon, G., Merz, B., Meuser, A., Paton, E.N., Petrow, T.: Hochwasser und Sturzfluten an Flüssen in Deutschland. In: Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland – Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. SpringerOpen. 87-101, 2018.

[2] IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 S., 2021.

[3] Schüttrumpf, H.: Das Juli-Hochwasser 2021 in NRW - Ein erster Erfahrungsbericht. Wasser und Abfall 23(7-8), 14-17, 2021.

[4] Sieker: Das Konzept der Schwammstadt (Sponge-city). Sieker, die Regenwasserexperten. https://www.sieker.de

[5] Dolman, N.J., Lijzenga, S., Özerol, G., Bressers, H., Böge, M., Bormann, H.: Applying the Water Sensitive Cities framework for climate adaptation in the North Sea Region: First impressions from the CATCH project. Water Convention 2018, Marina Bay Sands, Singapur.

[6] Bormann, H., Böge, M.: Unterstützungsbedarfe mittelgroßer Städte im Nordseeraum für die Anpassung an den Klimawandel. Wasser und Abfall, 22(12), 38-43, 2020.

[7] Böge, M., Bormann, H., Dolman, N.J., Özerol, G., Bressers, H., Lijzenga, S.: CATCH – der Umgang mit Starkregen als europäisches Verbundprojekt. gwf Wasser/Abwasser, 160/2, 53-56, 2019.

[8] Bormann, H., Böge, M., Dolman, N., Özerol, G., Lulofs, K.: Ein webbasiertes-Tool zur Unterstützung mittelgroßer Städte bei der Anpassung an den Klimawandel. Wasser und Abfall, 3(24), 39-54, 2022.

[9] Özerol, G., Dolman, N., Bormann, H., Bressers, H., Lulofs, K., Böge, M.: Urban water management and climate change adaptation: A self-assessment study by seven midsize cities in the North Sea Region. Sustainable Cities and Society 55, 102066, 2020.
[10] Wong, T., Brown, R.: Transitioning to water sensitive cities: ensuring resilience through a new hydro-social contract. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK. IWA, 2008.
[11] Quante, M. & Colijn, F. (Hrsg.): North Sea Region Climate Change Assessment. SpringerOpen, 2016. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-39745-0.pdf.
[12] EG-WRRL: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union L 327/1. 2000.
[13] EG-HWRM-RL: Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union L 288/27. 2007.
[14] ISO 14090: Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines. 2019. https://www.iso.org/standard/68507.html
[15] Bormann, H., van der Krogt, R., Adriaanse, L., Ahlhorn, F., Akkermans, R., Andersson-Sköld, Y., Gerrard, C., Houtekamer, N., de Lange, G., Norrby, A., van Oostrom, N., De Sutter, R.: Guiding Regional Climate Adaptation in Coastal Areas. In: Walter Leal Filho (Hrsg.): Handbook of Climate Change Adaptation. Springer-Verlag. 337-357, 2015.
[16] Bressers, H., de Boer, C., Lordkipanidze, M., Özerol, G., Vinke-de Kruijf, J., Farusho, C., Lajeunesse, C., Larrue, C., Ramos, M.-H., Kampa, E., Stein, U., Tröltzsch, J., Vidaurre, R., and Browne, A.: Water Governance Assessment Tool – With an Elaboration for Drought Resilience. 2013. https://research.utwente.nl/files/5143036/Governance-Assessment-Tool-DROP-final-for-online.pdf
[17] Bormann, H., Böge, M.: Umgang mit Extremwettereignissen in mittelgroßen Städten: Beitrag von Pilotstudien zur Entscheidungsunterstützung bei der Klimaanpassung im Nordseeraum. Korrespondenz Wasserwirtschaft 15(11). 685-693, 2022.

Autoren:

Apl.-Prof. Dr. Helge Bormann
Jade Hochschule, Oldenburg

Tel.: 0441-7708-3775
E-Mail:
helge.bormann@jade-hs.de
Internet:
www.jade-hs.de



Dipl.-Ing. Mike Böge
iro GmbH Oldenburg,
Oldenburg

Tel.: 0441-36103917
E-Mail:
boege@iro-online.de
Internet:
www.iro-online.de



Vier Jahre Überflutungsgefahrenkarte in Bremen: Erwartungen – Erfahrungen – Ausblick

Von Jens Wurthmann

1 Einleitung

Die Entwicklung und Einführung der Überflutungsgefahrenkarte ist in Bremen untrennbar mit dem **Projekt KLAS** – Klimaanpassungsstrategie: Extreme Regenereignisse – verbunden. Das Projekt formuliert drei thematische Module. Voraussetzung aller Module war und ist das technisch einwandfreie Funktionieren des Modellierungsansatzes und der entsprechenden Applikationen zur Erstellung der Überflutungsgefahrenkarte. Die entsprechenden Arbeiten konnten Anfang 2019 nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit abgeschlossen werden. Die öffentliche Bekanntmachung und Einführung der Überflutungsgefahrenkarte erfolgte dann im März 2019; streng genommen war jedoch nur eines der drei Module Gegenstand der Bekanntmachung und Einführung, und zwar das **Modul Bürgerauskunft.** Die beiden anderen Module, die sich mit dem Risikomanagement und dem behördlichen Zusammenspiel im Kontext wassersensibler Stadtentwicklung befassen, befinden sich weiterhin in Entwicklung und Erprobung und unterliegen einer eher sukzessiven Implementation.

Die Bürgerauskunft stellt im Gesamtkontext somit bisher den gleichsam ersten und auch bedeutendsten Meilenstein dar. Das Modul Bürgerauskunft weist im bundesweiten Vergleich zudem einige Besonderheiten auf, weshalb vermehrt auch vom **Bremer Modell** gesprochen wird. Rückmeldungen aus der Branche haben das Modell bereits wiederholt gewürdigt und eine Adaption einzelner Aspekte aus dem Modell wird vielerorts avisiert oder angestrebt. Nachstehend wird das Bremer Modell in seinen Grundzügen skizziert und die Besonderheiten werden nach rund vier Jahren praktischer Erfahrung rückblickend betrachtet und erörtert.

2 Bremer Modell

Die Umsetzung des Moduls Bürgerauskunft obliegt seit Frühjahr 2019 der Kundenbetreuung des städtischen Abwasserentsorgungsbetriebs **hanseWasser Bremen**. Die Kundenbetreuung hat seitdem ein leistungsstarkes Netzwerk aus Multiplikatoren und Beratungspartnern aufgebaut um das Thema bedarfsgerecht und variabel bei den verschiedenen Zielgruppen platzieren zu können.

2.1 Starkregen-Vorsorgeportal

Im Kontext der öffentlichen Einführung ist im Frühjahr 2019 eine zentrale Plattform zum Thema Starkregenprävention eingerichtet worden. Die Plattform wurde **Starkregen-Vorsorgeportal** genannt, folgt jedoch nicht dem klassischen Portalansatz. Es handelt sich vielmehr um eine Internetseite, die unter www.bauumwelt.bremen.de aufrufbar ist. Das Starkregen-Vorsorgeportal führt inhaltlich in das Thema ein, benennt wichtige Akteure und Kontaktdaten und stellt grundlegende Informationsmaterialien zum Download bereit. Auch die Überflutungsgefahrenkarte ist

von hier aufrufbar. Die **Überflutungsgefahrenkarte** bezieht sich auf das gesamte Bremer Stadtgebiet aber gilt nicht für Bremerhaven. Sie ist einfach und für Jedermann online aufrufbar. Es gibt ein Informationsglossar sowie eine Suchfunktion für Adressen. Der Zoomfaktor ist aus Gründen des Datenschutzes limitiert und erlaubt eine Fokussierung auf Quartiersebene. Grundstücksgrenzen werden nicht gezeigt, jedoch die Gebäudeumrisse, damit die Orientierung möglich ist. Modellrechnungen liegen für drei Niederschlagsszenarien vor, die per Mausklick aktiviert werden können. Auf einem Raster von 1 x 1 m werden die jeweils maximalen Wasserstände angezeigt, die im Verlauf der simulierten Starkregenereignisse auftreten. Der Simulation liegt die Kombination der Berechnungsmodelle für Überstau und Oberflächenabfluss zugrunde. Die Wasserstände werden in vier Stufen klassifiziert, die in der Karte durch unterschiedliche Einfärbung der Rasterzellen dargestellt werden, nämlich gering (Wasserstand kleiner 10 cm), mäßig (Wasserstand 11 bis 20 cm), hoch (Wasserstand 21 bis 30 cm) sowie sehr hoch (Wasserstand größer 30 cm); höhere Wasserstände liegen örtlich selbstverständlich vor, werden als solche aber nicht beziffert. Auch die simulierten Fließwege werden online nicht angezeigt aber sind betriebsintern aufrufbar.

Die Funktion der Karte ist es, Komplexität zu reduzieren, thematisch schnell und gut einzuführen sowie weitergehendes Interesse zu wecken. Insofern weitergehendes Interesse besteht, kann eine **grundstücksbezogene Detailauskunft** angefordert werden. Das Starkregen-Vorsorgeportal hält hierfür eine Erfassungsmaske bereit, in die die persönlichen Daten des Grundstückseigentümers online eingegeben werden. Durch Pflichtfelder wird gewährleistet, dass alle relevanten Angaben vorliegen. Die Daten werden per Schnittstelle übergeben und lösen den Bearbeitungsprozess für die grundstücksbezogene Detailauskunft aus. In diesem Zusammenhang kann gleichsam ein Beratungswunsch für den Standort am Standort geäußert werden; hierzu wird ein entsprechendes Kontrollkästchen aktiviert.

2.2 Grundstücksbezogene Detailauskunft

Die Erzeugung der grundstücksbezogenen Detailauskunft basiert auf einem eigens dafür entwickelten **GIS-Tool**, das über eine Applikation in das KIS (Kanal Informations System) eingebettet ist. Die Kundenbetreuung verfügt über keine GIS-Lizenz, hält auch keine entsprechende Kompetenz vor und ist daher auf die Applikation angewiesen. Das jeweilige Grundstück wird hierzu im KIS markiert und ausgewählte persönliche Daten (Name und Anschrift) aus dem Anforderungsformular werden manuell eingegeben. Auf eine automatisierte Datenübergabe aus dem Bestellformular wurde bewusst verzichtet, um eine Plausibilitätsprüfung durchführen zu können. Nachziehend wird die Applikation zur Generierung der Karte gestartet. Der gesamte Vorgang nimmt ca. zwei bis drei Minuten in Anspruch und ist damit sehr nutzerfreundlich. Die grundstücksbezogene Detailauskunft wird dann als Pdf-Datei erzeugt und auf festem Papier (mindestens 120g/m²) in Farbe und beidseitig beschrieben im Format DIN A4 ausgedruckt.

Die grundstücksbezogene Detailauskunft weist auf der Frontseite die personenbezogenen Daten des Grundstückseigentümers, das Datum sowie allgemeine Hinweise zur Karte aus. Auf der Rückseite befindet sich der eigentliche Kartensatz, der aus **vier thematischen Karten** besteht; nämlich grundstücksbezogen eine Grundkarte, Luftbild, Geländekarte und Überflutungsgefahrenkarte. In allen vier Karten wird nur die unmittelbare Umgebung des Grundstücks gezeigt. Die

Grundstücksgrenze ist farblich dargestellt. Die Geländekarte zeigt die Höhen und Tiefen in farblicher Abstufung sowie entsprechende Isolinien. Die grundstücksbezogene Überflutungsgefahrenkarte visualisiert die simulierten Wasserstandhöhen analog zur quartiersbezogenen Überflutungsgefahrenkarte, die online eingesehen werden kann. Zusammen mit einem standardisierten Anschreiben sowie einem Informationsflyer erfolgt nachziehend der postalische Versand. Im Informationsflyer wird erneut und explizit darauf hingewiesen, dass auch die Möglichkeit besteht sich am Standort beraten zu lassen. Dieser Beratungsservice wird in Bremen unter der selbsterklärenden Bezeichnung **Beratung vor Ort** angeboten.

Durch die Möglichkeit eine grundstücksbezogene Detailauskunft anfordern zu können, wird eine optionale Möglichkeit geschaffen sich weiterführend mit dem Thema zu befassen. Der Anforderungsprozess ist dabei sehr einfach gehalten um keine prozessualen Hürden aufzubauen. Der **zweistufige Prozess** mit dem Zusammenspiel aus Starkregen-Vorsorgeportal und grundstücksbezogener Detailauskunft hat sich als sinnvoll und leistungsstark erwiesen. Anhand der erstellten Kartensätze lässt sich die Nachfrage zudem sehr gut und sicher quantifizieren; dies ist wichtig um zeitnah zu erkennen, ob einer sinkenden Nachfrage durch die Ergreifung entsprechender Maßnahmen begegnet werden sollte.

2.3 Beratung vor Ort

Die Beratung vor Ort wird von der Kundenbetreuung der hanseWasser Bremen seit rund 20 Jahren für Grundstückseigentümer oder entsprechend Bevollmächtigte angeboten. Der Service wurde deutlich vor der Überflutungsgefahrenkarte des Jahres 2019 eingeführt und gilt mittlerweile als erprobt und erfolgreich. Mehr als **10.000 Grundstücke und Gebäude** sind bisher in Augenschein genommen worden. Im Zeitverlauf haben sich Beratungstiefe und -umfang verändert; die Anforderungen haben dabei allgemein zugenommen. Aktuell nimmt eine Beratung in Abhängigkeit der Gegebenheiten vor Ort 60 bis 90 Minuten in Anspruch und in Ausnahmefällen auch länger. Die Beratung wird von jeweils einer speziell geschulten Arbeitskraft durchgeführt, die neben fachlichem Wissen auch über ein hohes Maß an Kommunikationsstärke und Konfliktfähigkeit verfügen muss. Das Beratungsspektrum umfasst mehrere Themen der Grundstücksentwässerung und ist in der Gewichtung der Themen generell variabel; standardisiert aufgerufen werden die Themen Niederschlagswassermanagement, Entsiegelung und Versickerung, Rückstaurisiko und Überflutungsrisiko, Objektschutzmaßnahmen, intakte Grundleitungen und Schächte, Kanal TV Inspektion und Sanierung, Fördermittel sowie andere beratende Stellen und Netzwerkpartner. Die Übergänge zwischen den Themen sind hierbei fließend und es gibt zahlreiche Schnittmengen.

Im Rahmen der Beratung werden der Außenbereich sowie das Tief- und Erdgeschoss in Augenschein genommen. Die Begehung erfolgt gemeinsam mit dem Grundstückseigentümer. Anhand einer systematisierten Erfassungsmatrix werden die Gegebenheiten am Standort erfasst und auf einer DIN A4 Seite komprimiert dokumentiert. Methodisch ist hierzu eine Liste relevanter Aspekte begrifflich aufgestellt und sukzessive weiterentwickelt worden und Zutreffendes wird per Kontrollkästchen aktiviert. Auf diese Weise kann zügig und standardisiert erfasst und bewertet werden. Auch erläuternde Gespräche mit dem Grundstückseigentümer können nebenbei

geführt werden. Ein Durchschlag des ausgefüllten **Beratungsprotokolls** verbleibt beim Grundstückseigentümer. Im Nachgang zur Grundstücksbegehung wird eine Informationsmappe mit verschiedenen Broschüren und Flyern zum Thema übergeben und kurz erläutert; dieser theoretisch-informative Teil kann seitens des Grundstückseigentümers genutzt werden, um die bisherigen Ergebnisse zu reflektieren und Fragen zu stellen.

Die grundstücksbezogene Detailauskunft unterstützt bei der Beratung und fördert die Beratungsqualität. In der Regel bestätigen sich die Informationen der grundstücksbezogenen Detailauskunft im Rahmen des Beratungstermins. Das Gefahrenpotential am Standort kann abweichend von den Karteninformationen aber auch anders beurteilt werden; in diesem Fall bietet die Beratung vor Ort die Möglichkeit im Beisein des Grundstückseigentümers zu erörtern, weshalb die Karteninhalte nicht zutreffen. Grundstücksbezogene Detailauskunft und Beratung vor Ort haben sich im Zusammenspiel als sehr sinnvoll erwiesen, so dass die Beratung vor Ort als weitere Stufe des nunmehr **dreistufigen Prozesses** verstanden werden kann, der aus den Stufen Starkregen-Vorsorgeportal, grundstücksbezogene Detailauskunft sowie Beratung vor Ort besteht.

2.4 Informationsformate und -materialien

Die bisher vierjährige Historie der Überflutungsgefahrenkarte in Bremen zählt insgesamt drei **Kampagnen**. Die erste Kampagne erfolgte zur Einführung der Überflutungsgefahrenkarte im Frühjahr 2019. Eine weitere Kampagne wurde im Frühjahr 2021 zum „2. Geburtstag“ der Überflutungsgefahrenkarte erfolgreich durchgeführt. Im Sommer des Jahres 2021 führten dann die gravierenden Überflutungsereignisse in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz auch in Bremen zu einem erheblichen Medienecho, das gleich einer erfolgreichen Kampagne zu werten ist, wenngleich das Initial in diesem Fall von den Medien und der Öffentlichkeit ausging. Bei allen drei Kampagnen war ein drastischer Anstieg der Nachfrage (jeweils mehrere hundert Anfragen in wenigen Tagen) nach grundstücksbezogenen Detailauskünften sowie Beratungen vor Ort zu verzeichnen. Jährlich finden überdies ca. 10 **Informationsveranstaltungen** statt. Diese werden in Präsenz oder online durchgeführt. Die Veranstaltungen richten sich meist an Grundstückseigentümer aber es werden auch spezielle Informationsveranstaltungen für Multiplikatoren und Netzwerkpartner aufgelegt. Des Weiteren werden jährlich ca. 10 **Promotionsaktionen** in Shopping Malls, auf Märkten oder an anderen geeigneten Standorten durchgeführt sowie zwei bis drei Auftritte bei lokalen **Messen und/oder Gewerbeschauen**. Die Resonanz auf diese Aktivitäten ist sehr unterschiedlich. Jährlich werden auf diese Weise mehrere hundert Haushalte erreicht und viele von diesen haben nachziehend Fragen oder wünschen eine Beratung vor Ort. Die Überflutungsgefahrenkarte ist fester Bestandteil aller Informationsformate.

Die Informationsformate sind so konzipiert, dass sie sich passgenau an verschiedene Akteure wenden. Die eigentliche **Zielgruppe** sind die privaten und gewerblichen Grundstückseigentümer, Wohnungsbaugesellschaften und Immobilien Bremen als Verwalterin der öffentlichen Liegenschaften. Wichtige **Multiplikatoren** sind bspw. die Architektenkammer, die Innung Sanitär Heizung und Klima, der Verband Garten- und Landschaftsbau sowie Betriebe aus dem Bereich der Grundstücks- und Immobilienverwaltung. Wichtige **Netzwerkpartner** sind bspw. die Verbraucherzentrale, Haus und Grund, die Wasserbehörde, die bremischen Deichverbände, der

Geologische Dienst für Bremen sowie die Bremer Aufbau Bank. Die Kundenbetreuung von hanseWasser Bremen arbeitet eng mit Multiplikatoren und Netzwerkpartnern zusammen, um die Zielgruppenansprache quantitativ und qualitativ stetig zu optimieren. Die dauerhafte Aufrechterhaltung der Information über die Überflutungsgefahrenkarte einschließlich etwaiger Neuerungen gegenüber Zielgruppe, Multiplikatoren und Netzwerkpartner ist erklärtes Ziel der Kundenbetreuung und wird mit Erfolg praktiziert.

Informationsmaterialien stellen die Basis jedweder Informationsaktivität dar. Alle Informationsmaterialien werden in digitaler Ausführung online auf der eigenen Website oder der Website von Netzwerkpartnern platziert. Eine Auswahl wird zudem als Printmaterialien in Form von Broschüren, Flyern oder Informationskarten vorgehalten. Spezielle Ausrüstung für Promotionsveranstaltungen und Messen, wie bspw. Rollups, transportable Counter, Beachflags, Give-aways, Prospektaufsteller oder auch Muster und Exponate zur Veranschaulichung, runden öffentlichkeitswirksame Auftritte ab aber sind hinsichtlich Transport, Lagerung und Aufbau mit besonderem Aufwand verbunden. Je größer und differenzierter der Fundus der Informationsmaterialien ist, umso spezifischer und erfolgreicher kann informiert werden. Das Zusammenspiel ist dabei in jeder Hinsicht fließend und vielfältig und bietet Raum für Synergien; so sind bspw. Grafiken, die für ein Rollup zur Überflutungsgefahrenkarte erstellt werden auch für Broschüren oder die Website nutzbar.

2.5 Beratungsnetzwerk Bremer Modernisieren

hanseWasser Bremen ist Mitglied im **Beratungsnetzwerk** Bremer Modernisieren. Ziel des Beratungsnetzwerks ist die neutrale, fachlich versierte und vorzugsweise kostenfreie Beratung zu vielen grundstücks- und gebäudebezogenen Aspekten. Mitglieder im Netzwerk sind neben hanseWasser Bremen bspw. Haus und Grund, die Verbraucherzentrale, der Versorger swb, die Polizei, die Bremer Aufbau Bank, die Bremer Umwelt Beratung sowie weitere Akteure. Jedes Mitglied hat bestimmte Beratungsschwerpunkte. Das von hanseWasser abgedeckte Spektrum umfasst die Themen Kanalrückstau, Überflutung und intakte Grundleitungen. Es kommt jedoch auch zu Schnittmengen mit anderen Themen. Die breite inhaltliche Aufstellung durch die zahlreichen Mitglieder ermöglicht eine nahezu ganzheitliche Beratung zu Grundstück und Gebäude. Je nach Fragestellung werden Beratungssuchende innerhalb des Netzwerks weitergeleitet, wenn dies gewünscht ist. Auf diese Weise kann bedarfsgerecht, zügig, qualifiziert und unbürokratisch beraten und unterstützt werden. Der Wirkungsgrad bei der Bekanntmachung der Beratungsangebote, so auch hinsichtlich der Überflutungsgefahrenkarte, multipliziert sich somit nahezu von selbst.

3 Erwartungen und Erfahrungen

Mit der Einführung der Überflutungsgefahrenkarte im Jahr 2019 wurden zahlreiche Erwartungen verknüpft. Während des frühen und mittleren Entwicklungszeitraumes wurden überwiegend **positive Effekte** erwartet. Die erstmalige Verfügbarkeit derartiger Flächendaten beflügelte die Ideenfindung für neue Aktionen, Projekte und Prozesse. Die Erfahrungen haben aber gezeigt, dass Esprit und Dynamik seit der Einführung deutlich nachgelassen haben und es insbesondere

bei Prozessen, die über Zuständigkeitsgrenzen hinweggehen, schwierig sein kann im Tagesgeschäft die erforderlichen Ressourcen verfügbar zu machen, um derartige Themen erfolgreich zu bewegen. Auch in Ermangelung einer federführenden Einheit verlaufen die Prozesse häufig eher ungeordnet und langsam. In der Schlussphase des Entwicklungszeitraumes trat die Erwartung **negativer Effekte** hinzu. Eine große Unsicherheit ging mit dem Spannungsverhältnis aus Datenschutzbestimmungen einerseits und Informationsgebot andererseits einher. Eine weitere Unsicherheit betraf die Wirkung der Karte in der Öffentlichkeit. Es wurde befürchtet, dass in großem Stil Handlungsverpflichtungen abgeleitet oder zumindest öffentlichkeitswirksam gefordert werden könnten. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass es sehr sinnvoll und richtig war sich frühzeitig mit diesen potentiell kritischen Aspekten zu befassen. Dass die negativen Erwartungen nicht eingetreten sind, ist möglichweise auf vorbeugende Maßnahmen zurückzuführen, die ergriffen worden sind.

3.1 Datenschutz

Ausgangslage	Erwartungen	Erfahrungen
Der Zoomfaktor ist bei der Online-Überflutungsgefahrenkarte limitiert. Zudem werden keine Grundstücksgrenzen visualisiert; dies erfolgt erst durch die grundstücksbezogene Detailauskunft, die extra durch den Grundstückseigentümer angefordert werden muss. Frei zugängige personenbezogene Daten werden somit erfolgreich limitiert.	Konformität mit den Bestimmungen des Datenschutzes.	Es wurden keine Kritikpunkte an der Vorgehensweise geäußert. Die positive Erwartung ist eingetreten.
Bei der grundstücksbezogenen Detailauskunft wird durch die ausschließliche Übermittlung der Dokumente an den Anfordernden per Post sichergestellt, dass die entsprechende Person mindestens unter der Anschrift wohnhaft ist.	Konformität mit den Bestimmungen des Datenschutzes.	Es wurden keine Kritikpunkte an der Vorgehensweise geäußert. Die positive Erwartung ist eingetreten
Bei der Anforderung der grundstücksbezogenen Detailauskunft werden durch Pflichtfelder in der Erfassungsmaske nur vollständig ausgefüllte Formulare akzeptiert und ein Kontrollkästchen muss zur Bestätigung des Grundstückseigentums aktiviert werden.	Konformität mit den Bestimmungen des Datenschutzes.	Es wurden keine Kritikpunkte an der Vorgehensweise geäußert. Die positive Erwartung ist eingetreten

3.2 Resonanz

Ausgangslage	Erwartungen	Erfahrungen
Die Resonanz auf die Überflutungsgefahrenkarte war unklar. Es lagen positive und negative Szenarien vor. Letztlich wurde unterstellt, dass die Verfügbarkeit von entsprechenden Informationen positiv ist und daher auch positive Resonanz hervorbringen muss.	Positive Resonanz.	Sowohl im Kundenfeedback (ein Qualitätsmanagementtool der Kundenbetreuung) sind überwiegend sehr gute Kritiken geäußert worden als auch in den Erfahrungsberichten von Mitarbeitern. Negativ wurde einzig die teilweise längere Bearbeitungszeit bewertet. Die positive Erwartung ist eingetreten.
Die Überflutungsgefahrenkarte zeigt eine 4er-Skala mit Intervall-Wasserstandstufen in cm und eine Visualisierung in hellen bis dunklen Blautönen. Die Angaben beziehen sich in der grundstücksbezogenen Detailauskunft nur auf das betreffende Grundstück zuzüglich eines Saumes von einem Meter zu allen Seiten. Bei der grundstücksbezogenen Geländekarte wurde eine risikoexponierte Visualisierung von rot über gelb bis grün gewählt, die durch Isolinien unterstützt wird und der Analogie rot=tiefliegend=Risiko sowie grün=hochliegend=kein Risiko folgt.	Verhinderung von Missverständnissen und Fehlinterpretationen.	Die Darstellung hat sich bewährt. Die positive Erwartung ist eingetreten.
Durch die Überflutungsgefahrenkarte wird den Bewertungen im Zuge der Beratung vor Ort eine wissenschaftlich fundierte Basis gegeben.	Qualitative und quantitative Bereicherung der Beratungsleistungen.	Die Überflutungsgefahrenkarte hat sich zu einem integralen Bestandteil der Beratung vor Ort entwickelt. Beratungen ohne Überflutungsgefahrenkarte sind kaum mehr vorstellbar Die positive Erwartung ist eingetreten.
Die Online-Überflutungsgefahrenkarte zeigt Überflutungsgefahrenflächen im räumlichen Gesamtzusammenhang. Damit ist ein Anreiz geschaffen Zuständigkeit und Verantwortung bei anderen zu verorten.	Diffuse Handlungsverpflichtungen und unsachliche Diskurse um potentielle Zuständigkeiten.	Durch die Aufteilung in die 3 Module „Risikomanagement“, „wassersensible Stadtentwicklung“ und „Bürgerauskunft“ konnte sich die Überflutungsgefahrenkarte mit der Bürgerauskunft als Informations- und Beratungsservice von tiefgehenden programmatischen Themen erfolgreich und klar abkoppeln. Die negative Erwartung ist nicht eingetreten.

3.3 Validität

Ausgangslage	Erwartungen	Erfahrungen
Die Angaben in der Überflutungsgefahrenkarte können im Zuge der Beratung vor Ort plausibilisiert und mit dem Grundstückseigentümer erörtert werden.	Plausibilisierung der Karteninhalte im Rahmen der Beratung vor Ort.	Die Überflutungsgefahrenkarte hat sich zu einem integralen Bestandteil der Beratung vor Ort entwickelt. In diesem Kontext ist eine Plausibilisierung und Erörterung unumgänglich. Die positive Erwartung ist eingetreten.
Das Simulationsmodell basiert u.a. auf einem kombinierten Modell aus Überstau und Oberflächenabfluss, einigen tausend manuell nachgepflegten Durchlässen (insbesondere verrohrte Teilstücke von Entwässerungsgräben), der Modellierung auf einem 1x1 Meter Raster und weiteren Besonderheiten. Dies galt zum Zeitpunkt der Einführung als sehr fortschrittlich.	Realitätsnahe Ergebnisse der Simulation.	Mikrorelief und bestimmte kleinteilige Objektschutzmaßnahmen werden nicht vom Simulationsmodell berücksichtigt. Auch die Oberflächenbeschaffenheit mit ihren Abfluss- und Versickerungseigenschaften bleibt unberücksichtigt. Hierdurch werden vereinzelt Zustände simuliert, die bei der Beratung vor Ort anders wahrgenommen und bewertet werden. Auffällig ist hierbei, dass die Simulation kritischer bewertet als dies aufgrund der Inaugenscheinnahme vor Ort oft der Fall ist. Die positive Erwartung ist eingeschränkt eingetreten.
Für die Validität der Simulation ist eine genaue und aktuelle Datengrundlage von größter Relevanz. Die erneute Befliegung des Stadtgebiets mit nachziehendem Simulationsupdate soll in einem bestimmten zeitlichen Intervall erfolgen. Diskutiert worden ist ein Intervall von 10 Jahren.	Zunehmende Anzahl von Grundstücken mit Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen und wahrgenommenen Gegebenheiten vor Ort mit zunehmendem zeitlichen Abstand zur Befliegung.	Auf Grundstücken mit Umbaumaßnahmen oder bei Neubaumaßnahmen ist ein Abweichungseffekt i.d.R. feststellbar. Im Zeitverlauf wird dieser Aspekt zunehmend bedeutsam werden. Die negative Erwartung ist eingetreten.
Die Angaben in der Überflutungsgefahrenkarte können im Zuge der Beratung vor Ort plausibilisiert und bei Abweichungen kann die Überflutungsgefahrenkarte in einem Rückkopplungsprozess angepasst werden.	Anpassung der Überflutungsgefahrenkarte an wahrgenommene Gegebenheiten vor Ort.	Es wurde festgestellt, dass eine nachträgliche Anpassung des Simulationsmodells an die wahrgenommenen Gegebenheiten vor Ort technisch nahezu unmöglich ist und hierfür selbst in Zuge einer explorativen Studie erhebliche personelle und finanzielle Ressourcen verfügbar gemacht werden müssten – ohne realistische Chance auf eine Überführung in das Tagesgeschäft. Die positive Erwartung ist nicht eingetreten.

3.4 Interne Prozesse

Ausgangslage	Erwartungen	Erfahrungen
Um einer großen Nachfrage begegnen zu können, ist eine Applikation zur Erzeugung der grundstücksbezogenen Detailauskunft entwickelt worden, die nahezu automatisiert arbeitet.	Keine zusätzlichen personellen Ressourcen erforderlich.	Quartalsweise werden durchschnittlich ca. 75 Anfragen bearbeitet. In drei Quartalen lag der Wert mit 790, 361 und 376 Anfragen aber deutlich höher. Die Funktionalität der Applikation ist selbst bei großer Nachfrage in hohem Maße gegeben. Die positive Erwartung ist eingetreten. Aufwand erzeugen bei großer Nachfrage jedoch die Begleitprozesse; bspw. die Führung der Übersichtsliste, die Erzeugung der Anschreiben, der Druck der Karte auf festem Papier, das Hinzufügen des Infoblattes, der Versand und die digitale Ablage. Eine zusätzliche Arbeitskraft musste temporär daher wiederholt eingesetzt werden. Die positive Erwartung ist nicht eingetreten.
Die Überflutungsgefahrenkarte wurde als Service der Kundenbetreuung von hanseWasser in alle Netzwerke eingespeist, in denen die Kundenbetreuung aktiv ist.	Steigerung der Nachfrage bei gleichzeitig geringerem eigenen Promotionsaufwand.	Kausale Zusammenhänge zwischen der Netzwerkarbeit einerseits und Nachfrage/ eigenem Input andererseits sind nicht nachweisbar. Ein Zusammenhang wird aber vermutet. Die positive Erwartung ist eingetreten (wenngleich nicht nachweisbar).
Mit der Online-Überflutungsgefahrenkarte, der grundstücksbezogenen Detailauskunft und der Beratung vor Ort wurde bewusst ein dreistufiger Prozess generiert.	Höherer Wirkungsgrad bei der Beratung durch wiederholten und dosierten Kontakt zum Grundstückseigentümer.	Der Wirkungsgrad ist nicht messbar. Es wird aber vermutet, dass sich der Wirkungsgrad verbessert hat. Die positive Erwartung ist eingetreten (wenngleich nicht nachweisbar).
Um GIS-Kompetenzen und entsprechende Lizenzen einzusparen ist eine Applikation zur Erzeugung der grundstücksbezogenen Detailauskunft entwickelt worden, die nahezu automatisiert arbeitet..	Keine zusätzliche Qualifikation der Mitarbeiter.	Die Nutzung der Applikation erfordert keine Einarbeitung. Die positive Erwartung ist eingetreten.

4 Ausblick

Die Überflutungsgefahrenkarte hat sich in Bremen nach vier Jahren zu einem integralen **Bestandteil der Beratungstätigkeit** der Kundenbetreuung von hanseWasser Bremen entwickelt. In alle wesentlichen Informationsmaterialien der Kundenbetreuung ist die Überflutungsgefahrenkarte bereits frühzeitig und erfolgreich integriert worden. Durch das Beratungsnetzwerk Bremer Modernisieren wird die Überflutungsgefahrenkarte und der entsprechende Beratungsservice von hanseWasser Bremen auch von anderen Akteuren nutzbringend kommuniziert. Diese Strategie wird auch zukünftig verfolgt und weiterentwickelt werden.

Die grundstücksbezogene Detailauskunft soll im Verlauf des Jahres 2023 zusammen mit der Auskunft zur Versickerungsfähigkeit des Untergrunds auf dem Grundstück des Geologischen Dienstes für Bremen (GDfB) immer dann automatisch und ohne getrennte Bestellung des Grundstückseigentümers ausgehändigt werden, wenn der Grundstückseigentümer bei der Kundenbetreuung von hanseWasser Bremen einen sogenannten **Starkregen Gefahren Check** anfragt. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Beratung vor Ort, deren Schwerpunkt neben der Beratung vor allem auf der genauen Dokumentation der Gegebenheiten vor Ort liegt. Der Starkregen Gefahren Check ist in den zurückliegenden 5 Jahren von der Kundenbetreuung entwickelt worden und kann 2023 zum Einsatz kommen. Die Datenerfassung und -dokumentation erfolgt – anders als beim bisherigen analogen Beratungsprotokoll – in diesem Fall digital per eigens entwickelter Software über ein Tablet. Beratungsinhalte sind die bisherigen Themen Überflutung, Kanalrückstau, Objektschutz sowie intakte Grundleitungen. Auch Fotos können gemacht und automatisiert in die Dokumentation eingebaut werden. Während die Beratung vor Ort den Erläuterungsaspekt in den Fokus stellt und das entsprechende Beratungsprotokoll nur die wesentlichen Ergebnisse dokumentiert, bereitet der Starkregen Gefahren Check die Ergebnisse detailliert, umfänglich und strukturiert auf. Ziel ist es überdies, dem Grundstückseigentümer neben dieser wertvollen Ergebnisdokumentation immer eine grundstücksbezogene Detailauskunft sowie die Auskunft zur Versickerungsfähigkeit des Untergrunds des Geologischen Dienstes für Bremen, die Angaben zum Boden, zum Grundwasserstand und zur Versickerungsfähigkeit enthält, auszuhändigen. Auch sollen alle themenrelevanten Informationsmaterialien des Beratungsnetzwerks Bremer Modernisieren beigelegt werden. Auf diese Weise erhält der Grundstückseigentümer eine gebündelte und umfängliche Informationsmappe aus einer Hand.

Bei der Einführung der Überflutungsgefahrenkarte wurde es versäumt einen **einheitlichen Begriff** verbindlich festzulegen und zu pflegen. Seitdem zirkulieren in den Informationsmaterialien abweichende Begriffe, wie bspw. Überflutungsgefahrenkarte, Starkregengefahrenkarte, Überflutungsrisikokarte, Starkregenrisikokarte, Überflutungskarte oder Starkregenkarte. Dieser Effekt wird durch die intensive Netzwerkarbeit in Bremen noch verstärkt. Erst zeitversetzt wurde der Begriff Überflutungsgefahrenkarte zur priorisierten Bezeichnung der Kundenbetreuung von hanseWasser Bremen. Auch zukünftig wird die Kundenbetreuung daran arbeiten den Missstand der unnötigen und verwirrenden Begriffsvielfalt sukzessiv zu beheben und einzig den Begriff Überflutungsgefahrenkarte zu kultivieren und etablieren.

Ein Update des Simulationsmodells wird voraussichtlich im Kontext der Diskussion um eine wiederholte Befliegung des Stadtgebiets erörtert werden. Die Kundenbetreuung der hanseWasser Bremen wird sich für **Befliegung und Update** im Interesse aller Grundstückseigentümer, aller mit dem Thema befassten Akteure und Stellen sowie auch im eigenen Interesse zu gegebenem Zeitpunkt einsetzen.

Das dreistufige Modell der Bürgerauskunft, bestehend aus Online-Überflutungsgefahrenkarte, postalisch übermittelter grundstücksbezogener Detailauskunft und der Beratung vor Ort, hat sich als sehr gutes und überzeugendes Modell profiliert. An der bisherigen Vorgehensweise wird auch zukünftig festgehalten. Perspektivisch wird die Übermittlung der grundstücksbezogenen Detailauskunft aber voraussichtlich neben dem Postweg auch über das **hanseWasser-Serviceportal** erfolgen, wo eine Authentifizierung der Kunden per se gegeben ist und das Dokument somit auch online im Portal zum Abruf bereitgestellt werden kann.

Autor:

Geogr. M.A. Jens Wurthmann
hanseWasser Bremen GmbH

Tel.: 0173 203 4311
E-Mail:
wurthmann@hansewasser.de
Internet:
www.hansewasser.de



Future City Flow – Wasserströme in der Stadt im Griff

Wertbasiertes, online Entscheidungshilfesystem für optimierte Echtzeitprognose und Steuerung von Kanalnetzen

Von Christian Pohl, Douglas Lumley, Dennis Wanninger, Åsa Magnusson, David I'Ons, Katharina Steinmayr

Zusammenfassung

Die Stadt Göteborg und ihre umliegenden Gemeinden beschäftigen sich schon jetzt und zukünftig noch mehr mit den Folgen des Klimawandels, einem schnellen Bevölkerungswachstum, einer starken Urbanisierung, einer alternden Infrastruktur und sich ändernden Gesellschaftswerten und Kundenerwartungen. Aus diesem Grund wurde Future City Flow (FCF) als ein Digitaler Zwilling für dieses Einzugsgebiet erstellt, um viele der genannten Herausforderungen bewerkstelligen zu können. Der Fokus liegt dabei darauf, die Siedlungsentwässerung der Stadt zu verstehen, um eine verbesserte Abwasserbeseitigung in Echtzeit, bei gleichzeitigem Einbezug von Wettervorhersagedaten zu gewährleisten. Im Digitalen Zwilling wir hierfür auf eine verbesserte Visualisierung der Siedlungsentwässerung gesetzt. Dadurch erhalten Betreiber einen ganzheitlichen Überblick, der es ermöglicht, schnell zu reagieren und somit Betriebsstörungen oder ungewollte Systemzustände zu vermeiden. In der vorgestellten Lösung stehen dafür die folgenden Komponenten zur Verfügung: Datenbank zur Analyse und als Basis für eine solide Modellerstellung, Werkzeuge für die Simulation, Vorhersage und Steuerung des Einzugsgebietsabfluss und Werkzeuge für die Berechnung und zukünftige Netzplanung. Die Vielseitigkeit von FCF macht es möglich, Einblicke in die Dynamik von Einzugsgebieten zu gewinnen. Mittels Simulationen können die Auswirkungen verschiedener Szenarien oder Veränderungen im Kanalnetz untersucht werden. Die in FCF eingebettete, wettervorhersage-basierte Regelung empfiehlt Sollwerte zur Steuerung des Einzugsgebiets, die von den Betreibern als Entscheidungsgrundlage genutzt oder sogar direkt im Steuerungssystem als Regelung angewendet werden können. Um dies zu gewährleisten, werden vor allem qualitativ hochwertige Regenvorhersagen und Online-Daten aus dem Einzugsgebiet benötigt. Vor allem bei langen Vorhersagezeiträumen ist die Beschaffenheit der Ausgangsdaten von großer Bedeutung.

Schlüsselwörter: Kanalnetz; digitaler Zwillinge; vorhersagebasierte Regelung; Optimierung.

1 Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels, die Ausbreitung des Siedlungsraums, alternde Infrastrukturen und eine Änderung von Gesellschaftswert wirken sich auf Städte und den Versorgungsbetrieben in der Wasserwirtschaft aus. Im White Paper der International Water Association über Digitale Zwillinge im städtischen Bereich wurden Werkzeuge hervorgehoben, die bei der optimalen Entscheidungsfindung für die Planung und den Betrieb von Entwässerungssystemen und Kläranlagen – im Hinblick auf die genannten Entwicklungen – unterstützen [1]. Garrido-Baserba et al. [2] beschreiben das Potenzial der Nutzung von verfügbaren Instrumenten und Online-

Daten, um die Probleme einer alternden Infrastruktur zu bewältigen. Darüber hinaus wird die Notwendigkeit betont, die Lebensdauer der Anlagen kostengünstig zu verlängern. Die Modellierungen von Entwässerungssystem und Abwasserbehandlungsprozessen sind gut etabliert und mehrere nordische Versorgungsunternehmen, Technologieanbieter und Universitäten haben sich zusammengeschlossen, um digitale Werkzeuge weiterzuentwickeln, die für den Betrieb und die Planung geeignet sind.

Eine Arbeitsgemeinschaft zu Future City Flow wurde 2015 gegründet, um verbesserte Werkzeuge als Entscheidungshilfe für Kanalnetze zu entwickeln. Diese bestand aus sechs Versorgungsunternehmen, drei Technologieanbietern und zwei Universitäten bzw. Forschungsinstituten [4]. Die Teilfinanzierung erfolgte durch Vinnova, die schwedische Regierungsagentur für Innovationssysteme. Die Entwicklung für FCF hat zwei Werkzeuge für Digitale Zwillinge im Bereich Siedlungsentwässerung hervorgebracht. Das eine Werkzeug dient der Betriebsoptimierung in der unmittelbaren Zukunft unter Verwendung von Real Time Control (RTC) und Model Predictive Control (MPC) der vorhandenen Infrastruktur. Das Zweite fungiert als Planungswerkzeug zur langfristigen Optimierung von Kanalnetzen. Letztes verwendet vereinfachte Einzugsgebietsmodelle, die die Berechnungen beschleunigen, um langfristige Simulationen auch über mehrere Jahre zu ermöglichen und gleichzeitig die Reaktion des Einzugsgebiets beizubehalten. Durch die einfache Möglichkeit, verschiedene Szenarien zu testen können verschiedene Maßnahmen bewertet und optimale Lösungen identifiziert werden. Zu den Szenarien zählen beispielsweise ein steigender oder abnehmender Bevölkerungszuwachs, zunehmende oder abnehmende Infiltration bzw. Zufluss und eine Variation im Jahresniederschlag. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf das RTC/MPC-Optimierungswerkzeug und präsentiert eine Fallstudie von Gryaab AB, einem der schwedischen Versorgungsunternehmen im FCF-Konsortium.

Gryaab AB ist ein regionaler Abwasserentsorger, der derzeit über 800.000 Menschen in sieben Gemeinden (Ale, Göteborg, Härryda, Lerum, Kungälv, Mölndal und Partille) im Großraum Göteborg an der schwedischen Westküste versorgt. Das lokale Kanalnetz jeder Gemeinde ist an ein großes Tunnelsystem angeschlossen, das das Abwasser zu einer zentralen Kläranlage (KA), der Rya KA, eine der größten Kläranlagen Schwedens, transportiert. Gryaab besitzt und betreibt das Kanalnetz und die KA Rya. Seit langer Zeit werden digitale Lösungen im Betrieb für unterschiedliche Zwecke verwendet: um die Auswirkungen von schwankendem Durchfluss aufgrund extremer Wetterereignisse zu minimieren, um eine optimale Nutzung der verfügbaren Kapazitäten in den Tunneln zur Dämpfung der Abflusskurve zu ermöglichen, für die Kläranlagenoptimierung und zur Verbesserung der Wasserqualität in Vorflutern durch eine ganzheitliche Betrachtung, welche überstauenden Kanalschächte aufzeigt, um die Umweltauswirkungen zu minimieren ([2], [3], [5], [6] und [7]).

Ein Zurückhalten von bis zu 250.000 m³ sind im Tunnelsystem von Gryaab möglich, wodurch eine Dämpfung der Abflusskurve ermöglicht wird. Das Speichern erfolgt in den zwei Hauptabschnitten. Im nördlichen Bereich, der der KA Rya am nächsten liegt, werden die Pegel von der Hauptpumpstation der Anlage gesteuert. Im südlichen Bereich können Ventile den Durchfluss durch umgekehrte Siphons regeln, welche den Südarm mit dem Nordarm verbinden und somit das Zurückhalten im Südarm regeln. Das Einzugsgebiet erfährt große Schwankungen im Abfluss bei Regenereignissen. Ein Ziel ist es daher, die verfügbare Kapazität in den Tunnelsystemen für den Rückhalt zu nutzen, um den Überlauf bei der Mischwasserentlastungen (CSO) zu

minimieren und eine angemessene Belastung der Kläranlage aufrechtzuerhalten. Einige Parameter zum Einzugsgebiet sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1 Das Einzugsgebiet der Kläranlage Rya.

Länge des modellierten Tunnel- und Rohrsystems	100 km
Modelliertes Tunnelvolumen	700.000 m³ (von insgesamt 1.000.000 m³)
Anzahl der modellierten Teileinzugsgebiete	47
Versiegelte Oberfläche	20 km²
Gesamtentwässerungsfläche	250 km², davon werden ca. 50 % auf Grund von Leckagen und Fremdwasser von Regen- und Grundwasser in das System eingeleitet
Kanalüberlaufbauwerke modelliert	40
Pumpstationen modelliert	10
Ventile und Schieber modelliert	8
Steuerung	13 Bauwerke die von 7 Modellsensoren gesteuert werden (inkl. Prognose), 7 definierte Gesamtbedingungen und insgesamt ca. 50 Steuerungsaktionen für alle Bauwerke

2 Komponenten und Methodik

Die Echtzeitsteuerung (RTC) von Future City Flow (FCF) basiert auf den DHI-Softwarelösungen MIKE+ und MIKE OPERATIONS (MIKE powered by DHI, DHI Group, Hørsholm, Dänemark). Das MIKE+ Paket (Abbildung 1) ist ein Produkt, welches international für die Modellierung und Analyse von städtischen Wassersystemen verwendet wird. Dazu zählt die Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserabfluss, die Simulation von Wasserversorgungssystemen, Analysen von Fließgewässern und Überflutungen und Hochwasser. Innerhalb des Modellierungspakets für Kanalnetze stehen verschiedene Module zur Verfügung, um den hydrologischen Niederschlagsabfluss und die hydraulische Leistung von Kanalnetzen abzubilden. MIKE OPERATIONS bietet Werkzeuge für Online-Prognosen, Aufgabenplanung für Datenimport und -validierung, Modellausführung, Vorhersage, Nachbearbeitung von Ergebnissen, Optimierung, Alarmgenerierung, Berichterstellung und Datenaustausch mit der Cloud-basierten grafischen Benutzeroberfläche (GUI).



Abbildung 1 Das MIKE+ Paket (links). Die wichtigsten MIKE OPERATIONS-Komponenten (Mitte). Das regenabhängige Fremdwasser mit langsamer und schneller Reaktion in MIKE+ RDI (rechts).

Im Allgemeinen wird ein Einzugsgebietsmodell für jedes Teileinzugsgebiet unter Verwendung eines deterministischen Modellkonzepts in MIKE+ aufgestellt. Die hydrologischen Prozesse werden mit einem allgemeinen hydrologischen Niederschlagsabflussmodell (rainfall-dependent inflow and infiltration – MIKE+ RDI) beschrieben, dass neben dem Abfluss von versiegelten Bereichen (FRC – Fast Response Component) auch die Einsickerung von Wasser aus dem umgebenden Boden in die Kanalisation berücksichtigt (SRC – Slow Response Component), wie in Abbildung 1 dargestellt. Letzteres hängt stark von der hydrologischen Vergangenheit (beispielsweise vorhergehenden Regenereignisse) ab und berücksichtigt Schnee-, Oberflächen-, Wurzelzonen- und Grundwasserspeicher. Die Hydraulik der Entwässerungssysteme, z.B. Überstau, Speicher, steuerbare Strukturen etc. werden mit Hilfe der St. Venant-Gleichungen in einem hydrodynamischen Modell (MIKE1D Pipeflow) beschrieben.
Future City Flow wurde entwickelt, um online Simulations- und Vorhersagefunktionen mit wetterabhängiger Steuerung zu ermöglichen, um die vorgegebenen Ziele von Gryaab zu erreichen. Das in MIKE+ bestehende hydrologische und hydraulische Modell zur Abbildung vom Kanalnetzsystem und der zugehörigen Einzugsgebiete, die mit der Kläranlage Rya verbunden sind, wurde aktualisiert. Darüber hinaus wurde das Modell anhand von Durchfluss- und Füllstandsmessungen sowohl in Bezug auf Zuflusskomponenten im Zusammenhang mit Regenereignissen als auch basierend auf Infiltration/Zufluss aus dem Grundwasser kalibriert.
Datenassimilation, detaillierte Wettervorhersagen und Kontrollstrategien wurden entwickelt und umgesetzt. Die Datenassimilation wird auf das kalibrierte Kanalnetzmodell angewendet, um Restabweichungen zu bearbeiten und optimiert das Online-Modell mit aktuellen und historischen Beobachtungen und Systemzuständen. Future City Flow (FCF) analysiert kontinuierlich die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten und gleicht sie bis zum Zeitpunkt der Prognose an. Die Abweichungen werden interpretiert und können dann über eine "Fehlerprognose" bei der Prognoseberechnung berücksichtigt werden. Auf diese Weise wird die Berechnung des Digitalen Zwillings sowohl im historischen Teil als auch in der Prognose korrigiert. Vorhersageberechnungen für die kommenden 48 Stunden werden stündlich durchgeführt. Dies erscheint für das Einzugsgebiet, hinsichtlich der Reaktionszeit und Größe des angeschlossenen Entwässerungssystems, ausreichend.
Für den Digitalen Zwilling wurden Steuerungsstrategien entwickelt, um notwendige Bedingungen oder Einschränkungen im Betrieb abzubilden, die für den Simulationszeitraum eingehalten werden müssen. Die Steuerung im Distributed Controller System (DCS) für die Pumpstation sowie die Regelventile an den invertierten Siphons der KA Rya wurden im Digitalen Zwilling abgebildet und Regelstrategien zur Optimierung des Pumpenflusses zur Kläranlage, der Tunnel- und Rohrvolumenauslastung und CSO's an steuerbaren Strukturen im Netzwerk entwickelt. Es wurden sichere Datenverbindungen zwischen Future City Flow und dem Prozessleitsystem (PLS), anderen Zählern und Messgeräten sowie Wettervorhersagen hergestellt.
Eine "Forecast on Demand"-Funktion (FOD) wurde entwickelt, mit der automatisiert vorgeschlagene Strategien geändert und die Simulation erneut ausgeführt werden kann. So können die Betreiber verschiedene Strategien testen, wenn beispielsweise eine hohe hydraulische Belastung über die Zuflusspumpstation auftritt. FOD kann auch historische Ereignisse zu Trainingszwecken analysieren.

Nach Abschluss einer Simulation werden empfohlene Sollwerte für die verschiedenen Steuermöglichkeiten im Einzugsgebiet an das PLS gesendet. Dort kann der Nutzer / die Nutzerin die empfohlenen Sollwerte visuell untersuchen und beliebig manuell umsetzen, oder diese nach einer Sollwert-Plausibilitätskontrolle direkt vom PLS umsetzen lassen. Das Konzept des verallgemeinerten Digitalen Zwillings ist in Abbildung 2 dargestellt. Weitere Details zu FCF Digitalen Zwillings finden sich in Wanninger et al. [11].

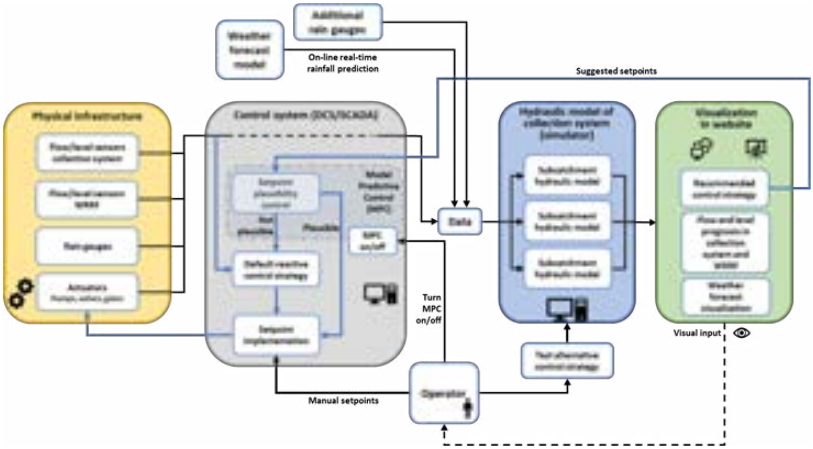


Abbildung 2 Aufbau des Digitale Zwillings der Echtzeitsteuerung für das Entwässerungssystem, Future City Flow. [10].

Für den Digitalen Zwilling von Gryaab basieren die Wettervorhersagedaten, welche vom SMHI (Swedish Meteorological and Hydrology Institute) zur Verfügung gestellt werden, auf dem KNEP-Produkt (Korta Nederbörds (short precipitation) Ensemble Prognosis), einem Hybrid zwischen C-Band-Radar und mehreren Wettermodellen, bei denen die wahrscheinlichste Vorhersage ausgewählt wird [8]. Neue Vorhersagen werden stündlich erstellt und haben einen Vorhersagehorizont von 36 Stunden mit einer Zeitauflösung von einer Stunde und einer räumlichen Auflösung von 2 km. KNEP zeichnet sich durch einen schrittweisen Übergang von primär C-Band-Radardatenvorhersagen in den ersten Stunden zu primär wettermodellbasierten Vorhersagen gegen Ende des Prognosezeitraums aus. Jedes Teileinzugsgebiet erhält im Prognosezeitraum eine eigene angepasste Regenserie, da der Regendatenraster in den Teileinzugsgebiete interpoliert und dann mit gemessenen Niederschlagsdaten aus verfügbaren Regenmessungen in den Einzugsgebieten kombiniert werden. Die gemessenen Regendaten werden zur Qualitätssicherung aufbereitet, bevor sie in einer Simulation angewendet werden.

Der Digitale Zwilling (Future City Flow) verfügt über eine Cloud-basierte GUI, die folgenden Informationen zur Verfügung stellt:

a) Zustandsvariablen und aktuelle Bedingungen (z. B. gemessene Durchflussmengen und Füllstände).
b) berechnete Abflüsse und Pegel an ausgewählten Punkten im Einzugsgebiet.
c) aktuelle und berechnete Kanalüberstaumengen.
d) Wassermengen im Netz und in den Einzugsgebieten (sowohl Rückblick als auch Vorhersage).
e) geschätzter Abfluss aus jedem Teileinzugsgebiet und für jede Abflusskomponente (d. h. Zufluss im Vergleich zu Fremdwasser).
f) vordefinierte Leistungsindikatoren für das Einzugsgebiet.
g) Visuelle Animation der Regenvorhersage und der Kontrollstrategie.

3 Ergebnisse und Diskussion

Ein gut kalibriertes Modell mit guten Regendaten sollte eine genaue Beschreibung der Zuflüsse zu einer Kläranlage liefern. Abbildung 3 zeigt die gute Übereinstimmung zwischen der 6-Stunden-FCF-Prognose (d.h. der 6 Stunden zuvor berechneten Prognose) und den online gemessenen Zuflüssen zur Kläranlage für ein großes Regenereignis. Alle Prognosemodelle sind abhängig von der Qualität der Eingangsdaten, wobei der wichtigste Faktor für reale Ergebnisse beim Digitalen Zwilling die Beschaffenheit der Niederschlagsvorhersagedaten ist. Etwas geringer ist die Übereinstimmung für die 12-Stunden-FCF-Prognose, wie in Abbildung 3 (unten) zu sehen ist, wo die vorhergesagten Spitzen während des Ereignisses im Allgemeinen höher sind. Dies verdeutlicht die Abhängigkeit von qualitativ hochwertigen Regenvorhersagen und die erhöhte Unsicherheit beim Vergleich eines 6-Stunden-Zeitraums mit einem 12-Stunden-Zeitraum. Die längere Betrachtungszeit ist trotz erhöhter Unsicherheit weiterhin in beratender Funktion für den Betrieb nützlich.

Bei der Entwicklung des Digitalen Zwillings (FCF) RTC für das Einzugsgebiet von Göteborg wurden einige Tests mit den Betreibern durchgeführt, um das Vertrauen in den Digitalen Zwilling herzustellen und einen guten Übergang vom Beratungsmodus (d. h. Empfehlung von Sollwerten) zu einer Testphase im automatischen Betrieb zu etablieren. In dieser werden die Sollwerte (nach Plausibilitätskontrolle) im Digitalen Zwilling (FCF) direkt im DCS implementiert, um eine Steuerung der Kläranlagen-Pumpstation bei kleinen und mittleren Regenereignissen zu erzielen. Bei Extremereignissen erfordern Einschränkungen in der Pumpstation und Sicherheitsverfahren ein manuelles Eingreifen des Nutzers und der Digitale Zwilling kehrt in einen Beratungsmodus zurück. Diese Erfahrung bekräftigt auch die Empfehlungen aus Torfs et al. [9], die menschliche Komponente heranzuziehen. Ansichten der Future City Flow Benutzeroberfläche (GUI) und der Kläranlagen-DCS sind in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Die Steuerungsstrategie für die Zulaufpumpstation der Kläranlage ist in Abbildung 6 dargestellt. Die zu Beginn getesteten Regelungsstrategien erwiesen sich als "zu einfach" und die vorgeschlagenen Sollwerte waren oft nicht plausibel. Die vorliegende Regelungsstrategie in Abbildung 6 spiegelt die komplexe Steuerung der Pumpstation in hohem Maße wider. Dabei werden unter anderem folgende Faktoren berücksichtigt: die derzeit minimal und maximal zulässige Pumpenfördermenge – angepasst an der Verfügbarkeit der Pumpen, die biologische Reinigungskapazität, die physikalisch-chemische Reinigungskapazität, die minimal und maximal zulässigen Wasserhöhen im

Tunnelsystem und die zulässigen Änderungen der Pumpfördermenge. Ein regelbasiertes System schlägt dann Sollwerte vor, die für eine Vielzahl von Betriebsbedingungen plausibel sind und ein gutes Gleichgewicht zwischen erwarteten Zuflüssen, Dämpfung der Abflusskurve durch die Tunnelsysteme, Reinigungsleistung und Vermeidung oder Minimierung von Betriebsunterbrechungen bei Störsignalen herstellen.



Abbildung 3 Vergleich der Zuflussprognose mit online gemessenen Durchflussdaten für Regenereignisse. Oben: Übereinstimmung zwischen 6-Stunden-Prognose (dunkelviolette Linie) und online gemessenem Durchfluss (hellblaue Linie). Unten: das obere Bild wurde zusätzlich um eine 12-Stunden-Prognose erweitert (gelbe Linie).



Abbildung 4 Ansichten der FCF-GUI für das Einzugsgebiet von Göteborg. Oben: eine Einzugsgebietsprognose während eines großen Regenereignisses, die alle Vorhersagezeiträume zeigt. Mitte: eine Einzugsgebietsprognose während eines kleinen Regenereignisses. Unten links: Animation der Regelungsstrategie für die Kläranlagen-Pumpstation mit Zuflussbedingungen (links) und Pumpstationsgrenzen (rechts). Unten rechts: Unsicherheit in einer MEPS-Prognose (grün schattierter Bereich).

Große Schwankungen der Regenvorhersagen von einer Stunde zur nächsten können dazu führen, dass Aktionen in einem Digitalen Zwilling eingeleitet werden, die in kommenden Simulationen möglicherweise einen großen Ausgleich erfordern. Diese Schwierigkeit gibt es jedoch auch für den manuellen Betrieb, in dem die gleichen Informationen aus dem Einzugsgebiet, aus Wettervorhersagen usw. angewendet werden, um den Einzugsgebiets- oder Kläranlagenbetrieb zu planen. In der Praxis kann der Betreiber auch eine Strategie verfolgen, die auf eine bestimmte Situation, in der beispielsweise unzuverlässige Informationen aus Regenvorhersagedaten verwendet werden, unter- oder überreagieren kann. Um dem Betreiber zu helfen, die Unsicherheit der Regenvorhersage zu messen, wurde eine zweite Art von Vorhersage implementiert, MEPS (MetCoOp Ensemble Prediction System), welche 10 unterschiedliche, numerische Wettervorhersagenmodelle mit unruhigen Anfangsbedingungen verwendet [8]. Diese Störungen zu Beginn ermöglichen es, der chaotischen Entwicklung des Wetters, diese Unsicherheit in der Vorhersage zu messen. Die Unsicherheit wird durch das in Abbildung 4 (unten rechts) dargestellte Prognoseband veranschaulicht und gibt dem Nutzer einen Hinweis auf die zu erwartende Variation und erlaubt damit eine Einschätzung der Unschärfe in der Prognose. Mit diesen Informationen könnte der Betreiber beispielsweise andere FOD-Szenarien testen, um mögliche Auswirkungen auf das Regenereignis zu untersuchen.

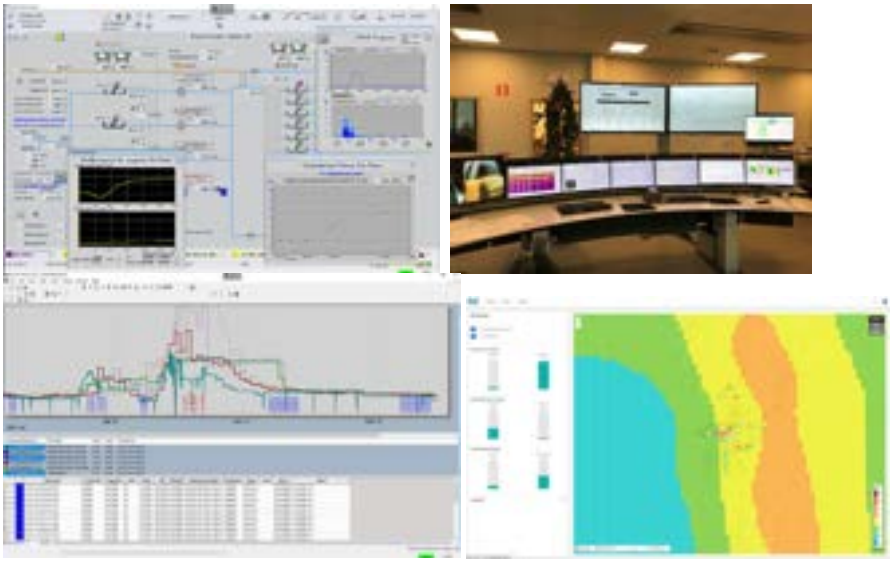


Abbildung 5 Ansichten des DCS für das Einzugsgebiet von Göteborg. Oben links eine DCS-Prozessansicht der Zulaufpumpstation zur Kläranlage (Sollwertprognosen in der unteren rechten Ecke). Unten links, eine prozesshistorische Ansicht eines Regenereignisses, bei der prognostizierte Sollwerte zeitverzögert und zur prognostizierten Zeit dargestellt werden (d.h. für eine gegebene Zeit stellen die Kurven den prognostizierten Sollwert dar, z. B. die 6-Stunden-Kurve zeigt, welcher Wert 6 Stunden zuvor prognostiziert wurde), die dunkelgrüne Linie ist der online gemessene Durchfluss. Oben rechts eine Ansicht eines Kläranlagenkontrollraums mit DCS und FCF. Unten rechts eine KNEP-Regenprognose aus der FCF-GUI mit Intensität und räumlicher Verteilung.

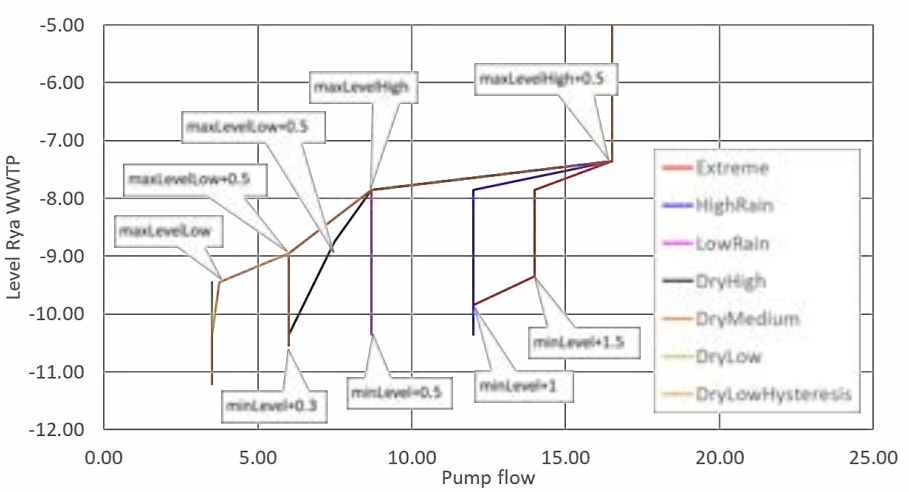


Abbildung 6 Die geplante Strategie zur Steuerung der Zulaufpumpstation für das Einzugsgebiet von Göteborg.

Einmal etabliert, erhöhte sich der Nutzen des Digitalen Zwillings (FCF), da der Simulator in spezifischen Studien verwendet werden konnte, um Einblicke in das Verhalten des Gesamteinzugsgebiets und für bestimmte Teileinzugsgebiete zu gewinnen [3]. Eine Studie untersuchte beispielsweise das Potenzial für eine Reduktion der Überläufe von Mischwasserentlastungen (CSO-Reduzierung). Die Ergebnisse zeigten, dass die jährlichen CSOs um bis zu 65 % reduziert werden könnten und gleichzeitig die Bypass-Volumina an der Kläranlage um 85 % reduziert werden könnten, indem der dynamische Betrieb der großen Mischwasserentlastungsstandorte koordiniert und die verfügbaren Tunnelvolumina durch den Einbau zusätzlicher Schleusen in den Tunneln erhöht werden, um mehr Speicher zu schaffen. Die Stadt Göteborg implementiert derzeit ein Online-CSO-Optimierungswerkzeug auf Basis von FCF mit dem Ziel, die Schadstoffbelastung in den lokalen Einzugsgebieten zu minimieren.

4 Fazit

Der Digitale Zwilling bzw. Future City Flow bietet eine solide Basis für die Modellierung, Simulation, Vorhersage und Steuerung der Siedlungsentwässerung. Bei der Erstellung des Digitalen Zwillings wurden wertvolle Erkenntnisse über die Dynamik des Einzugsgebiets gewonnen, die genutzt werden konnten, um eine Reduktion der Mischwasserentlastung zu gewährleisten, Zuflüsse zur Kläranlage gemäß den definierten Zielen zu quantifizieren und zu optimieren. Die in FCF eingebettete Regelung empfiehlt Sollwerte für die Steuerung des Einzugsgebiets, die Entscheidungshilfen für den Betrieb liefern oder sogar direkt auf das DCS als modellprädiktive Regelung angewendet werden können. Die FCF-Vorhersagen zusammen mit der Möglichkeit, Szenarien mit FOD zu testen, helfen den Betreibern, besser auf große Regenereignisse vorbereitet

zu sein. Um dies zu gewährleisten, werden vor allem qualitativ hochwertige Regenvorhersagen und Online-Daten aus dem Einzugsgebiet benötigt. Vor allem bei langen Vorhersagezeiträumen ist die Beschaffenheit der Ausgangsdaten von großer Bedeutung.

5 Literatur

[1] Garrido-Baserba, M., Corominas, L., Cortés, U., Rosso, D. and Poch, M. (2020) The Fourth-Revolution in the Water Sector Encounters the Digital Revolution. Environ Sci Technol 54(8), 4698-4705.

[2] Gustafsson, L-G, Lumley, D., Lindeborg, C. and Haraldsson, J. (1993). Integrating a Catchment Simulator into Wastewater Treatment Plant Operation. Water Sci Technol 28(11-12), 45-54.

[3] Gustafsson, L-G., Wilson, A. and Lumley, D. (2017) Smart CSO Control in Gothenburg – What's behind? A look into the modelling platform. Proc. CIWEM Urban Drainage Group, Autumn Conference. Blackpool, November 8-10.

[4] Hagman, M., Bengtsson, S., Alenius, E., l'Ons, D., Alexandersson, M., Wanninger, D., Wennberg, C., Gustafsson, L-G. and Lumley, D. (2018) Future City Flow. A decision support system for long and short term planning and operation of urban wastewater systems. Proc. IWA 9th World Water Congress and Exhibition, Tokyo, September 16-21.

[5] Lessard, P., Neth, M., Nivert, G., Mattsson, A. and Lumley, D. (2010). Applying a rigorous protocol to the modelling of a complex wastewater treatment plant: problems and results. Proc. IWA World Water Congress, Montréal, Canada, September 19-24.

[6] Lumley, D., Nivert, G. and Lessard, P. (2009). Preparing for robust on-line control: Data management. Proc. 10th IWA Conf. on Instrumentation, Control and Automation, Cairns, Australia, June 14-17.

[7] Lumley, D, Nivert, G., Wilson, A., and Gustafsson, L-G. (2017) Towards smart CSO control in Gothenburg - Balance between recipients, plant loading and operational safety, Proceedings IWA ICA2017, Quebec City. June 11-14.

[8] Lumley, D., l'Ons, D., Nivert, G., Wilson, A., Granath, S., Berg, P., Andersson, J., Hansryd, J., Berggreen-Clausen, S. and Gustafsson, L-G. (2019) Improved on-line catchment simulation with new rain forecast tools. Proc. 15th NordIWA Wastewater Conf., Helsinki, September 23-25.

[9] Torfs, E., Nicolaï, N., Daneshgar, S., Copp, J., Haimi, H., Ikumi, D., Johnson, B., Plosz, B., Snowling, S., Townley, L., Valverde-Pérez, B., Vanrolleghem, P., Vezzaro, L. and Nopens, I. (2022) The transition of WRRF models to digital twin applications. Water Sci Technol 85(10) 2840-2853. https://doi.org/10.2166/wst.2022.107

[10] Grievson, O., Holloway, T. and Johnson, B. (2022) A Strategic Digital Transformation for the Water Industry. IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789063400.

[11] Wanninger, D., Lumley, D. and Quenzer, A. (2022) Using a Digital Twin to Control Sewer Overflows - Sweden. Proc. WEF Collection Systems, Detroit, April 20-22.

Autoren:

Dipl.-Ing. Christian Pohl
DHI WASY GmbH
Volmerstraße 8
12489 Berlin
Deutschland
Tel.: +49 30679998-707
E-Mail:
cpo@dhigroup.com
Internet:
www.dhigroup.com



Tekn. Lic. Douglas Lumley
DHI Sweden AB
Drakegatan 10
412 50 Göteborg
Schweden
Tel.: +46 70 564 74 07
E-Mail:
dolu@dhigroup.com
Internet:
www.dhigroup.com



M.Sc. Dennis Wanninger
DHI Sweden AB
AB, Södergatan 28
211 34 Malmö
Schweden
Tel.: +46 708 388 820
E-Mail:
dewa@dhigroup.com
Internet:
www.dhigroup.com



M.Sc. Åsa Magnusson
Gryaab AB
Box 8984
402 74 Göteborg
Schweden
Tel.: +46 70 579 74 23
E-Mail:
asa.magnusson@gryaab.se
Internet:
www.gryaab.se



M.Sc. David l'Ons
Sweco Sweden AB
Skånegatan 3
411 40 Göteborg
Schweden
Tel.:+46 70 579 74 12
E-Mail:
david.ions@sweco.se
Internet:
www.sweco.com



DI Katharina Steinmayr
DHI Österreich GmbH
Schließmanngasse 17
1130 Wien
Austria
Tel.: +43 660 9280790
E-Mail:
kast@dhigroup.com
Internet:
www.dhigroup.com



Innovative Stauraumkanäle – Option für ein modernes Wassermanagement

Von Marc Hirschmann

1 Der Stauraumkanal im Mischwassersystem als spezielle Form des Regenüberlaufbeckens (RÜB)

besteht grundsätzlich aus dem Stauraumkanalrohr, einem Drossel- und einem Regenüberlaufschacht. In diesem Entlastungsschacht kommen mitunter noch Tauchwände und zunehmend auch Rechen für eine verbesserte Grobstoffrückhaltung zum Einsatz.
Bei der **Nutzung von Rechen** an oder auf Schwellen kommt man oft schnell an Grenzen. Ein Rechen kann zwar die Grobstoffe gut zurückhalten, jedoch andererseits auch sehr schnell verstopfen. Daher sind für eine konstante Arbeitsweise integrierte Reinigungseinrichtungen an Rechen bisher oft unverzichtbar. Diese basieren wiederum auf mechanische Systeme. Setzt jedoch solch eine mitlaufende Rechenreinigung einmal aus, können sich die Grobstoffe in der Perforation verkeilen, verklumpen und den Rechen letztlich verstopfen. Am Ende wird das Rückhaltesystem überspült und das abschlagende Wasser gelangt wieder unbereinigt in die Vorflut.

2 100% Grobstoffrückhalt

- keine Verstopfung und Beibehaltung der Reinigungsleistung
- keine beweglichen Teile, zur Vermeidung von Verschleiß und laufender Wartung
- keine Nutzung von Fremdenergie (Strom, Wasser, Luft, …)
- Abtransport der zurückgehaltenen Stoffe im Kanal zur Kläranlage,

das sind die Aufgaben und Ziele, die es zu lösen galt. Nach einer mehrjährigen Entwicklungsphase beginnend von einer Idee, dem Bau einer Pilotanlage 2014 in Winterberg und den Ergebnissen von weiteren über 60 Stück Anlagen und der Analyse im Betriebsverhalten kann man feststellen, alle diese Ziele tatsächlich erreicht zu haben. Das System läuft unter dem Namen AMISCREEN.

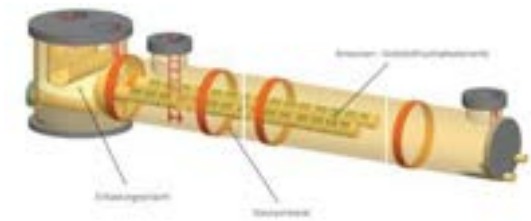


Bild 1 GFK Stauraumsystem mit Amiscreen



Bild 2 Kontrolle der Amiscreen Elemente

Bei der Entwicklung des **AMISCREEN Stauraumkanals** mit integriertem Grobstoffrückhaltesystem wurde ein völlig anderer Ansatz gewählt. Die Rechenelemente wurden von der kurzen Überlaufschwelle weg, hinein in den langen Stauraumkanal verlegt. Die Rückhaltung der Grobstoffe erfolgt durch perforierte Rohre, die direkt im Rohrspeicher des Stauraumkanals angeordnet sind. Es wird letztendlich eine riesige Rechenfläche geschaffen, die in etwa dem 25-fachen zu einem klassischen Rechen auf oder an einer Entlastungschwelle entspricht. Diese enorm große Fläche bewirkt eine sehr geringe Durchflussgeschwindigkeiten durch die Perforation. Es kommt nahezu zu keinem Verkeilen oder Verklumpen von Grobstoffen in der Perforation. Der Rechen verstopft nicht! Es gibt dabei auch keine zusätzlichen oder irgendwie mechanisch mitarbeitenden Systeme. Eine regelmäßige Wartung oder Verschleiß gibt es damit nicht. Die Rechen kommen wahlweise in Kunststoff- oder Edelstahl zur Ausführung.



Bild 3 4- fach Amiscreen Kunststoff



Bild 4 4- fach Amiscreen Edelstahl

Angefangen von den Standardformen eines Stauraumkanals mit oben- oder mit unterliegender Entlastung wurde das Amiscreen-System auch in kombinierten Stauraumsystemen mit einem Klär- und Beckenüberlauf oder auch mit Bypass Strängen eingesetzt. In 3D-Fließsimulationen wurde dazu vorab das Strömungsverhalten beobachtet, die Konstruktion angepasst und somit weiter für den späteren praktischen Einsatz optimiert. Das Ziel liegt bei einer gleichmäßigen Belastung der Anlage, um die Klärwirkung im Stauraumkanal oder auch im Rebenüberlaufbecken beizubehalten. So können Durchflussgeschwindigkeiten durch die Amiscreen-Perforation von weniger als 0,03 m /s großflächig erzielt werden! Die Sedimentation im Stauraumkanal oder im Becken bleibt somit ungestört.

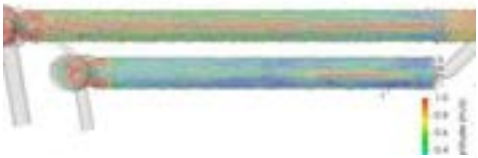


Bild 5 Strömung Stauraumkanal

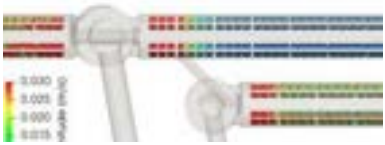


Bild 6 Strömung Amiscreen

3 Diese Ergebnisse haben überzeugt

und eine Vielzahl von Planern und Betreibern für ein Amiscreen-System, nun auch im nachträglichen Einbau also bei der Sanierung bestehender Stauraumkanäle und Regenüberlaufbecken aus Beton, begeistern können. So wurde Im Jahr 2021 ein solches Amiscreen-Grobstoffrückhalte-System in Spaichingen (Baden-Württemberg) in einem Bestands-RÜB im laufenden Betrieb nachträglich eingebaut. Nach einem Jahr Betrieb ist das Urteil des Betreibers eindeutig und klar: „Das Amiscreen-System überzeugt zu 100%!“ Zellulose und fäkale Partikel im angrenzenden Parkteich gehören der Vergangenheit an. Die zurückbleibende Schmutzfracht hat sich im Becken nun stark erhöht, jedoch sind die Amiscreen-Elemente auch nach einem Jahr Betrieb ohne jegliche Zwischenreinigung der Gitter voll funktionsfähig.



Bild 7 Amiscreen im Betonbecken



Bild 8 Reinigung Amiscreen

Sollte nach sehr langer Zeit mal eine Reinigung der Amiscreen-Rohrstränge notwendig sein, so kann dies mit einer klassischen Rohreinigungsdüse eines HD-Spülfahrzeugs von innen nach außen erfolgen!

4 Mit einem digitalen Schmutzstoffsensor

kann der sich bildende Belag auf den Amiscreen-Elementen generell Online überwacht werden. Fremdenergiefrei erfolgen diese Messungen über batteriegestützte Datenlogger mit einem Internet-SIM-Anschluss. Wer keine eigene Leitstelle zum Empfang hierfür besitzt, dem stellt der Anbieter seine Amiscreen-SCADA-Software mit einer Auslese und Information auf dem PC oder auf dem Smartphone zur Verfügung! Damit erfüllt das Amiscreen-System abschließend alle Anforderungen an die Digitalisierung und meldet auch gleich parallel die Stauhöhen und Abschlagmengen an die betreffenden Meldestellen weiter.

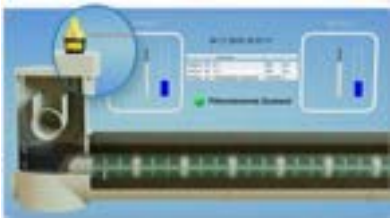


Bild 9 Anzeige Verschmutzungssensor



Bild 10 SCADA Software

5 Zusammenfassung

Der verbesserte Rückhalt von Schmutzstoffen im Stauraumkanal und in Regenüberlaufbecken führt zu einer wesentlich geringeren Schmutzbelastung der Vorflutgewässer. Das energiefreie Schmutzstoff-Rückhaltesystem benannt AMISCREEN benötigt keine beweglichen Bauteile. Das System ist damit wartungsarm, verschleißfrei, korrosionsbeständig und sehr langlebig. Durch die sehr geringen Fließgeschwindigkeiten durch die Perforation (< 0,05 m/s), bei einer enorm großen Gitterfläche im Stauraumspeicher werden neben den Grobstoffen aber auch Partikel sehr viel kleinerer Dimension zurückgehalten! In einer 3D-Simulation Echtsimulation kann dafür das Strömungsverhalten vorab optimiert werden. Eine hochmoderne fremdstromfreie Sensorik überwacht im späteren Betrieb abschließend das Amiscreen-System online. Über eine Leitstelle des Amiscreen-Anbieters kann der Betreiber seine Daten direkt lesbar einsehen und erhalten.
Das System AMISCREEN entlastet nachhaltig die Umwelt bei sehr geringem Eigenaufwand.

Autor:

Dipl. Ing. (BA) Marc Hirschmann
Amiblu Germany GmbH
Döbeln

Tel.: +49 160 96759915
E-Mail:
marc.hirschmann@amiblu.com
Internet:
www.amiblu.com



7
Neue Regeln für die Baupraxis Wasserleitungen und Kabelleitungstiefbau

Umsetzung der neuen Hygieneanforderungen aus der Trinkwasserverordnung im Leitungsbau (DVGW W 291, DVGW W 263)

Von Manfred Hochbein

Die Anforderungen an eine zu erstellende Wasserleitung lassen sich knapp und prägnant auf die Merkmale fest, dicht und sauber reduzieren.
Alle Rohrleitungsteile sollen hygienisch sauber konstruiert, produziert, geprüft, transportiert, gelagert und eingebaut werden.
Dabei ergibt sich die Herausforderung, dass das zur Befüllung anstehende Trinkwasser hygienisch einwandfrei sein soll (gesundheitlich unbedenklich), aber nicht steril und damit komplett frei von Mikroorganismen sein kann. Auch nach der Aufbereitung im Wasserwerk enthält es noch Mikroorganismen, welche im Trinkwasser ihren natürlichen Lebensraum haben.
Hier kommt es dann auf eine kooperative Zusammenarbeit zwischen Auftraggebenden und Auftragnehmenden an, diese gemeinsame Aufgabe der hygienischen Prüfung der Rohrleitung bis zur hygienischen Freigabe des Leitungsabschnittes zu gestalten.
Ein auf die Aufgaben abgestimmtes Hygienekonzept mit Schulungen für alle Beteiligten ist die Grundlage für die Einhaltung der Hygieneanforderungen beim Leitungsbau und liefert Handlungsempfehlungen für die Einhaltung der Hygiene/Sauberkeit beim Leitungsbau.

1 Hygiene und der zugehörige Rechtsrahmen im Leitungsbau

Trinkwasser in der Wasserverteilung ist ein (das) Lebensmittel mit der Rohrleitung als Verpackung, welches von den Wasserversorgern an die Kunden verteilt wird. Im Gegensatz zu anderen Lebensmitteln gibt es für Trinkwasser keine Rückrufmöglichkeit des Produkts. Dies spiegelt die besondere Bedeutung der Hygiene im Wasserleitungsbau wider.
Die Anforderungen an die Hygiene im Wasserleitungsbau sind eingebunden in einen internationalen und nationalen Rechtsrahmen, der garantieren soll, dass von Trinkwasser keine gesundheitsschädliche Auswirkung auf den Verbraucher stattfinden kann.

- Der WHO Water Safety Plan fordert ein durchgängiges Konzept zur Sicherstellung der Wasserqualität vom Einzugsgebiet bis zur Zapfstelle.
- Die Europäische Trinkwasserrichtlinie (Drinking Water Direktive) setzt Standards, dass Stoffe und Materialien, die mit Trinkwasser in Berührung kommen, nicht die menschliche Gesundheit gefährden dürfen.
- Das deutsche Infektionsschutzgesetz (IfSG) gibt vor, dass Wasser für den menschlichen Gebrauch so beschaffen sein muss, dass eine Schädigung der Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist.
- Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) regelt die Pflichten des Versorgungsunternehmens und bestimmt die zu untersuchenden mikrobiologischen Parameter zur Trinkwasserüberwachung.

– Das DVGW-Regelwerk stellt die allgemein anerkannten Regeln der Technik dar. Der Gesetzgeber hat hiermit dem DVGW die Erarbeitung von technischen Standards übertragen, die neuerdings auch konkrete hygienische Anforderungen an Planung, Bau und Betrieb von Wasserverteilungsanlagen festschreiben (DVGW GW 301, W 1000, W 263, W 270, W 291, W 400-2).

Mit der Einhaltung des DVGW-Regelwerks und der darin festgelegten hygienischen Anforderungen beim Leitungsbau, vermeidet der Ersteller einer Wasserleitung den juristischen Tatbestand der Fahrlässigkeit bei der verkehrsüblichen Sorgfalt (§ 823 BGB Schadenersatzpflicht, § 229 StGB Fahrlässige Körperverletzung). Außerdem vertiefen Netzbetreiber und Rohrleitungsbauer durch saubere und hygienische Arbeit das Vertrauen in das Lebensmittel Trinkwasser und sorgen so für eine hervorragende Trinkwasserqualität, wenn neben den technischen Standards nun auch konsequent die hygienischen Anforderungen im Leitungsbau umgesetzt werden.

2 Mikrobiologische Parameter und Untersuchungsumfang beim Leitungsbau

Die Parameter der Koloniezahlen bei 22° C und 36° C, Coliforme Bakterien und E.-Coli sind seit Jahrzehnten gesetzte Parameter bei der bakteriologischen Freigabe im Leitungsbau. Diese Indikatorkeime oder direkten Hinweise auf eine bakteriologische Kontamination sorgten bei deren Einhaltung der Grenzwerte gem. Trinkwasserverordnung in der Vergangenheit für eine ausreichende Absicherung der hygienischen Unbedenklichkeit der neu verlegten Trinkwasserleitung. Im Jahr 2017 veröffentliche jedoch das Bundesumweltamt UBA eine *„Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser“.* Hier wurde der direkte Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Pseudomonas aeruginosa im Trinkwasser und evtl. Kontaminationen von Harnwegskathetern, Venenkathetern, und Beatmungstuben in Krankenhäusern und deren daraus möglicherweise resultierenden Krankheitsformen dargelegt.
In § 5 Abs. 4 TrinkwV 2001 ist geregelt, dass die Konzentrationen von Mikroorganismen so niedrig gehalten werden sollen, wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls möglich ist.
Dies trifft auf Mikroorganismen zu, die das Trinkwasser verunreinigen oder seine Beschaffenheit nachhaltig beeinflussen können. Hierzu gehört dementsprechend auch Pseudomonas aeruginosa (P. aeruginosa), der als wichtiger fakultativ-pathogener, durch Wasser übertragbarer Krankheitserreger gilt.
GELSENWASSER hat sich deshalb schon vor Jahren entschieden, vorsorglich bei bakteriologischen Untersuchungen auch auf Pseudomonas aeruginosa (P.a.) zu untersuchen.
So werden nicht nur alle neuverlegten Versorgungsleitungen generell auf l P.a. untersucht, auch alle Anschlussleitungen von sensiblen Einrichtungen (Krankenhäuser, Arztpraxen, Lebensmittelbetriebe, Schulen, Kindergärten, Alten- und Pflegeheime) sind im erweiterten Untersuchungsprogramm enthalten.



Beprobung

Untersuchungsstelle	Häufigkeit	Untersuchungsumfang
Neuverlegungen (Erneuerungen, Erweiterungen) – „Freigabeuntersuchung"	bei **jeder** Maßnahme	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli - Pseudomonas aeruginosa
Ersatzversorgungsleitungen – „Freigabeuntersuchung"	bei **jeder** Maßnahme	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli - Pseudomonas aeruginosa
Neuanschlüsse (nach Einbau des Wasserzählers)	Stichprobe (min. 10 %)	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli - Pseudomonas aeruginosa
Neuanschlüsse (nach Einbau des Wasserzählers) **und Anschlussschäden** bei **sensiblen Einrichtungen**	bei **jeder** Maßnahme	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli - Pseudomonas aeruginosa
nach **Rohrschäden**	Stichprobe (min. 10 %)	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli - Pseudomonas aeruginosa
nach **Einbindungen**	Stichprobe (min. 10 %)	- Koloniezahl bei 22°C und 36°C - Coliforme Bakterien - E.coli

Untersuchungsumfang im Leitungsbau bei GELSENWASSER

3 Herkunft und Bedeutung von Pseudomonas aeruginosa

P.a. ist ein ubiquitär vorkommendes Bakterium, das sehr feuchtigkeitsliebend ist und so eine weite Verbreitung auf Pflanzen, in Böden, im Abwasser und in Oberflächenwässern hat.
Es kann Biofilme bilden oder sich in bestehende Biofilme einnisten. Im Trinkwasser findet P.a. ideale Temperaturbereiche, da es sich zwischen 10° C und 42°C bei nur geringen Nährstoffansprüchen vermehrt.
Bei gesunden Menschen löst P.a. selten schwere Erkrankungen aus. Das Verschlucken von Trinkwasser mit P.a. ist für gesunde Menschen unkritisch.
Die Übertragung auf den Menschen geschieht meist über verletzte Haut oder über Schleimhäute. Hier kann es dann Lungenentzündungen, Harnwegsinfektionen sowie schwerwiegende Haut- und Gewebeinfektionen auslösen oder begünstigen. Das Bakterium ist ein Krankenhauskeim, der durch seinen Stoffwechsel und seine Zellmembranstruktur Mehrfachresistenzen gegenüber gängigen Antibiotika aufweist. Mit ca. 10 % aller Krankenhausinfektionen gehört P. aeruginosa zu den in Deutschland am häufigsten auftretenden Krankenhauskeimen.



Pseudomonas aeruginosa und Wundinfektion infolge P.a.

4 Mögliche Kontaminationen durch Bakterien und P.a. im Leitungsbau

Die Liste der möglichen Verunreinigungen im Leitungsbau ist lang und bezieht sich auf alle möglichen Schritte in der Wertschöpfungskette Leitungsbau:

– Konstruktion und Produktion von Werkstoffen, Formstücken, Rohren, und Bauteilen:
Vermehrung von Biofilm auf ungeeigneten Werkstoffen, die z.B. keine Zulassung gem. DVGW W 270 haben.



Ungeeignete oder zu viel daran haftende Schmier- und Hilfsstoffe an Armaturen oder Formstücken

– Lagerung, Transport und Einbau von Rohren und Formstücken:
Eintrag von Verunreinigungen durch Schmutzwasser, Fäkalien, Schleimspuren oder Erdkrümel oder Handberührung



Standzeit bis zum Probenansatz	2 h	2 h	72 h	72 h
Sauberes Gefäß	**KBE / ml 20 °C**	**KBE / ml 36 °C**	**KBE / ml 20 °C**	**KBE / ml 36 °C**
Ohne Fingerkontakt	0	2	0	0
Mit Fingerkontakt	0	6	6000	8000
Kontakt mit gleitmittelbehaftetem Finger	40	66	65 000	70 000
Kontakt mit gleitmittel- und schmutz/sandbehaftetem Finger	2000	3000	170 000	140 000

Aufkeimungspotential von Wasserproben mit Fingerkontakt und Verschmutzung mit Gleitmitteln und Sand

Reinigung, Desinfektion und Inbetriebnahme
Keine ausreichende Reinigung einer evtl. verschmutzen Leitung mit Sedimenten, keine Molchung, Desinfektion mit nicht angepasstem Desinfektionsmittel, Befüllen der Leitung über kontaminierte Hydranten, Schläuche und Formteile



Unsaubere Lagerung der eingesetzten Rohre, Formstücke und Werkzeuge

5 Hygienemaßnahmen zur erfolgreichen Freigabe von Trinkwasserleitungen

Für die erfolgreiche Inbetriebnahme einer neuen Trinkwasserleitung oder die hygienische Abwicklung einer Instandhaltungsmaßnahme sind verschiedene Vorgaben eines Maßnahmenkatalogs zu erfüllen. Insbesondere sind hier organisatorische, technische und personelle Vorgaben in einem Hygienekonzept darzulegen und beim Wasserversorger und Leitungsbauer umzusetzen.

Organisatorische Maßnahmen
Bei der Erstellung eines Hygienekonzepts sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

– Festlegen von Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten, und Ansprechpartnern.
  Wer beschafft welches Material? Sind alle erforderlichen Zulassungen des Materials vorhanden und einsehbar (z.B. W 270)? Wer ist für die hygienische Lagerung im Lager und auf der Baustelle verantwortlich?

– Bestellen von Sachkundigen für Reinigung und Desinfektion.
  Reinigung und Desinfektion sind von Sachkundigen durchzuführen und zu überwachen.
  Sie haben besondere Kenntnisse im Bereich Arbeitssicherheit, Umgang mit Gefahrstoffen, Durchführung von Reinigung und Desinfektion, Werkstoffe und Materialien, Bauteile und deren Wechselwirkungen mit Desinfektionsmitteln.
  Sachkundige sind jährlich durch interne oder externe Schulungsmaßnahmen zu qualifizieren.

– Erstellen von Betriebs- und Arbeitsanweisungen.
  Es sind Anweisungen zu Wareneingangskontrollen, zum Umgang mit Hygieneanforderungen und zur Reinigung und Desinfektion zur erstellen und bei Bedarf zu aktualisieren.

– Erstellen von Checklisten für zugelassene Materialien, zugelassene Hilfsstoffe, Wareneingangskontrollen im Lager und auf den Baustellen.

– Durchführen von Schulungen für eigenes Betriebspersonal, Fremdfirmen und weitere Dienstleister.

– Einweisen in Baustellen und sensible Trinkwasseranlagen (z.B. offene Filterbecken, Trinkwasserkammern)

Technische Maßnahmen
Die Beachtung der hygienischen Anforderungen beginnt bereits bei der Herstellung der Einzelteile von z.B. Armaturen, Formstücken und Rohren.
Hier müssen die Hersteller die Lagerung und den Transport, die Werksmontage, die Prüfung, Lagerung und Verpackung unter besonderen hygienischen Aspekten berücksichtigen.

Besondere Bedeutung hat hier die Nassprüfung von Produkten zum Nachweis der Dichtheit und Festigkeit der Produkte. Das Prüfwasser muss hier Trinkwasserqualität haben und darf keine schädigende Rückwirkung auf das Produkt (z.B. Armatur) haben. Die Qualität des Prüfwassers ist laufend zu überwachen.
Bei Transport und Lagerung ist stets darauf zu achten, dass alle Rohre, Formstücke und Armaturen stets vor Umwelteinflüssen geschützt sind:
– Schutz mit geeigneten Verschlusskappen
– Trockene Lagerung mit ausreichender Bodenfreiheit und ggf. Abdeckung
– Lagerung von Dichtungen in hygienisch verschlossener Verpackung

Vor der Entnahme von Trinkwasser aus Hydranten zum Befüllen, Spülen und Reinigen, ist der Klauenbereich des Unterflurhydranten sorgfältig zu reinigen. Es sind nur saubere (ggf. mit Heißluft) sterilisierte Standrohre und gemolchte Schläuche zu verwenden.
Grundsätzlich sind alle Rohrleitungsabschnitte, falls möglich, zu molchen. Dies garantiert die Luftfreiheit bei der durchzuführenden Druckprüfung und befreit den Rohrleitungsabschnitt von möglichen Verunreinigungen wie Erdkrümeln, Sand- und Bodenablagerungen, Spänen und vergessenen Werkzeugen (Hammer, Gleitmitteltuben).

Personelle Maßnahmen
Vor Arbeiten an der Verpackung für das Lebensmittel Trinkwasser (z.B. Rohre, Formstücke, Armaturen etc.) sind die Hände gründlich mit Seife zu waschen und/oder zu desinfizieren.
Der Arbeitsgeber hat hier für entsprechende Ausrüstung zu sorgen.
Zusätzlich können neue Einmalhandschuhe getragen werden, die nach dem Tageseinsatz bzw. bei evtl. Verschmutzung entsorgt werden.
Saubere Arbeitskleidung und persönliche Schutzausrüstung ist zu tragen. Nach Arbeiten an Abwasseranlagen ist die Arbeitskleidung gründlich zu reinigen, bevor sie wieder im Trinkwasserbereich genutzt wird.
Arbeitende mit infektiösen Krankheiten (Magen-Darm-Erkrankungen) sollten nicht bei Arbeiten an Trinkwasseranlagen eingesetzt werden.

Autor:

Dipl.-Ing/MBA
Manfred Hochbein
Gelsenwasser Energienetze
Lüdinghausen

Tel.: 02591 / 24 200
E-Mail:
manfred.hochbein@gw-Energienetze.de



Neue Anforderungen bei der Durchführung von Druckprüfungen an Wasserleitungen

DVGW W 400-2

Von René Stangl

Aus den neu erschienen DVGW-Regelwerk W 400-2 gibt es umfangreiche Neuerungen, die nachfolgend in einer kurzen und kompakten Information erläutert werden.

Durchführung, Protokollierung, Bestätigungsnachweise

In den Abschnitten 4.2 und 7.2 wird die Sachkunde für die Durchführung von Druckprüfungen an Wasserleitungen sehr umfangreich definiert. Aufgrund des bisherigen Umganges und der Umsetzung von Druckprüfung an Wasserleitungen wurden verschiedene Durchführungsfehler erkannt, die maßgebende Veränderungen für die Aufgabenbereichen der Auftraggebenden, Auftragnehmenden und weiterführend der Protokollierung mit sich brachten. Über eine organisatorische angepasste Struktur der Aufgabenabwicklung werden die Auftraggebenden zudem mehr in die Verantwortung den Qualitätsnachweises den Rohrleitungsbaues mit dem dabei notwendigen Bestätigungsnachweis in die Druckprüfungsüberwachung und Abnahme einbezogen.

Technische Voraussetzung

Zu den Voraussetzungen für die Durchführung von Druckprüfungen an Wasserleitungen sind Angaben für die erforderliche Pumpentechnik, die einzusetzende elektronische Druckmesstechnik und zusätzlich die Notwendigkeit des Einsatzes elektronischer Mengenmesser für Druckablassprüfungen und deren Koppelung bei der Verwendung von ergebnisbewertender Druckmesstechnik angegeben. Eine bedarfsbezogene Temperaturerfassung wurde zudem eingearbeitet.

Druckprüfverfahren

Es wurden verschiedene Veränderungen der Druckprüfungsverfahren für die zur Anwendung kommenden unterschiedlichen Rohrleitungsmaterialen und Nennweiten umgesetzt.

Kontraktionsprüfung

Bei dem Verfahren der Druckprüfung von Kunststoffrohrleitungen sind keine wesentlichen Änderungen erfolgt. Interessant ist der Hinweis auf den Zusammenhang der Erreichung einen Mindestdruckabfalles in der Vorprüfung und der anschließend durchzuführenden Druckablassprüfung für die Nachweis der tatsächlichen Luftfreiheit. Diese zusätzliche eingetaktete Bewertungsmöglichkeit dient dem Nachweis der Einhaltung der abgelassenen Mengen der Druckablassprüfung, da die Werte eines Mindestdruckverlustes in der Vorprüfung mit den Werten der Druckablassprüfung zueinander korrelieren.

Beschleunigte Normalverfahren

Das Prüfverfahren für ZMA-Rohrleitungen mit dem beschleunigten Normalverfahren

hat sich eine Vielzahl an Änderungen mit sich gebracht. Aufgrund des unterschiedlichen Sättigungsverhaltens musste eine Unterteilung für Rohrleitungen bis DN200 und Rohrleitungen >DN200 bis DN600 eingearbeitet werden. Dabei wird auf die grundsätzliche Möglichkeit der Prüfung an maximal zwei aufeinanderfolgenden Werktagen hingewiesen.
Für Rohrleitungen bis DN200 wird wegen des dabei schon fortgeschrittenen Sättigungsgrades der ZM-Auskleidung zudem ein verschärfter Druckverlust von $0{,}5 \times \Delta p_{zul.}$ am zweiten Prüfungstag gefordert. Für Rohrleitungen >DN200 bis DN600 ist die Sättigungsphase des ersten Prüfungstag auf einen angemessenen Wert angepasst worden, da die bis dahin üblich gewordene Verfahrensweise der Sättigung am ersten Prüfungstag und der tatsächlichen Druckprüfung am zweiten Prüfungstag, sich als regulär anwendbar und somit bestätigt haben.

Einflussminimierte Normalverfahren
Als eine weitere Möglichkeit der Druckprüfung von ZMA-Rohrleitungen ist das einfluss-minimierte Normalverfahren ins Regelwerk aufgenommen worden. Hiermit können vorzugs-weise Rohrleitungen >DN600 in einer wesentlich kürzeren Prüfzeit als bisher mit der langen Variante des Normalverfahren geprüft werden.

Anwendungseinschränkung des Beschleunigten und Einflussminimierten Normalverfahrens
Bei ZMA-Rohrleitung bis DN600 wird jetzt auf die fortgeschrittene Sättigungsphase bei einer nicht bestandenen ersten Druckprüfung (z.B. wegen Undichtigkeit) eingegangen. So wurde die Anwendung des beschleunigten Normalverfahrens und einflussminimierten Normalverfahrens auf eine Prüfung mit einer Prüfdauer von maximal 2 Tagen eingeschränkt. Gegebenenfalls notwendig werdende Wiederholungsprüfungen und damit der wiederholten Anwendung eines verkürzten Prüfverfahren, sind damit nicht mehr zulässig. Bei einer Wiederholung der Druckprüfung ist demzufolge nur noch das Normalverfahren mit den entsprechend längeren Prüfzeiten anwendbar.

Normalverfahren
Beim Normalverfahren, welches für alle Rohrleitungsmaterialen und Nennweiten angewendet werden kann, wurden für die verschiedenen Materialen und Auskleidungen die entsprechenden Prüfzeiten angeglichen und in die Kennwerttabelle des Regelwerkes in einer übersichtlicheren Form eingearbeitet.

Autor:

René Stangl
Wasserwerk-Service Stangl
Ostenallee 108
59071 Hamm

Tel.: +49 2381 889198
E-Mail:
mail@wasserwerk-service.de
Internet:
www.wasserwerk-service.de



Die Berücksichtigung des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe in der Praxis

Was ist bei Druckprüfung, Rohreinzug und Betrieb zu beachten?

Von Thorsten Späth

Der thermoplastische Rohrwerkstoff Polyethylen gehört zu den viskoelastischen Werkstoffen. Derartige Werkstoffe zeigen im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen bereits im Bereich der Gebrauchstemperatur ein Kriechen, d.h. sie verformen sich bereits bei geringen Belastungen. Daher ist bei jeder Auslegung einer zulässigen Belastung neben der wirkenden Spannung auch Belastungszeit und Temperatur zu berücksichtigen. Für Bauteile, wie z. B. Rohre, die in einem Versorgungsnetz über 100 Jahre betrieben werden sollen, wird daher die entsprechende Langzeitfestigkeit zur Auslegung herangezogen. Welchen Einfluss auf die Lebensdauer haben aber bereits Einflüsse aus der Druckprüfung beziehungsweise aus der Verlegung? Heute werden vielfach umweltschonende und kostengünstige geschlossene Bauweisen genutzt, um neue Rohrleitungen zu verlegen. Da ein Überschreiten zulässiger Grenzen eine bleibende Verformung bereits während der Verlegung zur Folge haben kann, sind bei dieser Belastung die maximalen Zugkräfte unter Berücksichtigung der Belastungszeit und Temperatur zu beachten. Im Rahmen dieses Vortrags sollen die Hintergründe, vor denen gewisse Grenzwerte in den gültigen Regelwerken vorgegeben sind, näher erläutert werden.

1 Viskoelastisches Verhalten

Viskoelastische Kunststoffe wie Polyethylen zeigen ein teilweise elastisches, aber gleichzeitig auch teilweise viskoses Werkstoffverhalten. Viskoelastische Kunststoffe vereinigen also Merkmale von Flüssigkeiten und Festkörpern in sich. Aus diesem Grund zeigen sie bei Verformung typische Merkmale sowohl von Flüssigkeiten als auch von Festkörpern. Der elastische Anteil bewirkt grundsätzlich eine spontane, begrenzte, reversible Verformung, während der viskose Anteil grundsätzlich eine zeitabhängige, reversible oder irreversible Verformung bewirkt. Elastisches Verhalten wird in der Rheologie durch eine Feder, das Hooke-Element, und viskoses Verhalten durch einen Dämpfungszylinder, das Newton-Element, dargestellt (Bild 1). Viskoelastisches Verhalten kann durch die Kombination zweier oder mehrerer dieser Elemente modelliert werden. Der viskoelastische Effekt, d. h. der Anteil von elastischem zu viskosem Verhalten, ist zeit-, bzw. geschwindigkeits-, belastungs- und frequenz- sowie natürlich auch temperaturabhängig [1, 2, 3]. Das viskoelastische Werkstoffverhalten von Kunststoffen wirkt sich generell bei jeder mechanischen Beanspruchung auf das Steifigkeits-, Festigkeits- und Verformungsverhalten aus. Infolge der Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Deformation wird bei einer Langzeitbeanspruchung das sogenannte Kriechen bzw. die Retardation oder die Spannungsrelaxation von Kunststoffen beobachtet [4].

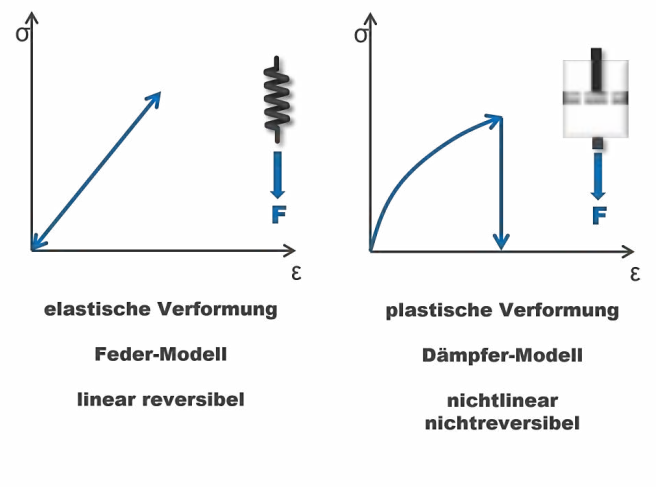


Bild 1: Schematische Verformungsmodelle des elastischen und viskosen Werkstoffverhaltens

So bewirkt das Kriechens unter einer mechanischen Beanspruchung an einem Kunststoffbauteil eine Verlängerung bei gleichzeitiger Verringerung der Dicke und Breite (Bild 2).

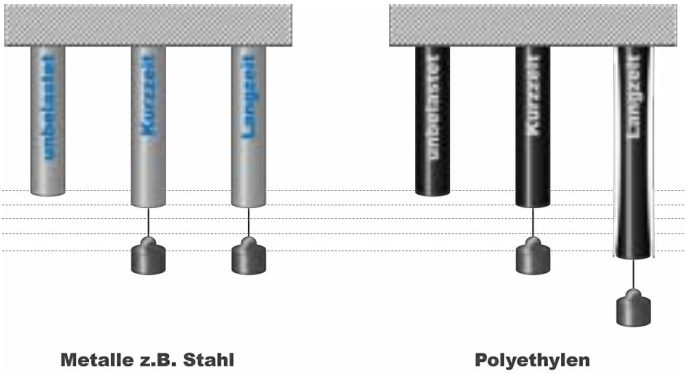


Bild 2: Schematische Darstellung des Kriechens von Polyethylen unter einer konstanten Last

Im Zugversuch zeigen viskoelastische Kunststoffe im Bereich kleinerer Dehnungen zwar elastisches Hookesches Verhalten, doch kommt es bereits ab wenigen Prozent Dehnung zu plastischen, bleibenden Verformungen mit bleibenden Veränderungen im Gefüge.

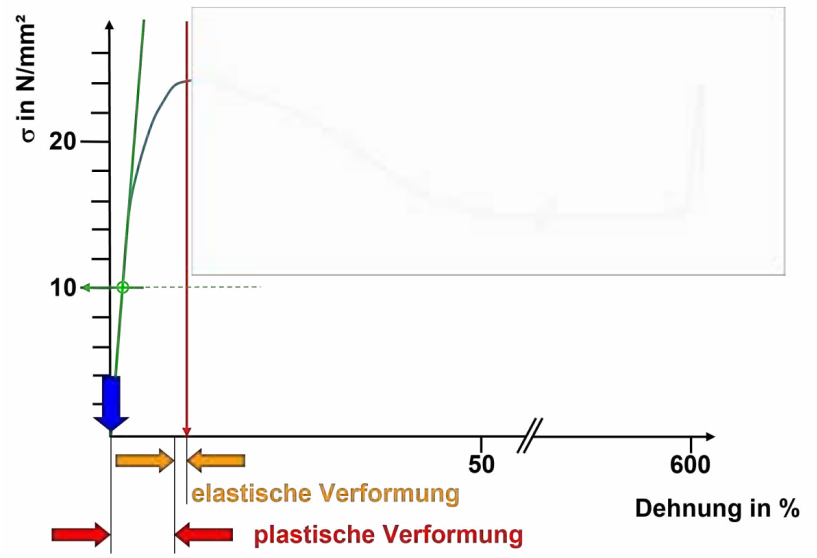


Bild 3: Schematisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Polyethylen

Belastungen während der Verlegung sollten somit auf diesen elastischen Bereich beschränkt sein, weshalb die gültigen Regelwerke Tabellen und Berechnungsvorgaben für zulässige Zugkräfte oder Biegeradien in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und Temperatur enthalten.

2 Zeitstandfestigkeit

Da viskoelastische Kunststoffe wie Polyethylen unter Last Kriechen, also der Last durch Deformation nachgeben, ist es erforderlich, die Langzeitfestigkeit zu ermitteln, um die langen Betriebsdauern einer Rohrleitung abzusichern. Um den in der Praxis auftretenden mehrachsigen Spannungszustand abzusichern, geschieht dieses an Rohrprüflingen unter Innendruck [5]. Unter Berücksichtigung der statistischen Mindestanforderungen lässt sich aus den Ergebnissen gemäß der in ISO 9080 beschriebenen Berechnungsverfahren die Langzeitfestigkeit für einen Betrieb von 50 Jahren bei 20°C ermitteln [6]. Diese beträgt für ein PE 100 10 MPa. Aber auch für andere Betriebstemperaturen lassen sich die möglichen Betriebsdauern aus einem genormten Zeitstanddiagramm ablesen [7]:

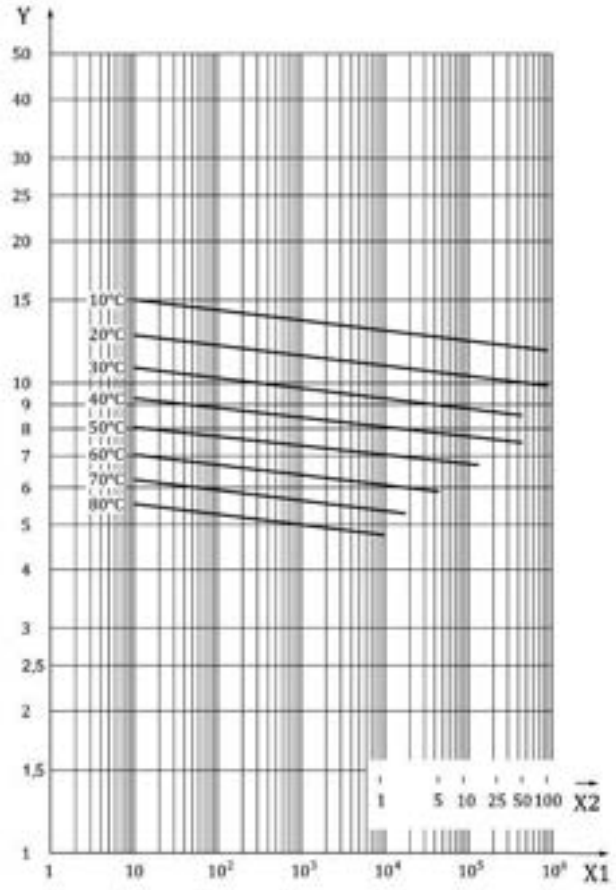


Bild 4: Zeitstandkurve [7]

Lastkollektive durch z.B. wechselnde Belastungen im Laufe eines Betriebes können nach dem Superpositionsprinzip nach Miner bewertet werden [8].

3 Druckprüfung

Vor der Inbetriebnahme ist jede Rohrleitung nach der Verlegung einer Dichtigkeitsprüfung unter Innendruck zu unterziehen, um die Dichtheit und die ordnungsgemäße Ausführung aller verbauten Verbindungen und Komponenten sicherzustellen [9]. Diese kurzzeitige Prüfung ist eine Systemprüfung und wird daher mit gegenüber den Betriebsdrücken erhöhten Prüfdrücken durchgeführt. Allerdings stellt die Prüfung keine Werkstoffprüfung da. Stellt sich daher die Frage, ob es

aufgrund des viskoelastischen Verhaltens des Werkstoffes zu einer Vorschädigung der Rohrleitungen aus Polyethylen kommt? Insbesondere bei Druckprüfungen der dünneren Rohrreihe SDR 17 an sonnigen Sommertagen ist es in der Praxis zu Problemen gekommen. Der Prüfdruck von 15 bar liegt mit einer wirkenden Prüfspannung von 11,75 MPa deutlich über der Langzeitfestigkeit (100 Jahre, 20°C) von 10 MPa von PE 100. Und das bei einer Werkstoffgeneration, die sehr flache Zeitstandkurven aufweist, um die sehr langen Betriebsdauern von über 100 Jahren abzusichern, aber weniger Reserven bei kurzen Belastungen zeigt. Zur Einschätzung einer möglichen Vorschädigung kann die Methode der Schadensakkumulation nach Miner angewandt werden:

$$\frac{\Delta t_1}{t_b(\sigma_1, T_1)} + \frac{\Delta t_2}{t_b(\sigma_2, T_2)} + \ldots + \frac{\Delta t_m}{t_b(\sigma_m, T_m)} = \sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta t_i}{t_b(\sigma_i, T_i)} \leq 1$$

Wenn $\sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta t_i}{t_b(\sigma_i, T_i)} = 1$ ist, kommt es zum Versagen.

Berechnet man die theoretische Lebensdauer eines SDR 17 (110 x 6,6 mm) Rohres aus PE 100 bei einem Betriebsdruck von 12,5 bar, also ohne einen Sicherheitsfaktor, so kommt man auf eine Lebensdauer von 114 Jahren. Unter der Annahme, dass die Leitung bei der Druckprüfung mit bis zu 10 Stunden mit 15 bar und 20°C beaufschlagt wird, zeigt sich unter Anwendung der Methode der Schadensakkumulation nach Miner, dass die hohe Prüfspannung zwar theoretisch einen kleinen Teil der Gesamtbetriebsdauer reduziert, aber immer noch eine Restlebensdauer von 112 Jahre Jahren verbleibt. Wird allerdings die maximale Prüftemperatur von 20°C durch z. B. Sonneneinstrahlung auf einen nicht abgedeckten Rohrabschnitt überschritten, so sieht das deutlich kritischer aus. Unter der Annahme dadurch beträgt die mittlere Rohrwandtemperatur während der Druckprüfung 30°C, so reduziert bereits ein einstündige Druckprüfung die Lebensdauer deutlich (Bild 5). Eine Überschreitung der maximalen Prüftemperatur von 20°C bei sommerlichen Temperaturen kann einen erheblichen Einfluss haben [10].

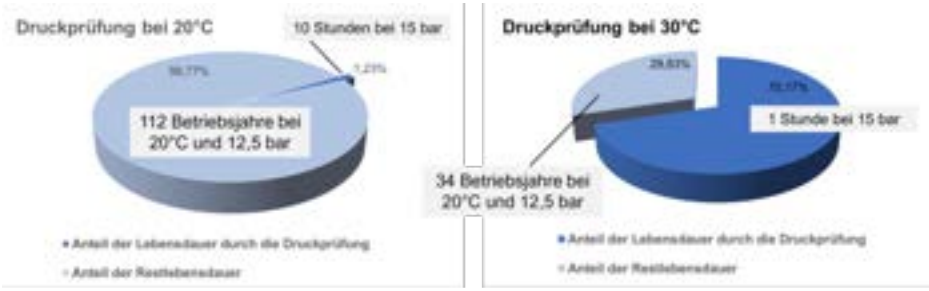


Bild 5: Vergleich der Anteile der Betriebsdauer von Druckprüfung und Betrieb bei verschiedenen Prüftemperaturen

Ähnliche Betrachtungen wurden auch bereits durch Nothdurft beschrieben [11]. Es ist somit sehr entscheidend für die positive Durchführung einer Druckprüfung, dass die neu verlegte Rohrleitung eingesandet und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt ist, um die maximale Prüftemperatur von 20°C nicht zu überschreiten.

Aber lässt sich die Theorie der Schadensakkumulation bei so kurzen Beanspruchungen wirklich anwenden? Diese Frage haben sich Frank et al. gestellt [12]. Deren Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass eine zeitlich begrenzte Druck- und Temperaturbelastung im Grenzbereich nicht zwingend Auswirkungen auf die Gesamtgebrauchsdauer haben muss. Selbst bei einer Belastung, die nach der Theorie der Schadensakkumulation eine wesentliche Reduktion der Restbetriebsdauer erwarten ließe, konnten keine signifikanten Einschränkungen festgestellt werden. Sofern die Beanspruchung während der Druckprüfung nicht zu einer bleibenden plastischen Verformung führt, kann davon ausgegangen werden, dass die Restbetriebsdauer nicht eingeschränkt ist. Findet eine solche plastische Verformung jedoch statt, so versagt das Rohrsystem bereits während der Innendruckprüfung (selbst wenn die Rohrleitung keine Leckage aufweisen würde, so hätte der Druckabfall infolge der Verformung ein negatives Prüfergebnis zur Folge). Die im gültigen Regelwerk gewählten Einschränkungen gelten für moderne Rohrwerkstoffe unter der Voraussetzung, dass bei der Druckprüfung die vorgegebenen Parameter wie Prüfdruck und -temperatur eingehalten werden [12].

4 Belastungen während der Verlegung

Rohrleitungen, die zum Beispiel bei einer Bohrung im Horizontal-Spülbohrverfahren eingezogen werden, werden während des Einziehvorgangs u.a. durch axial wirkende Zugkräfte belastet. Dementsprechend müssen Rohre und Rohrverbindungen für die aus dem Verfahren resultierenden Belastungen geeignet sein. Zulässige Zugkräfte und Biegeradien sind entsprechend in der GW 321 tabelliert [13]. Außerdem ist das neue Rohr durch einen geeigneten Schutz gegen unzulässige Riefenbildung zu schützen.

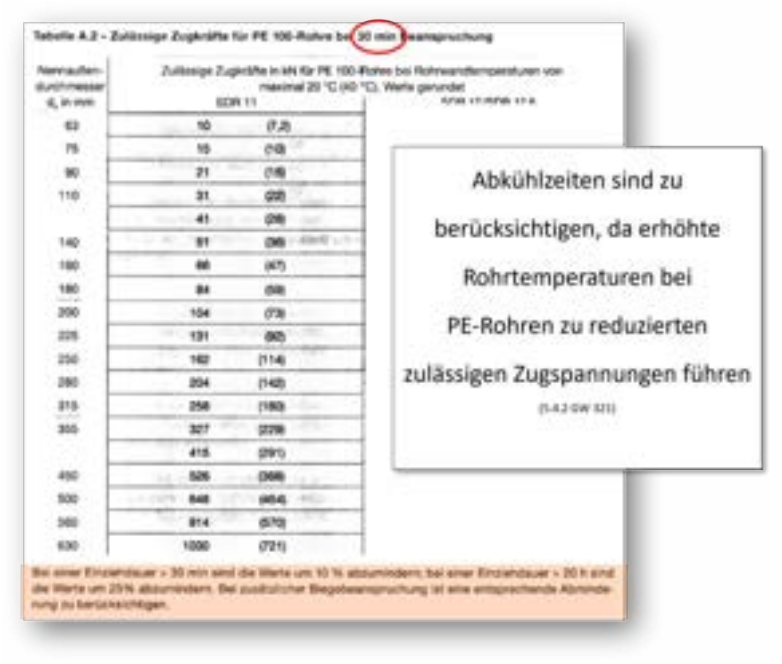


Bild 6: Zulässige Zugkräfte [13]

Neben dem Einfluss der Temperatur sind auch etwaige Abminderungsfaktoren für eine längere Einziehdauer angegeben, um dem viskoelastischen Verhalten des Werkstoffs Rechnung zu tragen und eine Vorschädigung des neuen Rohres zu vermeiden. Da sich beim Rohreinzug auch Biegemomente zur einachsigen Zugbelastung überlagern, sind die maximal zulässigen Zugkräfte um den Faktor der auftretenden Biegespannung zu reduzieren.

$$F = \pi(OD - s) \cdot s \cdot \left(\sigma_Z - E\frac{OD}{2R}\right)[N]$$

Formel zur Berechnung von sich überlagernden Zug- und Biegekräften.

5 Literatur

[1] https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Viskoelastisches_Werkstoffverhalten

[2] Lüpke, T.: Grundlagen mechanischen Verhaltens. In: Grellmann, W., Seidler, S. (Hrsg.): Kunststoffprüfung. Carl Hanser Verlag, München (2015) 3. Auflage S. 91/92, (ISBN 978-3-446-44350-1; siehe AMK-Büchersammlung unter A 18)

[3] https://de.wikipedia.org/wiki/Viskoelastizit%C3%A4t (letzter Zugriff am 02.01.2023)
[4] Bierögel, C.: Biegeversuch an Kunststoffen. In: Grellmann, W., Seidler, S. (Hrsg.): Kunststoffprüfung. Carl Hanser Verlag, München (2015) 3. Auflage, S. 147–158 (ISBN 978-3-446-44350-1; siehe AMK-Büchersammlung unter A 18)
[5] DIN EN ISO 1167-1:2006-05; Rohre, Formstücke und Bauteilkombinationen aus thermoplastischen Kunststoffen für den Transport von Flüssigkeiten - Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen inneren Überdruck - Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren (ISO 1167-1:2006);
[6] DIN EN ISO 9080:2013-02; Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation (ISO 9080:2012);
[7] DIN 8075:2018-08; Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen
[8] DIN EN ISO 13760:1998-07; Kunststoffrohre für den Transport von Fluiden unter Druck - Minersche Regel - Berechnungsverfahren für kumulative Schädigungen
[9] DVGW W 400-2:2022-08; Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) – Teil 2: Bau und Prüfung
[10] Hesse, H.: Druckprüfungen in der Praxis und Anforderungen im Regelwerk; Münchner Kunststoffrohrtage 2015
[11] Nothdurft, R.: Druckprüfung nach DVGW W 400-2 an PE 100 SDR 17 Rohren - Ein Beitrag zur Versachlichung; Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2008
[12] Frank, T.; Rosenau, R.: Wird die Gebrauchsdauer von Polyethylenrohren durch Innendruckprüfung reduziert? 3R international 01-02 (2017)
[13] DVGW GW 321:2003-10; Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen - Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung

Autor:

Dr.-Ing. Thorsten Späth
egeplast international GmbH
Greven

Tel.: 02575 9710 266
E-Mail:
thorsten.spaeth@egeplast.de
Internet:
www.egeplast.de



B
Kabelgebundener Energietransport

1
Moderne Verfüllbaustoffe für diverse Einsatzzwecke

Systemlösung für erdverlegte Kabel – Hohe Wärmeableitfähigkeit und Grabeschutz

Von Vera Vorholz und Jan Schröder

1 Einleitung

Der Bedarf an erdverlegten Kabeln steigt durch die Energiewende rasant an. Platzmangel in Ballungszentren, gestiegene Kabeldurchmesser und Anzahl an Kabeln stellen große Herausforderungen dar. Dieser massive Aus- und Neubau der Netzinfrastruktur von erdverlegten Hoch- und Höchstspannungsleitungen sowohl in Deutschland als auch im weiteren Europa erfordert Schutzsysteme, die den Standard der bekannten konventionellen Schutzeinrichtungen neu definieren. Trassenwarnbänder, Gehwegplatten oder Tonhalbschalen besitzen bei Handschachtungen noch eine gewisse Wirkung als Gefahrenhinweis bzw. als mechanischer Grabeschutz. Bei der Dimension der vorgesehenen Erdkabeltrassen und beim Einsatz von erdbaulichen Großgeräten verlieren sie jedoch ihren Schutzcharakter. Berichte über Leitungsbeschädigungen im Tiefbau, die im Rahmen von Erdarbeiten durch Baumaschinen verursacht werden, sind bereits jetzt regelmäßig in den Medien zu finden. Dabei sind gemäß der DGUV-Information 203-017 (aktueller Stand 2019) „Schutzmaßnahmen bei Erdarbeiten in der Nähe erdverlegter Kabel und Rohrleitungen“ der BG BAU [1] jährlich ca. 80.000 verursachte Schadensfälle in Deutschland auf Bagger-, Bohr-, Ramm-, Schürf- und Vortriebsarbeiten zurückzuführen.
Um einen ausreichenden Grabeschutz zu erreichen, findet das Produkt DuoLiner HGS der Firma G quadrat GmbH bereits Anwendung. Es handelt sich hierbei um eine ausrollbare Betonmatte, die im verlegten Zustand an Ort und Stelle aushärtet und anschließend einen optimalen Grabeschutz durch ihre Festigkeit bietet. Das Produkt wird einbaufertig und aufgerollt auf die Baustelle geliefert und kann schnell und einfach im Kabelgraben verlegt werden. Ergänzt werden kann die Betonmatte mit dem Verfüllmaterial DuoFill®, ebenfalls von der Firma G quadrat GmbH. Bei diesem Produkt handelt es sich um ein natürliches Material, welches durch seine spezielle Kornzusammensetzung eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Kabel und Leitungen können somit mit geringem Abstand verlegt werden und dennoch die entstehende Wärme an den umgebenden Boden ausreichend schnell abgeben.

2 Die Betonmatte DuoLiner HGS

2.1 Aufbau und Produktmerkmale

DuoLiner HGS besteht aus mit Sand-Zement-Gemisch befülltem Gewebe. Im Detail besteht es aus einer oberen und eine unteren Gewebelage, die mit Abstandsbändchen miteinander verbunden sind. Der durch die Abstandsbändchen vorgegebene in der Höhe und Breite definierte Hohlraum kann anschließend mit jedem rieselfähigen, trockenen Material befüllt werden. Im Falle von DuoLiner HGS wird dieser Hohlraum zwischen den Gewebelagen mit einer trockenen

Sand-Zement-Mischung gefüllt. Nach der Befüllung wird das Produkt aufgerollt und luftdicht verpackt. Der generelle Aufbau kann Bild 1 entnommen werden.

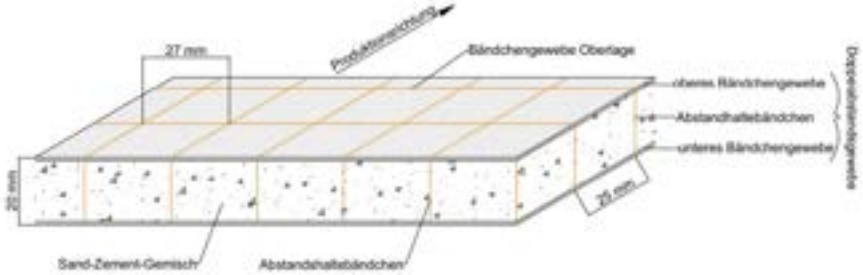


Bild 1: Schematischer Aufbau der Betonmatte DuoLiner HGS im Schnitt

DuoLiner HGS kann mit weißem, grauem oder signalrotem PEHD-Gewebe produziert werden. Ergänzend können auf dem Gewebe Aufdrucke erstellt werden, z.B. Warnhinweise oder auch Leitungskennwerte der darunterliegenden Leitung. Das Gewebe ist zudem besonders zugsicher.

In großangelegten Feldversuchen konnte bei DCVG-Probemessungen (Direct Current Voltage Gradient) gezeigt werden, dass eine ausgehärtete DuoLiner HGS-Bahn kein Messhindernis bei der Lokalisierung von Beschichtungsdefekten an Rohrleitungen (beispielsweise durch Korrosion) darstellt. Sowohl in Bereichen des Feldversuches, die ohne DuoLiner HGS abgedeckt waren (Nullvariante), als auch in Bereichen mit verlegten DuoLiner HGS-Bahnen wurden nahezu identische Spannungswerte [mV] gemessen. Somit sind durch DuoLiner HGS-Bahnen geschützte Leitungen im Revisions- und Wartungsfall dauerhaft kontrollierbar.

Produziert wird die Matte mit 2 cm Dicke und in Breiten von bis zu 2,20 m, die Standardlänge der Bahnen liegt bei 20,0 m. Im ausgehärteten Zustand liegt das Gesamtgewicht bei ≥ 30 kg/m². Durch die Kombination aus ausgehärtetem Beton und dem zugfesten und zusätzlich signalroten Gewebe schafft DuoLiner HGS dreifache Sicherheit beim Grabeschutz.



Bild 2: Schnitt durch eine ausgehärtete Betonmatte DuoLiner HGS

Bild 2 zeigt den Querschnitt einer ausgehärteten Betonmatte. Die leichte Polsterbildung ergibt sich durch die Hohlräume zwischen den Abstandsbändchen.

DuoLiner HGS ist Teil einer Produktfamilie von mit feinem, rieselfähigem Material gefüllten Gewebematten. Die Matte wird serienmäßig bereits als Kapillarblockbahn (DuoLiner KBB) und als Sandschutzmatte (DuoLiner MDDS) auf Deponien verwendet.

DuoLiner HGS ist offiziell als Schutzlage oberhalb von Erdkabeln in der niederländischen VELIN Richtlinie nr. 2013/1 gelistet und wurde dort bereits erfolgreich auf Gaspipelines verlegt. Die Produktgruppe DuoLiner ist außerdem als einzige Betonmatte CE-zertifiziert.

2.2 Anwendungsfälle

Neben dem Anwendungsfall als Grabeschutz oberhalb von erdverlegten Leitungen findet DuoLiner HGS auch Anwendung als Aufwuchsschutz unterhalb von frei liegenden Leitungen.
Zusätzlich kann das Produkt als Auskleidung von Becken, zum Beispiel bei Regenrückhaltebecken oder bei der Auskleidung von Gerinnen Verwendung finden. Vorteile sind bei Regenrückhaltebecken das sichere Ausbaggern von Schlämmen am Boden des Beckens ohne die Gefahr, darunterliegende Dichtungssysteme zu verletzen. Bei der Auskleidung von Gerinnen ist der sofortige Erosionsschutz ohne die Notwendigkeit von Begrünung direkt gegeben. Durch die flexible Form passt sich die Matte an alle Untergründe an und kann auch organische Formen bilden.

2.3 Lieferung und Einbau

Die Lieferung erfolgt luftdicht verpackt als Rollen auf Metall-Rohren. Die Rollen können entweder mit Spanngurten oder mit Hilfe einer mitlieferbaren Traverse abgeladen werden und anschließend entweder sofort verlegt oder auf einem ebenen, steinfreien, tragfähigen Zwischenlager abgelagert werden.



Bild 3: Einbau der Betonmatte DuoLiner HGS

Die Installation ist denkbar leicht und kann auch ohne Vorkenntnisse erfolgen. Am besten eignet sich eine Traverse zum Verlegen. Die Verlegung kann hierbei mit nur zwei Personen verlegt werden. Eine Person steuert hierbei den Bagger, die zweite Person überwacht den Verlegeprozess an der Traverse, wie in Bild 3 dargestellt. Entsprechende Traversen mit integrierter Bremse können projektspezifisch durch den Hersteller verliehen werden oder sind käuflich erwerblich.

Unabhängig vom Anwendungsfall ist der Verlegeaufwand (Zeit-, Personal- und Gerätebedarf) gering, zeigt aber insbesondere bei der Umsetzung kilometerlanger Linienbaustellen erhebliche bauverfahrenstechnische Vorteile. Das Verlegen bzw. das Ausrollen der in der Einbauphase noch flexiblen Bahnen erfolgt mit konventioneller Gerätetechnik einfach und schnell. Eine zusätzliche Windsicherung in der Einbauphase entfällt aufgrund des Eigengewichtes der Matten. Nach dem Ausrollen im Graben kann das Produkt entweder umgebende Bodenfeuchte ziehen und damit langsam aushärten oder im offenen Graben aktiv bewässert werden. Die Aushärtung durch aktive Bewässerung läuft hierbei schneller ab, bedeutet allerdings auch Mehraufwand durch den Wassertransport, ein Aushärten durch die umgebende Bodenfeuchte ist gerade bei langfristigen Baumaßnahmen völlig ausreichend. Nach der Verlegung und dem eventuellen Bewässern kann die Betonmatte einfach überbaut werden.

Für Reparaturzwecke kann die Betonmatte nach dem Aushärten z.B. mit einem Trennschärfer zerschnitten werden. Anschließend kann entweder ein neues Stück Betonmatte oder das alte Stück in die entstandene Lücke eingefügt werden.

3 Der Verfüllbaustoff „DuoFill®“

3.1 Aufbau und Produktmerkmale / Produktbeschreibung

DuoFill® ist ein patentierter hochleistungsfähiger Verfüllbaustoff für erdverlegte Starkstromtrassen. Beim Produkt DuoFill® handelt es sich um ein sieblinienoptimiertes, natürliches Material, welches durch seine Materialauswahl und Kornzusammensetzung eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist.

Die besondere Mineralogie der Bestandteile und ein spezielles Körnungsband verleihen DuoFill® seine einzigartigen Eigenschaften. Das Material wird aus 100% natürlichen Lagerstätten verschiedener Fraktionen gewonnen und projektspezifisch gemischt. Es gibt keine Verwendung von zusätzlichen Additiven. Es liegt ein ausgewogenes Körnungsband nahe der Fullerkurve vor. Das bedeutet:

– Kornfraktion ≥ 2 mm ca. 5 – 10 %
– Kornfraktion ≤ 0,063 mm ca. 15 – 20 %

Auf Grundlage der bisherigen Praxiserfahrungen und der Erkenntnisse aus den Feldversuchen wurde bestätigt, dass bei fachgerechtem Einbau von DuoFill® und unter normalen Betriebsbedingungen der Starkstromtrasse dauerhaft Wärmeleitfähigkeiten von $\lambda \geq 1{,}8$ W/(m*K) erreicht werden. Das entspricht einem Wärmewiderstand von $R_{Th} \leq 0{,}55$ (m*K)/W. Die Wärme-

leitfähigkeit hängt im Wesentlichen davon ab, wie gut DuoFill® verdichtet wurde und wie optimal der Wassergehalt ist.

Feld- und Laborversuche haben ergeben, dass auch unter schlechtesten Bedingungen von einem Wassergehalt von 0 % von einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda \geq 0{,}5$ W/(m*K) (Wärmewiderstand von $R\lambda \leq 2$ (m*K)/W) ausgegangen werden kann. Es handelt sich hierbei um die Worst-Case-Betrachtung. Eine Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Verfüllstoffe wurde bereits 2018 durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralf-Dieter Rogler (HTW Dresden) auf dem 32. Oldenburger Rohrleitungsforum vorgestellt. Der Verfüllbaustoff DuoFill® weist im Vergleich zu anderen Materialien sehr gute Wärmeleitfähigkeitseigenschaften auf. Durch die Verwendung von DuoFill® können somit schlankere Kabel mit größerer Wärmeentwicklung verwendet werden, da die Wärme schnell genug abgeleitet wird. DuoFill® ist in der Lage, die vorhandene Wärme im Erdreich von den Stromleitungen bzw. Kabelrohren abzuleiten und eine dauerhafte Übertragungsleistung mit hohem Wirkungsgrad sicherzustellen. Der gravitative Wassertransport im Bodenkörper (vorrangig niederschlagsinduziert) bis in den Bettungshorizont darf durch die verwendeten Schutzsysteme nicht behindert werden, da eine regelmäßige Wieder- bzw. Rückbefeuchtung der Leitungsbettung die Wärmeleitfähigkeitsfunktion begünstigt.

3.2 Lieferung und Einbau

Durch den Produzenten G quadrat GmbH werden Qualitätsunterlagen der Fremd- und Eigenüberwachung geliefert. Diese Unterlagen gewährleisten die gleichbleibende Qualität des Produktes, was eine gleichbleibende Verdichtbarkeit und die Garantie der sehr hohen Wärmeleitfähigkeit bedeutet. Der Produzent gibt zusätzlich auch das „Merkblatt Qualitätsmanagement Teil II: Qualitätsmanagement beim Einbau als Verfüllbaustoff“ aus, in dem alle relevanten Informationen zusammengefasst sind.

Das Material wird einbaufertig und mit den zugehörigen Qualitätsunterlagen auf die Baustelle geliefert. Vor Ort sind keine speziellen Geräte oder Mischeinrichtungen notwendig. Das Material kann stattdessen direkt zur Baugrube geliefert und verbaut werden. Alternativ kann das Material auf ein Zwischenlager gebracht werden und dort unbegrenzt gelagert werden. Hierzu empfiehlt sich das Abplanen, um das Material vor Austrocknung oder Vernässung zu schützen. Das Zwischenlagern empfiehlt sich, um eine dauerhafte Beschickung der Baustelle zu garantieren und die Anlieferung nur zu speziellen Zeiten koordinieren zu müssen. Die anschließende interne Logistik der Baumaßnahme kann anschließend durch die Baufirma gezielt geleitet und verantwortet werden.

Das Material hat bei Anlieferung bereits den idealen Einbauwassergehalt. Dieser liegt bei 5 Gew.-% < w_{opt} ≤ 10 Gew.-%. Bei einer Zwischenlagerung des Materials empfiehlt sich das Abplanen des Materials, damit es vor Austrocknung oder Vernässung geschützt wird. Nach einer langen Lagerung sollte der Wassergehalt geprüft und gegebenenfalls wieder in den optimalen Bereich gebracht werden. Nach dem Einbau sollte das Material ebenfalls zeitnah überbaut werden, um den optimalen Wassergehalt aufrechtzuerhalten.

Der Einbau ist unkompliziert und mit den üblichen Geräten, wie Bagger, Grabenstampfer oder Rüttelmaschine durchführbar. Das Material hat eine hohe Resistenz gegen Austrocknen und ein gutes Rückbefeuchtungs- bzw. Durchfeuchtungspotential. Durch die gut abgestimmte Körnungslinie schrumpft das Material nicht, die Bildung von Luftporenräumen ist auf das Minimum beschränkt. Um beim Zeitpunkt des Einbaus den optimalen Verdichtungsgrad von mindestens D_{Pr} = 95 % Proctordichte auch direkt am Rohr zu erreichen, kann eine Rüttelplatte mit vorgeformten Halbschalen im benötigten Rohrdurchmesser verwendet werden. Das Material bleibt nach Verdichtung formstabil, wie im untenstehenden Bild gut erkennbar. Bei der Verlegung von Leerrohren ist zudem keine Auftriebssicherung notwendig.



Bild 4: Verdichtetes DuoFill® mit vorgeformter Rohrform

Bei Arbeiten an den Leitungen kann das Material per Handschachtung oder mittels Saugbagger dem Arbeitsraum entnommen werden und später wieder eingebaut werden. Sofern das Produkt nicht durch Einträge von außen verunreinigt wird, behält es seine Eigenschaften auch nach dem Wiedereinbau ein.

Die Suffosionsbeständigkeit und die Beständigkeit gegen Schrumpfen und Quellen bei Wassergehaltsänderungen wurden bereits vielfach nachgewiesen und liegen in den geringen Organik- und Kalkgehalten und dem ausgewogenen Körnungsband begründet. Aufgrund dieser Eigenschaften können auch langfristig keine luftgefüllten Porenräume in der Leitungszone entstehen.

4 Die Systemlösung

Zurzeit befinden sich etliche Baumaßnahmen zum Aus- und Neubau von erdverlegten Kabeln und Leitungen in Genehmigungsverfahren. Die Zeit drängt, da der Bedarf an neuen Leitungen und Kabeln zur Sicherung einer stabilen Netzinfrastruktur weiter steigt. Es müssen mehr Kabel

und Leitungen mit größeren Durchmessern verlegt werden. Gleichzeitig herrscht besonders in urbanen Räumen deutlicher Platzmangel, sowohl ober- als auch unterirdisch. Baumaßnahmen sollen möglichst schnell und effizient abgearbeitet werden, um den Eingriff in die vorhandene Infrastruktur in Grenzen zu halten.

Für alle erdverlegten Kabel und Leitungen müssen langfristig die Wärmeableitung und der Schutz vor ungewollten äußeren Eingriffen gewährleistet werden.

In der Kombination aus DuoLiner HGS und DuoFill® können Baustellen schnell, wirtschaftlich und unkompliziert abgewickelt werden. Die Produkte werden einbaufertig geliefert, können auf Zwischenlagern zeitlich unbegrenzt gelagert werden und bieten somit die Möglichkeit, dass eine Unabhängigkeit zwischen Antransport und baustelleninterner Logistik geschaffen wird. Der Bauablauf kann somit flexibel durch die Baufirma gestaltet werden und ein reibungsloser, zügiger Ablauf wird ermöglicht.

Durch die Verwendung von qualitätsüberwachten Produkten entfallen vor Ort aufwändige Untersuchungen oder Mischprozesse. Stichprobenhafte Untersuchungen der Kornverteilung und des Wassergehaltes reichen bei DuoFill® als Überwachung vor Ort aus. DuoLiner HGS wird bereits im Werk geprüft und kann stichprobenhaft z.B. auf Materialstärke vor Ort geprüft werden. Beide Produkte bedürfen beim Einbau keiner besonderen Vorkenntnisse des Einbaupersonals oder Spezialwerkzeuge. Konventionelle Maschinen wie Bagger und Rüttelplatten reichen aus. Zudem kommen beide Produkte mit Qualitätsunterlagen und einer Einbauanweisung bzw. einem Merkblatt zum Einbau auf die Baustelle.

Der große Aus- und Neubau der Netzinfrastruktur von erdverlegten Hoch- und Höchstspannungsleitungen sowohl in Deutschland als auch im weiteren Europa erfordert Schutzsysteme, die den Standard der bekannten konventionellen Schutzeinrichtungen neu definieren. Die Schutzsysteme müssen schnell und einfach eingebaut werden können und anschließend einen dauerhaften Schutz gewährleisten.

Die Kombination aus DuoFill® und DuoLiner HGS bieten einen großen wirtschaftlichen Vorteil für Baufirma und Bauherren, insbesondere bei der Umsetzung kilometerlanger Linienbaustellen. Durch die Verwendung von DuoFill® können schlankere Kabel mit größerer Wärmeentwicklung verwendet werden, da die Wärme schnell genug abgeleitet wird. DuoFill® ist wirtschaftlich, nachhaltig und wiederverwendbar. DuoLiner HGS ist schnell und unkompliziert verlegt und bietet gleichzeitigen Grabeschutz auch gegen große Baumaschinen.

Beide Produkte kommen einzeln oder in Kombination bereits in vielen Projekten deutschlandweit erfolgreich zum Einsatz.

Durch die einfache Lagerung und den unkomplizierten Einbau stellen DuoFill® und DuoLiner HGS eine wirtschaftliche und technisch einfache, aber wirkungsvolle Alternative zu traditionellen Bauweisen dar. Durch optimale Produktion und Logistik wird auch bei hohem Bedarf ein reibungsloser Ablauf und eine wunschgemäße Bauleistung garantiert.

DuoFill® und DuoLiner HGS von der Firma G quadrat GmbH bieten für den jeweiligen Anwendungsfall eine hohe, gleichbleibende und überwachte Qualität. Als Systemlösung können sie ein Netzinfrastruktur-Projekt wirtschaftlich deutlich optimieren.



Bild 5: Die Systemlösung aus DuoFill® und DuoLiner HGS an einem Umspannwerk

Autoren:

B. Eng. Vera Vorholz
Fa. G quadrat GmbH, Krefeld

Tel.: +49 2151 7888339
E-Mail:
vorholz@gquadrat.de
Internet:
www.gquadrat.de



Dr.-Ing. Jan Schröder
Fa. G quadrat GmbH, Krefeld

Tel.: +49 2151 788830
E-Mail:
schroeder@gquadrat.de
Internet:
www.gquadrat.de



Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen

Von Eike Sophie Winkler

1 Einleitung

Laut statistischen Bundesamt betrug der Anteil an Bau- und Abbruchabfällen im Jahr 2019 rund 55% des gesamten Abfallaufkommens in Deutschland, wiederrum 59% davon 130 Mio. t) fallen auf Boden und Steine zurück. Etwa 80% dessen werden zur Verfüllung von übertägigen Abgrabungen (Kieskuhlen etc) verwendet, 12% auf Deponien entsorgt und 8 % als Baustoff in den Kreislauf zurückgeführt. Auf der anderen Seite wurden 226 Mio. t an Sand und Kies in Deutschland für die Bauwirtschaft produziert (BGR Bericht zur Rohstoffsituation, ersch.21.12.2021).
Die nachhaltige Verwertung von Bauabfällen, insbesondere Erdaushub, stellt Auftraggeber und Unternehmen vor große und wachsende Herausforderungen. Die organisatorischen und finanziellen Aspekte für die Beseitigung von Erdaushub sowie für die Beschaffung von Primärrohstoffen machen ein Umdenken für alle Beteiligten reizvoller.
Die Aufbereitung der als solche nicht wieder einbaufähigen Baustoffe zu zeitweise fließfähigen, selbstverdichteten Verfüllbaustoffen (ZFSV) stellt eine ökonomisch und ökologisch attraktive Alternative dar.

2 Flüssigboden/ ZFSV

Flüssigboden ist ein zeitweise fließfähiger, selbstverdichtender Verfüllbaustoff, welcher aus dem Aushubmaterial, RC Baustoffen, Primärrohstoffen oder Gemischen dieser hergestellt werden kann. Dem Grundmaterial werden Bindemittel wie Tonminerale und Zement sowie Wasser zugegeben. Einsetzbar ist das Material für die Verfüllung von Baugruben, Kanalgräben oder Leitungszonen, zur Herstellung von Bodenplatten oder als Widerlager, als wasserdichte Grabenwand oder hydraulische Barriere, zur Immobilisierung von Schadstoffen uvm. Der Baustoff fließt ohne Einwirkung zusätzlicher Energie. Die Refixierung erfolgt durch die Tonminerale (Bentonit) kohäsiv friktional sowie aufgrund der Zementzugabe hydraulisch. Eine Verdichtung mittels Rüttelplatten o.ä. ist nicht erforderlich. Die Eigenschaften des Materials im Endzustand sind anpassbar an die Anforderungen. Im Kanal- und Leistungsbau sollen allgemein bodenähnliche Eigenschaften erreicht werden.
Durch die selbstverdichtenden Eigenschaften entfallen Verdichtungsarbeiten, welche mit teilweise weitreichenden Erschütterungen einhergehen. Aufgrund der Einbindung des Wassers unter Zugabe der Tonminerale können Kabel und Rohrleitungen vor Wurzeleinwuchs geschützt werden. Eine hohlraumfreie Zwickelverdichtung verhindert zudem das Risiko von weniger gut verdichtetem Sand und dessen Austrag aus der Leitungszone mit einhergehenden Setzungen.

2.1 Planung

Schon während der Planung sind sowohl für den Auftraggeber sowie für den Auftragnehmer organisatorische, finanzielle und politische Aspekte zu betrachten bzw. mit der konventionellen Bauart zu vergleichen.
Dabei können folgende Stichpunkte als Entscheidungshilfe aus der wirtschaftlichen Betrachtungsweise dienen:

- Ist der Aushub als solcher wieder einbaufähig?
- Muss der Erdaushub zwischengelagert, beprobt, deklariert und voraussichtlich teuer abgefahren werden?
- Zu welchem Preis wird Füllsand geliefert?
- Wie hoch ist die Dichte an Leitungen im Untergrund? Wie gut kann in den Baugruben und Leitungsgräben lagenweise verdichtet werden?
- Geht aus der Erschütterung für angrenzende Bebauung oder unterirdische Infrastruktur ein Risiko aus?
- Ist mit Grundwasser und Grundwasserabsenkung zu rechnen?

Da es für das Boden-/ Baggergut vor der Verarbeitung zu Flüssigboden mit anschließendem Wiedereinbau zu keinem Zeitpunkt einen Entledigungswillen gibt, handelt es nicht um eine Abfallbehandlung.
Priorität hat laut gesetzlicher Vorgabe (z.B. §3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes), die Vermeidung von Abfällen vor dessen Vorbereitung zur Verwertung, dem Recycling, der sonstigen Verwertung und der Beseitigung.
Gegebenenfalls trotz zwischenzeitlicher Transporte ist bei dem Flüssigbodenverfahren Abfall vermieden worden. Für den Wiedereinbau gilt lediglich das Verschlechterungsverbot. Die Zugabe von Wasser, Tonmineralen und Zement in den für Flüssigboden üblichen Mengen bewirkt keine Verschlechterung des Ausgangsmaterials. Eine Beprobung des Aushubs mit anschließender chemischen Analyse etc. ist nicht nötig. Die anstehenden Änderungen im Deponierecht (Artikel 2, Nr. 5): Abfälle, die einer Verwertung zugeführt werden können, dürfen keiner Deponie mehr zugeführt werden oder dem In Kraft treten der Mantelverordnung mit dem formulierten Ziel, dass die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen vermieden wird, verstärken die gesetzliche Forderung für alternative nachhaltigere Bauverfahren wie das Flüssigbodenverfahren. Es ist davon auszugehen, dass die Aufgaben für den Planer und ggf. anschließenden Bauüberwacher, für die Beaufsichtigung eines fachgerechten Umgangs mit dem Aushub umfangreicher werden.

Die Eigenschaften an das Endprodukt sollten vom Auftraggeber definiert werden. Während im Kabelbau eine gute Wärmeleitfähigkeit nützlich sein kann, spielt im Kanal- und Straßenbau die Tragfähigkeit sowie die Wiederaushubfähigkeit eine große Rolle. Typisch sind hier Ev2 Werte von > 45 MN/ m² bei einaxialen Druckfestigkeiten in Bereichen zwischen 0,08 N/ mm² und 0,3 N/ mm². Bei der Errichtung von tragfähigen Bodenplatten können die EV_2 Werte auch in Bereichen von > 150 MN liegen.
Bei der Wahl der Hersteller und Anwender von ZFSV sollte der Planer wiederum darauf achten, dass dieser seine Eigen- und Fremdüberwachung an den Güte- und Prüfbestimmungen einer

der einschlägigen Vereinigungen orientiert. Auch ein Zertifikat ähnlich jener de Güteschutz Kanalbaus kann dem Auftraggeber Sicherheit bei der Einhaltung der Überwachungsschritte und Zielparameter bieten.
Die deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Kulturbau, Bodenschutz, Abwasser- und Abfalltechnik hat in ihrem Arbeitsblatt DWA – A 139 das Thema Flüssigboden aufgegriffen. Ebenso gibt es von der Forschungsgesellschaft für Straßen-und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau (FGSV), Hinweise zu dem Thema. Die Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigboden (BQF) sowie das RAL Gütezeichen 507 des Deutschen Instituts für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. haben Dokumente herausgegeben, welche Verbindlichkeiten für die Hersteller und Anwender von Flüssigboden hinsichtlich der Überwachungsschritte formulieren.
Genannte Institutionen bieten bei Bedarf auch Unterstützung bei der Ausarbeitung der Leistungsverzeichnisse an.

2.2 Umsetzung

Für die Herstellung von Flüssigboden gibt es verschiedene Herstellungstechniken. Während Betonwerke ZFSV aus primären Sanden in ihren Werken herstellen und mittels Trommelmischern verfahren, sind auch mobile Lösungen auf dem Markt.

Die semi- mobile Mischeinheit (Foto 1) bietet sich an, sofern ein größerer Bodenlagerplatz vorhanden ist, auf welchem auch die Dosieranlage platziert werden kann. Insbesondere bei größeren Mengen an Bodenaushub mit zeitlich verzögerter Verfüllung der Gräben und Gruben verschafft dieses System eine gute Flexibilität für den Auftraggeber und Bauunternehmer. Der Erdaushub wird zu dem Aufbereitungsplatz transportiert, dort abgekippt und als Flüssigboden in Trommelmischern zur Baustelle zurück transportiert. Der Einbau erfolgt über am Mischerfahrzeug befestigte Rutschen.



Foto 1: Flüssigbodenherstellungsanlage mit Trommelmischer



Foto 2: Im Baufeld eingesetzte Mischanlage

Sofern im Baufeld selbst Platz für den Bodenaushub und die Platzierung einer containerbasierten Mischanlage ist, kann deren Einsatz eine mögliche Alternative zum dezentralen Mischplatz sein. Das Material wird ausgehoben, separiert und mittels Bagger in das Bunkerband der Anlage aufgegeben. Das Mischen findet in einem integrierten Planetenzwangsmischer statt. Die Eingabe des Mischgutes (ZFSV) erfolgt über Rutschenanbauteile. Eine Eingabe in eine Pumpe (z.B. Betonpumpe) oder in eine Radladerschaufel oder Betonbombe ist auch hier möglich. Für die dieselbetriebene Anlage ist ein Wasseranschluss (C- Storz) nötig, die Silos für Bentonit und Zement sind integriert. Verfahren wird die Anlage mit einem 4- Achser.

Für die Herstellung von kleineren Mengen Flüssigboden kann sich eine Mischerschaufeln anbieten, welche als Anbauteil über den Bagger bedient werden kann. Eine Dokumentation der produzierten und eingebauten Mengen ist bei deren Einsatz lediglich manuell möglich und mit einem gewissen Aufwand verbunden. Die Eingabe der Zuschlagstoffe in die Mischerschaufel erfolgt händisch über Säcke.



Foto 3: Blick in eine Mischerschaufel

2.3 Überwachung, Dokumentation

In den Güte- und Prüfbestimmungen des RAL GZ 507 sind die Schritte für die Überwachung und die Dokumentation der Flüssigbodenherstellung und Anwendung formuliert. Demnach sind für jede Flüssigbodenmischung Lieferscheine zu erstellen, auf welchen die Zusammensetzung des Flüssigbodens sowie der Ort des Einbaus ersichtlich ist. Gütezeicheninhaber sind verpflichtet, der RAL die Baustellen zu melden, diese behält sich einen Baustellenbesuch und ggf. eine

Fremdüberwachung vor. Im Rahmen der Eigenüberwachung ist der ZFSV regelmäßig auf das Einhalten der Anforderungen hin zu untersuchen. Hersteller sind angehalten, regelmäßig das Ausgangsmaterial auf dessen Eigenfeuchte und optisch auf Auffälligkeiten hin zu untersuchen. Daneben stellt die Bestimmung des Ausbreitmaßes für Hersteller und Anwender ein Schritt der Eigenüberwachung dar, welcher ebenso wie die Überwachung der Volumenstabilität dokumentiert wird. Die Güte- und Prüfbestimmungen sehen überdies die Entnahme von Zylinderproben mit anschließender Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit über einen Zeitraum von 112 Tagen vor.

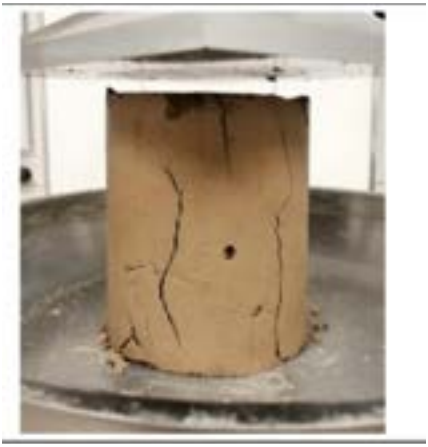


Foto 3: Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit des refixierten Flüssigbodens

3 Zusammenfassung

Material aller Art, für welches ein Entledigungswille besteht gilt grundsätzlich als Abfall und muss entsprechend angesprochen, beprobt, analysiert, bewertet, deklariert und beseitigt, also entsorgt oder verwertet werden. Im Zusammenhang mit Bodenaushub (Erde und Steine) oder Baggergut gilt aktuell noch die LAGA M20 als zu berücksichtigende Vorschrift, wenn es um die Möglichkeiten der Verwertung von Abfällen außerhalb des Ausbauortes geht. Sofern das Material am Ausbauort wieder eingebaut werden soll, gilt das Verschlechterungsverbot. Ab August 2023 gilt für diesen Fall die Ersatzbaustoffverordnung und die Einteilung in Bodenmaterialklassen 0-3 (BM 0-3). Die Aufbereitung von Ausbaustoffen zu zeitweise fließfähigen selbstverdichteten Verfüllbaustoffen bietet eine Alternative für die konventionelle Abfuhr und Verfüllung mit Primärrohstoffen. Sowohl bei der Anlagentechnik sowie bei den Vorgaben für Überwachung und Dokumentation des Verfahrens haben Planer, Auftraggeber und Bauunternehmer die Wahl. Hier sollte ähnlich der Wahl eines geeigneten Verbaus je nach Anwendungsfall und Anforderung an das Endprodukt entschieden werden. Die Eigenschaften des Flüssigboden selbst sind ebenfalls

von dem Anwendungsfall abhängig. Bei der Verfüllung einer einzelnen Baugrube kann ein weniger fließfähiger Flüssigboden eingesetzt werden als er für die Verfüllung von Altkanälen sinnvoll ist. In Bereichen, in welchem davon ausgegangen werden kann, dass evtl. erneut aufgegraben wird, sollte die einaxiale Druckfestigkeit 0,3 N/ mm² nicht überschreiten. Dieser Wert steht für ein Material, welches nach Erreichen seiner Endfestigkeit mit leichtem Gerät wieder aushebbar ist. Ein ausgehobenes Material kann erneut zu Flüssigboden verarbeitet werden. Dies ist ggf. bei der Erschaffung einer „braunen“ Wanne als Abdichtungsmaßnahme interessant. Die Anwendungsbereiche für Flüssigboden sind vielfältig: Probieren Sie es aus!

Autorin:

M. Sc. Eike Sophie Winkler
Flüssigboden SH, Büdelsdorf



Tel.: 04331 580541
E-Mail:
eike.winkler@fluessigboden.de
Internet:
www.fluessigboden-sh.de

Minimal-invasive Hohlraumauffüllung bei Ausspülungen im Baugrund

Minimal-invasive Betonbodenanhebung, Gründungssanierung und Baugrundverstärkung

Von Jens Gnauck

1 Zur Sanierung von abgesackten oder instabilen Bauwerken und Bauteilen wird eine weltweit einzigartige Injektionstechnik angewendet:

In Deutschland gilt es seit über 20 Jahren als innovative Verfahrensalternative zu konventionellen – in der Regel teuren und aufwändigen – Sanierungsverfahren. Es lässt nahezu zerstörungsfrei anwenden und wird deshalb immer häufiger von Bausachverständigen, Gutachtern und Behörden empfohlen – als sichere und wirtschaftliche Sanierungs- oder Präventionsmaßnahme.

1.1 Die drei Injektionsmethoden sind flexibel einsetzbar



Floorlift

Anhebung und Nivellierung abgesackter Betonböden
Hohlraumauffüllung unter Betonböden
Stabilisierung von Fugen in Betonböden



Deepinjection

Baugrundverstärkung unter Fundamenten
Anhebung abgesackter Fundamente
Fundamentertüchtigung bei Traglasterhöhung



Hybridinjection

Baugrundstabilisierung und Erhöhung der Bodensteifigkeit
Lastumlagerung in tragfähige Untergründe
Entlastung gering tragfähiger Böden

Expansionsharz: Das Material? Einfach genial!
Bei den Injektionsmethoden wird ein speziell entwickeltes Zweikomponenten-Expansionsharz-System verwendet. Werden die beiden Komponenten RESIN und HARDENER 10 vermischt, reagieren sie miteinander und expandieren – bei freier Expansion – bis zum 36-Fachen ihres Volumens. Aufgrund des enormen Expansionsdrucks von bis zu 500 kN/m² (Laborprüfwert bis zu 10.000 kN/m²) können der Baugrund verstärkt und Bauwerksteile angehoben werden. Das Material härtet sekundenschnell aus und ist dann unmittelbar belastbar. Dabei ist das Harz physiologisch unbedenklich, formstabil und langzeitbeständig.

2 Referenzen

Hohlraumauffüllung zur Fahrbahnstabilisierung



Eine Straße sollte eigentlich nur einen neuen Oberbelag bekommen. Doch dann brach ein Baustellenfahrzeug in die Asphaltschicht ein. Bei der Ursachenforschung stieß man auf einen defekten Abwasserkanal.

Unter einer innerörtlichen Straße in Erlangen ist es aufgrund von Kanaldefekten zu tiefreichenden Auflockerungen mit Hohlraumbildungen in der darüber liegenden Kanalgrabenzone gekommen. Eine Kamerabefahrung ergab mehrere Leitungsdefekte am unter der Straße liegenden Abwasserkanal (Steinzeug DN 500), welche über ca. 240 m verteilt, lokalisiert wurden.

2.1.1 Geotechnische Rahmenbedingungen

Geotechnische Untersuchungen ergaben unterhalb des mitteldicht gelagerten Straßenoberbaus von ca. 25-30 cm Asphalt mit Frost-/Tragschichtaufbau ab 1 m Tiefe abnehmende Schlagzahlen, die bis auf die Tiefe des schadhaften Kanals in etwa 5 m unter OK Straßenbelag reichen. Es wird ein Abschlämmen der rolligen Kanalgrabenverfüllung in den Kanal hinein mit entsprechender Hohlraumbildung vermutet. Aus Sicherheitsgründen wurde der gefährdete Bereich vorsorglich gesperrt und aktuell in diesem Bereich laufende Straßenerneuerungsarbeiten, d. h. das Aufbringen des bituminösen Aufbaus, ausgesetzt.

2.1.2 Überlegungen zur Sanierung

Der Baugrundgutachter schlägt eine Hohlraumauffüllung mit Baugrundverstärkung auf Basis sekundenschnell aushärtender Expansionsharze des Systems vor. Das minimal-invasive Injektionsverfahren ermöglicht eine schnell umsetzbare und dauerhafte Stabilisierung des Sanierungsbereiches, ohne Aufgrabungen unter Beibehaltung der elastischen Bettungsbedingungen. Es wurde besprochen, mit Hilfe der Deepinjection®-Methode in der Kanalgrabenzone Hohlräume aufzufüllen und den Baugrund bis zum Kraftschluss unter dem Straßenoberbau zu verstärken. Im Sanierungsbereich liegende Grundleitungen (Hausanschlüsse/Senkkästen) müssen während der Injektionen mittels Kanalkamera überwacht werden, um unvermeidbare Expansionsharzeintritte im Bereich von Undichtigkeiten/Leckagen rechtzeitig zu erkennen und weitestgehend zu unterbinden.

2.1.3 Ausführung der Holraumauffüllung

Im Vorfeld der Arbeiten wurden der exakte Leitungsverlauf des Abwasserkanals im zu sanierenden Bereich auf OK Straßenbelag und im Nahbereich liegende Sparten (Wasser, Gas, Strom, Hausanschlusspunkte) genauestens markiert (bauseits), um diese nicht anzubohren. Des Weiteren wurde die Rohrscheiteltiefe des DN 500 Kanals in 5 m Schritten entlang der markierten Rohrachse auf OK Straße angegeben. Von oberhalb der Fahrbahntragschicht aus wurden im linearen Abstand von ca. 1,50 m Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 16 mm bis 5 m Tiefe (maximal bis Rohrscheitel) gesetzt. In diese Bohrlöcher wurden Injektionslanzen geführt. Durch die Lanzen wurde das Zweikomponenten-Expansionsharz flüssig und unter kontrolliertem Druck direkt in die Kanalgrabenzone gepresst. Während der Injektionen wurden die Injektionslanzen langsam und gleichmäßig bis ca. 1,00 m unter OK Gelände nach oben gezogen (Abb. 1).



Durch die Volumenvergrößerung der Harze (Polymerisation) und die dabei entstehende Expansionskraft wurde der Untergrund örtlich aufgesprengt und verdichtet. Mit weiterer Verdichtung des Baugrundes wuchsen die Horizontalspannungen im Boden bis auf das Maß der vertikalen Auflast an. Dabei kam es lokal begrenzt zu einer messbaren Anhebungsreaktion an OK Gelände von mindestens 1 mm. Wegen der extrem kurzen Reaktionszeit der Harze und der millimetergenauen Überwachung durch Nivellierlaser und elektronische Schlauchwaagen konnte der ganze Prozess genau kontrolliert und gesteuert werden (Abb. 2). Die Defekte im Abwasserkanal wurden zwischenzeitlich mittels Inliner-Verfahren saniert.



Durch Rammsondierungen (Abb. 3) vor und nach den Injektionsarbeiten wurde deren Wirksamkeit nachgewiesen: Der Baugrund zwischen Geländeoberkante und Kanalrohr wies eine wesentlich dichtere Lagerung auf als vorher. Einem neuen, standsicheren Straßenoberbelag stand nun nichts mehr im Wege.



2.2 Bruch einer Hauptwasserleitung und kraterförmiger Einbruch einer Verkehrsfläche

Nach dem Bruch der Hauptwasserleitung vor einem Gebäude sind ca. 100-150 m³ Wasser mit 4-5 bar Druck in den umliegenden Untergrund ausgetreten. In Folge Abfließen des Wassers mit Ausspülen der Feinkornbestandteile in den angrenzenden Gewölbekeller eines denkmalgeschützten Gebäudes kam es unter dem Gehweg und Parkstreifen davor zu einem kraterförmigen Einbruch von ca. 15 m². Die Verfüllung des bis zu 3 m tiefen Versturzbereiches erfolgte mittels unverdichtet eingebauten sandigem Kies. An dem Gebäude mussten bereits früher Zwangssicherungsmaßnahmen in Form von Stahlgurtungen angebracht werden. Auflockerungsbedingt fehlt dem Bauwerk nun der stabilisierende horizontale Erddruck mit hoher Einsturzgefahr. Gehweg- und Parkflächen sowie Teile der Straße mussten bis zur Wiederherstellung der Tragfähigkeit gesperrt werden. Straße (bituminös) und Parkflächen (Granitpflaster) sind schwerlasttauglich ausgeführt. Der Gehweg ist mit Betonplatten belegt.



2.2.1 Geotechnische Rahmenbedingungen

Laut geotechnischem Untersuchungsbericht zur Ermittlung des Ausmaßes der Auflockerungen bzw. Hohlräume wurde eine Schadensfläche von ca. 10 m x 15 m und einer Schadenstiefe zwischen 4-5 m ermittelt (675 m³ Bodenvolumen). Zuoberst stehen sandige, tonige, schwach schluffige Kiese einer 2,0-3,2 m mächtigen Auffüllung an. Unterlagernd folgt toniger bis stark toniger Sand bzw. schwach feinsandiger Ton weicher bis breiiger Konsistenz. Grundsätzlich weisen die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen in den obersten 60-80 cm der Auffüllung mitteldichte Lagerungsverhältnisse (Tragschichtaufbau) auf. Darunter fallen die Schlagzahlen jedoch rapide auf Werte von n10 = 1-2 (lokal auch 0) für sehr lockere Lagerung ab. Im Bereich der Parkfläche und des Gehweges wurden deutliche Hohlraumbildungen aufgeschlossen, welche unter Einfluss von Erschütterungen und Auflasten durch Verkehr und dergleichen zu einem Nachbrechen des Bodengefüges und einem daraus resultierenden erneuten Einbrechen der Platzbefestigung führen.

2.2.2 Überlegungen zur Sanierung

Es wurde besprochen, mit Hilfe der Deepinjection®-Methode eventuell vorhandene Hohlräume unter den Verkehrsflächen zu verpressen und den Baugrund bis zur Anhebungsreaktion an der Oberfläche (im Millimeterbereich) zu verstärken und nachzuverdichten (ca. 600 m³ Bodenvolumen). Im Sanierungsbereich liegende Grundleitungen müssen während der Injektionen mittels Kanalkamera überwacht werden, um unvermeidbare Expansionsharzeintritte rechtzeitig zu erkennen und weitestgehend zu unterbinden.

2.2.3 Ausführung der Holraumauffüllung

Im Rasterabstand von ca. 1,50 m werden von der Verkehrsfläche aus auf einer Fläche von ca. 150 m² lotrechte Bohrlöcher mit Ø 16 mm bis ca. 4,0 m unter GOK in den tragfähigen tieferen Baugrund gesetzt. In diese Bohrlöcher werden Injektionslanzen mit Ø 12 mm eingesetzt. Durch die Lanzen wird das Zweikomponenten-Expansionsharz Uretec-Resin 2409 flüssig und unter

kontrolliertem Druck in den Baugrund gepresst. Während der Injektion wird die Lanze mit einem Ziehgerät langsam und gleichmäßig nach oben gezogen. Durch die Volumenvergrößerung der Harze (Polymerisation) und die dabei entstehende Expansionskraft (bis 300 kN/m², in Abhängigkeit vom Widerstand der Umgebung und der Baukonstruktion) wird der Untergrund örtlich aufgesprengt. Die Expansion der Harze erfolgt dabei immer in Richtung des geringsten Widerstandes und damit genau dorthin, wo die Bodenverstärkung notwendig ist. Dabei bilden sich vertikale, fein verästelte Harzlamellen, die zunächst eine horizontale Verspannung im Baugrund bewirken. Mit weiterer Verdichtung des Baugrundes wachsen die Horizontalspannungen im Boden bis auf das Maß der vertikalen Auflast an. Dabei kommt es lokal begrenzt zu einer messbaren Anhebungsreaktion von mind. 1 mm als Nachweis für eine ausreichende Baugrundverstärkung.

Der Leistungsumfang Hohlraumauffüllung/Baugrundverstärkung für ein Bodenvolumen von ca. 600 m³ (60 Stück Tiefeninjektionen im Raster von ca. 1,50 m auf einer Verkehrsfläche von ca.150 m²) konnte in 4 Arbeitstagen abgeschlossen werden, anschließend wurden die Straßen- und Gehwegbefestigungen wiederhergestellt



Bohrungen bis in 4 m Tiefe



Injektion des Expansionsharzes

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Jens Gnauck
URETEK Deutschland, Rastede

Tel.: 04402 - 86900
E-Mail:
jens.gnauck@uretek.de
Internet:
www.uretek.de



2
Innovative Kabelverlegetechnik

Randbedingungen, Voraussetzungen und Einsatzgebiete für alternative Verlegung

Errichten von 380-kV-Zwischenverkabelungsabschnitten

Von Mariusz Frankowski

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Randbedingungen und Grundvoraussetzungen für den Bau der 380 kV Zwischenverkabelungsabschnitte in herkömmlicher und alternativer Verlegetechnik. Dabei beschränkt sich der Autor ausschließlich auf offene Verlegemethoden. Der Beitrag umreist zuerst kurz die Grundvoraussetzungen für die Planung und den Bau der Kabelabschnitte. Es folgt eine kurze Darstellung der Regelverlegetechnik im herkömmlichen offenen Kabelgraben. Des Weiteren werden die Voraussetzungen erläutert, unter welchen von der Grabenherstellung in der klassischen, offenen Verlegung abgewichen werden kann.
Den Schwerpunkt dieses Beitrags bilden dabei die Geometrien des Rohrverlegung im offenen Graben sowie die vorgegebenen Verlegeparameter, um eine stabile Übertragungsfähigkeit der Stromkreise zu gewährleisten.

2 Technische Randbedingungen für Bettungsmaterial bei Zwischenverkabelungsabschnitten

Da die geometrischen, elektrischen und thermischen Parameter sich wechselseitig beeinflussen ist stets eine gekoppelte Berechnung von Vorteil. Die Wärmeleitung wird durch die Wärmeleitfähigkeit (bzw. thermischer Widerstand) der Bodenbestandteile bestimmt. Die im Boden enthaltene Feuchtigkeit bildet einen Wasserfilm und damit Kapillarbrücken auf den Erdpartikeln. Die Wärmeleitung im Erdreich geschieht durch Konvektion und die Konvektion erfolgt, indem Feuchtigkeit in der wärmeren Umgebung der Kabelrohranlage verdampft. Der Dampf transportiert Wärmeenergie in kühlere Erdschichten, um dort zu kondensieren. Es entsteht ein Feuchtegradient (geringerer Feuchteanteil in der warmen Kabelumgebung, höherer Feuchteanteil in der kühleren Region), welcher über die Kapillarbrücken ausgeglichen wird, so dass das Wasser wieder in Richtung Kabelanlage transportiert wird, um dort erneut zu verdampfen und somit den Kreislauf zu schließen. Bei geringen Trockenrohdichten sind die Grenzflächen der Kapillaren zu groß und der Wärmetransport wird unterbrochen.
Der Feuchtegehalt des Bodens hat also neben der Trockenrohdichte einen wesentlichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Bodens. Bei natürlich gewachsenen Erdreich außerhalb einer gesondert angegebenen Bettungszone (entsprechend VDE 0276-1000) wird von einem thermischen Widerstand bei feuchten Erdreich von 1,0 Km/W ausgegangen. Bei Abweichung von diesen Werten muss daher entweder die Geometrie (Phasenabstände und Trassenbreite) oder die thermischen Parameter (Bettungsmaterial) angepasst werden.
In der Planungs- und Berechnungsphase werden bei TenneT zur Vereinfachung drei verschiedene Bettungsmischungen angesetzt, die dann später in der Errichtung mindestens erreicht werden müssen:Bettungsmischung niedriger Leitfähigkeit („VDE-Sand“)

- Thermischer Widerstand feuchtes Erdreich (Feldkapazität) ≤ 1,0 Km/W
- Thermischer Widerstand trockenes Erdreich (ausgetrocknet) ≤ 2,5 Km/W

I. Bettungsmischung mittlerer Leitfähigkeit

- Thermischer Widerstand feuchtes Erdreich (Feldkapazität) ≤ 0,67 Km/W
- Thermischer Widerstand trockenes Erdreich (Welkepunkt) ≤ 1,4 Km/W

II. Bettungsmischung hoher Leitfähigkeit

- Thermischer Widerstand feuchtes Erdreich (Feldkapazität) ≤ 0,5 Km/W
- Thermischer Widerstand trockenes Erdreich (Welkepunkt) ≤ 1,0 Km/W

(Quelle: Handbuch Bauen und Errichten; TenneT)

Die Einhaltung der in der Planung festgelegten Werte ist für das Erreichen der notwendigen Strombelastbarkeit unerlässlich.
Neben den thermischen Anforderungen müssen weiterhin auch bodenmechanische, chemische und physikalische Anforderungen erfüllt werden. Die verwendeten Materialien müssen alle in der Parameterliste aufgeführten Eigenschaften erfüllen. Die Zielwerte der Bettungskriterien sollen grundsätzlich angestrebt, die Mindest- bzw. Sollwerte sowie die vorgegebene Proctordichten müssen eingehalten werden.

Die gesamte Liste an Anforderungen für Bettungsmaterial bei TenneT findet sich in der folgenden Tabelle:

Parameter	Unter-suchungsmethode	Sollwerte
Korngrößenverteilung/Sieblinienoptimierung (in Anlehnung an die Fuller-Kurve)		
Korngrößenverteilung	DIN 18123 (2011)	d_k > 32 mm: keine d_k > 16 mm: ≤3,0 Gew.-% d_k ≥ 2 mm: ≤ 10,0 Gew.-% d_k < 0,063 mm: 15,0 - 25,0 Gew.-% Ton < 5 Gew.-% und Schluff 15-20 Gew.-% d_{50}: 0,15 mm - 0,70 mm
Bodenmechanische Anforderungen		
Proctorversuch	DIN 18 127 (2012)	ρ_{Pr} > 1,90 g/cm³ [1] bei 95% Verdichtung Zielwert ρ_{Pr} > 1,70 g/cm³ [1] bei 90% Verdichtung Mindestwert

Wasserdurchlässigkeit	DIN 18130-1 (1998)	Sollte dem im Projektgebiet anstehenden Boden entsprechen und im Bereich $1*10^{-7}$ m/s ≤ k_f ≤ $1*10^{-5}$ m/s liegen (Durchführung bei D_{Pr} ≥ 95 %)
Chemische Beständigkeit/ Hohlraumfreiheit		
Gehalt an organischer Substanz	DIN 18128 (2002)	≤ 2,0 Gew.-%
Kalkgehalt	DIN 18129 (1996)	≤ 10,0 Gew.-%
Umweltunbedenklichkeit		
Umweltunbedenklichkeit	LAGA (Boden)	Einhaltung der Z0-Kriterien

Tabelle 1. Parameterliste für Bettungsmaterial *(Quelle: Handbuch BuE; TenneT)*

3 Thermische Belastbarkeit

Die abgegebene Wärme der Kabelanlage, die durch die Verlustleistung entsteht, ist wesentlich von den elektrischen Eigenschaften abhängig. Ausgehend von der Verlustleistung sind dann die unmittelbare Umgebung des Kabelschutzrohres sowie evtl. vorhandenes Füllmaterial im Rohr für die Temperaturentwicklung der Kabel maßgeblich. Durch besondere Bettungsmaterialien kann eine höhere Stromstärke für Trassenabschnitte mit ungünstigen Randbedingungen ohne der Änderung der Geometrie erreicht werden. Ein wichtiger Aspekt ist der fachgerechte Einbau der Bettung.

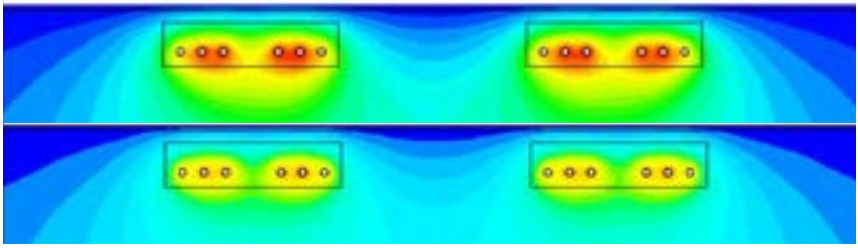


Abbildung 1.Temperaturverteilung im Boden (Quelle: TenneT). Die Abbildung zeigt eine simulierte Wärmeabgabe der Kabelanlage. Ohne (oben) und mit (unten) thermischen Stabilisierung der Bettungszone.

4 Geometrie der Regelbauweise

Die Verlegung von AC-Hochspannungskabelsystemen erfolgt in der Regel in offener Bauweise in Kabelgäben. Die geschlossene Verlegung (z.B. HDD, Pressvortrieb, etc.) erfolgt üblicherweise nur unter unüberwindlichen oberirdischen Hindernissen, in sensiblen Bereichen oder bei großen Infrastrukturkreuzungen wie z.B. Autobahnen, Bundesstraßen oder Bahnstrecken mit hoher Auslastung.

Bei der offenen Verlegung werden PE-Rohre mit hoher Temperatur- und Rissbeständigkeit und somit hoher Lebensdauer verwendet. Wie oben gezeigt werden die Rohre im Bettungsmaterial mit einer definierten thermischen Leitfähigkeit verlegt. Zwei Kabelsysteme mit je drei Kabeln bilden einen Stromkreis und werden in die im Kabelgraben verlegten Rohre eingezogen. Bei einer Nennverlegetiefe von 1,60 m und einem Böschungswinkel von 45° sind die Gräben dabei in der Sohle ca. 5,4 m und an der Geländeoberkante ca. 9,0 m breit.



Abbildung 2.Trassenproil für Böschung 45° (Quelle: Handbuch BuE. TenneT)



Abbildung 3.Erdkabeltrasse im Bau (Quelle:.TenneT)

Die geometrischen Vorgaben für das Regel-Trassenprofil lauten inklusive möglicher Toleranzen gemäß TenneT- „Handbuch Bauen und Errichten“ wie folgt:

- Nennlegetiefe Achse Schutzrohr: 1,60 +0,20/-0,10 m
- Legetiefe Kabelabdeckplatten: 0,15 m bis 0,35 m über der Oberkante des Schutzrohres; üblicherweise direkt auf der Bettung verlegt

- Legetiefe Trassenwarnband: 0,20 m bis 0,40 m über der Kabelabdeckplatte; Mindestüberdeckung von 0,90 m
- Achsabstand der Schutzrohre im System: 0,60 ± 0,02 m
- Kabelsysteme, gemessen Achse-Achse der innenliegenden Schutzrohre: 1,90 ± 0,05 m - Kabelstromkreisabstand, gemessen Achse-Achse der innenliegenden Schutzrohre: 8,90 ± 0,20 m

Diese Werte sind auch bei seitlicher Hangneigung für jedes Kabel/ Rohr einzuhalten.

5 Abweichungen von der Regelbauweise

Im Regelgraben beträgt die Nennverlegetiefe 1,60 m mit einen Phasenabstand der Kabel von 0,60 m im einzelnen Systemen. Der Systemabstand untereinander beträgt dabei 1,90 m. Für größere Verlegetiefen ist die Wärmeabfuhr bei den geforderten elektrischen Vorgaben nicht mehr ausreichend, so dass einzelne Abstände erhöht werden müssen. In der folgenden Tabellenausschnitt sind die Mindestwerte der einzelnen Abstände für höhere Verlegetiefen angegeben.

Nennlegetiefe (m) Achse Kabelschutzrohr (+0,2/-0,1 m Toleranz)	Achsabstand der Schutzrohre im System (m)	Abstand der Kabelsysteme (Achse-Achse der innenliegenden Schutzrohre) (m)
1,6	0,6	1,9
1,9	0,75	2,5
2,2	0,95	2,7
2,5	1,1	3,2

Tabelle 2. Phasenabstände. Ausschnitt. *(Quelle: Handbuch BuE. TenneT)*

Mögliche Abweichungen von der Regelbauweise werden sowohl bei Kreuzungen von fremder Infrastruktur als auch bei einem quer zu Kabeltrassen aufsteigenden oder fallenden Gelände notwendig (Hangneigung). Um die Rohre hierbei in einen Graben zu verlegen ist es notwendig die jeweiligen Systeme mit verschiedenen Phasenabständen zu verlegen. In der folgenden Abbildung ist ein Trassenquerschnitt mit einer Querneigung dargestellt. Hier liegt die erforderliche Grabenbreite an der GOK (Gelände-Oberkante) bei ca. 10,8 m.

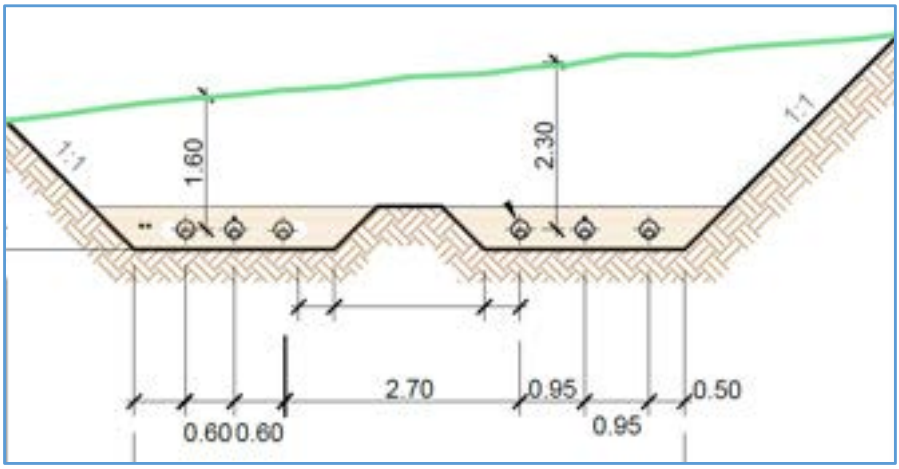


Abbildung 4.Trassenproil mit Querneigung /Eine Ebene pro Stromkreis. *(Quelle TenneT).*

Durch eine Verlegung der einzelnen Systemen in verschiedenen Horizonten können wie in Abbildung 5 gezeigt die Mindestphasenabstände beibehalten werden.

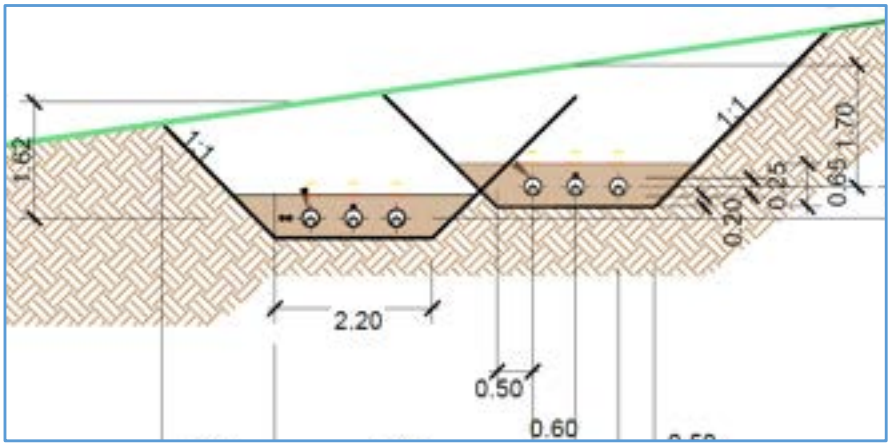


Abbildung 5.Trassenprofil mit Querneigung /Zwei Ebenen pro Stromkreis. *(Quelle TenneT).*

Bei dieser Art der Verlegung kann die Trassenbreite reduziert werden. Mit dem in der Abbildung 3 dargestellten Querschnitt ergibt sich bei einer 45° Böschung eine Trassenbreite von ca. 9,2 m. Dies ist eine Reduzierung um ca. 1,6 m. Dabei wird nicht nur die Trassenbreite sondern auch der erforderliche Aushub reduziert und somit der Bodeneingriff minimiert.

6 Ablauf der Arbeiten bei offener Verlegung (Regelgraben)

In der ersten Bauphase erfolgt der Abtrag des Oberbodens, danach wird der erste Graben ausgehoben.
Die Abschnitte zur Herstellung des offenen Grabenprofils werden in der Regel auf eine maximale Länge von ca. 150-200 m begrenzt.
Der Aushubboden wird mittels Kettenbagger bis 40 Tonnen bzw. Langstielbagger und Schräg- oder Profilkübel ausgehoben und zu Mieten aufgesetzt. Aufgrund der großen Grabenbreite ist ein mehrmaliges Umsetzten des Aushub notwendig. Alternativ kann der Aushub mittels Langstielbagger erfolgen. Für die Begehung der Rohrgräben werden Treppenanlagen eingerichtet.
In der zweiten Bauphase erfolgt die Herstellung des Planums der Grabensohle, diese ist eventuell vor Tagwasser mit seitlichem Graben und Pumpensumpf zu schützen. Bei hohem Grundwasserpegel muss eine geschlossene Wasserhaltung installiert werden. Diese wird entweder im Vorfeld an den Grabenrändern eingefräst oder mittels Spüllanzen an der Grabenböschung eingebracht. Die eingefrästen Drainagen verbleiben unter der Grabensohle und werden nach den Abschuss der Arbeiten verdämmt so dass kein unerwünschter Wasserfluss längs der Kabeltrasse unter der Grabensohle erfolgen kann.
Ist die Grabensohle ausreichend trocken und tragfähig wird das Bettungsmaterial eingebracht und vorverdichtet. Parallel dazu werden auf dem Seitenstreifen des Grabens die Rohrstränge verschweißt.
In der nächsten Bauphase werden die verschweißten Rohrstränge verlegt. Nach der Ausrichtung und Vermessung der Rohre erfolgt der fachgerechte Einbau des Bettungsmaterials sowie der Einbau der darüberliegenden Warn- und Schutzkomponenten inkl. der Rückverfüllung des Aushubs.
In der letzten Bauphase wird der Graben verschlossen und der Oberboden aufgetragen. Die Wiederverfüllung der ausgebauten Böden erfolgt in ihren ursprünglichen Horizonten und mit einem Verdichtungsgrad, der vor der Baumaßnahme im natürlich anstehenden Boden vorgefunden wurde. Eine so vorbereitete Rohranlage ist nun bereit für den Kabeleinzug.
In wasserbeeinflussten Bereichen, in welchen eine geschlossene Wasserhaltung betrieben wird, ist es aufgrund des vorhandenen Rohrauftriebs notwendig, den gesamten Bodenaushub inklusive des Oberbodens wieder aufzubringen bevor die Wasserhaltung abgestellt werden darf. Je nach Bodenbeschaffenheit und Rohrquerschnitt kann sogar das zusätzliche Aufbringen einer Rohr-Auftriebssicherung notwendig sein.

Alle Arbeiten werden für den zweiten, parallel verlaufenden Stromkreis wiederholt.

7 Ablauf der Arbeiten bei offener Verlegung (zwei Gräben pro Stromkreis)

Wie bei den Regelgraben erfolgt zuerst der Oberbodenabtrag. Nun aber wird jeweils nur ein Graben pro System (3 Rohre) ausgehoben. Der Aushub des schmaleren Grabens ermöglicht eine schnellere Bauabfolge. Das zusätzliche Umsetzten des Aushubs ist nicht notwendig da die Mieten in dem Schwenkbereich des Baggers aufgebracht werden können.
Der Graben wird mittels Kettenbagger bis 40 Tonnen ausgehoben. Eine zusätzliche Beschleunigung der Arbeit kann durch den Einsatz eines Profilkübels mit 45° Schenkelneigung erreicht werden. Der Einsatz eines Langstielbaggers ist hier nicht notwendig.

Bei hohem Grundwasserpegel muss eine geschlossene Wasserhaltung installiert werden. Bei einem Graben empfiehlt sich (je nach Bodenbeschaffenheit kann davon abgewichen werden) im Vorfeld in jeweiligen Grabenmitte eine Tiefendrainage. Der dabei erzeugte Absenktrichter sollte jeweils für einen Graben ausgelegt sein. Das Verlegen der Rohre, des Bettungsmaterials und das Schließen des Grabens erfolgt gemäß der oben beschriebenen Regelausführung.
Der Aushub des Grabens für das parallel verlaufende System erfolgt in gleicher Reihenfolge.
Eine so vorbereitete Rohranlage ist nun bereit für den Kabeleinzug.
Auch bei dieser Ausführung entsteht die Problematik des Rohrauftriebs im Grundwasser beeinflussten Gebieten.

8 Rahmen für mögliche Optimierung

Der Beitrag zeigt welche Parameter und Grenzwerte in Bau des Zwischenverkabelungsabschnitte erfüllt werden müssen. Trotz der zahlreichen und vielfältigen Anforderungen, welche sich durch die Vielzahl der sich wechselseitig beeinflussenden geometrischen, elektrischen und thermischen Parameter ergeben, gibt es durchaus einige Optimierungsmöglichkeiten.
So kann unter anderen durch die Verkürzung der Dauer in welchen der Rohrgraben offen steht, sowie durch die Optimierung des Grabenprofils der Anteil der geschlossenen Wasserhaltung und somit die erforderliche Pumpwassermenge reduziert werden.
Durch die Nutzung vorhandener Böden oder die Anpassung des Grabenprofils können zusätzlich die Aushubmengen reduziert und die Anzahl der Transporte, der Baggerbetriebsstunden und die des Bodeneingriffs reduziert werden.

Bei allen projektspezifischen Optimierungen sind auf jeden Fall die allgemeinen Arbeitssicherheitsaspekte und allgemeine systemtechnische Vorgaben zu erfüllen. Des Weiteren sind die im Kabelprojekt vorliegenden spezifischen (z.B. Bodenbeschaffenheit, Topologie, Kreuzungen) sowie die allgemeinen Einschränkungen durch Genehmigungsvorgaben und ökologische, archäologische sowie bodenkundliche Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Autor:

Mariusz Frankowski
TenneT TSO, Lehrte

Tel.: +49 (5132) 89 - 6209
E-Mail:
mariusz.frankowski@tenet.eu
Internet:
www.tennet.eu



Entwicklung, Anwendung und Umsetzung von alternativen Verlegemethoden im Projekteinsatz

Ein Kabel- und Rohrschlitten für das Projekt Wahle - Mecklar, Abschnitt C

Von Frank Krögel und Philipp Oliv

1 Einleitung

Die Errichtung der Übertragungsnetze umfasst auch sehr langgestreckte Abschnitte in denen Erdkabel und Schutzrohre verlegt werden. Speziell solche weiträumigen Bauwerke erfordern den Einsatz zahlreicher Baugeräte für Bodenbewegung, Rohrhandhabung und Wasserhaltung aber auch große Mengen an Bau- und Hilfsstoffen. Insbesondere das Material für die Bettung der Leitungen zur Wärmeableitung ist nur mit größerem Aufwand herzustellen und entsprechend teuer. Wie in allen Teilen der Baubranche wird auch hier im Kabeltiefbau immer wieder versucht, mit der Neuentwicklung von Geräten und Maschinen den Bauablauf effizienter zu machen. Die Bohlen und Doyen Bau GmbH als etabliertes Unternehmen in der Errichtung von großen Kabeltrassen ist bestrebt, besonders beim Bau der Übertragungsnetze für ökonomische und nachhaltige Bauverfahren Lösungen zu entwickeln. In diesem Kabelprojekt ging es darum, die Arbeitsschritte im Ablauf der Schutzrohrverlegung zu beschleunigen und zu vereinfachen. Es sollte ein Baugerät entwickelt werden, welches einzelne Arbeitsschritte vereinfacht oder sogar erübrigt, die Verlegung beschleunigt und darüber hinaus Materialersparnis bringt. Im Zuge der Erdkabelverlegung für das Übertragungsnetzprojekt Wahle - Mecklar wurde genau dafür ein Kabel- und Rohrschlitten (KaRoSch) neu entwickelt und im Unternehmen selbst gefertigt (s. Abb. 1). Das damit erstellte Bauwerk hält sämtliche Auflagen und Anforderungen des Auftraggebers ein und der Schlitten ermöglicht ein schnelleres Ablegen der Rohre bei erheblicher Einsparung von Baustoff für die Rohrbettung. Weiterhin ergeben sich besondere Vorteile hinsichtlich der Arbeitssicherheit. Mit dem KaRoSch sollte zunächst ein Abschnitt von annähernd 1000m bestehend aus 4 separaten Rohrgräben mit einer Sohlbreite von jeweils 1,60m bearbeitet werden. In jeden Rohrgraben waren jeweils 3 Kabelschutzrohre mit einem Durchmesser von 250mm und drei DN-50-Rohre zu verlegen.

2 Aufgabenstellung für die Geräteentwicklung

Für die Entwicklung eines Baugerätes sind bekanntlich am Anfang alle Randbedingungen und Vorgaben des Bauziels zu analysieren. Es erfolgt dann auf Basis des zu erreichenden Arbeitsergebnisses die Festlegung der Entwicklungsvorgaben. In diesem Fall waren für das fertige Bauwerk folgende Vorgaben des Auftraggebers zu beachten:

1. Geografische Lage der drei PE - Rohre DN 250 mit Genauigkeit von 5,0cm
2. Abstand der Rohrachsen zueinander von genau 60cm
3. Position von drei PE Rohren mit DN 50: 2 außen im Graben und eines auf dem mittleren DN 250 Rohr in 12 Uhr Position
4. Tiefenlage der Rohrachse der DN 250-Rohre von 1,60m unter GOK

5. Bettungsmaterial mit einer Schichtstärke von 325mm unterhalb und oberhalb der Rohre
6. Verdichtung des Bettungsmaterials mit D_{pr} >95%

Darüber hinaus sind für die Entwicklung und Konstruktion noch die Materialeigenschaften der Rohre und des Bettungsmaterials entscheidend. Für die Rohre betrifft das hauptsächlich das Einhalten der Biegeradien bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und für das Bettungsmaterial dessen Schütt- und Rutschverhalten bei unterschiedlichem Feuchtegrad. Für den Entwicklungsprozess geht es am Ende um das Einpassen eines neuen einzigartigen Gerätes mit bisher nicht in dieser Form durchgeführten Arbeitsschritten in den Arbeitsablauf der Leerrohrverlegung. Das Gerät darf den übrigen Bauablauf auf keinen Fall beeinträchtigen, das heißt verlangsamen, verkomplizieren, erschweren oder unsicherer machen. Es soll jedoch mit jedem neuen Baugerät möglichst viel automatisiert werden. Das Ziel solcher Entwicklungen ist eigentlich immer die berühmte „eierlegende Wollmilchsau“. Die neuerdings am liebsten auch nachwachsend und klimaneutral zu sein hat. Im jedem Entwicklungsprozess wie auch hier musste aber entschieden und abgegrenzt werden, welche Prozesse tatsächlich mit dem Schlitten zu bewältigen sind und welche weiterhin konventionell durchgeführt werden. Das Endergebnis der Entwicklung und Konstruktion war eine Systemdifferenzierung, die alle Teilprozesse und deren Abhängigkeiten sowie die Eingliederung des Systems KaRoSch im Gesamtverlegeprozess darstellt. In der Prozessbeschreibung wurde definiert, dass der Schlitten im Baufortschritt dort ansetzt, wo im herkömmlichen Verfahren die Herstellung einer Leitungszone beginnt und dort endet, wo die Rückverfüllung eingeleitet wird. Das führt am Ende zum Bau eines Gerätes, welches mit einem Bagger durch den fertig ausgehobenen Rohrgraben gezogen wird, also keinen Eigenantrieb besitzt. Es legt alle eingefädelten Kabelschutzrohre in das vom Gerät selbst vorab profilgenau eingebrachte und verdichtete Bettungsmaterial gleichmäßig ab.

3 Entwicklungsprozess und Konstruktion

Der KaRoSch wurde so entwickelt, dass er unter Berücksichtigung der vorgegebenen Mindestbiegeradien der Schutzrohre deren Abstände zueinander und ihre Tiefenlage genau einhält und keine Abweichungen davon zulässt. Dafür sorgt ein fein abgestimmtes Rollensystem, welches auch die drei kleineren PE-Rohre in ihre geforderte Position bringt.

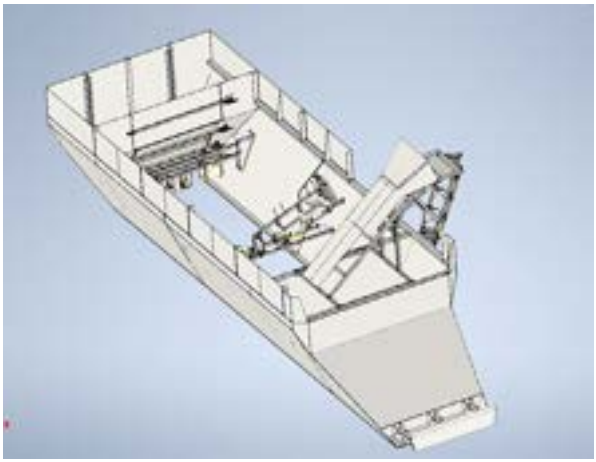


Abb. 1: Der KaRoSch wurde vollständig bei Bohlen & Doyen entwickelt und gefertigt.

Die Geometrie des Schlittens sorgt im Anschluss an den präzisen GNSS-überwachten Grabenaushub für die exakte Einhaltung der Tiefenlage der Rohre. Mit der Position der Rohre im Graben ist außerdem die Dicke des verdichteten Rohrbetts zu gewährleisten. Sowohl unterhalb als auch oberhalb der Rohre soll eine Bettungsschicht von 325 mm hergestellt werden. Der Schlitten verfügt dazu über höhenverstellbare Profilabzugsbleche. Nach wenigen Metern im Test war der Verdichtungseffekt und damit die Volumenminderung des gemischten Bettungsmaterials ermittelt. Die Profilbleche konnten so direkt im Anschluss in ihrer Höhenlage im Schlitten justiert werden, so dass die geforderte Schichtstärke der Bettung nach der Verdichtung erreicht wurde. Die Rohr- bzw. Kabelführung zeichnet sich durch eine besondere Variabilität aus. Sie erhielt in der Konstruktion eine Einteilung in vordere, mittlere und hintere Rohrführung, die aus zwei lösbar gelagerten sowie einem festen Führungspunkt besteht. Erstere lassen sich horizontal auf der Achse quer zum Schlitten so verschieben und lagern, dass eine Schutzrohr- bzw. Kabeleinführung von links und von rechts möglich ist. Zudem lässt sich die seitliche Rohrführung radial verstellen. Dadurch ergeben sich bereits am vordersten Zwangsführungspunkt entsprechende Einstellmöglichkeiten, um bei Temperaturänderungen auf die Ausdehnungen und Änderung der Biegeeigenschaften des Rohrmaterials reagieren zu können. Bei der konstruktiven Anordnung der Rohrführungen ist stets der Mindestbiegeradius eingehalten. Die Rohrführungen sind außerdem mit Vorrichtungen versehen, die das Mitführen der kleinen 50mm-Schutzrohre gewährleisten. Diese Vorrichtungen können in ihrer Lage so verändert werden, dass die Anordnungen der kleinen Schutzrohre auf das jeweils angeforderte Verlegeprofil angepasst werden können. Die hintere Rohrführung kann dann vertikal in der Höhe verändert werden, um den Druck auf die Schutzrohre bzw. Kabel zu variieren. Damit ist stets eine exakte, dem geforderten Grabenprofil entsprechende Lage der zu verlegenden Schutzrohre bzw. Kabel gewährleistet. Die Konstruktion der Rohrführung gewährleistet durch ihre Bauweise, dass Verschleißteile wie Rollen und Lager jederzeit und ohne erheblichen Aufwand austauschbar sind.

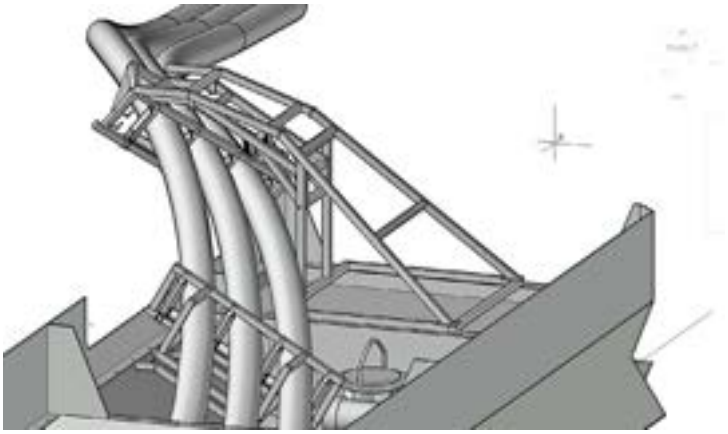


Abb. 2: Im 3d-Konstruktionsmodell wird das Einhalten der Biegeradien geprüft.

Eine integrierte elektrisch angetriebene Einheit aus mehreren Vibrationsplatten zur Herstellung der verdichteten Bettungslage ist eine Besonderheit des KaRoSch. Die Gesamtbreite der Sohle betrug 1800 Millimeter und die Mächtigkeit der unteren Bettungsschicht sollte mindestens 325 mm erreichen. Somit war bodenmechanisch schnell klar, dass die geforderte Verdichtung ausschließlich über mehrere Erreger zu erreichen ist. Ein einzeln positionierter Erreger mit entsprechend großer Verdichterplatte schied aus, da dessen Kräfte nur schwer über die gesamte Breite gleichmäßig abgeleitet werden konnten. Die Realisierung einer Verdichtereinheit mit mehreren Einzelgeräten musste dann allerdings in der Konstruktion so umgesetzt werden, dass diese entkoppelt voneinander arbeiten. Sowohl eine selbstzerstörende Wirkung auf das Material als auch Überlappungs- und Resonanzerscheinungen waren auszuschließen. Die technische Lösung dazu bestand aus drei Erregern, die separat voneinander auf drei mit Halbschalen ausgerüsteten Vibrationsplatten angebracht sind. Die Halbschalen entsprachen dabei in etwa den Radien der Schutzrohre. Dadurch wird mit der Verdichtung bereits ein konkaves, dem Rohrdurchmesser exakt angepasstes Bettungsprofil geschaffen. In dieses werden die Rohre eingeführt und abgelegt, bevor diese im nächsten Prozess innerhalb des Schlittens durch die zweite Bettungsschicht überdeckt werden. Im Entwicklungsprozess hatte sich gezeigt, dass die Herstellung der Leitungszone durch zwei separate Schichten erfolgen muss. So erfolgt unmittelbar vor der Ablage der Schutzrohre die automatisierte Herstellung der unteren Bettungsschicht. Für die Leitungszone gelten hinsichtlich des Verdichtungsgrades aufgrund der Wärmeableitung sehr strenge Anforderungen. Um diese entsprechend zu erfüllen, musste ein System in den KaRoSch integriert werden, die bereits vor dem Einführen und Ablegen der Schutzrohre die untere Bettungsschicht vorverdichtet. Dabei sind die Zonen, die später durch Schutzrohre abgedeckt werden, für die Vorverdichtung entscheidender als die Bereiche zwischen den Rohren. Letztere werden ja durch die nachfolgende Verdichtung noch erreicht. Die Rohre liegen also schon innerhalb des Schlittens in einem verdichteten Leitungsbett und werden dann im Schlitten in der geforderten Dicke mit Bettungsmaterial umhüllt. Ein installierter hochgenauer GNSS-Empfänger mit integrierter Neigungserfassung zeichnet nicht nur die horizontale und vertikale Position der

Rohre auf. Es werden darüber hinaus auch mögliche Differenzen in der Tiefenlage zwischen dem äußeren und dem mittleren HV-Kabelschutzrohr erfasst. Sollte der Schlitten im Verlauf des Rohrgrabens in eine Abweichung zur exakten horizontalen Lage geraten, so wird diese registriert und eine Korrektur ist sofort möglich. Auf diese Art wird sichergestellt, dass alle Rohre dieselbe Tiefenlage haben.

Um einen schnellen und vom Geländetyp unabhängigen Umsetz- und Rüstprozess sicherzustellen, wurden verschiedene Maßnahmen entwickelt und konstruktiv umgesetzt. Im Schlitten wurden u. a. komplett entnehmbare bzw. in Einzelteile zerlegbare Rohrführungen mit einer mittigen Flanschverbindung zwischen der vorderen und hinterem Baugruppe des KaRoSch kombiniert. Diese Geräteteilung ermöglicht eine Bergung oder Umrüstung im Rohrgraben ohne jegliches Kappen oder Trennen der Kabel- bzw. Schutzrohrstränge. Unterstützend dazu lässt sich die hintere Querwand öffnen. Damit kann das in der Materialkammer lagernde Bettungsmaterial vor dem Bergeprozess entfernt und das Einsatzgewicht entsprechend verringert werden. Mehrfach angebrachte Hebeösen ermöglichen das Bergen der einzelnen Baugruppen. Der gesamte Vorgang zum Trennen des Schlittens, Separieren von den Rohren und Entfernen aus dem Graben dauert nur kurze Zeit. Somit kann auf unerwartete Hindernisse sehr schnell reagiert werden. Außerdem sind die Arbeitsschritte ohne spezielle Geräte und sogar teilweise von Hand möglich.

4 Fertigung, Test und Baustellenfreigabe

Die Erteilung des Bauauftrages für die Erdkabelverlegung im Abschnitt C der Höchstspannungsverbindung Wahle - Mecklar erfolgte Mitte Dezember 2021 und bildete den Startpunkt des Entwicklungs- und Konstruktionsprozess für den Kabel- und Rohrschlitten. Mit dem Baubeginn Ende März 2022 war dem Entwicklungs- und Konstruktionszeitraum von Beginn an ein straffer Zeitrahmen vorgegeben. So mussten bis Ende des Jahres 2021 innerhalb von zwei Wochen sämtliche Anforderungen erhoben, alle Konzepte zur konstruktiven Umsetzung entwickelt sowie vollständige Ausführungsplanungen und -zeichnungen erstellt werden. Erst dann konnte die Konstruktion mit Beginn des Jahres 2022 starten und die Fertigung Ende Januar beginnen. Das Gerät wurde komplett in der Werkstatt und in den Fertigungsanlagen der Bohlen & Doyen Bau GmbH hergestellt. Sämtliche dafür erforderlichen maschinenbautechnischen Nachweise, Tragwerksberechnungen und Ausführungs- sowie Werkstattzeichnungen konnten im eigenen technischen Büro des Unternehmens erstellt werden. Selbstverständlich sind alle Herstellungsprozesse umfangreich und entsprechend den geltenden Normen und Regelwerken dokumentiert. Am Ende wurde der Schlitten auch einer Konformitätsprüfung nach EU-Maschinenrichtlinie unterzogen. Die Beschreibungen und Dokumentation sowie die gerätetechnischen Eigenschaften wurden so erweitert und angepasst, dass das Gerät für eine beschränkungsfreie Nutzung das CE-Zeichen erhalten hat. Insbesondere unter dem Aspekt des sicheren Transports und Einsatzes auf der Baustelle wurden alle notwendigen Vorkehrungen und Maßnahmen berücksichtigt. Dazu gehört unter anderem auch eine detaillierte Betriebsanleitung.

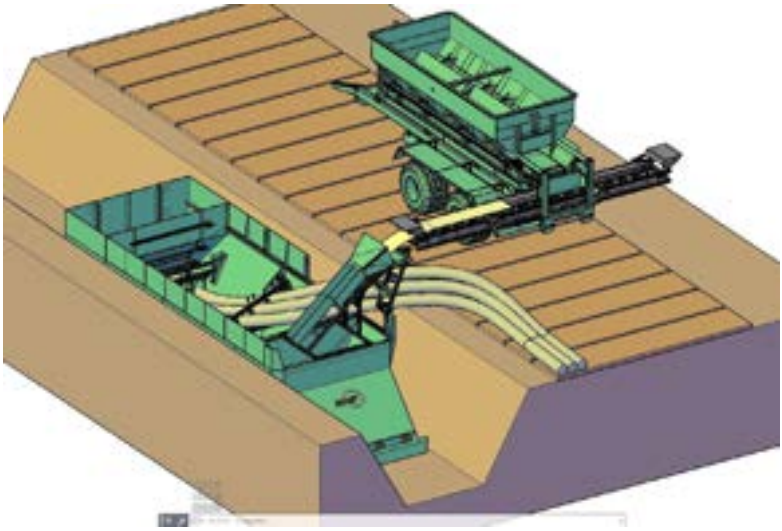


Abb. 3: Die Arbeitsprozesses des Schlittens wurden im Computermodell wiederholt simuliert.

Bevor der fertige Schlitten auf die Baustelle geliefert wurde, sollte dieser noch einem Test unterzogen werden. Nur in bzw. nach einem solchen Probebetrieb können noch eventuelle Fehler und Schwachstellen erkannt und beseitigt werden. Der Test konnte nicht auf der Baustelle mit den dort herrschenden Bedingungen durchgeführt werden. Stattdessen wurde ein Probefeld in der Nähe der Fertigungsanlagen von Bohlen & Doyen hergerichtet. Mit den dort geschaffenen Konstellationen wurde der Test weitgehend unter Baustellenbedingungen durchgeführt. Insbesondere Rohrmaterial, Rohrgrabentiefe, Geräte und Maschinen sowie der eigentliche Verfahrensablauf entsprachen der späteren Situation auf der Baustelle. Dagegen waren regionsbedingt der Baugrund mit Grundwasserstand und auch das einzubauende Bettungsmaterial deutlich schlechter. So besaß der verwendete Sand als Bettungsmaterial ein recht eng gestuftes Korngrößenband. Dadurch waren weniger gute Verdichtungswerte als später unter Baustellenbedingungen mit dem speziell gemischten Bettungsstoff zu erwarten. Mit diesen schwierigen Umgebungs- und Materialbedingungen ergaben sich somit deutlich anspruchsvollere und strengere Voraussetzungen für den Test als für den späteren Baustellenbetrieb. Es zeigte sich aber recht schnell, dass sowohl die Verdichtungstechnik als auch die Vorrichtung zur Lagesicherung der Rohre hervorragend funktionierten. Nach dem Test waren lediglich kleinere Korrekturen an der Rohrführung und an den Kammern für das Bettungsmaterial umzusetzen. Bereits Ende März 2022 und damit zwei Wochen vor seinem planmäßigen Einsatz konnte der KaRoSch dann zum Einsatzort des Bauprojekts nach Göttingen transportiert werden. Damit war der Entwicklung- und Fertigungsprozess abgeschlossen. Dieser hatte vom Auftragseingang bis zur Einsatzbereitschaft auf der Baustelle lediglich vier Monate Zeit in Anspruch genommen. Insbesondere unter dem Aspekt der herrschenden Materialknappheit und Lieferengpässe für viele Rohstoffe und Bauteile ist das als herausragende Leitung anzusehen.

5 Vorbereitungen auf der Baustelle für den KaRoSch-Einsatz

Bereits im Zuge des Testlaufes konnte noch einmal eine finale Geräteabstimmung erfolgen und so weitere Optimierungen für den Baustelleneinsatz gemacht werden. Anhand dieser Erkenntnisse hat man zunächst eine Sektion gesucht, die möglichst gute Randbedingungen bietet. Dazu gehören ein mehr oder minder geraden Trassenverlauf, keine kreuzenden Medien und relativ einfache Grundwasserverhältnisse. Die für den KaRoSch benötigten Schutzrohrstränge wurden bereits mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf zum Einbauzeitpunkt im Stumpfschweißverfahren gefertigt. Für den ersten Einsatz im Projekt wurde ein Abschnitt von ca. 250 Trassenmetern gewählt.

Ein weiterer Schwerpunkt wurde auf die Logistikkette gelegt, mit der die Tiefbauarbeiten bedient wurden. Im diesem Kabelprojekt des Übertragungsnetzes bestand die besondere Aufgabe, einen Teil des anstehenden Aushubmaterials aus der Bettungszone zur Herstellung des Bettungsmaterials wieder zu verwenden. Dieses Material aus dem Sohlbereich des Grabens muss zur weiteren Verarbeitung zu einem zentral angelegten Mischplatz geliefert werden. Der damit verbundene Baustellenverkehr für die Abfuhr des Aushubs und der Anlieferung des fertigen Bettungsmaterials wird in optimaler Weise im Einbahnstraßensystem entlang der Baustraße zum KaRoSch geleitet. Aufgrund der tatsächlichen Platzverhältnisse und den Fahrwegen zum Mischplatz war jedoch auch die Einrichtung von Zwischenlagerplätzen und Wendestellen Nahe des Einsatzbereiches erforderlich. Ziel war es in diesem Bereich ausreichend Erfahrung bei der Bedienung und Beschickung des KaRoSch zu sammeln und eine exakte Abstimmung der Parameter an das System zu generieren. Von großem Interesse war hier das Zusammenspiel zwischen dem einzubauendem und zu verdichtendem Bettungsmaterial und der Zuggeschwindigkeit am KaRoSch, damit die geforderte Verdichtung von Dpr >95% erreicht wurde.



Abb. 4: Simultane Schutzrohrverlegung mit KaRoSch auf der Baustelle

6 Vergleich offene Bauweise und KaRoSch

Im Vergleich zur offenen Bauweise (OBW) im herkömmlichen Sinne, wird durch den Einsatz des KaRoSch ein anderes Set-Up der Kolonnenzusammenstellung benötigt. Zur Auswertung in Bezug auf künftige Einsätze erfolgte eine genaue Gegenüberstellung der Kolonnenzusammensetzung bei der offenen Bauweise und der KaRoSch-Zusammensetzung.

Ressource	OBW	Ka-
Abtrag Oberboden		
Baustraße verlegen		
Wasserhaltung		
Graben auf		
KaRoSch		
Einbau Bettungssohle		
Verdichtung Bettungs-		
Absenken der Schutz-		
Ausrichten der Schutz-		
Vermessung Rohran-		
Einbau mittlere Bet-		
Zwickelverdichtung		
Einbau obere Bettung		
Verdichtung obere		
Verlegung Abdeck-		
Rückverfüllung Teil 1		
Rückbau Wasserhal-		
Verlegung Warnband		
Rückverfüllung Teil 2		
Umbau / Rückbau		
B-Boden Planum her-		
Oberbodenauftrag		

Tab. 1: Vergleich der Kolonnenzusammensetzung bei offener Bauweise und KaRoSch-Einsatz

Der KaRoSch fasst insgesamt acht zum Teil ohne maschinelle Unterstützung erstellte Arbeitsschritte zusammen und bringt damit große Vorteile bezüglich Arbeitssicherheit und Personal- und Gerätekosten mit sich (s. Tab. 1). Der Schlitten erübrigt die herkömmlich zuerst herzustellende Grabensohle, die konventionell per Deltalader mit Minigrader profilgerecht eingebaut wird. Im Vergleich zur konventionellen Verlegetechnik sind mehrere Facharbeiter im Rohrgraben für das Ablegen der Rohre, das Ausrichten und Positionieren der Rohrstränge entlang der Schablonen erforderlich. Das Einbringen des Bettungsmaterials und die Verdichtung per Vibrationsplatten sind weitere Arbeitsschritte, die durch den Einsatz des KaRoSch in einem Arbeitsschritt ausgeführt werden. Somit befinden sich keine Personen mehr im direkten Umfeld beim Verlegevorgang im Rohrgraben, um dort Arbeiten auszuführen. Dies ist im Hinblick auf die kontinuierliche Minimierung von potentiellen Gefährdungen eine Verbesserung der Arbeitssicherheit für die Kollegen im Rohrgraben.

Auch im weiteren Hinblick auf die Umweltverträglichkeit und Ressourcenersparnis bietet der KaRoSch weitere Vorteile. Im Vergleich zur üblichen offenen Bauweise wird der Zeitraum, in der der Rohrgraben offen steht, auf wenige Minuten reduziert. Je nach anstehenden Bodenverhältnissen kann die Wasserhaltung minimiert werden oder gänzlich entfallen. Durch eine Anpassung des Grabenprofils auf die KaRoSch-Geometrie, sowie der im Schlitten verbauten Technik können erhebliche Mengen an Bettungsmaterial (bis zu 20 %) eingespart werden. Neben der modifizierten Grabengeometrie sorgen die Profilabzugsbleche, sowie die Anordnung der Verdichtungseinheit dafür, dass kein überschüssiges Bettungsmaterial eingebracht wird. Die eingebaute Verdichtungseinheit wird durch modernste Technik durch wiederaufladbare Akkus betrieben. Der immer nur kurze sequenzielle Einsatz sorgt dafür, dass die Geräte im Regelfall einen vollen Arbeitstag betrieben werden kann. Somit werden für den direkten Schlitteneinsatz selbst keine Abgase erzeugt. Zudem entfällt das Risiko von Umweltschäden bei einer möglichen Havarie, da für die Technik keine wasser- und bodengefährdenden Betriebsstoffe benötigt werden. Schließlich entsteht durch die Verringerung der Aushubmengen infolge der Minimierung

des Grabenquerschnitts, durch die kurzen Öffnungsdauer des Grabens und durch die optimal abgestimmten Technik der Verfahrens mit dem KaRoSch ein erheblich schonender Eingriff in die Umwelt.

7 KaRoSch in der Ausführung

Eines der Hauptziele für den Einsatz des Schlittens war eine schnellere Verlegegeschwindigkeit. Um einen zügigen Rohrverlegeprozess zu realisieren, müssen sämtliche Arbeitsschritte in der Vorbereitung und Ausführung exakt geplant und ausgeführt werden. Neben der Vorbereitung der Schutzrohrstränge, dem Oberbodenabtrag und der Errichtung der Baustraßen ist besonders wichtiger und taktgebender Arbeitsprozess die permanente und störungsfreie Anlieferung des Bettungsmaterials. Ein weiterer maßgeblicher Faktor ist der wechselhafte und nicht zu beeinflussende Baugrund. Im Projekt WMC konnten unter diesen Voraussetzungen Verlegegeschwindigkeiten von etwas über 200 m/Tag erreicht werden. Die Leistungsangabe bezieht sich dabei auf folgende Arbeitsschritte:

- Öffnen des Grabens
- Abschnittsweise Ziehen des KaRoSch inkl.:
    - Einbau Bettungssohle
    - Verdichtung Bettungssohle, Zwischenräume und Zwickelbereiche
    - Absenken der Schutzrohre
    - Dokumentation Rohrlagen mittels GNSS-Empfänger
    - Einbau mittlerer und oberer Bettungsschicht
- Verdichtung obere Bettung
- Verlegung Abdeckband
- Rückverfüllung Teil 1



Abb. 5: Präzise Ablage aller Schutzrohre in ein verdichtetes Rohrbett

Für einen qualitativ hochwertigen Einbau des Bettungsmaterials wurde fortlaufend die Zusammensetzung der Ton- und Schluffanteile sowie die Beprobungen der Verlegeparameter wie Trockenrohdichte, Proctordichte und Körnungslinien überwacht. An Tagen mit besonders hohen Temperaturen musste zudem das Bettungsmaterial permanent feucht gehalten werden, damit eine entsprechende Verdichtung im eingebauten Zustand erreicht werden konnte. Durch die fortlaufende Überwachung dieser Parameter konnte ein kontinuierlich gutes Ergebnis erzielt werden. Nach den ersten positiven Ergebnissen wurde der KaRoSch in deutlich längeren Bauabschnitten eingesetzt als ursprünglich geplant. Am Ende konnte der Kabel- und Rohrschlitten-KaRoSch auf mehr als einem Drittel der Gesamttrasse sehr erfolgreich eingesetzt werden.



Abb. 6: Zugvorgang des Schlittens durch einem 25-to-Bagger.



Abb. 7: Befüllung der Kammern für das Bettungsmaterial mit dem BoDo-Sandleger.

8 Fazit mit Ausblick

Mit der Entwicklung und dem Einsatz des neuen Kabel- und Rohrschlittens KaRoSch wurde ein effizientes Verlegesystem bei der Bohlen & Doyen Bau GmbH erfolgreich entwickelt, konstruiert, gefertigt und im Projekt eingesetzt. Mit den Simulationen der Prozesse und dem vorherigen Test mit einer umfassenden Dokumentation konnte Anwendung des Gerätes optimiert werden. Der Einsatz auf der Baustelle hat dann gezeigt, dass eine optimal abgestimmte Vorbereitung der einzelnen Arbeitsschritte für eine gelungene Anwendung des KaRoSch fundamental ist. Hierbei spielt insbesondere ein funktionieren Logistikkette für die Lieferung des Bettungsmaterial eine wesentliche Rolle. Der KaRoSch bietet seine Vorteile ganz besonders auf vorwiegend gerade verlaufenden Trassenabschnitten ohne kreuzende Hindernisse. Im Vergleich zur konventionellen Verlegemethodik kann mit dem KaRoSch eine um bis zu 25 % höhere Verlegegeschwindigkeit erzielt werden. Dies lässt sich auf die simultane Verlegung der sechs Rohre, der leichten Umbaubarkeit und vor allem aber auf die Integration der Verdichtungstechnik zurückführen. Im Zuge der Ausführungsarbeiten konnten viele Erkenntnisse für eine partielle weitere Optimierung des KaRoSch gewonnen werden. Damit ist Bohlen & Doyen in der Lage, dieses System für zukünftige Anwendungen wie z.B. auch für andere Bettungsmaterialien und Rohre weiterzuentwickeln.

Autoren:

Dr. Frank Krögel
Bohlen & Doyen Bau GmbH,
Wiesmoor

Tel.: +49 4944 9456-146
E-Mail:
f.kroegel@bohlen-doyen.com
Internet:
www.bohlen-doyen.com



M. Eng. Philipp Oliv
Bohlen & Doyen Bau GmbH,
Wiesmoor

Tel.: +49 4944 9456-435
E-Mail:
p.oliv@bohlen-doyen.com
Internet:
www.bohlen-doyen.com



Vergleich der Verlegeparameter in der herkömmlichen, offenen Bauweise mit der alternativen Verlegung

Von Norbert Markwardt

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Vergleich der Verlegeparameter für das eingebaute Bettungsmaterial in der herkömmlichen, offenen Bauweise mit der alternativen Verlegung durch den Kabelrohrschlitten (KaRoSch).

Hinsichtlich der allgemeingültigen bodenkundlichen Zusammenhänge bzgl. der Herstellung und des Einbaus von Bettungsmaterialien in Bezug auf eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit des eingebauten Bettungsmaterials wird an dieser Stelle und auch im Folgenden auf /1/ verwiesen.

Es erfolgt eine kurze Darstellung des Einbaus der Schutzrohre und des Bettungsmaterials in der herkömmlichen, offenen Bauweise und im Vergleich dazu der Einbau mit KaRoSch.

Den Schwerpunkt dieses Beitrags bilden die im Rahmen der Fremdüberwachung in dem 4-monatigen Zeitraum von Anfang Mai 2022 bis Anfang September 2022 ermittelten Verlegeparameter des eingebauten Bettungsmaterials einer 380 kV Kabeltrasse für die beiden Einbauverfahren (Körnung, Trockenrohdichte und Wärmeleitfähigkeit). Diese werden zunächst dargestellt und insb. im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit vorläufig bewertet.

Abschließend erfolgen einerseits Hinweise auf den Einbau eines Bettungsmaterials mit deutlich erhöhten Ton- und Schluffanteilen und den Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit (110 kV Trasse). Andererseits wird auf den Verlauf der gemessenen Bodenfeuchte im Bettungsmaterial in unmittelbarer Nähe der Schutzrohre bei hoher Stromlast hingewiesen (weitere 110 kV Trasse).

2 Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials

Bild 1 zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise für den Einbau des Bettungsmaterials in der herkömmlichen, offenen Bauweise. Nach dem Verlegen der Schutzrohre wird das Bettungsmaterial zunächst bis auf OK Schutzrohre eingebaut. Danach erfolgt eine 2-malige Verdichtung des Bettungsmaterials mit entsprechend kleinen Rüttelplatten zwischen und neben den Schutzrohren (Bild 1, links).

Bild 1 (rechts) zeigt die fertiggestellte Bettungsschicht. Nach dem Aufbringen des Bettungsmaterials bis auf mindestens 35 - 40 cm oberhalb Oberkante (OK) Leerrohre und der anschließenden Verdichtung mit einer großen Rüttelplatte ist nach dem Verdichten des Bettungsmaterials eine Überdeckung der Schutzrohre von ca. 20 cm vorhanden. Weitergehende Erläuterungen hierzu finden sich in /1/.



Bild 1: Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials in der herkömmlichen, offenen Bauweise

Bild 2 zeigt die mit KaRoSch hergestellte untere Bettungsschicht, in die die Schutzrohre im gleichen Arbeitsgang anschließend verlegt werden. Dabei wird die Rohrbettung mithilfe der Halbschalen und einer integrierten elektrisch angetriebenen Einheit aus mehreren Vibrationsplatten verdichtet (weitergehende Informationen sind dem Beitrag von Dr. Frank Krögel/Philipp Oliv zu entnehmen).

Bild 3 links zeigt die noch nicht verdichtete OK der Bettungsschicht. Wie bei der herkömmlichen, offenen Bauweise erfolgt die abschließende Verdichtung der Bettungsschicht mit einer großen Rüttelplatte oder ggf. mit einer kleinen Walze.

Im Vordergrund des Bilds 3 (rechts) sind die für die Probenentnahme freigelegten Schutzrohre zu erkennen. Sowohl für die herkömmliche, offene Bauweise als auch für den Einbau mit KaRoSch erfolgte die Probenentnahme aus dem Bettungsmaterial (Stechzylinder und gestörte Proben) in dem Bereich zwischen und neben den Schutzrohren, da insb. beim Einbau mit KaRoSch hier die geringsten Verdichtungswerte zu erwarten waren.



Bild 2: Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials mit KaRoSch



Bild 3: Einbau der Schutzrohre und des Bettungsmaterials mit KaRoSch und freigelegte Schutzrohre

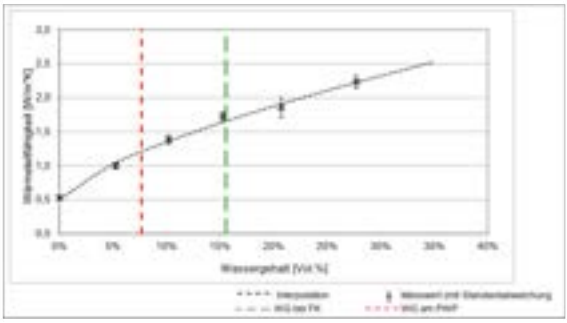
3 Darstellung und vorläufige Bewertung der Verlegeparameter

Nachfolgend werden die Ergebnisse der in dem Zeitraum von Anfang Mai 2022 bis Anfang September 2022 genommenen Bodenproben dargestellt und im Anschluss insb. im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit vorläufig bewertet.

Bild 4 zeigt zunächst exemplarisch das Auswerteprotokoll zur Bestimmung der wassergehaltsabhängigen Wärmeleitfähigkeit einer Probe des Bettungsmaterials (Probe E 24).

Rot markiert sind die Wärmeleitfähigkeiten bei den o.g. Werten des Permanenten Welkepunkts (PWP) und grün markiert die Werte bei der Feldkapazität (FK).

Ausschnitt



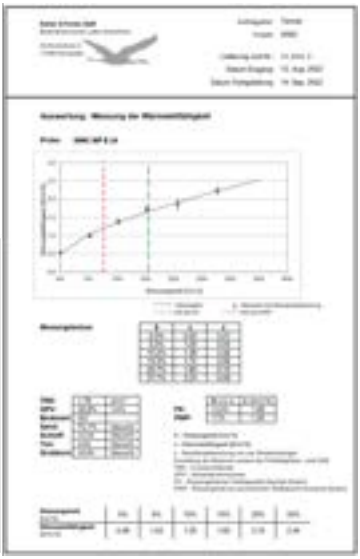


Bild 4: Auswerteprotokoll zur Bestimmung der wassergehaltsabhängigen Wärmeleitfähigkeit eines Bettungsmaterials

Die gemessenen Werte (inkl. Standardabweichung) der Wärmeleitfähigkeit sind bei einer Trockenrohdichte TRD = 1,78 (g/cm³) in Bild 4 eingetragen. Die gestrichelte schwarze Kurve zeigt die mit einem Modell berechnete Wärmeleitfähigkeit (WLF), um einen kontinuierlichen Verlauf der WLF von vollkommen ausgetrocknet bis wassergesättigt abbilden zu können.

Der rote Strich in Bild 4 entspricht dem gemessenen Wert des permanenten Welkepunkts (PWP). Der Schnittpunkt mit der gestrichelten schwarzen Kurve entspricht der so ermittelten Wärmeleitfähigkeit beim PWP.

In gleicher Weise wurde mit dem Wassergehalt und mit der Wärmeleitfähigkeit bei Feldkapazität verfahren (grüner Strich in Bild 4). Weitergehende Erläuterungen hierzu finden sich in /1/.

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Trockenrohdichten (TRD) und Wärmeleitfähigkeiten (WLF) beim permanenten Welkepunkt (PWP) des konventionell und des mit KaRoSch eingebauten Bettungsmaterials.

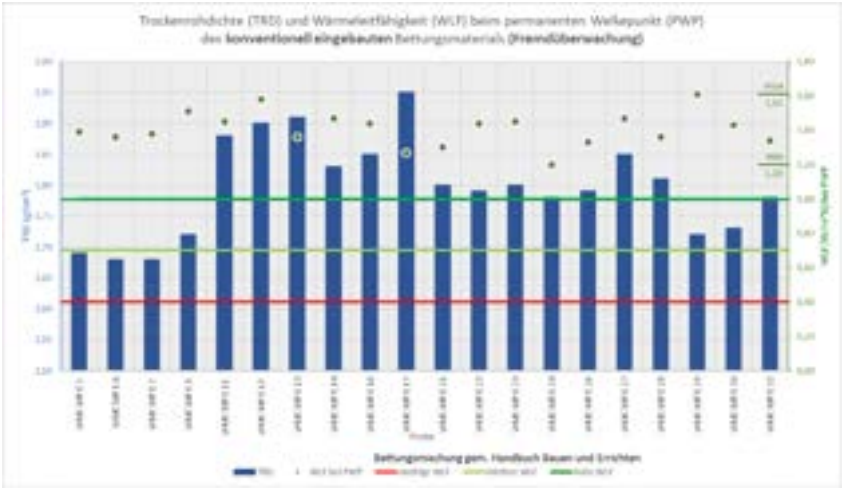


Bild 5: Trockenrohdichten und Wärmeleitfähigkeiten beim permanenten Welkepunkt des konventionell eingebauten Bettungsmaterials

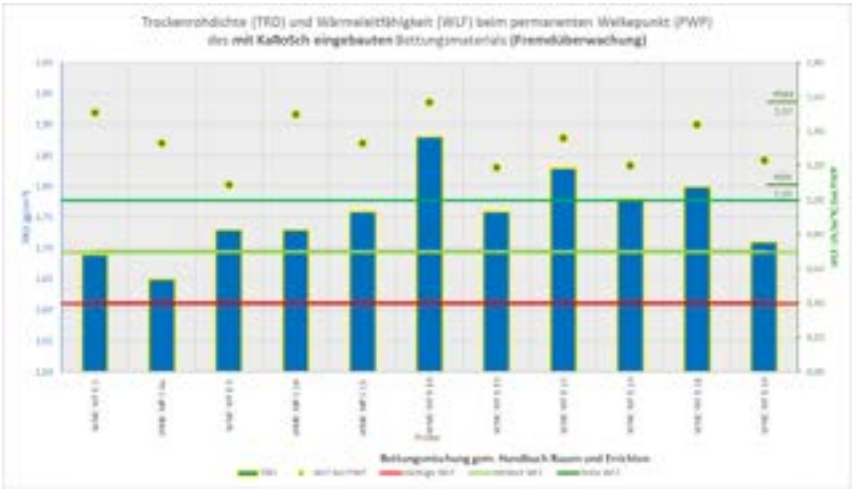


Bild 6: Trockenrohdichten und Wärmeleitfähigkeiten beim permanenten Welkepunkt des mit KaRoSch eingebauten Bettungsmaterials

Die Ton- und Schluffanteile variieren für die 20 Proben E5 - E 32 (konventioneller Einbau) und die 11 Proben E3 - E 34 (Einbau mit KaRoSch) in einem Bereich von 11 - 35 Masse%.

Neben den Werten der Trockenrohdichte TRD (linke y-Achse) und den Werten der Wärmeleitfähigkeit WLF beim permanenten Welkepunkt PWP (rechte y-Achse) sind in den Bildern 5 und 6 die gemäß Handbuch Bauen und Errichten der Tennet TSO GmbH eingestuften Bettungsmischungen (niedrige, mittlere und hohe WLF) eingetragen.

Es ist zu erkennen, dass alle Werte der WLF bei PWP oberhalb von 1,0 W/mK liegen. Das heißt, dass sowohl das konventionell eingebaute als auch das mit KaRoSch eingebaute Bettungsmaterial eine hohe WLF aufweist. Die WLF bei PWP variiert beim konventionellen Einbau in dem Bereich von 1,20 - 1,61 W/mK; beim Einbau mit KaRoSch variieren die Werte zwischen 1,09 und 1,57 W/mK.

Aktuell erfolgt eine ausführliche Auswertung aller von der Fremd- und Eigenüberwachung gemessenen Verlegeparameter (Trockenrohdichten, Proctordichten, Körnungslinien und Wärmeleitfähigkeiten) für eine abschließende Bewertung.

Zum Schluss wird auf zwei interessante Details im Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb von zwei 110 kV Trassen hingewiesen.

In 2022 wurde beim Bau einer 110 kV Trasse im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern erfolgreich Bettungsmaterial eingebaut, das z.T. einen maximalen Ton- und Schluffanteil von zusammen 60 - 65 Masse% aufweist. Bei entsprechend geringen Einbaufeuchten konnte dieses Material gut verdichtet werden und es wurden Wärmeleitfähigkeiten bei permanenten Welkepunkt in dem Bereich von 1,30 - 1,75 W/mK bestimmt.

In 2022 wurde im Bundesland Brandenburg der Bodenfeuchteverlauf im Bettungsmaterial einer 110 kV Trasse u.a. für einen grundwasserfernen Standort bestimmt. Erwartungsgemäß wurde die geringste Bodenfeuchte unmittelbar oberhalb des mittleren Schutzrohres (Flachverlegung) gemessen. Die Bodenfeuchte unmittelbar unterhalb OK Bettungsschicht war deutlich höher. Die direkt oberhalb des mittleren Schutzrohres gemessene Bodenfeuchte lag auch bei der vorhandenen hohen Stromlast (vergleichbar mit der Bemessungsstromlast) deutlich über dem permanenten Welkepunkt.

4 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Vergleich der Verlegeparameter für das eingebaute Bettungsmaterial in der herkömmlichen, offenen Bauweise mit der alternativen Verlegung durch den Kabelrohrschlitten (KaRoSch).

Es erfolgte eine kurze Darstellung des Einbaus der Schutzrohre und des Bettungsmaterials in der herkömmlichen, offenen Bauweise und im Vergleich dazu der Einbau mit KaRoSch.

Die im Rahmen der Fremdüberwachung in dem 4-monatigen Zeitraum von Anfang Mai 2022 bis Anfang September 2022 ermittelten Verlegeparameter des eingebauten Bettungsmaterials einer 380 kV Kabeltrasse für die beiden Einbauverfahren (Körnung, Trockenrohdichte und Wärmeleitfähigkeit) wurden zunächst dargestellt und dann insb. im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit vorläufig bewertet.

Abschließend erfolgten einerseits Hinweise auf den Einbau eines Bettungsmaterials mit deutlich erhöhten Ton- und Schluffanteilen und den Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit (110 kV Trasse). Andererseits wurde auf den Verlauf der gemessenen Bodenfeuchte im Bettungsmaterial in unmittelbarer Nähe der Schutzrohre bei hoher Stromlast hingewiesen (weitere 110 kV Trasse).

5 Literatur

[1] Markwardt und Trinks (2022): Herstellung und Einbau von Bettungsmaterialien aus vorhandenen Böden, 3R Fachzeitschrift für sichere und effiziente Rohrleitungssysteme, Heft 07-08/2022, Vulkan Verlag

[2] Ad-hoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover 2005

[3] ASTM (2000): Standard test method for determination of thermal conductivity of soil and soft rock by thermal needle probe procedure. ASTM 5334-00

[4] Trinks, S. (2010): Einfluss des Wasser- und Wärmehaushaltes von Böden auf den Betrieb erdverlegter Energiekabel. Bodenökologie und Bodengenese, 42. Technische Universität Berlin, Dissertation

Autor:

Dr.-Ing. Norbert Markwardt
pedotec GmbH, Berlin

Tel.: 030 4361762
E-Mail:
n.markwardt@pedotec.de
Internet:
www.pedotec.de



3
Kabelschutzrohre in Theorie und Praxis

Neues Verfahren zur Verlegung von PP-Leitungen für Hoch- und Höchstspannungen

PP-Leitungen im Vergleich zu PE-Leitungen

Von Thomas Lindner

1 Einleitung

Nachdem bedingt durch den Ukrainekrieg, das Thema Energiewende eine noch größere Bedeutung in Deutschland und Europa gewonnen hat, erfährt die Aufgabenstellung Stromtransport vom Entstehungsort bis hin zum Verbraucher ebenfalls eine extrem gestiegene Aufmerksamkeit.
Für Deutschland ist es geplant, den Strom über 4 Haupttrassen von Norden nach Süden zu transportieren.
Da die Stromleitungen auch unterirdisch verlaufen, werden viele 1000 Kilometer Kabelschutzrohr benötigt und von einer Reihe mittlerer bis großer Bauunternehmen verlegt.



Bild 1: Bundesnetzagentur - Gesamtzusammenfassung Netzausbau - Stand 30. Juni 2022

Das zur Zeit hauptsächlich für Kabelschutzrohre in diesem Starkstrombereich verwendete Material ist HDPE. Die Schutzrohre werden zumeist in mehreren Strängen parallel zueinander verlegt und fixiert. Je nach Anforderung durch die gegebenen Umstände des Trassenverlaufes, werden die Rohre über Steckverbindungen gummigedichtet oder verschweißt miteinander verbunden.

Das IP-Plus Schweißsystem ist ein in diesem Bereich neues Verfahren zum Verschweißen von PP-Rohren.

Im Februar 2022 ergab sich für Firma SABUG, gemeinsam mit Firma MARKGRAF aus Marktredwitz, die Möglichkeit eines direkten Vergleiches des IP-Plus Schweißsystems, mit der Verschweißung von PE-Rohren mittels Elektroschweißmuffen.

Für den Neubau einer JVA wurde die Energieversorgung mit 6 mal 110KV Kabeln erstellt.
Firma MARKGRAF (als ausführendes Bauunternehmen) und der Auftraggeber beschlossen, zwei 3er Bündel Kabelschutzrohre in DN200 zu verlegen. Das eine bestehend aus drei mit Elektroschweißmuffen verschweißten PE-Schutzrohren und das andere aus KG2000 e-line PP-Rohren, verschweißt mit dem IP-Plus System.



Bild 2: Bauvorhaben JVA Marktredwitz - Kabelschutzrohrverlegung für 6 x 110 KV

So konnten zum ersten Mal beide Verfahren in der Praxis direkt miteinander verglichen werden. Es ergaben sich die im Folgenden geschilderten Erkenntnisse. Doch zunächst möchte ich kurz die Besonderheiten des IP-Plus Schweißverfahrens erläutern.

2 Rahmenbedingungen bei der Anwendung des IP-Plus Systems

– Da die einzuhaltenden Regeln in Bezug auf Reinlichkeit und Witterungsbedingungen, auch bei Einsatz des IP-Plus-Schweißsystems einzuhalten sind, verzichte ich darauf, diese Regeln im Detail zu erläutern. Ein großer Vorteil gerade beim Stromtrassenbau ist, dass die ausführenden Unternehmen und Schweißer einen hohen Professionalisierungsgrad besitzen und die zu verrichtenden Tätigkeiten immer wieder gleich sind.

Durch die Kenntnisse, die die PE-Schweißer bei der Ausbildung durch die DVS bereits erworben haben, geht es in erster Linie um die Vermittlung der Unterschiede in der Arbeitsweise.

– Als Kabelschutzrohr für das 3er Bündel bei diesem Projekt wurden 12m lange PP-Rohre der Produktlinie KG2000 E-Line aus dem Hause Gebrüder Ostendorf Kunststoffe eingesetzt.



Bild 3: KG2000 "e-line" mit der neuen "eline protect" Doppelmuffe

Für das Verschweißen von Kabelschutzrohren im Hoch- und Höchstspannungsbereich ist der von Firma SABUG speziell für diese Anwendung und das KG2000 "e-line Rohr" entwickelte Schweißring mit dem Präfix "Kabelschutzrohr" zu verwenden.



Bild 4: PP-"eline" Rohre mit bereits eingelegtem Kabelschutzrohrschweißring. Hier noch ohne "eline-protect" Doppelmuffe.

3 Informationen zum IP-Plus Schweißsystem

– – Eine Besonderheit des IP-Plus Schweißsystems ist, dass es für Standardrohrsysteme mit einer hohen Verfügbarkeit entwickelt wurde. Ziel war es, dem Kunden die maximale Entscheidungsfreiheit und somit Flexibilität in der Wahl der Verbindungstechnik zu eröffnen. Diese Entscheidung kann im Extremfall sogar im Moment der Verlegung erfolgen. Grundsätzlich gilt, dass die Schweißung durch Tausch des Dichtrings des Rohrsystems gegen den IP-Plus Schweißring aus dem Hause SABUG erfolgt.
– – Das IP-Plus-Schweißsystem hat durch zahlreiche Tests und Überprüfungen nachgewiesen, dass es bei bestimmungsgemäßer Anwendung zuverlässig und sicher eine verschweißte Verbindung zwischen den Schweißpartnern erstellt.
– – Jeder Schweißer, der das IP-Plus Schweißsystem anwenden soll, wird in einer Schulung theoretisch und praktisch unterwiesen. In dieser Schulung werden alle wichtigen Einflüsse, die beim Schweißen von Kunststoffrohren zu beachten sind (von Sauberkeit bis Witterung) behandelt. Selbstverständlich wird ausführlich auf die Besonderheiten des IP-Plus Schweißsystems eingegangen.
– – Die Schweißverbindung hat in Tests nachgewiesen, dass sie stabiler ist als das Rohrsystem selbst. Das meint, dass bei Druck- und Zugversuchen in der Regel das Rohrmaterial eher zerstört wurde, als die Schweißverbindung.
– – In der Praxis zeigt sich, dass sich die Arbeitszeiten pro Schweißverbindung im Vergleich zu den Zeiten beim Heizelementstumpfschweißen und dem Heizwendelschweißen stark verkürzen lassen.

4 Vorgehensweise beim IP-Plus Schweißsystem im Bereich Kabelschutzrohre

1. Es werden beide Gummidichtungen aus der E-line Doppelmuffe entfernt.



Bild5: "e-line protect" Doppelmuffe

2. Die Spitzenden der beiden 12m-Rohrlängen werden mit einem PE/PP Reiniger sorgfältig gereinigt und entfettet. Ebenso werden die beiden Sicken der Doppelmuffe sorgfältig mit dem PE/PP-Reiniger gereinigt und entfettet. Geeignete Reinigungsmittel sind in jedem Fall die von der DVS zugelassenen PE/PP-Reiniger (siehe DVS 2207-1).
3. Der IP-Plus Schweißring wir aus der Verpackung genommen und wie in der Schulung erlernt in die Sicke eingelegt.
4. Die beiden Anschlusskabel des Schweißringes werden durch die Bohrung in der Sicke nach außen geführt.
5. Die beiden Kontakte des Schweißmaschinenkabels werden angeschlossen.
6. Der Schweißvorgang wird gestartet.
7. Direkt nach Beendigung der Schweißung können die Anschlusskabel des Schweißgerätes gelöst werden und der nächste Schweißvorgang gestartet werden.

5 Da stimmt doch etwas nicht…

Was ist mit der Oxidschicht? Warum wird nicht geschält? Wie kann das gut gehen?

Warum kann der Schweißer direkt weiterarbeiten – Wie sieht es mit der Abkühlzeit aus?



Bild 6: Schälwerkzeug

So viele Fragen! Das IP-Plus Schweißsystem gibt die Antworten.
Dazu möchte ich kurze den Aufbau und die Funktionsweise des Schweißringes erklären.



Bild 7: IP-Plus Schweißring vor der Verschweißung.

Wie man erkennen kann besteht der Schweißring aus einem Stützrohr und dem Schweißmaterial. Das Stützrohr ist aus einem speziellen Material mit hohem Memory-Effekt. Das Rohr wurde während der Fertigung des Ringes Platt gedrückt, mit Kupferdraht umwickelt und danach mit dem eigentlichen Schweißmaterial aus PP ummantelt. Während des Schweißens wir das Material weich und so kann sich das Stützrohr wieder aufstellen und „rund“ machen. Dabei entsteht eine hohe mechanische Energie, die wir ausnutzen, um die zu diesem Zeitpunkt ebenfalls weiche Oxidschicht aufzubrechen und wegzuschieben.

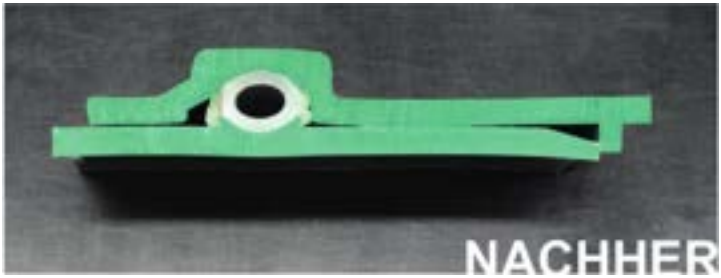


Bild 8: IP-Plus Schweißring nach der Verschweißung

Um diesen Fügedruck kontrolliert zu nutzen, ist es nötig die Schweißspannung zu modulieren. Hierzu wurden spezielle Schweißprogramme entwickelt, die neben dem Einfluss der Außentemperatur eben auch diese Modulation beinhalten.

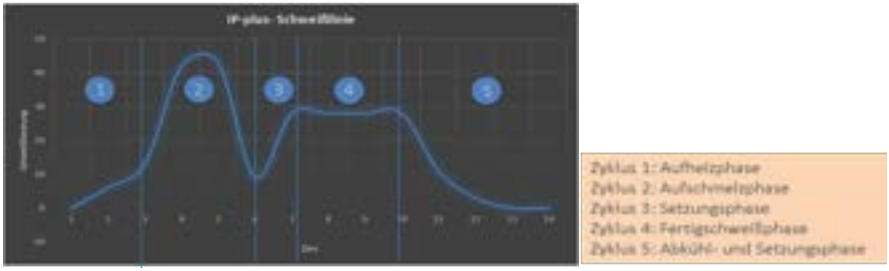


Bild 9: schematische Darstellung der IP-Plus Schweißlinie

Diese komplexeren Programme kann ein herkömmliches Schweißgerät für PE Schweißungen nicht abbilden. Daher wird für unser Schweißsystem ein „intelligenteres“ Schweißgerät benötigt. Dieses Schweißgerät kann daher optional IP-Plus-Ringe schweißen und PE Heizwendelschweißen.



Bild 10: IP-Plus Schweißgerät

Durch diese technische Finesse entfällt der Arbeitsschritt des Entfernens der Oxidschicht durch Schälen komplett.

Ein Vergleich der Schweißzeiten zeigt bei DN 250 Rohren folgende Zeitunterschiede:
Hier zunächst die Schweißzeiten bei Verwendung des IP-Plus-Systems:

Nenn-weiten	Schweiß-zeiten *)	Abkühl-zeiten *)
DN 110	3 min.	10 min.
DN 125	4 min.	12 min.
DN 160	5 min.	15 min.
DN 200	6 min.	18 min.
DN 250	6 min.	20 min.
DN 315	7 min.	23 min.
DN 400	8 min.	23 min.
DN 500	14 min.	27 min.
DN 630	20 min.	30 min.

*) Zeiten bei ca. 20°C Umgebungstemperatur

Bild 11: Tabelle der Schweißzeiten beim IP-Plus-System

Laut Aussage des Bauunternehmens, dass die Kabelschutzrohre bei dem BV JVA Marktredwitz verlegt und verschweißt hat, wird kalkulatorisch bei einer Dimension von DN250 eine

Gesamtverarbeitungszeit (Schälen, Reinigen, Rohrhaltung in Position bringen und Abkühlen) beim Heißwendelschweißen von 35 Minuten angesetzt. Beim Verfahren des Heizelement-stumpfschweißen wird kalkulatorisch eine Gesamtverarbeitungszeit von 59 Minuten pro Schweißverbindung angesetzt. Bei beiden Verfahren wird auch berücksichtigt, dass während er Abkühlzeit die nächste Schweißung bereits vorbereitet wird.

Das deckt sich auch mit den Ergebnissen einer Studie des SKZ aus dem Jahr 2011 mit dem Titel "Ökologisch-ökonomische Bewertung und Verfahrensoptimierung von Fügeverfahren am Beispiel von Kunststoffrohrsystemen". Die erste Grafik bezieht sich auf Heizwendelschweißen.

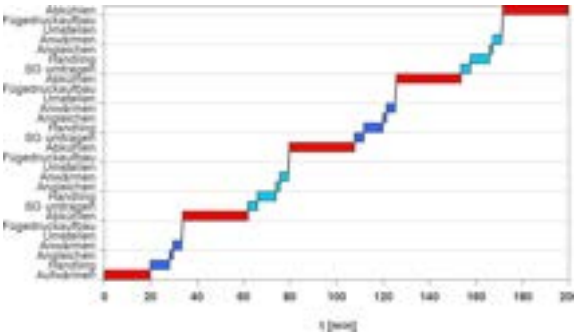


Bild 12: Einzelne Phasen einer HM-Schweißung am Beispiel eines PE-Rohres mit einem Durchmesser von 250 mm bei Verwendung von zwei Einspannungen

Die zweite Grafik bezieht sich auf Heizelement-Stumpfschweißen.

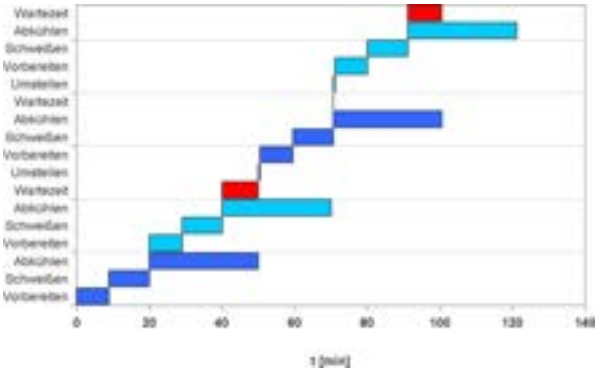


Bild 13: Einzelne Phasen von vier HS-Schweißungen am Beispiel von PE-Rohren mit einem Durchmesser von 110 mm; 2 Schweißgeräte (SG)

Auch die Angaben eines Schweißgeräteherstellers für Stumpfschweißgeräte passen zu dieser Einschätzung.

Grundlage: DVS-Merkblätter 2207, 2208 - Stand 2016

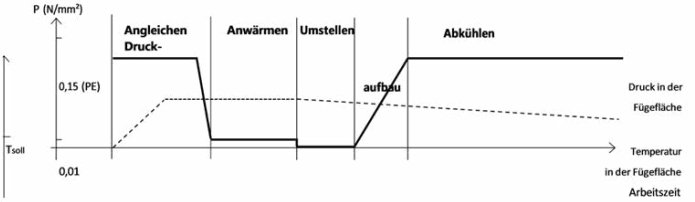
Anwendungsgebiet: **4900 / 4911 / 4955 / WELD IT 315 / WELD IT 315 Stahl / HRG 0315 250 Compact S /315 Compact S / 355 Compact A**

1 bar am Manometer: **59** N (Zylinderwirkfläche: 589 mm² / 0,91 inch²)

Die Heizelementtemperatur beträgt 220° C ± 10° C / 428° F ± 18°
Die Umstellzeit soll so klein wie möglich gehalten werden.
Die Fügedruckaufbauzeit ist als Maximalwert zu verstehen und darf bis zu 50% unterschritten werden.
Zum angegebenen Angleich- und Abkühldruck muss jeweils der Bewegungsdruck der Schweißmaschine hinzugerechnet werden!
Der Maximaldruck der Schweißmaschine ist zu beachten.

❶ Diese Abkühlzeiten gelten nur unter folgenden Bedingungen:
- Die Fügeverbindung wird in einer Werkstatt hergestellt
- Die Entnahme aus der Schweißmaschine und das vorübergehende Lagern bis zur vollständigen Abkühlzeit verursachen nur eine geringfügige Belastung der Fügeverbindung

Alle Angaben ohne Gewähr



Rohrwanddicke [s] [mm]	SDR-Stufe	Angleichdruck am Manometer [bar]	Wulsthöhe rundum min. [mm]	Anwärmzeit [min:s]	max. Umstellzeit [s]	Druckaufbauzeit [s]	Schweißdruck am Manometer [bar]	Abkühlzeit bei Umgebungstemperatur < 15°C < 59°F [min:s]	15-25°C 59-77°F [min:s]	> 25°C > 77°F [min:s]	Abkühlzeit mit bes.Bed. ❶ [min:s]
DA 250											
6,2	41	13	1	01:02	6	6	13	05:22	06:42	08:32	04:31
7,7	33	15	1,5	01:17	6	6	15	06:29	08:08	10:20	05:25
9,6	26	19	1,5	01:36	7	7	19	07:49	09:50	12:37	06:34
11,9	21	23	1,5	01:59	8	8	23	09:26	11:55	15:23	07:56
14,2	17,6	27	2	02:22	9	9	27	10:55	13:53	18:10	09:15
14,8	17	28	2	02:28	9	9	28	11:18	14:24	18:54	09:36
18,4	13,6	35	2	03:04	10	11	35	13:37	17:29	23:16	11:39
22,7	11	42	2,5	03:47	11	13	42	16:39	21:10	28:14	14:07
27,9	9	50	3	04:39	13	15	50	20:23	25:44	34:15	17:13
34,2	7,4	59	3	05:42	15	18	59	24:58	31:27	41:41	21:13
DA 280											
6,9	41	16	1	01:09	6	6	16	05:55	07:24	09:23	04:56
8,6	33	19	1,5	01:26	7	7	19	07:07	08:56	11:25	05:58
10,7	26	24	1,5	01:47	7	7	24	08:35	10:50	13:56	07:13
13,4	21	29	2	02:14	8	9	29	10:24	13:12	17:12	08:48
15,9	17,6	34	2	02:39	9	10	34	12:00	15:21	20:14	10:14
16,6	17	35	2	02:46	9	10	35	12:27	15:57	21:05	10:38
20,6	13,6	43	2,5	03:26	10	12	43	15:09	19:22	25:50	12:55
25,4	11	52	2,5	04:14	12	14	52	18:34	23:29	31:19	15:39
31,3	9	63	3	05:13	14	16	63	22:51	28:49	38:16	19:22
38,3	7,4	74	3,5	06:23	16	20	74	27:54	35:12	46:36	23:48

Bild 14: 19.11.2019 Schweißtabelle WIDOS 4900 / 4911 / 4955 / WELD IT 315 / 250 + 315 Compact S / 355 Compact A

Die insgesamt längere Gesamtverarbeitungszeit beim Heizelementstumpfschweißen kommt durch die in der Tabelle nicht berücksichtigten Vorarbeiten wie Einspannen des Rohres in die Haltevorrichtung, Planhobeln, gegebenenfalls Runddrücken und Reinigen.



Bild 15: Heizelementstumpfschweißen

Auch das nach dem Schweißen notwendige Entfernen der Innenwulst sollte berücksichtigt werden.



Bild 16: Innenwulstentfernung

An dieser Stelle eine kurze Erinnerung daran, dass bei dem hier vorgestellten System das Abschälen der Oxidschicht komplett entfällt. Hinzu kommt eine erheblich kürzere Schweißzeit pro Verbindung. Beide Schweißringe der Doppelmuffe werden zeitgleich verschweißt.



Bild 17: „e-line protect" Doppelmuffe

6 Nun zum Thema Abkühlzeit:

Durch die spezielle Funktionsweise des Schweißringes wird nur der Bereich der Sicke aufgeschmolzen und dadurch verformbar. Der restliche Bereich der beiden Spitzenden wird in der Muffe gehalten und „unterstützt“, da Kunststoff eigentlich ein schlechter Wärmeleiter ist. Man kann sagen, dass die beiden Muffenseiten durch den "engen Sitz" an den Rohrenden die Schweißstelle vor Hebelkräften schützen. Das versetzt den Verarbeiter in die Lage kontinuierlich und direkt nach erfolgter Schweißung die nächste Schweißung zu starten. Das heißt konkret, dass die Abkühlzeit nur eine Rolle spielt, wenn ein Schweißvorgang zum Beispiel durch eine Unterbrechung der Spannungsversorgung unvorhergesehen unterbrochen wird. Da der Verarbeiter für gewöhnlich den Zeitpunkt der Unterbrechung nicht mitbekommt, ist er hier unterrichtet, dass die Abkühlzeit zwingend abzuwarten ist, bevor der Schweißvorgang erneut gestartet wird.

Auch bei der Arbeitsweise des Vorrichtens, ist vor dem „Einziehen“ des vorgerichteten Rohrstranges in den Graben die Abkühlzeit der letzten Schweißung abzuwarten.

Die Gesamtverarbeitungszeit bei Verwendung des IP-Plus-Schweißsystems beschränkt sich also auf das Reinigen der Sicken der Doppelmuffe und der Spitzenden der Schutzrohre, das Einlegen der beiden Schweißringe und die Schweißzeit. Während der Schweißung kann die nächste Schweißung vorbereitet werden, sodass das Schweißgerät nach Beendigung der ersten Schweißung direkt umgesetzt werden kann. Die nächste Schweißung kann dann umgehend beginnen.

In diesem Zusammenhang finde ich es interessant, dass durch diese Besonderheiten des neuen Schweißsystems ernsthaft darüber nachgedacht werden kann, im „Vorkopf-prinzip“ zu arbeiten und somit die Größe der „geöffneten“ Grabenabschnitte erheblich reduziert werden könnte. Auch die Notwendigkeit der Errichtung von Vorrichtplätzen könnte neu überdacht werden. Selbstverständlich kann die eingeübte Verfahrensweise des Vorrichtens und nachträglichen Einziehen in den Graben auch weiterhin angewendet werden.



Bild 18: Einzug vorgerichteter PP-Rohre in den Rohrgraben in Marktredwitz

7 Biegen von geschweißten Rohren und Kabeleinzug

– Ein Biegen der verschweißten Rohrstränge ist in den geforderten Radien möglich.



Bild 19: Symbolfoto TenneT - im Radius verlegte PE-Kabelschutzrohre

– Durch die spezielle Geometrie der Muffe mit einer integrierten Spitzendüberbrückung, nimmt sie die beiden Rohr-Spitzenden auf und sorgt für einen absolut planen Über-gang. Das bedeutet: Mehr Sicherheit und mehr Verlegekomfort – selbst bei Richtungsänderungen und macht den Kabeleinzug sicherer und in beide Richtungen möglich.

8 Zusammenfassung

In den kommenden Jahren sollen in möglichst kurzer Zeit sehr viele Kilometer Kabelschutzrohre für Hoch- und Höchstspannungsleitungen verlegt werden. Das wird für alle Beteiligten, also vom Rohrhersteller bis zu den ausführenden Unternehmen eine große Herausforderung.

Die Themen Verfügbarkeit der benötigten Rohre, der Maschinen, des geeigneten Personals werden dabei eine ebenso große Rolle spielen, wie die Zeit, die zur fachgerechten Verlegung benötigt wird.

Wir sehen daher in unserem Schweißsystem in Verbindung mit den geeigneten Rohr- und Verbindungselementen eine sinnvolle Ergänzung zu den bereits gebräuchlichen Systemen. Durch dieses System erhalten Auftraggeber und ausführende Unternehmen noch mehr Flexibilität und können auch die Dauer einzelner Bauabschnitte positiv beeinflussen.

9 Quellennachweis:

[1] Bundesnetzagentur - Gesamtzusammenfassung Netzausbau - Stand 30.06.2022
[2] Gebr. Ostendorf Kunststoffe GmbH - Informationsmaterial zu Produkt KG2000 "e-line" - 2022
[3] SKZ GmbH - Studie "Ökologisch-ökonomische Bewertung und Verfahrensoptimierung von Fügeverfahren am Beispiel von Kunststoffrohrsystemen" - 2011
[4] Schweißtabelle WIDOS 4900 / 4911 / 4955 / WELD IT 315 / 250 + 315 Compact S / 355 Compact A - 2019
[5] Produktinformationen Schweißmaschinen für PE-Rohr Firma Caldertech Europe - 2022
[6] Regional Heute.de -Medien für die Region GmbH - Symbolfoto TenneT - 2019

Autor:

Dipl.-Ing. Thomas Lindner
SABUG GmbH, 46359 Heiden

Tel.: 0170-5754181
E-Mail:
thomas.lindner@sabug.de
Internet: www.sabug.de



Die Bemessung von Kabelschutzrohren für Einbaubedingungen im Grenzbereich

Auswertung einer Sandkastenprüfung

Von Ricky Selle

In der Infrastrukturmaßnahme SuedOstLink (SOL) aka Stromautobahn Süd-Ost erfolgt der Einbau von Kabelschutzrohren (KSR) DN 280 aus PE-RT außerhalb von Verkehrsflächen im Regelfall in einem breiten Rohrgraben mit 1,50 m Überdeckung (Bild 1). Für diesen Regeleinbau der Rohre ist die Standsicherheit nachzuweisen. Dabei ist in den Werkstoffeigenschaften zu berücksichtigen, dass sich die KSR im Betrieb durch die Kabel erwärmen. Die rechnerischen Nachweise sind grundsätzlich in Anlehnung an die einschlägigen DWA-Regelwerke für den Kanalbau, im Wesentlichen an das ATV-DVKW-Arbeitsblatt 127 (A 127), zu führen. Diese stellen den Stand der Technik für unterirdische Linienbauwerke dar. Vergleichbare Regeln für Kabeltrassen liegen nicht vor.

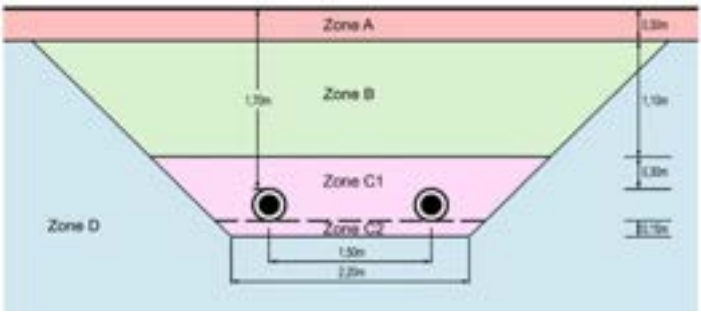


Bild 1: Regelprofil für Kabeltrasse SOL

Eine wesentliche Aufgabenstellung in der Planung besteht darin, Bodenbewegungen im Zusammenhang mit dem Einbau der Kabeltrassen zu minimieren. Nur so können Zeit und Kosten gespart werden. Das ist die Voraussetzung für eine möglichst umweltfreundliche Baumaßnahme. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel, einen möglichst großen Anteil der im Verlauf der Trasse vorhandenen Böden wieder in den Rohrgraben einzubauen. Insofern ist teilweise auch die Verwendung bindiger Böden G3 / G4 in der Leitungszone geplant. Das ist eine wesentliche Abweichung vom Regelwerk für den Kanalbau.

Eine weitere Besonderheit ist, dass im Projekt der Verformungsnachweis das maßgebende Kriterium für die Bemessung ist. Im Mittelpunkt der Standsicherheitsnachweise steht der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Um einen Kabeleinzug nach dem Einbau der KSR zu ermöglichen, ist die rechnerische Ovalisierung der KSR nach einer Betriebsdauer von 10 Jahren so

zu begrenzen, dass der verringerte Durchmesser wenigstens 150 Prozent des Kabeldurchmessers entspricht. Das entspricht einer Grenzverformung von etwa 12 Prozent. Für den verwendeten Werkstoff PE sind diese Rohrverformungen unkritisch im Sinne des Festigkeitsnachweises.

Das o. g. Arbeitsblatt A 127 ist für die Standsicherheitsnachweise nur bedingt anwendbar, da seine Berechnungsansätze anhand von Einbaubedingungen nach DIN EN 1610, d. h. mit nichtbindigen und entsprechend steiferen Böden in der Leitungszone, kalibriert sind. Insofern weichen die berechneten Verformungen deutlich vom tatsächlichen Verhalten der Rohre ab. Außerdem sind die o. g. zulässigen Verformungen etwa doppelt so groß wie in den Regelfällen des Kanalbaus.

Für den Nachweis des Regelprofils werden die Verformungen mit Finite Elemente Analysen (FEA) ermittelt. Dieser Berechnungsansatz ist nach dem A 127 ausdrücklich möglich. Grundlage dieses Ansatzes ist eine verifizierte FEA.

Für die Verifizierung der FEA wurde nach einem Konzept des Verfassers 2022 durch die MFPA Leipzig eine prüftechnische Untersuchung von KSR verschiedener SDR-Klassen unter Einbaubedingungen im Grenzbereich der Modellierung vorangestellt. Insgesamt 10 KSR mit jeweils 1,0 m Länge wurden in einem Sandkasten in Rohrgräben mit verschiedenen G3 / G4 Böden eingebaut. Die Verdichtung der bindigen Böden erfolgte mit sehr einfachen Mitteln, im Wesentlichen durch Andrücken mit der Baggerschaufel, um tatsächliche Bettungsbedingungen im Grenzbereich abzubilden.



Bild 2 und 3: Sandkastenprüfung für die Verifizierung der FEA

Anschließend wurden die Verformungen der Rohre unter hinsichtlich Last und Dauer definierten Einwirkungen sowie unter Temperatureinfluss gemessen. Begleitend dazu wurde die Leitungszone in ihren verschiedenen Ausprägungen hinsichtlich der wesentlichen geotechnischen Parameter Trockendichte, Wassergehalt und Verdichtungsgrad untersucht. Außerdem wurde die Verfüllung und Verdichtung der Zwickelbereiche neben der Rohrsohle dokumentiert, die bei den gewählten Bodengruppen nur eingeschränkt möglich ist.

Die KSR wurden aus versuchstechnischen Gründen mit einer geringen Überdeckung von 0,40 m eingebaut. Die zusätzlichen vertikalen Bodenspannungen in Scheitelhöhe, die sich im Regeleinbau mit 1,50 m Überdeckung ergeben, wurden im Sandkasten nach der Verfüllung des Rohrgrabens durch Betongewichte auf der Überdeckung eingebracht.

Der Wärmeeintrag in die KSR durch die Kabel wurde durch wasserdurchströmte Gewebeschläuche in der Sohle der Rohre mit einer Manteltemperatur von etwa 60 °C simuliert. Die Temperatur wurde eingestellt, nachdem die KSR bereits etwa 500 Stunden unter dem Einfluss der Betongewichte standen.

Auf diese Weise konnte der Einfluss von Lastniveau und -einwirkungsdauer sowie der Temperatureinfluss (Absenkung des E-Moduls der Rohre) schrittweise und so weit wie möglich unabhängig voneinander erfasst werden. Beispielhafte Verformungskurven sind im Bild 4 dargestellt.

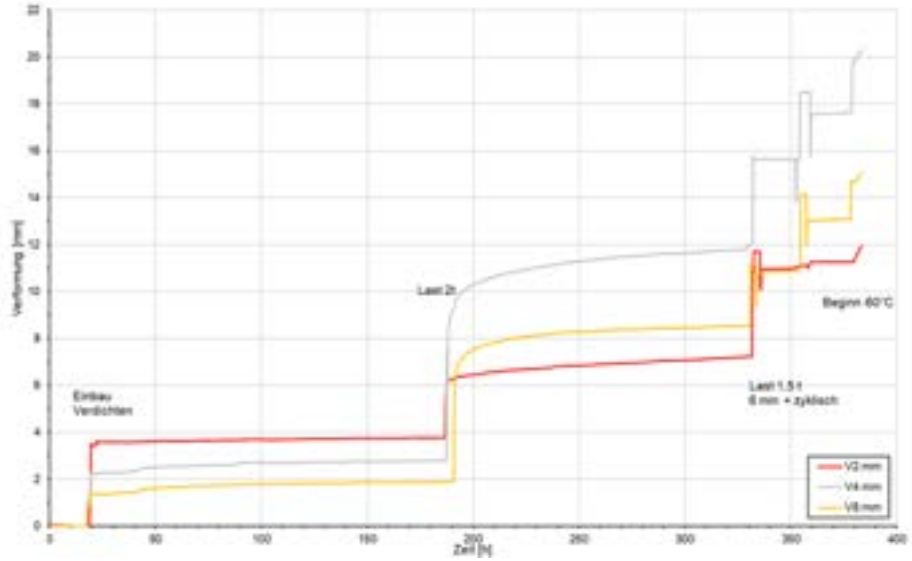


Bild 4: Verformungsmessung KSR

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Sandkastenprüfung und der darauf aufbauenden FEA konnte der Standsicherheitsnachweis für KSR in der SDR-Klasse 26 (SN 4) geführt werden – in Kombination mit einem G4-Boden mit einem Verdichtungsgrad von 90 Prozent (nach A 127), woraus sich eine sehr geringer Verformungsmodul (1,5 MPa) der seitlichen Bettung ergibt. Die Berechnungen berücksichtigen dabei einen kleinen Bettungswinkel durch die fehlende Bettung der Rohre im Zwickelbereich.

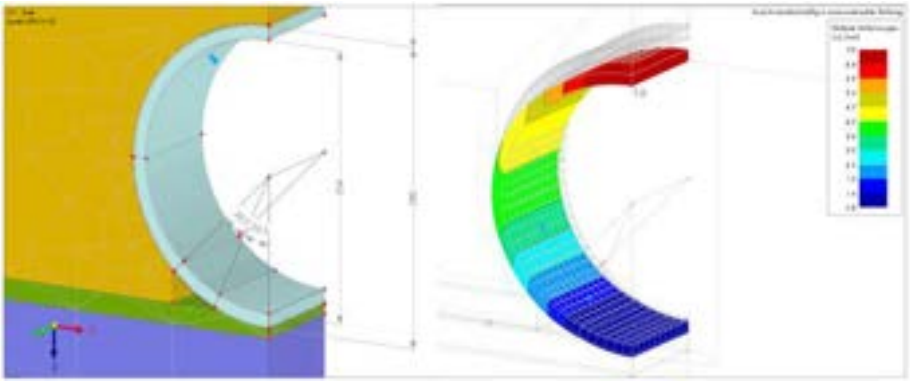


Bild 5 und 6: FEA (Modell und rechnerische Verformungen)

Die maximalen rechnerischen Verformungen unter ständigen und veränderlichen Lasten betragen am Ende der technischen Nutzungsdauer unter Kriech- und Temperatureinfluss etwa 3,5 Prozent. Das Ergebnis der FEA liegt bei der Hälfte der Verformungen, die sich mit den Ansätzen nach dem DWA-Regelwerk ergeben. Die Einhaltung der Grenzverformungen für die KSR bei Einbaubedingungen im Grenzbereich kann auf diese Weise mit einem ausreichenden Sicherheitsniveau gezeigt werden.

Autor:

Dr.-Ing.
Ricky Selle
Selle Consult GmbH, Leipzig



Tel.: +49 341 30824-10
E-Mail:
info@selle-consult.de
Internet:
www.selle-consult.de

Praxiserfahrung aus Verlegung von Kabelleerrohren für 30 kV und 110 kV im Großraum Frankfurt am Main

Von Amel Kurtović

1 30 kV Trasse UW 84 bis UW 81

1.1 Veranlassung und Aufgabenstellen

Die Netzdienste Rhein-Main (NRM) planen den Neubau einer Stromtrasse im Norden von Frankfurt mit einer Trassenlänge von rd. 6,2 km. Die Kocks Consult GmbH wurde seitens der Netzdienste Rhein-Main GmbH mit der Planung, Ausschreibung und Bauoberleitung der 30 kV beauftragt.

1.2 Planungsgebiet

Die geplante 30 kV Trasse befindet sich nord-westlich des Zentrums der Stadt Frankfurt am Main in den Stadtteilen Praunheim, Ginnheim und Heddernheim. Die geplante ca. 6,2 km lange Trasse verbindet zwei Umspannwerke. Die 30 kV Trasse verläuft zum größten Teil in befestigten Straßen und Gehwegen. Das Planungsgebiet wird durch eine großflächige Wohnraumsiedlung mit Mehrfamilienhäusern, dem Nordwestzentrum an der Rosa-Luxemburg Straße und der südlich gelegenen Nidda, deren Altarme und dem Volkspark Niddatal geprägt.

1.3 Trassenverlauf

Insgesamt wurde die Trasse in sechs Genehmigungsabschnitte (GA) unterteilt. Die GA sind den Bauabschnitten (BA) gleichzustellen und können unabhängig voneinander ausgeführt werden, sodass der Bau der Trasse innerhalb von fast drei Jahren realisiert werden kann. Seitens der Netzdienste RheinMain wurde eine Verlegung der Leitungen innerhalb des Gehwegs angestrebt. Aufgrund des Trassenbestandes war die Verlegung im Gehweg nicht immer möglich.
Die geplante Kabelleerrohrtrasse verläuft vorwiegend entlang von Haupt- und Nebenstraße sowie in den Gehwegen. Aufgrund der notwendigen Querung der Nidda, der Straßenbahngleise und des Landschaftsschutzgebietes (Niddapark) wird die Kabelleerrohrtrasse in diesen Bereichen in unterirdischer Bauweise mittels HDD-Bohrspülung verlegt. Dabei werden die Kabelleerrohre gebündelt eingezogen.

1.4 Genehmigungsplanung

Neben der Trassenzustimmung der Fremdgewerke musste berücksichtigt werden, dass die Trasse durch mehrere Schutzgebiete verläuft.

- Trinkwasserschutzgebiet
- Denkmalschutzgebiet
- Landschaftsschutzgebiet

Hierfür mussten Genehmigungen eingeholt werden. In Teilbereichen müssen vorhandenen Versorgungstrassen (Gas, Trinkwasser und Strom) umgelegt werden. Im Vorfeld der

Ausführungsplanung mussten umfangreiche Suchschachtungen zur Verifizierung der Trassenlage durchgeführt werden und der Trassenverlauf entsprechend angepasst werden.
Im Zuge der Ausschreibung waren detaillierte Verkehrsführungs- und Baustelleneinrichtungspläne auszuarbeiten und diese mit dem Straßenverkehrsamt der Stadt Frankfurt am Main abzustimmen. Die Vorgaben aus diesen Abstimmungen inkl. eines detaillierten Ablaufplanes mit Erfassung aller bekannten parallel verlaufenden Maßnahmen waren die Grundlage für die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen

1.5 Kabelleerrohre

Im Rahmen der Planung wurde festgelegt, dass die Kabelsysteme durchgehend in Kabelschutzrohren (PE-HD) verlegt werden. Die Verlegung der Meldekabel erfolgt in Kabelschutzrohren DN 125 die Verlegung der Stromkabel in Kabelschutzrohren DN 200. Zur Gewährleistung erforderlicher Kabelzuglängen wurden die Rohre entlang der gesamten Trasse mit Biegeradien von ≥ 1,50 m trassiert.
Die Verfüllung der Leitungszone ist in Sand geplant. Bei Verlegung der Trasse im Straßenbereich erfolgt die Verfüllung der Leitungszone mit hoch wärmeleitfähigem Beton. Die Mindestüberdeckung beträgt 1,0 m.

2 110 kV Trasse Riederwald

2.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Durch den geplanten Bau des Riederwaldtunnels am Ausbauende der A 66 Fulda – Frankfurt sind im Vorfeld der eigentlichen Tunnelbaumaßnahme umfangreichen Trassenumlegungen in weiten Teilen des östlichen Frankfurter Stadtgebiets notwendig.
Die Baufeldfreimachung für den Tunnelbau bedingt u. a. die Umlegung bestehender Stromtrassen im Frankfurter Osten. Die Kocks Consult GmbH wurde mit der örtlichen Bauüberwachung seitens der Netzdienste Rhein-Main GmbH beauftragt.

2.2 Trassenverlauf

Die Trasse mit einer Länge von rd. 2,0 km verläuft zwischen den Stadtteil Fechenheim, Bergen-Enkheim und Riederwald. Im Trassenverlauf wurden die Eisenbahngleise der Deutschen Bahn im geschlossenen Rohrvortrieb gequert.

2.3 Rohrvortrieb Gleisquerung

Für die Querung der Geleise der Deutschen Bahn wurde ein Medientunnel parallel zur Lahmeyerbrücke aus Stahlbetonrohren DN 1600 mit einer Länge von ca. 110,0 m und einer Tiefe von ca. 7,70 m hergestellt. Für die Kabeltrasse wurden 28 Kabelschutzrohre in den Nennweiten DN 125 und DN 160 verlegt. Des Weiteren wurde eine Gashochdruckleitung DN 400 verlegt.



Bild 1: Einzug Kabelleerrohre

2.4 Offener Trassenbau

Die restlichen Trasse, die sich in die Nordtrasse und die Südtrasse unterteilt, mit einer Länge von rd. 1,8 km wurden in offener Bauweise hergestellt. Die Nordtrasse (nördlich der Stadtbahntrasse) umfasst eine Baulänge von ca. 1.000 m.
Die Südtrasse ab der Querung der Gleise der Deutschen Bahn bis zur Stadtbahntrasse umfasst eine Trassenlänge von ca. 790 m.
Das verlegte Paket aus Kabelschutzrohren besteht im Wesentlichen aus 13 Stück Rohren der Nennweite DN 125 sowie aus 30 Rohren der Nennweite DN 160.
Die Rückverfüllung der Kabelschutzrohrtrasse erfolgte mit Flüssigboden. In Teilbereichen wurde statt dem Flüssigboden ein thermisch stabilisierter Beton verwendet.



Bild 2: Verlegung Kabelleerrohre

Autor:

Dipl.-Ing. Amel Kurtović
Kocks Consult GmbH, Frankfurt

Tel.: 069 420989-40
E-Mail:
kurtovic@kocks-ing.de
Internet:
www.kocks-ing.de



KOCKS CONSULT GMBH

KOCKS INGENIEURE

Planung und Bauleitung von Bauwerken und Netzen der Infrastruktur







www.kocks-ing.de

KOCKS CONSULT GMBH • Stegemannstraße 32-38 • 56068 Koblenz • info@kocks-ing.de
KOCKS CONSULT GMBH • Darmstädter Landstraße 114 • 60598 Frankfurt/M • infoffm@kocks-ing.de
KOCKS CONSULT GMBH • Wesselstraße 1 • 53113 Bonn • infobonn@kocks-ing.de

Wasser-stoff in meinem Netz und jetzt?

H2-ready? Wir unterstützen Sie bei der Tauglichkeitsbewertung Ihrer Leitungen und Assets.

Gemeinsam wollen wir die bereits bestehende Erdgas Infrastruktur für Wasserstoff sinnvoll weiternutzen.

- Wir helfen Ihnen, die Datengrundlage für Ihre H2-readiness zu schaffen und die Inhalte Ihrer Materialzeugnisse in Ihre Datenbank zu übertragen.
- Sie haben Ihre Bauteilinformationen bereits digitalisiert? Wir unterstützen Sie bei der Tauglichkeitsbewertung Ihrer Leitungen und Assets.
- Wir begleiten Ihren Transformationspfad in die neue Wasserstoffwelt.



Mehr Infos unter **www.oge.net**

OGE

C
Wasserstoff und andere Gase – Ein Beitrag zur Versorgungssicherheit

1
Leitungssysteme für Wasserstoff anstelle von Erdgas

Gasverteilnetze – Technische Voraussetzungen bei einer Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff

Von Werner Weßing

Wasserstoff wird als Gas der Zukunft gehandelt und soll auf einem mittelfristigen Zeitstrahl zunehmend Erdgas verdrängen. National als auch auf europäischer Ebene ist in diesem Segment eine hohe Dynamik feststellbar. Insbesondere in Fachzeitschriften wird vielseitig über Aktivitäten der Gasindustrie berichtet. Aufgestellte Wasserstoffstrategien geben den Anstoß dazu, notwen-dige Entwicklungen von neuen Wasserstofftechnologien durchzuführen. Der Prozess läuft be-reits mit hoher Dynamik an Universitäten, Hochschulen und bei Industrieunternehmen ab und ist aus heutiger Sicht unumkehrbar, damit die Klimaziele 2030 und letztendlich in 2045 erreicht werden können.

Wasserstoff als grünes Gas kann dabei

- als ein vielseitig einsetzbarer Energieträger der Zukunft gesehen werden / 1 /,
- die volativ erzeugten erneuerbaren Energien speicherbar machen und damit zu einem Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage sorgen,
- den erforderlichen Ausbau des Stromnetzes auf allen Spannungsebenen bei Nutzung der Gasinfrastruktur reduzieren und
- den Weg zur notwendigen Sektorenkopplung und Dekarbonisierung eröffnen.

Voraussetzung dafür ist eine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur auf allen Ebenen, vom Transport, über Speicherung bis hin zum Anschluss von Kunden an das Gasverteilnetz. Langjährige Erfahrungen liegen bereits damit in Deutschland vor. In / 2 / wird davon berichtet, dass aktuell ein 250 km langes Gastransportnetz aus Stahl mit einem Betriebsdruck von 25 bar ohne Auffälligkeiten schon über viele Jahre betrieben wird. Auf der Gasverteilnetzebene können auf internationale Erfahrungen sowie auf die Vor-Erdgaszeit mit Stadtgas verwiesen werden. Netz- und Anlagenerfahrungen liegen somit vor.

Die Übertragbarkeit von möglichen Wasserstoffauswirkungen auf die heutige aufgebaute Gasinfrastruktur ist jeweils objektbezogen durch den Netz- und Anlagenbetreiber nachzuweisen. Der DVGW, als Dachverband der Gas- und Wasserwirtschaft, stellt sich mit den Fachgremien dieser Aufgabe. Neue Leitfäden wurden hierzu bereits verfasst und die vorhandenen Erdgas-Arbeitsblättern werden aktuell technisch geprüft und bei Bedarf auch ergänzend. Wesentlicher Impulsgeber waren die Ergebnisse aus DVGW-Forschungsprojekten und die gemeinsam mit Netzbetreibern durchgeführten Pilotvorhaben. Beispielhaft können hierzu die Projekte in Klanxbüll/ Neukirchen / 3, 4 / und Fläming / 5 / genannt werden

Zusammenfassend kann gesagt werden, die Energiewirtschaft nicht nur die Gaswirtschaft muss den allgemein, politisch vorgegebenen Transformationsprozess aufnehmen, aber dazu den

Ingenieuren Raum geben, Lösungen zu erarbeiten. Dies geht von der Produktentwicklung bis hin zur Umstellung von Netzen.

1 Allgemein

Die vorliegen Merkblätter G 221 (M), G 409 (M), G 408 (M), G 407 (M) und G 655 (M) (Abb.1) sind zur Umstellung von Pilotprojekten praktikabel und dienen in erster Linie der kurzfristigen Absicherung der Anwendbarkeit des DVGW-Regelwerks über die gesamte Wertschöpfungskette im Rechtsrahmen des EnWG. Die entsprechenden DVGW-Arbeitsblätter befinden sich derzeitig in der Prüfung zur H2-Readyness. Insbesondere eine offene Frage besteht bei den Netzbetreibern: die Druckprüfung von Rohrnetzen. Hierzu läuft aktuell ein DVGW-Forschungsprojekt.

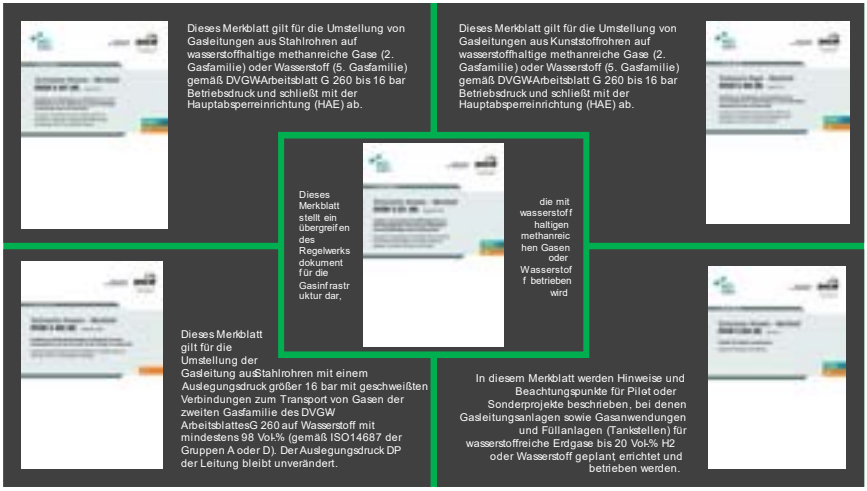


Abb. 1: Übersicht über umstellrelevante DVGW- Merkblätter für Gasnetze (von Erdgas auf methanreiche Gase der 2. Gasfamilie sowie der 5. Gasfamilie)

Für den Betrieb der umgestellten Netze können in erster Näherung die DVGW-Arbeitsblätter G 466-1 (> 16bar) bzw. G 465_ 1,2,3 (< 16 bar) und 4 herangezogen werden. Die Blätter der G 465 sind aktuell hinsichtlich der Auswirkungen von Wasserstoff und den auf die Netzbetreiber zukommenden EU-Forderungen “Methanverluste“ in den technischen Gremien des DVGW in Diskussion.

Basis einer Umstellung eines bestehenden Gasnetzes auf ein methanreiches Gas der 2. Gasfamilie (Blending) oder von Erdgas auf die 5. Gasfamilie (Wasserstoff) sind

– Netzdokumentation,
– die Ergebnisse der vorhandenen Druckprüfung und
– ein belegbarer regelkonformer Betrieb des Netzes.

Insbesondere bei nicht hinreichender Netzdokumentation sind im Umstellprozess verstärkte Analysen im Netz durchzuführen und die Dokumentation vor der Umstellung zu vervollständigen.

2 Netzeinstufung / wesentliche Änderung aufgrund eines Gasartenwechsels

Die Netzklassifizierung ist ein wesentliches Element im Umstellprozess, um Netze aufgrund von Gasbeschaffenheitsänderungen neu zu bewerten. Im EnWG wird darauf verwiesen.
Danach liegt eine wesentliche Änderung eines Netzes vor, wenn die Änderung der physikalischen oder chemischen Eigenschaften des Fördermediums die Sicherheit der Gasinfrastruktur beeinträchtigen. Wird ein Wechsel von methanreichen Gasen der 2. Gasfamilie auf die 5. Gasfamilie vorgenommen, handelt es sich unabhängig vom Druck immer um eine wesentliche Änderung. Der Umstellprozess ist dabei durch einen Sachverständigen zu begleiten, sofern der betroffene Leitungsabschnitt bzw. die betroffene Anlage nicht bereits für Gase der 5. Gasfamilie ausgelegt wurde.

Für Leitungen und Anlagen, die für einen maximal zulässigen Betriebsdruck bis einschließlich 16 bar ausgelegt sind, ist vom Betreiber für wasserstoffhaltige methanreiche Gase der 2. Gasfamilie zu bewerten, ob es sich um eine wesentliche Änderung handelt. Hierdurch ergeben sich Handlungsoptionen vor Ort.

Für Gasverteil- und transportnetze bis einschließlich 16 bar Betriebsdruck ist davon auszugehen, dass nach heutigem Stand des Wissens diese mit bis zu 20 % Wasserstoffanteilen beaufschlagt werden können. Limitierende Wasserstoffanteile einzelner Anlagen und Objekte der Gasversorgung können den zulässigen Wasserstoffanteil allerdings abschnittsweise begrenzen (z. B. CNG-Tankstellen, Gasturbinen).

In der G 221 (M) wird als Fußnote bereits darauf verwiesen, dass bereits heute in Pilotprojekten im Druckbereich < 16 bar mit einem Wasserstoffanteil von bis zu 30 Vol.-% Tests durchgeführt werden. Dabei wurden alle anwendungsspezifischen Gasgeräte beim Kunden vorab einem Test unterzogen und im Grenzfall gegen ein Neugerät ausgetauscht. Konkrete Hinweise hierzu können aus der G 655 (M) entnommen werden.

Ergänzend zu den ‘Blending-Projekten‘ sind erste > 98 Vol.-%- Wasserstoff-Piloten bei deutschen Netzbetreibern in Vorbereitung. Gemäß einer aktuellen BDEW-Statistik aus Juli 2022 stehen zzt. in Deutschland 13 Wasserstoff-Projekte bis 2024 in der Umsetzung. Weitere 11 Projekte befinden sich in der Planung (Abb. 2).



Abb. 2: Übersicht über Wasserstoffprojekte in Deutschland, BDEW-Statistik, Juli 2022

3 Gasnetze

Druck, Material, Betriebsweise, Transportmedium; Kapazität

Ein mögliches bruchmechanisches Versagen einer Leitung könnte z.B. auf das ausgewählte Material, die Betriebsweise der Leitung (Höhe des Betriebsdruckes, stationär bzw. wechselnder Druck) und das Transportmedium (z.B. Wasserstoff) zurück zuführen sein. Hierzu wurden und werden noch international als auch national weiterführende Untersuchungen durchgeführt. Erste Tendenzen sind aber schon ableitbar, wie z.B. für

– Stahlmaterialien mit Mindeststreckgrenzen > 360 N/mm²
  Im Druckbereich > 16 bar auf der Transportebene sind Stahlleitungen in unterschiedlicher Güte verbaut worden. Überwiegend werden dort Werkstoffe mit Mindeststreckgrenzen > 360 N/mm² eingesetzt. Dazu kommt noch erschwerend eine wechselnde Beanspruchung aufgrund von Druckschwankungen. Sollen derartige Netze umgestellt werden, sind heute aus dem DVGW-Merkblatt G 409 (M) entsprechende Hinweise zu entnehmen. Aktuell werden im Auftrag des DVGW an der MPA in Stuttgart mit Unterstützung von Fachkollegen aus der Open Grid Europe Untersuchungen an unterschiedlichen Stahlmaterialien durchgeführt / 6 /. Zur Absicherung der Materialien mit einer Mindeststreckgrenze < 360 N/mm² - in der Regel in der Anwendung < 16bar – werden im F&E-Projekt auf Vorschlag des TK Gasverteilung auch dazu ergänzende Untersuchungen durchgeführt. Mit einem Projektabschluss ist in 2023 zu rechnen. In / 7 / wurde herausgestellt, dass eine Umstellung von Transportnetzen gegenüber einem Neubau nur Kosten von 25% eines Neubaus erwarten lassen. Die Analyse wurde an einem 400 km langen, bestehenden Transportnetzes durchgeführt. Dies zeigt auch, welch hohes Potenzial Bestandsleitungen haben, dass bei eine zielgenauen Herangehensweise Investitionen als auch Zeit im Transformationsprozess eingespart werden können.

– Stahlmaterial mit Mindeststreckgrenzen < 360 N/mm².
  Im Druckbereich < 16bar auf der Verteilnetzebene sind i.d.R. Stahlmaterialien mit einer Mindeststrecke < 360 N/mm² eingebaut. Die Rohrwand ist überdimensioniert. Gleichzeitig kann von einer ruhenden Belastung ausgegangen werden. Der anstehende Betriebsdruck liegt vielfach deutlich niedriger. Unter Berücksichtigung eines Nutzungsgrades von max. 0,5 ist davon auszugehen, dass eine Wasserstoffversprödung nicht eintritt und daher keine bruchmechanischen Materialbewertungen erforderlich sind. Die Parameter Mindeststreckgrenze des Materials mit < 360 N/mm² und ein Nutzungsgrad von max. 0,5 ist für den aktuell anliegenden Betriebsdruck (OP) vor der Wasserstoffeinspeisung nachzuweisen / 7 /. Ein Berechnungsformular befindet sich im Anhang der G 407 (M). Sollte ein technischer Nachweis nicht möglich sein, hat die Umstellung gemäß den Vorgaben der G 409 (M) zu erfolgen.

– Kunststoffrohrsysteme < 16bar.
  Rohre und Formteile aus den Werkstoffen Polyethylen PE63, PE80 und PE100, Polyethylen mit erhöhter Rissbeständigkeit PE100-RC, Polyamid-Werkstoff PA-U12 (bis 16 bar) und weitere Kunststoffe (z. B. PVC) sind für die Verteilung und den Transport von Wasserstoff bis 16 bar grundsätzlich geeignet / 8, 9 /. Für den Anwendungsbereich des DVGW Arbeitsblattes G 472 werden auch wasserstofftaugliche PE-X Rohre und Armaturen kommerziell angeboten.
  Hinweise zur Bewertung dieser Materialien sind im Merkblatt G 408 zusammenfassend dargestellt. Sollte das eingesetzte Material im Netz nicht ausreichend dokumentiert sein, sind vorgelagert entsprechende Materialuntersuchungen durchzuführen.
  Kunststoffleitungen und Komponenten (Kunststoffrohrsysteme) weisen grundsätzlich materialspezifisch eine materialbedingte Gasdurchlässigkeit, auch Permeation genannt, auf. Dies ist aus Betreibersicht nicht betriebsrelevant. Auch bei Netzen für den Betrieb mit Wasserstoff nach der 5. Gasfamilie sind Kunststoffrohrsysteme weiterhin einsetzbar, auch wenn

der Permeationskoffizient zu Wasserstoff hin ansteigt. Mehrschichtkonstruktionen bieten mit integrierter Sperrschicht (Aluminium- bzw. Kunststoffschicht) eine technische Möglichkeit, die Gasdurchlässigkeit weiter zu verringern, ohne die positiven Verlegeeigenschaften von Kunststoffrohrsystemen für die Netzbetreiber zu verändern / 10 /.
DVGW-seitig wird zu diesem Themenkomplex aktuell eine F&E-Projekt vorbereitet. Ziel des Projekts ist es, den Nachweis zu erbringen, dass netzspezifische, notwendige Arbeiten an Rohren in Mehrschichtkonstruktion weiterhin möglich sind, z.B. eine Absperrblase setzen, Abquetschen, Schweißen, usw.

4 Handlungsempfehlungen zur Umstellung von Gasleitungen für den Betrieb mit wasserstoffhaltigen methanreichen Gasen oder Wasserstoff

Mit dem Erscheinen der DVGW-Merkblätter G 409 (M), G 407 (M) und G 408 (M) sind erste Handlungsempfehlungen zur Umstellung von Gasleitungen veröffentlicht worden. Grundsätzlich wird empfohlen, auch wenn im ersten Schritt mit Mischgas (Wasserstoff/Methan) gearbeitet werden soll, die Bewertung von Netzen schon für eine Umstellung auf reinen Wasserstoff vorzunehmen.

Dabei ist im Druckbereich < 16 bar bei einer geplanten Zumischung bis zu 20 Vol.-% an Wasserstoff seitens des Netzbetreibers zu entscheiden, ob ein Sachverständiger hinzugezogen wird.

– **Handlungsempfehlungen zur Umstellung von Gasleitungen für den Betrieb mit wasserstoffhaltigen methanreichen Gasen oder Wasserstoff > 16 bar**

  Die Gremienarbeit das Merkblatt G 409 (M) in ein DVGW-Arbeitsblatt zu überführen, wird voraussichtlich Mitte 2023 aufgenommen. Zurzeit wird in einer Arbeitsgruppe des DVGW das bruchmechanische Verhalten genauer beschrieben und die Ergebnisse sollen anschließend in einer G 464 veröffentlicht werden.

– **Handlungsempfehlungen zur Umstellung von Gasleitungen für den Betrieb mit wasserstoffhaltigen methanreichen Gasen oder Wasserstoff < 16 bar**

  Im Gasverteilnetzbereich sind erstmalig mit den Merkblättern G 407 (M) und G 408 (M) DVGW-seitig konkrete Handlungsempfehlungen zur Umstellung von Stahl- und Kunststoffleitungen vorgelegt worden. Hierbei wurden die Erfahrungen aus Pilotnetzen genutzt.

  Konzentrationsseitig gibt es eine Gliederung in drei Wasserstoffstufen:
  – </= 10 Vol.- % (A 1),
  – </= 20 Vol.-% (A 2) und
  – > 20 Vol.-% (B 1).

  Bei den beiden erst genannten Stufen (A 1, A 2) handelt es sich aufgrund der geringen Gasbeschaffenheitsänderungen im Sinne des Merkblattes um **keine wesentliche**

Änderung. Bei der Stufe B 1 mit > 20 Vol.-% an Wasserstoff liegt bewertungstechnisch immer eine **wesentliche Änderung** vor. Hier ist grundsätzlich ein Sachverständiger hinzuzuziehen.

	Daten-Quelle	Symbol	Einheit	Methan G 20	+ 10% H2	+ 20% H2	+ 30% H2	+ 50% H2	+ 70% H2	100% H2
Gaskennwerte										
Brennwert (25/0)	1	Hsv	kWh/m³	11,06	10,31	9,55	8,80	7,29	5,79	3,54
Heizwert (25/0)	1	Hiv	-	9,97	9,27	8,57	7,87	6,47	5,08	3,00
Relative Dichte	1	d	-	0,555	0,506	0,457	0,409	0,312	0,215	0,070
Wobbe index 25/0	1	Ws	kWh/m³	14,85	14,49	14,12	13,76	13,06	12,50	13,43
unterer Wobbe Index 25/0	1	Wi	MJ/m³	13,38	13,03	12,67	12,31	11,60	10,97	11,36
Verbrennung und Abgas										
Luftbedarf	1	m	m³/m³	9,57	8,84	8,12	7,40	5,97	4,53	2,39
Luftzahlzunahme ggü. Grundeinstellung von 1,3	2	λ	-	1,30	1,33	1,37	1,40	1,48	1,55	1,44
Maximaler CO2-Gehalt im Abgas	1	CO2max,tr	%	11,7	11,5	11,1	10,7	9,6	7,8	0,0
Minimales Abgasvolumen trocken	1	Imin	m³/m³	8,56	7,89	7,22	6,55	5,22	3,88	1,89
Taupunkttemperatur	1	t	°C	55,3	55,8	56,4	57,0	58,7	61,2	68,5
Wassergehalt bei Lambda =1	1	H2O	g/m³Abgas	153	157	161	167	181	203	282
Wassergehalt pro kWh	2	H2O	g/kWh	146	148	152	155	165	180	227
Wassergehalt pro kWh	2	H2O	%	100%	102%	104%	107%	114%	124%	156%
Wassergehalt pro Brenngasvolumen	2		g/m³ Brenngas	1611	1530	1449	1368	1206	1045	804
Netzbetrieb und Gerätebetrieb										
Steigerung Volumenstrom a)	2	-	%	100%	107%	116%	126%	152%	191%	312%
Leistungsreduktion b)	2	-	%	0,0%	2,5%	4,9%	7,4%	12,0%	15,9%	9,6%
Umwelt										
CO2-Emission	1	CO2	g/kWh	197	191	184	175	152	116	0
CO2-Ersparnis	2	CO2	%	0%	3%	7%	11%	23%	41%	100%
Sicherheitsaspekte										
untere Zündgrenze	3,4	-	Vol.-%	4,4	4,36	4,31	4,27	4,0	4,0	4,0
obere Zündgrenze	3,4	-	Vol.-%	16,5	17,9	19,6	21,6	29,0	48,0	77,0
Mindest-Zündenergie (fett hinterlegt sind Messwerte)	4	-	mJ	**0,23**	0,17	**0,11**	**0,097**	0,09	0,075	**0,017**
Zündtemperatur	6	-	°C	645	-	-	-	-	-	530
Temperaturklasse (MIT > 450°C)	4	-	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Zündwahrscheinlichkeit (IGEM/TD/2 70b/914mm)	5	-	%	81,5	81,7	82,0	82,5	83,0	84,0	100
max. Expl.-Druck (fett hinterlegt sind Messwerte)	4	-	bar	**8,2**	**8,2**	8,15	8,1	7,95	7,98	**8,0**
KG-Wert (fett hinterlegt sind Messwerte)	4	-	bar*m/s	**68,4**	**70,6**	79,3	88,0	~ 110	~ 350	**800,4**
Normspaltbreite (fett hinterlegt sind Messwerte)	4	-	mm	**1,15**	**1,10**	1,01	0,93	**0,75**	0,55	**0,29**
Temperaturklasse (MIT > 450°C)	4	-	-	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Explosionsgruppe II	4	-	-	A	A	A	B*	B	B	C

Tabelle: Zusammenstellung von gasspezifischen Kenndaten von Methan bis zu reinem Wasserstoff /11

* Falls eine Konzentrationsabschaltung im Netz vorgesehen ist, kann eine neue Explosionsgruppe festgelegt werden. Zur Info: der angegebene Wasserstoffgrenzwert als Spaltenüberschrift ist als Maxmal-Wasserstoff zu verstehen.

Der Anzahl an Bauteil- und Komponentenbewertungen aus dem Netz richtet sich nach den Wasserstoffstufen:

- Stufe A 1.1 — 10% der Bauteile/ Komponenten
- Stufe A 1.2 — unzureichende Dokumentation
  10% der Bauteile / Komponenten
- Stufe A 2.1 — 30% der Bauteile/ Komponenten
- Stufe A 2.2 — unzureichende Dokumentation
  alle Bauteile / Komponenten
- Stufe B 1 — alle Bauteile / Komponenten

Bei der Auswahl an Bauteilen und Komponenten sollten die Bauteile und Komponenten zwingend aufgenommen werden, die bereits bei Erdgas Auffälligkeiten zeigten / 12,13 /.

Ergänzend dazu wurden durch die technischen Gremien in den Merkblättern G 407 und G 408 erste Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Wasserstoffklassen im Netz zusammengestellt.

Beispielhaft sind hier die Handlungsempfehlungen der Wasserstoffklasse A 2.2, Wasserstoff </= 20 Vol.-% für Stahl- und Kunststoffrohre aufgeführt.

Im Detail:

Merkblatt G 407 (M)_ Stahl < 16bar_ unzureichende Netzdokumentation
- betriebstechnische Analyse des gesamten Netzes (neben Rohren insbesondere Armaturen, Materialien, Bauteile und weitere Komponenten) (Material, Bauteile, Komponenten)
- Auswertung der entsprechenden Schadensstatistik des Leitungssystems (gestaffelt nach Linien- und Punktobjekten)
- Durchführung von Einzelbewertungen bei auffälligen Fehlern aus der Schadensstatistik
- Erkenntnisse aus einem vorhandenen kathodischen Korrosionsschutz sind in die Bewertung mit einzubeziehen
- zeitnahe Rohrnetzüberprüfung vor und nach der Einspeisung (danach jährlich eine Überprüfung in den nächsten zwei Jahren)
- Entnahme von repräsentativen Proben aus dem Netz (Rohr, Verbinder, Dichtungen und Baugruppen) zur Einzelfallbewertung
- Aufbau oder Ergänzung der vorhandenen einer Dokumentation

Merkblatt G 408 (M)_ Kunststoff < 16bar _unzureichende Netzdokumentation
- betriebstechnische Analyse des gesamten Netzes (neben Rohren insbesondere Armaturen, Materialien, Bauteile und weitere Komponenten) (Material, Bauteile, Komponenten)
- Auswertung der entsprechenden Schadensstatistik des Leitungssystems (gestaffelt nach Linien- und Punktobjekten)
- Einzelbewertung der Art und Häufigkeit der Fehler aus der Schadensstatistik (z. B. Versagen durch Punktlast, Schweißfehler)
- zeitnahe Rohrnetzüberprüfung vor und nach der Einspeisung (jeweils eine Überprüfung in den nächsten drei Jahren) der Einspeisung
- jährliche Rohrnetzüberprüfung in den nächsten drei Jahren nach Einspeisung
- Entnahme von repräsentativen Proben aus dem Netz (Rohr, Verbinder, Dichtungen und Baugruppen). Zur Materialspezifizierung wäre der Einsatz des Strain Hardening (SH-Test) bzw. zur Bestimmung des Gehaltes an Stabilisator ohne OIT-Messung möglich. Gleichwertige andere Untersuchungsmethoden sind einsetzbar.
- Aufbau oder Ergänzung der vorhandenen einer Dokumentation

Letztendlich hat der Netzbetreiber ggf. unter Einbindung eines Sachverständigen einen gasnetzbezogenen Umstellplan zu entwickeln und zu dokumentieren.

5 Kapazitätssteigerung eines Netzes durch eine vorgezogene Druckanhebung

Aufgrund der geringeren Energiedichte von Wasserstoff zu Erdgas kann es im Einzelfall erforderlich werden, zur Kapazitätserhöhung eines Netzes eine Druckerhöhung durchzuführen. Diese sollte noch unter Erdgasbedingungen erfolgen. Im Stahlbereich ist hierzu das DVGW-Arbeitsblatt G 458 (A) heranzuziehen. Für Kunststoffnetze ist aktuell das DVGW-Arbeitsblatt G 457 (A) gültig.

Aktuell laufen in den DVGW- Gremien die Arbeiten zur Neustrukturierung der technischen Blätter “Druckanhebung von Netzen“. Im Stahlrohrbereich werden wohl nach erster Beratung größere Anpassungen vorgenommen werden.

Die dabei bereits vorgenommenen Maßnahmen zur Druckerhöhung eines Netzes können teilweise auch im Rahmen einer späteren Netzumstellung auf Wasserstoff genutzt werden.

6 Gasströmungswächter im Netzanschluss

Die Einbauvorgaben eines Gasströmungswächters sind im DVGW-Arbeitsblatt G 459 (A) festgelegt. Bei einer bauteil- / komponentenbezogenen Wesentlichen Änderung, z.B. Austausch einer HEK, ist im Druckbereich > 25 mbar weiterhin nachträglich ein Gasströmungswächter einzubauen.

Die Frage, wie gehen wir bei einer Umstellung von Erdgas auf methanreiche Gase der 2. Gasfamilie bzw. die 5. Gasfamilien mit Netzanschlussleitungen um, wurde im TK Gasverteilung diskutiert.

Grundsätzlich besteht die Offenheit Gasströmungswächter der Typenreihe mit und ohne Überströmbohrung weiterhin einzubauen. Es wird allerdings empfohlen, in reinen Wasserstoffnetzen beim Neubau Gasströmungswächter ohne Überströmöffnung einzusetzen.

Bei bereits eingebauten Gasströmungswächtern sind ergänzende Maßnahmen erforderlich, mit dem Ziel, dass die eingesetzten Gasströmungswächter weiter genutzt werden können. Hierzu sind nachfolgende Schritte erforderlich:

- Der Netzbetreiber hat sich beim Produkthersteller zu vergewissern, ob und unter welchen Betriebsbedingungen der Gasströmungswächter die Funktion, bei Leitungsabriss den Gasstrom automatisch zu unterbrechen, noch erfüllt.
- Sollte unter den neuen Betriebsbedingungen die Überströmmenge die 30 l/h überschreiten, ist ein Ausbau nicht erforderlich, falls auf der Installationsseite bis zum ersten aktiven Element alle lösbaren Verbindungen passiv geschützt werden. Dies ist unabhängig von der Zugänglichkeit durchzuführen. Dies wurde aus den Forderungen der aktuell gültigen G 459 (A) übernommen.
- Da der generelle bauteilbezogene Bestandszuschuss des Netzanschlusses bei einer Umstellung von Erdgas auf methanreiche Gase der 2. Gasfamilie bzw. 5. Gasfamilie nicht

aufgehoben wird, ist im Fall eines Netzanschlusses ohne Gasströmungswächter der Installationsbereich auf der innenliegenden Seite bis zum ersten aktiven Element unabhängig von der Zugänglichkeit passiv zu schützen.
– Weitere Hinweise zur Installationsseite sind in der G 655 (M) beschrieben.

7 Abschlussmeldung

Sofern eine wesentliche Änderung stattgefunden hat, ist nach erfolgreichem Abschluss des Umstellungsprozesses (Änderungen, Prüfungen) eine Bescheinigung durch den Sachverständigen auszustellen.

Bei Leitungssystemen mit keiner wesentlichen Änderung ist eine Bescheinigung über die durchgeführten Arbeiten durch einen Sachkundigen ausreichend.

8 Zusammenfassung

Die Umstellungsarbeiten des deutschen Gasnetzes zum Nachweis der Readyness H2 sind bei Netzbetreibern angelaufen. Durchgeführte Pilotvorhaben können erwarten lassen, dass neben dem Transportnetz auch das mehr als 500.00 km lange Gasverteilnetz bestehend aus unterschiedlichen Rohrmaterialien (Stahl, PE, PVC,…) und Bauteilen grundsätzlich für das Gas Wasserstoff genutzt werden kann. Im Einzelfall sind noch ergänzende Komponenten- und Bauteilanalysen vorzunehmen.
Anfang 2023 wird den Netzbetreibern eine DVGW-Datenbank zur Verfügung stehen, aus der Informationen zur Wasserstofftauglichkeit von Produkten und Bauteilen aus dem Netz entnommen werden können. Forschungsergebnisse und Betriebserfahrungen aus Pilotnetzen sind hier eingeflossen.

Der Umstellprozess schließt je nach Einstufung des Netzes mit einer Bescheinigung durch einen Sachverständigen oder Sachkundigen ab.

Der DVGW hat dazu bereits der Fachöffentlichkeit neue Merkblätter vorgelegt, die den Netzbetreibern für den Prozess ‘Umstellung‘ Handlungsempfehlungen geben.

Ergänzend dazu sind die DVGW-Arbeitsblätter, wie z.B. G 472 (A), G 462 (A), G 459 (A) als auch für den Betrieb G 465-1 (A) in den Fachgremien des DVGW in Bearbeitung. Nach Abschluss des Forschungsvorhabens zur G 469 (A) können die vorgenannten DVGW-Arbeitsblätter auch als H2- Ready veröffentlicht werden.

9 Literatur

[1] Figawa_Band 1 Infrastruktur: Wasserstoff in der Praxis, 2022 Artikel: Erneuerbare Gase im Gas-Verteilnetz Nitschke-Kowsky, Dr. P., Technische Beratung, W. Weßing, Office for Green Gas
[2] IRO-Tagungsband 48: Wasserstoff und Leitungsbau- Historie und Betriebserfahrungen, Frau Dipl.-Ing Sabine Sievers, AIR LIQUIDE Deutschland GmbH

[3] energie-wasser-praxis: Praxiserfahrungen mit der Wasserstoffeinspeisung in ein Erdgasverteilnetz Nitschke-Kowsky Dr. P, W. Weßing, Dr. H. Dörr und K. Kröger, Oktober 2015
[4] energie-wasser-praxis: Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz Nitschke-Kowsky Dr. P, W. Weßing, Dr. H. Dörr und K. Kröger, November 2016
[5] gwf: Grüne Gase/Wasserstoff im Verteilnetz-Transformationspfad zur H2-Readiness, H. Dörr, T. Lotze, T. Ewest, M. Brune, A. Brandes, F. Brandes, M. Kronenberger und N. Janßen, 11/12 2021
[6] IRO-Tagungsband 48: Bruchmechanische Untersuchungen zur Qualifizierung von Werkstoffen für Wasserstoffhochdruckleitungen, Dr. U. Marewski, OGE, Dr. H. Silcher, MPA Stuttgart
[7] Webinar „Transformation der Gasversorgung – Deutschland gibt Gas “, Veranstalter: Figawa und Vulkan-Verlag: Umstieg von Erdgas auf Wasserstoff - Was braucht es für die "Zeitenwende" im Gastransport Dr. Thomas Gößmann, Thyssengas, November 2022
[8] TEPPFA: Hydrogen- potential future fuel gas, position paper, Sep. 2021
[9] KRV: Stellungnahme zur Wasserstoffintegrität von Kunststoffrohren und Formteilen, 03.12. 2020
[10] DVGW-Merkblatt G 221 (M), 2022, Abschnitt 8.2
[11] DVGW-Seminar: Wasserstoff im Gasverteilnetz - Eine technische Herausforderung für die lokalen Netzbetreiber, Mai 2022 Baustein: Gasbeschaffenheit vom Erdgas zum Wasserstoff Dr. P. Nitschke-Kowsky, Technische Beratung / Dipl.-Ing. (FH) M. Henel, DBI
[12] IRO-Tagungsband 48: Wasserstoff, mögliche Auswirkungen auf Material, Komponenten und Bauteile auf ein Gasverteilnetz und den Leitungsbau, Dipl.-Ing. Werner Weßing, Office for Green Gas
[13] IRO-Tagungsband 48: Wasserstoffinfrastruktur – Beimischung, Umstellung, Neubau, Dipl.-Ing Torsten Lotze, Avacon Netz GmbH

Autor:

Dipl.-Ing. Werner Weßing
Office for Green Gas, Borken

Tel.: 0151 40323504
E-Mail:
werner.wessing@web.de



Grenzüberschreitender Wasserstoff-Backbone in Norddeutschland

Technische Anforderungen an die Umstellung von bestehenden Erdgasleitungen

Von Hans-Jürgen de Buhr und Lara Hauck

1 Einleitung

Für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft spielt Wasserstoff in den Plänen der Europäischen Union wie auch Deutschlands eine entscheidende Rolle. Wasserstoff kann hierbei sowohl regional als auch überregional erzeugt wie verbraucht werden. Für den gasförmigen Transport von Wasserstoff ist der Leitungstransport sowohl technisch / wirtschaftlich als auch ökologisch vorteilhaft gegenüber anderen Transportalternativen. Die Strukturierung und Zwischenspeicherung der eingespeisten Wasserstoffmengen kann über angeschlossene, umzustellende vormalige Erdgasspeicher erfolgen. Es wurden sowohl auf EU-Ebene, als auch auf nationaler Ebene Förderprogramme aufgelegt, um ein europäisches Wasserstoffnetz als Backbone einer europäischen Wasserstoffwirtschaft aufzubauen.

2 HyPerLink – Wasserstoff Backbone in Norddeutschland

Das Gasunie Projekt „*HyPerLink*“ (siehe Bild 1) repräsentiert in Norddeutschland einen Teilbereich des künftigen europäischen Wasserstoffnetzes und verläuft von der deutsch-niederländischen Grenze in Bunde / Oude Statenzijl über Bremen und Hamburg bis nach Dänemark sowie in den Ballungsraum Hannover / Salzgitter / Braunschweig. Die Inbetriebnahme dieses Wasserstoff-Transportnetzes erfolgt abschnittsweise in drei Phasen voraussichtlich ab 2025 bis ca. 2030.

Das geplante Wasserstoff-Transportnetz HyPerLink (Länge ca. 660 km) wird überwiegend durch die Umstellung bereits existierender Erdgasinfrastruktur (ca. 490 km) auf Wasserstoff realisiert und – wo erforderlich – ergänzt durch den Neubau (ca. 170 km) notwendiger Leitungsabschnitte. Es wird damit eine Transportkapazität von ca. 7,2 GW erreicht. Mit den Projektphasen HyPerLink Phase-I und Phase-II nimmt Gasunie als Bewerber an dem aktuell laufenden Europäischen IPCEI-Fördervorhaben teil.

Das Ziel von HyPerLink ist der Aufbau einer leistungsfähigen Transportinfrastruktur zur Verbindung von Wasserstoffproduktion, Untergrundspeichern und den relevanten Verbrauchschwerpunkten in Norddeutschland. Darüber hinaus soll mit dem Projekt eine grenzüberschreitende Verbindung hergestellt werden, welche den Import und Export von grünem Wasserstoff zwischen Deutschland, den Niederlanden und Dänemark ermöglichen wird.



Bild 1: Projekt HyPerLink – Wasserstoff Backbone in Norddeutschland

3 Nutzung der existierenden Erdgasinfrastruktur

Die Umsetzung von HyPerLink basiert wesentlich auf der Nutzung bestehender Erdgasinfrastruktur. Durch die entsprechende Umstellung bestehender Erdgas-Netzabschnitte auf den großtechnischen Transport von Wasserstoff können Leitungsneubauten weitgehend vermieden werden. Dadurch wird ein zeitnaher und kosteneffizienter Aufbau der benötigten leistungsfähigen Wasserstofftransportinfrastruktur ermöglicht. Zudem wirkt sich diese Herangehensweise positiv auf die Akzeptanz von Wasserstoff als Element des zukünftigen Energiesystems aus.

Das bestehende Erdgas-Transportnetz von Gasunie verfügt aufgrund der historischen Entwicklung der L- und H-Gas Netze sowie durch einen stetigen Ausbau über weite Strecken mit parallel verlaufenden Leitungen. Da der Übergang von der Erdgas-Infrastruktur zu einer Wasserstoff-Infrastruktur schrittweise stattfinden wird, ist ein simultaner Betrieb dieser beiden Netze erforderlich. Diese Möglichkeit der Umstellung von bestehenden Leitungen auf den Transport von Wasserstoff bei gleichzeitiger Erfüllung der Transportanforderungen im Erdgas ist im Gasunie-Netz in idealer Weise gegeben.

Ein Vergleich der Kosten von für den Transport von Wasserstoff umgestellten Leitungen mit denen von Neubauleitungen ist in Bild 2 exemplarisch anhand einer 36“ Leitung dargestellt (vgl. HyWay27 [1]). Die Investitionen für die Umstellung eines bestehenden Netzes betragen etwa 25 % der anlegbaren Kosten für Neubauten. Dieser Faktor entspricht auch einem internationalen Benchmark (vgl. European-Hydrogen-Backbone Report [2]), in dem für die

Kosten der Umstellung von Pipelines ein Bereich von 10% - 35% der Neubaukosten genannt wird.

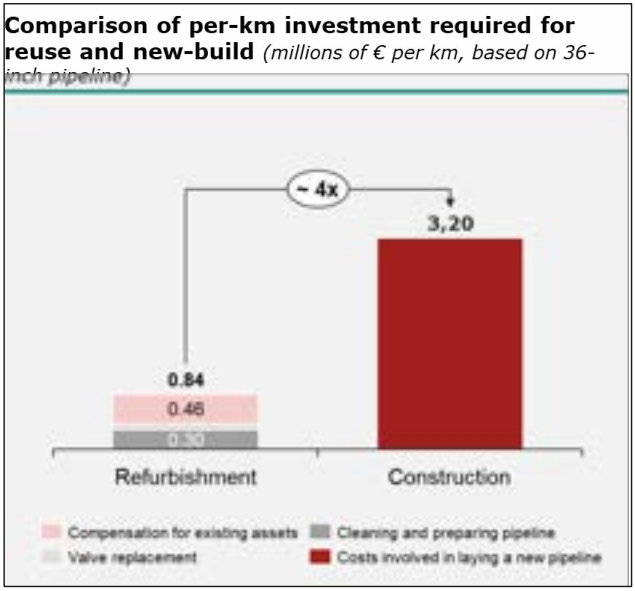


Bild 2: Kosten für die Umstellung von bestehenden Erdgasleitungen für den Betrieb mit Wasserstoff (Quelle: HyWay27 [1])

4 Umstellung von bestehenden Gashochdruckleitungen auf Wasserstoff

Die Umstellung des vorhandenen Transportsystems auf Wasserstoff erfolgt in mehreren Schritten. Im ersten Schritt erfolgt die technische Prüfung des Systems mit Blick auf die Wasserstoff-Verträglichkeit. Das Ergebnis dieser Prüfung liefert die technischen und organisatorisch notwendigen Maßnahmen, die für einen Betrieb mit Wasserstoff umgesetzt werden müssen.

Im nächsten Schritt folgt die planerische Vorbereitung für die Umsetzung der Maßnahmen. Dazu gehört in erster Linie das technische Engineering der Umbau- und Anpassungsmaßnahmen, aber auch die Vorbereitung und Planung der für den Betrieb erforderlichen Aktivitäten.

Mit dem Ergebnis der Planung werden im folgenden Schritt die technischen Maßnahmen für die Vorbereitung des Leitungssystems für den Transport von Wasserstoff umgesetzt. Das Transportsystem wird bis zur endgültigen Umstellung auf Wasserstoff noch zu einem großen Teil im Erdgastransport benötigt. Daher folgt der Medienwechsel auf Wasserstoff noch nicht immer unmittelbar nach den technischen Anpassungsmaßnahmen.

Im letzten Schritt folgt, nach Erhalt der notwendigen Genehmigungen, die Umstellung des Leitungssystems auf Wasserstoff, mit allen notwendigen Maßnahmen für den Medienwechsel. Dazu gehört u.a. das Entleeren, Reinigen, Spülen und Befüllen der Leitung mit Wasserstoff, sowie auch organisatorische, technische und systembezogene Anpassungen für den Betrieb und die Instandhaltung.

4.1 Prüfung der Dokumentation und der technischen Integrität

Bestehende Erdgastransportleitungen, die für den Transport von Wasserstoff umgestellt werden sollen, müssen hinsichtlich der Wasserstoffverträglichkeit vorab intensiv geprüft werden. Diese Prüfung folgt auf der Basis des DVGW Merkblattes G409 [4]. Mit der Änderung des Transportmediums von Erdgas auf Wasserstoff stellt diese Umstellung zudem nach der Gashochdruckleitungsverordnung (GasHDrLtgV) eine wesentliche Änderung dar. Dies bedingt u.a., dass das aktuell gültige Regelwerk eingehalten werden muss und eine gutachterliche Äußerung eines Sachverständigen vorzulegen ist.

Die Prüfungen entsprechend dem DVGW Merkblatt G409 umfassen u.a. die folgenden Bestandteile:

- Prüfung der Bestandsunterlagen über die Errichtung der Leitung
    - Aktuelle Leitungsdokumentation
    - Trassenpläne, Bestandspläne, Rohrbuch
    - Prüfbescheinigungen / Prüfberichte (z.B. Druckprüfungen)
    - zerstörungsfreie Prüfungen (z.B. Schweißnähte, Bauteile)
    - Abnahmeprüfzeugnisse der Rohre und Rohrleitungsteile
    - Vorabbescheinigung / Schlussbescheinigung / Sachverständigenbescheinigungen
- Prüfung der Dokumentationen zu Betrieb, Instandhaltung und Integrität
    - Angaben über Drucklastwechsel (bislang / zukünftig)
    - Angaben zu den bisherigen Betriebsmedien
    - Angaben zu Korrosionsgefährdung (innen / außen)
    - Dokumentation zu Betrieb und Instandhaltung (Wirksamkeit des KKS, Berichte zu Inspektionsmolchungen, etc.)
    - Aktuelle technische Zustandsbewertung
- Maßnahmen bei nicht vollständiger Dokumentation
    - Berücksichtigung des DVGW Arbeitsblattes G453 [6], u.a. ersatzweise zulässige Dokumentation
    - Entnahme von Proben (z.B. zur Ergänzung von Werkstoff-Kennwerten)
    - Zerstörungsfreie Prüfungen

4.2 Bruchmechanische Bewertung

Neben der Prüfung der Dokumentation ist die Wasserstofftauglichkeit der umzustellenden Gasleitung auch im Blick auf eine bruchmechanische Bewertung nachzuweisen. Entsprechend dem DVGW Arbeitsblatt G463 [3] wird das Vorliegen eines scharfkantigen Fehlers in der Rohrleitung angenommen, der beim Betrieb der Leitung mit dem Medium Wasserstoff im

Vergleich zu Erdgas potentiell schneller wachsen kann. Aus diesem Grund ist unter bestimmten Bedingungen eine bruchmechanische Bewertung erforderlich.

In dem derzeit noch in Erstellung befindlichen neuen DVGW Merkblatt G464 [5] werden die notwendigen Berechnungsmodelle und Annahmen für die bruchmechanische Bewertung konkretisiert. Dazu gehören u.a.:

- Modell für das Risswachstum nach ASME B31.12 [8]
- Bruchmechanische Geometriefaktoren und Berechnungsvorschriften nach BS7910 [9] oder API 579 [10]
- Annahmen zu den initialen Tiefen und Längen von potentiellen rissähnlichen Fehlern
- Bildung von Lastkollektiven aus Druckverläufen (z.B. mit der Rainflow-Methode)
- Umrechnung von Lastwechselkollektiven in äquivalente Einzellasten
- Definition von Sicherheitsfaktoren für die Bestimmung von zulässigen Risstiefen und Lastwechsel-Häufigkeiten.

Die bruchmechanische Bewertung erfolgt üblicherweise über die Darstellung im Failure Assessment Diagramm (FAD), siehe Bild 3. Ausgehend von einem Fehler mit einer initialen Rissgeometrie (u.a. mit der Tiefe a_0) führt jeder Lastwechsel zu einem Anwachsen des Risses. Bis zum Erreichen der Grenzkurve im FAD Diagramm liegt kein instabiles Risswachstum vor und der Zustand ist als sicher zu bewerten. Auf den Zustand an der Grenzkurve des FAD werden zusätzlich noch Sicherheitsfaktoren angewendet.

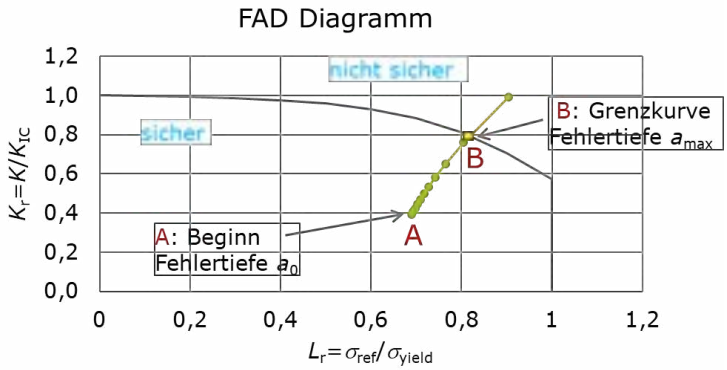


Bild 3: Wachstum eines rissähnlichen Fehlers, dargestellt im Failure Assessment Diagramm (FAD)

Mit der bruchmechanischen Bewertung wird neben der zulässigen Risstiefe auch die Anzahl an zulässigen Lastwechseln bestimmt, bei denen die Gasleitung sicher betrieben werden kann. Dies kann zunächst unter der Annahme von Volllastwechseln (0 bar → MOP → 0 bar) erfolgen. Liegt eine Abschätzung der zu erwartenden Lastwechsel beim zukünftigen Betrieb mit Wasserstoff vor, so können diese in äquivalente Volllastwechsel umgerechnet werden.

Alternativ können mit etwas größerem Aufwand auch alle unterschiedlichen Lastwechsel bruchmechanisch bewertet werden. Im Ergebnis erhält man schließlich die Lebensdauer der Leitung beim Betrieb mit Wasserstoff unter der Annahme der zugrunde gelegten Prognose für Betriebsdruck-Änderungen.

4.3 Planung und Umsetzung der technischen Anpassungsmaßnahmen

Aus der beschriebenen Gutachterlichen Prüfung des Sachverständigen (nach DVGW G409) folgt die Festlegung der erforderlichen Maßnahmen. Eine Übersicht mit Beispielen solcher Maßnahmen ist in Bild 4 gegeben.

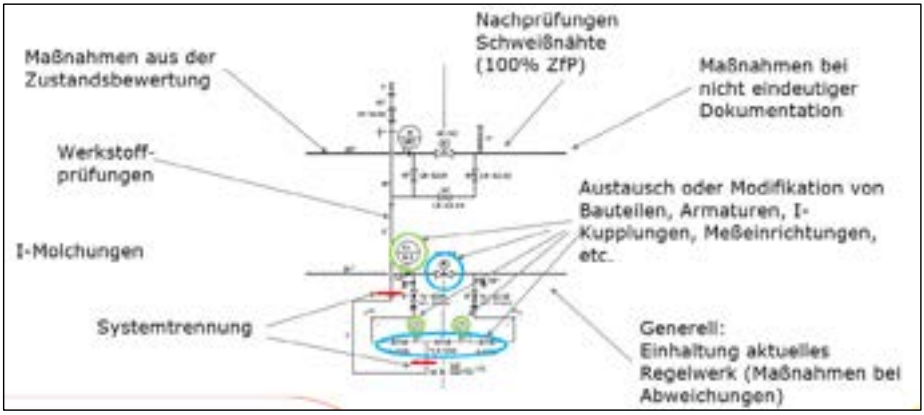


Bild 4: Beispiele für technische Maßnahmen zur Anpassung von Leitungssystemen zum Transport von Wasserstoff

Für diese Maßnahmen ist das Basic- und Detail-Engineering durchzuführen, mit dem Ziel der Zeit-, Kosten- und Detailplanung, sowie der Leistungsbeschreibung für die Beauftragung der Bauausführung. Die besondere Herausforderung liegt hierbei nicht in den einzelnen Maßnahmen, die jeweils für sich betrachtet relativ wenig komplex sind. Die Komplexität wird jedoch durch die große Anzahl an Maßnahmen gegeben, die in einem eng vorgegebenen Zeitraum durchzuführen sind. Wiederholende Maßnahmen sind hierbei entsprechend zu standardisieren. Aus der Detailplanung für jedes einzelne Teilprojekt ist in die Logistik der Material- und personellen Ressourcen für das Gesamtprojekt zu erstellen.

Zeitliche Einschränkungen für die Baumaßnahmen werden insbesondere durch das Kapazitätsmanagement vorgegeben. Da zur Erfüllung von Kapazitätsanforderungen im Erdgas-Netz das Transportsystem bis zur finalen Umstellung auf Wasserstoff oft noch weiter mit Erdgas betrieben werden muss, gibt es für die meisten Teilabschnitte nur bestimmte Zeitfenster, in denen das System für die Anpassungsarbeiten zur Verfügung steht. Meist sind dies Zeiträume von April bis Oktober, um die höheren Kapazitätsanforderungen in den Wintermonaten erfüllen

zu können. Daher ist eine entsprechende Planung des Kapazitätsmanagements im Vorfeld der Planungen eine weitere wichtige Vorbedingung.

Ein Großteil der Anpassungsmaßnahmen wird an den bestehenden Lokationen von Streckenarmaturen, den Endpunkten der Leitungen mit Molchschleusen oder Molchschleusen Anschlüssen sowie den vorhanden Mess-, Regel- und Steuerungs-Stationen durchgeführt. Hier handelt es sich vor allem um

- Anpassung oder Austausch von Armaturen
- Trennung der Wasserstoff-Transportleitungen von den Erdgas-Transportleitungen
- Rückbau oder Stilllegung von nicht notwendigen Streckenarmaturen oder Ein- und Ausspeiseanschlüssen

Streckenarmaturen:
Für den sicheren Betrieb von Gashochdruckleitungen müssen gemäß DVGW Arbeitsblatt G463 [3] die Leitungssysteme mit Streckenarmaturen in abtrennbare Leitungsabschnitte unterteilt werden, wobei ein Abstand zwischen 10 km und 18 km gewählt werden sollte. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von betrieblichen und sicherheitsrelevanten Aspekten erfolgt eine neue Festlegung der Lokationen für die notwendigen Streckenarmaturen, an denen vor allem die Armaturen auf den Transport für Wasserstoff angepasst oder gegen wasserstofftaugliche Armaturen ausgetauscht werden müssen.

Systemtrennungen:
Das für den Transport von Wasserstoff umzustellende Leitungssystem ist an vielen Stellen mit dem parallel verlaufenden Leitungssystem verbunden, in dem später weiterhin Erdgas bzw. Gase nach DVGW G260 (2. Gasfamilie) transportiert werden. Daher muss eine Trennung der verbundenen Gasleitungssysteme erfolgen, um hier eine Vermischung von Erdgas und Wasserstoff zu vermeiden. Ergänzend zu den notwendigen Trennungen der Systeme, sind nicht mehr benötigte Installationen für Ein- und Ausspeisungen zurückzubauen oder eine geeignete Abtrennung vorzusehen.

MSR-Stationen:
In Ergänzung zu der Betrachtung der Armaturenplätze muss eine Prüfung der bestehenden Mess-, Regel- und Steuerungs-Stationen erfolgen, durch die das umzustellende Leitungssystem derzeit verläuft. In diesen Stationen existieren zahlreiche komplexe Anschlüsse, Installationen und andere Funktionalitäten, die derzeit im Erdgassystem benötigt werden. Diese Installationen müssen auf Fortbestand der Notwendigkeit geprüft, angepasst oder ggf. entfernt bzw. technisch getrennt werden. Alternativ zu der Anpassung dieser komplexen Bereiche wird auch ein Neubau von Umfahrungen in Betracht gezogen.
Zur Gewährleistung des sicheren Betriebs des Wasserstofftransportsystems ist das entsprechende Equipment für die Mess-, Regel- und Sicherheitseinrichtungen zu installieren (z.B. Überwachung von Durchfluss, Qualität, Druck).

4.4 Medienwechsel im Leitungssystem von Erdgas auf Wasserstoff und Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme von Gashochdruckleitungen mit Wasserstoff sind nach der GasHDrLtgV als Wesentliche Änderung einzustufen. Vor Inbetriebnahme muss daher eine gutachterliche Äußerung eines Sachverständigen vorliegen, sowie mit der Vorabbescheinigung des Sachverständigen bestätigt werden, dass zur Inbetriebnahme der Gashochdruckleitung keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen.

Vor der endgültigen Inbetriebnahme mit Wasserstoff sind auch die Mess-, Steuerungs- und Dispatching-Systeme anzupassen. Dazu ist die entsprechende EMSR-Technik für die betrieblich notwendigen Qualitäts- und Mengenmessungen zu installieren sowie in die Leit- und Dispatchingsysteme zu integrieren. Für die gem. DVGW Arbeitsblatt G463 zukünftig erforderlichen bruchmechanischen Bewertungen ist zudem der Verlauf des Betriebsdruckes aufzuzeichnen und zu archivieren (vgl. DVGW Arbeitsblatt G466-1). Dazu ist die Installation von Messaufnehmern und die Integration der Aufzeichnung der Betriebsdrücke in das Leitsystem vorzunehmen.

Für den abschließenden Medienwechsel von Erdgas auf Wasserstoff sind die umzustellenden Leitungen zunächst zu entleeren. Hierzu wird das Erdgas in der umzustellenden Leitung in benachbarte Erdgasleitungen verdichtet, um Methan Emissionen zu vermeiden. Im Anschluss müssen die Leitungen gereinigt und mit Stickstoff gespült werden. Entsprechend den Anforderungen im DVGW Arbeitsblatt G466-1 [7] ist die Leitung zur Vermeidung einer explosionsfähigen Umgebung mit Stickstoff zu inertisieren, bevor Wasserstoff eingefüllt wird. Zur Minimierung der notwendigen Stickstoffmengen kann auch der Einsatz von Trennmolchen in Betracht gezogen werden.

5 Zusammenfassung

Mit dem Projekt HyPerLink plant Gasunie den Aufbau einer leistungsfähigen Transportinfrastruktur zur Verbindung von Wasserstoffproduktion, Speichern und Verbrauchern in Norddeutschland. Die Umstellung von bestehenden Erdgas-Hochdruckleitungen auf den Transport von Wasserstoff ist hier ein integraler Bestandteil. Die Kosten für die Umstellung von Leitungen sind signifikant niedriger als ein Neubau von vergleichbaren Leitungen.
Es werden die wesentlichen technischen Maßnahmen für die Umstellung beschrieben. Aus der Prüfung der Dokumentation und des Integritätszustandes werden Maßnahmen identifiziert, um den aktuellen technischen Standard und zusätzliche wasserstoffspezifische Anforderungen zu erfüllen. Dazu gehört u.a. die bruchmechanische Bewertung der Rohrleitung und weiterer aus Stahl gefertigten Komponenten. Für die Rohrleitung kann dabei in den meisten Fällen eine grundsätzliche Eignung und eine ausreichende Lebensdauer nachgewiesen werden. Der größte Teil der Anpassungsmaßnahmen entfällt auf die bestehenden Streckenarmaturenplätze, Stationen und Start- und Endpunkte der Leitung, bei denen vorrangig die Anpassung oder der Austausch von Armaturen vorgenommen werden muss.

Vor dem abschließenden Medientausch von Erdgas auf Wasserstoff sind die erforderlichen Mess- und Regelungseinrichtungen zu ergänzen oder wasserstofftauglich anzupassen, so dass der sichere Betrieb mit den im Erdgastransport etablierten Anforderungen des Betriebs- und Leitsystems sowie den Anforderungen aus dem Dispatching ermöglicht wird.

6 Literatur

[1] HyWay27, Abschlussbericht HyWay-27-Studie, https://www.hyway27.nl, 2021
[2] European-Hydrogen-Backbone Report, https://ehb.eu/, 2020
[3] DVGW Arbeitsblatt G463, Gashochdruckleitungen aus Stahlrohen für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar – Errichtung, 2021
[4] DVGW Merkblatt G409, Umstellung von Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff, 2020
[5] DVGW Merkblatt G464, Bruchmechanisches Bewertungskonzept für Gasleitungen aus Stahl mit einem Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff, (im Entwurf; Stand 12-2022)
[6] DVGW Arbeitsblatt G453, Maßnahmen bei unvollständiger technischer Abnahmedokumentation von Gasleitungen aus Stahl für einen Betriebsdruck größer 5 bar, 2015
[7] DVGW Arbeitsblatt G466-1, Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Betriebsdruck größer als 5 bar – Instandhaltung, 2021
[8] ASME B31.12, Hydrogen Piping and Pipelines, 2019
[9] BS 7910, Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures, 2019
[10] API 579-1/ASME FFS-1, Fitness-for-Service, 2021

Autoren:

Dr.-Ing. Hans-Jürgen de Buhr
Gasunie Deutschland
Transport Services GmbH,
Hannover

Tel.: +49 (511) 640 607-0
E-Mail:
hans-juergen.debuhr@gasunie.de
Internet:
https://www.gasunie.de/



M.Sc. Lara Amelie Hauck
Gasunie Deutschland
Transport Services GmbH,
Hannover

Tel.: +49 (152) 03482395
E-Mail:
lara.hauck@gasunie.de
Internet:
https://www.gasunie.de



H_2HoWi: Erste Umstellung einer Erdgasleitung der öffentlichen Versorgung auf 100 % Wasserstoff

Neues Gas im bewährten Netz

Von Carsten Stabenau



Bild 1: Anlagenteil der Versuchsstrecke in Holzwickede (Nähe Flughafen Dortmund)

1 Kleines Molekül, große Wirkung

Rund 40 Prozent aller CO_2-Emissionen in Deutschland entstehen bei der Erzeugung von Wärme. Die Wärmewende ist damit ein wichtiges Element für das Gelingen der Energiewende. So wird derzeit noch die Hälfte der Wohnungen mit Erdgas beheizt, ein Viertel mit Heizöl. Die Bundesregierung setzt bei der Dekarbonisierung im Wärmebereich stark auf die Elektrifizierung, vor allem auf Wärmepumpen. Doch die meisten Gebäude sind nicht vollständig energetisch saniert. Dies ist eine Voraussetzung für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen. Für eine zügige Sanierung fehlt es aber an Material und Fachpersonal. Und: Sie ist mit immensen Kosten verbunden. Auch in der Industrie können viele Produktionsprozesse nicht elektrifiziert werden: Die Grundstoffindustrie etwa braucht Prozesswärme, also viel und beständig Hochtemperatur. Sie ist zukünftig damit auf gasförmige Energieträger angewiesen – also auf Wasserstoff.

Die Nutzung und Anpassung des Erdgasnetzes für den Transport und die Verteilung klimaneutraler Gase ist dafür eine wichtige Voraussetzung: Mit dem 555.000 Kilometer langen Erdgasnetz ist ein wesentlicher Teil der benötigten Hochleistungsinfrastruktur bereits heute in Deutschland vorhanden. Die Leitungen können perspektivisch auch Wasserstoff in die Gebäude und zu den Wasserstoff-Heizsystemen bringen.
Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „H_2HoWi“ der Westenergie soll zeigen: Die bestehende Verteilnetz-Infrastruktur kann auch ohne aufwendige Anpassungen für den Transport von Wasserstoff genutzt werden. Damit gelten die Projektergebnisse als wichtige Weichenstellung für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft.

2 Elemente des Projekts

2.1 Wasserstoffspeicher und Armaturentafel

Der zur Anwendung kommende, grün zertifizierte, klimaneutrale Wasserstoff wird über Trailer (Lkw-Transport) nach Holzwickede gebracht. Dabei wird der Wasserstoff mit 200 bar angeliefert. Im Überströmverfahren wird der Speicherbehälter vom Trailer aus druckreduziert mit 40 bar gefüllt und erreicht damit eine Füllmenge von insgesamt 360 kg Wasserstoff. Dazu wird der Schlauch des Trailers an die Armaturentafel (siehe Bild 2) angeschlossen.



Bild 2: Wasserstoffspeicher mit der zugehörigen Armaturentafel

Sicherheitsabblaseventile gewährleisten, dass der Behälter nicht mit mehr als 45 bar gefüllt wird. Aus dem Speicher kommend, wird der Wasserstoff an der Armaturentafel, auf 3 bar reduziert und zur GDRM-Anlage transportiert.
Erreicht der Behälter einen Minimum-Stand, wird der Gaslieferant online benachrichtigt und ein Antransport von Wasserstoff per Trailer automatisch generiert.
Es wird damit gerechnet, dass im Jahresdurchschnitt der Behälter wöchentlich gefüllt wird.

2.2 GDRM-Anlage und Odorierung

Vom Speicher mit 3 bar kommend, wird der Wasserstoff zunächst in der GDRM-Anlage gefiltert, um die nachfolgenden Systeme vor Stäuben zu schützen.
Nach der Filterung wird der Wasserstoff auf den vorgesehenen Leistungsdruck über Druckregler auf 0,3 bar reduziert.
Nach der Druckreduzierung wird die Wasserstoffmenge, die durch die GDRM-Anlage gefördert wird, volumetrisch über einen Drehkolbengaszähler gemessen. Es wird mit einer Nominalmenge von max. 760 m³ Wasserstoff pro Tag gerechnet (Winterbetrieb).
Wie das Erdgas in der öffentlichen Gasversorgung auch, wird der Wasserstoff mit dem Geruchsstoff THT (Tetrahydrothiophen) versehen, um Leckagen schnell zu bemerken.
In dieser Anlage erfolgt die Einbringung des Odorstoffs über eine, von einem Westnetz-Mitarbeiter patentierte, Impfdüse (siehe Bild 3).



Bild 3: Ausgangsschiene mit patentierter Odoriervorrichtung

Ein Schauglas an der Odoriervorrichtung ermöglicht die Kontrolle dieses Prozesses und eine speziell entwickelte Armatur eine Wartung/Reinigung der Düse, ohne das System zu entspannen und somit außer Betrieb zu nehmen.
Nach der Odorierung durchfließt der Wasserstoff in Rohrleitungen sieben Permeationsmessschächte.

2.3 Permeationsmessschächte

Die Permeation wird sowohl an reinen Rohrmaterialien gemessen, als auch an Schweißnähten und Rohrformteilen (wie Übergangsstücke PE/Stahl).
Hier wird die Permeation nicht nur an bewährten Materialien wie Polyethylen (PE) getestet, sondern auch an dem neuen Leitungsmaterial Polyamid (PA). Von dem neuen Material wird erwartet, dass die Permeation deutlich geringer sein wird als beim PE. Ein weiterer Vorteil des Materials ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber Eingriffen von außen, wie z. B. Baggereingriffe.
Die zu kontrollierenden Stellen werden mit einer Manschette versehen, die einen definierten Hohlraum um das Rohr herum bildet (siehe Bild 4). In den nächsten Monaten wird regelmäßig die Konzentration von Wasserstoff in diesem Hohlraum gemessen und somit die Permeation bestimmt. Es wird mit einer vierfach höheren Permeation als beim Erdgas gerechnet. Dennoch wird die austretende Menge in einem unkritischen Bereich liegen.
Nach den von einem Westnetz-Mitarbeiter patentierten Schächten wird der Wasserstoff zu den Kunden transportiert. Wie in einem erdgasversorgten Haushalt sitzt bei unseren Projektpartnern nochmal ein Regler, der den Gasdruck auf 25 mbar reduziert. Mit diesem Druck gelangt der Wasserstoff in die innovativen Wasserstoff-Brennwertkessel der Firma Remeha.



Bild 4: Permeationsmesszelle in einem patentierten Schacht

2.4 Wasserstoff-Brennwertkessel

Die Wasserstoff-Brennwertkessel wurden von der Firma Remeha für das Projekt zur Verfügung gestellt. Der Kessel des aus Holland stammenden Heizungsherstellers hat eine Leistung von 25 kW und ist über diesen Bereich regelbar. Bei der Verbrennung des Wasserstoffs entsteht kein CO_2, sondern nur Wasserdampf und eine unkritische Menge Stickoxide, wie bei allen Verbrennungsprozessen mit Luft.
Die Firma Remeha und andere Wasserstoff-Heizungshersteller entwickeln mittlerweile auch Brenner für die Industrie.
Die Hersteller werden in Zukunft Haushalts-Brenner auf den Markt bringen, die zunächst Erdgas und Erdgas/H2-Gemische verbrennen können und später mit einem geringen Aufwand auf 100% Wasserstoff umgestellt werden können.

2.5 Weitere Vorgehensweise

Neben den Permeationsmessungen werden seit der offiziellen Inbetriebnahme am 20.10.2022 sowohl die umgestellte Erdgasleitung als auch die Hausinstallationen regelmäßig an den Verbindungsstellen mit wasserstofftauglichen Messgeräten für Gaslecksuche untersucht. Nach den ersten Wochen des Betriebs wurden die zeitlichen Messabstände verlängert, da die Untersuchungen keine nennenswerte Leckagen aufzeigten.
Das konzerninterne F&E-Projekt wird bis Ende 2023 laufen.

Autor:

Dipl. Ing. Carsten Stabenau
Westnetz GmbH, Dortmund

Tel.: 0162/2542137
E-Mail:
carsten.stabenau@westnetz.de
Internet:
www.westnetz.de



2
Wasserstoff anstelle von Methan: Der Blick ins Detail

Ergebnisse des DVGW-Projektes SyWeSt H2: „Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit“

Von Ulrich Marewski

1 Einleitung

Für den Wasserstofftransport im deutschen Gasnetz ist eine klar definierte Bewertung der Stahlbauteile auf Wasserstofftauglichkeit sowie die entsprechende Implementierung im DVGW Regelwerk erforderlich. In diesem Zusammenhang wurden beispielsweise das DVGW Merkblatt G409 [1] (für die Umstellung von Leitungen auf Wasserstoff) und das DVGW Arbeitsblatt G 463 [2] (für den Neubau von Leitungen) speziell auf das Medium Wasserstoff angepasst. Beide Regelwerke erfordern gegebenenfalls eine bruchmechanische Bewertung der Leitungen und Leitungsbauteile, wobei als Eingangsgrößen bruchmechanische Kennwerte erforderlich sind. Bisher sind diese Kennwerte in einem internationalen Regelwerk nur in dem amerikanischen Regelwerk ASME B 31.12 [3] ausgewiesen. Konkret handelt es sich dabei um die Mindestbruchzähigkeit K_{IC} und die Beschreibung des Rissfortschrittes (da/dN) unter dem Medium Wasserstoff. Grundlage der in dem amerikanischen Regelwerk ausgewiesenen Kenngrößen waren allerdings Untersuchungen an amerikanischen Werkstoffen, welche den in Europa bzw. auch in Deutschland verwendeten Werkstoffen sehr ähnlich, aber nicht identisch sind. Zudem ist Umstellung bereits vorhandener, älterer Erdgasleitungen - mit älteren Werkstoffen - insbesondere für den Anwendungsbereich des DVGW-Regelwerkes von sehr großem Interesse, wobei eine direkte Übertragbarkeit der Untersuchungen aus dem amerikanischen Raum als problematisch einzustufen war.
Daher wurden bruchmechanischen Untersuchungen speziell für die im deutschen (und teilweise europäischen) Raum verwendeten Leitungsstähle unter dem Medium Wasserstoff im Rahmen des umfangreichen DVGW Projektes SyWeSt H2 durchgeführt. Die Zielsetzung des Programms bestand darin, die dabei ermittelten bruchmechanischen Kennwerte mit den der ASME B 31.12 zugrunde liegenden Ergebnissen zu vergleichen, um die Anwendung auf die in Deutschland verwendeten Stähle zu validieren und gegebenenfalls eine modifizierte Korrelation für den Rissfortschritt zu erarbeiten.

2 Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Durchführung bruchmechanischer Prüfungen

Für die bruchmechanischen Prüfungen wurden typische Stahlsorten an unterschiedlichen Rohrbereichen (Grundwerkstoff, Schweißgut, Wärmeeinflusszone, Bild 1) betrachtet.

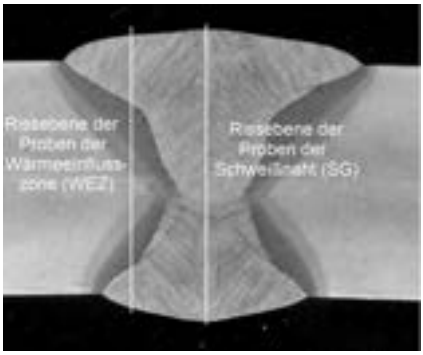


Bild 1: Querschliff eines UP-geschweißten Stahlrohres

Zur Vergleichbarkeit der Prüfungen wurde eine Probenform ausgewählt, die der Kontur einer C(T)20-Probe entspricht, wobei die Probendicke gegebenenfalls (aufgrund einer zu geringen Wanddicke) reduziert wurde (Bild 2).

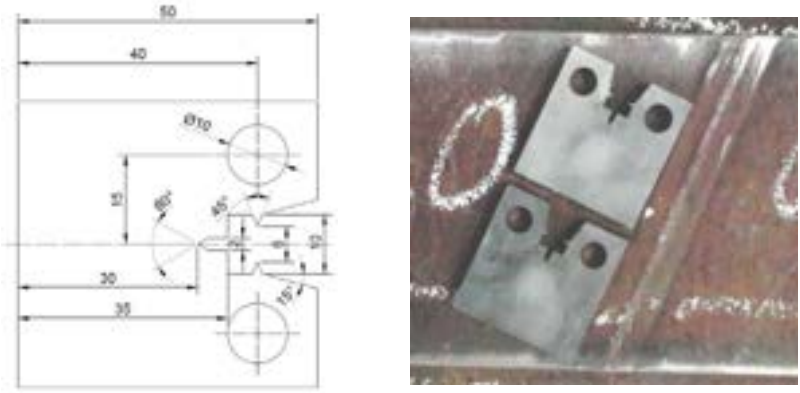


Bild 2: Verwendete bruchmechanische Proben

Für die Prüfungen von Schweißnähten wurden die Stirnflächen angeätzt, damit die Schweißnaht sichtbar wird. Zur Erzeugung einen natürlichen, scharfen Ermüdungsanriss von etwa 2 mm wurden die Proben nach ASTM E 1820-20 [4] zyklisch angeschwungen. Die Prüfung wurde in einem servohydraulischen Prüfsystem der MPA Stuttgart mit integriertem Wasserstoffautoklav unter 100% Wasserstoffatmosphäre durchgeführt (Bild 3).



Bild 3: Servohydraulisches Prüfsystem der MPA Stuttgart mit integriertem Wasserstoffautoklaven

Die statischen Versuche erfolgten nach ASTM E 1820, die zyklischen Versuche dagegen entsprechend ASME E 647-13a [5].

Als Ergebnis der bruchmechanischen Prüfungen sollte die Bruchzähigkeit (K_{IC}), sowie das Rissfortschrittverhalten (da/dN) unter Wasserstoffatmosphäre ermittelt werden, so dass ein Risswachstum bis zu einem theoretischen Versagen modellhaft beschrieben werden kann (Bild 4).

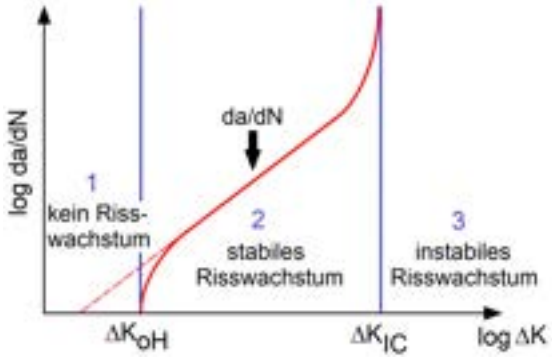


Bild 4: Schematische Darstellung des Risswachstums in Abhängigkeit von der Spannungsintensität ΔK

Zielsetzung insbesondere der durchgeführten Rissfortschrittsversuche war es, die aus amerikanischen Prüfergebnissen (Bild 5) abgeleitete Grenzkurve entsprechend ASME B 31.12 (Bild 6) mit den erhaltenen Ergebnissen zu vergleichen.

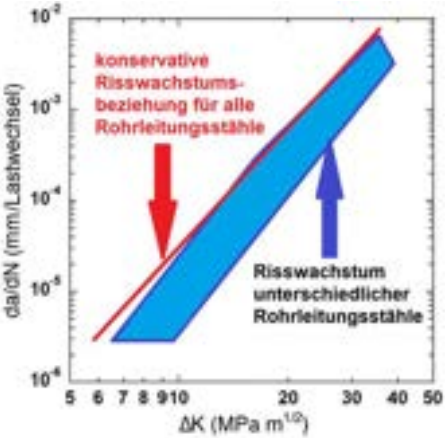


Bild 5: Qualitative Darstellung des Streubandes von Risswachstumsversuchen und dessen konservative Näherung in Anlehnung an [6]

$$\frac{da}{dN} = a1\Delta K^{b1} + \left[\left(a2\Delta K^{b2}\right)^{-1} + \left(a3\Delta K^{b3}\right)^{-1}\right]^{-1}$$

$$a1 = 4{,}0812 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{MPa}\sqrt{\mathrm{m}}\,\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{Cycle}} \qquad b1 = 3{,}2106$$

$$a2 = 4{,}0862 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{MPa}\sqrt{\mathrm{m}}\,\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{Cycle}} \qquad b2 = 6{,}4822$$

$$a3 = 4{,}8810 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{MPa}\sqrt{\mathrm{m}}\,\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{Cycle}} \qquad b3 = 3{,}6147$$

Bild 6: Rissfortschrittsbeziehung nach ASME B 31.12, Ausgabe 2019

3 Durchgeführte Versuche unter dem Medium Wasserstoff

Die Tabelle 1 zeigt in einer zusammenfassenden Übersicht die untersuchten Materialien, die durchgeführten Untersuchungen sowie die wesentlichen Versuchsparameter.

Hierfür wurden der MPA Stuttgart mehrere Pipelinestähle und einige auf Anlagen verwendete Leitungsstähle zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden auch einige (wenige) bei den Druckkörpern von Armaturen übliche Stähle untersucht. Das Versuchsprogramm wurde für die überwiegende Anzahl der Proben unter einem konstanten Wasserstoffdruck p_{H2} = 100 bar durchgeführt.

Um den Einfluss des Wasserstoffdruckes auf die resultierenden bruchmechanischen Eigenschaften zu überprüfen, wurden an den Werkstoffen St35 und L485 zusätzlich auch Prüfungen mit Wasserstoffdrücken p_{H2} < 100 bar durchgeführt.

In der derzeitig gültigen ASME B31.12 ist der Gültigkeitsbereich der beschriebenen Rissfortschrittsgleichungen auf R-Werte $\leq$ 0,5 beschränkt. Aus diesem Grunde wurden darüber hinaus auch für zwei ausgewählte Werkstoffe (L360 und L485) Rissfortschrittsversuche bei R-Werten von R = 0,1 und R = 0,7 durchgeführt.

Da in der ASME B31.12 zusätzliche Begrenzungen hinsichtlich der maximalen Härte von Schweißnähten beschrieben sind, wurde außerdem auch exemplarisch an dem Werkstoff L485 der Einfluss unterschiedlicher Härten auf die bruchmechanischen Eigenschaften untersucht.

Werkstoff	Prüfung da/dN & JR	H2-Prüfdruck [bar]	R-Wert
L290 NE	GW, SAWL	100	0,5
Grade A	GW, SAWL		
St 35	GW		
15 k (St 35)	GW, SAWL, RN		
X42	GW, ERW, RN, WEZ		
RR St 43.7	GW		
P355 NH	GW		
L360 NE	GW		
StE 360.7	SAWL, GW		
L360 NB	SAWL GW		
14 HGS	GW, LN, RN		
WSTE 420	GW		
St53.7	RN, GW		
X56.7	GW, SAWL, RN		
St60.7	GW, RN		
P 460 NH	SAWL, GW		
X70	GW, SAWH, WEZ		
X70	GW, RN, WEZ		
L485	GW, SAWH, WEZ		
GRS 550/X80	GW, SAWL		
L485 (HV hoch/niedrig)	GW, RN, WEZ		
1.415 (Bogen)	GW, SAWL		
P355 NL1 (Armatur)	GW		
GJS 400 (Armatur)	GW		
P460 QL1 (Armatur)	GW		
St 35	GW	0 / 0,2 / 1 / 2 / 5 / 10 / 20 / 100	
L485			
L485		100	0,1 / 0,5 / 0,7
L360			

Tabelle 1: Versuchsmaterialien und durchgeführte Versuche

Die Bandbreite der geprüften Werkstoffe reicht vom St35 - mit relativ geringer Festigkeit - aus dem Herstellungsjahr 1930 bis zum Werkstoff GRS550 (X80). Im Rahmen der Verfügbarkeit des Versuchsmaterial wurde darauf geachtet, dass möglichst auch hinsichtlich der Festigkeitsstufe vergleichbare Werkstoffe neuer und älterer Fertigung untersucht wurden. So sind z.B. die Festigkeiten der Streckgrenze und der Zugfestigkeit der beiden Werkstoffe X70 und L485 nahezu identisch, wohingegen die Duktilitätseigenschaften und insbesondere die Kerbschlagarbeiten sich erheblich unterscheiden.

3.1 Ergebnisse der statische Bruchmechanikversuche

Die Bilder 7 bis 10 zeigen eine Übersicht der Ergebnisse für die Bruchzähigkeit K_{JIC} bei einem Prüfdruck p_{H2} = 100 bar. Bei den in der Farbe „blau“ gekennzeichneten Daten handelt es sich um Prüfungen, die an den Grundwerkstoffen durchgeführt wurden; die „rot“ gekennzeichneten Daten stehen in Zusammenhang mit Prüfungen an Schweißnähten bzw. Wärmeeinflusszonen. In den Darstellungen ist zusätzlich der von den Regelwerken geforderte Mindestwert K_{JIc} = 55 MPa $m^{½}$ gekennzeichnet.

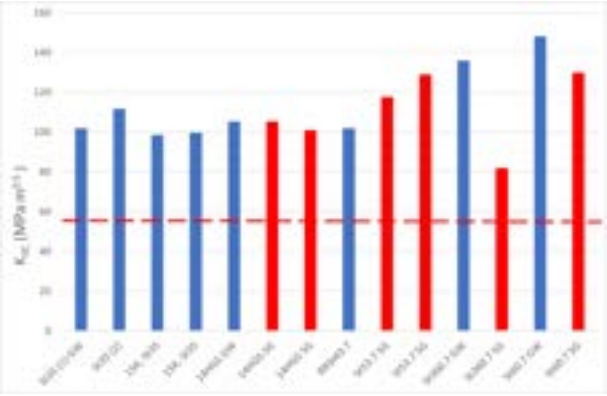


Bild 7: Ermittelte Bruchzähigkeiten (K_{JIc}) für die geprüften Leitungswerkstoffe (1)

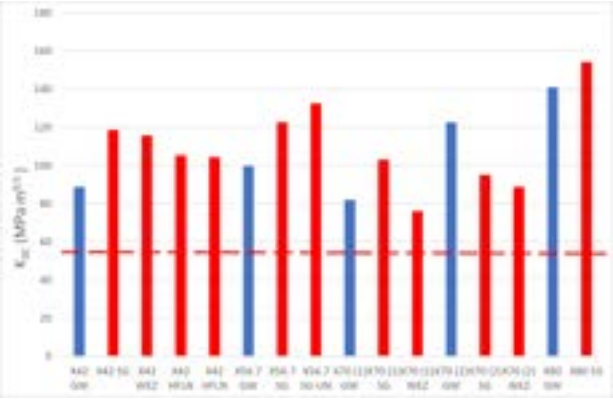


Bild 8: Ermittelte Bruchzähigkeiten (K_{JIc}) für die geprüften Leitungswerkstoffe (2)

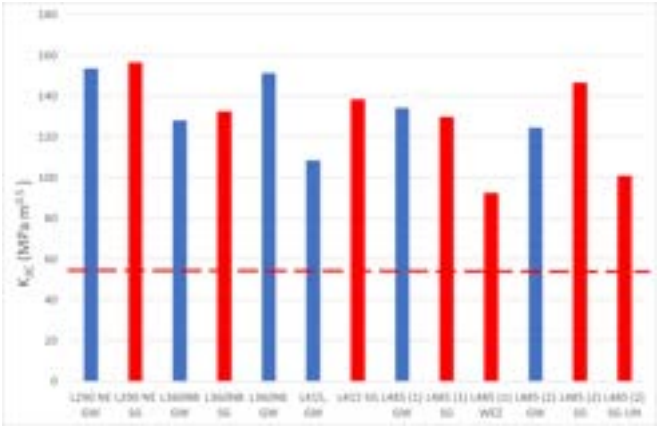


Bild 9: Ermittelte Bruchzähigkeiten (K_{JIc}) für die geprüften Leitungswerkstoffe (3)

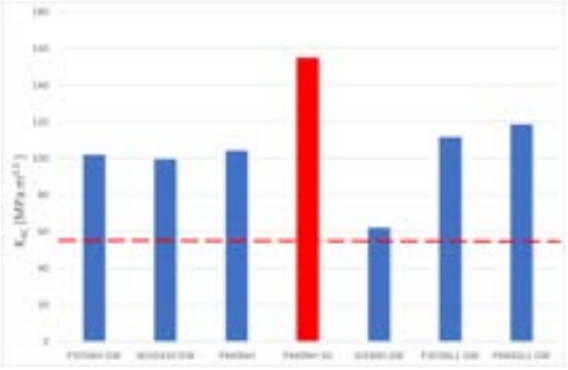


Bild 10: Ermittelte Bruchzähigkeiten (K_{JIc}) für Rohrleitungswerkstoffe und Armaturen (Druckkörper)

Alle untersuchten Proben erfüllten die Mindestforderung für die Bruchzähigkeit $K_{Ic} \geq 55$ MPa $m^{½}$ entsprechend ASME B31.12. Für den Werkstoff St35 wurde an dem Grundwerkstoff der Einfluss des Wasserstoffdruckes auf die resultierende Bruchzähigkeit überprüft (Bild 11). Hier wurden unter dem Medium Luft (0 bar H_2) die größten Bruchzähigkeiten $K_{JIc} \cong 180$ MPa $m^{½}$ ermittelt. Diese verringern sich bis zu Wasserstoffdrücken $p_{H2} = 10$ bar auf Bruchzähigkeiten um $K_{JIc} \cong$ 100 MPa $m^{½}$; bei weiterer Erhöhung des Wasserstoffdruckes bleibt diese Bruchzähigkeit annähernd konstant.

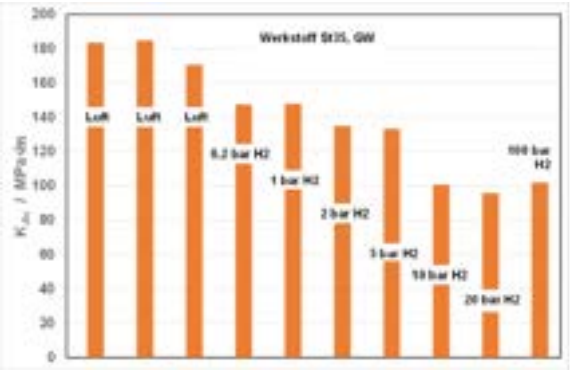


Bild 11: Bruchzähigkeit in Abhängigkeit vom Wasserstoffdruck (Beispiel: St35)

3.2 Ergebnisse der zyklischen Bruchmechanikversuche

Die zyklischen Bruchmechanikversuche wurden ebenso wie die statischen Versuche - an der überwiegenden Anzahl der Proben - unter einem konstanten Wasserstoffdruck p_{H2} = 100 bar durchgeführt. In Übereinstimmung mit den zugrundeliegenden Versuchsparametern entsprechend [3] und [7] wurde außerdem die Prüffrequenz f = 1 Hz und das Mittelspannungsverhältnis R = 0,5 eingestellt.

In dem Bild 12 finden sich diese Ergebnisse der zyklischen Rissfortschrittsversuche für das Grundmaterial, die Schweißnaht und die Wärmeeinflusszone der Schweißnaht der untersuchten Werkstoffe. Zum Vergleich ist die Rissfortschrittbeziehung entsprechend ASME B31.12 (siehe auch Bild 6) als rote Linie ebenfalls eingezeichnet.

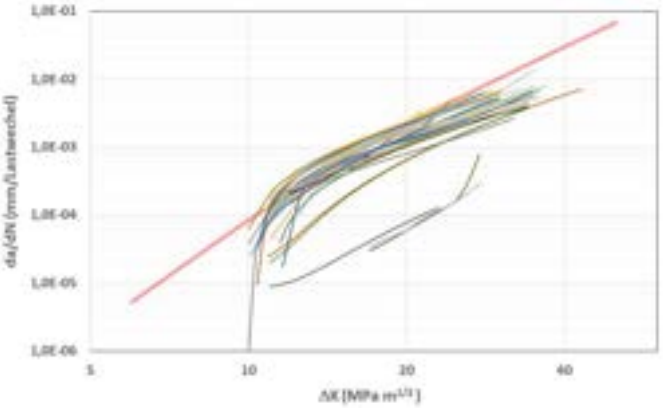


Bild 12: Ermitteltes Risswachstum unter Wasserstoff der untersuchten Werkstoffe (100 bar, R = 0,5)

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden jeweils die Rissfortschrittsraten im Bereich der Spannungsintensitäten ΔK ca. 10 MPa $m^{1/2}$ bis ca. 40 MPa $m^{1/2}$ ermittelt; die Ermittlung des unteren Schwellwertes ΔK_{th} war hier nicht das Ziel der durchgeführten Untersuchungen. Die Kenntnis sehr kleiner Spannungsintensitäten ist im Zusammenhang mit Lebensdauerprognosen für Gasleitungen von untergeordneter Bedeutung, da kleine Spannungsintensitäten praktisch keinen Einfluss auf das Ergebnis dieser Prognosen nehmen.
In Übereinstimmung mit den im amerikanischen Raum durchgeführten Untersuchungen bilden die gemessenen Risswachstumskurven im Wesentlichen ein - relativ homogenes - Streuband unterhalb der Risswachstumsbeziehung entsprechend ASME B31.12, obwohl sehr unterschiedliche Materialien hinsichtlich der Festigkeit, der Gefügeausbildung und der Duktilität geprüft worden sind.
Bei einem genaueren Vergleich mit der Risswachstumsbeziehung nach ASME B31.12 zeigt sich in der Tendenz eine leichte Überschreitung des im Rahmen dieses Projektes gemessenen Risswachstums für kleine Spannungsintensitäten und eine Unterschreitung der Risswachstumsbeziehung für größere Spannungsintensitäten.

Daher ergibt sich die Möglichkeit eine genauere, konservative Annäherung an die Messdaten durchzuführen, indem das Risswachstumsgesetz in zwei bilineare Bereiche aufgeteilt wird (Bild 13). Diese übliche Vorgehensweise wurde z.B. bereits in [8] vorgeschlagen.

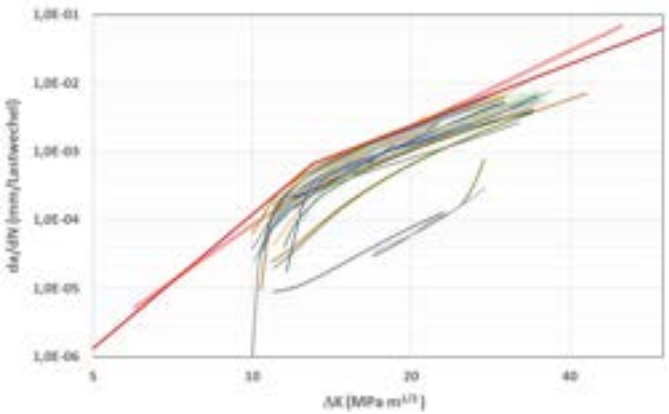


Bild 13: Konservative Beschreibung des ermittelten Risswachstums unter Wasserstoff für p_{H2} = 100bar und R = 0,5

Das Bild 14 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Risswachstumsmessungen für den Werkstoff St35 für verschiedene Wasserstoffdrücke. Es zeigte sich, dass sich das Risswachstum - insbesondere für kleinere Spannungsintensitäten und kleinere Wasserstoffdrücke - zunächst ähnlich dem Risswachstum unter dem Medium Luft verhält. Bei Steigerung der zyklischen Spannungsintensität nähert sich das Risswachstum dem typischen Risswachstum für höhere Drücke bzw. für $p_{H2} \approx$ 100 bar an. Bei der Verwendung des - wie in dem Bild 13 gezeigten - bilinearen

Risswachstumsgesetz, kann man dieses Verhalten ebenfalls konservativ beschreiben, indem in die Risswachstumsbeziehung für kleinere Drücke die Druckabhängigkeit berücksichtigt wird. Für größere Spannungsintensitäten ist die Risswachstumsbeziehung unabhängig vom Wasserstoffdruck und entspricht damit dem Verhalten bei p_{H2} = 100 bar. Dieses durch das konservative Modell beschriebene Risswachstumsverhalten ist in dem Bild 14 für die Drücke p_{H2} = 100 bar, p_{H2} = 5 bar und p_{H2} = 0,2 bar zusammen mit den Versuchsdaten eingezeichnet.

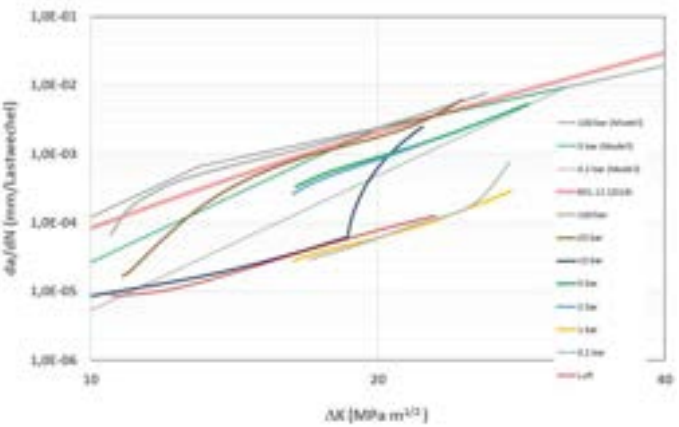


Bild 14: Konservative Beschreibung des ermittelten Risswachstums unter Wasserstoff für unterschiedliche Wasserstoffdrücke und der Vergleich mit den durchgeführten Messungen (Werkstoff St35 bei R = 0,5)

In dem amerikanischen Code [9] ist ein Vorschlag zur Umrechnung des Risswachstumsverhaltens auf beliebige R-Werte enthalten, soweit die entsprechenden Versuche bei einem konstanten R-Wert durchgeführt worden sind. Das Bild 15 zeigt am Beispiel des Werkstoffes L360 einen Vergleich der gemessenen und nach [9] berechneten Verläufe des Risswachstums für R = 0,1 und R = 0,7 unter der Voraussetzung, dass diese Verläufe aus dem gemessenen Verlauf bei R = 0,5 berechnet wurden.

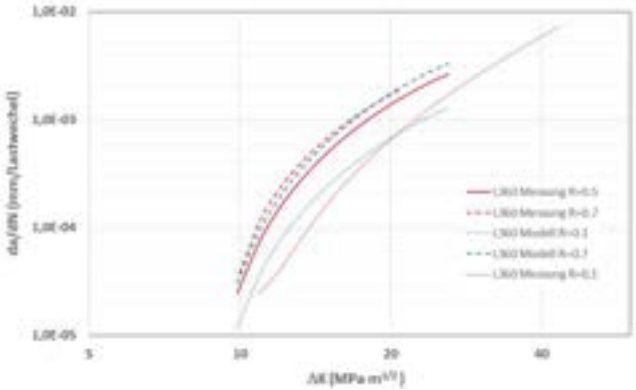


Bild 15: Berechneter und gemessener Einfluss der R-Wertes auf das Risswachstumsverhalten (Werkstoff L360, R = 0,1, R = 0,5, R = 0,7 p_{H2} =100 bar)

Der für R = 0,7 berechnete Verlauf entspricht nahezu exakt dem tatsächlich gemessenen Verlauf. Für R = 0,1 ist die Übereinstimmung zwischen dem berechneten und gemessenen Verlauf ebenfalls noch als hinreichend genau zu bezeichnen. Hier konnte aus versuchstechnischen Gründen der gemessene Verlauf allerdings bis zu höheren Spannungsintensitäten ermittelt werden als der berechnete Verlauf, da letzterer durch den bei R = 0,5 durchgeführten Versuch begrenzt wird.

Zur Illustration des Einflusses des R-Wertes auf das in Bild 13 gezeigte bilineare, modifizierte Risswachstumsgesetz ist dieser in dem Bild 16 als punktierte rote Linie (für die R-Werte R = 0,1 und R = 0,7) eingetragen.

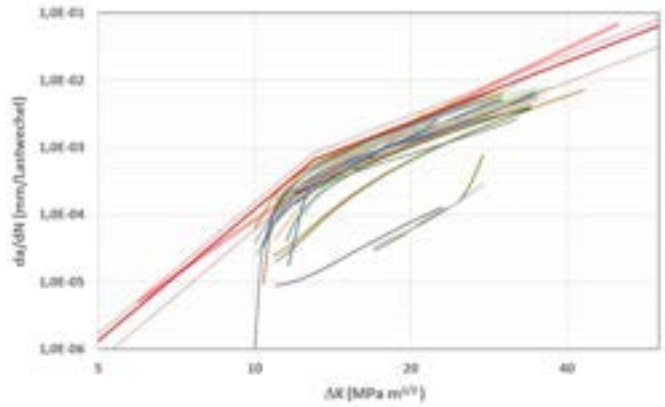


Bild 16: Modifiziertes, bilineares Risswachstumsgesetz für R=0,1, R=0,5 und R=0,7 (p_{H2} =100 bar)

4 Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem Neubau oder der Umstellung von Gashochdruckleitungen ist entsprechend dem DVGW-Regelwerk - abhängig von der Auslegung und der verwendeten Werkstoffe - der Nachweis der Tauglichkeit der verwendeten Werkstoffe im Rahmen von aufwändigen, bruchmechanischen Untersuchungen zu erbringen. Um diesen bisher erforderlichen Prozess zu vereinfachen, wurde vom DVGW das Forschungsprojekt SyWest H2 initiiert, dessen Ziel es war, das bruchmechanische Werkstoffverhalten der verwendeten Stähle zu untersuchen.

Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurden an einem repräsentativen Querschnitt typischer in Deutschland (und teilweise auch in Europa) verwendeter Leitungs- und Rohrleitungsstähle bruchmechanische Prüfungen durchgeführt. Die Untersuchungen ergaben für alle geprüften Leitungs- und Rohrleitungsstähle die Tauglichkeit für den Transport von Wasserstoff, da sowohl die vorgegebene Mindestbruchzähigkeit eingehalten wurde, als auch das Risswachstumsverhalten den Erwartungswerten entsprach.

Hinsichtlich der Beschreibung des Risswachstums konnte - im Vergleich zum amerikanischen Standard ASME B31.12 - eine Erweiterung des Gültigkeitsbereiches abgeleitet werden. Dies betrifft insbesondere die zusätzliche Einführung des Einflusses der Mittelspannung und des Einflusses des Wasserstoffdruckes auf das Risswachstum.

Aufgrund der festgestellten - verhältnismäßig geringen - Streubreite für das Risswachstum von Materialien unterschiedlicher Festigkeit und unterschiedlichsten Alters lässt sich die Folgerung ableiten, dass auch vergleichbare Werkstoffe, die in diesem Programm nicht geprüft wurden, durch die Versuchsergebnisse abgedeckt werden. Somit konnte das angestrebte Ziel des Forschungsprojektes SyWest H2 für die Gruppe der Pipelinestähle und der auf Anlagen verwendeten Rohrleitungsstähle erreicht werden.

Aufgrund der erforderlichen Fokussierung des Prüfprogramms auf Pipeline- und Anlagenstähle konnten nur einige, üblicherweise für Armaturengehäuse verwendete Werkstoffe geprüft werden. Diese durchgeführten Prüfungen ergaben überwiegend ebenfalls die Tauglichkeit der Werkstoffe für die Verwendung unter Wasserstoff. Da die Bandbreite und die möglichen Gefügezustände dieser häufig gegossenen Materialien jedoch im Rahmen des durchgeführten Forschungsprogramms bei weitem nicht abgedeckt werden konnten, bietet sich zumindest für diese Werkstoffgruppe die Durchführung weiterer Prüfungen an.

5 Literatur/Bezugsdokumente

[1] DVGW-Merkblatt G 409; Umstellung von Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff; 09/2020

[2] DVGW Arbeitsblatt G 463; Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Planung und Errichtung; 10/2021

[3] ASME B31.12.-2019 – Hydrogen Piping and Pipelines

[4] ASTM E1820-20 - Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness

[5] ASTM E647-13a - Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates
[6] Baek, Nahm, Kim, Ronevich, San Marchi: “Compatibility and Suitability of Existing Steel Pipelines for Transport of Hydrogen-Natural Gas Blends”, International Conference on Hydrogen Safety, September 13, 2017, Hamburg Germany
[7] Robert L. Amaro, Ryan M. White, Chris P. Looney, Elizabeth S. Drexler, Andrew J. Slifka: Development of a Model for Hydrogen-Assisted Fatigue Crack Growth of Pipeline Steel, Journal of Pressure Vessel Technology, April 2018, Vol. 140
[8] Chris San Marchi, Joseph A Ronevich:” Fatigue and Fracture of Pipeline Steels in High-Pressure Hydrogen Gas”, Proceedings of the ASME 2022 Pressure Vessels & Piping Conference, July 17-22, 2022, Las Vegas, Nevada, USA
[9] ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2010; VIII Division 3; Alternative Rules for Construction of High-Pressure Vessels; Rules for Construction of Pressure Vessels

Autor:

Dr. Ulrich Marewski
Open Grid Europe GmbH, Essen

Tel.: +49 201 3642 18389
E-Mail:
ulrich.marewski@oge.net
Internet:
https://oge.net/de



Bewertung der Wasserstofftauglichkeit durch bruchmechanische Berechnung

Das neue DVGW-Merkblatt G 464

Von Christian Engel

1 Einführung

Derzeit steht Europa vor der Herausforderung in kurzer Zeit ein funktionierendes und sicheres Rohrleitungsnetz zum Transport von Wasserstoff, vorzugsweise grünem Wasserstoff, aufzubauen. Die entsprechenden Rahmenbedingungen werden aktuell durch den Gesetzgeber z.B. durch Anpassung des EnWG und parallel beim DVGW durch Anpassung aller maßgeblichen Regelwerke der G-Reihe auf die Anwendung von Wasserstoff geschaffen.

Zur Konkretisierung der Anforderungen aus dem DVGW-Merkblatt G 409 und dem Anhang C des DVGW-Arbeitsblatts G 463 wurde für Gasleitungen mit Auslegungsdrücken von mehr als 16 bar in einem 2021 begonnenen Projektkreis das neue DVGW-Merkblatt G 464 - Bruchmechanisches Bewertungskonzept für Gasleitungen aus Stahl mit einem Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff - entwickelt.

In diesem neuen Markblatt werden die Randbedingungen für bruchmechanische Berechnungen festgelegt und ein geschlossenes Sicherheitskonzept für die Bewertung der Wasserstofftauglichkeit von Gastransportleitungen entwickelt. Im Anhang des Merkblatts finden sich zwei Berechnungsbeispiele, welche die Berechnungen sowie die anzuwendenden Parameter veranschaulichen.

1.1 Grundlagen

Gashochdruckleitungen werden üblicherweise auf eine vorwiegend ruhende Beanspruchung ausgelegt, da kaum wesentliche Betriebsdruckänderungen vorliegen und selbst bei dem eventuellen Vorliegen von scharfkantigen Defekten unter diesen Bedingungen nur ein vernachlässigbares Wachstum dieser Defekte eintreten kann. Bei Betrieb einer Gashochdruckleitung mit dem Medium Wasserstoff ist das potenzielle Risswachstum im Stahl im Vergleich zum Medium Erdgas größer und die Bruchzähigkeit geringer. Aus diesem Grund wurde bei der letzten Überarbeitung des DVGW-Arbeitsblatts G 463 der Anhang C ergänzt, welcher zur Bewertung der Wasserstofftauglichkeit eine bruchmechanische Bewertung vorsieht, die im Anhang C jedoch nur grob beschrieben ist. Auch das DVGW-Merkblatt G 409 fordert für die Umstellung von bestehenden Gashochdruckleitungen auf den Betrieb mit Wasserstoff zur Feststellung der Wasserstofftauglichkeit eine bruchmechanische Bewertung.

Im neu erschienenen DVGW-Merkblatt G 464 werden die Anforderungen an die bruchmechanische Bewertung von Gashochdruckleitungen konkretisiert und es wurde ein geschlossenes Sicherheitskonzept entwickelt. Ziel ist eine weitgehend einheitliche Durchführung der

bruchmechanischen Bewertungen für Wasserstoffleitungen, die der Versorgung der Allgemeinheit mit Energie dienen.

2 Inhalte des DVGW-Merkblatts G 464

Im Folgenden werden die Inhalte des DVGW-Merkblatts G 464 vorgestellt.

2.1 Anwendungsbereich

Das neue Merkblatt gilt grundsätzlich für die bruchmechanische Bewertung von bestehenden und neu zu errichtenden Gasleitungen aus Stahlrohren mit einem Auslegungsdruck von mehr als 16 bar zum Transport oder Verteilung von Gasen der fünften Gasfamilie des DVGW-Arbeitsblatts G 260. Für Gase der 2. Gasfamilie (methanreiche Gase mit Wasserstoffbeimischung) oder Gasleitungen aus Stahlrohren mit lösbaren Verbindungen / Muffenverbindungen oder Gasleitungen mit einem Auslegungsdruck bis zu 16 bar kann das Merkblatt sinngemäß angewendet werden.

Das bruchmechanische Bewertungskonzept wurde erstellt für folgende typische Parameter:

- Rohrdurchmesser DN 100 bis DN 1400
- Auslegungsdruck DP >16 bar
- Wanddicke größer 3,6 mm
- Rohrverbindungen Stumpfschweißnähte
- Streckgrenze / Dehngrenze bis 555 MPa
- Wasserdruckprüfung nach Verlegung mind. 1,3 x DP bis zu Stresstest (bis etwa 1970 mindestens 1,1-facher DP)

Bei Abweichungen von diesen Parametern ist zu prüfen, ob die bruchmechanische Bewertung nach dem Merkblatt angewendet werden kann oder ggf. Anpassungen vorgenommen werden müssen.

Eine bruchmechanische Bewertung kann bei Errichtung neuer Gashochdruckleitungen gemäß Anhang C des DVGW-Arbeitsblatts G 463 entfallen, wenn folgende Voraussetzungen vorliegen:

- Werkstoffe mit Mindeststreckgrenze < 360 MPa und
- Nutzungsgrad f_0 < 0,5 und
- vorwiegend ruhende Beanspruchung

Für bestehende Gasleitungen, die auf den Betrieb mit Wasserstoff umgestellt werden sollen, ist der Verzicht auf eine bruchmechanische Bewertung im Einzelfall zu überprüfen. Dabei sind insbesondere die Lieferbedingungen der Rohre zum Zeitpunkt der Errichtung und der bisherige Betrieb der Gasleitung zu berücksichtigen.

2.2 Bruchmechanische Bewertung

Bei der bruchmechanischen Bewertung einer Gasleitung werden mögliche Fehler an der Rohrinnenwand hinsichtlich der statischen Belastung sowie hinsichtlich des Ermüdungsrisswachstums infolge von Betriebsdruckänderungen bewertet.

Bei statischer Belastung dürfen die potenziell vorhandenen Fehler nicht größer sein als der zulässige Fehler bei maximaler Last durch Innendruck.

Die Vorgehensweise bei der bruchmechanischen Bewertung soll anhand des Bild 1 erläutert werden. Die Bewertung des Ermüdungsrisswachstums unter Wasserstoffeinfluss erfolgt durch Berechnung des Wachstums eines angenommenen Ausgangsfehlers a_0 infolge von prognostizierten Betriebsdruckänderungen. Dabei darf innerhalb der festgelegten Lebensdauer der Gasleitung die zulässige Rissgeometrie, insbesondere die Risstiefe a_{zul} nicht überschritten werden. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Risswachstumsberechnung ist der Zeitpunkt für eine weitere Überprüfung in Form einer Verifizierung oder einer Inspektion der Gasleitung festzulegen. Die Verifizierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 466-1 dient dem Abgleich der prognostizierten und der tatsächlich aufgetretenen betrieblichen Betriebsdruckänderungen.

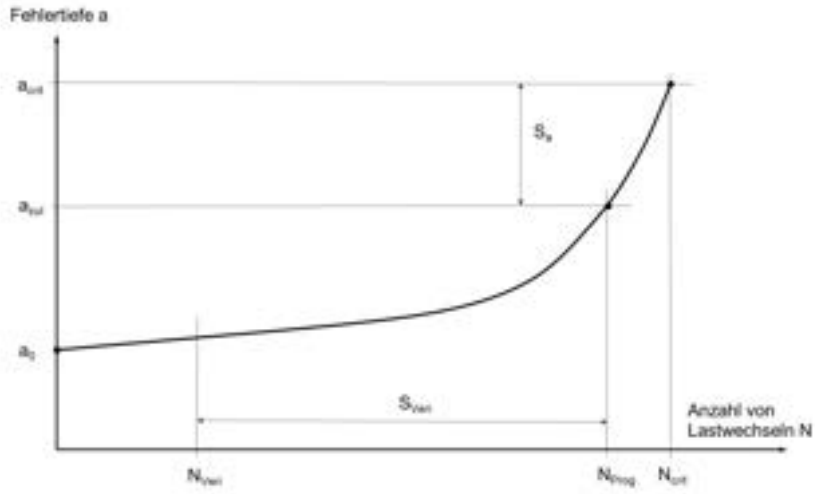


Bild 1: Schematische Darstellung der bruchmechanischen Bewertung

In Verbindung mit dem Monitoring der auftretenden Betriebsdruckänderungen, der regelmäßigen Anpassung der Risswachstumsprognosen und daraus gegebenenfalls resultierenden Inspektion entsteht so ein geschlossenes Sicherheitskonzept.

2.2.1 Ausgangsfehler

Für die bruchmechanische Berechnung einer Gasleitung ist ein Riss als Längsfehler an der Rohrinnenseite des schwächsten Rohres anzunehmen. Soweit nicht anders bekannt ist, werden folgende Fehlergrößen angenommen:

- Für neu zu errichtende Gashochdruckleitungen gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 463.
  - Fehlertiefe (a_0) abgeleitet aus der ZfP-Prüfung nach DIN EN ISO 3183, Anhang A in Verbindung mit DIN EN ISO 10893-10 / -11 mit 5% oder 10 % der Wanddicke
  - Fehlerlänge 50mm

- Für nach DVGW-Merkblatt G 409 umzustellende Gashochdruckleitungen
  - Fehlertiefe (a_0) aus den zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden technischen Regeln, Zeugnissen oder Spezifikationen zur Rohrherstellung.
  - Liegen Erkenntnisse hinsichtlich des Vorhandenseins größerer und / oder nicht in Längsrichtung orientierter Fehler vor, zum Beispiel aus Inspektionsmolchungen oder Freilegungen, sind diese zusätzlich zu betrachten.
  - Es ist zudem eine Einzelbetrachtung auf Basis weiterer Quellen, wie beispielsweise betriebliche Erfahrung, Schweißverfahren, ZfP (unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit), Ausbaustücke, Betriebshistorie, Inspektionsmolchung notwendig. Liegen aus den zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Unterlagen keine Informationen zu Fehlergrößen vor, können diese auch unter Einbeziehung des Sachverständigen durch die Berücksichtigung der weiteren Quellen bestimmt werden.
  - Für die Berechnung sollte jeweils der größte mögliche Fehler der obigen Auflistung verwendet werden.
  - Fehlerlänge 50mm

2.2.2 Prognose von Betriebsdruckänderungen

Für den Betrieb der Gasleitung ist im ersten Schritt eine Prognose der künftigen Betriebsdruckänderungen vorzunehmen. Da bisher keine Erfahrungen mit dem Betrieb von Wasserstoffleitungen für die Energieversorgung vorliegen, sollten die erwarteten Betriebsdruckänderungen konservativ abgeschätzt werden. Dabei ist jedoch der gasförmige Zustand des Fördermediums in der Transportleitung zu berücksichtigen. Es ist daher nicht damit zu rechnen, dass pro Betriebsjahr eine zweistellige Anzahl von Volllastwechseln auftritt.

2.2.3 Durchführung der bruchmechanischen Bewertung

Zur einheitlichen Durchführung von bruchmechanischen Bewertungen werden im DVGW-Merkblatt G 464 die grundsätzlich einzuhaltenden Details empfohlen. So ist z.B. eine anerkannte bruchmechanische Berechnungsvorschrift zu verwenden, z.B. BS 7910, API 579 oder FKM Richtlinie. Formabweichungen von Rohren, welche innerhalb der zulässigen, gültigen Herstellungstoleranzen liegen, sind durch den Sicherheitsfaktor Sa berücksichtigt. Bei Vorliegen wesentlicher Eigenspannungen oder Formabweichungen an Rohren außerhalb der jeweils gültigen Herstellungsnormen, sind diese gesondert zu berücksichtigen. Weiterhin sind die bei der

Berechnung zu verwendenden Parameter wie Bruchzähigkeit und Streck- oder Fließgrenze und das zu verwendende Rechenmodell festgelegt. Das Risswachstum ist entweder gemäß ASME B 31.12 anzunehmen oder es sind die experimentell ermittelten Werte für das spezifische Risswachstum der vorhandenen Stahlsorte z.B. aus dem Forschungsprojekt SyWestH2 des DVGW zu verwenden.

Mit diesen Randbedingungen wird das Wachstum des Ausgangsfehler infolge der prognostizierten Betriebsdruckänderungen bis hin zur kritischen Rissgröße a_{crit} berechnet. Unter Verwendung eines Sicherheitsbeiwertes S_a (1,5) wird die zulässige Risstiefe a_{zul} und die dazugehörige zulässige Anzahl von Lastwechseln N_{Prog} bestimmt.

Mit einem weiteren Sicherheitsbeiwert S_{Veri} von mindestens 5 wird der späteste Zeitpunkt für eine Verifizierung der bruchmechanischen Berechnung festgelegt. Bei dieser Verifizierung wird eine erneute bruchmechanische Berechnung unter Zugrundelegung der tatsächlich aufgetretenen Betriebsdruckänderungen vorgenommen. Dies kann - in Abhängigkeit der Anzahl und Größe der aufgetretenen Betriebsdruckänderungen - zu einer längeren oder auch zu einer kürzeren Lebensdauer führen. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Verifizierung sind ggf. weitere Maßnahmen wie z.B. erneute Inspektion der Gasleitung in Abstimmung mit dem Sachverständigen festzulegen.

2.2.4 Erfassung der Betriebsdruckänderungen und Umrechnung in Einstufenbelastung

Eine sinnvolle Bewertung der Eignung der Gasleitung für den Transport von Wasserstoff kann nur bei Aufzeichnung und Auswertung der vorhandenen Betriebsdruckänderungen erfolgen. Sowohl zur Erfassung der Betriebsdruckänderungen als auch zur Umrechnung der erfassten Betriebsdruckänderungen in eine äquivalente Einstufenbelastung sind die entsprechenden Randbedingungen im neuen DVGW-Merkblatt festgelegt.

2.2.5 Rechenbeispiele

Im Anhang des neuen Merkblatts sind zwei Rechenbeispiele für eine bruchmechanische Bewertung sowie für die Berechnung von Lastkollektiven vorhanden, die den kompletten bruchmechanischen Nachweis veranschaulichen.

3 Zusammenfassung

Sowohl im DVGW-Arbeitsblatt G 463 als auch im DVGW-Merkblatt G 409 wird für Gasleitungen zum Transport von Wasserstoff zur Feststellung der Wasserstofftauglichkeit eine bruchmechanische Bewertung gefordert. Das neue DVGW-Merkblatt G 464 konkretisiert die Randbedingungen und einzuhaltenden Parameter für die bruchmechanische Bewertung und legt die erforderlichen Sicherheitsbeiwerte und die Zeitpunkte für Überprüfungszeiträume fest. Es wird somit ein geschlossenes Sicherheitskonzept für die Bewertung der Wasserstofftauglichkeit von Gasleitungen zum Transport von Wasserstoff präsentiert.

Autor:

Dipl.-Ing. Christian Engel
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Grugaplatz 2-4
45131 Essen

Tel.: +49 151 1755 1453
E-Mail:
christian.engel@tuvsud.com
Internet:
www.tuvsud.com



3
Leitungen und Komponenten im Wasserstoffnetz

Umstellung bestehender Gastransportleitungen auf Wasserstoff – Alles ganz einfach?!

Von Gundula Stadie, Christian Mayer, Leonard Commandeur

1 Einleitung

Im Zug der Energiewende wird aktuell vielfach die Eignung bestehender Erdgastransportleitungen für die zukünftige Nutzung zum Transport von Wasserstoff untersucht z.B. [1]. Vom DVGW ist hierfür das Merkblatt G409 [1] entwickelt worden. Es stellt für den Betreiber einen Leitfaden dar, der bei der Umstellung von Erdgas- auf Wasserstofftransport zu berücksichtigen ist.
Also alles ganz einfach? Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das europäische Transportnetz in durchschnittliches Alter von 37 Jahren [3] hat mit steigender Tendenz. Im Laufe des Lebenszyklus einer Rohrleitung ergeben sich i.a. diverse Veränderungen (Reparaturen, Umlegungen, etc.), deren Dokumentation manchmal nicht vollständig ist. Hinzu kommt, dass es durch Betreiberwechsel u.ä. auch zum Verlust von Informationen gekommen sein kann.
Im Folgenden wird aufgezeigt, welche Herausforderungen sich daraus ergeben können und wie diese gelöst werden können.

2 Aktueller Stand

Das aktuelle Gastransportnetz zeichnet sich durch eine heterogene Altersstruktur aus. In Abbildung 1 sind die in der EGIG Datenbank [3] erfassten europäischen Transportnetzkilometer nach Errichtungsjahr dargestellt.

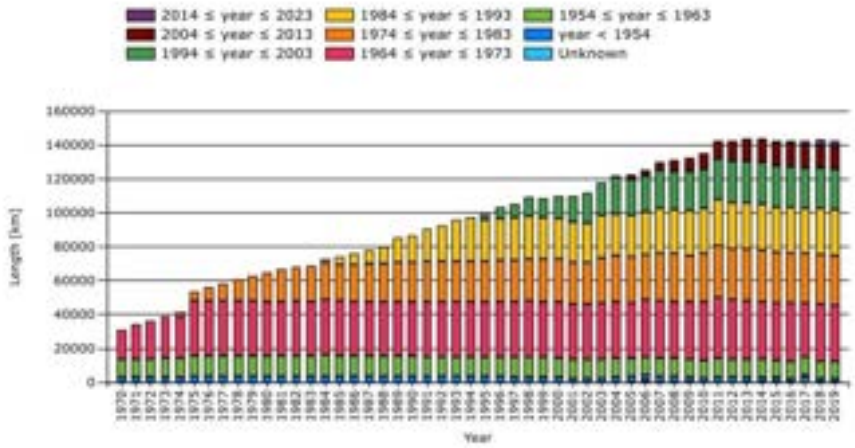


Abbildung 1: Rohrleitungskilometer (Bestand) im jeweiligen Jahr

Man erkennt, dass die Gesamtlänge in den letzten 10 Jahre relativ konstant geblieben ist. Ebenso sind wenige Leitungen stillgelegt worden. Daher sind die Längen der Abschnitte, die beispielsweise bis 1963 errichtet wurden, fast konstant. Das Durchschnittsalter ist daher von 30 Jahren in 2011 auf 37 Jahre im Jahr 2019 angestiegen [3].

Für die Umstellung von Erdgastransportleitungen auf den Transport von Wasserstoff sind neben der Dokumentation aus der Bauphase auch Informationen zum Betrieb, Änderungen und eine aktuelle Zustandsbewertung auch im Hinblick auf das aktuelle Regelwerk zu überprüfen. Dabei sind Regelwerksänderungen wie Mindestüberdeckungen und geforderte Sicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen. Dies stellt häufig insbesondere für ältere Rohrleitungen eine Herausforderung dar, weil im Laufe der Betriebszeit z.B. Reparaturen vorgenommen (aber nicht komplett dokumentiert) wurden oder Betreiberwechsel stattgefunden haben, die zu einem Datenverlust geführt haben. Auch die Digitalisierung älterer Dokumente hat zum Teil dazu geführt, dass Informationen aufgrund von Unlesbarkeit verloren gegangen sind.

3 Äquivalente Nachweise - DVGW G 453 [4]

Gemäß DVGW G409 sind folgende Informationen erforderlich:

- Aktuelle Leitungsdokumentation (Trassenpläne, Bestandpläne, Rohrbuch)
- Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen
- Sachverständigenbescheinigungen
- Unterlagen Gasqualität
- Äußere Einflüsse (Bergbau, korrosive Böden, Bebauung,..)
- Unterlagen und Eigenschaften über andere Fluide, Begleitstoffe, etc.
- Bescheinigungen Druckprüfungen
- Betrieb und Instandhaltung
- Innen- und Außenkorrosion
- Nachweis der Wirksamkeit des Kathodischen Korrosionsschutz (KKS)
- Aktuelle Technische Zustandsbewertung gemäß G466 (ggf. Molchung)
- Druckaufschreibungen mit Auswertung
- Ergebnisse zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)
- Aktuelle Zustandsbewertung

Im Folgenden wird ausgeführt, wie man vorgehen könnte, wenn die geforderten Daten nicht zur Verfügung stehen. Das DVGW G 453 unterscheidet in Priorität 1 (z.B. Druckabsicherung, Einbindung (Dokumentation der Schweißung), Wirksamkeit des KKS, Planwerk nach GW120 bzw. DIN2425-3) und Priorität 2 Dokumente (z.B. Abnahmebescheinigung für Einbindenähte, Druckprüfungsbericht, Abnahmeprüfzeugnisse (Rohre und Bauteile)). Für Priorität 1 Dokument muss ein Ersatznachweis bzw. eine Maßnahme erfolgen. Hierzu können auch Priorität 2 Dokumente herangezogen werden. Je nach Errichtungsjahr wird im G453 eine wird eine Festlegung über die notwendigen Dokumente bzw. mögliche Ersatznachweise getroffen, da die jeweils zur Errichtungszeit geforderten Nachweise vom zum Errichtungszeitpunkt gültigen Regelwerk abhängen. Folgende Punkte sind durch das DVGW G453 abgedeckt:

- Aktuelle Leitungsdokumentation (Trassenpläne, Bestandpläne, Rohrbuch)
- Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen
- Sachverständigenbescheinigungen
- Bescheinigungen Druckprüfungen
- Nachweis der Wirksamkeit des KKS

4 Zustandsbewertung

Ein Teil der geforderten Dokumentation zur Umwidmung von Erdgastransportleitungen auf den Transport von Wasserstoff ist die aktuelle Zustandsbewertung.
Im Rahmen der aktuellen Zustandsbewertung wird der Zustand der Rohrleitung bzgl. Innen- und Außenkorrosion durchgeführt.

Wenn eine intelligente Molchung durchgeführt wurde, werden die Ergebnisse ausgewertet. Hierbei können bei geeigneter Qualität sowie einem Nachweis der Wirksamkeit des KKS auch intelligente Molchergebnisse ausreichend sein, die älter als 10 Jahre sind.
Im Rahmen der Zustandsbewertung wird im Wesentlichen der aktuelle Zustand der Rohrleitung in Bezug auf Korrosion, also auch die Wirksamkeit des KKS bewertet. Auch potenzielle zusätzliche Lasten z.B. durch Bodensenkungen, etc. müssen hierbei berücksichtigt werden. Wenn keine Informationen zu äußeren Einflüssen vorliegen, können diese meist durch Inspektion und ggf. in Kombination mit einer Berechnung bewertet werden.

Bei der Bewertung muss die Historie einer Leitung immer mit in Betracht gezogen werden. So wurden einige Leitungen, die heute für den Transport von Erdgas genutzt werden, ursprünglich als Rohölleitungen errichtet. In diesen Fällen lagen in der Vergangenheit sowohl andere Betriebsbedingungen (Lastwechsel in Flüssigkeitsleitungen) als auch Schädigungsmechanismen (Innenkorrosion, Vorhandensein von Chloriden, Schwefel) vor.

Bei der Bewertung ist anhand der Druckaufschreibungen konservativ abzuschätzen, wie viele Lastwechsel bereits aufgetreten sind. Auch Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen und Schadensstatistiken sind zu berücksichtigen.

Armaturen sind immer einer gesonderten Bewertung zu unterziehen. Hier ist neben der grundsätzlichen Eignung der Werkstoffe auch immer die Funktionsfähigkeit zu bewerten. Insbesondere die innere und äußere Dichtheit muss auch bei Wassersoff gegeben sein.

5 Zukünftige Beanspruchungen

Die aktuelle Belastung einer Gastransportleitung durch Druckschwankungen ist eher gering. Dieses könnte sich bei einer zukünftigen Nutzung für den Transport eventuell ändern. Für die Analysen werden daher zunächst Lastannahmen getroffen, die dann im anschließenden Betreib verifiziert werden müssen [5].

Rissartige Defekte können unter schwingender Belastung wachsen, daher ist im DVGW G 409 unter bestimmten Bedingungen eine Rissfortschrittsberechnung gefordert. Für die bruchmechanische Analyse gibt das Merkblatt DVGW G463 Anhang C[5] weiteren Aufschluss. Zum Start der Berechnung muss die Anfangsrisslänge definiert werden.
Ultraschallrissprüfmolche sind seit gut 20 Jahren im Einsatz. Aufgrund ihrer technischen Konzeption sind sie in der Lage rissartige Fehler in Stahlleitungen zu detektieren. Falls diese Inspektionsergebnisse vorliegen, können sie verwendet werden andernfalls, können z.B. gemäß DVGW G463 die Anfangsrissabmessungen postuliert werden.
Es wird dazu eine Risstiefe von 10% bzw. 20% je nach U1 oder U2 Prüfung gemäß Herstellungsnorm des Materials bei der Errichtung angesetzt. Für Rohre, die vor der Einführung von dieser Prüfklassen errichtet wurden, sollen konservative Annahmen getroffen werden. Häufig liegen hierzu aus der Errichtungsphase zulässige Fehlerabmessungen vor.
Falls aus der Errichtungsphase keine Informationen zur zfP Prüfung vorliegen und die Schweißnähte aktuellen Regelwerksanforderungen nicht entsprechen, sind diese in Abstimmung mit dem Sachverständigen gesondert zu bewerten.

Neben den obengenannten Informationen zu Anfangsrissabmessungen und geplanten Lastwechsel, wie beim Betreiber vorliegen sollten, werden noch die bruchmechanischen Materialparameter unter Wasserstoffatmosphäre benötigt. Hier können für die Berechnung des Risswachstums die Werte gemäß ASME 31.12 [6] verwendet werden.
Für die Bewertung des Risses wird der Spannungsintensitätsfaktor unter Wasserstoffatmosphäre K_{IH} benötigt. Diese sind zum Teil in der Literatur zu finden, z.B. [7]. Aktuell werden gerade Versuche durchgeführt deren Ergebnisse im Frühjahr 2023 erwartet werden[1].

Die Eignung aller verwendeten Materialien (also auch Formteile, etc.) unter Wasserstoff-Atmosphäre und die ausreichende Dimensionierung für zukünftigen Wasserstofftransport ist sicherzustellen. Auch sollten Ventile, etc. auf ihre Wasserstoffeignung hin geprüft werden. In diesem Zusammenhang kann ein Austausch von Komponenten wie Armaturen ggf. notwendig werden, wenn kein Nachweis erbracht werden kann.

6 Zusammenfassung

Für die Bewertung der Wasserstoffeignung von bestehenden Rohrleitungen liegt ein Verfahren [1] vor. Auch der Umgang mit fehlenden Informationen ist z.B. in [4] geregelt. Für die Bewertung des zukünftigen Betriebs sollten nach der Umstellung die getroffenen Lastannahmen verifiziert werden. Im Rahmen der Eignungsfeststellung werden Materialparameter der verbauten Stähle benötigt. Hierzu gibt es bereits Werte in der Literatur, die jedoch durch aktuelle Versuche ergänzt werden. Trotzdem kann ggf. neben zusätzlichen Untersuchungen / Inspektionen an der Rohrfernleitung auch der Austausch / Umbau von Komponenten, z.B. Armaturen Molchschleusen Gasregelstationen notwendig werden.
Schlussfolgernd kann man sagen, dass die Umstellung „einfach“ ist, jedoch die Tücke manchmal im Detail steckt.

7 Literatur

[1] https://www.hypos-eastgermany.de/
[2] DVGW; Umstellung von Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16bar für den Transport von Wasserstoff; Technischer Hinweis – Merkblatt, DVGK G409, September 2020
[3] Gas Pipeline Incident; 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970-2019), Doc. number VA 20.0432, EGIG Groningen, 2020
[4] DVGW, Maßnahmen bei unvollständiger technischer Abnahmedokumentation von Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck größer als 5bar, Technische Regel DVWG G453, Entwurf März 2022
[5] DVGW, Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar, Technische Regel DVWG G463 (A), Oktober 2021
[6] ASME, Hydrogen Piping and Pipelines, ASME B31.12, 2020
[7] Chatzidouros, E.V.; Papazoglou, V.J.; Pantelis, D.I.: Hydrogen effect on fracture toughness of API 5L X70, X65 and X52 pipeline steel welds – An overview, Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2011), 2011

Autoren:

Dr.-Ing. Gundula Stadie
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0172 269 4394
E-Mail:
gundula.stadie@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



Dr. Christian Mayer
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0221 806 2239
E-Mail:
christian.mayer@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



Leonard Commandeur
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0151 189 87459
E-Mail:
leonard.commandeur@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



Welche Rolle können Kunststoffrohre im Wasserstofftransport spielen?

Von Thorsten Späth

Beim Erreichen der Klimaziele spielt emissionsfreier Wasserstoff eine wesentliche Rolle. Er kann aus erneuerbaren Energien erzeugt und klimaneutral energetisch verwertet werden. Und zur praktischen Umsetzung ist Gas-Technologie notwendig, denn sie ermöglicht das Speichern und den Transport der grün gewonnenen Energie. Für die Bundesregierung hat das Thema strategische Bedeutung. Daher werden Technologien rund um den Energieträger Wasserstoff gefördert. Im Vordergrund der Förderung stehen Forschungsvorhaben mit sogenannten Reallaboren, die praxisnah alle offenen Fragen rund um die Erzeugung, das Handling, den Transport, die Speicherung und die Nutzung des Wasserstoffs klären sollen. Können die bestehenden Gasnetze, die in der Verteilung hauptsächlich aus Kunststoff bestehen, genutzt werden? Wie müssen die Gasnetze von morgen beschaffen sein für 100% Wasserstoff?

1 Vision der Energiezukunft mit Wasserstoff

Eine erfolgreiche Energiewende bedeutet die Kombination von Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit mit innovativem und intelligentem Klimaschutz. Dafür brauchen wir alternative Optionen zu den derzeit noch eingesetzten fossilen Energieträgern. Wasserstoff kann durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energien produziert werden, nur dann gilt er als klimaneutral, wird als „grüner Wasserstoff“ bezeichnet und spielt eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende [1]:



Bild 1: Erzeugung von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien

– H2 ist ein vielseitiger Energieträger. Es kann z. B. in Brennstoffzellen zur Förderung der H2-basierten Mobilität und in Zukunft als Grundlage für synthetische Kraftstoffe verwendet werden.
– H2 ist ein Energiespeichersystem, das erneuerbare Energien speichern und zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage beitragen kann.
– H2 ist ein wesentliches Element der Sektorkopplung. Vor allem dort, wo Strom aus erneuerbaren Energien nicht direkt genutzt werden kann, eröffnen grüner H2 und seine nachgelagerten Produkte (Power-to-X) neue Dekarbonisierungspfade.
– Industrielle CO2-Emissionen, z.B. prozessbedingte Emissionen aus der Zementindustrie, Stahlindustrie, ..., können langfristig nur mit Hilfe von H2 dekarbonisiert werden

2 Energieversorgung über das bundesweite Gas Verteilnetz

Etwa die Hälfte aller Haushalte in Deutschland heizen heute mit Gas. Die unsichtbare, weil unterirdische Infrastruktur ist vorhanden und kann der Schlüssel sein, um zukünftig auch grünen Wasserstoff zum Endverbraucher zu bringen. Die Investitionen wären minimal. Die meisten Gasgeräte lassen sich zumindest mit einer Wasserstoffbeimischung betreiben. Daher ist das bestehende Gasnetz ein wichtiger Baustein, um unter Nutzung von Wasserstoff auch unseren Wärmemarkt zu dekarbonisieren. Aber können die bestehenden Gasnetze dafür genutzt werden? Der meistverbaute Werkstoff im Gas Verteilnetz sind Rohre aus Polyethylen. Diese werden seit den 70er Jahren eingesetzt und sind heute fest im Regelwerk etabliert.

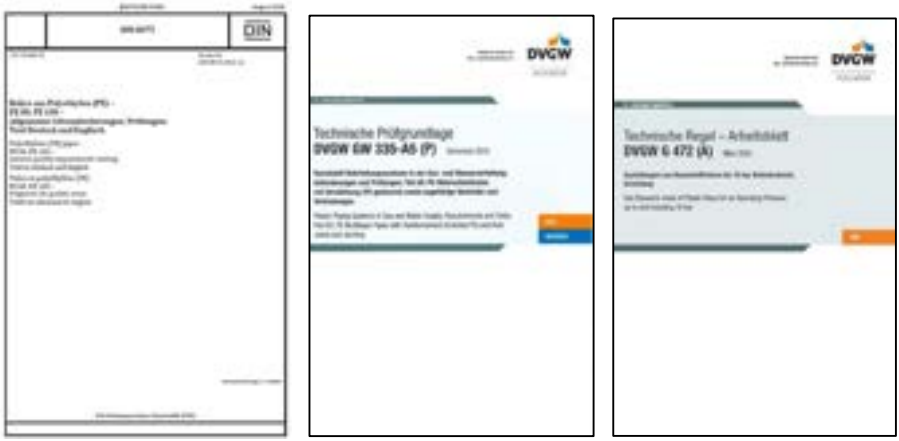


Bild 2: Gültige Normen für Rohre aus Polyethylen [2, 3, 4]

Das aktuelle Regelwerk lässt eine Wasserstoff-Zumischung von bis zu 10% zu, bis zu dieser Grenze ist abgesichert, dass alle Komponenten uneingeschränkt und sicher funktionieren. Ein nächster Schritt soll eine Erhöhung auf 20% sein. Die Gasnetze von morgen sollten aber tauglich für 100% Wasserstoff sein. Wie muss ein solches Netz beschaffen sein? Das heutige Verteilnetz in Deutschland misst fast 500.000 km und besteht im Niederdruck zu fast 80% aus Kunststoffrohren aus PE 80 und PE 100.
Doch neben Rohren aus Polyethylen gibt es viele weitere Komponenten und andere Werkstoffe im Bestandsnetz. Daher werden diese im Rahmen von Forschungsvorhaben intensiv getestet. Um die Bestandsnetze zukünftig beurteilen zu können, wird vom DVGW aktuell eine Wissensdatenbank aufgebaut, in der den Netzbetreibern alle Erkenntnisse zu den Komponenten in den Bestandsnetzen zur Verfügung gestellt werden. Ziel ist eine digitale Wissensdatenbank mit allen Informationen zur H2-Verträglichkeit, die als ein zentrales Werkzeug zur H2 Umstellung nutzbar ist.

3 Forschungsvorhaben

Das E.ON Tochterunternehmen Avacon startet in Zusammenarbeit mit dem DVGW ein bislang einzigartiges Projekt in einem Gasverteilnetz in Deutschland, bei dem Erdgas 20% Wasserstoff beigemischt werden. Neben der Eignung der im Netz vorhandenen Anlagen ist die Wasserstoffverträglichkeit der Kundengeräte von großer Bedeutung [5].
Ein anderes Projekt beschäftigt sich damit, wie ein Gasnetz zukünftig beschaffen sein muss, um 100% Wasserstoff sicher zum Endverbraucher zu bringen. Welche Anlagentechnik muss dafür ausgetauscht oder angepasst werden? Mit dieser Frage beschäftigt sich das Projekt HYPOS, im Zuge dessen die Mitnetz Gas im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen ein exemplarisches Verteilnetz in Betrieb genommen hat [6].
Im Reallaborprojekt „Westküste 100“ wird mit Hilfe von Windkraft erzeugte, regenerative Energie genutzt, um an der Raffinerie Heide durch Elektrolyse grünen Wasserstoff zu erzeugen. Dieser wird dann über ein verzweigtes Wasserstoffnetz zwischen der Raffinerie, den Stadtwerken und einem Kavernensystem weiter transportiert und so die Speicherung und die industrielle Nutzung im Realbetrieb erprobt [7].

4 PE Rohre für Wasserstofftransport

Die Eignung von PE Rohren zum Wasserstofftransport ist bereits in der Beständigkeitsliste der gültigen DIN-Norm beschrieben [2]. Allerdings haben auch verschiedene Prüfinstitute das Thema vertieft und abgesichert. In den Niederlanden werden die Anforderungen für die Tauglichkeit zum Transport von 100% Wasserstoff durch KIWA beschrieben und für PE Rohre von egeplast bestätigt [8]. Bei uns in Deutschland ist das Gastechnologische Institut DBI seit mehreren Jahrzenten ein akkreditiertes und DVGW-anerkanntes Prüflaboratorium für die Prüfung von Gasgeräten und Gasarmaturen. Dort hat man auf der Basis von nationalen und internationalen Forschungsprojekten Erfahrungen gesammelt und Prüfregeln festgelegt, um zukünftig eine sichere Versorgung mit emissionsfreiem Wasserstoff zu gewährleisten [9]. Nach Abschluss der Prüfungen und Einreichen aller relevanten Unterlagen hat das DBI egeplast die Gewährleistungsmarke H2ready für die Gasrohre egeplast 90 10® RC, egeplast SLM® 3.0 und HexelOne® erteilt.



Bild 3: Für Wasserstofftransport taugliche Kunststoffrohrsysteme aus PE 100-RC

Die nationalen Normen von DIN und DVGW berücksichtigen den Transport bislang noch sehr eingeschränkt. Allerdings wird in den zuständigen Gremien unter Hochdruck an der Ergänzung der Regelwerke gearbeitet. Ein Leitfaden zur Anwendung des DVGW Regelwerks auf die leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit wasserstoffhaltigen Gasen und Wasserstoff ist bereits Ende 2021 erschienen [10]. Das zukünftige Zertifizierungsprogramm, welches die bestehenden Anforderungen der gültigen Normen um Ergänzungsprüfungen für 100% Wasserstoff ergänzen wird, soll bereits Anfang 2023 erscheinen [11].

5 Entwicklungen zur Reduzierung der Emissionen

Mit dem European Green Deal hat die Europäische Kommission den Klimaschutz zur obersten Priorität erklärt. Vor diesem Hintergrund hat die Europäische Kommission am 14. Oktober 2020 eine Strategie zur Minderung der Methanemissionen in den Bereichen Energie, Landwirtschaft und Abfall („EU-Methanstrategie“) vorgelegt [12]. Das heißt, Methanemissionen aus unseren Gasnetzen durch Undichtigkeiten, aber auch Permeationsverluste gilt es zukünftig zu minimieren. Auch für den nicht so Klima schädlichen, dafür aber aufgrund seiner geringeren Molekülgröße stärker permeierenden Wasserstoff wird die Permeation zukünftig im Fokus stehen. Gegenstand der Prüfungen im Rahmen der H2ready Zertifizierung ist aus diesem Grunde auch immer die Ermittlung des Bauteil-, in diesem Fall Rohr- spezifischen Permeationskoeffizienten. So kann zukünftig der Betreiber für sein Netz die Permeationsverluste berechnen und dokumentieren – unabhängig davon, dass diese im Vergleich zu Verlusten durch Undichtigkeiten nur einen kleinen Teil ausmachen.
egeplast hat sich bei der Beteiligung an Forschungsvorhaben auf die Bestimmung und Reduzierung der Permeation konzentriert [13]. Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungs-vorhabens mit einem großen Gasversorger wurde auch eine in Bezug auf Permeation verbesserte Rohrkonstruktion mit einer integrierten Sperrschicht beim DBI untersucht und darf aufgrund der

dokumentierten Qualitätsunterlagen und der Prüfergebnisse die Gewährleistungsmarke H2ready tragen.
Mit egeplast Rohrsystemen mit dieser Sperrschicht können zukünftig Emissionsverluste minimiert werden.

6 Literatur

[1] „Die Nationale Wasserstoffstrategie“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), www.bmwi.de, Stand Juni 2020
[2] DIN 8075:2018-08; Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen
[3] DVGW GW 335-A5:2015-12; Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung - Anforderungen und Prüfungen - Teil A5: PE-Mehrschichtrohre mit Verstärkung (PE gestreckt) sowie zugehörige Verbinder und Verbindungen
[4] DVGW G 472:2020-03; Gasleitungen aus Kunststoffrohren bis 16 bar Betriebsdruck; Errichtung
[5] https://www.avacon-netz.de/de/avacon-netz/forschungsprojekte/wasserstoff-im-gasnetz.html
[6] www.hypos-eastgermany.de
[7] www.westkueste100.de
[8] Approval requirement AR 214; Fitness for admixtures up to and including 100% hydrogen gas; KIWA June 2019
[9] Gewährleistungsmarke H2ready des DBI GTI; https://www.dbi-gruppe.de
[10] DVGW G 221:2021-12; Leitfaden zur Anwendung des DVGW Regelwerks auf die leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit wasserstoffhaltigen Gasen und Wasserstoff
[11] DVGW ZP8100 – Ergänzungsprüfungen für Kunststoffrohre; in Vorbereitung
[12] EU-Methanstrategie; https://www.bdew.de
[13] Schütz, König, Glandien, Weßing und Gollanek in gwf Gas + Energie 9/2017

Autor:

Dr.-Ing Thorsten Späth
egeplast international GmbH
Greven

Tel.: 02575 9710 266
E-Mail:
thorsten.spaeth@egeplast.de
Internet: www.egeplast.de



4
Carbon Capture and Storage – gibt es eine neue Chance?

Rechtliche Anforderungen an CO_2-Leitungen

CCS und CCU vor neuen Chancen?

Von Michael Neupert

Erhebliche Teile der Wertschöpfungsketten sind auf Kohlenstoff angewiesen. Daher bedeutet Treibhausgasneutralität nicht Dekarbonisierung und wird es auch in Zukunft industrielle Prozesse geben, bei denen Kohlendioxid entsteht bzw. gebraucht wird. Es ist absehbar, dass mittelfristig eine Kohlendioxid-Kreislaufwirtschaft entstehen muss, um die gewünschte Treibhausgasneutralität zu erreichen.[1] Da der Transport von Gasen zwischen unterschiedlichen Industriestandorten in Einzelbehältern unrealistisch ist, gleichgültig, ob auf Straße, Schiene oder Wasserstraße, werden absehbar alle rechtlichen Fragen auftauchen, die mit dem Aufbau einer leitungsgebundenen Infrastruktur verbunden sind.

1 Gesetzliche Grundlagen

Juristen fragen zuerst nach der Rechtsgrundlage und meinen damit Gesetze, denn technisches Regelwerk ist zwar wichtig für die Ingenieurspraxis, behandelt jedoch nur einen (wichtigen) Teil der Vorhabenzulassung. Ob man eine technische Anlage überhaupt und falls ja, ob man sie an einem bestimmten Ort mit bestimmten Dimensionen bauen darf, hängt von den gesetzlichen Vorschriften ab.

Im Rohrleitungsbau ist damit der hinlänglich bekannte Dreiklang aus Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) und Bundesberggesetz (BBergG) angesprochen. In diesen Gesetzen finden sich unter anderem Regelungen über die Zulassung von Rohrleitungen außerhalb von Betriebsgeländen. Typischerweise können die für den „ernsthaften" Rohrleitungsbau relevanten Leitungen, also in der Regel Fernleitungen mit einer gewissen Dimension, unter eine der drei gesetzlichen Grundlagen gefasst werden. Damit stellt sich in der Praxis selten die Frage, ob eine Rohrleitungsanlage überhaupt eine gesetzliche Grundlage findet. Aus den unterschiedlichen gesetzlichen Grundlagen leiten sich gewisse Unterschiede in den Details der Genehmigungsverfahren ab, und darüber hinaus liegt hier die Wurzel der unterschiedlichen technischen Regelwerke (DVGW und TRFL).

1.1 Zulassung nach UVPG

Rohrleitungen für den Transport von Kohlendioxid sind keine Energieversorgungsleitungen im Sinne des EnWG, weil Kohlendioxid nicht zu den Energien im Sinne dieses Gesetzes gehört. Darunter fallen Elektrizität, Gas und Wasserstoff, soweit sie zur leitungsgebundenen Energieversorgung verwendet werden (§ 3 Nr. 14 EnWG), und darüber hinaus gehört Kohlendioxid nicht zum Gas im Sinne des Energiewirtschaftsrechts (§ 3 Nr. 19a EnWG). Theoretisch denkbar ist, dass Leitungen für den Transport von Kohlendioxid als Teil von Bergbaubetrieben bergrechtlich zuzulassen sein könnten, falls das Gas im Betrieb anfällt (zu den Bodenschätzen im Sinne des

[1] Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) vom 22.12.2022, Bundestags-Drucksache 20/5145, S. 158.

§ 3 BBergG gehört es nicht). Das gilt aber nicht für den Transport außerhalb von bergbaulichen Betriebsanlagen bzw.-einrichtungen und damit nicht für den Kohlendioxidtransport, der im Zuge der Dekarbonisierung gefragt ist.

Auf Grundlage von § 65 UVPG sind Rohrleitungsanlagen zuzulassen, die in der Anlage 1 des Gesetzes unter den Nummern 19.3 bis 19.9 aufgeführt sind. Nr. 19.3 der Anlage 1 betrifft wassergefährdende Stoffe im Sinne von § 2 Abs. 1 Satz 2 Rohrfernleitungsverordnung (RohrFLtgV). Darunter fallen bestimmte brennbare Flüssigkeiten, Stoffe mit den R-Sätzen R 14, R 14/15, R 29, R 50, R 50/53 oder R 51/53 sowie Stoffe mit dem Gefahrenmerkmal T, T+ oder C. Kohlendioxid erfüllt keines dieser Kriterien, so dass Nr. 19.3 der Anlage 1 des UVPG im Ergebnis ausscheidet. Dafür greifen aber, sofern die Schwellenwerte für Länge und Durchmesser überschritten werden, die Nrn. 19.4 bzw. 19.5 der Anlage 1, welche den Transport von verflüssigten bzw. nicht verflüssigten Gasen außerhalb von Werksgeländen betreffen. Je nachdem ob für solche Leitungen eine Umweltprüfung erforderlich ist (das richtet sich nach Dimensionierung und, bei kleineren Leitungen, nach dem Ergebnis einer Vorprüfung), ist ein Planfeststellungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung oder eine Plangenehmigung erforderlich; Letztere kann bei unwesentlicher Bedeutung entfallen (siehe zu den Einzelheiten § 65 UVPG).

Auf der gesetzlichen Ebene gibt es also nach geltendem Recht eine Grundlage für die Zulassung von Leitungen für den Transport von Kohlendioxid. Probleme gibt es trotzdem, und zwar nicht nur die, über üblicherweise im Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren ohnehin geklagt wird. Die Genehmigung von Leitungen im Sinne des § 65 UVPG setzt unter anderem den Nachweis voraus, dass Vorsorge gegen die Beeinträchtigung der Schutzgüter, insbesondere durch bauliche, betriebliche oder organisatorische Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik, getroffen wird (§ 66 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1b UVPG). Für Rohrfernleitungen im Sinne des UVPG wird dieser Nachweis üblicherweise durch Einhaltung der Technischen Regel für Rohrfernleitungsanlagen (TRFL) geführt, die auf Grundlage von § 9 Abs. 2 Nr. 2, Abs. 5 RohrFLtgV Geltung beansprucht und den Stand der Technik für Rohrfernleitungsanlagen im Sinne der RohrFLtgV konkretisiert (§ 3 Abs. 2 Satz 2 RohrFLtgV).[2]

Das klingt gut, führt aber zurück zu der Frage, auf welche Leitungen die Rohrfernleitungsverordnung überhaupt anwendbar ist. Da sie nicht für Leitungen zum Transport von Kohlendioxid gilt (siehe oben), schafft sie insoweit auch keine Rechtsgrundlage für die TRFL. Umgekehrt weist die TRFL darauf hin, dass ihr Geltungsbereich auf Rohrleitungsanlagen im Sinne der Rohrfernleitungsverordnung beschränkt ist. Im Ergebnis lässt sich daher für Leitungen zum Transport von Kohlendioxid nicht durch Bezugnahme auf die TRFL darlegen, dass der Stand der Technik eingehalten wird.

Das schließt nicht aus, den Nachweis im Einzelfall durch entsprechende Gutachten zu führen. Der Stand der Technik ist ein stehender juristischer Begriff, der am besten durch die Legaldefinition in § 3 Abs. 6 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) erklärt wird: demnach ist Stand der Technik *der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkun-*

[2] Ausführlich dazu Oberverwaltungsgericht Münster, Urteil vom 31.8.2020 – 20 A 1923/11, BeckRS 2020, 43468, Rn. 127 ff. (CO-Pipeline).

gen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Diesen Stand der Technik muss man nicht zwingend technischen Regelwerk entnehmen, sondern kann ihn im Einzelfall ermitteln. Offensichtlich bedeutet dies aber wesentlich größeren Planungsaufwand und größere Rechtsunsicherheit, weil schlimmstenfalls erst nach Ende eines jahrelangen Gerichtsverfahrens durch mehrere Instanzen feststeht, ob die Planung dem Stand der Technik entspricht. Auf einer solchen Rechtsgrundlage lässt sich mit viel Optimismus ein Einzelprojekt verfolgen, aber nicht der Umbau wesentlicher Industriezweige.

1.2 Planfeststellung nach Kohlendioxid-Speicherungsgesetz

Einen Ausweg aus dieser Misere scheint § 4 Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG) zu bieten. Nach dieser Vorschrift bedürfen Errichtung, Betrieb und Änderung von Kohlendioxidleitungen der Planfeststellung. Das Planfeststellungsverfahren folgt im Wesentlichen denen aus den anderen Rechtsgrundlagen bekannten Pfaden (siehe dazu § 4 Abs. 2 KSpG). Auch das Problem des technischen Regelwerks ist adressiert, denn § 4 Abs. 3 Satz 2 KSpG verweist für die technischen Anforderungen an Kohlendioxidleitungen auf § 49 Abs. 1 und 2 Nr. 2, Abs. 3, 5 und 6 Satz 1 sowie Abs. 7 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), und gemäß § 49 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 EnWG wird vermutet, dass die technische Sicherheit durch Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik gewährleistet ist, wenn die technischen Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) eingehalten werden.
Bislang erfasst das Kohlendioxid-Speicherungsgesetz mit dem Begriff der Kohlendioxidleitungen aber nur *dem Transport des Kohlendioxidstroms zu einem Kohlendioxidspeicher dienende Leitungen einschließlich der erforderlichen Verdichter- und Druckerhöhungsstationen* (§ 3 Nr. 6 KSpG), und mit einem Kohlendioxidspeicher ist ein *zum Zweck der dauerhaften Speicherung räumlich abgegrenzter Bereich* gemeint, *der aus einer oder mehreren Gesteinsschichten besteht* (§ 3 Nr. 7 KSpG). Das Gesetz hat ausschließlich die unterirdische, endgültige Speicherung von Kohlendioxid im Blick, also CCS. Die Weiternutzung von Kohlendioxid zu anderen Zwecken, also CCU, taucht überhaupt nicht auf, obgleich die politische Diskussion erkannt hatte, dass eine Weiterverwendung abgeschiedenen Kohlendioxids sinnvoll ist.[3] Noch darüber hinaus geht es dem Gesetz nicht um eine standardmäßige breite Nutzung in der Industrie, sondern um „die Demonstration und Anwendung von Technologien zur Abscheidung und zum Transport sowie für die Demonstration der dauerhaften und umweltverträglichen Speicherung von Kohlendioxid in tiefen geologischen Gesteinsschichten".[4] Konsequent regelt das Gesetz *zunächst die Erforschung, Erprobung und Demonstration von Technologien zur dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid in unterirdischen Gesteinsschichten* (§ 1 Satz 2 KSpG), und auch dies nur für Speicher von begrenzter Größe, die spätestens bis Ende 2016 beantragt waren (§ 2 Abs. 2 KSpG). Weiter konsequent findet sich auch für eigenständige[5] CO_2-

[3] Siehe nur die Rede des Abgeordneten Becker in der 108. Sitzung des 17. Deutschen Bundestags am 12.05.2011, Stenografischer Bericht, S. 12355 (D).
[4] So die Begründung des Regierungsentwurfs vom 15.04.2011, Bundesrats-Drucksache 214/11, S. 2.
[5] Das schließt nicht automatisch Abscheideanlagen als Nebeneinrichtungen anderer genehmigungsbedürftiger Anlagen aus.

Abscheideanlagen ein Genehmigungstatbestand lediglich mit Bezug auf CCS, nicht CCU (siehe Anhang 1 Nr. 10.4 der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen, 4. BImSchV).
Um mit einem möglichst kleinen gesetzgeberischen Eingriff die schon bestehenden Regelungen über die Planfeststellung für Kohlendioxidleitungen für CCS- und CCU-Projekte fruchtbar zu machen, habe ich als Teil eines Autorenduos eine Öffnung der Definition von Kohlendioxidleitungen in § 3 Nr. 6 KSpG vorgeschlagen.[6] Würde aus der Legaldefinition der Bezug zu Kohlendioxidspeichern zu Gunsten (auch) anderer Transportziele erweitert, dann wäre die gesetzliche Verweisungskette auf das DVGW-Regelwerk genau wie im Energieleitungsbau geschlossen.
Das Planfeststellungsverfahren nach KSpG folgt inhaltlich den aus der Energiewirtschaft bekannten Regelungen über Erdgasleitungen bzw. Erdgasleitungsnetze. Dies ergibt sich aus § 4 Abs. 2 Satz 1 KSpG, der auf die wesentlichen Rechtsgrundlagen für energiewirtschaftsrechtliche Planfeststellungsverfahren verweist. Aufgrund § 4 Abs. 2 Satz 2 in Verbindung mit § 11 Abs. 2 KSpG ist auch der Weg zur Plangenehmigung prinzipiell eröffnet. Allerdings sind die Verweisungen noch nicht an die letzte Fassung des EnWG angepasst worden, so dass sie mit einer gewissen Aufmerksamkeit gelesen werden müssen. Hier bietet sich also Raum für weitere Anpassungen.
Das Planfeststellungs- bzw. Plangenehmigungsverfahren folgt den aus dem Energieleitungsbau bekannten Regeln, sieht also gegenüber dem normalen Verfahren gewisse Beschleunigungsmöglichkeiten vor. Hier wie dort gilt aber, dass Vorhabenträger das Genehmigungsverfahren als juristisches Teilprojekt betrachten und behandeln sollten, denn es liegt in ihrem ureigenen Interesse. Das meint, mental auch für das Genehmigungsverfahren Verantwortung zu übernehmen, gute Antragsunterlagen zu erstellen, die Öffentlichkeitsbeteiligung intelligent zu managen und die Zulassungsvoraussetzungen selbst proaktiv zu erläutern.[7]
Keinen Kredit nehmen können Kohlendioxidleitungen von dem neuen § 2 EEG, der seit Juli 2022 festhält, dass Errichtung und Betrieb von Anlagen im Sinne des EEG 2023 im überragenden öffentlichen Interesse liegen und der öffentlichen Sicherheit dienen. Mit dieser Vorschrift statuiert der Gesetzgeber – nach vielen Hinweisen aus der Praxis – einen generellen Vorrang des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Abwägung mit öffentlichen Schutzgütern wie Denkmalschutz oder Straßenrecht, aber auch Wasserschutzgebieten, Landschaftsbild oder Naturschutzrecht.[8] Die betreffenden Abwägungsentscheidungen finden nach wie vor statt, aber der Gesetzgeber hat einen Schritt unternommen, um die materiellen Zielkonflikte aufzulösen, die zu Unsicherheit in vielen Genehmigungsverfahren geführt haben. Das gilt allerdings nicht uneingeschränkt für alle Vorhaben, sondern für solche, die unter den in § 3 Nr. 1 EEG 2023 definierten Anlagenbegriff fallen, und dies sind Einrichtungen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien oder Grubengas nebst Einrichtungen zur Zwischenspeicherung von Energie. Kohlendioxidleitungen genießen den Vorrang in Abwägungsentscheidungen mit öffentlichen Schutzgütern also nicht, müssen sich also im Einzelfall aufgrund ihrer jeweiligen Bedeutung durchsetzen. Die positive Nachricht: Das ist im Rohrfernleitungsbau zumindest weniger konfliktträchtig als im Bau von zum Beispiel Windkraftanlagen, die regelmäßig in Bezug auf den Vogelschutz Einwänden begegnen.

[6] Neupert / Hilgenstock, CO_2-Transport in Leitungen – nach welchen Regeln?, 3R 01-02/2022, 50 ff.
[7] Siehe im Einzelnen Neupert, Beschleunigung von Zulassungsverfahren, 3R 2019, Heft 6, S. 82 - 83.
[8] So die Absicht des Gesetzgebers, siehe Bundestags-Drucksache 20/1630, S. 159.

1.3 Umwidmung von Bestandsleitungen

Beim Aufbau einer Kohlendioxid-Kreislaufwirtschaft könnte ein Rechtsproblem wieder auftauchen, dass im Zusammenhang mit Wasserstoffleitungen gerade erst durch den Gesetzgeber gelöst wurde: die Umwidmung von Bestandsleitungen für den Transport anderer Medien zum Transport von Kohlendioxid. Was in Bezug auf die Umwidmung von Erdgas- zu Wasserstoffleitungen durch § 43l Abs. 4 und § 113c EnWG im Kern dadurch gelöst wurde, dass Zulassungen für Erdgasleitungen auch für den Wasserstofftransport gelten, kann auf Kohlendioxidleitungen nicht übertragen werden. Die Regelungen im EnWG gelten nicht für Kohlendioxidleitungen.
Bei einer Umwidmung von Bestandsleitungen für den Transport von Kohlendioxid könnte man darüber nachdenken, ob eine unwesentliche Änderung vorliegt, solange Kohlendioxidleitungen (noch) nach den Vorschriften des UVPG zuzulassen sind und dies auch für die Bestandsleitung gilt, die umgewidmet wird. Schon dies dürfte aber mit Blick auf die Eigenschaften von Kohlendioxid und die notwendigen sicherheitsgerichteten Betrachtungen voraussichtlich tendenziell zurückhaltend zu bewerten sein; wenn der Wechsel des Transportmediums Sicherheitsfragen neu aufwirft, liegt regelmäßig eine wesentliche Änderung vor, die eine neue Planfeststellung bzw. Plangenehmigung erfordert.
Erst recht gilt dies, wenn die Bestandsleitung im Zuge der Konversion aus dem ursprünglichen genehmigungsrechtlichen Regime ausscheidet und in ein neues eintritt.[9] Dann lässt sich nicht mehr von einer juristischen Gleichartigkeit der früheren mit der neuen Nutzung sprechen. In der Konsequenz müssen solche Vorhaben dann ein vollständiges Zulassungsverfahren durchlaufen und in der Regel auch neue Wegerechte erhalten. In dem neuen Zulassungsverfahren sind allerdings nur die Fragen abzuarbeiten, welche durch die Umnutzung tatsächlich aufgeworfen werden. So führt beispielsweise die Umnutzung typischerweise nicht zu Eingriffen in Natur und Landschaft, weil die Leitung physisch bereits liegt.

2 Technisches Regelwerk

Für den leitungsgebundenen Transport von Kohlendioxid ist ein eigenes technisches Regelwerk erforderlich.[10] Dieses liegt mit der C-Reihe des DVGW-Regelwerks mittlerweile vor bzw. ist im weiteren Entstehen begriffen. Es ist absehbar, dass es sich nicht um ein „statisches“ technisches Regelwerk handeln wird, sondern dass Erfahrungen aus der Praxis zu Weiterentwicklungen führen werden. Das bedeutet aber nicht etwa im Umkehrschluss, dass die C-Regeln ungeeignet wären. Im Gegenteil ist technisches Regelwerk stets dynamisch, und gerade ein im Aufbau begriffenes Regelwerk ist notwendigerweise in kürzeren Abständen zu aktualisieren, auch und gerade aufgrund Erfahrungen und Impulsen aus der Anwendungspraxis.
Solange der Gesetzgeber die oben angesprochene Verweisungskette auf das DVGW-Regelwerk noch nicht geschlossen hat, stellt sich die Frage, ob das neue DVGW-Regelwerk trotzdem in Genehmigungsverfahren (nach dem UVPG und der TRFL) ergänzend herangezogen werden kann. Immerhin ist es Ausdruck technischen Sachverstands. Eine formale Bindungswirkung lässt sich auf diesem Weg nicht argumentieren, zumal das DVGW-Regelwerk als

[9] Siehe im Einzelnen Keienburg / Neupert, Konversion - wo verläuft die Grenze zwischen Änderung und vollständig anderem Vorhaben?, 3R 11-12/2013, 39 (41 ff.).
[10] Näher dazu Neupert / Hilgenstock, CO_2-Transport in Leitungen – nach welchen Regeln?, 3R 01-02/2022, 50 ff.

typische technische Norm zu den so genannten anerkannten Regeln der Technik gehört, die Zulassung von Leitungen aufgrund des UVPG aber die Einhaltung des anspruchsvolleren Standes der Technik voraussetzt (siehe § 66 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1b UVPG). Andererseits hält der Gesetzgeber des KSpG das DVGW-Regelwerk in der Sache für geeignet, um die Sicherheitsanforderungen an Kohlendioxidleitungen zu konkretisieren, wie die Verweiskette im aktuell geltenden KSpG zeigt. Diese ist ja nicht aus materiellen Gründen offen, sondern greift ausschließlich wegen der formalen Anwendbarkeit des Gesetzes nicht für „allgemeine" Kohlendioxidleitungen. In der Gesamtschau mit der TRFL ist also aus juristischer Sicht denkbar, das DVGW-Regelwerk für Kohlendioxidleitungen bereits heute heranzuziehen. Ob dies die Sache in der Praxis erleichtern würde, darf man aber – wegen der Unterschiede zwischen TRFL und DVGW-Regelwerk – zumindest hinterfragen.

3 Ausblick

Natürlich wären mit einer Öffnung der Legaldefinition von Kohlendioxidleitungen nicht alle Fragen in Bezug auf die Weiterverwendung von Kohlendioxid aus industriellen Prozessen beantwortet. Das beginnt bei den Wegerechten und endet bei Fragen der Regulierung wie Netzzugang und -entgelten (wichtige Grundlage der Finanzierung), um nur die wesentlichsten Gesichtspunkte zu nennen. Derzeit regelt § 4 Abs. 5 KSpG eine Enteignungsmöglichkeit nur für Kohlendioxidleitungen zu einem Kohlendioxidspeicher, und vor dem Hintergrund dieses gesetzgeberischen Paradigmas stellen sich die Fragen nicht, die mit dem Betrieb eines Leitungsnetzes verbunden sind. Der Gesetzgeber des aktuellen KSpG denkt in Stichleitungen. Darüber hinaus unterstellt das KSpG in seiner derzeitigen Fassung nicht, dass Kohlendioxidleitungen dem Wohl der Allgemeinheit dienen und damit – wie Energieversorgungsleitungen – grundsätzlich Zugang zu einer Enteignungsmöglichkeit haben. Art. 14 Abs. 3 GG lässt Enteignungen nur zum Wohl der Allgemeinheit auf gesetzlicher Grundlage zu.

Öffnet man den Blick noch weiter, über den Rohrleitungsbau hinaus, dann wirft der Aufbau einer Kohlendioxid-Kreislaufwirtschaft diversen Regelungsbedarf auf. Augenfällig ist das bezüglich des Immissionsschutzrechts (nicht nur, aber auch der TA Luft), des Treibhausgasemissionsrechts oder auch des Abfallrechts. Für den Aufbau einer Kohlendioxid-Kreislaufwirtschaft stellt daher die Öffnung der Legaldefinition von Kohlendioxidleitungen nur einen ersten Schritt dar. Um überhaupt mit Pilotprojekten beginnen zu können, ist aber eine rasche Klarstellung wesentlicher Planungsgrundlagen erforderlich. Wenn es in diesem Zuge gelingt, den Gesetzgeber zu weiteren Klarstellungen auch mit Blick auf den Aufbau eines Kohlendioxid-Leitungsnetzes zu bewegen, ist dies umso begrüßenswerter.

Autor:

Dr. Michael Neupert
KÜMMERLEIN Rechtsanwälte & Notare, Essen



Tel.: 0201 / 1756-600
E-Mail:
michael.neupert@kuemmerlein.de
Internet:
www.kuemmerlein.de

Herausforderungen beim CO_2-Transport in Pipelines

Von Christian Mayer, Henning Schmelzeisen und Gundula Stadie

1 Einleitung

Es ist geplant, die Netto-Kohlendioxid-Emissionen im globalen Energiesektor bis 2050 auf Null zu senken [1]. Neben dem Ausbau von erneuerbaren Energien, der Elektrifizierung weiterer Sektoren der Wirtschaft und Mobilität spielt dabei auch der Einsatz von Wasserstoff eine wichtige Rolle. Darüber hinaus wird aber weiterhin Kohlendioxid (CO_2) z.B. in der Zementindustrie anfallen. Um die Emissionsziele zu erreichen, muss es abgeschieden und entweder eingelagert oder als Grundstoff für weitere Produkte verwendet werden. Da die Quellen und Senken bzw. Lagerstätten in der Regel nicht in unmittelbarer Nähe sind, ist der Transport großer Mengen über teilweise große Entfernungen erforderlich. Pipelines sind hierzu ein wirtschaftliches und sicheres Mittel, um Fluide in großen Mengen über weite Strecken zu transportieren.

2 Herausforderungen beim CO_2-Transport in Pipelines

Neben den geologischen Herausforderungen, die bei einem mitunter langen Linienbauwerk auftreten können, und Randbedingungen, die durch vorhandene Infrastrukturen und planungsrechtliche Grenzen insbesondere im dichtbesiedelten Europa gesetzt werden, sind die Stoffeigenschaften des transportierten Fluids maßgeblich. Hier stellt sich für den Betreiber die Frage, in welcher Phase das Fluid transportiert werden kann.

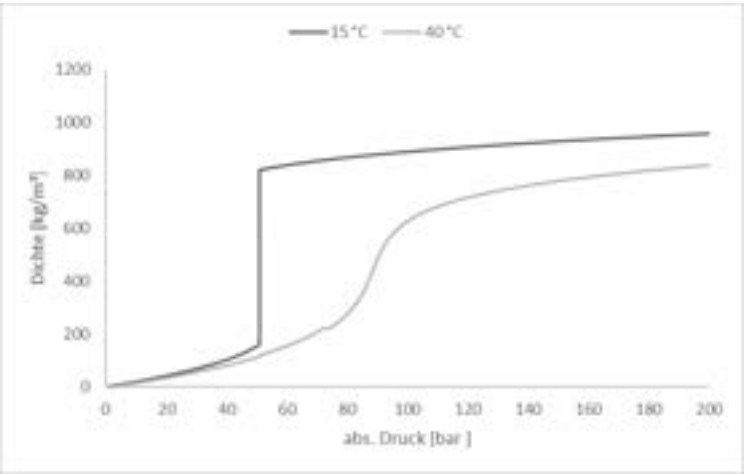


Abbildung 1: Dichte als Funktion des Drucks bei 15 °C bzw. 40 °C (Daten aus [2])

Die Randbedingungen wie Druck und Temperatur sollten so gewählt werden können, dass kein Phasenwechsel oder Mehrphasenbereich auftritt. Die Betriebsbedingungen sind mit ausreichendem Sicherheitsabstand von den Phasengrenzen zu wählen. Dabei sind die Einflüsse von Begleitstoffen auf das Phasenverhalten zu berücksichtigen.
Um CO_2 unterirdisch zu speichern (Carbon Capture and Storage – CCS), müssen große Mengen an CO_2 von den industriellen Emittenten zu den entsprechenden Lagerstätten transportiert werden. Da flüssiges CO_2 eine deutlich höhere Dichte als gasförmiges hat (siehe Abbildung 1), ist langfristig der Transport großer Mengen nur in der flüssigen oder dichten Phase möglich. Dies setzt dann die sichere Einhaltung von Mindestdrücken in allen normalen (stationären und instationären) Betriebszuständen voraus. Entsprechend sieht DVGW C 463 [4] im Anwendungsbereich einen maximal zulässigen Betriebsdruck von bis zu 250 bar vor.
Auch wenn CO_2 nicht als brennbar oder giftig eingestuft ist, sind aufgrund der Stoffeigenschaften hohe Anforderungen an den Leitungsbetrieb erforderlich. Wie oben beschrieben, werden für den Transport signifikanter Mengen Drücke von deutlich über 100 bar erforderlich, d.h. allein durch den Innendruck ergibt sich schon ein erhebliches Gefährdungspotential. Dazu kommt, dass CO_2 im Gegensatz zu Erdgas oder Wasserstoff schwerer als Luft ist und sich daher im Fall einer Undichte oder Leckage in Senken, Schächten und Kanälen ansammelt. Laut DGUV gilt beispielsweise ein Arbeitsplatzgrenzwert von 5.000 ml/m³ bzw. 9.100 mg/m³ [3].
Die zusätzlichen Herausforderungen, die beim Transport von CO_2 auftreten insbesondere für den notwendigen Transport von flüssigem beziehungsweise dichtem CO_2, liegen vor allem in den Stoffeigenschaften von Kohlendioxid und den möglichen Begleitstoffen, die zum Beispiel durch unterschiedliche Abscheidungsprozesse hinzukommen können, begründet; diese Stoffeigenschaften werden unter anderem im DVGW-Arbeitsblatt C 260 [4] zusammengefasst.
Anhand des ersten nationalen Regelwerks DVGW-Arbeitsblatt C 463 [5] mit Bezug auf die ISO 27913 [6] und das DVGW-Arbeitsblatt G 463 [8] werden die Herausforderung für die Planung und Errichtung von Pipelines zum Transport von CO_2 beschrieben.
Hierbei sind im speziellen

- Druckstoßberechnung (unter Berücksichtigung des Höhenprofiles),
- schwellende Innendruckbelastung,
- Werkstoffkennwerte, insbesondere für den Fall der Entspannung bei tiefen Temperaturen (Joule-Thomson-Effekt),
- Lebensdauerüberwachung,
- Ausblasen und die Dispersion in Umgebungsluft mit Ansammlungen an Tiefpunkten und
- ein Schadensfall an sich beziehungsweise die einhergehende Austrittsmenge

zu berücksichtigen.
Eine rechtliche Verankerung eines Regelwerks ist aktuell (Dezember 2022) noch nicht gegeben (siehe auch [9]), wird aber erwartet.

3 Druckstoßberechnung/thermo-hydraulische Berechnung

Aufgrund des Phasendiagramms von CO_2 findet in Bereichen, in denen üblicherweise Pipelines betrieben werden, i.a. Betriebstemperaturen zwischen -20 und 80 °C und Drücke zwischen 1 und 100 bar, ein Phasenübergang statt. Um diesen Übergang im Regelbetrieb zu vermeiden, muss entsprechend der bekannten Diagramme bei einer Fluidtemperatur von circa 15 °C (Erd-

temperatur) ein Druck vom mindestens 80-90 bar vorliegen, damit es zu keinem Phasenübergang kommen kann. Im Rahmen der Druckstoßberechnungen müssen unter Vorgabe sämtlicher Betriebsbedingungen und konservativer Annahmen (Worst-Case-Szenario von Armaturenschließen, Pumpenausfall, Notaus, transiente Betriebsbedingungen etc.) die minimalen und maximalen Drücke bestimmt werden. Hierbei ist unter anderem zu berücksichtigen, dass kein reines CO_2 transportiert wird und die Begleitstoffe Einfluss auf die Phasengrenzen haben werden. Idealerweise wird bei den Berechnungen die Linie des Krikondenbar nicht unterschritten, sodass ein Phasenübergang beziehungsweise eine Mehrphasenströmung ausgeschlossen werden kann.
Die Erstellung eines solchen Berechnungsmodells bedarf eines hohen Detaillierungsgrads und sollte zwingend nach Betriebsbeginn anhand echter Prozess-Daten kalibriert werden.

4 Sicherheitseinrichtungen

Die Leitungen müssen mittels Ausbläsern sicher außer Betrieb genommen werden können. Bei diesen Ausblasevorgängen muss berücksichtigt werden, dass unweigerlich ein Phasenübergang stattfinden wird. Unterhalb eines Druckes von 5,11 bar und entsprechenden Temperaturen ist mit einem Übergang zu festem CO_2 (Trockeneis) zu rechnen. Hierbei müssen nicht nur die Materialien entsprechend ausgewählt sein, sondern auch die Lage der Station.
In Anlehnung an die Vorgaben der TRFL [7] sollte eine Austrittsmengenberechnung durchgeführt werden, aus der bei einem Schadensfall die maximale Austrittsmenge am Schadensort ersichtlich ist, sodass unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten die Dispersion des Fluids und die Risiken von Ansammlungen abgeschätzt werden können.
In DVGW C 463 werden keine Leckerkennungssysteme gefordert, wie sie beispielsweise in der TRFL für Rohrfernleitungsanlagen, die keine Energieanlagen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes sind, vorgeschrieben sind. ISO 27913[6] empfiehlt allerdings die Anwendung eines Leckerkennungssystem, falls eine Sicherheitsanalyse nicht zu einem anderen Ergebnis kommt. Die Zusammensetzung des CO_2 mit eventuell vorhandenen Begleitstoffen muss bekannt sein, um jederzeit von Phasengrenzen einen ausreichenden Sicherheitsabstand einzuhalten. So ist beispielswiese Hydratbildung durch Begrenzung des Wassergehaltes bzw. Einhaltung von Mindesttemperaturen (gerade auch bei Entspannungsvorgängen) zu verhindern. Vorhandenes Wasser führt ebenfalls zur Bildung von Kohlensäure und muss auch aus diesem Grund begrenzt werden.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen von Speicherung und Nutzung von CO_2 steht auch der Transport von CO_2 in Pipelines in Deutschland wieder zur Diskussion. Auch wenn aktuell noch eine klare rechtliche Regelung fehlt, hat der DVGW mit den ersten Blättern der Reihe C Rahmenbedingungen und technische Anforderungen beschrieben. Für das Befördern großer Mengen wird wahrscheinlich ein Transport im dichten Zustand erforderlich. Daher sind die auftretenden Drücke und Temperatu-

ren auch in instationären Zuständen bei der Auslegung sehr genau durch Simulationen zu berechnen, um bei allen auftretenden Betriebsparametern auch unter Einfluss von Begleitstoffen ausreichende Abstände zu Phasengrenzen zu gewährleisten.

[1] IEA. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Secor.
[2] Eric W. Lemmon, Ian H. Bell, Marcia L. Huber, and Mark O. McLinden, "Thermophysical Properties of Fluid Systems" in **NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69**, Eds. P.J. Linstrom and W.G. Mallard, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899, https://doi.org/10.18434/T4D303, (retrieved December 21, 2022).
[3] IFA-Report 1/2022, Grenzwerteliste 2022, Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz
[4] DVGW-Arbeitsblatt C 260, April 2022, Eigenschaften von Kohlendioxid und Kohlendioxidströmen
[5] DVGW-Arbeitsblatt C 463, April 2022, Kohlenstoffdioxidleitungen aus Stahlrohren – Planung und Errichtung
[6] ISO 27913, 01.11.2016, Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Pipeline transportation systems
[7] Technische Regel für Rohrfernleitungsanlagen nach § 9 Absatz 5 der Rohrfernleitungsverordnung, TRFL, zuletzt geändert am 30. September 2020
[8] DVGW-Arbeitsblatt G 463, Oktober 2021, Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Planung und Errichtung
[9] Michael Neupert und Achim Hilgenstock, CO_2-Transport in Leitungen – nach welchen Regeln? 3R, 01-02/2022

Autoren:

Dr. Christian Mayer
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0221 806 2239
E-Mail:
christian.mayer@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



Henning Schmelzeisen
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0172 2032891
E-Mail:
henning.schmelzei-
sen@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



Dr.-Ing. Gundula Stadie
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln

Tel.: 0172 269 4394
E-Mail:
gundula.stadie@de.tuv.com
Internet:
www.tuv.com



5
LNG – Flüssigerdgas erobert die Versorgungswirtschaft

Versorgungssicherheit für Deutschland – LNG-Terminal Wilhelmshaven

Von Christian Janzen

1 Einleitung

Die Förderung von Erdgas in Deutschland ist seit Jahren rückläufig. Aufgrund dessen hat sich die Importabhängigkeit Deutschlands von Erdgas aus dem Ausland in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr erhöht. Während der Erdgasverbrauch in Deutschland mit rd. 90 Mrd. m³/Jahr nahezu konstant blieb, veränderte sich die Herkunft des Erdgases über die Jahre und verschob sich hin zu höheren leitungsgebundenen Importen aus Norwegen, Russland und den Niederlanden.



Abbildung 1: Standort des LNG Terminals in Wilhelmshaven und beteiligte Unternehmen (Grafik: Uniper)

Aufgrund des russischen Angriffskrieges im Februar 2022 wurde schnell deutlich, dass trotz langjähriger verlässlicher Lieferbeziehungen die starke Abhängigkeit von Erdgasimporten aus Russland Deutschland vor eine große Herausforderung stellt. Dies hat die Bundesregierung zum Anlass genommen, über neue Importinfrastruktur Diversifizierungsmöglichkeiten für Erdgasimporte zu schaffen und so zur Versorgungssicherheit Deutschlands beizutragen. Im April 2022 hat die Bundesregierung Uniper um die aktive Unterstützung bei der Planung und Errichtung eines LNG-Importterminals am Standort der Umschlaganlage Voslapper Groden (UVG) in

Wilhelmshaven unter Einsatz einer sog. Floating Storage and Regasification Unit (FSRU), einer schwimmenden Speicher- und Verdampfungsanlage, gebeten. Uniper hat in diesem Projekt die Planung und der Errichtung einer see- und landseitigen Gashochdruckleitung zur Anbindung der FSRU an das Deutsche Ferngasleitungsnetz der Open Grid Europe (sog. Suprastruktur), das Genehmigungsmanagement sowie den Betrieb übernommen. Die Niedersachsen Ports war für die erforderlichen seeseitigen Anlagen bestehend aus einer Umschlagsplattform sowie Anlagen zum Festmachen der FSRU und Aufnahme der seeseitigen Suprastruktur verantwortlich. Die Lage des geplanten LNG Terminals am Voslapper Groden sowie beteiligte Unternehmen ist in Abbildung 1 gezeigt.

2 Terminalkonzept

Das LNG-Terminal ermöglicht die Überspeisung von LNG aus LNG-Tankern in die schwimmende Speicher- und Verdampfungseinheit (FSRU). Dort wird das flüssige Erdgas durch Erwärmung in den gasförmigen Zustand überführt und über eine Gasleitung und eine Gasmessanlage in das Deutsche Ferngasleitungssystem eingespeist. Die verschiedenen Schritte der Anlandung, Verdampfung und Einspeisung sind schematisch in Abbildung 2 gezeigt.

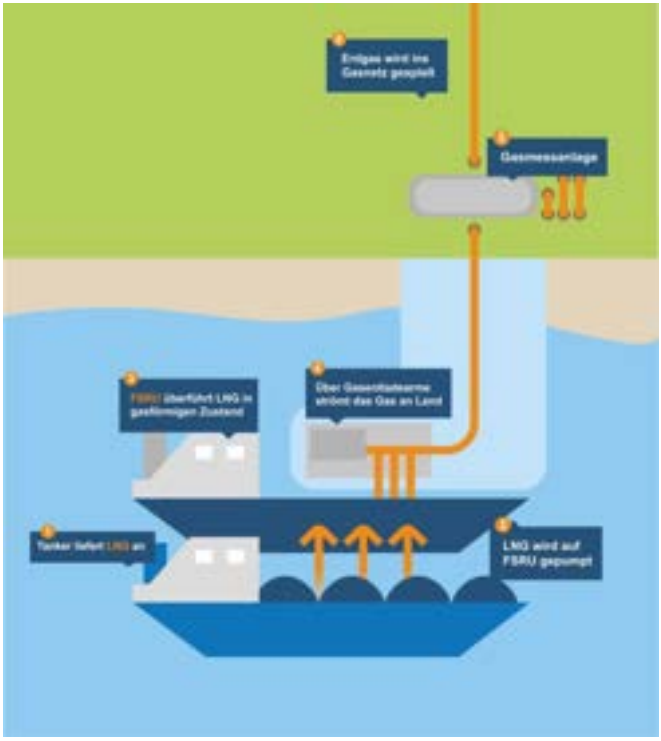


Abbildung 2: Terminalkonzept (Grafik: Uniper)

Kernstück des LNG-Terminals in Wilhelmshaven ist die FSRU, welche die Zwischenspeicherung von aus LNG-Tankern überspeisten LNG sowie dessen Verdampfung ermöglicht. Die FSRU „Höegh Esperanza“, siehe Abbildung 3, wurde als Schiff gebaut, klassifiziert und wird auch weiterhin als Schiff betrieben. Sie erfüllt alle Anforderungen bezüglich Sicherheit und Umweltschutz, die sich durch die Satzungen der IMO (International Maritime Organization) ergeben. Die FSRU ist mit einem Schiffsantriebssystem, einer eigenen Stromversorgung, allen erforderlichen Betriebsmitteln (Seewasser, Prozesswasser, Luft, Stickstoff usw.), einem unabhängigen Prozessleitsystem, Kommunikationseinrichtungen und allen erforderlichen Sicherheits- und Umweltschutzeinrichtungen ausgerüstet.



Abbildung 3: Höegh Esperanza (Foto: Höegh LNG)

Die FSRU hat folgenden Maße

- ca. 294 m Länge,
- ca. 46 m Breite,
- ca. 26 m (Höhe der Bordwand),
- ca. 67 m (insgesamt) Höhe,
- einen Tiefgang zwischen 11,6 m und ca. 9,3 m (ballastiert) und
- rd. 170.000 Nm³ Speicherkapazität.

Zur Regasifizierung wird LNG aus den LNG-Tanks der FSRU über verschiedene Prozessschritte verdampft. Die dafür benötigte Prozesswärme entstammt entweder von aus der Jade entnommenem Seewasser und/oder aus Wasserdampf, welcher durch erdgasbetriebene Dampferzeuger bereitgestellt wird. Nach dem Verdampfen wird das Erdgas mit einem Druck von 65 bis 95 bar(ü) durch die Gasmessung geleitet. Die Entladung des Gases erfolgt schließlich

über zwei Hochdruckerdgasverladearme (HDEVs) mit einer Transferrate von max. 560.000 Nm^3 /h pro HDEV von der Anlegersuprastruktur auf die Umschlagplattform und weiter in die Suprastruktur, siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Hochdruck-Verladearme (Foto: Uniper)

Zur Aufnahme der HDEVs wurde die bestehende Umschlagsanlage Voslapper Groden um eine neue Anlegerplattform erweitert. Diese besteht aus einer Umschlagsplattform, Fenderdalben sowie Dalben zum Festmachen der FSRU. Angeschlossen an die Verladearmen auf der Umschlagplattform führt eine Gashochdruckleitung über rd. 3 km zur Übergabestation der Open Grid Europe an Land. Landseitig wird die Gasleitung durch Betonfundamente abgestützt. Die Stahlleitung hat einen Nenndurchmesser von DN600, einen max. Betriebsdruck von 100 bar(ü) und ist im Werkstoff L485ME/X70ME ausgeführt.

3 Planung, Beschaffung, Genehmigung und Errichtung in kürzester Zeit

Üblicherweise werden Projekte dieser Größenordnung und Art in mehreren Jahren durchgeführt. Für die einzelnen Projektschritte von Planung bis zur Inbetriebnahme können zwischen 5

und 7 Jahren veranschlagt werden. Aufgrund der angespannten Versorgungssituation mit Erdgas in Deutschland und einer drohenden Gasmangellage war in diesem Projekt besondere Eile geboten. Normalerweise laufen Planung, Genehmigung, Beschaffung Errichtung und Inbetriebnahme in sukzessiven, teilweise aufeinander aufbauenden Schritten ab. In diesem Fall wurde bereits bei laufender Planung Beschaffungsvorgänge gestartet sowie genehmigungsunterlagen erstellt (Abbildung 5). Aufgrund der Genehmigung des vorzeitigen Maßnahmenbeginns konnten die Bauaktivitäten entsprechend frühzeitig beginnen, um so die Chance auf Einhaltung des Gesamtzeitplan zu wahren. Ein großer Vorteil bei diesem Projekt war der Umstand, dass Uniper bereits in 2019/2020 Planungen für ein FSRU-basiertes LNG-Terminal am selben Standort in Wilhelmshaven vorangetrieben hat, die Ende 2020 eingestellt wurden. Insofern konnte auf bereits bestehende Untersuchungen und Planungen aufgebaut werden.



Abbildung 5: Beschleunigter Projektablauf (Grafik: Uniper)

Neben den Beschleunigungsmaßnahmen durch paralleles Abarbeiten von normalerweise sukzessiv laufendenden Projektaktivitäten lag die große Herausforderung bei der Beschaffung. Aufgrund der corona- und kriegsbedingt angespannten Lage der Lieferketten auf dem Weltmarkt musste ein besonderer Fokus auf die mögliche Beschleunigung der Beschaffungsvorgänge gelegt werden. Durch intensives Verfolgen der Termine der Lieferanten sowie Unterstützung der Lieferanten bei der Durchsetzung von Beschleunigungsmaßnahmen ihrer Vorlieferanten konnten die Lieferung zum Teil beschleunigt, aber maßgeblich auch insbesondere bzgl. der vereinbarten Liefertermine risikominimiert werden.

Eine weitere große Herausforderung stellten die in kurzer Zeit zu beantragenden Genehmigungen für den Bau und Betrieb des Terminals dar. Diese stellte die beteiligten Unternehmen und Gutachter sowie die Genehmigungsbehörden angesichts des hohen Zeitdrucks gleichermaßen vor eine besondere Herausforderung. Die beiden Hauptverfahren sowie die Flankierung durch das LNG Beschleunigungsgesetz sind in Abbildung 6 aufgeführt. Zwar erlaubt das LNG-Beschleunigungsgesetz ein beschleunigtes Genehmigungsverfahren durch verkürzte Auslegungs- und Einspruchsfristen und räumt die Möglichkeit ein, auf eine Umweltverträglichkeitsprüfung zu verzichten. Allerdings werden materiell keine Erleichterungen im Umfang der

beizubringenden Antragsunterlagen insbes. hinsichtlich der darzustellenden Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt erreicht, so dass de facto der gleiche Antragsumfang und entsprechender Prüfungsaufwand wie für eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich wurde.

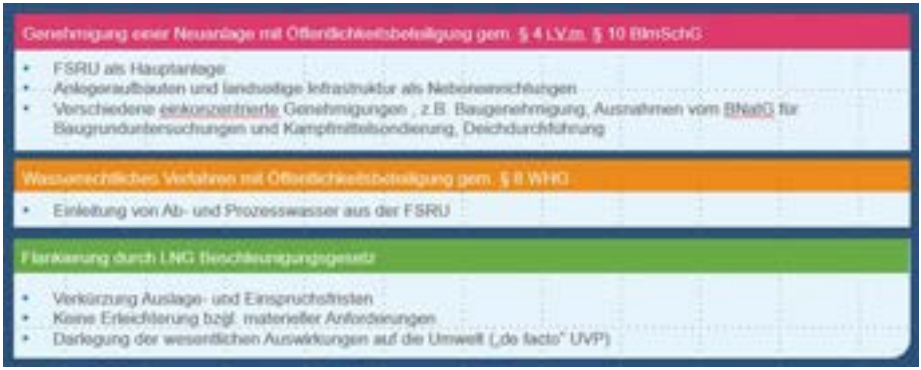


Abbildung 6: Genehmigungsverfahren und gesetzliche Flankierung (Grafik: Uniper)

4 Zusammenfassung

Die Errichtung des ersten FSRU-basierten LNG Terminals in Deutschland in Rekordgeschwindigkeit stellt alle Beteiligten – beteiligte Unternehmen, Lieferanten, Auftragnehmer und Genehmigungsbehörden – vor besondere Herausforderungen. Insbesondere die Eilbedürftigkeit erfordert eine hoch parallele Arbeitsweise. Die corona- und kriegsbedingt angespannte Lage auf den Weltmärkten machte ein besonderes Augenmerk auf die Beschaffung sowie Lieferterminverfolgung nötig. Durch die gemeinsame Anstrengung und die koordinierte Zusammenarbeit aller Beteiligten konnte eine zeitgerechte Inbetriebnahme im Winter 2022/2023 erreicht werden.

Autor:

Dr.-Ing. Christian Janzen
Uniper Global Commodities SE
Düsseldorf

Tel.: 0151 16708497
E-Mail:
christian.janzen@uniper.energy
Internet:
www.uniper.energy



Wilhelmshavener Anbindungsleitung (WAL)

– ein Rekordprojekt

Von Bård Strand

1 Einleitung

Mit dem Beginn des Angriffskriegs Russlands auf die Ukraine am 24. Februar 2022 wurde binnen weniger Tage klar, dass Deutschland schnell eine Diversifizierung seiner Lieferquellen für Erdgas umsetzen müsste, um die Abhängigkeit von russischen Gaslieferungen zu verringern und um die Versorgungssicherheit weiterhin sicherstellen zu können. OGE hat als größter Fernleitungsbetreiber Deutschlands sehr schnell und bereits ab Anfang März 2022 wesentliche Beiträge zum Aufbau der neu benötigten Infrastruktur geleistet und hat zudem auf Länder- und Bundesebene, darunter gegenüber dem Land Niedersachsen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), verpflichtende Aussagen zum zügigen Ausbau von Infrastruktur für den Import vom Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas, LNG) getätigt. Für die Einfuhr von LNG über den Hafen von Wilhelmshaven ist eine leistungsstarke Verbindung mit dem vorgelagerten und nationalen Gastransportnetz zwingend notwendig. Mit der Wilhelmshavener Anbindungsleitung, WAL, schafft OGE diese Voraussetzung.

Gemeinsam mit Akteuren wie Niedersachsen Ports und Uniper hat OGE Verantwortung übernommen und sich zu einer Fertigstellung der WAL (Leitung zwischen Wilhelmshaven und Friedeburg) mit Inbetriebnahme Ende 2022 verpflichtet. Bereits am 15. März hatte OGE ein schlagkräftiges Projektteam zusammengestellt und das Projekt WAL gestartet.

Die deutsche Politik hat auf allen Ebenen sehr schnell erkannt, dass Worten Taten folgen müssen und die Übernahme von Verantwortung seitens OGE und anderen Akteuren hat zu einem gemeinsamen Bekenntnis des äußerst knapp bemessenen Terminplans für die Fertigstellung der LNG-Infrastruktur geführt.

2 Die Pipeline WAL

Der Import von LNG nach Wilhelmshaven soll ab Ende 2022 über die bestehende Umschlaganlage Voslapper Groden (UVG) erfolgen. Der Hafenbetreiber Niedersachsen Ports hat hierfür eine neue Anlegestelle gebaut, die am 15. November 2022 offiziell eingeweiht wurde. Die bereits bestehende UVG-Brücke verbindet die Anlegestelle mit dem Festland. Die FSRU „Höegh Esperanza“ (Floating Storage and Regasification Unit, ein schwimmendes LNG-Terminal) soll permanent an dieser Anlegestelle liegen und als Zwischenlager und Regasifizierungseinheit für das LNG dienen. Das importierte LNG wird mit Tankern angeliefert werden (Bild 1).



Bild 1: FSRU und LNG-Tanker (Beispielfoto von Höegh LNG, hoeghlng.com)

Die Firma Uniper wird die Verbindung zwischen der FSRU und der WAL über Verladearme und eine Verbindungsleitung realisieren. Der Übergabepunkt zwischen Uniper und OGE befindet sich im Bereich Voslapper Groden Nord, wo OGE auf dem Gelände der Uniper, eine Gasdruck-Regel- und Messanlage (GDRM-Anlage) errichtet. Der Ausgang dieser Anlage ist der Startpunkt der Leitung WAL, die mit Nennweite DN 1000 und Nenndruck PN 100 über eine Länge von knappe 26 km Richtung Friedeburg führt (Bild 2).

In Friedeburg wird eine Gasdruckregelanlage für die Überleitung in das NETRA-System errichtet (Norddeutsche Erdgas-Transversale). Diese ist notwendig, da die NETRA mit einem Nenndruck DN 84 ausgelegt ist. Auf etwa halber Strecke zwischen Wilhelmshaven und Friedeburg wird die WAL mit der von dem Fernleitungsbetreiber GTG Nord in Planung befindliche Gasleitung Wilhelmshaven - Leer (GWL) verbunden. Bereits im Jahr 2023 wird eine zweite FSRU von der Firma TES angebunden. Auch diese FSRU soll von OGE an das System WAL angebunden werden.

Mit einer Planungs- und Bauphase von neun Monaten, darunter weniger als 100 Tage reine Bauzeit, ist die WAL ein Rekordprojekt. Die WAL ist hierbei 10-mal schneller als herkömmliche Projekte dieser Größenordnung. Diese Rekordleistung ist ein wesentlicher Baustein, um in Deutschland eine zuverlässige Versorgung mit Erdgas zu gewährleisten. Die WAL wird „H2 Ready“ gebaut und ist somit für die Anforderungen einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft vorbereitet und stellt eine Brücke in die Zukunft dar.



Bild 2: Karte der WAL

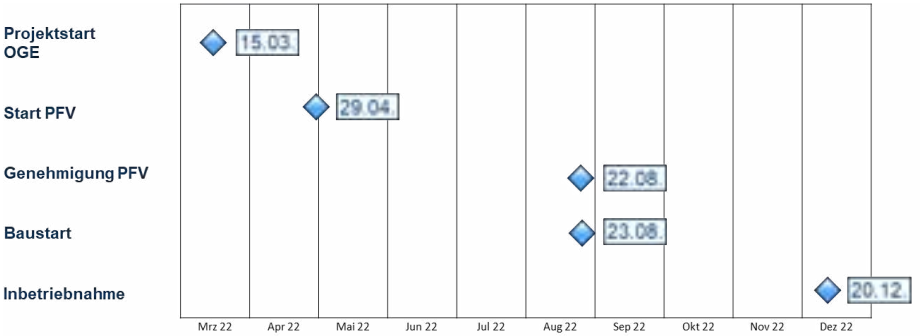


Bild 3: Terminplan des WAL-Projekts

3 Voraussetzungen für eine gelungene Projektdurchführung

3.1 Die Projektorganisation der OGE

OGE betreibt ca. 12.000 km Leitungsnetz in Deutschland und ist somit der führende Fernleitungsnetzbetreiber hierzulande.

Neben dem technischen Betrieb besitzt OGE eine Projektorganisation mit Kernkompetenzen im Bereich Planung, Genehmigung und Bau von Leitungen und Anlagen für den Gastransport. Allein durch die Umsetzung der Netzentwicklungspläne der letzten Jahre Gas (NEP Gas) hat OGE ein Investitionsprogramm von rd. 500 Mio. € pro Jahr erfolgreich umgesetzt. Die damit einhergehende stetige Entwicklung von OGE als Projektorganisation hat sowohl zum Erhalt als auch Ausbau von Beurteilungs-, Planungs- und Baumanagementkompetenz geführt. Ohne diese Kompetenz wäre die Verwirklichung des Projekts WAL unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht denkbar gewesen.

Die gute Aufstellung der OGE und die sich aus den Projekterfolgen der letzten Jahre abgeleitete Zuversicht in Umgang mit Projektherausforderungen hat daher wesentlich dazu beigetragen, dass OGE sich kurzfristig bereit erklären konnte, die Aufgabe Bau und Inbetriebnahme der WAL verbindlich zu übernehmen.

3.2 Erfolgsfaktoren und Risiken – politische Unterstützung und schlagkräftiges Projektteam

Eine Verkürzung der Planungs- und Bauzeit von gewöhnlichen fünf bis sieben Jahren auf lediglich neun Monate ist eine Herausforderung, für die bisher vergleichbare Referenzen fehlten. Selbst für die gut entwickelte Projektorganisation war kein relevanter Erfahrungsrahmen vorhanden. Auch wenn im Projekt von Anfang an Zuversicht herrschte, waren allen Beteiligten sich einig, dass die Umsetzung von etwas derart Unerprobtem auch wesentliche Risiken barg. Selbst „übliche“ Risiken sind bei einem Projekt mit einer solch kurzen Durchführungsdauer als besonders signifikant einzuordnen, da jede kleine Verzögerung einen direkten und unumkehrbaren Einfluss auf den Fertigstellungstermin zu haben droht.

Der bis Oktober 2022 als Umwelt- und Energieminister Niedersachsens amtierende Olaf Lies hat hierbei bereits sehr früh den Begriff „Deutschlandgeschwindigkeit“ geprägt. Damit gemeint ist nicht nur die Bereitstellung von FSRU, Hafeninfrastruktur und Gasleitungen in Wilhelmshaven, sondern auch die Hoffnung für die Zukunft, die Umstellung der Energiesysteme in Deutschland schneller durchzuführen. Die Signifikanz des Projekts WAL besteht somit nicht allein darin, einen Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten, vielmehr setzt die WAL als Leitprojekt Maßstäbe für die Erwartungshaltung an zukünftige Projekte.

Auch vor diesem Hintergrund entstand am Anfang des Projektes ein ausgeprägtes Bewusstsein für die Notwendigkeit eines aktiven Risikomanagements. Das Projekt hatte auf Grund des Zeitrahmens von Anfang an keinen zeitlichen Puffer und es war klar, dass mit jedem Risikoeintritt eine Gefährdung des Inbetriebnahmetermins verbunden war. Da Risiken dennoch nicht

ausgeschlossen werden konnten, bestand die Herausforderung darin, mögliche Chancen für das Projekt zu identifizieren und zu nutzen, um dadurch die Auswirkungen von eingetretenen Risiken zu begrenzen.

Bereits früh im Projektablauf wurden Erfolgsfaktoren identifiziert, sowohl solche, die bereits vorhanden waren und sofort genutzt werden konnten, als auch solche, die zunächst geschaffen werden mussten. Ein für die Planungs- und Genehmigungsgeschwindigkeit wichtiger Erfolgsfaktor war die bereits seit ca. zwei Jahren vorliegende Trassenplanung der Firma Uniper. Durch Übernahme der Planungsunterlagen konnte der Weg bis zur Einreichung eines Planfeststellungsantrags entscheidend verkürzt werden, da zum Beispiel ökologische Kartierungsdaten bereits vorlagen. Nur in einigen Bereichen war es notwendig, die Unterlagen zu ergänzen oder anzupassen. Im Ergebnis ist es hierdurch gelungen, den Antrag auf Planfeststellung termingerecht zum 29. April 2022, also sechs Wochen nach Projektstart, einzureichen.

Die bereits erwähnte Erfahrung von OGE mit Abwicklung von Großprojekten hat ein hohes Bewusstsein für die Wichtigkeit einer funktionierenden Projektorganisation geschaffen. Neben den erforderlichen Kompetenzen und Erfahrungen der einzelnen Teammitglieder sind sowohl das menschliche Miteinander und die notwendige Priorisierung entscheidende Faktoren für den Projekterfolg. Es wurde daher entschieden, die Projektbeteiligten in einer Task-Force-Gruppe mit einer räumlichen Konzentration zu organisieren. Mit dieser Organisationsform ist es gelungen, Entscheidungswege zu kürzen, den Einfluss von externen Störgrößen zu begrenzen und somit die Handlungsfähigkeit des Projektteams wesentlich zu stärken. Die Aufstellung von OGE insgesamt als Projektorganisation hat sich hier als große Stärke erwiesen und hat es ermöglicht, die Projektmitglieder individuell auszuwählen. Somit konnte die Zeit für die Findungsphase im Projekt deutlich verkürzt und das Bekenntnis zum gemeinsamen Ziel wesentlich früher erreicht werden als sonst üblich.

Sowohl auf Landes- als auch auf Bundesebene wurde die spezielle Bedeutung der Leitung WAL anerkannt. Der niedersächsische Umwelt- und Energieminister Olaf Lies hat sich als Schirmherr für das Projekt eingesetzt und hat die Zusammenarbeit zwischen OGE und den beteiligten Ämtern und Behörden stets gefördert.

Die Unterstützung durch die Politik war auch auf Kreis- und Kommunalebene spürbar und eine wichtige Grundlage für die „Deutschlandgeschwindigkeit“. Die WAL wurde außerdem im LNG-Beschleunigungsgesetz aufgenommen, was angepasste Anforderungen im Genehmigungsverfahren zur Folge hatte. Als Ergebnis konnte der Planfeststellungsbeschluss und der Baustart Mitte August 2022 nach nur 3,5 Monaten erfolgen. Wichtige bauvorbereitende Maßnahmen wie die Errichtung von Baustraßen und die Vorbereitung von Pressgruben konnten bereits ab Juli erfolgen. Die Bedeutung des Vorhabens wurde auch auf Bundesebene seitens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und der Bundesnetzagentur (BNetzA) schnell anerkannt. Dies war eine zwingende Voraussetzung für die richtigen Rahmenbedingungen für die Investitionssicherheit des Projekts. Dies hat es OGE ermöglicht, verbindliche Materialbestellungen ab Anfang April, also nur zwei Wochen nach dem Projektstart, auszulösen.



Bild 4: Minister Lies mit WAL-Projektleiter Franz-Josef Kißing



Bild 5: Markierung des Baustarts auf dem Rohrlagerplatz in Friedeburg

3.3 Organisation des Bauprojekts

Unter normalen Umständen würde man ein Projekt wie die WAL mit einer Länge von rund 26 km in einem Baulos umsetzen. Das Projektteam hat sich bei der WAL jedoch dazu entschieden, das Projekt in zwei Baulosen aufzuteilen und damit auch an zwei Baufirmen zu vergeben. Die außergewöhnlich kurze Bauzeit stellte eben auch außergewöhnlich hohe Anforderungen an die Bereitstellung von Baumannschaften und -maschinen. Als zwei Beispiele unter vielen sind hierfür die ungewöhnlich umfangreiche Bereitstellung von Spunddielen für die Sicherung der Rohrgraben und der großflächige Einsatz von Seilern für die Rohrabsenkung zu nennen. Das Baukonzept sah auch vor, mit einem kurzen Baugraben mit einer maximalen Länge von 4 Rohrlängen zu arbeiten, da in der Region bereits geringe Niederschlagsmengen zur Gefährdung des Rohrgraben führen.



Bild 6: Vorbereitung eines Rohrgrabens mit Spunddielen

Mit einer Bauausführung im Herbst und Winter war klar, dass das Wetter eine Herausforderung darstellen würde. Neben den Arbeitsbedingungen an sich, war die Sorge groß, dass das Baufeld, welches von einem Boden mit geringer Tragfähigkeit gekennzeichnet ist, von großen oder andauernden Niederschlagsmengen weiter verschlechtert werden würde. Daher wurde ein Bau-Konzept entwickelt, dass 100% mineralischen Baustraßen vorsah, um die Befahrbarkeit bestmögliches zu ermöglichen. Die gute Zusammenarbeit mit den Behörden ermöglichte einen vorzeitigen Baubeginn bereits ab Mitte Juli. Die Zeit bis zur Vorlage des Planfeststellungsbeschlusses konnte somit genutzt werden, um Baustraßen rechtzeitig zum Baubeginn vollständig anzulegen. Die Witterungsbedingungen erwiesen sich während der Bauzeit als überwiegend günstig und führten dazu, dass der Terminplan für die Leitungsverlegung in Summe um rund zwei Wochen optimiert werden konnte.

Die Erfahrung mit der Abwicklung des Projekts WAL hat die Wichtigkeit einer frühzeitigen Analyse von Risiken und notwendigen Erfolgsfaktoren bestätigt.



Bild 7: Einrammen von Spunddielen

4 Status des Projektes Stand Dezember 2022

Als dieser Artikel verfasst wurde war der Rohrbau fertiggestellt, die Wasserdruckprobe bestanden, und die Wiederverfüllung der Rohrgraben weitestgehend abgeschlossen.

Die Gasdruckregel- und Messanlagen befanden sich gemäß Terminplan im Bau und es war gelungen, Zeiten mit gutem Bauwetter und vergleichsweise viel Tageslicht effizient zu nutzen. Die Projektabwicklung hat sich zu diesem Zeitpunkt nicht nur als äußerts effizient und erfolgreich erwiesen, sondern hat auch gezeigt, dass Möglichkeiten der terminlichen Optimierung genutzt werden konnten. Als Ergebnis der Bauphase kann festgestellt werden, dass das Baukonzept sehr gut funktioniert hat. Die gesteckten Projektziele sind in greifbarer Reichweite und das Projekt kann als absoluter Erfolg betrachtet werden.

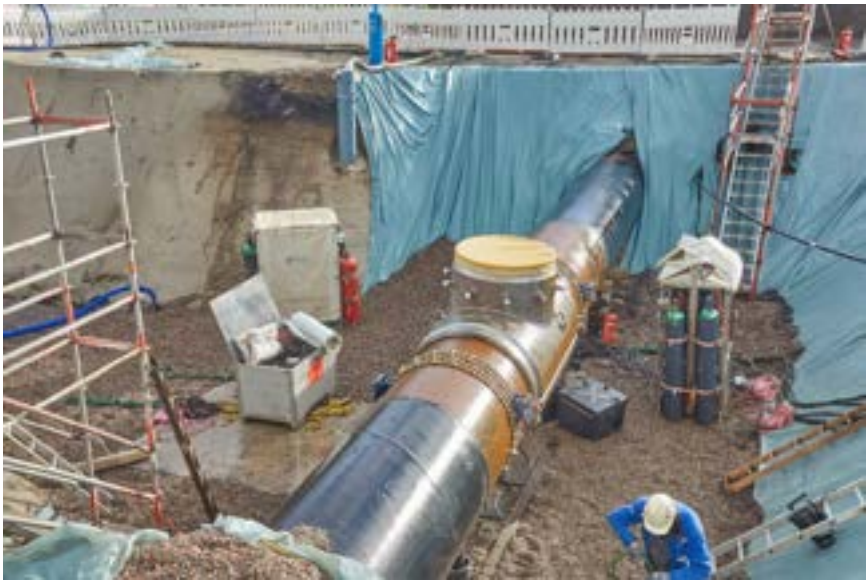


Bild 8: Vorbereitung der NETRA-Anbindung

5 Zusammenfassung

Die Anforderungen und Erwartungen an das Projekt WAL waren sowohl OGE-intern als auch extern und vor allem seitens der Politik sehr hoch. Die kurze Planungs- und Bauzeit von nur neun Monaten war Neuland in der Projektabwicklung solcher Großprojekte. Projektrisiken und -chancen mussten noch sorgfältiger als sonst identifiziert und in der Projektplanung berücksichtigt werden. Neben einer guten und vertrauensvollen Zusammenarbeit mit Politik, Behörden und örtlicher Bevölkerung, waren die Erstellung eines auf minimale Risiken abgestimmtes Baukonzept mit einer ausgedehnten Nutzung von Baustraßen am Ende die wesentlichen Erfolgsfaktoren. Die Aufstellung der Task Force innerhalb der OGE hat sich als geeignete Organisationsform für eine schnelle Projektabwicklung erwiesen.

Das Projekt WAL konnte den hohen Anforderungen gerecht werden und hat diese in einigen Bereichen sogar übertroffen. Die Lieferanten, Dienstleister und Baufirmen haben sich im Projekt WAL als zuverlässige Partner von Politik und Gesellschaft erwiesen und unter Beweis gestellt, dass die „Deutschlandgeschwindigkeit“ kein Zufallsergebnis war. Sie ist vielmehr dadurch entstanden, dass alle Beteiligten sich ihrer Verantwortung voll bewusst und bereit waren, für das gemeinsame Ziel volles Engagement zu zeigen.

Das Projekt WAL wurde somit auch der Anforderung gerecht, den Weg für eine zukünftig schnellere Umsetzung von Infrastrukturprojekten aufzuzeigen. Dieser Weg gilt als belastbar, da die

WAL ohne Verletzung von Rechten Dritter und innerhalb der bereits vorliegenden Rechtsrahmen umgesetzt wurde. Der weitere Umbau des deutschen Energiesystems mit einem ehrgeizigen Zeitrahmen wird nur dann möglich sein, wenn die beitragenden Erfolgsfaktoren aus Projekten wie der WAL konsequent erkannt und auch in Zukunft umgesetzt werden.

Autor:

Dipl.-Ing. Bård Strand
Open Grid Europe GmbH
Essen

Tel.: +49 201 3642 18940
E-Mail:
bard.strand@oge.net
Internet:
www.oge.net



II
Aktuelles vom Rohrleitungsmarkt

A
Rohrmaterialien und Zubehör

1
Stahlrohre für Menschen, Industrie und Umwelt

Wasserstoffleitungen – Anforderungen und relevante Prüfungen für Stahlrohre

Von Susanne Höhler, Elke Wanzenberg, Holger Brauer, Christoph Kalwa, Elke Muthmann, Daniel Ratke, Alexander Völling

1 Einleitung

Zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende mit dem Ziel Klimaneutralität kommt dem Energieträger Wasserstoff eine zentrale Bedeutung zu. Aus erneuerbaren Energien dezentral hergestellt, muss Wasserstoff zum Verbraucher transportiert und ggf. auch zwischengespeichert werden. Aufgrund des hohen Bedarfs an Wasserstoffleitungen gibt es europaweit Anstrengungen, ein Rohrleitungsnetz zu installieren: Die Initiative European Hydrogen Backbone sieht die Umwidmung bestehender Erdgasleitungen für Wasserstoff vor und zeigt einen hohen Bedarf an neuen Wasserstoffleitungen auf.

Eine wesentliche Voraussetzung für die gesellschaftliche Akzeptanz einer Wasserstoffwirtschaft ist die Betriebssicherheit der zugehörigen Infrastruktur. Beim Einsatz von Stahlrohren z.B. in Rohrleitungen müssen alle Komponenten sicher gegen Druckwasserstoff ausgelegt sein. Die Stahlrohre benötigen genügend Tragfähigkeit, um mechanischen Belastungen standzuhalten, und müssen gleichzeitig ausreichenden Widerstand gegenüber einer wasserstoffinduzierten Veränderung der mechanischen Eigenschaften aufweisen. Um die Betriebssicherheit zu gewährleisten, müssen relevante Kennwerte der Stähle definiert werden. Geeignete Materialprüfungen stellen sicher, dass die Werkstoff- und Bauteileigenschaften die geforderten Anforderungen erfüllen.

Mit Blick auf eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft werden derzeit Normen und Regelwerke für Leitungsrohre zum Transport und zur Speicherung von Wasserstoff überarbeitet oder neu erstellt. Dieser Beitrag diskutiert aus Sicht der Rohrhersteller die aktuell eingesetzten Materialprüfungen für die Bewertung von Werkstoffen bezüglich der fachlichen Eignung und Aussagefähigkeit.

2 Einfluss von Wasserstoffdruckgas auf Leitungsrohre

Beim Eindringen von Wasserstoff in das Stahlgefüge besteht die Gefahr der Wasserstoffversprödung. Die Leitungsrohrhersteller der Salzgitter AG können auf eine langjährige Erfahrung mit unterschiedlichen Mechanismen der Wasserstoffversprödung zurückgreifen: Zum einen wurden diese Aspekte ausgiebig für Sauergasleitungen mit Blick auf wasserstoffinduzierte Rissbildung erforscht, zum anderen werden schon lange einzelne Leitungsrohre oder auch kleinere Verteilnetze erfolgreich und sicher für den Transport von gasförmigem Wasserstoff eingesetzt. Diese Leitungsrohre sind allerdings für niedrige Gasdrücke und geringe Mengen von

Wasserstoff ausgelegt. In einer zukünftigen ökonomischen Wasserstoffwirtschaft ist der Transport von weit größeren Mengen an Wasserstoff erforderlich und die Betriebsbedingungen für das Rohrleitungsnetz müssen zu höheren Gasdrücken und Durchflussmengen -ähnlich dem Erdgasnetz- angepasst werden. Die Wasserstoffversprödung beeinträchtigt hauptsächlich die Duktilität, die Ermüdungs- und die Zähigkeitseigenschaften des Stahls [1, 2, 3, 4]. Diese Beeinträchtigungen zeigen sich besonders bei zyklischen Belastungen und bei lokalem Auftreten von Oberflächenunstetigkeiten, z.B. Kerben. Für den sicheren Betrieb müssen daher die Eigenschaften der Werkstoffe unter den angestrebten Betriebsdrücken bekannt sein und in geeigneten Versuchen zuverlässig ermittelt werden können. Für eine Ermittlung dieser Kennwerte unter betriebsrelevanten Bedingungen ist die Kenntnis über die Mechanismen der Wasserstoffaufnahme sowie über die Menge des absorbierten Wasserstoffs im Stahlgefüge Voraussetzung. Hier muss gegenüber den Effekten der Sauergaskorrosion oder der elektrochemischen Beladung abgegrenzt werden, bei denen große Mengen an Wasserstoff in den Stahl eindringen.

3 Materialprüfungen und Versuchsergebnisse

Umfangreiche Versuchsserien wurden zur Wasserstoffaufnahme sowie zu Zähigkeits- und Duktilitätsparametern an Rohrleitungsstählen aus verschiedenen Prozessrouten durchgeführt. Die Versuche erfolgten im Labor der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF). Die untersuchten Stähle wurden bereit gestellt von Mannesmann Line Pipe GmbH (MLP), Europipe GmbH (EP), Salzgitter Mannesmann Grobblech (SZM GB) und Mannesmann Großrohr GmbH (MGR), s. Tabelle 1.

Tabelle 1: Liste der untersuchten Leitungsrohrwerkstoffe.

MLP	Europipe	SZM GB	MGR
X52N, X70M	X65 sour service, X70 onshore, X70 offshore	Vormaterial für X70 onshore, Rohrbogen L485ME	L485ME

3.1 Wasserstoffaufnahme im Auslagerungsversuch

Voraussetzung für das Entstehen von Wasserstoffversprödung ist das Eindringen von Wasserstoff im Stahl. Die Aufnahme von Wasserstoff aus der Gasphase in den Stahl ist unter normalen Bedingungen nicht zu erwarten: Oxide an der Werkstoffoberfläche oder die Belegung mit Sauerstoff verhindern eine Wasserstoffadsorption weitgehend. Erst wenn unter besonderen Umständen lokal eine blanke Stahloberfläche gebildet wird, z.B. bei einer plastischen Verformung des Stahls im Beisein von Wasserstoffgas oder durch Anschleifen der Stahloberfläche direkt vor der Auslagerung oder Prüfung in Wasserstoffgas, kann eine signifikante Wasserstoffaufnahme stattfinden.

Um die Wasserstoffaufnahme in Stahl quantitativ zu bestimmen, wurden verschiedene Stahlgüten in Auslagerungsversuchen unter Druckwasserstoff beladen und ihre Wasserstoffgehalte ermittelt. Die Messung der Wasserstoffkonzentration im Material erfolgte mit Hilfe der Trägergas-Heißextraktion. Die Wasserstoffaufnahme wurde an Coupons (40 mm x 15 mm x 5 mm) getestet. Die Auslagerungszeiten betrugen 7 Tage, 30 Tage oder 6 Monate. Dabei wurden Ergebnisse von Coupons mit unterschiedlichen Oberflächenzuständen einander gegenübergestellt (Abbildung 1):

- Coupons ohne besondere Oberflächenbearbeitung,
- Coupons mit frisch angeschliffener Oberfläche, so dass die natürliche Oxidschicht entfernt war, sowie
- Coupons nach einer thermischen Alterung (60‘ 250°C) mit mechanisch eingebrachter Beschädigung der Oxidschicht.

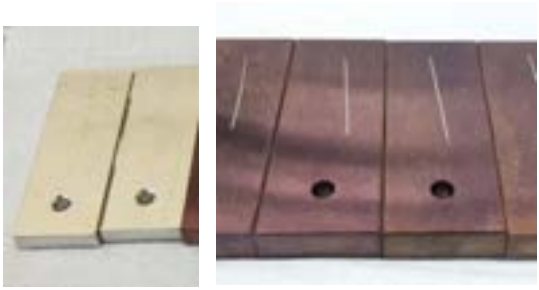


Abbildung 1: Coupons für Auslagerungsversuche, links: ohne Oberflächenbearbeitung oder angeschliffene Oberfläche (kein optisch erkennbarer Unterschied), rechts: nach thermischer Alterung mit eingebrachter Beschädigung.

Die ermittelten Wasserstoffgehalte sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Wasserstoffaufnahme aus der Druckgasphase war stark abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Proben. Bei einer Auslagerungsdauer von bis zu 30 Tagen wurde nur an Proben mit frisch geschliffenen Probenoberflächen eine Wasserstoffaufnahme beobachtet. Erst bei einer längeren Auslagerung von 6 Monaten konnte auch bei Proben mit nicht frisch angeschliffener Probenoberfläche eine sehr geringe Wasserstoffaufnahme beobachtet werden.
Proben mit einer gealterten Probenoberfläche zeigten selbst bei mit einer Beschädigung versehenen Probenoberfläche auch nach 6 Monaten Auslagerungszeit keine signifikante Wasserstoffaufnahme.
Insgesamt waren die gemessenen Wasserstoffgehalte mit < 0,25 ppmw sehr gering und sind keinesfalls zu vergleichen mit Wasserstoffgehalten, die nach einer elektrolytischen Beladung oder unter Sauergasbedingungen entstehen (2-4 ppmw bei NACE Standard Sauergasbedingungen).
Um eventuelle Langzeiteffekte zu ermitteln, wurden weitere Versuche mit einer Auslagerungszeit von 2 Jahren gestartet.

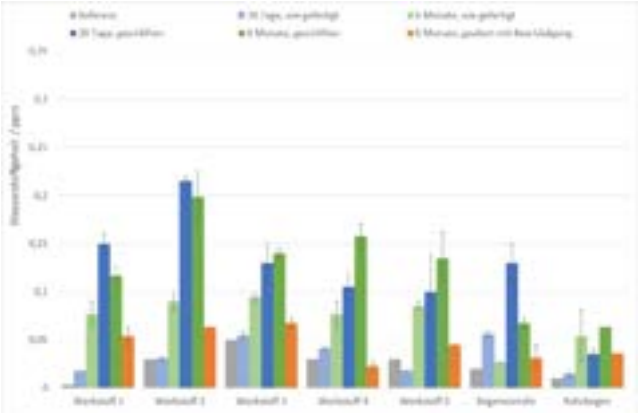


Abbildung 2: Wasserstoffaufnahme nach Auslagerung verschiedener Stahlwerkstoffe

Für die Durchführung von Tests unter Druckwasserstoff lässt sich daraus Folgendes schließen: Die Wasserstoffaufnahme während der Prüfung ist stark abhängig von der Probenoberfläche. Dieser Punkt sollte beachtet werden, wenn Ergebnisse aus Prüfungen verschiedener Labore miteinander verglichen werden. Eine unterschiedliche Vorbehandlung der Probenoberfläche kann, je nach Art der Prüfung und der Prüfparameter, die Prüfergebnisse maßgeblich beeinflussen. In Prüfungen, bei denen es zu einer plastischen Verformung der Probe in Wasserstoff kommt (bspw. SSRT-Tests), wird der Wasserstoffs i.d.R. an der durch die Verformung frisch entstehendenen blanken Oberfläche der Probe aufgenommen. Ist der Versuch mit einer Vorbeladung der Probe durch Auslagerung in Wasserstoffgas verbunden, kann der Zustand der Probenoberfläche zu relevanten Unterschieden in der Wasserstoffaufnahme führen.
Weiterhin ist die inhibierende Wirkung von Sauerstoff bei der Versuchsdurchführung zu beachten. Das Vorhandensein von Sauerstoff im Prüfautoklav sollte weitgehend vermieden werden, da die Adsorption von Sauerstoff auf einer frisch gebildeten blanken Stahloberfläche die Aufnahme von Wasserstoff wirksam verhindert. Die ANSI CSA CHMC 1 legt daher die Obergrenze für den Sauerstoffgehalt auf 1 ppmv bei Versuchen in reinem Wasserstoff fest [5]. Für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden Sauerstoffgehalte von max. 0,2 ppmv eingestellt.

3.2 Slow strain rate tensile (SSRT) Test

Langsame Zugversuche (SSRT Tests: Slow Strain Rate Tensile Tests) an Rundzugproben bieten die Möglichkeit, die Wirkung einer Wasserstoffatmosphäre auf die mechanischen Eigenschaften unter einer quasistatischen Beanspruchung zu überprüfen. Die Zugproben befinden während des Versuchs in einem mit Wasserstoffgas befülltem Druckbehälter und werden mit einer niedrigen Dehnrate langsam gezogen. Durch die geringe Dehngeschwindigkeit erhält der

Wasserstoff die Möglichkeit, in den Stahl einzudringen und zu kritischen Stellen im Gefüge zu diffundieren.
Die hier durchgeführten Prüfungen erfolgten unter praxisrelevanten Bedingungen mit 100 bar Prüfdruck und zusätzlich bei 200 bar Prüfdruck in reinem, gasförmigem Wasserstoff. Als Referenz dienten Versuche in einer Stickstoffatmosphäre unter sonst gleichen Prüfbedingungen. Die Dehnraten betrugen $1x10^{-3}$ s^{-1}, $1x10^{-4}$ s^{-1} und $1x10^{-6}$ s^{-1}. Der Messbereich der Prüflinge wurde direkt vor dem Versuch angeschliffen, um die Oberflächen für Wasserstoffangriff zu aktivieren und vergleichbare Prüfbedingungen zu erzielen.

Zur Bewertung der Duktilität werden die Brucheinschnürung und die plastische Dehnung ermittelt. Die relative Brucheinschnürung Z_{rel} wird aus dem Verhältnis der Brucheinschnürungen der Proben nach dem Zerreißen in Wasserstoff Z_{H2} und in Stickstoff Z_{N2} bestimmt, die relative plastische Dehnung E_{PR} aus dem Verhältnis der plastischen Dehnung der Proben nach dem Zerreißen in Wasserstoff E_{PH2} und in Stickstoff E_{PN2}.

$$Z_{rel} = \frac{Z_{H_2}}{Z_{PN_2}} \cdot 100\ \% \qquad E_{PR} = \frac{E_{PH_2}}{E_{PN_2}} \cdot 100\ \%.$$

Die Versuche zeigten für Leitungsrohre typisches Verhalten: Der linearelastische Bereich der Spannungs-Dehnungs-Kurve (Streckgrenze) und die Zugfestigkeit wurden durch Wasserstoff nicht beeinflusst. Erst im Bereich hoher Dehnung brachen die Zugversuchskurven in Wasserstoff vorzeitig ab, resultierend in verringerter Brucheinschnürung und verringerter plastischer Dehnung. Die Versprödung war an den Proben sichtbar in Form einer geringeren Einschnürung und von Sekundärrissen im eingeschnürten Bereich (Abbildung 3).



Abbildung 3: SSRT-Proben nach dem Versuch links: in N_2, rechts: in 100 bar H_2.

Sowohl Brucheinschnürung als auch Bruchdehnung wurden bei dem Prüfdruck von 200 bar gegenüber dem Prüfdruck von 100 bar nochmals verringert. Ein Einfluss der Dehnrate wurde erst bei der schärferen Prüfbedingung von 200 bar festgestellt. Insbesondere die Bruchdehnung verringerte sich mit abnehmender Dehnrate. Bei dem für Leitungsrohre praxisrelevanteren Prüfdruck von 100 bar wurde dieser Zusammenhang nicht sichtbar (Abbildung 4).

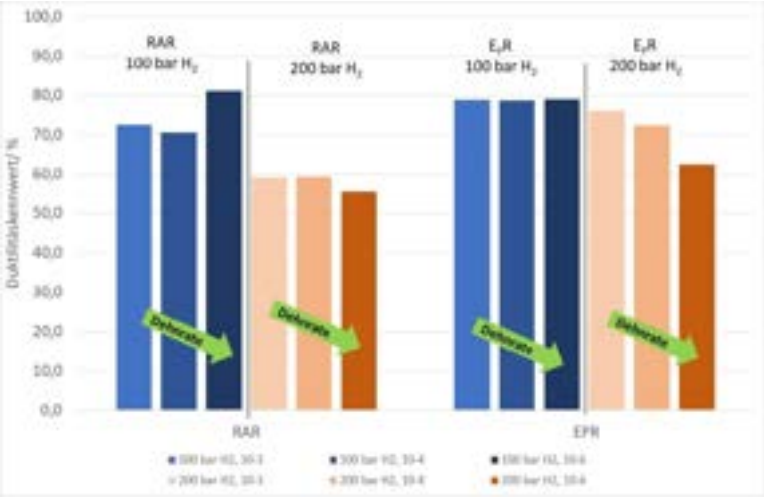


Abbildung 4: Duktilitätskennwerte abhängig von Dehnrate und Prüfdruck, Werkstoff: X70 offshore

Die Tatsache, dass dieser Versuch keinen Einfluss auf Zugfestigkeit oder Streckgrenze der Leitungsrohrwerkstoffe zeigt, ist wichtig für die Auslegung von Leitungsrohren. Darüber hinaus ist der Versuch sehr gut geeignet, um das Verhalten verschiedener Werkstoffe in Wasserstoff zu vergleichen und kann daher gut bei der Entwicklung optimierter Werkstoffe genutzt werden. Um die Sensibilität des Tests zu erhöhen, empfiehlt es sich hier, aus den betriebsrelevanten Prüfbedingungen heraus zu schärferen Prüfbedingungen mit höherem Wasserstoffdruck und kleiner Dehnrate überzugehen.

Neben den Versuchen an glatten Rundzugproben können auch gekerbte Rundzugproben in langsamen Zugversuchen geprüft werden. Diese Prüfungen gehen bspw. in die Regelwerke des TÜV ein [6]. Bei SSRT-Tests an gekerbten Rundzugproben wird auch bei den Leitungsrohrwerkstoffen ein Einfluss des Wasserstoffs auf die im Versuch erreichte maximale Festigkeit festgestellt. Bei dem hier geprüften Werkstoff verringerte sich die in Wasserstoff ermittelte maximale Festigkeit auf 92 % des in Stickstoff ermittelten Wertes (Abbildung 5). Es handelte sich um eine Rundzugprobe von 10 mm Durchmesser mit einem umlaufenden Spitzkerb von 2,5mm Tiefe, 60° Winkel und Ausrundungsradius R=0,2 mm; s. Foto in Abbildung 5, rechts.

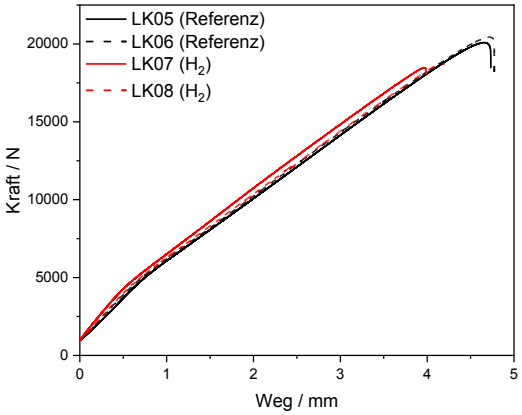




Abbildung 5: Zugkurve und Probe (Kerbform) gekerbter SSRT-Versuche in Stickstoff und Wasserstoff, Werkstoff: X65 sour,

Der gekerbte Zugversuch gibt Aufschluss über das Spannungs-Dehnungs-Verhalten in Abhängigkeit der Mehrachsigkeit, welche durch die Form und Ausrundung des Kerbes gegeben ist. Die an der Kerbe vorliegende Spannungsmehrachsigkeit sorgt für signifikante Dehnungsbehinderung und damit für eine drastische Erhöhung der lokalen Spannungen und Reduktion der Duktilität gegenüber einachsigen Zugversuchen an glatten Proben. Es wird ein für die Wasserstoffanwendung deutlich schärferer Zustand geprüft; das Ergebnis ist jedoch stets abhängig von Probenform und Kerbform.

3.3 Schwellenwert für Spannungsintensitätsfaktor K_{IH} nach ASME B31.12-2019

Der ASME Design Code B31.12 (2019) [7] liefert die Möglichkeit, einen Lebensdauernachweis für Wasserstoffleitungen für höherfeste Stahlgüten durchzuführen. Das Nachweiskonzept basiert auf einem bruchmechanischen Ansatz. Nationale DVGW Standards, z.B. G463 [8], verfolgen in ihrer neuen Revision die Methodik dieser ASME-Regeln für Wasserstoffleitungen.

Die bruchmechanische Lebensdauerberechnung erfordert, dass ein Anriss im Bauteil unterstellt wird, dessen Anfangsrissgröße beispielsweise an der Grenze der Detektierbarkeit mit zerstörungsfreien Prüfmethoden liegt. Mittels Rissfortschrittsgesetzen kann das Risswachstum dieses Anrisses unter den während des Betriebs auftretenden zyklischen Belastungen bis hin zu einer kritischen Rissgröße berechnet werden. Die kritische Rissgröße ist verknüpft mit der Bruchzähigkeit des Materials. Dieser Materialkennwert K_{JIC} wird im Buchzähigkeitsversuch unter realistischen Betriebsbedingungen (Gasgemisch und -druck) ermittelt.

Nach ASME B31.12 (2019) ist die Qualifizierung des Materials jedoch möglich durch Nachweis der Einhaltung eines Mindestwertes für den Spannungsintensitätsfaktor K_{IH} in Wasserstoff. Der Spannungsintensitätsfaktor K_{IH} wird nach ASME BPVC Sec VIII Div. 3 KD-10 [9] bzw. ASTM E1681 [10] bestimmt und muss mindestens den Wert 55 MPa√m erreichen. Hierfür sind Rohre aus drei verschiedene Schmelzen und Positionen des Stahlrohres (Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone und Schweißgut) mit je drei Proben zu prüfen, was zu einer entsprechend umfangreichen Anzahl an Prüfungen führt.

Verwendet werden i.d.R. CT-Proben mit eingeschwungenem Anriss nach ASTM E1681 (Abbildung 6). Die Prüfung kann mit der „constant displacement"-Methode oder mit der „constant load"-Methode durchgeführt werden. Bei der „constant displacement"-Methode wird die Last über eine konstante Kerbaufweitung auf die Probe gebracht, während bei der „constant load"-Methode eine konstante Last auf die Probe gebracht wird. Das Aufspannen der Proben auf eine konstante Kerbaufweitung ist in der Durchführung wesentlich praktikabler. Zudem können mit dieser Methode viele Parallelversuche gleichzeitig durchgeführt werden. Im Hinblick auf die große Probenzahl für eine Qualifizierung bei Prüfzeiten von 1000 Stunden bietet die „constant displacement"-Methode also Vorteile.

Ein tatsächlicher Materialkennwert wird mit dieser Methode nur erzeugt, wenn ein Riss wächst und aufgrund der damit verbundenen Teilentlastung der Probe stoppt. Bei ausbleibendem Risswachstum wird nur ein Erreichen der Mindestanforderung von 55 MPa√m nach ASME B31.12 dokumentiert. Zusätzlich verlangt ASME BPVC Sec. VIII Div 3 für „constant displacement" bei ausbleibendem Risswachstum eine Halbierung des aufgebrachten Wertes. Um folglich ein Rohrmaterial mit einem K_{IH}-Wert von 55 MPa√m zu qualifizieren, werden die Proben daher so vorbereitet, dass die aufgebrachte Aufweitung einem Wert von 110 MPa√m entspricht.

Die hier untersuchten Leitungsrohrwerkstoffe erfüllten alle die Mindestanforderung von 55 MPa√m. Mit Ausnahme einer einzelnen Probe wurde in keiner Probe ein Risswachstum erzeugt. Ein richtiger Materialkennwert konnte also nicht bestimmt werden.



Abbildung 6: K_{IH} constant displacement-Probe

Die Messung des K_{IH}-Wertes basiert auf der linear-elastischen Bruchmechanik. Voraussetzung für eine gültige Prüfung ist nach ASTM E1681 eine Mindestprobendicke, um die plastische Zone an der Rissspitze im Verhältnis zur Probengröße klein zu halten und so den notwendigen Spannungszustand einzustellen. Dieser ist abhängig von der Festigkeit des Werkstoffs und der angelegten Spannungsintensität. Je höher K_{IH} und je niedriger die Streckgrenze ist, desto größer muss auch die Probe sein. Sowohl mit der „constant displacement"-Methode und dem damit verbundenen Mindestwert von 110 MPa√m als auch mit der "constant load"-Methode kann diese Mindestprobengröße prüftechnisch bei üblichen Leitungsrohrwanddicken zwischen 5 mm und 35 mm nicht realisiert werden. Es wären Probendicken erforderlich, die die Abmessungen des eigentlichen Bauteils deutlich überschreiten. ASME BPVC Sec. VIII Div. 3 begegnet diesem Problem, indem es für einen gültigen K_{IH}-Wert statt des Dickenkriteriums aus ASTM E1681 eine Probendicke von >85 % der Rohrwand vorschreibt. Dadurch repräsentiert K_{IH} ausschließlich den Schwellenwert für die Spannungsintensität eines Materials in einer Wanddicke.

Als Nachweis für einen gültigen K_{IH}-Wert innerhalb der linear-elastischen Bruchmechanik kann der CMOD-Wert (*C*rack *M*outh *O*pening *D*isplacement) herangezogen werden, die Aufweitung der Probe auf Höhe der Kerböffnung. Nach ASTM E1681 darf das CMOD-Verhältnis beim Ent- und Belasten der Probe 90 % nicht unterschreiten. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde ein mittleres CMOD-Verhältnis von 63 % gemessen, s. Abbildung 7. Dies weist auf das Vorliegen einer größeren plastischen Zone an der Kerbspitze hin. Die Bedingungen für die Anwendbarkeit der linear-elastischen Bruchmechanik werden bei der K_{IH}-Messung an Leitungsrohrwerkstoffen nicht eingehalten. Trotz dieser Detailbetrachtung der bruchmechanischen Randbedingungen lässt die Versuchsführung die Annahme zu, dass der Mindestwert von 55 MPa√m für die untersuchten Leitungsrohrwerkstoffe sicher überschritten wird.

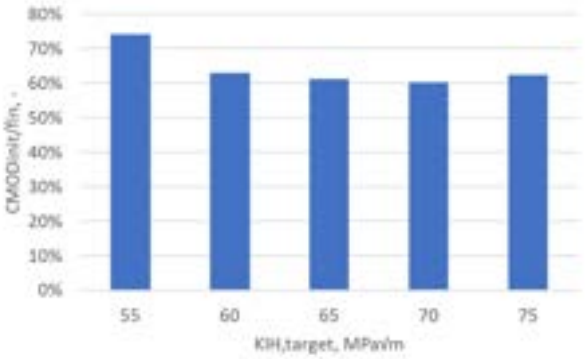


Abbildung 7: CMOD-Verhältnisse gemessen an Leitungsrohrwerkstoffen

Um der Problematik der K_{IH}-Wert-Ermittlung entgegenzutreten und für die Lebensdaueranalyse gültige Abbruchkriterien zu bestimmen, kann der kritischen Spannungsintensität die tatsächliche Bruchzähigkeit K_{IC} des Werkstoffes entgegengesetzt werden. Diese wird nach Prüfnormen wie ASTM E399 [11], ASTM E1820 [12] oder ISO12135 [13] ermittelt. Die Bruchzähigkeit K_{IC} in Druckwasserstoff wird ermittelt, indem eine Probe bei monoton steigender Kerbaufweitung zerstörend geprüft wird. Voraussetzung zur Bestimmung der Bruchzähigkeit ist allerdings ein vornehmlich sprödes Materialverhalten. Rohrleitungsstähle zeichnen sich jedoch durch hohe Duktilität aus, was bei der Kennwertermittlung zu berücksichtigen ist. In diesem Fall bietet sich mit der elastisch-plastischen Bruchmechanik der K_{JIC}-Wert an. Diese Methode birgt großes Potential für eine verlässliche Kennwertermittlung für das Rohrleitungsdesign, da ein tatsächlicher Werkstoffkennwert ermittelt werden kann und Prüfzeiten gegenüber einer 1000-stündigen Auslagerung wie bei der Bestimmung von K_{IH} eingespart werden. Für die Ermittlung dieses Kennwertes ist allerdings eine aufwendige Prüftechnik notwendig, die derzeit in nur wenigen Prüflaboren vorhanden ist. Die Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) widmet sich zurzeit dem Aufbau einer solchen Prüfeinrichtung.

Je nach Notwendigkeit, Bedarf und Aussagekraft haben alle Prüfmethoden ihre Berechtigung. Für den Fall, dass Randbedingungen für gültige Prüfungen nicht eingehalten werden können, müssen Prüfmethoden und Prüfbedingungen für Qualifikation von Leitungsrohren in enger Abstimmung mit dem Leitungsrohrbetreiber festgelegt werden, um das Bauteilverhalten unter den vorherrschenden Betriebsbedingungen richtig abbilden zu können.

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Versuchsserien an geschweißtem Rohrmaterial sowie Vormaterial (Grobblech und Warmbandmaterial) demonstrieren die Eigenschaften unter Wasserstoffdruckgas unter den aktuell angewendeten Prüfmethoden. Die Auslagerungsversuche zeigen, dass die Beschaffenheit der Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf die Wasserstoffaufnahme besitzt. Frisch angeschliffene blanke Oberflächen sorgen für eine deutlich erhöhte Wasserstoffaufnahme im Vergleich zu „normalen“ Oberflächen mit natürlicher Oxidschicht. Allerdings sind auch nach Anschleifen der Oberfläche und längerer Auslagerungsdauer die Wasserstoffgehalte im Stahl sehr gering. Eine Oxidschicht kann durch plastische Dehnungen oder mechanische Beschädigungen zerstört werden.

SSRT-Tests oder langsame Zugversuche sind eine gängige Methode, um Umgebungseinflüsse, z.B. Wasserstoffdruckgas, auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften zu prüfen. Die Versuche zeigen eine Abnahme der Duktilitätsparameter im plastischen Dehnungsbereich weit nach Überschreiten der Streckgrenze. Für die Einsatzbedingungen von Leitungsrohren sind Dehnungen, bei denen sich Wasserstoff deutlich bemerkbar macht, nicht realistisch. Übliche Auslegungsparameter, wie Streckgrenze und Zugfestigkeit, werden durch Wasserstoff nicht beeinflusst. Der Versuch ist sehr gut geeignet, um unterschiedliche Stähle miteinander zu vergleichen. Weitere Versuchsreihen sollen den Einfluss der chemischen Analyse, des Gefüges, der

Schweißnähte klären. Der Versuch kann daher auch gut zur Optimierung von Werkstoffen genutzt.

Für die Auslegung von Wasserstofftransportleitungen etabliert sich das bruchmechanische Nachweisverfahren zur Berechnung der Lebensdauer. Das gängigste Regelwerk ist der ASME B31.12 – 2019 Design Code. Die hier getesteten Stähle erfüllen den Schwellenwert K_{IH} nach dem Qualifizierungskriterium ASME B31.12 - 2019 PL-3.7.1 (2) Option B.

Die Eignung der K_{IH} - Anforderung wird derzeit in Gremien diskutiert, denn das Versuchsergebnis erlaubt lediglich eine Aussage über einen Grenzwert („bestanden“ oder „nicht bestanden“) und bei Leitungsrohren können nicht alle Randbedingungen für gültige Prüfungen eingehalten werden. Es handelt sich nicht um einen charakteristischen Materialkennwert, wie im Gegensatz dazu z.B. Bruchzähigkeiten K_{IC}, J-integral, K_{JIC}, die in Standard-Bruchmechanikprüfungen ermittelt werden. Diese können physikalisch das Materialverhalten charakterisieren (Sprödbruch, duktiles Risswachstum) und als Auslegungskennwerte verwendet werden, stehen aber zurzeit nur in wenigen Laboren zur Verfügung.

Diese Aspekte müssen vor dem Hintergrund der Auslegung und des Betriebs von Leitungen, und für Materialqualifizierungen diskutiert werden. Die wissenschaftlichen Hintergründe für hohe Sicherheitsanforderungen, aber auch die Machbarkeit sinnvoller Qualifizierungsversuche müssen abgewogen werden.

SZMF wird die aktuellen Versuchsmöglichkeiten unter Druckwasserstoff auf die Prüfung von Bruchzähigkeiten (K_{IC}, J-integral, K_{JIC}) und Rissfortschrittsparametern (da/dN) in naher Zukunft erweitern. Die bisherigen Untersuchungen deuten bereits eine sehr gute Eignung der untersuchten Stähle für die Wasserstoffanwendung an. Die weiteren Arbeiten werden systematisch die unterschiedlichen Einflussgrößen und Testmethoden behandeln.

5 Acknowledgement

Teile der Studie wurden im Rahmen des Leitprojektes TransHyDE vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Fördernummer 03HY202C gefördert.

Literatur

[1] NATURALHY Projekt: “Preparing for the hydrogen economy by using the existing natural gas system as a catalyst”. Cordis proj. ref. 502661, Program FP6-SUSTDEV, 2004-2009, Final Public Presentation NaturalHy, 19.11.2009, Groningen, Niederlande

[2] Briottet, L.; Moro, I.; Lemoine, P. (2012): Quantifying the hydrogen embrittlement of pipeline steels for safety considerations. In: International Journal of Hydrogen Energy 37 (22), S. 17616–17623

[3] Nanninga, N. E.; Levy, Y. S.; Drexler, E. S.; Condon, R. T.; Stevenson, A. E.; Slifka, A. J. (2012): Comparison of hydrogen embrittlement in three pipeline steels in high pressure gaseous hydrogen environments. In: Corrosion Science 59, S. 1–9

[4] Amaro, Robert L.; Drexler, Elizabeth S.; Slifka, Andrew J. (2014): Fatigue crack growth modeling of pipeline steels in high pressure gaseous hydrogen. In: International Journal of Fatigue 62, S. 249–257

[5] ANSI/CSA CHMC 1-2014 (Reaffirmed 2018), „Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications – Metals“, CSA Group

[6] TÜV SÜD Prüfstandard P-003 (2021) „Werkstoffbeständigkeit gegenüber Druckwasserstoff“, München

[7] ASME B31.12 (2019), “ASME B31.12-2019 Hydrogen Piping and Pipelines” The American Society for Mechanical engineers, New York, USA.

[8] DVGW G463 (2021), “Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Planung und Errichtung ”. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn

[9] ASME BPVC (2013), “ASME BPVC Section VIII Division 3 (2013) Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels”. The American Society for Mechanical engineers, New York, USA

[10] ASTM E1681-03 (2013), “Standard Test Method for Determining Threshold Stress Intensity Factor for Environment-Assisted Cracking of Metallic Materials”. ASTM International, West Conshohoken, USA

[11] ASTM E399-12e3 (2012), “Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness KIc for Metallic Materials”. ASTM International, West Conshohoken, USA

[12] ASTM E1820-20e1 (2020), “Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness”. ASTM International, West Conshohoken, USA

[13] ISO12135:2016 (2016), “Metallic Materials – Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness”. ISO, Genf, Schweiz

Autoren:

Dr. Susanne Höhler
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

Tel.: +49 203 999-3192
E-Mail:
s.hoehler@du.szmf.de
Internet:
www.szmf.de



Dr. Elke Wanzenberg
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

Tel.: +49 203 999-3172
E-Mail:
e.wanzenberg@du.szmf.de
Internet:
www.szmf.de



Dr. Holger Brauer
Mannesmann Line Pipe GmbH, Siegen

Tel.: +49 2381 420-447
E-Mail:
holger.brauer@mannesmann.com
Internet:
www.mannesmann-linepipe.com



Dr. Christoph Kalwa
EUROPIPE GmbH,
Mülheim an der Ruhr

Tel.: +49 208 976-4823
E-Mail:
christoph,kalwa@europipe.com
Internet:
www.europipe.com



Dipl.-Ing. Elke Muthmann
Salzgitter Mannesmann Grobblech GmbH, Mülheim an der Ruhr

Tel.: +49 208 458 4205
E-Mail:
elke.muthmann@smgb.de
www.rohrbiegewerk.de



Dr. Alexander Völling
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg

Tel.: +49 203 999-3172
E-Mail:
e.wanzenberg@du.szmf.de
Internet:
www.szmf.de



Daniel Ratke
Mannesmann Grossrohr GmbH, Salzgitter

Tel.: +49 5341 21-5449
E-Mail:
daniel.ratke@mannesmann.com
Internet:
www.mannemann-grossrohr.com



Stahlrohre für die Energiewende – already ready

Von Holger Brauer, Georg Golisch

Abstract

Zur erfolgreichen Umsetzung der klimaneutralen Energiewende und Erreichen des Klimazieles 2050, kommt dem Energieträger Wasserstoff eine zentrale Bedeutung zu. Und das 2050 nicht ausreicht wird nicht zuletzt durch das SALCOS Projekt im Salzgitter Konzern bewiesen. Daher rückt generell bereits mehr und mehr das Jahr 2030 als Zielsetzung für eine drastische Reduzierung der CO_2 Belastung in den Fokus der Betrachtung.
Der Beitrag gibt daher zunächst einen Überblick über mögliche Szenarien des Energietransportes und die möglichen Lösungen, die über Stahlrohre realisiert werden können. Da die derzeit favorisierte Lösung das Wasserstoff-Druckgas darstellt, wird im zweiten Teil des Beitrages der aktuelle Stand rund um das Thema Transport und Speicherung des Wasserstoffs in Stahlrohrleitungen beleuchtet. Abschließend werden die derzeitigen Fragestellungen, die sich in Bearbeitung befinden, andiskutiert, und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen und zu klärende Aufgaben gewagt...

1 Einleitung

Der Klimawandel durch globale Erwärmung ist ein weltweit erkanntes Problem. Als Inbegriff der globalen Erwärmung gilt u.a. Kohlenstoffdioxid (CO_2), auch bekannt als Treibhausgas. Die Klimapolitik beschäftigt sich auf internationaler Ebene u. a. mit Strategien und Schutzmaßnahmen, um die Entstehung des Gases zu verringern oder sogar gänzlich zu vermeiden. Derzeit ist allein in Deutschland weniger als 16 % unserer heutigen Primärenergie von etwa 3.500 TWh erneuerbar, und das nach 30 Jahren Klimawende-Investitionen [1]. Knapp die Hälfte der Energie kommt noch aus Kohle und Öl [2]. 85 % der Primärenergie muss bis 2045 durch klimaneutrale Energie oder Effizienzgewinne substituiert werden [3]. Jedoch bleibt auch bei reduziertem Verbrauch Gas bedeutend für die Energieversorgung Deutschlands. Konsens herrscht darüber, dass grüner Import-Wasserstoff und die Nutzung des Gasnetzes die einzige Möglichkeit ist für Deutschland klimaneutral zu werden. Dabei führt die Umstellung auf Gas, weg von Kohle und Strom, sofort zu einer massiven Emissionsminderung, auch bei der zwischenzeitlichen Verwendung von fossilem Erdgas. Angesichts des immer deutlicher werdenden Einflusses der Erderwärmung u.a. durch klimaschädliches CO_2, sowie des aus unterschiedlichen Gründen fast schon explosionsartigen Anstieges der Energiekosten (basierend auf fossilen Energieträgern wie Erdgas), rückt der Umstieg auf alternative und erneuerbare Energiequellen und -träger noch weiter als bisher in den Vordergrund.

2 Medien der Zukunft in Leitungsrohren

Für die Transformation des Energiesektors werden zum Transport und zur Speicherung von Energie unterschiedliche Energieträger betrachtet. Die Verwendung hängt dabei u.a. von Faktoren wie der benötigten Energiemenge, dem Entstehungs- und Verwendungsort, und der

Nutzungsart, aber auch dem technologischen Reifegrad ab. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die Haupttypen gegeben.

Gasförmiger Wasserstoff H_2

Hauptenergieträger wird nach heutigem Stand Wasserstoffdruckgas sein. Dieser lässt sich aus Strom und Wasser über eine Elektrolyse herstellen. Als Nebenprodukt fällt Sauerstoff an. Im Markt etabliert und laufend weiterentwickelt hinsichtlich technischer Reife und Erzeugungsmenge sind die alkalische Elektrolyse, die Membranelektrolyse (PEM) und die Hochtemperatur-Elektrolyse mit Festoxidzellen (SOEC), mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen, z.B. im Bereich der Kosten, der Produktionsmengen, der Lastanforderungen, der Haltbarkeit oder auch der anfallenden Abfallstoffe und -mengen [4]. Das erzeugte Wasserstoffgas wird dann komprimiert und über mobile Lösungen bei kleineren Energiebedarfen oder über Rohrleitungen transportiert. Beim Nutzer wird er entweder als Wasserstoffgas direkt verwendet, oder z.B. in Brennstoffzellen rückverstromt.
Werden derzeit etwa 3.500 TWh jährlich an (im Wesentlichen grauem) Wasserstoff verwendet, so wird bis 2050 ein weltweiter Bedarf von 26.000 TWh erwartet, der durch grüne Primärenergieträger erzeugt werden muss, soll die Energiewende vollständig gelingen [5]. Die meisten der sich derzeit in Betrieb oder im Aufbau befindlichen Projekte der Energiewirtschaft zur Erzeugung, Distribution und Verwendung von grünem Wasserstoff, maßgeblich durch die Industrie selbst initiiert und vorangetrieben, sind im Binnenland angesiedelt. Diese beziehen den benötigten Strom von Onshore oder Offshore Primärenergieerzeugern. Das Projekt H2Mare (als Teil des geförderten TransHyDe-Projektes) hingegen erforscht die Offshore-Erzeugung u.a. von Grünem Wasserstoff direkt an neuartigen Windenergieanlagen [6]. Diese haben einen integrierten Elektrolyseur sowie Speicher und kommen daher ohne Anbindung an das Stromnetz aus. Durch die geringeren Umwandlungszyklen ergibt sich in Summe ein höherer Wirkungsgrad der Energiegewinnung. Das erzeugte Wasserstoffgas kann dann über Pipelines zu einem zentralen Punkt des jeweiligen Windparks transportiert werden.
Da der gasförmige Wasserstoff im Energiemix der Zukunft die größte Rolle spielen wird, liegt im Bereich der alternativen Energien einer der Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der Mannesmann Line Pipe GmbH. Daher befasst sich im Anschluss der zweite Teil des Beitrages mit den Untersuchungen zur Wasserstofftauglichkeit der mit dem Hoch-Frequenz-Induktions- (HFI-) Verfahren hergestellten längsnahtgeschweißten Stahlrohre der Mannesmann Line Pipe.

Flüssiger Wasserstoff LH_2

Dieser wird wohl im Energiesystem der Zukunft eine eher untergeordnete Rolle spielen. Über die Verflüssigung von gasförmigem Wasserstoff bei -252,9 °C kann zwar pro Volumeneinheit mehr Energie gespeichert werden. Die Kühlung benötigt aber eine hohe Menge an Energie, genau wie die kontrollierte Erwärmung. Darüber hinaus kommt der Isolation von Speichern oder Leitungen eine besondere Bedeutung zu. Bei ungenügender Isolation kann der Luftsauerstoff kondensieren, was eine erhöhte Brandgefahr darstellt. Daher ist die Vakuumtechnologie die beste Lösung, ist aber deutlich aufwändiger als die Verwendung von herkömmlichen Isolationswerkstoffen wie Schaumstoff o.ä. Eine entsprechende Technologie für kryogene Rohrleitungen wurde von der Firma Fernwärme Celle mit Rohren von Mannesmann Line Pipe entwickelt [7].

Ammoniak NH_3

Die Bindung von Wasserstoff an Stickstoff und damit die Verwendung von Ammoniak NH_3 als Energiespeicher für regenerativ gewonnenen Strom wird als interessante Alternative diskutiert. Gegenwärtig sind in den USA knapp 5.000 km Ammoniak-Pipeline in Betrieb [8]. Dieser wird überwiegend in Raffinerien und der Chemieproduktion verwendet, z.B. zur Produktion von Düngemittel oder um das für die Metallverarbeitung wichtige Wasserstoffgas zu generieren. Ammoniak erscheint gerade für mobile Lösungen vorteilhaft, bei denen es um eine möglichst hohe Energiedichte pro Speichervolumen ankommt. Der Hintergrund: eine ausreichend hohe Energiemenge über Wasserstoff lässt sich mobil nur zur Verfügung stellen, wenn der Wasserstoff gasförmig bei 700 bar oder flüssig bei -253 °C gespeichert wird. Neben der aufwändigen Technologie der notwendigen Speicherbehälter, werden auch große Energiemengen benötigt, um den jeweiligen Medienzustand zu erreichen. Ammoniak hingegen kann wesentlich leichter in den flüssigen Zustand überführt werden. Hierzu wird entweder eine Temperatur von „nur“ - 33 °C oder ein Druck von 9 bar benötigt. In dieser Form bietet Ammoniak darüber hinaus mit 4,25 kWh die höchste Energiedichte pro Liter Speichervolumen, und liegt damit um den Faktor 1,8 über flüssigem bzw. Faktor 2,3 über gasförmigem Wasserstoff. Einziger „energetischer“ Wehrmutstropfen: die Umwandlung von Wasserstoff in Ammoniak hat derzeit noch einen Wirkungsgrad von nur 55 – 60 %.

Die Verwendung des Ammoniaks kann dann einerseits über eine Rückgewinnung des Wasserstoffs erfolgen. Andererseits ist eine direkte Nutzung möglich. Zum einen über eine Verbrennung des Gases z.B. in speziellen Motoren oder Gasturbinen. Hierbei werden neben Wasserdampf dann Stickstoff und gegebenenfalls geringe Mengen an Stickoxiden frei. Zum anderen können mittlerweile auch neuartige Brennstoffzellen damit ohne eine vorherige Rückumwandlung in Wasserstoff betrieben werden. Bei diesem Verfahrensschritt entsteht neben dem Wasserstoff für die Brennstoffzelle nur noch Stickstoff, der reichlich in der Atmosphäre enthalten ist (78 %), sowie Wasser aus der Brennstoffzelle [9]. Bislang ist die Effizienz dieser Technologie aber noch zu gering, sodass es weiterer Entwicklung bedarf.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass bereits jetzt schon die Ammoniakherstellung auf Platz zwei der größten Wasserstoffverbraucher gleich nach den Raffinerien rangiert, und Tendenz des Wasserstoffeinsatzes steigend. So wurden nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA) in 2019 rund 31 Mio Tonnen H_2 für die Ammoniakproduktion benötigt. Damit steht derzeit die Ammoniakproduktion beim Einsatz von Primärenergie und auch bei der Freisetzung von Kohlendioxid mit auf einem der ersten Plätze. Damit muss jedes Unternehmen, das grünes Ammoniak herstellen möchte, zunächst einen Weg finden, den benötigten Wasserstoff auf nachhaltige Weise herzustellen. Bei der regenerativen Herstellung der oben genannten Menge an Wasserstoff über Elektrolyse wären bei einem Einsatz von 4,5 kWh elektrischer Energie pro Kilogramm etwa 140 TWh nötig. Dies ist etwa $^1/_3$ des in der EU in 2019 erzeugten Windstroms [10].

Die Stahlrohre der Mannesmann Line Pipe GmbH ermöglichen einen sicheren Transport des flüssigen, aber auch gasförmigen Ammoniaks. Hierbei ist zu beachten, dass der durch Ammoniak eventuell ausgelöste Korrosionsmechanismus nicht dem wie bei H_2-Druckgas entspricht. Entscheidend ist die Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion (SCC), wie bei einer Sauergasanwendung. Üblicherweise wird in der industriellen Anwendung dem Ammoniak eine geringe Menge Feuchtigkeit beigemischt. Ein Wasseranteil ab 0,2 Gewichts-% dient als Inhibitor

und vermeidet eine Schädigung des Stahls. Luftbeimischungen fördern hingegen die Schädigung und sollten vermieden werden [11-13].

Flüssige organische Wasserstoffträger LOHC

Gegenüber den oben angesprochenen Energieträgern befindet sich die Technologie der flüssigen organischen Wasserstoffträger LOHC (liquid organic hydrogen carrier) noch eher im Vorentwicklungsstadium. Bei diesen wird der Wasserstoff in einem ölhaltigen Medium chemisch gebunden. Dieses Medium kann dann drucklos transportiert, und der Wasserstoff wieder entnommen werden, wobei das Trägermedium wiederverwendbar ist. Dieses besteht jedoch noch überwiegend aus fossilen Ölen. Eine in Deutschland erste großtechnische Nutzung wird im Rahmen eines F&E-Projektes erprobt. Dieses umfasst die Speicherung und den Transport von LOHC, inklusive einer Systemintegration einer ersten Pilot- und Insellösung im Demonstrator-Maßstab auf Helgoland und dem Festland. Dieses dient somit der Entwicklung der Gesamtwertschöpfungskette für die großskalige Implementierung der Wasserstoffumwandlung, -speicherung, -verwertung, welche für die Entstehung eines neuen (LOHC) Marktes erforderlich ist. Technisch kann von einer Eignung der Stahlrohre von Mannesmann Line Pipe auf Grund der chemisch festen Bindung des Wasserstoffs an das Trägermedium Öl ausgegangen werden. Eine entsprechende Erprobung wird zu gegebener Zeit erfolgen.

Strom

Der Großteil der regenerativ erzeugten Energie wird in der Zukunft als Strom gewonnen (Photovoltaik, Wind), auch wenn derzeit (2021) in Deutschland erst etwa 41 % des produzierten Stromes aus erneuerbaren Energien stammten [14]. Der Netzentwicklungsplan für Deutschland sieht vor, die Stromübertragung vor allem in Nord-Süd-Richtung im Wesentlichen über Erdkabel zu realisieren [15]. Diese Lösung bedarf eines erweiterten Schutzes der sensiblen Höchstspannungskabel. Gerade wenn die Übertragung mittels Gleichstroms erfolgt, und somit die Verluste in ein Stahlrohr minimiert sind, können Kabelschutzrohre aus HFI-Rohren der Mannesmann Line Pipe GmbH erste Wahl sein. Vor allem in kritischen Bereichen mit besonders hohem Schutzbedarf der Stromkabel wie Querungen von Flüssen, Straßen, Schienen, etc., aber auch in geologisch anspruchsvollen Gebieten wie Hängen, felsige Böden usw. bieten Stahlrohre einen besonders hohen mechanischen Schutz.

Kohlenstoffdioxid CO_2

Um das ambitionierte Klimaschutzziel einer Reduzierung von CO_2 um 80 bis 95 % im Jahr 2050 in den Industrienationen zu erreichen, ist laut der Internationalen Energie Agentur IEA aus heutiger Sicht bereits in der Transformationsphase zur CO_2-freien Emissionsgesellschaft u. a. die Abscheidung und Speicherung von CO_2 (Carbon Capture and Storage = CCS) ein wesentlicher Baustein im Klimaschutz-Konzept. Das gilt auch für das alternative Konzept der „Carbon Capture and Utilization (CCU)“, mit einer Verwendung von CO_2 in chemischen Prozessen bzw. stofflichen Anwendungen. Dies muss und wird genutzt werden, um bereits in den nächsten Jahren schon die CO_2-Freisetzung in die Atmosphäre zu verringern und gleichzeitig gesetzliche Vorgaben einzuhalten. Doch nur selten besteht die Möglichkeit, CO_2 dort zu speichern oder weiterzuverwenden, wo es entsteht. Daher muss das in industriellen Prozessen in großen Mengen erzeugte CO_2 zu großen Dauerlagerstätten transportiert werden. Für einen wirtschaftlich

sinnvollen Transport sind Pipelines die richtige Wahl, z.B. aus unserem Mannesmann CO2ready®-Rohren. In umfangreichen Versuchen, zum Teil im Rahmen von EU-geförderten multinationalen Projekten, hat die Mannesmann Line Pipe GmbH erfolgreich Werkstoffe von HFI-längsnahtgeschweißten Stahlrohren auf die Eignung unter den unterschiedlichsten Einsatzbedingungen geprüft.
Speziell für Mannesmann CO2ready®-Stahlrohre konnte die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Rohre im Rahmen des von der „European Commission - Research Fund for Coal and Steel" geförderten Projektes „Requirements for safe and reliable CO_2 transportation pipeline (SARCO2)"gezeigt werden. Korrosionsversuche adressierten den Einfluss von Unreinheiten im Gas (z. B. Schwefelwasserstoff (H_2S), Wasserstoff (H_2), Stickstoffdioxid (NO_2), Schwefeldioxid (SO_2) oder Stickstoff (N_2)) und den Parameter beim Transport von CO_2-Gemischen auf das grundsätzliche und örtlich lokalisierte Korrosionsverhalten. Auch hier ließ sich die Tauglichkeit der geprüften Rohre nachweisen, unter der Voraussetzung, dass sich durch unvorschriftsmäßige Betriebszustände nicht übermäßig viel Wasser im Gas befindet.
Beim Transport von Kohlenstoffdioxid durch eine Rohrleitung kann das CO_2 als ein 2-Phasen-Gemisch (flüssig und gasförmig) im sogenannten superkritischen Zustand transportiert werden. Bei einem Bruch der Rohrleitung bedeutet dies, dass durch das Ausströmen des Mediums zunächst der Druck in der Leitung, wie bei einer Flüssigkeit, schnell sinkt. Durch den Übergang des flüssigen Anteils in gasförmiges CO_2 verringert sich die Dekompressionsgeschwindigkeit drastisch, gleichzeitig bleibt aber der Innendruck bis zur vollständigen Umwandlung der flüssigen Phase konstant (Plateau). Unreinheiten im CO_2 (z. B. aus den Abscheidungsprozessen) verstärken das noch. In Summe verringert sich so die Möglichkeit, dass ein sich im Rohr entlang der Leitung ausbreitender Riss durch die Verringerung des Innendrucks unter einer kritischen Schwelle zum Stillstand kommt. Übliche Berechnungsmethoden und Modelle zum Design einer Leitung unter Innendruck berücksichtigen lediglich einphasige Substanzen, wie beispielsweise Erdgas. Daher wurden neben den Korrosionsversuchen auch die mechanisch- technologischen Eigenschaften und das Verhalten beim Versagen einer CO_2-Rohrleitung u. a. im Berstversuch an einer Testleitung ermittelt. Das ermöglichte die Beurteilung der Ausbreitung von (langlaufenden) Rissen unter Innendruck für die künftige Auslegung von CO_2-Transportleitungen. In diesen mechanisch-technologischen Untersuchungen sowie dem Full-Scale-Berstversuch konnte das exzellente Zähigkeits- und Rissstopp-Verhalten der Mannesmann CO2ready®-Rohre erfolgreich nachgewiesen werden.

3 Wasserstoff in Stahlrohren

Rohre aus Stahl sind ideal für den Transport und die Speicherung von Gasen geeignet und haben sich seit vielen Jahrzehnten bewährt. Zu den Pipeline-Stahlrohren existiert weltweit ein umfassendes Regelwerk, welches sich im Rahmen der Energieversorgung im Wesentlichen mit dem Medium Erdgas beschäftigt. Noch sehr selten sind die Regelwerke auf das Medium Wasserstoff-Druckgas ausgelegt. In den letzten Jahren laufen umfangreiche Aktivitäten, dies für Leitungsrohre nachzuholen. Dabei ist die Aktualisierung oder Neugestaltung der Regelwerke rund um das Thema Wasserstoff beim Gastransport über Rohrleitungen nach wie vor nicht abgeschlossen. So müssen beispielsweise in Deutschland von den 250 Regelwerken des DVGW etwa die Hälfte überarbeitet werden. Zurzeit ist etwa die Hälfte davon bereits angepasst. Bis 2025 sollen die restlichen etwa 60 Regelwerke überarbeitet sein. Die Regelwerke, die für die

Stahlrohre in den Pipelines maßgeblich sind, unterteilen sich im Wesentlichen nach der Druckstufe (Nieder-/Mitteldruckleitungen bis 16 bar und Hochdruckleitungen über 16 bar) und nach der Unterscheidung in Neuleitung bzw. Umstellung von bestehenden Leitungen des Erdgas-Netzes auf den Transport von Wasserstoff. Innerhalb der Regelwerke findet sich dann oft noch eine Unterscheidung nach dem Wasserstoffgehalt im Gas, der Auslastung der Leitung und dem verwendeten Werkstoff. Für Hochdruckleitungen sind als maßgebliche Regelwerke zur Auslegung von neuen Leitungen die ASME B31.12, die EIGA IGC/DOC 121/14, die EN 1594 und die DVGW G463 zu nennen [16-19]. Die letzten beiden beziehen sich aber im Teil zur Prüfung der Wasserstofftauglichkeit im Wesentlichen auf die ASME B31.12, geben jedoch einige wichtige zusätzliche Details zur Bewertung.
Um eine möglichst ökonomische Nutzung der Leitungen zu ermöglichen, sind im Vorfeld neben den bekannten mechanisch-technologischen Eigenschaften auch bruchmechanische Betrachtungen anzustellen, die dann für eine Lebensdaueranalyse beim Leitungsdesign genutzt werden. Die ASME B31.12 fordert in diesem Zusammenhang vor allem die Qualifizierung der Materialien über den Nachweis, dass ein Mindestwert der Spannungsintensität K_{IH} im statischen Biegeversuch unter Wasserstoffdruckatmosphäre erreicht wird. Bei der Lebensdaueranalyse soll dann für die Beschreibung des Rissfortschrittverhaltens unter Wasserstoff eine konservative Kurve verwendet werden, die im Kapitel PL 3.7.1 angegeben ist. In der EN1594 bzw. der DVGW G463 wird darüber hinaus zum einen gefordert, dass nachzuweisen ist, dass das einzusetzende Material mindestens diesem konservativen Verhalten im Rissfortschrittversuch entspricht. Außerdem werden genaue Versuchsbedingungen genannt. Zum anderen wird eine konkrete Vorgabe für die Größe des in der bruchmechanischen Lebensdauer-Berechnung anzunehmenden Ausgangsrisses gemacht. Die angegebene Geometrie orientiert sich an den Vorgaben für die im Rohrwerk vorzunehmende Ultraschallprüfung auf mögliche Ungänzen im Rohr. Somit ergibt sich immer mehr ein klareres Bild, welche Kriterien Stahlrohrhersteller für ihre Produkte erfüllen bzw. nachweisen müssen.

4 Qualifizierung von HFI-Leitungsrohren

Slow-Strain-Rate-Tensile (SSRT) Test

Um die Eignung von Rohrleitungen für den Transport von Wasserstoff zu bewerten, hat die Mannesmann Line Pipe GmbH mit Hilfe der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) die Beständigkeit gegen wasserstoffinduzierte Korrosion im SSRT Versuch an aktuellen Mannesmann H2ready®-Werkstoffen aus HFI-Rohren unterschiedlicher Festigkeitsklassen untersucht. In diesem Versuch wird eine Zugprobe mit deutlich reduzierter Dehnrate belastet. Verglichen wird das Materialverhalten im gasförmigen reinen Wasserstoff bei 80 bar mit der Prüfung in einem inerten Medium (hier 100 % Stickstoff bei 80 bar). Für eine genaue Beschreibung des SSRT Versuchs sei an dieser Stelle auf [20] verwiesen.
Neben Festigkeit und chemischer Zusammensetzung kann auch das Gefüge maßgebend für die Suszeptibilität gegenüber Wasserstoff sein. Dem Herstellungsprozess kommt folglich eine wesentliche Bedeutung zu. Stahlgüten höherer Festigkeit werden durch thermomechanisches Walzen hergestellt, was gegenüber dem Normalisierungsprozess in einem feineren homogeneren Gefüge ohne Seigerungslinien im ferritisch-perlitischen Gefüge resultiert. Insgesamt wurden 45 Versuche an Längsproben aus dem Grundwerkstoff und 22 Versuche an Querproben aus

der HFI-Schweißnaht durchgeführt. Die Duktilitäts- und Festigkeitskennwerte der Proben sind in Bild 1 und Bild 2 dargestellt. Der negative Einfluss des Wasserstoffs in den Medien lässt sich, wie bereits aus früheren Studien und Veröffentlichungen bekannt [20-22], anhand der Kennwerte Brucheinschnürung RAR (reduction of area ratio) und relative plastische Dehnung EPR (plastic elongation ratio) beobachten. Bei der überwiegenden Anzahl der Proben ist eine Abnahme der beiden Parameter zu erkennen. Die größte Verringerung und entsprechend die kleinsten Minimalwerte finden sich bei den Proben aus dem Grundmaterial. In den HFI-Proben liegt kein EPR-Wert unter 88 %, während im Grundmaterial stets Werte über 70 % ermittelt werden. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die relative Brucheinschnürung RAR. Bei fast allen Tests in H_2-Atmosphäre wird ein niedrigerer Wert als in N_2 gefunden. Der kleinste ermittelte Wert im Grundmaterial beträgt 55 %, in der HFI-Naht 86 %.

Ein deutlich negativer Einfluss des Wasserstoffs auf die Zugfestigkeit wird in keinem der Tests beobachtet. Mit einem Unterschied von weniger als 2 % zwischen den beiden Testmedien liegen die meisten Werte im Streubereich. Damit zeigen die Slow-Strain-Rate-Zugversuche bei 80 bar keine erhöhte Anfälligkeit gegen H_2 im konstruktiv relevanten Bereich. Die Verringerung der Duktilität wirkt sich nicht auf die Integrität der Rohrleitung aus, da die Ausnutzung des Rohrleitungsmaterials bei normalen Betriebsbedingungen deutlich unterhalb der Streckgrenze und damit im elastischen Bereich liegt.

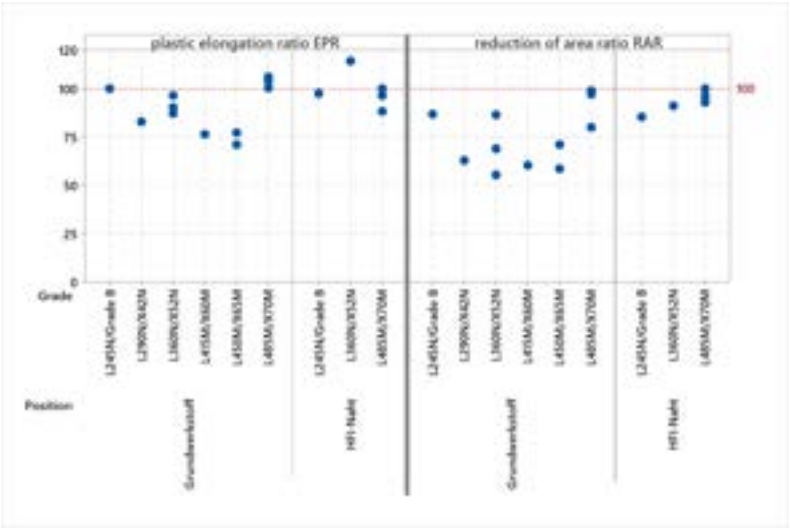


Bild 1: Einfluss von Wasserstoff auf die plastische Dehnung und die Brucheinschnürung im Slow-Strain-Rate-Zugversuch an Proben aus dem Grundwerkstoff und der HFI-Naht (dargestellt ist das Verhältnis der Werte aus dem Versuch in H_2 zum Versuch in N_2)

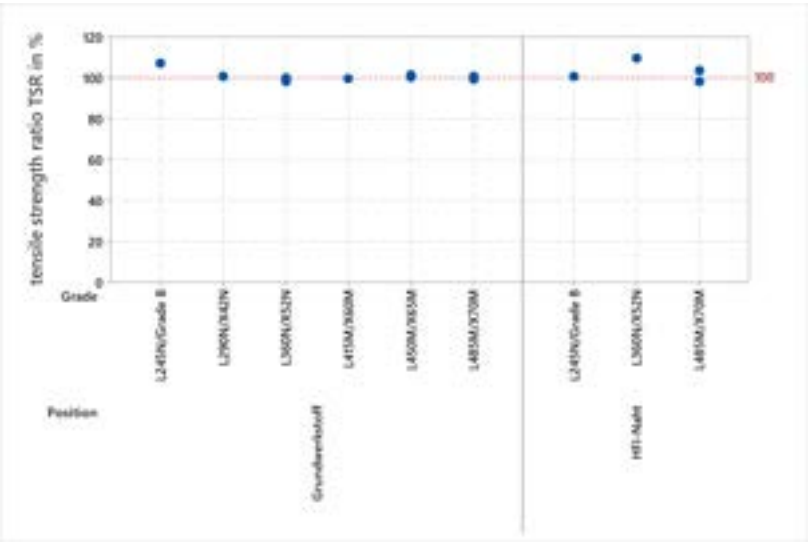


Bild 2: Zugfestigkeitsverhältnis an Proben aus Grundwerkstoff und HFI-Schweißnaht im Slow-Strain-Rate-Zugversuch in reinem H_2 im Vergleich zum inerten Medium N_2

Spannungsintensität K_{IH}

Obwohl der SSRT Versuch eine Bewertung der Suszeptibilität von Rohrleitungsstählen zulässt, werden keine Kerben oder Ermüdungsanrisse berücksichtigt. Untersuchungen an verschiedenen Werkstoffen haben gezeigt, dass diese einen erheblichen negativen Einfluss haben können [23-30]. Das amerikanische Regelwerk ASME B31.12 [16] fordert im Kapitel PL-3.7.1, Option B, daher Prüfungen an entsprechenden Proben, um Rohrleitungswerkstoffe für die Auslegung in Wasserstoff zu qualifizieren. Daher wurden Untersuchungen zum Werkstoffverhalten bei Rissen und statischer Last unter der Einwirkung von Druckwasserstoff bei der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH durchgeführt, wobei eine Vielzahl an Mannesmann H2ready®-Güten untersucht wurden. Als Kriterium wird im Versuch eine Spannungsintensität von 55 MPa√m als Mindestwert festgelegt. Erreicht der Werkstoff diesen Wert, ist er für den Einsatz in Wasserstoff qualifiziert. Darüber hinaus wird der K_{IH} Wert als Abbruchkriterium genutzt, um eine Abschätzung der Lebensdauer zu ermöglichen. Der Schwellenwert des Spannungsintensitätsfaktors K_{IH} wurde für die vorliegenden Untersuchungen mit der Methode der konstanten Verschiebung bestimmt, wie in ASTM E 1681 [31] und ASME BPVC Section VIII Division 3, Artikel KD-10 [32] beschrieben. Präparation und Versuchsdurchführung sind in [33] genauer beschrieben.
Für alle untersuchten Stahlgüten liegt der K_{IH} Wert deutlich höher als die geforderten 55 MPa√m. Alle Stahlgüten sind folglich für die Verwendung in Wasserstoff qualifiziert. Ein Test an der Stahlgüte X60M mit einer weitaus höheren aufgebrachten Verschiebung zeigt, dass das Material den geforderten Wert um mehr als 30 MPa√m übersteigt. Zusammenfassend bestätigen die Versuche die überragende Beständigkeit der geprüften Werkstoffe gegen Wasserstoffversprödung unter den gewählten Bedingungen.

Tabelle 1: Ergebnisse der K_{IH}-Versuche an Mannesmann H2ready® Güten der Mannesmann Line Pipe GmbH

Stahlgüte	Test Position	$K_{IH,applied}$ in MPa√m	$K_{IH,reached}$ in MPa√m
X42N/L290N	Grundwerkstoff	125 - 131	62 - 65
	HFI-Naht	118 - 123	59 - 62
	Wärmeeinflusszone	116 - 119	58 - 59
X52N/L360N	Grundwerkstoff	114 - 127	57 - 64
	HFI-Naht	116 - 122	58 - 61
	Wärmeeinflusszone	114 - 122	57 - 61
X60M/L415M	Grundwerkstoff	124 - 126	62 - 63
	Grundwerkstoff	170 - 172	85 - 86
	HFI-Naht	127 - 144	63 - 72
	Wärmeeinflusszone	117 - 120	58 - 60
X65M/L450M	Grundwerkstoff	120 - 127	60 - 63
	HFI-Naht	117 - 118	58 - 59
	Wärmeeinflusszone	117 - 120	59 - 60
X70M/L485M	Grundwerkstoff	125 - 129	62 - 64
	HFI-Naht	117 - 121	58 - 60
	Wärmeeinflusszone	117 - 118	58 - 59

Rissfortschritt da/dN

Der Transport von Gasen findet in Rohrleitungen unter hohen Drücken statt. Während des Transports kann es betriebsbedingt zu Druckschwankungen kommen, die eine zyklische Beanspruchung der Leitung in Umfangsrichtung nach sich ziehen. Als Folge kann das Material beginnen zu schädigen. Insbesondere an Kerben oder Rissen kann zyklische Beanspruchung zu Ermüdungsrisswachstum führen, was schließlich die Lebensdauer der Rohrleitung begrenzt. Um das Risswachstum bemessen zu können, werden Rissfortschrittsuntersuchungen in Druckwasserstoff bei praxisnahen Betriebsbedingungen durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen der Risswachstumsrate da/dN und dem Spannungsintensitätsfaktor ΔK kann in Ermüdungsversuchen bspw. nach ASTM E647 [34] ermittelt werden. Generell zeigen Werkstoffe unter dem Einfluss von Druckwasserstoff vor allem bei geringer Prüffrequenz beschleunigtes Risswachstum. Um den Effekt von Wasserstoff auf den Werkstoff bewerten zu können, werden die Versuche daher bei Frequenzen von höchstens 0,1 Hz durchgeführt.

Bild 3 zeigt Ergebnisse von Rissfortschrittuntersuchungen an den Mannesmann H2ready®-Werkstoffen X52N, X60M und X70M. In der Abbildung befinden sich die gemessenen Rissfortschrittsraten für Grundwerkstoff und Schweißgut sowie die in B31.12 definierte obere Grenzkurve (schwarze gestrichelte Linie). Für den X52N und den X70M ist der Rissfortschritt pro Zyklus geringer als die Grenzkurve. Lebensdauerberechnungen auf Basis der tatsächlichen Rissfortschrittsparameter sind daher weniger konservativ und entsprechen dem realen Verhalten der Werkstoffe. Der Werkstoff X60M zeigt für den Grundwerkstoff teils schnellere Rissfortschrittsraten. Berechnungen mit den realen Werten im Vergleich zur oberen Grenzkurve haben dennoch zu einer konservativeren Bewertung für die Grenzkure geführt.

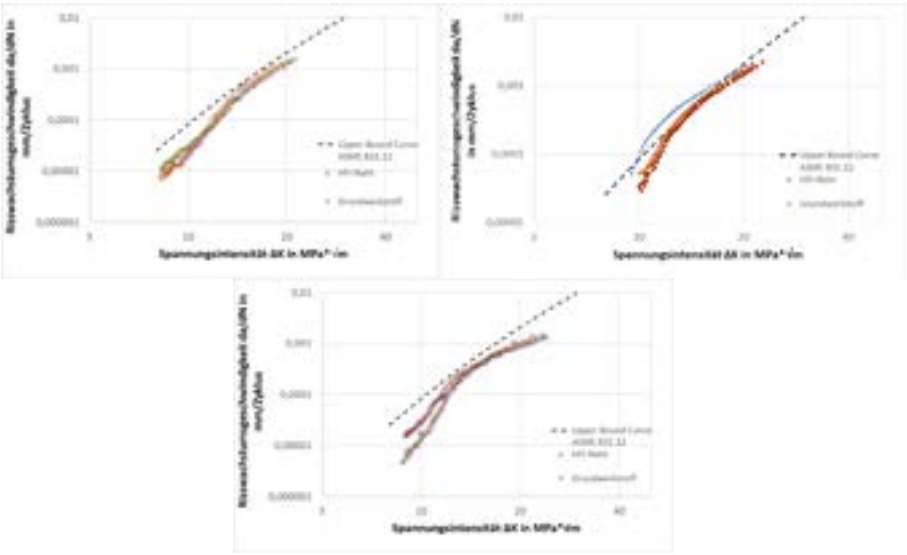


Bild 3: Rissfortschrittsrate da/dN in Abhängigkeit von ΔK der Mannesmann H2ready® Stahlgüten links) X52N, rechts) X60M, unten) X70M

Lebensdauerberechnung

Bei der Auslegung einer Rohrleitung für den Transport von Druckwasserstoff gibt es zwei grundsätzliche Herangehensweisen. Dabei wird ein potenzieller Rissfortschritt in Abhängigkeit von der Auslastung berücksichtigt. Ist der Auslastungsgrad gering genug, kann davon ausgegangen werden, dass kein messbares Risswachstum auftritt. Wird der Auslastungsgrad erhöht, muss Rissfortschritt berücksichtigt werden. In diesem Fall wird die Nutzungsdauer der Rohrleitung berechnet. Während der Nutzung wächst der zunächst unkritische Riss, bis dieser mit Ablauf der geplanten Nutzungsdauer eine bestimmte Risstiefe erreicht, die eine weitere Verwendung im Sine der Auslegung nicht mehr zulässt. Der Auslastungsgrad kann dabei über Absenkung des Betriebsdrucks, durch Erhöhung der Wanddicke oder Nutzung einer höheren Festigkeitsklasse reduziert werden. In ASME B31.12 wird dies z. B. in Option A mittels eines Koeffizienten erreicht, der die genannten Größen einbezieht. Option B sieht hingegen vor, eine zyklische Lebensdaueranalyse durchzuführen. Die in B31.12 angeführte obere Grenzkurve bildet die in den Versuchen größte erhaltene Rissfortschrittsrate ab, was bei Anwendung in der Auslegung zu einer kürzeren, aber konservativen und folglich sichereren Nutzungsdauer führt.

Die Berechnung der Lebensdauer basiert auf bruchmechanischen Annahmen. So gehen neben bekannten Größen wie Rohrdurchmesser, Wanddicke und Festigkeit der Stahlgüte auch Faktoren hinsichtlich der Betriebsbedingungen mit ein. Generell werden Auslegungsdruck und Druckschwankungen in Form des R-Wertes berücksichtigt. Für die Bestimmung der Lebensdauer

werden außerdem weitere Parameter benötigt, wie die zu Beginn anzunehmende Ungänze. Die Annahme beruht auf dem Prüfkriterium der zerstörungsfreien Ultraschallprüfung bei der Rohrherstellung. Als übliches Kriterium wird U3 für Leitungsrohre verwendet, mit einer Tiefe des Fehlers von 10 % der Rohrwanddicke (N10) [35]. Eine weitere Möglichkeit ist die Kalibrierung an einem Riss mit einer Tiefe von nur 5 % der Wanddicke (N5).
Gemäß BS7910 [36] Anhang M6.2 wird bei der Lebensdauerberechnung eine halbelliptische Fehlergeometrie für einen innenliegenden Fehler angenommen. Ist der Initialfehler wachstumsfähig, erfolgt die Berechnung des Rissfortschritts. Letztlich erreicht der Riss eine kritische Größe, welchem die Materialzähigkeit nicht mehr standhält. Nach B31.12 ist dieses Abbruchkriterium mit K_{IH} bestimmt und kann für die Berechnung der Lebensdauer mit 55 MPa$\sqrt{m}$ angenommen werden. Es sei erwähnt, dass die errechnete Lebensdauer wesentlich länger als die tatsächliche Nutzungsdauer einer Rohrleitung ist, da weitere Limitierungen ergänzt werden. So darf bspw. nach BPVC Sec VIII Div 3 neben anderen Kriterien maximal die Hälfte der Lebensdauer verwendet werden. Andere Konzepte sind noch konservativer, indem die Nutzungsdauer auf ein Fünftel bzw. ein Zehntel reduziert wird.
Bild 4 zeigt den Einfluss des Verhältnisses von Unter- zu Oberlast auf die kritische Zyklenzahl N_{crit} am Beispiel des Rohrleitungsmaterials X60 mit OD 406,4 x 8 mm. Ein kleiner R-Wert bedeutet eine große Druckschwankung. Je geringer die Druckschwankung ausfällt, desto höher die kritische Zyklenzahl und desto länger die Lebensdauer der Rohrleitung. Bei R = 0,7 ist die Lebensdauer vergleichsweise hundert Mal höher als bei R = 0,1. Generell werden Rohrleitungen sogar bei noch höheren R - Werten betrieben. Die Berechnung mit einem kleineren R -Wert ist folglich konservativ.
Bild 5 zeigt den Einfluss der Rohrwanddicke auf einen Rohrleitungsstahl X52 mit OD 406,4 mm und einen Innendruck von 95 bar. Alle Berechnungen beruhen auf einem R – Wert von 0,5. Bei einer Wanddicke von 8 mm ist generell mit einer erheblich geringeren Lebensdauer im Vergleich zu einer Wanddicke von 9,1 mm zu rechnen. In allen Fällen führt die um 1,1 mm dickere Rohrwand zu einer ca. 1,7-mal höheren Lebensdauer.
Bild 6 zeigt den Einfluss der Rissfortschrittsrate und der Anfangsfehlertiefe a für ein Rohr 406,4 mm x 8 mm und einem R-Wert von 0,5. Der Auslastungsgrad wurde konstant mit 67 % SMYS gewählt. Der Innendruck für die Rohrstähle unterschiedlicher Festigkeiten variiert folglich. Die Berechnungen für den X52N wurden bei einem Innendruck von 95 bar durchgeführt, während für den X60M und den X70M mit 112 bar beziehungsweise 130 bar gerechnet wurde. Bei festgelegtem Auslastungsgrad hat der Innendruck einen maßgebenden Einfluss auf die Lebensdauer. Im Vergleich der Anfangsfehlertiefen a bedeutet ein kleinerer Anfangsfehler generell eine starke Zunahme der Lebensdauer. So führt beim X52N und beim X60M die Verwendung eines Anfangsfehlers von 0,4 mm (N5) zu einer ca. 5- bis 7-mal höheren Lebensdauer als bei Verwendung von 0,8 mm (N10). Beim X70M zeigt sich sogar eine mehr als 13 mal höhere Lebensdauer. Das ist auf die Rissfortschrittsrate im Grundwerkstoff zurückzuführen, für welchen bei kleinen ΔK Werten wesentlich geringere Werte erzielt wurden als im Vergleich zur oberen Grenzkurve der B31.12.

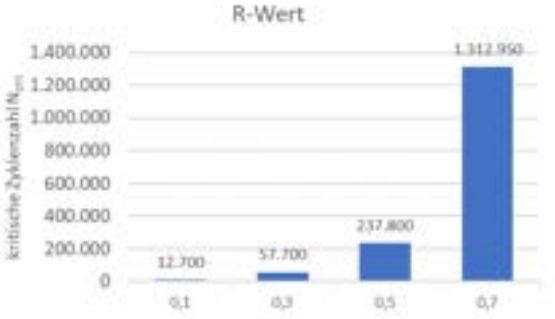


Bild 4: Einfluss des R-Wertes für einen X60 mit OD 406,4 x 8 mm bei 95 bar Betriebsdruck (Tiefe des Anfangsfehlers 5 % der Wanddicke, da/dN-Kurve gemäß X60 Grundwerkstoff)



Bild 5: Einfluss der Wanddicke für einen X52 mit OD 406,4 mm bei 95 bar Betriebsdruck

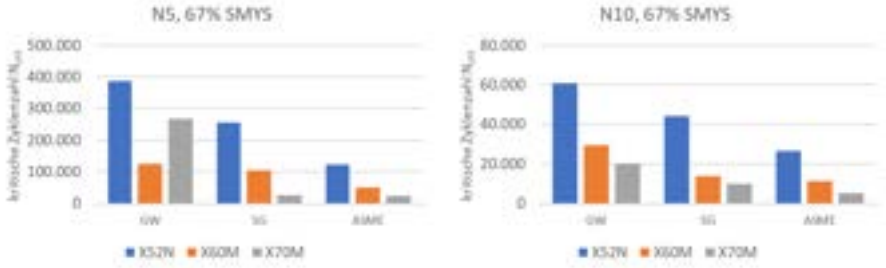


Bild 6: Einfluss der Rissfortschrittsparameter bei Fehlertiefe a (N5 links; N10 rechts) und gleichem Auslastungsgrad

Innenbeschichtung – FlowCoat

Der Energiegehalt von Wasserstoffgas ist um etwa 33 % geringer als bei Erdgas, bei gleicher zu transportierenden Energiemenge. Zusätzlich ist gerade durch Prozesse die auf Gas, und insbesondere Wasserstoff, umgestellt werden, eher mit einer Erhöhung der Energiemenge zu rechnen. Als Beispiele seien die Stahlherstellung mit dem Entfall der Kohle als Energieträger, oder die Mobilität mit dem Ersatz des flüssigen Energieträgers Öl genannt. Somit erscheint es notwendig zu werden den Rohrdurchmesser zu vergrößern, oder die Wanddicke und damit den Innendruck anzuheben, oder die Fließgeschwindigkeit zu erhöhen. Gerade bei letzterem wird eine Innenbeschichtung interessant, welche die Reibung zwischen Rohrwand und Medium reduziert. Hierzu dient eine Epoxy FlowCoat Innenbeschichtung (Bild 7). Diese wird beim Transport von nicht-korrosiven Gasen in Pipelines als sogenanntes Dünnschicht-Epoxy appliziert (Dicke ca. 60 - 80 µm). Sinn der Innenauskleidung ist es, eine glatte Rohroberfläche darzustellen, die dem zu transportierenden Medium möglichst wenig Reibung entgegensetzt. Es wird gleichzeitig ein verbesserter Durchfluss bei geringerem Energiebedarf erreicht. Epoxy-ausgekleidete Rohre dienen weiterhin einer verbesserten visuellen Kontrolle und lassen sich leichter molchen. Im Falle einer Lagerung der Rohre dient FlowCoat gleichzeitig auch als Korrosionsschutz In diese Beschichtung kann Wasserstoff leicht eindiffundieren. Eine Fragestellung beim Transport von Wasserstoff-Druckgas ist daher, ob dieser bei einem spontanen Druckabfall schnell genug herausdiffundieren kann ohne Blasen zu verursachen. In Prüfungen nach DIN EN 10301 Anhang C an einer 70 µm dicken FlowCoat Beschichtung auf HFI-Rohren aus H2ready®-Material (Bild 8) wurden zyklische Druckentlastungs-Test in 100 bar reiner Wasserstoffatmosphäre bei der Salzgitter Mannesmann Forschung in Duisburg durchgeführt. In den Zyklen 1 - 4 und 6 - 9 verblieben die Proben für 20 h unter Druck im Wasserstoffgas. Nach jedem Zyklus wurde eine schnelle Druckentlastung auf Atmosphärendruck vorgenommen, bei dem die Proben dann für 3 h verweilten. Im Zyklus 5 und 10 hingegen betrug die Auslagerungsdauer im Wasserstoffdruckgas 68 h. Danach erfolgte wie nach den anderen Zyklen die Druckentlastung auf Atmosphärendruck, bei dem die Proben dann ebenfalls 3 h verblieben. In allen Test wurde bei keiner Probe eine Blasenbildung gefunden, womit die FlowCoat-Beschichtung den Anforderungen eines Druckwasserstofftransportes den Nachweis erbracht hat.



Bild 7: FlowCoat nach DIN EN 10301/ISO 15741, API RP 5L2

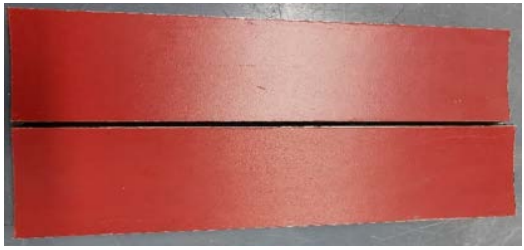


Bild 8: Proben für die Untersuchung der Beständigkeit gegen Gasdruckänderungen mit Wasserstoff

5 Fazit und Ausblick

Das Hauptaugenmerk der Mannesmann Line Pipe GmbH liegt nach wie vor auf der Entwicklung, Prüfung und Weiterentwicklung unterschiedlicher Werkstoffe und Stahlsorten für neue Pipelines zum Transport von Wasserstoffgas. In internen und geförderten Projekten wurden und werden umfangreiche Tests mit Werkstoffen aus allen gängigen Rohrfestigkeitsklassen bis zum X70/L485 durchgeführt. Eine höhere Festigkeit ermöglicht die Verwendung höherer Transportdrücke oder dünnerer Rohrwände. Dies wiederum führt zu einer Reduzierung des Ressourcen- und Energieverbrauchs bei der Produktion. Alternativ lässt sich unter Beibehaltung der gängigen Designregeln der Sicherheitsfaktor erhöhen. Basierend auf den Erkenntnissen und den gewonnenen Erfahrungen demonstriert die „Mannesmann H2ready®“-Strategie ihre Wirksamkeit und die grundsätzliche Eignung von längsnahtgeschweißten Stahlrohren, hergestellt mittels Hoch-Frequenz-Induktions- (HFI-) Verfahren, zum Transport von Wasserstoffgas.
Auch aktuelle und zukünftige Untersuchungen und Aktivitäten widmen sich dem Abschluss technischer Untersuchungen und der weiteren Optimierung neuer Leitungsrohrmaterialien für den Wasserstofftransport. Ziel ist es, die konservative Betrachtung aktueller Kriterien zu minimieren, um Wasserstofftransportleitungen möglichst wirtschaftlich und ökologisch unter Berücksichtigung aller Sicherheitsaspekte zu betreiben.

6 Literatur

[1] Linke, G.: Klimaneutralität schaffen durch den Einsatz von Wasserstoff. Key-Note Hersteller-Informationsveranstaltung zur DVGW H_2-Datenbank verifHy 03.11.2022
[2] Kehler, T.: Die Rolle von Gas für die deutsche Energieversorgung. Webinar figawa und Vulkan-Verlag Transformation der Gasversorgung – Deutschland “gibt Gas”18.11.2022
[3] Bartsch, V.: H2-Netze und Energiepolitik – Transformation der Gasinfrastrukturen. Webinar figawa und Vulkan-Verlag Transformation der Gasversorgung 18.11.2022
[4] Schiller, G.: Überblick über die Verfahren der Wasserelektrolyse und Forschungsergebnisse sowie Forschungsbedarf bei der alkalischen Elektrolyse. 34. Ulmer Gespräch Energiesysteme der Zukunft, Neu-Ulm, 3.-4. Mai 2012
[5] Bäumer, S.: Impulsvortrag thyssenkrupp nucera. 2. Dortmunder Wasserstoff Konferenz, 24.11.2022
[6] https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde. (Abruf 24.11.2022)
[7] Brauer, H.; Veit, M.; Harder, V.; Grube, L.; Meyer, F.: HFI geschweißte Stahlrohre für Tieftemperatur-Rohrleitungen. 3R 6 (2016), S. 80/7
[8] Piria, R.; Teichmann, F.; Honnen, J.; Eckardt, J.: Wasserstoff in den USA: Potenziale, Diskurs, Politik und transatlantische Kooperation. 2021, Berlin: adelphi consult GmbH
[9] Friederici, G.: https://www.gerald-friederici.de/wfdi/speicherung-von-wasserstoff-mit-lohc-s.html (Abruf 22.10.2021)
[10] Augsten, E.: The role of ammonia in tomorrow’s energy industry. HZwei, October (2021)
[11] Kim, C.D.; Wilde, B.E.; Phelps, E.H.: Stress Corrosion Cracking of Line Pipe Steels in Anhydrous Ammonia. Corrosion 31 (1975), 7, p. 255-262
[12] Jones, D.A.; Kim, C.D.; Wilde, B.E.: The electrochemistry and mechanism of stress corrosion cracking of constructional steels in liquid ammonia. Corrosion 33 (1977), 2, S. 51-55

[13] Loginow, A.W.: Stress Corrosion Cracking of Steel in Liquefied Ammonia Service – A Recapitulation. Materials Performance, 25 (1986), 12, S. 18-22
[14] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) am Umweltbundesamt Erneuerbare Energien in Deutschland - Daten zur Entwicklung im Jahr 2021. März 2022 https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-0 (Abruf 25.11.2022)
[15] Gesetz über den Bundesbedarfsplan (Bundesbedarfsplangesetz - BBPlG). letzte Änderung 8.10.2022; https://www.netzausbau.de/Wissen/GesetzeVerstehen/BBPlG/de.html (Abruf 25.11.2022)
[16] ASME B31.12 (2019), "ASME B31.12-2019 Hydrogen Piping and Pipelines" The American Society for Mechanical engineers, New York, USA
[17] EIGA (European Industrial Gases Association) Richtlinie IGC Doc 121/14 "HYDROGEN PIPELINE SYSTEMS"
[18] DIN EN 1594: Gasinfrastruktur – Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar – Funktionale Anforderungen
[19] DVGW Arbeitsblatt G 463: Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Errichtung
[20] Brauer, H.; Simm, M.; Wanzenberg, E., Henel, M.: Transport von gasförmigem Wasserstoff via Pipelines? Aber sicher! – H2 by Mannesmann. 3R 10/11 (2018), S. 63/7
[21] Tröger, M.; Bosch, C.; Brauer, H: Untersuchungen zur Beständigkeit hochfester HFI-geschweißter Rohre für den Wasserstofftransport. Oldenburger Rohrleitungsforum 2014, S. 233/43 (Proc. Conf.)
[22] Brauer, H.; Simm, M.; Wanzenberg, E.; Henel, M.: Rohre für den Transport von gasförmigem Wasserstoff – Hy by Mannesmann. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, S. 240/51 (Proc. Conf.)
[23] Gräfen, H.; Pöpperling, R.; Schlecker, H.; Schlerckmann, H.; Schwenk, W.: CERT-Untersuchungen an Leitungsrohrstählen über eine Korrosionsgefährdung durch wasserstoff-haltige Gase bei hohen Drücken. Werkstoffe und Korrosion, 39, 1988, 517
[24] Kesten, M.; Schlecker, H.; Schlerkmann, H.: Schäden an Stählen in gasförmigem Wasserstoff. In: Korrosion verstehen - Korrosionsschäden vermeiden. H. Gräfen, A. Rahmel (Ed.), Verlag Irene Kuron, Bonn, 1994, 32/7
[25] Maier, H. J.; Popp W.; Kaesche, H.: Hydrogen Effects on Cyclic Deformation Behaviour of a Low Alloy Steel: In: Hydrogen Effects in Materials, Thompson, A. W.; Moody, N. R. (eds.), The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, USA, (1996)
[26] Kuron, D: Wasserstoff und Korrosion. Verlag Irene Kuron, 2000 (ISBN 3-923623-03-8)
[27] Briottet, L., Moro, I., Lemoine, P.: Quantifying the hydrogen embrittlement of pipeline steels for safety considerations. International Journal of Hydrogen Energy 37 (2012), 22, S. 17616/23
[28] Slifka, A.J.; Drexler, E.S.; Stalheim, D.G.; Amaro, R.L.; Lauria, D.S.; Stevenson, A.E.; Hayden, L.E.: The Effect of Microstructure on the Hydrogen-Assisted Fatigue of Pipeline Steels. ASME Paper No. PVP2013-97217, 2013
[29] Slifka, A.J.; Drexler, E.S.; Amaro, R.L.; Hayden, L.E.; Stalheim, D.G.; Lauria, D.S.; Hrabe, N.W.: Fatigue Measurement of Pipeline Steels for the Application of Transporting Gaseous Hydrogen. ASME J. Pressure Vessel Technol. 140 (2018) 1, p. 021403-1/13

[30] Wackermann, K.; Schweizer, WF.; Pfeiffer, W.: Wasserstoffversprödung metallischer Werkstoffe: Adsorption, Diffusion und Werkstoffeigenschaften. gwf Gas + Energie 2-3 (2019), S. 66/75
[31] ASTM E1681: 2013 - Standard Test Method for Determining Threshold Stress Intensity Factor for Environment-Assisted Cracking of Metallic Materials
[32] ASME BPVC (2019), “ASME BPVC Section VIII Division 3 (2019) Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels”. The American Society for Mechanical engineers, New York, USA
[33] Höhler, S.; Wanzenberg, E.; Brauer, H.; Kalwa, C.; Muthmann, E.; Ratke, D.; Völling, A.: Wasserstoffleitungen – Anforderungen und relevante Prüfungen für Stahlrohre. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023 (Proc. Conf.)
[34] ASTM E 647: 2015 - Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates
[35] DIN EN ISO 10893-11: 2011-04 „Non-destructive testing of steel tubes - Part 11: Automated ultrasonic testing of the weld seam of welded steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections“
[36] BS 7910:2013+A1:2015 “Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.”

Autoren:

Dr. Holger Brauer
Mannesmann Line Pipe GmbH,
Siegen

Tel.: +49 2381 420-447
E-Mail:
holger.brauer@mannesmann.com
Internet:
www.mannesmann-linepipe.com



Dr. Georg Golisch
Salzgitter Mannesmann
Forschung GmbH, Duisburg

Tel.: +49 203 999-3223
E-Mail:
g.golisch@du.szmf.de
Internet:
www.szmf.de



Komplette Armaturengruppe aus Werksfertigung

Von Boris Schütte

Als ganz großer Vorteil kann hier eindeutig gesagt werden: alles aus einer Hand – von der Beratung, über die Planung, der Terminüberwachung, kompletten Abnahme, sowie der Dokumentation bis hin zur Lieferung der einbaufertigen Armaturengruppen. Auf Wunsch direkt auf die Baustelle, also im Just-in-time-Verfahren, ist alles machbar.

Vor dem Fertigungsbeginn erfolgt die Freigabe durch den Betreiber in Bezug auf Aufbau, Abmessungen und Design. Somit ist eine geringe Detailplanung von dessen Seite nötig. Bei der Planung und Konstruktion werden die zusätzlichen Kundenwünsche und Regelwerke bzw. Werksnormen, die über das DVGW-Regelwerk hinausgehen, selbstverständlich berücksichtigt, z. B. nach AD2000, sowie DVGW G462 (bis 16bar) bzw. G463 (größer 16 bar).

Die Fertigungsprozesse werden durch Sachverständige Dritte überwacht, nach den Richtlinien des DGRL und GasHDrLtgV. Bei baugleichen Armaturengruppen kann durch Standardisierungseffekten ein einfacher Austausch erfolgen, was geringe Unterbrechungszeiten beim Einbau im Gasversorgungsnetz verursacht. Mittels Garantienähte kann der direkte Einbau von Komplettsystemen inkl. druckgeprüfter und PUR-beschichteter Passstücke durchgeführt werden. Durch dieses kompakte Design entstehen geringere Tiefbaukosten.

Ein weiterer Vorteil ist bei der Armaturengruppen die einfachere Materialwirtschaft anzusehen. Es wird Vormaterial gem. ISO 3183 Anhang A oder gleichwertig geprüftes Material verwendet. Druckprüfungen als A2-Prüfungen sind möglich.

Die Armaturengruppen haben einen kompakten Aufbau durch optimierte Sonderformstücke. Dadurch sind weniger Bauteile nötig und damit weniger Schweißnähte erforderlich. Im Hauptstrang befinden sich gleiche Innendurchmesser, wodurch eine gute Molchbarkeit gewährleistet werden kann. Aber auch individuell hergestellte Sonderformstücke können als Armaturengruppe gefertigt werden durch patentierte Fertigungsverfahren, wie z.B. die Aushalsung. Das erfolgt in präziser Werkstattfertigung und unter höchsten Qualitätsstandards. Die Entwurfs-, Bau- und Druckprüfung sowie Endabnahme erfolgt durch Notifizierte Stelle für Druckgeräte unter Berücksichtigung zusätzlicher Vorgaben des DVGW-Regelwerks und der GasHDrLtgV, wie schon erwähnt. Außerdem ist ein ganzheitlicher Korrosionsschutz der einbaufertigen Armaturengruppe durch fachgerechte Polyurethanbeschichtung (PUR) möglich nach EN 10290.

Die umfangreiche Dokumentation der Armaturengruppe beinhaltet ein Rohrbuch, ZfP-Prüfberichte, APZ-Dokumente, sowie CE-Erklärungen bzw. -Zertifikate und Betriebsanleitungen. Außerdem wird ein Abnahmeprüfbericht erstellt mit zusätzlichen Hinweisen zum Einbau im DVGW-Bereich.
Die komplette Werksfertigung erfolgt in Kooperation der SaRo Rohrhandels GmbH und der Hilliger GmbH Sonderformstückbau.

Autor:

Boris Schütte
SARO GmbH, Kirkel

Tel.: 06841 / 7596 513
E-Mail:
b.schuette@saro-gmbh.de
Internet:
www.saro-gmbh.de



2
Gussrohrsysteme

Härtung der kritischen Infrastruktur: Doppelung der Trinkwasser-Fernverbindungsleitung Aggerverband – Kreis Altenkirchen

Planung und Bau von 7 km DN 600, GGG

Von Hubertus Hanschke

Man könnte sie als eine Art Lebensader für den Kreis Altenkirchen bezeichnen: die Rohrstrecke 25a.
Über diese Leitung werden rund 100.000 Einwohner in dem rheinland-pfälzischen Landkreis mit Trinkwasser versorgt. Da es bislang nur diese eine Rohrstrecke zur Versorgung gibt, kann sie weder saniert noch kurzfristig zu Inspektions- oder Wartungsarbeiten außer Betrieb genommen werden. Es gilt, die Lieferung von über 1.000 Kubikmeter Trinkwasser stündlich zu jedem Zeitpunkt sicherzustellen. Andererseits nagt der Zahn der Zeit an der aus den 1970er Jahren stammenden Rohrstrecke.
Zur Härtung der Trinkwasserversorgung seines Kunden plante und realisierte der Aggerverband den Bau einer parallel verlaufenden zweiten Rohrleitung mit der Bezeichnung RS 25b.

1 Einleitung

Vor 100 Jahren, genau am 12.12.1923, wurde der Aggerverband zuerst als Aggertalsperrengenossenschaft gegründet. Als Körperschaft des öffentlichen Rechts ist er heute zuständig für alle wasserwirtschaftlichen Belange in seinem Verbandsgebiet im Bergischen Land östlich von Köln.



Verbandsgebiet Aggerverband

Neben der Trinkwasseraufbereitung- und verteilung unterhält er unter anderem drei große Talsperren, reinigt für rund 500.000 Einwohner Abwasser und pflegt rund 3.000 km Bäche und Flüsse.

Die Wasserwerke Erlenhagen und Auchel bereiten jährlich 23 Mio. m³ Trinkwasser für rund 440.000 Einwohner aus den Talsperren der Genkel und Wiehl auf.

Die Weitergabe des Trinkwassers an die Versorgungsunternehmen als Endlieferanten für die Verbraucher erfolgt aus 45 verbandseigenen Hochbehältern, in denen rund 65.000 m³ Trinkwasser zwischengespeichert werden.

Zwischen Wasserwerken und Hochbehältern unterhält der Aggerverband ein über 220 km langes Rohrleitungsnetz mit 12 Pumpwerken. Die Trinkwassertransportleitungen haben Nennweiten von DN 150 bis DN 1.200 und bestehen aus unterschiedlichen Rohrwerkstoffen.

Die großen Unterhaltungs- und Neubaumaßnahmen, wie die Planung der RS 25b, werden zentral vom technischen Büro mit Sitz in Gummersbach Niederseßmar geplant und koordiniert.

Die Steuerung der Wasser- und Pumpwerke erfolgt von der Wasserleitstelle im Wasserwerk Auchel, ebenso wie die Überwachung und Beschickung der Hochbehälter.



Trinkwasser Versorgungsgebiet

Bisher stellt die bestehende Rohrstrecke 25a die einzige Einspeisestelle für den Wasserversorgungsverband Altenkirchen dar.

Sie verläuft vom 10.000 m³ fassenden Hochbehälter Freiheit nahe Waldbröl bis zur 7 km entfernten Übergabestelle Seifen an der Landesgrenze von NRW zu Rheinland Pfalz.

Durch die alte Verbindung fließen pro Tag durchschnittlich etwa 15.000 Kubikmeter. Auch die Gemeinde Morsbach sowie Teile der Gemeinde Windeck und der Stadt Waldbröl werden über diese Leitung versorgt.

Der Bestandsleitung fehlt beispielsweise der heute übliche Innenschutz. Mit Fertigstellung der zweiten Rohrstrecke als Redundanzleitung werden kurzfristige Außerbetriebnahmen möglich, können fällige Sanierungsarbeiten und Inspektionen erledigt werden. Außerdem möchte der Wasserverband Altenkirchen zusätzliches Wasser zur Versorgung des Kreises Neuwied beziehen – in einer ständigen Menge von rund 1.500 Kubikmetern pro Tag, im Notfall sogar etwa 6.000 Kubikmeter täglich.

2 Planungsanlass und Ziel

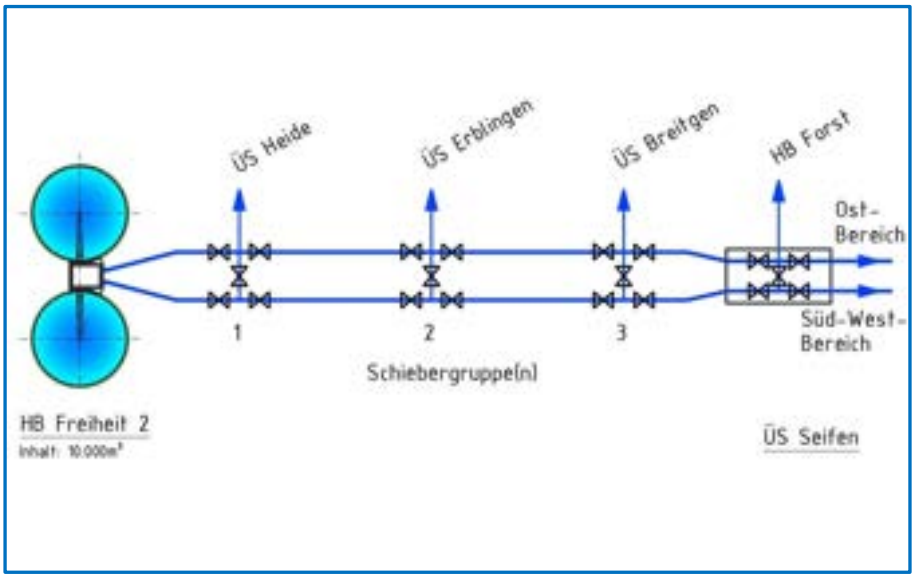
Die bestehende Rohrstrecke 25a aus DN 600, GGG versorgte Jahrzehnte lang ab der Übergabestelle Seifen an der Landesgrenze ausschließlich den Wasserzweckverband Altenkirchen (WKA) mit 100.000 Menschen ununterbrochen und sicher mit bestem weichen Trinkwasser.



Übersicht Trassenverlauf

Nach über 40 Jahren war die Lebenserwartung der duktilen Gussleitung bei weitem noch nicht erreicht, doch anstehende Reparaturen und Revisionsarbeiten an den Armaturen der rund 20 Tief-/Hochpunkten, Verteiler- und Übergabeschächten konnten aufgrund der Einstrangversorgung nicht ausgeführt werden.

Am tiefsten Versorgungspunkt liegen aufgrund der Topographie 20 bar Ruhedruck an. Eine Außerbetriebnahme war bisher nur für wenige Stunden möglich, da das weitergehende Versorgungssystem keine größeren Speicher aufweist. Zudem waren etliche kleine Versorgungsgebiete aufgrund der Jahrzehnte langen stabilen Versorgung direkt an der Fernwasserversorgungsleitung angeschlossen. Diese wären schon bei kleineren Versorgungsunterbrechungen direkt und ohne alternative Trinkwasserversorgung betroffen und trocken gefallen.



Schemaplan Leitungsdopplung DN 600, 7 km

Die Bestandsanalyse machte deutlich, dass die Versorgungssicherung der TW-Fernversorgung verbessert werden muss. Auf eine zusätzliche Alternativversorgung durch einen zweiten leistungsstarken Trinkwasserlieferanten musste unser Vertragskunde verzichten. Seine Planung einer Neutrassierung scheiterte am Widerstand betroffener Anlieger.
Auch konnte das Planungsrecht nicht erwirkt werden.

Um die kritische Infrastruktur nun im Bestand zu härten, wurde die Leistungsdopplung favorisiert und zusätzlich Verbindungen durch Schieberkreuze vorgesehen.

Die hydraulische Berechnung aus 2013 sieht vor, dass die neue Redundanzleitung auch in DN 600 dimensioniert werden musste.

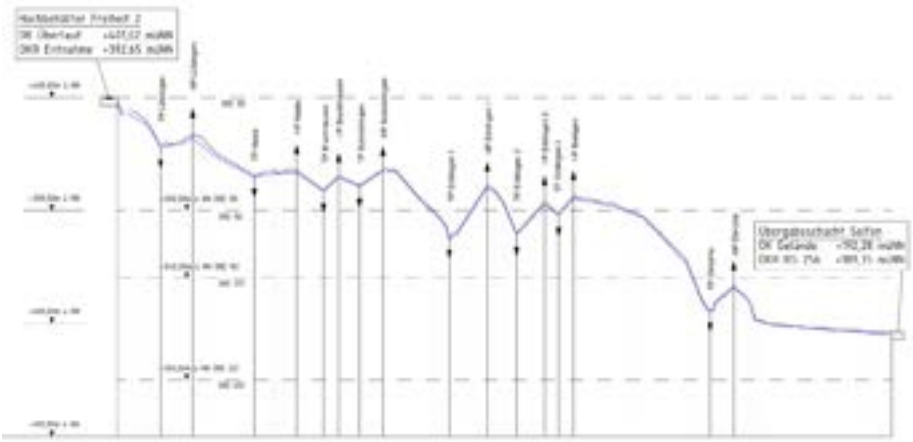
Zusätzliche noch nicht an die Fernwasserversorgung angeschlossene Gebiete innerhalb des WKA bis nach Neuwied sollen zukünftig versorgt werden können.

Die bestehende RS 25a in DN 600 war mit Q1 = 244,44 l/s = 880 m³/h ausgelegt. Zukünftige Prognosen der Trinkwasserabgaben für die Fernwasserversorgung sehen insgesamt einen Bedarf von Q3 = 323,11 l/s = 1.160 m³/h.

Im Falle einer möglichen späteren Komplettsanierung der 1976 gebauten alten RS 25a, zum Beispiel mit nachträglicher Zementmörtelauskleidung (ZM), muss die zweite Leitung immer die komplette Trinkwasserlieferung bewerkstelligen können. Trotzdem werden drei Verbindungen auf der 7 km langen Transportleitung installiert, die auch eine Teilaußerbetriebnahme möglich machen werden.

2.1 Trassenplanung

Die vorhandene Rohrstrecke 25a, DN 600 beginnt vom verbandseigenen Hochbehälter Freiheit bei Waldbröl auf 401 m.ü.NN und verläuft über die Gemeindegebiete Waldbröl und Morsbach in ländlich geprägter Berglandschaft über viele zum Teil schroffen Täler und Berge und endet nach 7 km im seichten Holpetal auf 189 m. ü. NN an der Landesgrenze.



Längsschnitt

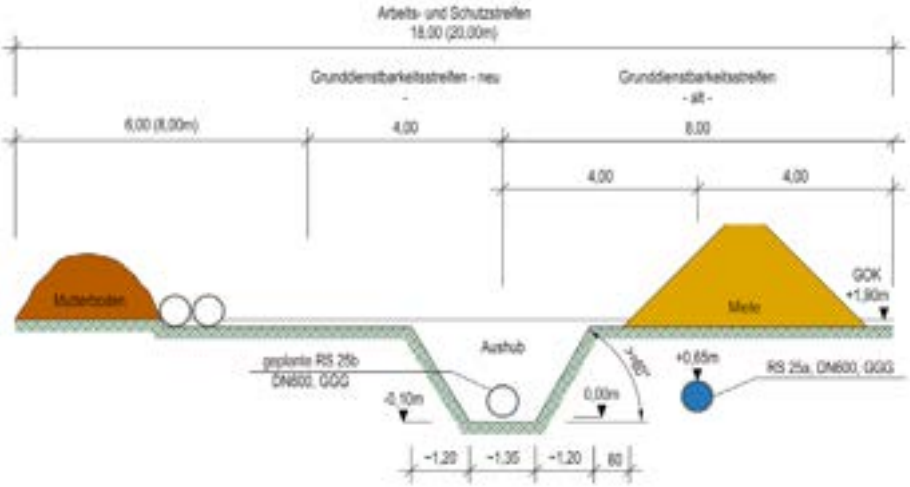
Die naheliegende Trasse einer neuen Leitung ist die Parallelleitung.

Die vorhandene alte Gussleitung hat einen grundbuchlich gesicherten Schutzstreifen von insgesamt acht Metern und liegt überwiegend auf Fremdgrundstücken von Waldbesitzern und Landwirten. Für den Bau wurde ein 18 Meter breiter Arbeitsstreifen vorgesehen. Im Hochwasser gefährdeten Holpetal wurde dieser, aufgrund der Gewässerquerungen mit erhöhter Tiefenlage, auf 20 Meter vergrößert.

Der Aggerverband hat gute Erfahrungen mit Plangenehmigungen gemacht. Alle betroffenen Anlieger wurden persönlich und einzeln über den Trassenverlauf informiert und haben dem Aggerverband im günstigsten Fall sofort ihr schriftliches Einverständnis gegeben. Hierbei wurde eine entsprechende Entschädigungsregelung für Beeinträchtigungen durch den Bau und für spätere Aufwuchsschäden vereinbart.

Andere alternative Trassenvarianten wurden mit wenigen Ausnahmen weder von den Anliegern, noch von den zu beteiligten Naturschutzorganisationen und Behörden akzeptiert, bzw. befürwortet.

Für die neue Redundanzleitung DN 600 wurde eine Parallelverlegung mit einem Abstand von vier Metern gewählt. Die parallele Führung hat auch betriebliche Vorteile, da zusätzlich keine neuen Betriebspunkte in weiterer Entfernung anfallen.



Schema Parallelleitung im Arbeitsstreifen

2.2 Eckdaten der Parallelleitung

– 2018 Ausführungsplanung und öffentliche Ausschreibung
– DN 600, GGG; ZM, STD Vi C 30, PFA 10, TIS-K, PFA 25

– Abstand 4,0 m
– Vier Übergaben einbinden
– Arbeitsstreifenbreite 18 bzw. 20 m
– Rohrüberdeckung 1,25 m
– Lebensdauer > 110 Jahre
– Betriebssicherheit durch Parallelbetrieb und Verbindungen zur RS 25a ab Inbetriebnahme 2020

2.3 Genehmigungen

Die neue 7 km lange Transportleitung musste an den Tiefpunkten insgesamt 8-mal ein Gewässer kreuzen.

Hierfür stellte der Aggerverband im Mai 2017 gemäß § 22 LWG einen Kreuzungsantrag, der im März 2018 genehmigt wurde.

Zeitgleich erteilte das Umweltamt der Kreisbehörde aus Gummersbach nach Zustimmung des Landschaftsbeirates die Befreiung von den Ge- und Verbotsvorschriften des Landschaftsplanes 5 (Waldbröl – Morsbach) und den damit verbundenen Eingriff in Natur und Landschaft.
Zuvor hatte wegen der gemeindeübergreifenden Trassenplanung die Bezirksregierung aus Köln im September 2017 beschlossen, dass die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung entbehrlich sei und diese im Amtsblatt gemäß § 5 Abs. 2 UVPG bekannt gemacht:

„Da die Baumaßnahme überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen betrifft und keine anlagebezogenen negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind (das Transportmedium ist Wasser), wird durch das Vorhaben keine wesentliche Beeinträchtigung der Umweltgüter hervorgerufen.“

Das beauftragte Landschaftsplanungsbüro hat im Rahmen der artenschutzrechtlichen Vorprüfung Begehungen durchgeführt (im unbelaubten und im belaubten Zustand).

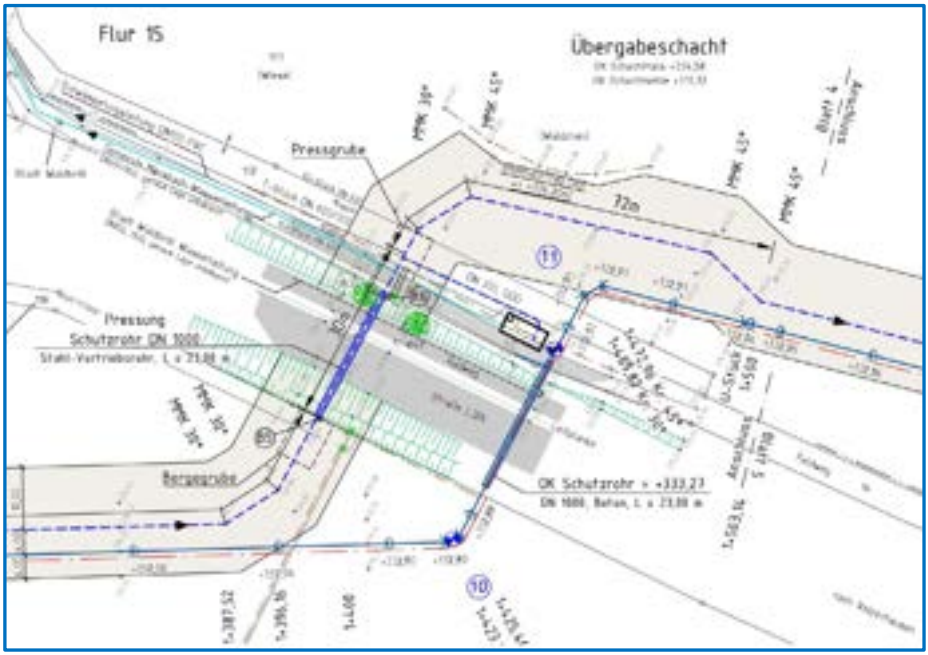
Hinweise auf planungsrelevante Arten ergaben sich nicht. Es wurde festgestellt, dass bei Berücksichtigung von Vermeidungsmaßnahmen nach dem Stand der Auftragsstellung keine Verbote des § 44 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) ausgelöst werden.

Die „Standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls gemäß § 3c UVPG“ zum geplanten Neubau der Trinkwasserleitung RS 25b konnte damit vorgelegt werden.

2.3.1 Sonstige Genehmigungen

Unumgänglich war die 2-malige Kreuzung der vielbefahrenen Landstraße.

Sie musste im nicht offenen Verfahren mittels eines vorgezogenen Bohr- Pressverfahrens gekreuzt werden. Ein Mantelrohr DN 1000 aus Stahl für das Einfahren der DN 600 auf Gleitkufen wurde ausgeschrieben.



Kreuzung der Landstraße, Auszug Planung

Parallelleitung im Arbeitsstreifen

Nach Absprache mit der zuständigen Straßenmeisterei des Landesbetriebes stimmte diese unserem Anliegen im Mai 2017 kurzfristig zu.

Untersuchung auf Kampfmittel aus dem zweiten Weltkrieg und Bodenanalysen auf Altlasten fielen negativ aus.

3 Öffentliche Ausschreibung

Die Kostenschätzung schloss mit rund 4,7 Mio. € unterhalb des Schwellenwertes einer EU-weiten Ausschreibung ab, so dass Ende 2018 ein öffentliches Vergabeverfahren gemäß VOB mit Submissionstermin im Februar 2019 initiiert wurde.

Die Tief- und Rohrleitungsarbeiten wurden in 2 Losen ausgeschrieben. Am Submissionstermin lagen 9 Angebote von netto rund 3,8 Mio. bis 5,6 Mio. € vor.

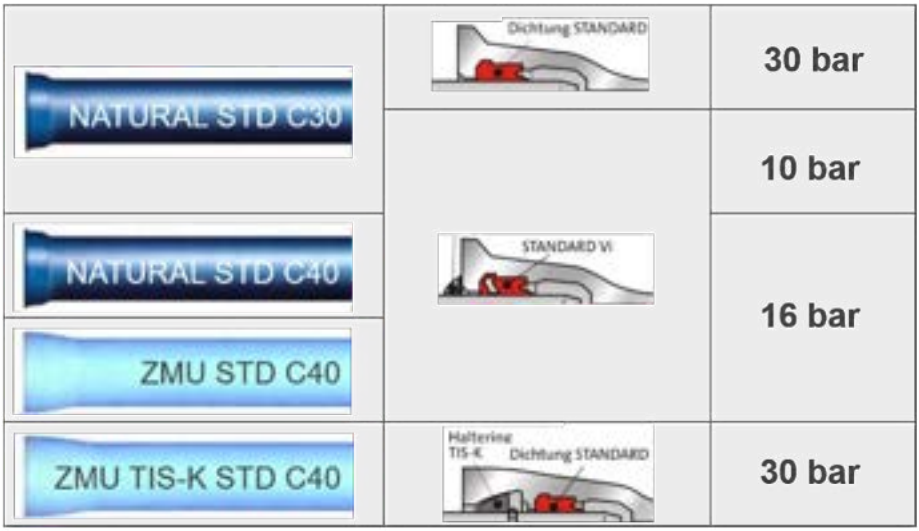
Die mindestbietende Bietergemeinschaft aus dem naheliegenden Westerwald erhielt den Auftrag auf ihr Nebenangebot.

Das Nebenangebot bezog sich insbesondere auf einen Nachlass bei Gesamtvergabe und den Einsatz des Sandes als Bettungsmaterial mittels selbsthergestelltem Splitt mit Hilfe eines „Separators“, in der Körnung 0-16 mm (Größtkorn 32 mm).

4 Bauablauf und Inbetriebnahme

Ende Februar 2019 wurde der Gesamtauftrag mit dem Termin zur Fertigstellung bis Ende Juli 2020 erteilt.

Die Bietergemeinschaft hatte Gussrohre der Firma PAM angeboten.
Mit der „Standard Vi“ – Dichtung konnten „Natural“ Rohre und ZMU-Rohre bis PFA 16 längskraftschlüssig verlegt werden. Gemäß der Druckzonen wurden die entsprechenden Rohre beim Hersteller bestellt, abgerufen und direkt auf die Baumaßnahme verfahren. Im tiefgelegenen Holpetal kamen Rohre mit ZMU und formschlüssiger Verbindung zum Einsatz.



Rohrtypen gemäß Druckstufen

Die Baumaßnahme hätte termingerecht durchgeführt werden können, wenn die Corona-Pandemie nicht zu einer Werksschließung in Frankreich und damit zur Lieferverzögerungen des Rohrherstellers geführt hätte.

Mit allen Nebenarbeiten wurde die Baumaßnahme im September 2020 fertiggestellt und erfolgreich in Betrieb genommen.



Linienbaustelle bei Waldbröl-Heide



Rohrleitungsbau und Separatoreinsatz

Autor:

Dipl.-Ing. Hubertus Hanschke
Aggerverband
Sonnenstraße 40,
51645 Gummersbach

Tel.: 02261 361510
E-Mail:
han@aggerverband.de
Internet:
https://www.aggerverband.de/



Regionales Verbundsystem Westeifel (RVWE) sowie Nutzung von Synergien durch Mitverlegung

Sichere Trinkwasserversorgung durch Verbundnetzlösung und spartenübergreifende Weiterentwicklung durch Mitverlegung weiterer Medien

Von Helfried Welsch

1. Der regionale Energieabgleich ist machbar

1.1 Spartenübergreifendes Infrastrukturprojekt in der Eifel für Klimaschutz und Strukturentwicklung

Eine sichere und moderne Trinkwasser-, Energie- und Telekommunikationsversorgung zu guten Konditionen, die gleichzeitig einen Beitrag zur Energiewende leistet – kein geringeres Ziel setzt sich das Projekt „Regionales Verbundsystem Westeifel“, das die Kommunale Netze Eifel AöR (KNE) unter dem Dach der gemeinsam mit sieben kommunalen Partnern gegründeten Landwerke Eifel AöR (LWE) entwickelt haben und derzeit realisieren. Baubeginn war im April 2018, läuft alles weiter nach Plan wird der Bau der Haupttrassen 2023 und das Gesamtprojekt Ende 2024 fertig gestellt.

Mit dem „Regionalen Verbundsystem Westeifel“ macht die LWE die Region Westeifel fit für die Zukunft: Kernstück des Projekts ist der Neubau einer integrierten, rund 80 Kilometer langen Nord-Süd-Trasse, ergänzt durch eine rund 45 Kilometer lange Ost-West-Trasse. Neben der Transportleitung für Trinkwasser in der Dimension DN 300 werden je nach Abschnitt verschiedene Sparten, wie Erdgas, Biogas oder Glasfasernetze mitverlegt.

Die Nutzung der topografischen Gegebenheiten reduziert dabei den Energieeinsatz für die Trinkwasserversorgung um rund 1 Mio. Kilowattstunden. Durch den Einsatz von Turbinen werden die LWE sogar rund 0,5 Mio. Kilowattstunden Strom pro Jahr über das Trinkwassersystem erzeugen. Durch die Einbindung regionaler regenerativer Erzeugungsanlagen und die intelligente Steuerung relevanter Verbraucher schafft das Projekt zudem wichtige Voraussetzungen für einen Energieabgleich in der Region und leistet einen Beitrag für den regionalen Klimaschutz.

Projektumsetzung bis 2023

Nach einer intensiven Planungs- und Genehmigungsphase startete der Leitungsbau im April 2018. Die Umsetzung der zahlreichen Einzelabschnitte ist bis 2023 geplant. In Zusammenarbeit mit der zuständigen Genehmigungsbehörde SGD Nord sind die Genehmigungsverfahren inzwischen weitestgehend abgeschlossen. Darüber hinaus wurde das Projekt um eine Ost-West-Trasse erweitert, wodurch die Infrastruktur von zwei weiteren Verbandsgemeinden bei der Neukonzeptionierung der Wasserversorgung berücksichtigt und gleichzeitig mehrere Biogasanlagen im südlichen Projektgebiet miteinander vernetzt wurden. Das Umweltministerium des Landes Rheinland-Pfalz fördert das „Regionale Verbundsystem Westeifel“ konkret den Aufbau des

Wasserverbundsystems - mit insgesamt rund 32 Millionen Euro. 2015 wurde das Projekt im Rahmen des bundesweiten Innovationswettbewerbs „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen" ausgezeichnet.

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels müssen sich insbesondere strukturschwache ländliche Räume zukunftsfähig aufstellen und damit Perspektiven für junge Menschen schaffen. Und genau hier bietet das Projekt viele Vorteile für die Region:
Von der Westeifel bis Trier profitieren durch das Großprojekt rund 250.000 Bürgerinnen und Bürger von einer bezahlbaren Energie- und Wasserversorgung. Das im Rahmen des Projektes verlegte Glasfasernetz schafft die Voraussetzung für einen schnellen Internetanschluss für Gewerbekunden und potenziell bis zu 27.000 Haushalte. Darüber hinaus erfolgt die Steuerung der kritischen Infrastruktur „Trinkwasser" über die eigene Glasfaserleitung.

1.2 Welche konkreten Vorteile das Verbundprojekt noch mit sich bringt, zeigen die folgenden beiden Beispiele:

1.2.1 Beispiel: Trinkwasserversorgung

Das geplante Trinkwasserverbundsystem verbindet leistungsstarke Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen zwischen der Oleftalsperre in der Nordeifel und der Riveristalsperre im vorderen Hunsrück. Die neue Transportleitung sorgt so für ein Höchstmaß an Versorgungssicherheit für alle Projektpartner und erlaubt darüber hinaus die Nutzung des Dargebots über die Verbandsgemeindegrenzen hinaus. Das heißt konkret: Die kommunalen Versorgungsunternehmen können auf kostenintensive und schwer schützbare kleinere Gewinnungsanlagen verzichten und auf größere Gewinnungsanlagen mit gut ausgewiesenen Trinkwasserschutzgebieten zurückgreifen. Denn neben der Quantität spielt auch die Qualität des Trinkwassers bei dem Projekt eine entscheidende Rolle: So können durch gezielte Auslastung der modernen Aufbereitungsanlagen im Projektgebiet die Projektpartner die hohen Anforderungen der Trinkwasserverordnung auch langfristig sichergestellt werden.

Auch wenn die Bauarbeiten für das regionale Verbundsystem in der Westeifel noch nicht abgeschlossen sind, hat das Projekt seinen Wert bereits unter Beweis gestellt: Neben den neuen Leitungen verbindet das Verbundsystem künftig unterschiedliche Gewinnungsanlagen und eröffnet den beteiligten Versorgungsunternehmen neue Handlungsmöglichkeiten. So war es nach der Flut im vergangenen Jahr innerhalb kurzer Zeit möglich, die vom Trinkwassernetz abgeschnittenen Gemeinden Nattenheim und Fließem über ein anderes Wasserwerk zu versorgen. Ohne das Verbundnetz wäre die schnelle Wiederherstellung der Trinkwasserversorgung nicht möglich gewesen.

Hydrogeologisches Grundwassermodell
Zur langfristigen Sicherung der Grundwasserressourcen haben die kommunalen Wasserversoger unter Federführung der LWE ein hydrogeologisches Grundwassermodell für die Bitburg Trierer Mulde erarbeitet und mit der SGD Nord und den beteiligten Landesämtern für Umwelt, sowie Bergbau und Geologie abgestimmt. Die Untersuchungen bestätigen, dass es an einem

zentralen Standort ein sehr gutes Grundwasserdargebot mit qualitativ hochwertigem Rohwasser gibt. Um die Aufbereitungskapazität an diesem Standort zu erhöhen, steht jetzt eine deutliche Erweiterung des Wasserwerks an: Bis 2024 investieren die LWE 14 Millionen Euro in den Ausbau des Standorts. Neben neuen Aufbereitungsfiltern ist auch eine spezielle Enthärtungsanlage geplant, um das vergleichsweise harte Tiefengrundwasser aus dem artesischen Brunnen mit dem Wasser der anderen Gewinnungsgebiete abzugleichen.

Effizienz durch Umkehrung der Fließrichtung
Aktuell wird das Trinkwasser innerhalb der Versorgungsgebiete der jeweiligen Projektpartner durch Pumpen in Hochbehälter gefördert, um einen ausreichenden Netzdruck zur Verfügung zu stellen. Durch das geplante Verbundnetz reicht die zusätzliche Menge von nur 1 Mio. Kubikmeter Wasser pro Jahr aus der Oleftalsperre in Nordrhein-Westfalen – bei einer Gesamtabgabe von 21 Mio. Kubikmetern pro Jahr für den gesamten Projektraum – aus, um rund 1 Mio. Kilowattstunde Pumpenergie pro Jahr einzusparen.

Hintergrund:
Betrachtet man das Höhenprofil im Projektgebiet zwischen Trier und dem höchsten Punkt im Norden des Projektraumes könnte man vereinfacht sagen, dass die Fließrichtung des Wassers umgedreht wird. Statt Trinkwasser von Süd nach Nord zu pumpen, nutzt das Projekt den natürlichen Geländeverlauf, rund 450 Metern Gefälle, um das Trinkwasser von Nord nach Süd fließen zu lassen.

1.2.1.1. Stromerzeugung im Wassernetz

Das Höhenprofil der Trasse mit einem Unterschied von rund 450 Metern zwischen der nordrhein-westfälischen Grenze und dem südlichen Versorgungsgebiet an der Mosel erlaubt darüber hinaus sogar den Einsatz von Turbinen beziehungsweise rückwärtslaufenden Pumpen im Trinkwassernetz, um Strom zu erzeugen. Nach dem derzeitigen Planungsstand sollen vier Turbinen beziehungsweise rückwärtslaufende Pumpen an drei Standorten installiert werden. So kann die LWE jährlich über 500.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr im Trinkwassernetz erzeugen.

1.2.1.2. Intelligente Steuerung

Das Projekt betrachtet zudem auch die Nutzung der Lageenergie der vorhandenen Infrastruktur als Energiespeicher. Was heißt das konkret? Vorhandene Hochbehälter sollen genutzt werden, um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Region anteilig auszuregeln. Viele der über hundert in der Region befindlichen Trinkwasserbehälter (Speichervolumen insgesamt etwa 110.000 Kubikmeter) werden derzeit rein nach Wasserbedarf geführt, das heißt, gefüllt und entleert. Ziel des Projekts ist es, die Pumpenergie zur Befüllung der Behälter dann einzusetzen, wenn Überschussstrom aus regionalen erneuerbaren Energien vorhanden ist. Neben den Aspekten der Versorgungssicherheit berücksichtigt das Projekt somit auch die aktuelle Situation am Stromerzeugungsmarkt.

1.2.2 Beispiel: Perspektive für regionales Biomethan

Im gesamten Projektgebiet liegen derzeit 48 Biogas-Anlagen. Zum Vergleich: Diese Biogasanlagen erzeugen zusammen doppelt so viel Energie, wie die Stadt Bitburg benötigt - inklusive Brauerei. Die Verstromung des Biogases erfolgte aufgrund der Gesetzgebung (EEG) nicht bedarfsgerecht, sondern dezentral rund um die Uhr. Auch die dabei entstehende Wärme wird nicht optimal genutzt. Im Rahmen des Projekts wurden bereits sieben Anlagen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durch ein eigenes Biogasnetz verbunden und über das eigene Glasfasernetz gesteuert. Das Biogas wird zentral am Flugplatz in Bitburg aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist. Die Aufbereitungsanlage der neu gegründeten Biogaspartner Bitburg GmbH ist im Sommer 2020 in Betrieb gegangen.



Abbildung 1: Biogasaufbereitungsanlage am Standort Bitburg

Aktuell gibt es zwei Erdgaskonzessionäre im Projektgebiet. Eine Verbindung zwischen deren Netzen besteht nicht. Im Zuge der Entwicklung des Verbundsystems Westeifel sollen diese Erdgasnetze miteinander verbunden werden. Durch die Verbindung der vorgelagerten Erdgashochdrucknetze schafft das Projekt eine redundante Einspeisesituation, was sich ebenso positiv auf die Versorgungssicherheit auswirkt. Das Gashochdrucknetz bietet zudem eine Speichermöglichkeit im Sommer, um aufbereitetes Biomethan für die Heizperiode nutzbar zu machen. Darüber hinaus soll das aufbereitete Biomethan in gasbetriebenen Blockheizkraftwerken, unter Nutzung energieeffizienter Kraft-Wärme-Kopplung zum Einsatz kommen. Der erzeugte Strom dient der Kompensation fehlender PV Erzeugung. Somit leistet das Projekt einen Beitrag zum übergeordneten Ziel „Klimaschutz“ unter Nutzung der regional vorhandenen Biogasressourcen.

1.3 Das Regionales Verbundprojekt Westeifel

Die Bauarbeiten für das innovative Infrastrukturprojekt laufen voll im Zeit- und Kostenplan - Geplante Projektumsetzung 2023.



Abbildung 2: Trassenverlauf Stand 04/2022

Das Verbundnetz ist ein bundesweit einmaliges Projekt (geplante Gesamtkosten circa 90 Millionen Euro) unter Federführung der LWE, einem Zusammenschluss von sieben kommunalen Projektpartnern. Das sind: Kommunale Netze Eifel AöR, der Eifelkreis Bitburg-Prüm – Wasserversorgung Eifelkreis Bitburg-Prüm, der Zweckverband Wasserwerk Trier-Land, der Zweckverband Wasserwerk Kylltal, die Stadt Bitburg – Eigenbetrieb Stadtwerke Bitburg, die Südeifelwerke Irrel AöR und die Verbandsgemeinde Speicher.

„Unser Ziel ist die innovative Weiterentwicklung der Infrastruktur in unserem ländlichen Raum durch eine integrierte Energie- und Wasserversorgung“, erläutert LWE-Vorstand Helfried Welsch. Zum Stand September 2022 sind etwa 90,0 km Verbundnetztrasse verlegt worden. Die Trassenlängen für die einzelnen Versorgungssparten sind: 115,3 km Trinkwasser, 133,7 km LWL, 48,0 km Biogas und 30,3 km Gas. Die Bauarbeiten laufen bislang im Zeit- und Kostenplan.

Autor:

Dipl.-Ing (FH) Helfried Welsch
KNE Kommunale Netze Eifel AöR
und LWE Landwerke Eifel AöR,
Michelbach 1, 54595 Prüm

Tel.: +49 6551 9512-32
E-Mail:
welsch.helfried@kne-web.de
Internet: www.kne-web.de



Acht gute Gründe für duktile Guss-Rohrsysteme

Von Christoph Bennerscheidt

1 Der European Green Deal

In Europa produzierte Produkte bedeuten nicht nur Liefersicherheit in Pandemien. Dahinter stecken eine regionale Produktion, kurze Wege und Partner mit Weitblick, die dafür sorgen, dass das beste Wasser der Netzbetreiber mit höchster Sicherheit zu den Verbrauchern transportiert werden kann. In besonderer Weise gilt das für Rohre, Formstücke und Armaturen aus duktilem Gusseisen, die in Europa nicht allein aus Primärrohstoffen, sondern vor allem aus Sekundärrohstoffen - aus Schrott - gefertigt werden Die Mitglieder der EADIPS FGR haben sich bereits Anfang 2020 auf den Weg gemacht, diese und weitere Vorteile greifbar zu machen. In der Initiative „Der beste Grund – ein guter Grund“ für Wasser- und Bodenschutz (https://gutergrund.org/), bzw. „The best ground – a solid reason“ (https://solid-reason.org/) sind die wirtschaftlichen, sozialen und technischen Vorteile von Rohren, Formstücken und Armaturen aus duktilem Gusseisen, gefertigt in Europa, vor dem Hintergrund der vor uns stehenden Herausforderungen in acht Punkten kurz und knapp dargestellt:



Bild 1: Der beste Grund – ein guter Grund für Wasser- und Bodenschutz: Acht gute Gründe

Die Herausforderung vor denen wir alle stehen werden sehr gut in der Einleitung zum European Green Deal zusammengefasst:

„Klimawandel und Umweltzerstörung sind existenzielle Bedrohungen für Europa und die Welt. Mit dem europäischen Grünen Deal wollen wir daher den Übergang zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft schaffen, die

- *bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr ausstößt,*
- *ihr Wachstum von der Ressourcennutzung abkoppelt,*
- *niemanden, weder Mensch noch Region, im Stich lässt."*

2 Acht guten Gründe für duktile Guss-Rohrsysteme

Unser Boden ist mehr als der Grund, auf dem wir stehen, uns bewegen und leben. In ihm steckt so viel mehr: Nährstoffe, Wasser, Luft und die gesamte Infrastruktur, auf die unser Leben aufbaut.

Ob Trinkwasserleitungen, Abwasserkanäle oder Stromkabel: Ohne diese wichtigen Ver- und Entsorgungsnetze würde unser Leben nicht so aussehen wie jetzt und so komfortabel sein wie es ist. Genau aus diesem Grund ist es wichtig, dass beim Bau von Wasserver- und Entsorgungssystemen langlebige Rohstoffe sowie sichere Materialien in Verbindung mit nachhaltigen Konzepten eingesetzt werden.

Wir arbeiten mit Rohren, Formstücken und Armaturen aus duktilem Gusseisen – denn nur auf einem guten Grund lässt sich die Zukunft schon heute bauen.

2.1 Das beste Wasser

Für uns ist es zwar normal, dass sauberes Trinkwasser aus der Leitung kommt – aber selbstverständlich ist das nicht. Dahinter steckt viel Sorgfalt und vor allem ein gutes Versorgungsnetz, das vielen Belastungen ausgesetzt ist, wie z.B.: Bodenbewegungen durch Verkehr, Baumaßnahmen und kleineren Erdbeben, Verunreinigungen von Boden und Grundwasser sowie Temperaturschwankungen – all diesen Belastungen müssen Versorgungsnetze standhalten und dabei unser Trinkwasser als Lebensmittel Nr. 1 schützen! Die beste 'Verpackung' ist dafür gerade gut genug. In den sicheren und robusten duktilen Guss-Rohrsystemen bleibt das gute Trinkwasser neutral und frisch; außerdem sind sie diffusionsdicht und sorgen so dafür, dass das Trinkwasser auch keinen Geschmack aus belasteten Böden annimmt.

2.2 Höchste Sicherheit

Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen sind mehr als nur Bauteile für unsere Trinkwasser- und Abwassernetze, für Beschneiungsanlagen oder Kraftwerksleitungen. Sie garantieren hohe Sicherheit in allen Bereichen. Auf der einen Seite sind sie langlebig und robust und damit optimale Produkte für sichere Leitungssysteme. Auf der anderen Seite bietet eine europäische Produktion auch soziale und wirtschaftliche Sicherheit.

Leitungsnetze sollen 100 Jahre und mehr eine stabile Ver- und Entsorgung sicherstellen. In dieser Zeit sind Netze Veränderungen ausgesetzt. Die Belastungen der Rohrsysteme im Boden können sich durch Baumaßnahmen oder erhöhtes Verkehrsaufkommen ändern. Ein Bodenabtrag durch Starkregen kann Leitungssysteme freilegen. Erdbewegungen durch Bergbau, Erdbeben oder Hangrutschungen können die Belastungen massiv verändern. Gut, wenn das

Rohrsystem auch bei diesen Veränderungen stabil funktioniert und die Werkstoffeigenschaften erhalten bleiben.
Unter duktilen Guss-Rohrsystemen versteht man mehr als nur Rohre für unser Trinkwasser. Das Zusammenspiel von Rohr, Formstück und Armatur stellt ein genauso bedeutendes Element dar. Ein System ist nur so sicher, wie seine Einzelbauteile, die vor- und nachgeschaltet sind. Der Einsatz qualitativ hochwertiger Materialien in Armaturen spielt dabei eine immense Rolle. Sicherheitsarmaturen, wie doppelexzentrische Absperrklappen, Ringkolbenventile oder Kugelhähne mit entsprechenden Antrieben (z.B. Fallgewichtsantrieb), sorgen dafür, dass Druckstöße ausgeglichen werden und somit die Anlage zusätzlich gesichert bleibt. Es geht um ein Miteinander aller Bauteile. Denn nur mit einem verlässlichen, nachhaltigen und robusten Rohrsystem (Rohr, Formstück und Armatur) lässt sich eine gute Zukunft bauen.

2.3 Kreislauf der Ressourcen

Mit den begrenzten Ressourcen unserer Umwelt gilt es, verantwortungsvoll und nachhaltig umzugehen. Wer daraus Produkte erzeugt, muss darauf achten, dass sie möglichst lange genutzt werden können und die Werkstoffe am Ende ihres “Lebens” nicht nur recycelbar, sondern auch kreislauffähig sind. Genau deshalb setzen wir duktiles Gusseisen ein.
Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen können mehr als 100 Jahre lang problemlos ihren Dienst leisten und haben den Vorteil, dass sie beliebig oft wiederverwertet werden können und damit zum Schutz der Umwelt beitragen. Ganz nach dem Motto: es war ein Rohr, ein Formstück oder eine Armatur aus duktilem Gusseisen und wird wieder ein Rohr, ein Formstück oder eine Armatur aus duktilem Gusseisen werden.
Rohre, Formstücke und Armaturen bestehen nicht aus begrenzt verfügbaren fossilen Rohstoffen, sondern aus Stahlschrott und Gussbruch, den wir aus vorwiegend regionalen Stoffkreisläufen beziehen. CO_2-Emissionen werden bereits bei der Produktion kontinuierlich reduziert und „Abfallprodukte“ dem Produktkreislauf wieder zugeführt.

2.4 #reduceplastic

Plastik ist allgegenwärtig und kaum aus unserem Alltag wegzudenken. Wir lernen aber immer mehr darüber, welch wachsendes Risiko Plastik für uns und unsere Umwelt darstellt. Wir empfehlen für unseren guten Grund Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen.
Bereits ca. 40 % der Versorgungsleitungen für Trinkwasser in Deutschland bestehen aus unterschiedlichen Kunststoffarten [1]. Diese Trinkwasserrohre sind recycelbar – man kann daraus andere Rohre sowie weitere Produkte, wie z.B. Parkbänke und Folien, herstellen. Der Einsatz von recycelten Kunststoffen in Trinkwasserrohren hat seine Grenzen: Die Verwendung von recycelten Kunststoffen beschränkt sich auf die Verwendung von Umlaufmaterial (Reste und Verschnitte), das bei dem Hersteller selbst anfällt, nicht kontaminiert und noch nicht in den Verkehr gebracht wurde [2]. Gusseisen hingegen ist zu 100 % auf gleicher Qualitätsstufe recycelbar. Damit kann nicht nur die Recyclingwirtschaft, sondern auch die Kreislaufwirtschaft gelebt werden – auch im Trinkwasserbereich!
Lokal gewonnenes und über das städtische Trinkwassernetz angebotenes Leitungswasser schont die Umwelt. Mineral- und Tafelwasser hingegen werden in Flaschen abgefüllt und auf der Straße transportiert, wodurch tausend Mal mehr Energie benötigt wird als bei der

Bereitstellung von Leitungswasser aus dem Trinkwassernetz. Der Einsatz von Trinkbrunnen aus duktilem Gusseisen, wie beispielsweise in Berlin, versorgt Durstige schnell, unkompliziert und kostenlos mit frischem, kühlem Trinkwasser und unterstützt nachhaltig den umweltfreundlichen Konsum von Trinkwasser. Die Trinkbrunnen können als „Refill-Stationen“ genutzt werden und sagen den Müllbergen aus Plastikflaschen damit den Kampf an.

2.5 Coolere Städte

Nirgendwo anders sind die Klimaerwärmung und die damit ansteigenden Temperaturen so deutlich zu spüren wie in unseren Städten. In den Sommermonaten kühlen sich die mit Asphalt und Beton versiegelten Böden nicht ab, bei Starkregen können sie kein Wasser aufnehmen. Die Folgen sind Hitzeinseln im Sommer, Überflutungen und voll gelaufene Keller bei Regen. So wird das Leben in den Städten nicht nur schwieriger, sondern auch ungesünder.
Die Lösung sind sogenannte Schwammstädte, die dem Regenwasser und den Bäumen Raum im Boden lassen: Raum zum Atmen, zum Wachsen und zum Wasser speichern. So können Grünflächen und Bäume auch in längeren Trocken- bzw. Hitzeperioden die Städte kühlen und bewohnbarer machen. Für diese Schwammstädte braucht es Platz im Untergrund. In Leitungsgräben mit robusten und wurzelfesten Rohrsystemen kann dieser Platz in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt werden. Duktile Gussrohre mit ihren beweglichen Verbindungen und mit einer Umhüllung aus Zementmörtel sind robust und wurzelfest und somit ein wichtiger Schlüssel für coolere Städte.

2.6 Regionale Produktion

Langlebig, recycelbar und regional: Unsere Guss-Rohrsysteme sind nicht nur nachhaltig in der Produktion des Werkstoffs, sondern auch hinsichtlich des Transports, denn sie werden in unseren europäischen Werken produziert. So schaffen wir wichtige Arbeitsplätze für die Region und vermeiden globale Transportwege.
Ein nachhaltiger Produktionsprozess bietet aber noch mehr Vorteile: Wir können gewährleisten, dass unsere Ansprüche an eine umweltschonende Produktion gewahrt bleiben und alle Produktionsschritte eigenständig optimiert werden. Wir bauen dabei auf die langjährige Expertise unserer MitarbeiterInnen, die maßgeblich für die hohe Qualität unserer Produkte verantwortlich ist. Duktile Guss-Rohrsysteme, in Europa produziert, stehen daher für mehr als nur eine sichere Trinkwasserversorgung.

2.7 Kurze Wege

Regionalität bietet den unschätzbaren Vorteil der kurzen Wege – in der Beratung, in der Entscheidungsfindung, in der Zusammenarbeit, aber auch in der Logistik. Globale Preisschwankungen, Lieferschwierigkeiten oder -engpässe gehören daher nicht zu unserem Alltag. Unsere Arbeit und unsere Logistik sind genauso wie unser Produkt: zuverlässig, robust und nachhaltig. Kurze Wege ermöglichen aber auch einen schnelleren Bestell- und Lieferprozess. KundInnen können im Bedarfsfall rasch und unbürokratisch fehlende Rohre/Formstücke/Armaturen selbst abholen oder bekommen diese zügig geliefert.

2.8 Partner mit Weitblick

Es braucht viele Handgriffe, um ein Gussrohr zu produzieren. Genauso braucht es viele engagierte Menschen, um den Boden für eine gute Zukunft zu schaffen. Deshalb zählen wir auf unser Netzwerk an verlässlichen Partnern, die mit uns gemeinsam Guss-Rohrsysteme stärken und ausbauen.
Wer sich mit den richtigen Partnern zusammenschließt, kann lokal agieren und global etwas verändern: EADIPS steht mit all seinen Mitgliederunternehmen für Nachhaltigkeit, beste Wasserqualität, #reduceplastic, Versorgungssicherheit, regionale Produktion und Ressourcenschonung.

3 Kommunale Partner

Die Initiative Guter-Grund wird unterstützt von kommunalen Partnern, die sich mit deren Zielen identifizieren.
Als erste Partner sind die Stadtgemeinde Hall in Tirol und die Hall AG als Wasserversorgungsunternehmen der Initiative „Guter-Grund“ für Boden- und Wasserschutz beigetreten. Die Partner legen besonderen Wert auf „Kurze Wege“ und den „Kreislauf der Ressourcen“. Durch die Beschaffung lokaler Produkte und das Angebot örtlicher Dienstleistungen leben sie nicht nur vorbildlichen Umweltschutz, sondern garantieren der Bevölkerung eine sichere Wasserversorgung.



Bild 2: Guter-Grund-Partner: Überreichung der Urkunden an die Stadtgemeinde Hall in Tirol und die Hall AG als Wasserversorgungsunternehmen

4 Zusammenfassung

Die Corona-Pandemie hat uns vor Augen geführt welche Auswirkungen es hat, wenn globale Lieferketten zusammenbrechen. Zusätzlich stellt der European Green Deal sowohl die Wirtschaft als auch Betreiber von Ver- und Entsorgungsnetzen vor große Herausforderungen, um bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr auszustoßen, das Wachstum von der Ressourcennutzung abzukoppeln und niemanden, weder Mensch noch Region, im Stich zu lassen. Die Mitglieder der EADIPS sind sich den damit verbundenen Herausforderungen bewusst und haben frühzeitig deren wesentlichen Aspekte in acht guten Gründen zusammengefasst und darauf aufbauend die Initiative „Der gute Grund - ein guter Grund“ gestartet. Erste kommunale Partner unterstützen die Initiative bereits.
Machen Sie mit und werden Partner bei „Guter Grund“!

[1] Maler, P.; Dietzsch, F.: Netz- und Schadensstatistik Wasser – Ergebnisse aus den Jahren 2013 bis 2015. energie/wasser-praxis 3/2017, S. 36-44
[2] UBA – Umweltbundesamt: Bewertungsgrundlage – Anlagen der Bewertungsgrundlage für Kunststoffe und andere organische Materialien im Kontakt mit Trinkwasser (KTW-BWGL) – Polymerspezifischer Teil. Version vom 09. März 2021. www.umweltbundesamt.de

Autor:

Dipl.-Ing
Christoph Bennerscheidt
European Association for Ductile Iron Pipe Systems (EADIPS®) / Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR®) e. V.
Doncaster-Platz 5
D - 45699 Herten

Tel.: +49 2366 9943905
E-Mail:
c.bennerscheidt@eadips.org
Internet:
www.guter-grund.org /
www. eadips.org



3
Steinzeugrohre

Homogenbereiche für Böden und Fels

Erweiterung der GSTT-Information 28-2 „Arbeitshilfe Baugrunderkundung und Baugrundbeschreibung für Rohrvortriebe“

Von Hans-Peter Uffmann

Nach der Neufassung der ATV DIN 18319 im Jahr 2016 ergab sich eine lebhafte Diskussion über die Sinnhaftigkeit dieser neuen Regelung mit Bezug auf die sog. Homogenbereiche. Mitt-lerweile nach gut 6 Jahren hat sich herausgestellt, dass offensichtlich zumindest für den Bereich Rohrvortrieb die alte Regelung mit den sog. Bodenklassen wesentliche Vorteile gegenüber den „neuen Homogenbereichen“ hatte.

Der Vortrag erläutert die Forderungen der ATV DIN 18319/ 2016 und zeigt anhand der neuen GSTT Info 28-2 (Ersatz für die alte Info 28-2a) einen pragmatischen Vorschlag zum zukünftigen Umgang mit dieser Norm. Hierbei können die „alten Bodenklassen“ (diese waren ja immer schon Homogenbereiche) durch die Zuordnung der geforderten boden- bzw. felsmechanischen Parameter als neue Homogenbereiche gewählt werden. Mittlerweile wird diese Vorgehensweise von vielen Auftraggebern bereits gefordert und von vielen Planern und geol. Sachverständigen bereits so umgesetzt. Aufgrund der positiven Resonanz dieser Vorgehensweise hat der GSTT Arbeitskreis beschlossen, die „alten Felsklassen“ u.a. durch die Angaben zur Abrasivität und zur Zähigkeit weiter zu differenzieren, um somit den Bietern eine seit langem geforderte bessere Grundlage zur Kalkulation zu vermitteln.

1 Zum Hintergrund:

- Die Bodenklassen nach der „alten“ Regelung wurden von Fachleuten definiert. Bei dieser Einteilung wurden insbesondere diejenigen Boden- und Felskennwerte berücksichtigt, die für die Verfahrensauswahl eine entscheidende Rolle spielen. Diese Beurteilung setzt ein sehr gutes Wissen über die Eigenschaften und Auswirkungen von Boden und Fels gleichermaßen wie die Kenntnis der technischen Möglichkeiten der unterschiedlichen am Markt verfügbaren Rohrvortriebsverfahren voraus. Daher wurden auch im Laufe der Zeit -immerhin galten diese Bodenklassen knapp 30 Jahre- diese Klassifikationen immer wieder den technischen Möglichkeiten dieser noch in der Entwicklung befindlichen Technologie angepasst.
- Das neue System mit Homogenbereichen wurde mit der ATV DIN 18319 im Jahre 2016 eingeführt. Ein Homogenbereich ist demnach *ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für Rohrvortriebsarbeiten vergleichbare Eigenschaften aufweist*. Die Definition dieser Homogenbereiche wurde dem Planer und dem geologischen Sachverständigen überlassen. Diese waren in der Vielzahl mit dieser Aufgabe überfordert und es entwickelte sich eine gelebte Praxis, indem

eigenbenannte Homogenbereiche (z.B. H0,H1,H2,H3, oder I A, I B, I C, I D usw.) benannt wurden, um juristisch dieser neuen Norm gerecht zu werden. Diesen Homogenbereichen wurden dann in umfangreichen Tabellen alle laut dieser Norm geforderten Parameter zugeordnet. Nachdem sich schnell erwiesen hat, dass eine derartige Beschreibung der Homogenbereiche völlig praxisfremd war, wurden von zunehmend mehr Planern/geol. Sachverständigen zur Erläuterung der Homogenbereiche die „alten Bodenklassen“ ergänzt. Mittlerweile haben einige Auftraggeber bereits die „alten Bodenklassen“ als Beschreibung von Homogenbereichen wieder verpflichtend eingeführt.

- Grundstein dieser Erkenntnis war eine GSTT Info 28-2a aus dem Jahr 2017, die diesen „alten Bodenklassen“ entsprechend den Anforderungen der neuen ATV DIN 18319 die entsprechenden boden- bzw. felsmechanischen Parameter zuordnete.
- Mittlerweile hat die GSTT eine neue Info Nr. 28-2 bearbeitet, in der u.a. zusätzlich die Felsklassen weiter differenziert werden, um die Anforderungen der VOB nach eindeutigen Informationen zur Kalkulation und Preisbildung zu erfüllen.

Nachfolgend wird daher dieser Entwurf in Auszügen wiedergegeben.

2 GSTT Info 28-2

2.1 Baugrunderkundung und Baugrundbeschreibung für Rohrvortriebe – Homogenbereiche für Böden und Fels

Die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) Rohrvortriebsarbeiten DIN 18319 in der jeweils aktuellen Fassung bilden die Grundlage für die VOB- gerechte Ausschreibung, Durchführung und Abrechnung von Rohrvortriebsarbeiten. Der Abschnitt 2 Stoffe, Bauteile der Norm enthält u.a. auch Regelungen für die durch den Auftraggeber vorzunehmende Untersuchung und Beschreibung des Baugrunds. Die erfolgreiche Anwendung des Rohrvortriebsverfahrens ist in besonderem Maße von einer sorgfältigen Baugrunderkundung und Baugrundbeschreibung abhängig. Nur so werden die Bieter in die Lage versetzt das für die anstehenden Baugrundverhältnisse geeignete Rohrvortriebsverfahren auswählen und ihre Preise sicher kalkulieren zu können.

Seit der Einführung der DIN 18319 im Jahr 1992 erfolgte die Beschreibung des Baugrunds durch Boden- und Felsklassen sowie Zusatzklassen für Steine und Blöcke, die auf die besonderen Erfordernisse von Rohrvortriebsarbeiten zugeschnitten waren. Dieses System der Baugrundbeschreibung wurde im Laufe der Jahre durch die Einführung weiterer Boden- und Zusatzklassen fortentwickelt und somit den Erkenntnissen der Praxis, aber auch dem technischen Fortschritt angepasst. Die Zuordnung der einzelnen Bodenschichten zu den Bodenklassen erfolgte aufgrund der Parameter Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte und Konsistenz. Fels wurde entsprechend der Druckfestigkeit sowie des Trennflächenabstands differenziert. Die Unterteilung der Boden- und Felsklassen orientierte sich an den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der verschiedenen Rohrvortriebsverfahren und der dafür verfügbaren Maschinentechnik. Trotz der unbestreitbar vorhandenen Schwächen war das System bei Auftraggebern, Planern, Gutachtern und Auftragnehmern bekannt und akzeptiert. Seit 2015 gilt nun die überarbeitete ATV DIN

18319. Die Baugrundbeschreibung für Rohrvortriebsarbeiten hat jetzt, wie für die übrigen Gewerke des Tiefbaus, durch die Einteilung der erkundeten Schichten in Homogenbereiche zu erfolgen. Ein Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für Rohrvortriebsarbeiten vergleichbare Eigenschaften aufweist. Für jeden Homogenbereich sind Eigenschaften und Kennwerte sowie deren Bandbreite anzugeben. Die betreffenden Eigenschaften und Kennwerte werden für Boden und Fels unterschieden und sind dem Abschnitt 2.3 der ATV DIN 18319 zu entnehmen.

Die neue Systematik stellt die Bildung der Homogenbereiche in die Verantwortung des Sachverständigen für Geotechnik und des Planers. Diese sind frei in der Zuordnung der erkundeten Schichten zu Homogenbereichen. Das kann z.B. zur Folge haben, dass der gleiche Baugrund von verschiedenen Sachverständigen in unterschiedliche Homogenbereiche eingeteilt wird. Auch ist nicht mehr sichergestellt, dass die für die Auswahl des Rohrvortriebsverfahrens und der Maschinentechnik bestimmenden Baugrundparameter maßgeblich für die Bildung der Homogenbereiche sein werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das neue System nach seiner Einführung bei allen Beteiligten viele Fragen aufwirft, zumal die „alte" Regelung mit ihren standardisierten und allseits bekannten Boden- und Felsklassen, die bereits die Anforderungen an Homogenbereiche erfüllte, eine einfache und bewährte Handhabung ermöglichte.

Mit der GSTT Information 28-2a Arbeitshilfe Homogenbereiche für Böden wurde ein System mit fest definierten Homogenbereichen vorgestellt, das die Anforderungen der neuen Systematik mit den Vorteilen des bisherigen Systems verknüpft. Die Homogenbereiche werden so definiert, dass Anbieter von Rohrvortriebsmaßnahmen sowie Maschinenhersteller mit den entsprechenden Kurzbezeichnungen das erforderliche Mindestmaß an Informationen über den Baugrund erhalten, um ein geeignetes Rohrvortriebsverfahren auswählen zu können. Die hierfür bestimmenden Baugrundparameter werden als Leitparameter bezeichnet. Für Böden sind die Baugrundparameter Bodengruppe nach DIN 18196, Lagerungsdichte bzw. Konsistenz, Plastizität und ggf. der Anteil von Steinen und Blöcken als Leitparameter anzusehen. Folgerichtig können die Homogenbereiche für Böden entsprechend den Bodenklassen LN, LB und LO und den Zusatzklassen P und S der DIN 18319:2012-09 definiert und bezeichnet werden. Ergänzt werden die Homogenbereiche durch die Eigenschaften und Kennwerte und ihre Bandbreite, wie sie seit 2015 in der ATV DIN 18319 definiert sind.

Die positive Aufnahme der Arbeitshilfe in der Fachwelt führte dazu, diese um ein System mit ebenfalls fest definierten Homogenbereichen für Fels zu ergänzen. Ausgehend von den Erfahrungen mit den bisherigen Felsklassen der DIN 18319:2012-09 wurde das eingeführte System weiterentwickelt. Es basiert zukünftig auf den Leitparametern einaxiale Druckfestigkeit, Trennflächenabstand, Abrasivität und Tenazität (Zähigkeit). Die Nomenklatur der Homogenbereiche für Fels wird so gewählt, dass diese alle relevanten Informationen wiedergibt. Analog zu den Homogenbereichen für Böden sind die vorgeschlagenen Homogenbereiche für Fels ebenfalls durch die Eigenschaften und Kennwerte, wie sie in der ATV DIN 18319 seit 2015 vorgegeben sind, zu ergänzen.

Mit der Überarbeitung der GSTT Information 28-2a erfolgt die Umbenennung in eine neue GSTT Information 28-2 „Arbeitshilfe Baugrunderkundung und Baugrundbeschreibung für Rohrvortriebe – Homogenbereiche für Böden und Fels“-.

2.2 Arbeitshilfen zur GSTT- Information 28-2 Die teilweise oder vollständige Anwendung dieser Arbeitshilfen erfolgt in eigener Verantwortung des Sachverständigen für Geotechnik und des Planers.

Arbeitshilfe 1

Baugrundgutachten für Rohrvortriebsmaßnahmen - Checkliste zum Aufbau und Inhalt

Arbeitshilfe 2

Einteilung der Leitparameter und Bildung von Homogenbereichen für Böden.

Arbeitshilfe 3

Zuordnung Bodengruppen nach DIN 18196 zu den fest definierten Homogenbereichen für Böden [bisher Arbeitshilfe 1 der GSTT-Information 28-2a].

Arbeitshilfe 4

Korrelation zwischen den Bodengruppen nach DIN 18196, den fest definierten Homogen-bereichen und den geforderten Bodenkennwerten und -eigenschaften nach ATV DIN 18319. Die Bandbreite der Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche ist davon abhängig, welche Bodengruppen nach DIN 18196 im Einzelfall dem jeweiligen Homogenbereich zugeordnet werden. Mögliche Bandbreiten werden in der Arbeitshilfe angegeben und sind vom Baugrundgutachter festzulegen [bisher Arbeitshilfe 2 der GSTT-Information 28-2a].

Arbeitshilfe 5

Einteilung der Leitparameter und Bildung von Homogenbereichen für Fels.

Arbeitshilfe 6

Erfahrungswerte über die Einsatzmöglichkeiten von gesteuerten Rohrvortriebsverfahren für DA 180 – 4200 in Böden in Abhängigkeit von den Homogenbereichen [Überarbeitung der bisherigen Arbeitshilfe 3 der GSTT-Information 28-2a].

Arbeitshilfe 7

Erfahrungswerte über die Einsatzmöglichkeiten von gesteuerten Rohrvortriebsverfahren für Außendurchmesser 350 – 4200 mm in Fels in Abhängigkeit von den Homogenbereichen.

Arbeitshilfe 8

Anwendungsbeispiel Boden [bisher Arbeitshilfe 4 der GSTT-Information 28-2a] und Fels -neu-.

2.3 Arbeitshilfe 5 zur GSTT Info 28-2

Einteilung der Leitparameter und
Bildung von Homogenbereichen für Fels

Eine kritische Analyse der Erfahrungen mit der Baugrundbeschreibung von Fels durch die bis 2015 gültigen Felsklassen FZ 1 – 4 und FD 1 - 4 zeigt, dass diese nicht immer ausreichende Informationen vermittelten, um für die beschriebenen Baugrundverhältnisse ein geeignetes Rohrvortriebsverfahren auszuwählen zu können. Auch war die Auswahl der Abbauwerkzeuge, die Kalkulation der Verschleißkosten sowie die Festlegung der möglichen Vortriebslänge mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies traf insbesondere dann zu, wenn keine weiteren Angaben zum Fels gemacht wurden, wie sie im Abschnitt 0 ATV DIN 18319 vorgesehen sind. Es wird daher ein weiter entwickeltes System fest definierter Homogenbereiche vorgeschlagen, das auf den vier Eigenschaften bzw. Kennwerten einaxiale Druckfestigkeit (Tabelle 4-1), Trennflächenabstand (Tabelle 4-2), Abrasivität (Tabelle 4-3) und Tenazität (Zähigkeit, Tabelle 4-4) basiert. Bei einaxialen Druckfestigkeiten über 200 MPa ist der maximale Wert anzugeben. Vollständig verwitterter bzw. zersetzter Fels ist den entsprechenden Homogenbereichen für Böden zuzuordnen.

Einaxiale Druckfestigkeit in Vortriebsrichtung [MPa]	***Kurzbezeichnung***
bis 30	*F30*
über 30 bis 50	*F50*
über 50 bis 100	*F100*
über 100 bis 150	*F150*
über 150 bis 200	*F200*

Tabelle 4-1: Leitparameter einaxiale Druckfestigkeit

Trennflächenabstand	***Kurzbezeichnung***
> 0 – 6 cm	$Z_{0.6}$
> 6 – 20 cm	$Z_{6.20}$
> 20 – 60 cm	$D_{2.6}$
> 60 – 200 cm	$D_{6.20}$

Tabelle 4-2: Leitparameter Trennflächenabstand

Abrasivität	***Kurzbezeichnung***
kaum/schwach abrasiv	*A1*
Abrasiv	*A2*
sehr abrasiv	*A3*
extrem abrasiv	*A4*

Tabelle 4-3: Leitparameter Abrasivität

Tenazität [Zähigkeit]	*Kurzbezeichnung*
sehr spröde	*T1*
Spröde	*T2*
zäh	*T3*
sehr zäh	*T4*

Tabelle 4-4: Leitparameter Tenazität [Zähigkeit]

Nachfolgend wird beispielhaft die Ableitung der Bezeichnung eines Homogenbereiches für einen zähen und sehr abrasiven Sandstein mit einer einaxialen Druckfestigkeit von 80 MPa und einem Abstand der Trennflächen von 30 cm erläutert. Der Homogenbereich trägt die Kurzbezeichnung

F100 $D_{2.6}$ A3 T 3

Mit:

- ***F*** *Fels*
- ***100*** *einaxiale Druckfestigkeit über 50 bis 100 MPa*
- ***D*** *Trennflächenabstand im Dezimeterbereich*
- ***2.6*** *Abstand 20 – 60 cm*
- ***A*** *Abrasivität*
- ***3*** *sehr abrasiv*
- ***T*** *Tenazität [Zähigkeit]*
- ***3*** *zäh*

Die Erstauswahl eines Rohrvortriebsverfahrens für den Einsatz im Fels kann anhand der einaxialen Druckfestigkeit und des Trennflächenabstands erfolgen. In der Arbeitshilfe 6 sind Erfahrungswerte über die Einsatzmöglichkeiten von gesteuerten Rohrvortriebsverfahren für Außendurchmesser von 350 mm bis 4200 mm in Abhängigkeit von der einaxialen Druckfestigkeit und des Trennflächenabstands zusammengestellt.

Abrasivität und Tenazität beeinflussen die erreichbare Vortriebslänge in einem Pressgang. Der Wechsel verschlissener Werkzeuge unter Tage ist erst ab einem Außendurchmesser von 1505 mm zulässig. Für geringere Außendurchmesser wird der mögliche Abstand zwischen Start- und Zielbaugrube durch die Standzeit der Abbauwerkzeuge bestimmt. Für größere Außendurchmesser ist zu untersuchen, ob ein untertägiger Werkzeugwechsel technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Alternativ können Zwischenschächte zur Kontrolle und zum Austausch der Werkzeuge vorgesehen werden.

Die Tenazität bestimmt die Auswahl der Abbauwerkzeuge und ist von erheblicher Bedeutung für die erreichbare Vortriebsgeschwindigkeit.

3 Literaturhinweise:

[1] Empfehlung Nr. 1 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Einaxiale Druckversuche an zylindrischen Gesteinsprüfkörpern Hrsg.: DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Essen.

[2] Empfehlung Nr. 10 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Indirekter Zugversuch Gesteinsproben - Spaltzugversuch Hrsg.: DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Essen.

[3] Käsling, H; Plinninger, R.: Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch. Bautechnik 93 (2016) Heft 6, S. 409 – 415.

[4] Wilfing, L.; Käsling, H.; Thuro, K.: Ansätze für eine einheitliche Definition der Zähigkeit zur verbesserten Penetrationsprognose bei TBM-Vortrieben. Tagungsband der 19. Tagung für Ingenieurgeologie. München, 2013.

Autor:

Dr.- Ing Hans-Peter Uffmann
Ing. Büro Dr. Uffmann
Aachen

Tel.: 01727217892
E-Mail:
peter.uffmann@netcologne.de



Neubau des Schmutzwasserhauptsammlers in Quedlinburg

Großprojekt mit Steinzeugrohren DN800

Von Jens-Uwe Apitzsch

Der Zweckverband Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Ostharz (ZVO) baut im Zuge von geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen und Instandsetzung vorhandener Deichanlagen den Schmutzwasserhauptsammler in Quedlinburg neu. Auf etwa 2.000 Metern Länge wird ein komplett neuer Schmutzwasserkanal aus Steinzeugrohren mit einem Innendurchmesser DN800 gebaut. Dafür investiert der Zweckverband mit Sitz in Quedlinburg rund 3,4 Millionen Euro. Ein Baustellenbericht.

1 Örtliche Ausgangssituation



Die Stadt Quedlinburg liegt an der Bode nördlich des Harzes im Landkreis Harz (Sachsen-Anhalt) und wurde 1994 in die UNESCO-Welterbeliste aufgenommen. Die über 1000 Jahre alte Stadt zählt mit ihren 2100 Fachwerkhäusern zu den historischsten Orten in Deutschland.

Der Zweckverband Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Ostharz in Quedlinburg versorgt ca. 60.000 Einwohner in 7 Städten mit Ortsteilen und Gemeinden mit Trinkwasser und sichert die Abwasserentsorgung von ca. 71.000 Einwohnern in 9 Städten mit Ortsteilen und Gemeinden sowie für Gewerbe und Industrie mit insgesamt 13 Kläranlagen.

Da zur Erfüllung dieser Pflichtaufgaben entsprechende fachliche, insbesondere wasserwirtschaftliche Fachkenntnisse notwendig sind, über die einzelne Gemeinden nicht immer verfügen, haben 24 Bürgermeister des Landkreises Quedlinburg bereits unmittelbar nach der Wiedervereinigung diese Pflichtaufgaben gebündelt. Dies war die Geburtsstunde des Zweckverbandes Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Ostharz, der sich am 24.04.1991 gegründet hat. Seit dem 01.01.2008 hat sich das Verbandsgebiet erweitert. Der Zweckverband Ostharz ist mit dem Abwasserzweckverband „Mittlere und Untere Selke“ fusioniert. Damit gehören 9 Städte mit Ortsteilen und Gemeinden des Landkreises Harz, des Salzlandkreises und der Stadt Aschersleben dem Zweckverband Ostharz an.

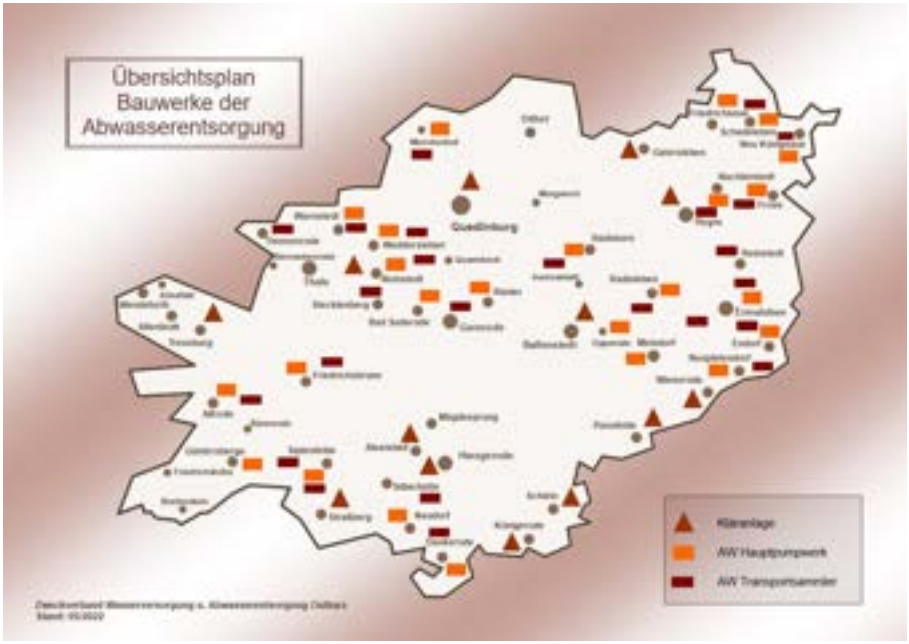


Bild 1: Übersichtplan der Abwasserentsorgung des Zweckverbands [1]

Um die gestellten Aufgaben erfüllen zu können, führte und führt der Zweckverband umfangreiche Investitionen, wie den Bau von Wasserwerken, Kläranlagen, Kanalnetzen und Trinkwasserleitungen durch. Ein besonderes Merkmal dieses Zweckverbandes ist, dass er diese Investitionen bei Gebühren und Entgelten durchführt, die zu den niedrigsten von Sachsen-Anhalt zählen.

Tabelle 1: Übersicht über die Abwasserentsorgung des Zweckverbands [1]

Gesamtreinigungsleistung:	117.515 EW
Anzahl Kläranlagen:	13
Anzahl SW-Pumpstationen:	93
Jahresabwassermenge:	3,72 Mio m3
Anzahl entsorgter Grundstücke:	21.382
Anschlussgrad:	94 %
Kapazität Klärschlammvererdung:	21.000 m2
Länge Kanalnetz: (Schmutz-, Misch- u. Niederschlagswasser)	1.34

Der Hauptsammler zum Klärwerk Quedlinburg transportiert das Abwasser aus der gesamten Stadt Quedlinburg sowie aus Stecklenberg, Neinstedt, Warnstedt und Timmenrode zum Klärwerk. Das Bauwerk liegt im Bereich des Zulaufs zur Kläranlage im Bode-Deich, der durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft saniert werden soll. Allerdings entspricht ein Deich, in dem ein Kanal liegt, nicht mehr dem Stand der Technik.

Zudem ist der bestehende Betonkanal mit Eiprofil 700/1050 aus den Jahren 1905 bis 1910 in die Jahre gekommen und sanierungsbedürftig. Nahe liegt, dass er gebaut wurde, als seinerzeit die zentrale Abwasserentsorgung in Quedlinburg entstand. Ein Foto vom „Mundloch“, wo der Hauptkanal einst im Bereich des heutigen Klärwerks endete, das ankommende Schmutzwasser damals auf Rieselfeldern gereinigt wurde, zeigt die Datierung „1907-9“. [2]



Bild 2: Am „Mundloch“, an dem der Kanal einst endete, steht die Datierung „1907-9“. Foto: ZVO

2 Planung des Bauvorhabens

Aus den gegebenen Randbedingungen ist die Erneuerung des Kanals in neuer Trasse außerhalb des Deichs vor der Durchführung der Deichsanierung vorgesehen.

Mit den Planungen wurde im Jahr 2020 durch das Ingenieurbüro Deuter aus Quedlinburg begonnen.

Auf etwa 2.000 Metern Länge soll ein komplett neuer Schmutzwasserkanal gebaut werden. Auf Grundlage der hydraulischen Berechnungen wurde ein Kreisprofil mit 80cm Innendurchmesser vorgesehen.

Gebaut werden soll der neue Hauptsammler in zwei Abschnitten, wobei die Bauzeit von August 2022 bis Juli des darauffolgenden Jahres geplant ist. Im Jahr 2022 soll dabei der Kanal beginnend an der Autobahn 36 entlang der Baustraße bis zur Werkstraße und dann entlang dieser weiter bis zur Kreuzung Ritterangerweg errichtet werden.

Eine Querung der Autobahn ist nicht erforderlich. Der neue Kanal wird vielmehr einige Meter parallel zur Autobahn geführt bis zur Bahnstrecke - auch wird in 2022 erfolgen. Dort wird der neue Hauptsammler an die bereits vorhandene Bahnquerung angebunden. Diese, wie auch der Kanalabschnitt bis zum Klärwerk, ist bereits vor einigen Jahren erneuert worden.

Im Jahr 2023 soll dann weitergebaut werden: Ab der Kreuzung Werkstraße/Ritterangerweg wird dabei der neue Kanal im Ritterangerweg und weiter im Ditfurter Weg bis zur Kreuzung An den Flotten verlegt. Vorbereitende Arbeiten würden in diesem zweiten Teil des Bauprojektes auch schon in 2022 erfolgen.

Bei der Auswahl der Rohre wurden verschiedene Rohrmaterialien auf ein optimales Preis-/Leistungsverhältnis untersucht. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf folgende Punkte gelegt:

1. Langlebigkeit und Korossionsbeständigkeit
2. Ökologische Unbedenklichkeit
3. 100%-ige Recycelbarkeit (Cradle-to-Cradle-Prinzip)
4. Verfügbarkeit und zuverlässige Qualität

Für die Auswahl des Rohrmaterials war entscheidend, dass die verwendeten Rohre eine möglichst lange technische Nutzungsdauer aufweisen und zudem besonders zuverlässig und wartungsarm sind. Da die Baumaßnahme in einer ökologisch sensiblen Umgebung liegt, wurde auch besondere Aufmerksamkeit auf die ökologische Unbedenklichkeit über die Nutzungsdauer gelegt.

Die Entscheidung für das Steinzeugrohr Kera.Pro DN 800 fiel allen Beteiligten daher nicht schwer, hatte man in den letzten Jahren gute Erfahrungen mit diesem Naturwerkstoff gemacht (im Jahr 2021 wurden 1000 m Kera.Base DN 600 in der Rathenaustrasse / Harzweg von Quedlinburg verlegt).



Bild 3: Die Rohre liegen bereit, die Baustraße ist angelegt: Hier wird der neue Hauptsammler gebaut.

Die Rohre DN800H zeichnen sich durch eine hohe Tragfähigkeit und Robustheit aus und sind zudem für den Einbau im Bereich von Eisenbahnverkehrslasten zugelassen. Damit konnten Schwierigkeiten im Bereich der Bahnkreuzungen sicher vermieden werden.

Auch aus ökologischer Sicht sind die Rohre vorteilhaft, da sie bereits aus einem mit ca. 40% hohen Anteil an Recyclingmaterial bestehen und am Ende der Nutzungsdauer problemlos wieder dem Recycling zugeführt werden können. Diese herausragende Kreislauffähigkeit wird durch das Cradle-to-Cradle®-Zertifikat bestätigt.

3 Ausführung des Bauvorhabens

Mit der Ausführung der Bauarbeiten wurde die Firma Bickardt Bau beauftragt, die zum Zeitpunkt der Planung auch bereits bei der Sanierung der Ortsdurchfahrt in Quedlinburg zusammengearbeitet wurde.

Die Bettung der Rohre erfolgt auf dem dafür vorbereiteten Planum mit einer klassischen Bettung auf einem Kies-Sand-Auflager. Im nachfolgenden Bild ist die Ausrichtung der Rohre mittels Kanal-Lasers zu sehen.



Bild 4: Einbau der Rohre auf dem vorbereiteten Kies-Sand-Auflager

4 Literaturquellen:

[1] Homepage des Zweckverbands Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Ostharz (ZVO) (URL: https://www.zweckverband-ostharz.de/).

[2] „Zweckverband erneuert Teil des Hauptsammlers in Quedlinburg“; Beitrag aus der Mitteldeutsche Zeitung vom 25.08.2022; Autorin: Petra Korn (URL: https://www.mz.de/lokal/quedlinburg/zweckverband-erneuert-teil-des-hauptsammlers-in-quedlinburg-3432122)

Autor:

Dipl.-Ing. Jens-Uwe Apitzsch
Steinzeug-Keramo GmbH,
Frechen

Tel.: +49 2234 507 629
E-Mail:
Jens-Uwe.Apitzsch@pipelife.com
Internet:
www.pipelife.de



Vergabe von Bauleistung unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien, Energiepreisen und Verfügbarkeit

Wo stehen wir heute, auch angesichts der aktuellen Ereignisse

Von Marc-Georg Pater

Nachhaltige Ausschreibungen im Bau sind mittlerweile keine Seltenheit mehr, insbesondere der Hochbausektor hat hier viel Pionierarbeit geleistet. Dass das Thema Nachhaltigkeit aber auch im Tiefbau angekommen ist, zeigen nicht nur die zahlreichen Veröffentlichungen der letzten Jahre sondern auch der intensive Austausch zwischen Industrie, Auftraggebern und Unternehmern zu diesem Thema. Noch immer fehlt es jedoch an einem gemeinsamen und vor allem ganzheitlichen Ansatz. Eine Bestandsaufnahme.

1 Was bisher geschah…

In den letzten Jahren ist das Thema Nachhaltigkeit in aller Munde. Kein börsennotiertes Unternehmen kann es sich heute noch leisten, ESG-Ziele zu vernachlässigen. Genau so wenig können es die zahlreichen Auftraggeber und Kommunen, die in den letzten Jahren und medienwirksam den Klimanotstand ausgerufen haben [1].

Schon auf dem letzten Rohrleitungsforum in Oldenburg haben wir uns daher für den öffentlichen Tiefbau die Frage gestellt: „Klimanotstand – und jetzt?“. Die Antwort war schnell gefunden: Nachhaltiges Bauen benötigt eine nachhaltige Vergabe. Die Instrumente sind vorhanden, werden aber aufgrund einer Vielzahl von Gründen noch nicht in signifikantem Umfang genutzt. [2]. In einer weiteren Veröffentlichung haben wir anschließend den ökologischen Fußabdruck von grabenlosen Bauweisen dargestellt und das Fazit gezogen, dass Nachhaltigkeitskriterien nicht erst bei der Erstellung der Ausschreibung, sondern so früh wie möglich im Planungsprozess berücksichtigt werden sollten. Eine Kombination beider Ansätze verspricht demnach die größten Erfolgsaussichten [3].

Seit Beginn der Corona-Pandemie sind nicht nur die direkten Kosten für Baumaterialien stark gestiegen, auch Energiepreise sind auf einem Rekordkurs. Da insbesondere Linienbaustellen wie im öffentlichen Kanalbau hauptsächlich auf Energieerzeugung durch Dieselgeneratoren setzt, steigen die Baukosten weiter. Dass das Einsparpotenzial hier riesig ist und somit auch direkten Einfluss auf die Kosten haben kann, zeigte Jörg Brunecker unlängst in einem eigenen Artikel auf. Sein Appell an Auftraggeber und Politik ist eindeutig: „Angesichts des wachsenden Drucks auf die Einhaltung unserer Klimaschutzziele wäre es nur konsequent, wenn ein Energieeffizienzsystem den Baufirmen abgefordert wird und den Baufirmen Anreize für Investitionen in die Energieeffizienz geschaffen werden.“ [4]

2 Vorhandene Instrumente nutzen!

Nachhaltige Lösungen können in der Planungsphase bspw. über Software-Tools wie „Ökokauf Wien“ bereits identifiziert sowie über das Vergaberecht im Rahmen der Ausschreibung auch gefordert werden (siehe [2]). In der Planungsphase anzusetzen hat selbstverständlich den signifikantesten Einfluss auf das spätere Ergebnis. Möglichkeiten im Rahmen der Vergabe sind in allen Phasen des Vergabeverfahrens (Leistungsbeschreibung, Eignungsprüfung, Angebotswertung und Auftragsausführung) vorhanden und sollten dementsprechend genutzt werden.



Bild 1: Bereiche des Vergabeverfahrens, in denen Nachhaltigkeit verankert werden kann (Quelle: eigene)

Der Einsatz nachhaltiger Bauprodukte, die bspw. über verschiedene Gütesiegel reguliert werden können, ist sinnvoll, stellt jedoch nur einen kleinen Teil der Gesamtaufgabe nachhaltigen Bauens dar. Bauverfahren und auch der Maschinen- und Fuhrpark des ausführenden Unternehmens hingegen können einen weitaus größeren Einfluss auf das Ergebnis haben, wie Brunecker in seinem Artikel vorrechnet [4].

Weitere vorhandene Instrumente sind normativer Natur, so bspw. die Forderung nach Umweltproduktdeklarationen gemäß DIN EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen“. Umweltproduktdeklarationen sind im Hochbau bereits gängige Praxis, werden für den Tiefbausektor aber bisher nahezu nicht zur Verfügung gestellt oder nachgefragt. Erste Auftraggeber bereiten sich aktuell darauf vor, diese Art der Produktdeklarationen in naher Zukunft im Rahmen der Ausschreibungen abzuverlangen.

Allerdings ist das Erstellen eines EPD-Dokuments für ein Bauprodukt an sich noch kein Nachweis für ein besonders nachhaltiges Bauteil, da in einem solchen Dokument nur die Leistung des Produkts in Bezug auf die festgelegten Kriterien beschrieben wird. Anders und etwas provokant formuliert kann für jedes auch noch so wenig nachhaltige Bauprodukt ein EPD erstellt werden. Vielmehr müssen die in einem EPD deklarierten Eigenschaften im Kontext eines gesamten Bauwerks betrachtet und bewertet werden. Dies erfolgt in der Regel in einer Lebenszyklusanalyse des Bauwerks (LCA – Life Cycle Assessment). Nur wenn in einer LCA gleiche und vergleichbare Randbedingungen festgelegt werden, kann die umweltbezogene Leistung von Bauprodukten über den Lebenszyklus bewertet und verglichen werden.

3 Alles unklar?

Im Austausch zwischen Industrie und Auftraggebern bzw. Ingenieurbüros ist Nachhaltigkeit natürlich immer wieder Thema. Auf die Frage, welche ökologischen Informationen und Daten für Ausschreibungsverfahren heute unverzichtbar sind, gibt es selten eine konkrete Antwort. Ausschreibungen bzw. die zugrunde liegenden Vergabekriterien zielen bislang kaum auf Nachhaltigkeit ab, die Umsetzung und Kontrolle, so der Konsens, sei einfach zu kompliziert. Zudem entpuppten sich Versuche in diese Richtung in der Vergangenheit als „zahnlose Tiger", die zu hohem bürokratischen Aufwand bei vergleichsweise geringem Nutzen geführt haben.

Der kleinste gemeinsame Nenner im Rohrleitungsbau ist daher häufig immer noch das eingesetzte Produkt, obwohl die Produktions- und Lieferkette desselbigen nur einen Bruchteil der Gesamtemissionen einer Baustelle ausmacht und Daten zu diesen häufig nicht vergleichbar sind. Denn auch wenn es auf den ersten Blick einfach erscheint, den entsprechenden Umwelt-Impact eines Produktes auszumachen, so liegt der Teufel im Detail. Eigene Ökobilanzierungen können beispielsweise die gewünschten Informationen mit der notwendigen Detailtiefe liefern, sie sind jedoch zu aufwändig, um diese projektindividuell zu erstellen. Bei einer allgemeingültigen Bilanzierung lassen sich die notwendigen Systemgrenzen bei nicht-unabhängiger Betrachtung vergleichsweise einfach zum Vorteil des einen oder anderen Produktes verschieben. Umwelteinflüsse, die sich rein auf das Gewicht eines Rohstoffes beziehen, sind daher häufig zu ungenau und lassen beispielsweise Themen wie Regionalität der Produktion ungeklärt.

Wären die Aspekte der nachhaltigen Planung und Ausschreibung so einfach, dass es sich auf ein Siegel oder einen einzelnen Wert herunterbrechen lassen würde, müsste die Branche das Thema heute nicht in dieser Breite diskutieren.

4 Die nächsten Schritte gemeinsam gehen.

Um den Sektor voranzubringen, muss Nachhaltigkeit in allen Bereichen und bei allen Beteiligten umgesetzt werden. Bekenntnisse wie die Ausrufung eines Klimanotstandes sind erste wichtige Zeichen, ersetzen jedoch nicht die eigentliche Tat.

Dafür müssen sich Auftraggeber, Bauunternehmer und Industrie zeitnah eine gemeinsame Diskussionsplattform schaffen. Die heute vorhandenen Bausteine in Planung (z.B. durch Vergleichsberechnungen), Ausschreibung (Werkzeuge des Vergaberechts) und Ausführung (z.B. über Energieaudits) sind ein Anfang. Was fehlt, ist ein gemeinsamer Konsens, um wirklich nachhaltige Planungs- und Ausschreibungsgrundsätze für eine echte „grüne Baustelle" zu entwickeln.

5 Literatur

[1] **Liste deutscher Orte und Gemeinden, die den Klimanotstand ausgerufen haben** (URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_deutscher_Orte_und_Gemeinden,_die_den_Klimanotstand_ausgerufen_haben; zuletzt abgerufen am: 29.11.2022)

[2] **Klimanotstand! Steinzeug als klimafreundliche Alternative – Nachhaltiges Bauen mit grabenlosen Technologien und Steinzeug-Rohren**, Marc-Georg Pater, erschienen im Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, S. 224 ff., Deutschland, 2020

[3] **Nachhaltiger Vortrieb: Ökologischer Fußabdruck grabenloser Bauweisen**, Marc-Georg Pater, erschienen in 3R Ausgabe 09/2022

[4] **Energiewende auf den Baustellen: Großes Potenzial – fehlende Anreize** (URL: https://www.swietelsky-faber.de/de/aktuelles/meldungen/2022/energiewende-auf-baustellen.php, zuletzt abgerufen am: 29.11.2022)

Autor:

Marc-Georg Pater, M.Sc.
Pipelife Deutschland / Steinzeug-Keramo GmbH, Frechen

Tel.: 02234 507 640
E-Mail:
marc-georg.pater@pipelife.com
Internet:
www.pipelife.de



4
Kunststoffrohrsysteme

Schutzrohrsysteme für erdverlegte Hoch- und Höchstspannungskabel

Anforderungen, Eigenschaften und Erfahrungsberichte

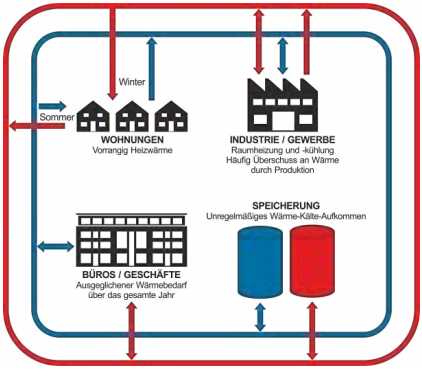
Von Sven Lindner

1 Energieversorgung im Wandel

Die internationale Gemeinschaft hat sich hohe Ziele gesetzt, um zukünftig den umwelt- und somit gesellschaftsbelastenden Klimawandel zu entschleunigen. Hauptkomponente der hierfür erforderlichen Maßnahmen stellt die kurzfristige Minderung der Emission klimaschädlicher Treibhausgase dar. Neben der Entwicklung und dem Einsatz energiesparender Technologien ist eine konsequente Umgestaltung der Energieversorgung an sich erforderlich.



Die Verwendung fossiler Brennstoffe als Rohstoffquelle muss zeitnah durch den Einsatz erneuerbarer Energien (Solar- und Bioenergie, Wind- und Wasserkraft sowie Geothermie) ersetzt werden, um eine umfassende Dekarbonisierung der Energieversorgung sicherstellen zu können. Parallel dazu erfolgt die Entwicklung und der Aufbau eines internationalen Leitungsnetzes für die Verteilung und Speicherung von Wasserstoff, welcher schrittweise in naher Zukunft als klimaneutral-hergestellter Rohstoff die Energieversorgung erheblich bereichern wird.



Moderne, lokale Energiekreisläufe tragen zu einer optimaleren Energieausnutzung bei: Bedarfsangepasste Netzwerke ermöglichen die Einspeisung temporären Energieüberschusses einzelner Teilnehmer und verteilen diese an Verbraucher mit zeitgleichem, höherem Energiebedarf. Zudem können u.a. mittels der neuentwickelten Wasserstofftechnologien z.B. saisonale Gesamtüberschüsse an regional verteilten Standorten gespeichert und für die Einspeisung während energieintensiver Zeiträume (z.B. Winter) vorgehalten werden.

Das durch die neuen Technologien gewonnene Energieaufkommen muss von den - zum Teil weit entfernten - Standorten (z.B. Offshore-Windparks in der Nordsee) bis zum Verbraucher transportiert und verteilt werden.

2 Netzausbau ist Chefsache

Mit Inkrafttreten des Gesetzes zur Beschleunigung des Energieleitungsausbaus (Mai 2019) haben sich Bundeswirtschaftsministerium und Länderenergieministerien mit den großem Netzbetreibern auf konkrete Zeit- und Ablaufpläne für umfassende Netzausbauvorhaben geeinigt.



Das deutsche Strom-Verteilernetz umfasst ca. 1,8 Mio km Länge mit etwa 94.000 km Hochspannungsleitungen. Dieses regional weit verzweigte Leitungsnetz wird von einem ca. 37.000 km langem Übertragungsnetz ergänzt / gespeist, welches mittels Höchstspannungstrassen den Strom vom Erzeuger zu den jeweiligen Verteilerstationen (Umspannwerke) bzw. zu den Übergabestandorten zwischen den einzelnen Netzbetreibern transportiert.

Als Kernstück der neuen Stromversorgung kann die Nord-Süd-Verbindung mit unterschiedlichen Trassenführungen betrachtet werden.

A-Nord: Emden Ost – Osterath / Amprion
(380 kV mit Gesamtlänge ca. 300 km;
Fertigstellung 2025 geplant)

Ultranet: Osterath – Philippsburg / Amprion + TransnetBW
(380 kV mit Gesamtlänge a. 342 km,
Fertigstellung 2024 geplant)

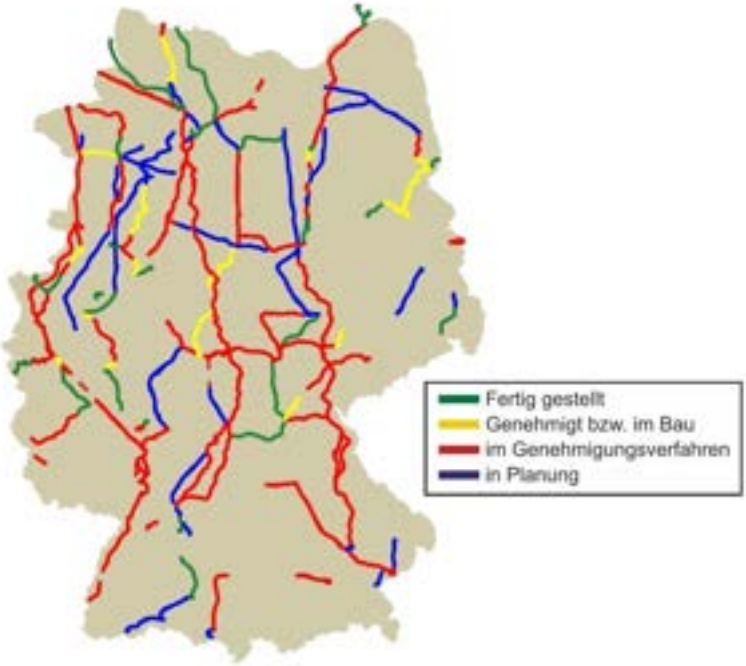
SuedLink: Brunsbüttel – Großgartach / TenneT + TransnetBW
(525 kV mit Gesamtlänge ca. 689 km;
Fertigstellung 2026 geplant)

SuedOstLink: Wolmirstedt – Isar / Tennet + 50Hertz
(525 kV mit Gesamtlänge ca. 538 km;
Fertigstellung 2025 geplant)

Parallel dazu erfolgt eine querende Stromverteilung mittels Hochspannungskabelführungen bzw. die Herstellung von Ersatztrassen im Rahmen erforderlicher Sanierungsmaßnahmen. So werden zum Teil unterbemessene Freileitungen ("Überlandleitungen") durch erdverlegte Kabeltrassen ersetzt sowie deren Kapazität erweitert, um den in Folge demografischen Wandels regional erhöhten Energiebedarf abdecken zu können.

Weiterhin werden zur Gewährleistung einer effizienten Energieauslastung sowie zur Absicherung einer dauerhaft stabilen Stromversorgung bestehende, nationale Stromverteilungen europaweit verbunden und durch neue Netzwerke ergänzt (z.B. Viking Link).

Hoch- und Höchstspannungsnetz Deutschland



Stark vereinfachte Darstellung, basierend auf: Bundesnetzagentur, Quellennachweis: © GeoBasis-DE/BKG 2020

3 Effiziente Verlegetechnologien – Einsatz moderner Kunststoff-Schutzrohrsysteme

Diese neu herzustellenden Trassen werden unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer, umweltpolitischer und wirtschaftlicher Aspekte als erdverlegte Leitungen errichtet, wobei die Hoch- und Höchstspannungskabel in vorab eingebrachte Schutzrohre eingezogen werden. So können zeit-, energie- und kostensparende Technologien aus dem Gewerk "Rohrverlegung" erfolgreich angewendet werden. Diese modernen Techniken stellen jedoch zusätzliche, hohe Anforderungen an Schutzrohrsysteme für den nachträglichen Stromkabeleinzug.

Verlegebedingte Anforderungen / Eigenschaften:
- Gewicht (Dichte)
- Flexibilität (Biegesteifigkeit)
- Verbindungstechniken (Zugfeste und formstabile Verbindungen, Steckverbindungen)
- Eignung für alternative Verlegetechniken (Festigkeit, Dimensionierung)
- Gleiteigenschaften an innerer Oberfläche für Kabeleinzug (Reibungswiderstand)

Betriebsbedingte Anforderungen / Eigenschaften:
- Formstabilität / statische Eigenschaften (Biege- und Ringsteifigkeit, Festigkeit)
- Temperaturbeständigkeit bis 70°
- Wärmeleitfähigkeit (Dichte)
- Elektrische Eigenschaften (Durchschlagfestigkeit, Oberflächenwiderstand)
- Dichtheit gegen Erdfeuchtigkeit und Grundwasser (Verbindungen, Formteile)
- Wurzelfestigkeit (Verbindungen, Formteile)

Nachfolgend werden einige, besondere Anforderungen bzw. Eigenschaften beschrieben, welche über die sonst für Schutzrohre üblichen Beanspruchungen hinausgehen.

Temperaturstabilität und Wärmeableitfähigkeit

Hoch- und Höchstspannungsleitungen werden häufig in Trassen mit 3 parallel verlegten Schutzrohrsträngen in offener Bauweise errichtet. Für diese Variante sind dünnwandige Kunststoffrohre hervorragend geeignet, da in Folge des geringen Gewichts ein zeit- und kostensparender Einbau möglich ist. Darüber hinaus ermöglicht die geringere Rohrwandung einen besseren Wärmestromfluss zur Ableitung der betriebsbedingten, hohen Temperaturen aus dem Rohrinneren. Diese hohen Betriebstemperaturen erfordern jedoch eine hohe Wärmestabilität des Rohrmaterials für die geplante und definierte Bietriebslebensdauer.

Für die geplante Betriebsdauer von 50 Jahren können für übliche Kunststoff-Schutzrohrleitungen folgende, maximale Einsatztemperaturen angenommen werden:

PE → 40°C | PVC-U → 40°C | PP → 60°C | PE-RT → 70°C

Schutzrohre aus Polyethylen (PE-HD+, PE100, PE100-RC bzw. PE-RT) weisen gegenüber Rohren aus PP-H eine höhere Schlagzähigkeit bei niedrigen Temperaturen auf, wogegen letztere auf Grund ihrer hohen Ringsteifigkeit auch bei dünnwandigen Dimensionen eine hohe Formstabilität gewährleisten.

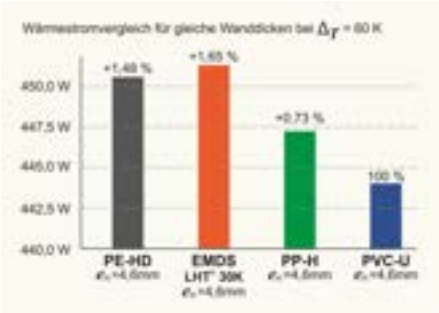


Neben der Erfordernis, stabile Materialeigenschaften bei längerer Temperaturbelastung zu besitzen, muss das eingesetzte Material die im Rohrinneren auftretenden Betriebstemperaturen an die Umgebung ableiten können. Dieser Wärmestromfluss ist unmittelbar von der materialspezifischen Wärmeleitfähigkeit λ sowie der projektspezifischen Rohrdimension (Wanddicke) abhängig. Als einbauspezifische Komponente wirkt sich zudem der Wärmeübergangskoeffizient α aus, dessen Wert vom jeweiligen Rohrmaterial und der tatsächlichen Rohrumgebung im eingebauten Zustand abhängig ist. Die Intensität der real stattfindenden Wärmeableitung wird jedoch betriebsbedingt – sich permanent ändernd – vom Temperaturgefälle zwischen Rohrinnerem und der unmittbaren Umgebung bestimmt.

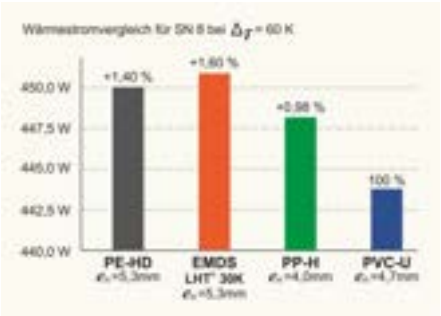
Ausgehend von äquivalenten Einbau- und Betriebsbedingungen können somit die reinen materialspezifischen Parameter als Grundlage einer tendenziellen Beurteilung des Wärmeleitverhaltens verschiedener Kunststoffe ausschlaggebend sein. Hierfür wurden die für Kunststoff-Schutzrohrsysteme üblich eingesetzten Materialien PVC, PP, PE-HD sowie ein hochtemperaturstabiler, wärmleitungs-optimierter PE-RT-Werkstoff (EMDS LHT® 30K) bewertet.

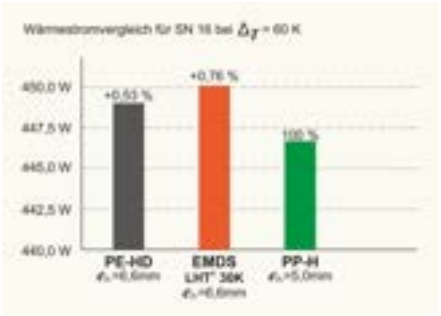
Für nachfolgend aufgeführten Beispieldiagramme zur Darstellung des Wärmestromverhaltens der einzelnen Werkstoffe wurden Rohre der Dimension DA 110mm bei einem Temperaturgefälle von 60 K zu Grunde gelegt.

Da die materialspezifischen Unterschiede sehr gering sind, werden die Ergebnisse als prozentuale Steigerung auf Basis des jeweils niedrigsten Wertes dargestellt.



Trendlinien für Ringsteifigkeitsbezogene Dimensionen





Schutzrohrsysteme für alternative Verlegetechniken

Einzelne Abschnitte der neu zu errichtenden Kabeltrassen werden mit grabenlosen Techniken hergestellt (Steuerbares, horizontales Spülbohrverfahren). Die hierfür einzusetzenden Rohre können somit nicht mittels dimensionserweiternden Formteilen (Muffen), sondern müssen im Heizelement-Stumpfschweißverfahren verbunden werden. Um die für den verlegebedingten Rohreinzug erforderlichen Zugkräfte zu gewährleisten, müssen die Rohre in ihrer Wanddicke je nach Anwendungsfall ausreichend dimensioniert sein.

Zur Gewährleistung eines barrierefreien Innen-Ringraumes für den späteren Kabeleinzug können diese dickwandigen Leitungsabschnitte mittels projektspezifischer Formteile an die offen verlegten, dünnwandigen Rohrstränge angeschlossen werden.

Schutzrohrsysteme aus PE sind sowohl für die Verlegung im Spülbohrverfahren, für die Verlegung im offenen Graben als auch für die Herstellung angepasster Formteile hervorragend geeignet.



EMDS LHT® Sonderformteil SDR-variable Reduktion

Hochwertige Verbindungstechniken

Verbindungsstellen in Schutzrohrleitungen müssen folgende Eigenschaften besitzen:
- ausreichend Auszugsfestigkeit für die Beanspruchung während der Verlegung
- Dauerhafte Dichtheit gegen nichtdrückende Erdfeuchtigkeit
- Erhöhte Dichtheit gegenüber temporär drückender Feuchtigkeit (z.B. in hochwassergefährdeten Gebieten bzw. stark-wechselnden Grundwasserzonen)
- Dauerhafte Wurzelfestigkeit
- Umfassende Chemische Widerstandsfähigkeit
- Dauerhafte Temperaturstabilität
- Gewährleistung eines barrierefreien Ringraumes für Kabeleinzug

Bei üblicher Verlegung im offenen Graben und und keinen weiteren, besonderen Anforderungen können dünnwandige Kunststoffrohr mittels Steckmuffen verbunden werden. Angesichts der zu erwartenden, hohen Temperaturen beim Betrieb von Hoch- bzw. Höchstspannungstrassen ist somit der Einsatz von Rohr- und Formteilsystemen zu empfehlen, welche auf Polyproylen bzw. Polyethylen mit RT-Eigenschaften basieren. Bestehen erhöhte Anforderungen in Folge besonderer Einbaubedingungen (drückendes Grundwasser, starke statische Beanspruchung, erhöhte, verlegebedingte Zugbelastung des vormontierten Rohrstranges), können die Verbindungen durch hoch-belastbare, stoffschlüssige Verfahren (Stumpf- / Muffenschweißungen) ausgeführt werden.

Auftriebsverhalten von Leer-Rohrsystemen

Schutzrohre müssen wie freispiegelnde Kanalrohre mit einer hohen Lagestabilität verlegt werden, um einen später stattfindenden, optimalen Kabeleizug zu gewährleisten. Je nach Beschaffenheit des umgebenden Verfüllungsmaterials bzw. eventuell häufigen Wechsels des Grundwasserspiegels können daraus resultierende Auftriebskräfte zu einem unkontrollierten Anheben der Rohrstränge führen. Zur Vermeidung solch unerwünschter Effekte müssen die Rohrleitungen je nach Lastfall ausreichend in ihrer Lage gesichert werden. Temporär eingesetzte "Gewichte" (z.B. wiederverwendbare Stahlträger oder Betonelemente) können für

die Dauer der Verfüllung die nötige, auftriebshemmende Auflast bringen. Hierfür muss jedoch das eingesetzte Verfüllungsmaterial im eingebauten Zustand eine permanente Auftriebssicherung im Falle wechselnder Grundwasserverhältnisse gewährleisten.



Für eine dauerhafte Vermeidung auftriebsbedingter Rohrverschiebungen empfiehlt sich der Einsatz projektspezifisch gefertigter Profilelemente (z.B. bewehrter Beton), welche zudem eine axiale Rohrstrangfixierung gewährleisten. Je nach Lastfall müssen die Elemente zusätzlich durch Erdankerung gesichert werden.

EMDS LHT® Sonderformteil Beton-Auftriebssicherung

Gleiteigenschaften für späteren Kabeleinzug

Der Rauheitsgrad einer Oberfläche sagt nicht zwingend etwas über die tatsächlich zu erwartenden Reibungskräfte beim Kabeleinzug aus. So können unter Umständen nicht-glatte Flächen reibungsmindernd wirken, da die eigentliche Kontaktfläche zwischen den aneinanderreibenden Körpern unterbrochen bzw. verringert wird. Dagegen können nahezu glatte Flächen je nach Materialbeschaffenheit sogar hohe Haftreibungswerte verursachen (z.B. sehr glatte Stahl- und Glasplatten zueinander) → "Adhäsion".

Die Oberflächenrauheiten der üblichen Schutzrohre aus Kunststoff (PVC, PP, PE-HD, PE-RT) weisen zueinander nur geringe Unterscheide auf, sodass die Gleiteigenschaften einzuziehender Kabel vorrangig von nachfolgenden Parametern bestimmt werden.

- der spezifischen Kombination der Material- und Oberflächenbeschaffenheiten der aneinanderreibenden Körper (Rohrinnenseite und mantelmaterial des Kabels)
- den jeweils tatsächlich vor Ort herrschenden Einbaubedingungen (Temperatur, Feuchte, etwaig vorhandene Streuung von Partikeln mit "schmierenden" Eigenschaften)
- den tatsächlich wirkenden Kräften (Bewegungs- und gewichtsabhängige Anpresskraft)
- der Ringraumgeometrie sowie der Dimensionierung der einzuziehenden Kabel
- dem axialen Trassenverlauf (große sowie dimensionskonforme Biegeradien)

Einsatz von Kunststoff-Schutzrohrsystemen für Hoch- und Höchstspannungskabelleitungen

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass für die Errichtung von erdverlegten Kabelschutztrassen Rohrsysteme aus PP und PE-RT eignen. Die geforderte Temperaturstabilität kann gewährleistet werden, wobei die genannten Materialien ähnliche Wärmeleitungseigenschaften besitzen. Dünnwandige PP-Rohre verfügen über eine gute Ringsteifigkeit, währendessen sich Rohre aus PE-RT mit den spezifischen biegeweichen Eigenschaften als sehr verlegefreundlich bezeichnet werden können.
PP-Rohrsysteme stehen mit einem umfangreichen Standard-Formteilprogramm zur Verfügung – vorrangig als Steckmuffensystem für die offene Grabenverlegung.

Schutzrohrsysteme aus PE-RT sind für kosten- und zeitsparende, alternative Verlegetechniken mit erhöhten Anforderungen an das Material sowie für den Einbau unter besonderen, geotechnischen Beanspruchungen hervorragend geeignet.

Das hochtemperaturstabile Schutzrohrprogramm EMDS LHT® System wurde für die besonderen Anforderungen an Kabelschutzrohre für Hoch- und Höchstspannungsleitungen explizit angepasst. Durch eine anwendungsorientierte Werkstoffmodifikation wurden einsatzspezifische Eigenschaften optimiert (Temperaturbeständigkeit, erhöhte Wärmeleitfähigkeit sowie verbesserte Gleitreibungseigenschaften).

Ein umfangreiches Sortiment von Sonderformteilen gewährleistet die Planung und Ausführung projektspezifischer Ausführungsvarianten. So kann die Verlegung in jedem Trassenabschnitt mit dem jeweils wirtschaftlichsten Verfahren erfolgen. Mittels speziell gefertigter Adapter- und Übergangsstücke können die verschiedenen Rohrdimensionen und -geometrien so verbunden werden, dass der erforderliche Ringraum für einen späteren, barrierefreien Kabeleinzug gewährleistet wird. Systemergänzende Formteile und Hilfsmittel ermöglichen zudem die Optimierung von Verlegetechnologien bei der Trassenerrichtung.







Fazit

Die Kunststoffrohrindustrie ist für die Umgestaltung der Energieversorgung gewappnet und ermöglicht mit vielseitigen und umfassenden Schutzrohr- und Formteilsystemen die Errichtung der geplanten Trassenführungen mittels wirtschaftlicher und umweltfreundlicher Verlegeverfahren.

Autor:

Staatl. geprüfter Techniker
Leiter AWT / Zertifizierung RLS
Sven Lindner
Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG,
01844 Neustadt i.Sa

Tel.: 03596 58 33 71
E-Mail: s.lindner@gerodur.de
Internet: www.gerodur.de



Nachhaltige Lösungen mit Kunststoffrohrleitungen

Von Bernd Schuster

GF Piping Systems ist führende Anbieterin von Durchflusslösungen für den sicheren und nachhaltigen Transport von Gasen und Flüssigkeiten. Das Schweizer Unternehmen ist dabei auf branchenführende, leckagefreie Rohrleitungssysteme für verschiedene anspruchsvolle Marktsegmente aus Kunststoff spezialisiert. Neben Fittings, Ventilen, Rohren, Automation, Fertigungs- und Verbindungstechnik, bietet GF Piping Systems mit „Specialized Solutions“ auch umfangreiche Dienstleistungen rund um die Produkte an.

In ihrem globalen Handeln stützt sich GF Piping Systems auf die Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals) der Vereinten Nationen, insbesondere für Bereiche wie nachhaltige Städte und Gemeinden, nachhaltige/r Konsum und Produktion, hochwertige Bildung sowie Industrie, Innovation und Infrastruktur.

1 Was leistet GF Piping Systems für die Nachhaltigkeit?

In den 220 Jahren, die das Unternehmen erfolgreich am Markt ist, haben sich die Bedürfnisse von Kunden und auch von GF Piping Systems stark verändert. Auf der einen Seite ist die technische Komplexität insbesondere bei industriellen Anwendungen enorm gestiegen. Vor allem aber bewegt die Klimakrise immer mehr Industrien zu einem Wandel. Im Zuge dessen überdenken viele Unternehmen ihre Prozesse, während Umweltauflagen immer weiter verschärft werden. Auch GF Piping Systems hat das Thema Nachhaltigkeit fest in ihrer Strategie 2025 verankert.
Im Hinblick auf Rohrleitungssysteme hat dieses weltweite Umdenken zur Folge, dass sowohl industrielle Unternehmen als auch Versorger ihre Netzwerke optimieren müssen, um den Umgang mit Ressourcen und Energie so nachhaltig wie möglich zu gestalten. Ziel ist es dabei, ein Gleichgewicht zwischen Langlebigkeit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz zu erreichen.
Wenn Kunden heute ein neues Projekt beginnen, gehen sie daher auf eine komplexe Reise – der Unternehmensbereich Specialized Solutions von GF Piping Systems kann sie in allen Projektphasen unterstützen. Hier ist es besonders wichtig, schon in der Planungsphase zusammenzufinden. GF Piping Systems bietet vielfältige Planungsunterstützung durch ein komplettes Sortiment an Digitalen Planungsbibliotheken für verschiedenste Design Systeme an und gibt Kunden mit Hilfe von globalen und regionalen Advanced Engineering Teams eine wichtige Hilfestellung. Im nächsten Schritt geht es darum, die Zeitplanung des Projektes genau einzuhalten und auf der Baustelle bestenfalls Zeit zu sparen. Insbesondere das Off-Site Manufacturing, die industrielle Vorfertigung, bietet in dieser Phase viele Möglichkeiten und kann auch Herausforderungen wie dem Fachkräftemangel entgegenwirken.
Das Hauptaugenmerk liegt jedoch im letzten Schritt auf der Absicherung der Installation durch Dokumentation und Inspektionen. Außerdem müssen Kunden bei der Installation oftmals auf lokale Kräfte zurückgreifen, was bedeutet, dass diese entsprechend ausgebildet sein müssen, um die Arbeiten angemessen durchzuführen.

2 Zwei Fallbeispiele

2.1 Raffinerie

Im mittleren Osten erhielt eine Ölraffinerie ein Upgrade. Hier wurden mehrere unterirdische Wasserleitungen für die Brandbekämpfung von Metall auf das Polyethylen-Rohrleitungssystem ecoFIT von GF Piping Systems umgestellt. Insgesamt konnten so rund 167 Tonnen CO2 eingespart werden. Ausschlaggebend für den Erfolg des Projektes war jedoch nicht nur die Wahl von korrosionsfreien und langlebigen Materialien, sondern vor allem die Planungsunterstützung. Hier war Specialized Solutions in der Lage, alle Anforderungen der Ausschreibung zu erfüllen. Mit Hilfe von Simulationen, Stressanalysen und dem zerstörungsfreien Testen der Komponenten konnte GF Piping Systems auf die spezifischen Bedürfnisse des Kunden eingehen.



Bild 1: Beispiel eines statischen Nachweises und einer Lastfall-Simulation.

2.2 Rechenzentrum

In einem Rechenzentrum einer deutschen Universität konnten 320 Tonnen CO2 bei der Prozesskühlung eingespart werden, indem die bisherigen Rohrleitungen aus Metall durch das vorisolierte COOL-FIT Kunststoffsystem von GF Piping Systems ersetzt wurden. Erzielt wurde diese Verbesserung nicht nur durch die Langlebigkeit der installierten Materialien, sondern auch durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von Kunststoff, die gemeinsam mit der Konstruktion von COOL-FIT für eine deutlich höhere Energieeffizienz sorgt. Somit hat das neue Rohrleitungssystem einen geringeren CO2-Fußabdruck pro Meter. Auch hier konnte Specialized Solutions durch Dienstleistungen wie Spannungsberechnungen oder die Ausbildung von Installateuren auf die Bedürfnisse des Kunden eingehen und so die Umstellung von Metall auf Kunststoff erfolgreich unterstützen.

3 Die Nachhaltigkeit von Kunststoff

Während die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von Rohrleitungssystemen durch eine Vielzahl von Faktoren in allen Projektphasen beeinflusst wird, hat die Wahl des Materials dennoch einen erheblichen Einfluss auf den CO2-Fußabdruck. So produziert PE100 beispielsweise ein Drittel weniger Emissionen als Kohlenstoffstahl. Neben der Verarbeitung der Rohstoffe spielt dafür die Langlebigkeit von Kunststoff (bis zu 100 Jahre und z.T. mehr), der effiziente Transport aufgrund des geringeren Gewichts und der Einsatz recycelbarer Materialen eine wichtige Rolle. Jedoch ist die Nachhaltigkeit nur dann gegeben, wenn die Planungs- und Installationsphasen erfolgreich waren und Kunststoffrohrleitungssysteme dadurch ihre volle Lebensdauer erreichen können. Wenn Komponenten mit einer geplanten Lebensdauer von 20 Jahren bereits nach 10 Jahren ersetzt werden müssen, ist die primäre Einsparung durch die Materialwahl gefährdet.

Es gibt aber auch Kunststoffe wie PVDF, die in Bezug auf die eingesetzten Rohstoffe und Herstellungsverfahren auf den ersten Blick keine gute CO2-Bilanz haben. Allerdings hat Hanspeter Müller in seinem Vortrag auf der UPMicro Konferenz 2021 gezeigt, dass solche Materialien dennoch Vorteile haben. Untersuchungen an 20 Jahre alten PVDF-Systemen in Reinstwasseranlagen für der Halbleiterfertigung haben ergeben, dass sie in einem nahezu neuwertigen Zustand waren. Metallische Rohrleitungssysteme hätten in diesem Zeitraum vermutlich mehrfach ersetzt werden müssen, da die Reinheitswerte nicht mehr gegeben wären. Trotzdem gibt es für eine erleichterte Planung inzwischen einige CO2-Rechner, mit denen die Nachhaltigkeit verschiedener Kunststoffrohrleitungssysteme direkt verglichen werden kann.



Bild 2: Der CO2-Rechner von GF Piping Systems

4 Der Ablauf eines Projekts

Wie geht man vor, wenn man sich mit Metall auskennt, aber in einer bestimmten Anwendung auf Kunststoff wechseln möchte?

1. Zunächst einmal benötigt man Bibliotheken, mit denen man seine bestehenden Plant Design oder Building Information Modeling Planungssysteme wie INTERGRAPH SmartPlant, AVEVA PDMS, Autodesk REVIT, etc. befüllen kann. Um Kunden von einem Umstieg zu überzeugen, sind kompatible Daten für die Planung, den Bau und die Wartung von Projekten unabdingbar und müssen auf die unterschiedliche Komplexität der Software eingehen. Zudem spielen technische Entwicklungen wie Augmented und Virtual Reality in dieser Phase immer mehr eine Rolle.

2. Nun geht es darum, den Umgang mit Kunststoff zu erleichtern, da einige Industrien noch nicht mit Kunststoff gearbeitet haben und es zum Teil falsche Vorstellungen von den Materialien gibt. Dies kann man im Bereich Advanced Engineering überwinden, indem man Kunden von Anfang an zum Erfolg führt. Experten können vor allem bei anspruchsvollen Anwendungen unterstützen, wie z.B. Rohrleitungen, die vom Inneren eines Gebäudes nach draußen führen, schwankende Temperaturen der zu transportierenden Medien, Temperaturunterschiede zwischen Installation und Inbetriebnahme, Chemikalien welche Abminderungen der maximalen Langzeitbelastung für die manche Kunststoffe bewirken, sowie bei sehr langen Steigleitungen. Vor allem wenn zwei oder mehr dieser Bedingungen vorherrschen, ist es ratsam, Experten mit einzubeziehen. In der Praxis erhält GF Piping Systems dann isometrische Zeichnungen in den verschiedensten vorgegebenen Formaten. Die Projektdaten durchlaufen eine Stressberechnung in einem eigenen Softwaremodul, bevor die Kunden anschließend einen Report erhalten. Dieser gibt an, ob die ursprüngliche Planung umsetzbar ist, bzw. ob Änderungen nötig sind.

3. Um auf der Baustelle Zeit zu sparen und Kunden, die noch nicht mit Kunststoff gearbeitet haben, zu unterstützen, bietet GF Piping Systems an weltweit 17 Standorten eine Vorfabrikation an. Komplexe Verarbeitungsschritte auf der Baustelle fallen weg, es bleibt nur noch eine einfache Installation vor Ort. Zu den typischen Kundensegmenten der Vorfabrikation gehört die Wasseraufbereitung, der Schiffsbau, große Rechenzentren, der Energiesektor oder die Halbleiterindustrie. Ziel ist es immer, mit dem Standort der Ausführung möglichst nah am Kunden zu sein und eng zusammenzuarbeiten. Bei sehr großen und komplexen Projekten ist es allerdings auch möglich, die Kapazitäten mehrerer Standorte zu nutzen. Zwar ist der Transport über weite Strecken in diesem Fall nicht immer nachhaltig, jedoch erfordern manche Projekte viele Ressourcen und Flexibilität, um auch enge Zeitschienen und eine bestmögliche Qualität einhalten zu können.



Bild 3: Mit ihrem globalen Netzwerk ist GF Piping Systems in der Lage, Baugruppen für eine schnellere Installation vorzufertigen.

4. Einer der wichtigsten Bausteine im Projektablauf ist die Qualitätsabsicherung, und hier liegt der Fokus klar auf den Bereich Training. Dafür hat GF Piping Systems ein globales Trainingskonzept entwickelt, das stufenweise funktioniert. Von Laien, die in die Welt des Kunststoffes eingeführt werden, über Fortgeschrittene, die bereits mit Produkten von GF Piping Systems gearbeitet haben, bis hin zu zertifizierten Spezialisten, werden unterschiedliche Zielgruppen angesprochen. Die Zertifizierung von individuellen Verarbeitern ist vor allem in Ländern wichtig, in denen es keine offiziellen Ausbildungskonzepte wie mehrjährige Berufslehren gibt und ist jeweils 24 Monate gültig. Begleitet werden Teilnehmer von eigenen Trainern, die regelmäßig von „Training Champions“ auditiert werden und dafür sorgen, dass Installationen weltweit auf einem vergleichbaren Niveau durchgeführt werden. Das Training selbst besteht aus einem E-Learning Modul, das als theoretische Einführung dient, einem Hands-on Training, um die Haptik von Produkten und Prozessen zu erleben, sowie der Zertifizierung, bei der Teilnehmer eine Aufgabe lösen müssen. Virtual Reality wird ein zunehmend wichtiger Teil dieses Trainings, da sich insbesondere Installationsabläufe sehr gut üben lassen, zudem wird auch eine jüngere Generation gezielt angesprochen.



Bild 4: GF Piping Systems bietet auf der ganzen Welt strukturierte Trainingskonzepte für unterschiedliche Kenntnisstände.

5. Nach einer abgeschlossenen Installation durch ausgebildete Kräfte bleibt jedoch die Frage, wie sich die Qualität messen lässt. GF Piping Systems bietet dafür das zerstörungsfreie Prüfen per Ultraschall an. Zum einen können Komponenten auf Wunsch schon während der Vorfabrikation überprüft werden, gleichzeitig ist es auch möglich, vor Ort auf der Baustelle Kontrollen der Rohrleitungssysteme vorzunehmen. Nicht zuletzt setzt sich GF Piping Systems weltweit durch Vorführungen und das Teilen von Best Practices dafür ein, das Bewusstsein für diese effiziente und schonende Technologie auszuweiten.



Bild 5: Durch zerstörungsfreies Prüfen per Ultraschall lässt sich die Qualität von Rohrverbindungen schnell und zuverlässig evaluieren.

5 Zerstörungsfreies Prüfen in der Praxis:

Mit knapp 3.000 Sonnenstunden im Jahr ist Tahiti ein beliebtes Reiseziel. Für das Centre Hospitalier de Polynésie française (CHPF) in der Hauptstadt Papeete ist das tropische Klima aber auch eine Herausforderung, denn das Krankenhauszentrum ist auf eine effiziente Klimatisierung angewiesen. Die Antwort ist eine SWAC-Klimaanlage, die nach einem simplen Prinzip funktioniert: Ein Rohrleitungssystem pumpt kühles Meerwasser mit einer Temperatur von rund 5°C zu einer nahegelegenen Einrichtung, die es zum Klimatisieren nutzt. Das durch den Prozess auf ca. 12°C aufgewärmte Wasser wird dann zurück ins Meer geleitet. Für das Krankenhauszentrum in Papeete ist allerdings ein 3.800 Meter langes Rohrleitungssystem in 900 Metern Tiefe notwendig – damit ist sie die längste SWAC der Welt.

Da der Meeresboden vor der Küste uneben ist, bestand während des Projektes die Gefahr, dass mechanische Spannungen an den Rohrwänden zu Schwachstellen in den Schweißnähten führen könnten. Aus diesem Grund fiel die Wahl auf ein Rohrleitungssystem aus Kunststoff. GF Piping Systems lieferte als Partner des Projektes die Elektroschweißgeräte und Stumpfschweißmaschinen für die Verbindung der Polyethylenrohre und erhielt den Auftrag, die Qualität der Schweißnähte mit einer zerstörungsfreien Ultraschallprüfung (NDT) sicherzustellen. Insgesamt

konnte der Unternehmensbereich Specialized Solutions 400 Schweißnähte überprüfen und freigeben, sodass nun 5.000 Tonnen CO2 sowie 12GWh Strom pro Jahr eingespart und damit die Energiekosten um 2,9 Millionen Euro gesenkt werden.

Autor:

Bernd Schuster
GF Piping Systems, Schaffhausen (Schweiz)

Tel.: +41796199848
E-Mail:
bernd.schuster@georgfischer.com
Internet:
www.gfps.com



Kunststoffrohre für eine bessere Zukunft

Nachhaltige Ver- und Entsorgungssysteme im Siedlungsbau

Von Oliver Denz

Mit der im Jahr 2015 verabschiedeten Agenda 2030 hat sich die Weltgemeinschaft unter dem Dach der Vereinten Nationen zu 17 globalen Zielen (SDG´s) für eine bessere Zukunft verpflichtet. Leitbild der Agenda 2030 ist es, weltweit ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen und gleichzeitig die natürlichen Lebensgrundlagen dauerhaft zu bewahren. Dies umfasst ökonomische, ökologische und soziale Aspekte. Dabei unterstreicht die Agenda 2030 die gemeinsame Verantwortung aller Akteure: Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft – und jedes einzelnen Menschen.

Diese globalen Ziele, sowie die 10 Prinzipien des Global Compact der UN bildeten die Grundlage für die Nachhaltigkeitsaktivitäten der Westfälischen Kunststofftechnik GmbH in Sprockhövel. Das Unternehmen ist ein mittelständischer Hersteller von Kunststoffrohren und befindet seit Gründung in Familienbesitz. Den Gesellschaftern und der Geschäftsleitung ist es wichtig, dass Unternehmen und die Produkte in Verantwortung für die Zukunft und die nachfolgenden Generationen auszurichten.



Bild 1: 3 Säulenmodell der Nachhaltigkeit

Seit 2021 ist die WKT daher Unterstützer und Unterzeichner des UN Global Compact – der weltweit größten und wichtigsten Initiative für nachhaltige und verantwortungsvolle Unternehmensführung. Zusammen mit den Mitgliedern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft hat sich die WKT verpflichtet, ihre Geschäftstätigkeiten und Strategie an den nachhaltigen Prinzipien aus den Bereichen Menschenrechte, Arbeitsnormen, Umweltschutz und Korruptionsbekämpfung auszurichten. Von unseren Führungskräften getragen, bietet uns der UN Global Compact einen praxisorientierten Rahmen zur Entwicklung, Umsetzung und Offenlegung von Nachhaltigkeitsstrategien und -praktiken.

Im Rahmen eines Fortschritts- und Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht die WKT regelmäßig die unternehmensinternen Zielsetzungen und abgeleiteten Maßnahmen.



Bild 2: Fortschritts- und Nachhaltigkeitsbericht der WKT

Die Schwerpunkte der aktuellen Aktivitäten der WKT bewegen sich im Bereich der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit.

1 Soziale Nachhaltigkeit

Das Unternehmen erklärt die volle Unterstützung für den Schutz und die Stärkung der Menschenrechte und stellt sicher, dass alle Qualitätsstandards und Branchenverpflichtungen, sowie geltendes nationales und internationales Recht eingehalten werden.
Darüber hinaus verurteilt die WKT jegliche Form von Korruption, Erpressung und Bestechung. Wir sind davon überzeugt, dass Transparenz, ehrliche Kommunikation, Partnerschaftlichkeit und Fairness die Hauptsäulen eines langfristigen Erfolges sind. Dazu werden selbstverständlich auch jegliche geltende Datenschutzpflichten gewahrt und umgesetzt.

Das wichtigste Gut eines Unternehmens sind ihre Mitarbeiter/-innen. Die Gesellschafterfamilie der WKT ist stolz auf das positive Miteinander in der Firma, das sich auf exzellentem Teamwork und einer starken Identifikation mit dem Unternehmen begründet. Um diese gute Atmosphäre zu bewahren, wird großer Wert auf die Einhaltung von guten und vor allem sicheren Arbeitsbedingungen gelegt. Ziel soll es sein, Arbeitsplätze zu bieten, an denen sich die Mitarbeiter/-innen wohlfühlen und motiviert produktiv sein können. Die Gleichstellung von Mann und Frau ist für uns dabei selbstverständlich. Bei der WKT wird Diversität großgeschrieben und lässt keinen Platz für Diskriminierung.



Bild 3: Die Energiescouts der WKT

Kontinuierliches Lernen und Gesundheit sind Grundbedürfnisse aller Menschen. Insbesondere die Ausbildungsaktivitäten und regelmäßigen Weiterbildungsangebote (z.B. Energiescout-, EDV-, Sprach- oder Technik-Schulungen) für alle Mitarbeiter/-innen entsprechen unserem Anspruch der Gesellschaft vielseitige Entwicklungsmöglichkeiten bereitzustellen. Bei der WKT gibt es außerdem Sportangebote, Bewegungs- und Ernährungsberatungen und ein Finanzierungsmodell für Fahrräder.

2 Ökologische Nachhaltigkeit

Sowohl der Einsatz als auch der Umgang Energieressourcen sind bedeutenden Themen für die WKT. Bereits im Jahre 2014 wurde daher ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 eingeführt, welches die kontinuierliche Optimierung der Energieeffizienz sowie die damit verbundene nachhaltige Senkung der Treibhausgas-Emissionen sicherstellt. In Folge bereits eine Vielzahl an Verbesserungs-maßnahmen in den Produktions- und Verwaltungsprozessen umgesetzt.

So wird zum Beispiel heute die in unserer Produktion freiwerdende Wärmeenergie aus den Extrudern durch einen speziellen Wasserkreislauf "konserviert" und zur ressourcensparenden Erwärmung unserer Niedrigtemperaturheizung genutzt. Diese sorgt mit ihrem enormen Wirkungsgrad für die Wärme-versorgung in der Verwaltung und Produktion.

Des Weiteren bezieht die Westfälische Kunststofftechnik seit Beginn des Jahres 2020 zu 100% "Ökostrom", elektrische Energie aus klimaneutralen Energiequellen. Zusätzlich stellt das Unternehmen die Fahrzeugflotte fortlaufend auf Elektromobilität um, sodass die gesamten Treibhausgas-Emissionen auf ein Minimum reduziert werden.

Ausgebildete Energiescouts decken regelmäßig weitere Optimierungspotentiale auf und stellen die Umsetzung der nötigen Maßnahmen sicher. Das langfristige Ziel ist die Entwicklung eines klima-neutralen Produktionsunternehmens.



Bild 4: Die Elektrotankstelle der WKT

3 Ressourcenkreisläufe

Der wichtigste Ansatz zur Erreichung einer ökologisch nachhaltigen Wertschöpfung liegt in der Schließung von Kreisläufen. Nur dann können eingesetzte Ressourcen wiederkehrend genutzt und so die Energie- und Ressourceneffizienz gesteigert werden. In Bild 5 wird erkennbar, wie die WKT, ihre gesamte Branche, andere Kunststoffverarbeiter und Rohstoffhersteller die Schließung der Ressourcenkreisläufe fördert. Es werden wiederverwertbare Verpackungsmaterialien eingesetzt, Kunststoffe vor und nach der Nutzungsphase aufbereitet und regranuliert. Außerdem weisen Kunststoffrohre nach ihrer Herstellung eine Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren auf, die den Wert der geschlossenen Ressourcenkreisläufe noch einmal steigert.

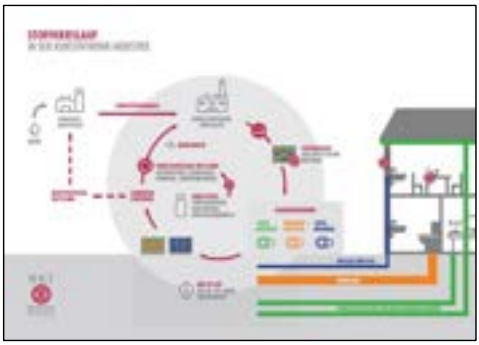


Bild 5: Stoffkreislauf in der Kunststoffrohrindustrie

4 Umweltfreundliche Produkte

Der Markt insbesondere im öffentlichen Vergabebereich verlangt in Zukunft deutlich stärker eine Berücksichtigung von Umweltaspekten bei der Vergabe von öffentlichen Aufträgen. Auf der Internetseite des Bundesumweltamtes (www.umweltbundesamt.de) finden sich dazu umfassende Verwaltungsvorschriften und Regelungen.

In Marktbefragungen des Kunststoffrohrverbands KRV e.V. in Bonn wurden immer wieder im Rahmen der Abfrage von Trends und Entwicklungen die Punkte „Umweltaspekte“, „Kreislaufwirtschaft“, „Einfache Verlegung von Rohrsystemen“ und „Alternative Werkstoffe“ als Fokusthemen der weiteren Entwicklung des Marktes genannt.

Kunststoffrohre verfügen bereits heute über viele Eigenschaften, die auf die Nachhaltigkeit einzahlen:

- Die Herstellung und Bearbeitung von Kunststoffrohren finden bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen statt.
- Auch die Herstellung der Grundrohstoffe erfolgt im Niedrigtemperaturbereich. Das bedeutet, dass ein Kunststoffrohr in der Produktion, verglichen mit Rohren aus anderen Werkstoffen, energetisch viel weniger intensiv ist und folglich weniger Emissionen verursacht.
- Kunststoffrohre sind verhältnismäßig leicht und verursachen deutlich weniger Emissionen beim Transport.
- Zwar scheint die Entsorgung von Kunststoffrohren energetisch aufwendiger, jedoch können bei diesen Prozessen Kunststoffe für eine erneute Verwendung aufbereitet werden. Die Möglichkeit des relativ einfachen Recyclings von Kunststoffrohren stellt aus Nachhaltigkeitssicht einen enormen Vorteil gegenüber anderen Werkstoffen dar.
- Die Emission von Mikroplastik ist bei der Verwendung von Kunststoffrohren kaum nachweisbar. Besonders ausschlaggebend ist dabei die hohe Abriebfestigkeit der Kunststoffrohre.
- Darüber hinaus ist ein Kunststoffrohr mit einer möglichen Nutzungsdauer von mehr als 100 Jahren sehr langlebig.
- Abgerundet wird das Produktprofil von hohen Qualitätsstandards, gesichert über eine Vielzahl von Zertifikaten, vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und einem fairen Preis-Leistungsverhältnis.

5 Entwicklung nachhaltiger Rohstoffe und Einsatzgebiete

Langfristiges Ziel ist der WKT ist es, enger Partner und initialer Anwender bei der Entwicklung nachhaltiger Werkstoffe zu sein. Die WKT beschäftigt sich regelmäßig mit neuen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, die aus nachwachsenden Ressourcen gewonnen und unsere standardmäßigen Produktbestandteile langfristig ergänzen werden.

Außerdem suchen wir in Zusammenarbeit mit unseren Rohstoffherstellern, Lieferanten und Kunden, immer wieder nach innovativen, nachhaltigen Einsatzgebieten für Kunststoffrohre. Dabei geht es darum, aktiv Markttrends erkennen und mitzugestalten.

Heute bereits lieferbare Kunststoffrohrsysteme unterstützen den Anwender bei der Aufgabe, zukunftssichere und nachhaltige Ver- und Entsorgungsleitungen zu installieren und zu betreiben.

Dazu zählen z. B. die heutigen Kunststoffrohrsysteme für die Gasversorgung. Ob im Niederdruckbereich beim Einsatz moderner Rohrsysteme aus PE 100RC oder im Hochdruckbereich bei der Installation von Leitungen aus dem Hochleistungskunststoff PA 12. Die Anforderungen

an die Integrität die sich aus der Veränderung der Gasversorgung der Zukunft aus Erdgas, Biomethan, synthetischem Gas und Wasserstoff an die Rohrmaterialien ergeben, werden bereits heute erfüllt.



Bild 6: Grabenlose Verlegung von Gashochdruckleitungen aus PA 12

Auch in der kommunalen Entsorgung entwickelt sich der Einsatz von Kunststoffrohren weiter fort. Die Westfälische Kunststofftechnik favorisiert hier geschweißte Freispiegelrohrsysteme, die aufgrund ihrer stoffschlüssigen Verbindungstechnik höchste Betriebssicherheit sicherstellen.



Bild 7: geschweißte Abwasserleitungen aus PE 100

Auch in der Gewinnung und Nutzung regenerativer Energien spielen Kunststoffrohre aufgrund Ihrer hervorragenden thermischen Eigenschaften und einfachen Verlegearten eine große Rolle. Starken Zuwachs erfährt dabei die Installation von „kalten Nahwärmenetzen“. Dabei wird zunächst durch Geothermiebohrungen die erneuerbare Energie zentral gefördert und dann anhand von Kunststoffrohrsystemen an die einzelnen Wärmepumpen der Verbraucher verteilt.

Gleichzeitig kann entstehende Abwärme in das Sondenfeld wieder zurückgeführt werden. Dadurch können die angeschlossenen Gebäude im Winter geheizt und im Sommer gekühlt werden. Durch die gemeinschaftliche Erschließung und zentrale Nutzung der Tiefenbohrungen entstehen Kostensynergien für die Bauherren. Der Betrieb der Wärmepumpen erfolgt ausschließlich durch Ökostrom. Dadurch ist der Betrieb der Anlagen unabhängig von fossilen Energieträgern und 100 % emissionsfrei. Bei der Verteilung kommen dabei spezielle Druckrohre aus PE 100 RC zum Einsatz, die aufgrund Ihrer Materialeigenschaften für die Zirkulation der Soleflüssigkeiten perfekt geeignet sind.



Bild 8: „Kaltes Nahwärmenetz“ aus PE 100 RC

6 Zusammenfassung

Kunststoffrohre für eine bessere Zukunft. Die Verpflichtung, die sich die Weltgemeinschaft im Jahre 2015 selbst auferlegt hat, die Nachhaltigkeit zu fördern und damit in Verantwortung für zukünftige Generationen für ein lebenswertes und gerechtes Morgen einzustehen, hat sich die Westfälische Kunststofftechnik ebenfalls als Unternehmensstrategie zugrunde gelegt. Die dargestellten Maßnahmen und Produkte zeigen, wie weit bereits heute die unternehmensinternen Aktivitäten zur Nachhaltigkeit vorangekommen sind. Die zukünftigen Aufgaben können nur gemeinschaftlich von allen Partnern, Lieferanten und Kunden gelöst werden und müssen bei zukünftigen Vergaben von öffentlichen und privaten Aufträgen deutlich Beachtung finden.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Oliver Denz
Westfälische Kunststofftechnik GmbH, Hombergstraße 11-13
45549 Sprockhövel

E-Mail:
info@wkt-online.de
Internet:
www.wkt-online.de



5
Betonkanalsysteme – CO_2-arm, nachhaltig und innovativ

BIM im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau

Erfahrungen einer Pilotbaumaßnahme

Von Lukas Schrode

1 Was ist BIM?

Das Wort BIM – Building Information Modelling, zu Deutsch Modellbasiertes Bauen – steht aktuell wie kein anderes Wort für den Umbruch der Baubranche in Richtung Digitalisierung. Doch was verbirgt sich hinter der oftmals auch missverstandenen Abkürzung? Viele sehen BIM nur als eine Art Software-Tool an – doch weit gefehlt: BIM ist vielmehr eine Methodik, mit der man die Vorteile der Digitalisierung gemeinsam nutzen kann, um die Abläufe in der Baubranche effizienter, kostensicherer und vor allem nachhaltiger zu gestalten.

Dieses „Miteinander" beginnt bereits vor der Baumaßnahme: in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber wird schon vor der Ausschreibung ein in 3D geplantes, georeferenziertes Digitalmodell im Maßstab 1:1 erstellt. So können verschiedene Varianten schon vorab visualisiert werden. Der große Vorteil: gebaut wird nicht nach vage definierten Vorstellungen oder mit unvollständigen Planunterlagen, sondern mit einem gemeinsam entwickelten, durchdachten, fertig geplanten und auf Kollisionen geprüften 3D-Modell und den darin angehängten Informationen.

Dieses 3D-Modell wird vom Planungsbüro an den Bauunternehmer übergeben, welcher diese Pläne dann durch Einsatz von CAD, 3D-Baggersteuerungen und GNSS-Rover zur Bauausführung nutzt. Durch die parallele Ergänzung des 3D-Modells um weitere relevante Informationen in 3D, die aufgrund lokaler Gegebenheiten nicht vorab geplant werden konnten, wird dem Auftraggeber so nach Fertigstellung der Gewerke ein 3D-Modell übergeben, das exakt der Realität entspricht. Mit dieser Übergabe wird sogleich die Betriebsphase eingeleitet.

2 BIM Ziele

Die Ziele einer BIM-Baumaßnahme sind vielfältig, einen sich aber in einem Punkt: sie wollen Tiefbaumaßnahmen nachhaltiger und innovativer gestalten. Nachfolgend sind einige der Ziele aufgelistet, die mit einer BIM-Baumaßnahme umgesetzt werden sollen:

Zustand Aktuell	Ziele der Umsetzung mit BIM
Stillstandzeiten bei der Bauausführung durch baubegleitende Planung	3D-Modell: komplettes Abbild des Bauvorhabens vor Baubeginn → Kollisionsprüfung + Planungssicherheit
Absteckarbeiten führen zu verlangsamter Bauausführung	Einfachere Bauausführung über GNSS-Systeme (Personal effizient einsetzen)
Hoher Aufwand bei der Erstellung des Aufmaßes und der Abrechnung → Oftmals Streitigkeiten	LV-Mengen aus dem 3D-Modell: exakte Ausschreibung kann bei Ausführung nach dem Plan zur Abrechnung genutzt werden
Keine Daten für die Betriebsphase und dadurch ungenügende Bestandspläne	As-Built-3D-Modell kann für die spätere Bewirtschaftung im GIS genutzt werden

3 Pilotprojekt Karl-Truchsess-Weg

Über BIM-Baumaßnahmen in der Theorie zu philosophieren ist einfach, in der Regel aber nicht immer zielführend. Deshalb war es der Firma MTS Schrode AG ein Anliegen, die theoretischen Ansätze mit ihrer Tiefbauabteilung in der Praxis durchzuführen und dadurch zu erkennen, was bereits gut umgesetzt werden kann und an welchen Stellen es noch Verbesserungspotential gibt.

3.1 Wie entstand das Pilotprojekt?

Nachdem in der Gemeinde Ehingen in Kooperation mit der Firma MTS bereits ein BIM-Pilotprojekt auf Basis eines Nebenangebotes erfolgreich umgesetzt wurde, war es nun das Ziel, eine BIM-Baumaßnahme bereits ab der Planung zu absolvieren. Daraus entstand das Projekt Karl-Truchsess-Weg, eine innerörtliche Sanierungsmaßnahme in der Stadt Hayingen mit einer Länge von circa 140m, bei der Kanal, Wasserleitung, Breitband und der Straßenbau erneuert wurden.

Im Zuge der Vorbereitungen auf dieses Bauprojekt bekam die MTS Schrode AG mit ihrer MTS Akademie den Zuschlag, BIM K-VTB kollaborativ mit der Stadt Hayingen und dem planenden Ingenieurbüro einzuführen. Hierbei war die MTS Akademie als treibende Kraft bei der Erarbeitung der wichtigen Dokumente tätig.
Erstellt wurden zum einen die Auftraggeber-Informations-Anforderungen, welche die Anforderungen des Auftraggebers an eine BIM-Baumaßnahme wiedergeben. Zum anderen wurde ein BIM-Abwicklungs-Plan entwickelt, welcher als Handbuch zur Umsetzung der BIM-Baumaßnahme dient. Außerdem wurden in Zusammenarbeit mit der Bauwirtschaft Baden-Württemberg besondere Vertragsbedingungen für BIM-Baumaßnahmen im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau ausgearbeitet.
Grundlage all dieser Arbeiten war das zuvor erstellte 3D-Modell. Wie in den folgenden Abbildungen eindrücklich zu erkennen ist, stellt dieses (Bild 1) ein 1:1-Abbild der Realität dar (Bild 2), die Bagger arbeiten in dieser Aufnahme entlang der orangenen Kanal-Linie.



Bild 1: 3D-Modell Karl-Truchsess-Weg



Bild 2: Tatsächliche Baustelle Karl-Truchsess-Weg

Durch die zielorientierte Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche und Stakeholdern entstand die, soweit bekannt, erste BIG-Open-BIM-Baumaßnahme im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau in Deutschland.

3.2 Umsetzung der BIM-Baumaßnahme

Das bereits im Vorfeld erstellte 3D-Modell konnte direkt auf die GNSS-Rover und die 3D-Baggersteuerungen aufgespielt werden. Anhand dessen erfolgten die anschließenden Bauarbeiten ohne separate Absteckarbeiten direkt nach dem Modell.



Bild 3: 3D-Baggersteuerung von MTS



Bild 4: GNSS-Rover von MTS nimmt Qualitätsnachweise auf

Eine für den Bauablauf wichtige Definition erfolgte bereits vor Baubeginn: wird die Baumaßnahme innerhalb von vorab definierten Toleranzen gegenüber dem 3D-Modell ausgeführt, muss kein zusätzliches Aufmaß erfolgen! Es werden ausschließlich Qualitätsnachweise innerhalb eines definierten Rasters erbracht, um dem Auftraggeber nachzuweisen, dass man tatsächlich innerhalb der Toleranzen gebaut hat.
Aufmaße müssen erst dann erbracht werden, wenn zusätzliche (nicht im Plan ergänzte!) Leistungen notwendig werden oder kurzfristige Planänderungen erfolgen. Zweiteres kann allerdings durch das detaillierte Planungsmodell weitgehend ausgeschlossen werden. Ersteres hingegen kann bei einer Sanierungsmaßnahme durchaus vorkommen, z.B. wenn die Lage von bestehenden Hausanschlüssen unbekannt ist und diese erst während den Bauarbeiten lokalisiert werden können. Diese Herausforderungen werden wir erst mit GIS-Systemen und den damit verbundenen Bestandsdaten lösen können.

Die beim Karl-Truchsess-Weg zusätzlich aufgenommenen Hausanschlüsse und Leitungen wurden abschließend in das bestehende Planungsmodell integriert, wodurch ein 1:1 Abbild der gesamten in der Straße verbauten Infrastruktur geliefert werden konnte – das As-Built-Modell, welches in Bild 5 dargestellt ist.



Bild 5: As-Planned-Daten wurden um die As-Built-Daten ergänzt

3.3 Abrechnung

Wurde innerhalb der Toleranzen gebaut, konnte dementsprechend auch nach den Mengen im LV abgerechnet werden, da diese bei der Ausschreibung direkt aus dem Modell entnommen wurden. D.h. im Leistungsverzeichnis der Ausschreibung standen keine geschätzten, sondern exakt ermittele Mengen. Dadurch entstand sowohl für die Baufirma als auch für den Prüfer eine enorme Zeitersparnis bei der Abrechnung, da auf der einen Seite keine aufwändigen

Mengenermittlungen erstellt, auf der anderen Seite die Mengenermittlungen auch nicht geprüft werden mussten. Lediglich die Mengen von nicht exakt planbaren Leistungen wie die privaten Hausanschlüsse wurden separat ermittelt. Dadurch gelang es bei dieser Baumaßnahme, dem Auftraggeber bereits zur VOB-Abnahme die fertige Schlussrechnung zu übergeben – jeder der bereits in einer Form an einer Baumaßnahme beteiligt war weiß, dass dies einen enormen Mehrwert darstellt!

3.4 Übergabe der Bestandsdaten

Nachdem die Bauarbeiten fertiggestellt waren, konnte das As-Built-Modell direkt in das städtische GIS-System eingepflegt werden. Dadurch sind alle Daten und Leitungen nachhaltig gesichert und können bei zukünftigen Baumaßnahmen, die diese Straße betreffen, ganz einfach als Planausschnitt oder Modell ausgegeben werden.



Bild 6: Anzeige des As-Built-Modells im GIS

In Bild 6 sind exemplarisch die Kanalleitungen (Pink) sowie die Wasserleitungen (Blau) dargestellt. Durch die Datenübergabe wurde die BIM-Pilotbaumaßnahme erfolgreich abgeschlossen und alle Grundlagen waren geschaffen, um eine erfolgreiche Betriebsphase einzuläuten.

4 Fazit

- ✓ Weniger Stillstandszeiten
- ✓ Termin- und Planungssicherheit
- ✓ Einfachere Bauausführung (digital) und weniger Absteckarbeiten
- ✓ Weniger Aufwand und Streitigkeiten bei der Abrechnung → Schlussrechnung fertig zur Abnahme
- ✓ As-Built-Modell kann für die spätere Bewirtschaftung im GIS genutzt werden
- ✓ Tolle Zusammenarbeit zwischen den Vertragsparteien

Bei Fragen zur Umsetzung oder zur eingesetzten Technik dürfen Sie mich gerne über die nachfolgende E-Mail oder Telefonnummer kontaktieren.

Autor:

B. Eng. Lukas Schrode
MTS Schrode AG, Hayingen

Tel.: 07386 9758 - 36
E-Mail:
lukas.schrode@mts-online.de
Internet:
www.mts-online.de



Nachhaltige Kanalsysteme – Lebenszyklusbetrachtung von Betonbauteilen

Die Dokumentation als Erfolgsfaktor für eine lebenszyklusübergreifende Betrachtung und die Nachhaltigkeit von Kanalnetzen

Von Mario Bodenbender

1 Einleitung

Objekte des Kanalbaus sind langlebige Bauteile. Die wirtschaftliche Nutzung und vor allem die technische Lebensdauer können Generationen überdauern. Bei einer lebenszyklusorientierten Betrachtung von Kanalsystemen geht es darum, die gesamte Lebensdauer des Systems und die Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesellschaft in Betracht zu ziehen, um sicherzustellen, dass es nachhaltig und umweltfreundlich ist. Dies kann dazu beitragen, die Ressourcen zu schonen und die Umweltbelastung zu minimieren und gleichzeitig die Anforderungen an die Abwasser- und Regenwasserbewirtschaftung zu erfüllen. Der Lebenszyklus kombiniert dabei technische und wirtschaftliche Aspekte. Viele Akteure im Lebenszyklus sind auf bestimmte Aspekte oder Lebenszyklusphasen spezialisiert. Dies gilt etwa für Planer, Bauunternehmen, Bestandshalter, Betreiber, Nutzer und Sanierer. Im Laufe des Lebenszyklus wechseln Objekte des Kanalbaus in der Regel zwar nicht wie im Hochbau mehrfach den Eigentümer - Nutzer und vor allem Dienstleister jedoch unter Umständen schon. Die diversen Spezialisierungen und Wechsel entlang der Phasen im Lebenszyklus führen zu zahlreichen Schnittstellen und Kompetenzbrüchen zwischen den Beteiligten. Über die Lebenszyklusphasen hinweg wird das Wissen von Generalisten und die Zusammenarbeit von Spezialisten gebraucht. Grundlage hierfür ist das Management von Wissen, das auf Informationen bzw. Daten basiert.

Oft sind nicht zu wenige sondern zu viele Daten in Organisationen ein Problem. [1] Durch die Sammlung und Vorhaltung vieler Daten besteht die Gefahr, relevante Informationen und mögliche daraus resultierende Vorteile zu übersehen, oder die Datenqualität kann fraglich sein. Dies kann auch für am Bau beteiligte Organisationen sowie Bestandshalter gelten: Über den Lebenszyklus werden tausende unterschiedlicher Dokumente und Daten generiert, die gespeichert, analysiert und diversen Adressaten zugänglich gemacht werden müssen.

Nur ein Teil der auf ein Kanalnetz bezogenen Datenmenge betrifft die Planungs- und Bauphase. Hinzu kommen Dokumente und Daten des Betriebes, wie etwa Wartungsprotokolle und Verträge wie auch Zustands- und Anlagendaten. In immer größerem Umfang werden digitale Lösungen im Bereich moderner Dokumenten- und Informations-Management-Systeme genutzt. Im Lebenszyklus von Kanalnetzen und deren Bauteile treten (dennoch) wiederholt Medienbrüche auf, durch die immer wieder Daten verloren gehen bzw. neu erhoben werden müssen (Abbildung 1).

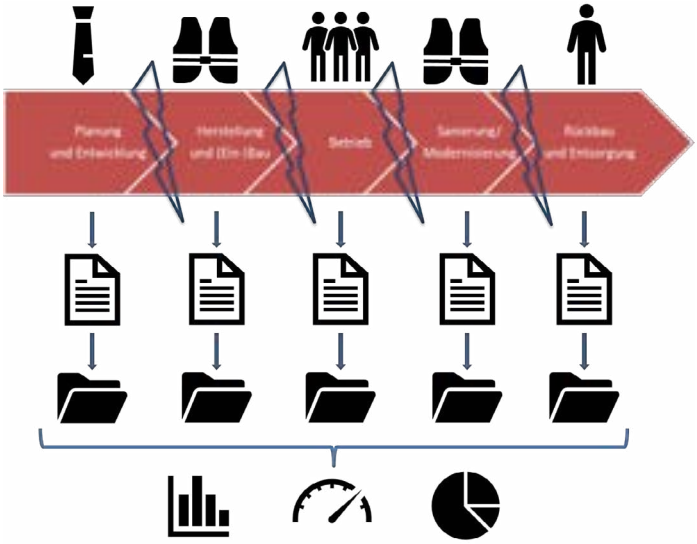


Abbildung 1: Lebenszyklus eines Objektes (vereinfacht) und Medienbrüche in der Dokumentation (eigene Darstellung)

Nur mit Struktur und Übersicht können Daten sinnvoll genutzt werden. Um die vielfältigen Prozesse im Lebenszyklus unterstützen zu können, muss die Dokumentation den jeweiligen Prozessanforderungen entsprechen und in funktional heterogene IT-Systemarten überführbar sein. Dies bedeutet, dass Dokumente und Informationen nicht nur verschiedene Lebenszyklusphasen durchlaufen, sondern auch in unterschiedlichen Strukturen, Datenformaten und Datenbanken abgelegt sind. Eine digitale lebenszyklusübergreifende Objektdokumentation ist daher eine wesentliche Grundlage für nachhaltiges Bauen und Betreiben von Kanalsystemen und im gemeinsamen Interesse der oben genannten Akteure. Sie soll dazu beitragen, Informationsbrüche und Informationslücken abzubauen und angemessene Datentransparenz, Datenqualität und Datensicherheit zu gewährleisten.
Die Bauwirtschaft hat sich in der Vergangenheit kaum auf einheitliche Informations- und Datenstandards geeinigt. Als eine der großen Herausforderungen der digitalen Transformation gilt die derzeitige Datenqualität und Datenstruktur. Aktuelle Bestrebungen und Aktivitäten verschiedener Verbände und Arbeitskreise, wie der buidingSMART-Arbeitsgruppe „openBIM in der Wasserwirtschaft“, der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS) oder des Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv), weisen in diese Richtung.

2 Lebenszyklusorientierung im Kanalbau

Die ganzheitliche Betrachtung von Kanalsystemen umfasst von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung alle Phasen des Lebenszyklus. Dieser Ansatz berücksichtigt sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte und bezieht die Auswirkungen auf die Umwelt und

die Gesellschaft in die Entscheidungsfindung mit ein. Der Lebenszyklus eines Kanalsystems umfasst dabei die verschiedenen Phasen, die von der Planung und Entwicklung über den Bau und den Betrieb bis hin zur Entsorgung reichen. Einige der wichtigsten Phasen im Lebenszyklus eines Kanalsystems sind:

- Planung und Entwicklung: In dieser Phase werden die Anforderungen an das Kanalsystem festgelegt und die verschiedenen Optionen für die Konstruktion und den Betrieb des Systems untersucht. Dies kann auch die Erstellung von Umweltverträglichkeitsprüfungen und die Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen umfassen.
- Bau: In dieser Phase werden die Kanalisationseinrichtungen hergestellt und installiert. Dazu gehören die Herstellung der Beton- oder anderen Bauteile, die Installation der Leitungen und die Errichtung von Regenwasserspeichern, falls erforderlich.
- Betrieb und Wartung: Nachdem das Kanalsystem in Betrieb genommen wurde, ist es wichtig, es regelmäßig zu warten und zu überwachen, um sicherzustellen, dass es ordnungsgemäß funktioniert und die Anforderungen an die Abwasser- und Regenwasserbewirtschaftung erfüllt.
- Sanierung: Während des Betriebs kann es notwendig sein, Teile des Kanalsystems zu sanieren oder zu ersetzen, um sicherzustellen, dass es weiterhin ordnungsgemäß funktioniert und die Umweltstandards erfüllt.
- Entsorgung: Am Ende der Nutzungsdauer des Kanalsystems wird es entfernt und entsorgt. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Entsorgung umweltfreundlich erfolgt und eventuell vorhandene recycelbare Materialien wiederverwendet werden können.

Es ist wichtig zu beachten, dass der Lebenszyklus von Kanalsystemen nicht statisch ist und dass es während jeder Phase des Lebenszyklus notwendig sein kann, Anpassungen vorzunehmen, um die Umweltauswirkungen zu minimieren und die Anforderungen an die Abwasser- und Regenwasserbewirtschaftung erfüllen zu können. Die üblichen Zielsetzungen, welche bei einer lebenszyklusorientierten Betrachtung von nachhaltigen Kanalsystemen in den einzelnen Phasen verfolgt werden, sind im Rahmen der

- Herstellung: Es ist wichtig, nachhaltige und umweltfreundliche Herstellungsmethoden zu verwenden und die Auswirkungen auf die Umwelt während der Produktion zu minimieren.
- Wartung und des Betriebes: Der Betrieb und die Wartung des Kanalsystems sollten energieeffizient sein und die Verschmutzung der Umwelt minimieren.
- Nutzungsdauer: Es sollte darauf geachtet werden, dass das Kanalsystem so konstruiert ist, dass es möglichst lange genutzt werden kann, bevor es ersetzt werden muss.
- Entsorgung: Am Ende der Nutzungsdauer sollte das Kanalsystem auf eine umweltfreundliche Weise entsorgt werden, z.B. durch Recycling oder Verwertung.

3 Relevanz der Nachhaltigkeit in Bezug auf (Beton-)Kanalsysteme

3.1 Nachhaltigkeit von Kanalsystemen

Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, die Bedürfnisse der Gegenwart zu befriedigen, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen, zu beeinträchtigen. Es geht darum, eine Balance zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen

Aspekten zu finden und dafür zu sorgen, dass die genutzten Ressourcen regenerierbar sind und erneuert werden können, und dass die Umwelt und die Gesellschaft gesund bleiben. Nachhaltigkeit geht damit über die bloße Umwelt- oder Ökologiebetrachtung hinaus und bezieht sich auf eine ganzheitliche Betrachtung der Gesellschaft und der Ökonomie – sie ist ein fortlaufender Prozess und es ist wichtig, die Auswirkungen auf die Umwelt, die Gesellschaft und die Wirtschaft regelmäßig zu überprüfen und anzupassen.
Auch nachhaltige Kanalsysteme sind demnach solche, die Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft in Einklang bringen. Sie sollen langfristig stabil und tragfähig sein, sowohl ökologische als auch soziale Belange berücksichtigen und ökonomisch vertretbar sein. Ein wichtiger Aspekt der Nachhaltigkeit von Kanalsystemen ist die Vermeidung von Verschmutzungen und der Schutz von Gewässern. Das bedeutet, dass Abwässer und Regenwasser getrennt gesammelt und behandelt werden müssen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Energieeffizienz. Nachhaltige Kanalsysteme sollten möglichst wenig Energie verbrauchen und erneuerbare Energien nutzen, um den Betrieb aufrechtzuerhalten. Schließlich sollten nachhaltige Kanalsysteme so konstruiert und betrieben werden, dass sie die lokale Ökologie und die Lebensqualität der Menschen in der Umgebung verbessern. Das kann durch den Einsatz von natürlichen Filtrationssystemen, die Nutzung von Regenwasserspeichern oder die Errichtung von Grünflächen auf oder in der Nähe von Kanalisationseinrichtungen erreicht werden.

3.2 Betonkanalsysteme und deren Nachhaltigkeit

Beton wird oft als nachhaltiges Baumaterial betrachtet, weil es eine Reihe von Vorteilen bietet, die die Umweltbelange und die Ressourcennutzung berücksichtigen. Einige dieser Vorteile sind:

- Langlebigkeit: Beton hat eine lange Lebensdauer und benötigt in der Regel keine aufwendigen Reparaturen oder Erneuerungen. Das reduziert die Notwendigkeit von Wiederholungsinvestitionen und hilft dabei, Ressourcen zu schonen.
- Wiederverwendbarkeit: Beton kann auf viele Arten wiederverwendet werden, wenn es sich am Ende seiner Lebensdauer befindet. Zum Beispiel kann alter Beton aufgeschlagen und für die Herstellung von Straßen oder Schotter verwendet werden.
- Energieeffizienz: Beton hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit und hilft dadurch, Infrastrukturen energiesparender zu machen. Dies reduziert den Energieverbrauch und trägt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei.
- Recyclingbeton: Wenn es um Ressourcenverbrauch geht, ist Recyclingbeton eine gute Alternative. Recyclingbeton setzt sich aus industriellen und natürlichen Abfällen zusammen, wodurch die Produktion von Zement reduziert, und der Ressourcenverbrauch gesenkt werden kann.

Natürlich gibt es auch optimierungswürdige Aspekte von Beton, wie z.B. den Herstellungsprozess und die Entsorgung von Abfällen. Der Bau von Betonkanalsystemen kann zu CO_2-Emissionen führen, insbesondere wenn Zement für die Herstellung des Betons verwendet wird. Es gibt jedoch auch Möglichkeiten, die CO_2-Emissionen im Zusammenhang mit dem Bau von Betonkanalsystemen zu reduzieren. Dies kann durch den Einsatz von Zementersatzmaterialien wie Flugasche oder Gesteinskörnungen oder die Verwendung von Baustoffen auf Zementbasis mit geringerem CO_2-Fußabdruck sowie durch die Nutzung alternativer Bindemittel (als vollständiger Zementersatz) erreicht werden.

Andere Ansätze beinhalten die Nutzung von Betonrecycling, die Verwendung von erneuerbaren Energien bei der Herstellung von Zement, die Minderung der CO_2-Emissionen in der Transportphase durch den Einsatz von nachhaltigen Transportmethoden und die Möglichkeit der CO_2-Absorption durch die Verwendung von speziellen Zusatzstoffen im Beton während des Betonierprozesses. Es ist wichtig zu beachten, dass in diesem Kontext die CO_2-Emissionen ein Teil eines größeren Ganzen sind. Zudem belegen aktuelle Studien, dass Betonkanalsysteme gegenüber alternativen Werkstoffen grundsätzlich keine höheren CO_2-Emissionen zur Folge haben. Nachhaltig sind Betonkanalsysteme also dann, wenn diese auf umweltfreundliche Weise hergestellt und betrieben werden. Nachhaltigkeit kann neben der Herstellung allerdings auch werkstoffunabhängig durch den Einsatzzweck bzw. den Anwendungsfall erreicht werden – Beispiele hierfür sind:

- Regenwasserspeicher: Regenwasserspeicher sind eine Möglichkeit, Regenwasser aufzufangen und es später für nicht-trinkwasserbezogene Zwecke zu verwenden, z.B. zur Bewässerung von Gärten oder zur Abflussminderung.
- Permeable Pflasterung (als Schnittstelle zum Tiefbau): Eine permeable Pflasterung ermöglicht es Regenwasser, in den Untergrund einzusickern und das Grundwasser aufzufüllen, anstatt es in die Kanalisation zu leiten.
- Begrünte Dächer (als Teil des Hochbaus): Begrünte Dächer können Regenwasser aufnehmen und den Abfluss reduzieren. Außerdem bieten sie Vorteile wie die Verbesserung der Luftqualität und die Erhöhung der Biodiversität.
- Hochwasserschutzsysteme: Diese Systeme können die Auswirkungen von Hochwasser auf die Umwelt und die Anwohner verringern, indem sie Regenwasser schnell und sicher ableiten.
- Durable Materialien: Die Verwendung von robusten und langlebigen Materialien kann die Lebensdauer des Kanalsystems verlängern und die Notwendigkeit von Reparaturen und Erneuerungen reduzieren.

Insgesamt geht es bei nachhaltigen Betonkanalsystemen darum, die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren, die Anforderungen an die Abwasser- und Regenwasserbewirtschaftung zu erfüllen und gleichzeitig die Kosten für den Betrieb und Unterhalt des Systems niedrig zu halten. Um dies über den kompletten Lebenszyklus gewährleisten zu können, ist für die beteiligten Akteure eine aktuelle und verfügbare Dokumentation des Kanalnetzes essenziell.

4 Dokumentation als Erfolgsfaktor im Lebenszyklus

Der Lebenszyklus erstreckt sich von der Konzeption, Planung und Bau bzw. Einbau über Betrieb & Nutzung bis hin zur Sanierung und Verwertung. [2] Um ein Kanalsystem lebenszyklusübergreifend zu betrachten, wie auch nachhaltig zu bauen als auch zu betreiben und zu verwerten, ist eine stets konsistente und aktuelle Dokumentation unerlässlich. Eine solche Dokumentation wird über alle Phasen generiert, gebraucht und geändert, auch im Zusammenhang mit Bau- und Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Eine digitale lebenszyklusübergreifende Dokumentation trägt zu einer lückenlosen Historie des Kanalnetzes bei und schafft die Grundlage auch für neue (digitale) Dienste.

4.1 Konzeption, Planung und Einbau

Die 4. Industrielle Revolution hat inzwischen die Bauwirtschaft erreicht. Neue Technologien ermöglichen automatisierte und rationellere Prozesse. Dadurch können heute viele Bauprojekte einen stärkeren Fokus auf den Lebenszykluserfolg legen.
Durch Building Information Modeling (BIM) kann die Vernetzung und Wirtschaftlichkeit von Projekten aller Komplexitätsgrade signifikant gesteigert werden. Bei Anwendung der BIM-Methodik erhalten die an Planung und Bau beteiligten Akteure Zugriff auf einen gemeinsamen Datenbestand. Dies ermöglicht ein kollaboratives Arbeiten, kürzere Abstimmungsprozesse und geringere Datenverluste und Redundanzen. Die unterschiedlichen Dimensionen, beginnend ab dem räumlichen Bauteilgefüge mit Mengen und Eigenschaften (3D) bis hin zum lebenszyklusübergreifenden Modell mit Daten zur Nachhaltigkeit (6D) und der Betriebsphase (7D) sind auf unterschiedliche Daten, Funktionen und Auswertungen spezialisiert. Gleiches gilt für am Markt konkurrierende Software-Produkte. [3]
Im virtuellen Digitalmodell können Kanalnetze simuliert, getestet und ggf. optimiert werden. Die für die Planung und den Bau notwendigen Daten liegen in Bauproduktkatalogen vor. Hersteller stellen die Modelle und alphanumerischen Informationen zu ihren Produkten BIM-gerecht individuell oder für zentrale Bauproduktkataloge zur Verfügung. Dadurch können in Zeichnungen, Datenbanken und der daraus resultierenden Dokumentation nicht nur abstrahierte oder nachmodellierte Informationen, sondern spezielle Produkte und deren Eigenschaften hinterlegt werden (Abbildung 2).



Abbildung 2: Schacht inkl. Aufbauteile und Einbauteile (eigene Darstellung)

Mit BIM lassen sich im Vorfeld Planungsmängel verhindern, die in der Nutzungsphase zu höheren Kosten führen können. Eine digitale Dokumentation bzw. realitätsnahe 3D-Modelle können so u.a. Kollisionsprüfungen oder Simulationen z.B. von Strömungsverhalten, Abnutzungen oder

Widerstandsfähigkeiten ermöglichen. Mehrwerte für den Betrieb ergeben sich besonders aus der zugrundeliegenden Datenbank mit umfassenden Informationen über Bauteile, Systeme, Materialien und Produkteigenschaften bis hin zu Herstellerangaben, bspw. zu verwendeten Materialien oder auch Wartungsintervallen. Hierdurch können Entscheidungen für Bauteile/Anlagen mit günstigen Lebenszykluskosten getroffen werden. Die Dokumentation ist somit eine wesentliche Voraussetzung zur Optimierung von Kosten und Nutzen im Kanalnetzbetrieb, bspw. zur Simulation von Lebenszykluskosten. Ein 3D-Modell, welches auch technische Anlagen (wie Pumpen, Steuerungssysteme u.ä.) enthält, ermöglicht Dienstleistern, Rüst- und Reparaturzeiten präzise zu planen. Durch die Einbindung von IoT und intelligenten Messgeräten können Prognosen für bauliche und technische Anlagen durchgeführt und Instandhaltungen proaktiv geplant werden (Predictive Maintenance).
Entscheidend ist, wie die Daten der Planung (bspw. zur Kanalhaltung) als auch der Hersteller (mit den Produktattributen) aus der Bauphase (As-Built-Dokumentation) vollständig und nutzbar in die Betriebsphase übergeben werden. So wie im Bereich CAD heute spezifische Datenformate wie DWG (AutoDesk) oder DGN (Bentley) und für den herstellerunabhängigen Austausch DXF genutzt werden, liegt ein international anerkannter und herstellerneutraler offener Standard in Form der *Industry Foundation Classes* (IFC; *DIN EN ISO 16739*) für das Planen und Bauen mit der BIM-Methodik im Hochbau vor. IFC sind geeignet zum (anfangs v.a. grafischen) Austausch zwischen BIM-Systemen (4D, 5D usw.) oder technischen Gewerken wie Kältetechnik, Elektrotechnik, Tiefbau, Statik, Fundamentplanung usw.
Grundlagen und Regeln der Erstellung, Verwertung, Verwaltung und Weitergabe von Informationen werden im künftigen *ISO-Standard 19650* dargelegt. Beide Standards sind u.a. wesentlich für die Weiterentwicklung von Anwendungssystemen im Planen und Bauen und für Methoden wie BIM. Erweitert werden diese Standards durch das Klassifikations- und Beschreibungssystem der DIN SPEC 91400. Dadurch soll eine Kompatibilität der Datenmodelle zum Ausschreibungssystem Standardleistungsbuch-Bau (STLB-Bau) inhaltlich und semantisch sichergestellt werden. Mit der BIM-Richtlinienreihe VDI 2552, der VDI 3805 zum Produktdatenaustausch und der VDI 6027 zum Datenaustausch von CAD-Systemen bestehen weitere nationale Richtlinien für Anwendungssysteme in der Planungs- und Bauphase.
Für den Tiefbau, im speziellen Kanalnetze, entscheidend sind die Bemühungen der BIM-Arbeitskreise buidingSMART (openBIM in der Wasserwirtschaft), der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS) sowie des Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv). Durch die Entwicklung von nun auch geometrisch maschinenlesbaren Standards bzw. einer IFC-Bauteilbibliothek ist es für Kanalbauteile möglich, den Prozess von Planung, Produktion, Einbau und Dokumentation vollständig digital und medienbruchfrei abzubilden. Darüber hinaus bieten die BIM-Daten im Planungsprozess die Möglichkeit einer bauteilscharfen Planung (Volumenkörper) und ersetzen damit die bisher übliche Modellierung des Kanalsystems als reines Liniensystem.

4.2 Betrieb und Nutzung

Oftmals erschweren veraltete, teils redundante oder auch unvollständige Bestands- und Betriebsdokumentationen eine professionelle Bewirtschaftung oder auch Sanierung und Modernisierung. [4] Verträge für die Wartung haben heute teils sehr kurze Laufzeiten. Dadurch entstehen häufiger Schnittstellen und Datenübertragungen. Die wesentlichen Daten des operativen

Betriebs werden hierbei u.a. durch Geographische Informationssysteme (GIS) oder Computer-Aided-Facility-Management-Systeme (CAFM) generiert, erfasst, gepflegt und fortgeführt. GIS- und CAFM-Systeme unterstützen die Prozesse und spezifischen Arbeitsabläufe des Facility Managements mit dem Ziel, gesetzliche Anforderungen zu erfüllen und Kosteneinsparungen zu realisieren. Trotz der Einheitlichkeit der Systemart ist der GIS- und CAFM-Markt sehr heterogen und vor allem in Bezug auf den Tiefbau teils nur rudimentär ausgeprägt bzw. spezialisiert. Die im deutschsprachigen Raum konkurrierenden Systeme entwickelten sich historisch aus diversen Anforderungen und haben teils unterschiedliche funktionale Schwerpunkte. So erfolgt die Dateneingabe und Darstellung bei einigen Systemen grafisch über Lagepläne in PDF- oder CAD-Dateien, bei anderen alphanumerisch über Masken oder Listen mit vorgegebenen Datenfeldern zu den Kanalhaltungen, die mit grafischen Daten angereichert werden können, aber nicht müssen.
GIS- und CAFM-Systeme bieten durch ihre Prozessausrichtung heute zudem Möglichkeiten zur mobilen Datenerfassung, sodass die Dateneingabe oder auch Abfrage direkt an Bauteilen oder bei Störungsbehebungen erfolgen kann. Auf lange Sicht werden einzelne Bauteile, Anlagen oder Infrastrukturnetze mit IoT-basierten Sensoren und/oder Aktoren ausgerüstet sein. Diese sammeln in Abständen von teilweise nur Sekunden Daten über Zustände wie Dichtheit, Fließgeschwindigkeiten, Füllstände etc. Hierdurch werden die automatisierte Sammlung und Vernetzung von Daten bis hin zur automatisierten Steuerung von Anlagen ermöglicht.
Neben Systemen für Betriebsprozesse wächst das Anbieterfeld um ERP-Systeme wie SAP oder Microsoft Dynamics NAV, die primär zur Verwaltung und Steuerung von Unternehmensressourcen und Prozessen genutzt werden. Naturgemäß liegt eine Vielzahl relevanter Kanalnetz-Informationen darin bereits vor. Heutige BIM-Planungssoftware ermöglicht zwar die direkte Übergabe der Daten aus einer Datenbank in ein CAFM- oder auch ERP-System, wodurch bereits digital vorliegende Daten und Dokumente als Datengrundlage für Betreiber dienen und eine sukzessive Fortführung der Dokumentation erleichtern können. Ein Kanalnetz in seiner Vollständigkeit in ERP-Systemen abzubilden, ist i.d.R. allerdings mit hohem Aufwand verbunden. Anbieter von ERP-Systemen haben diesen Markt erst bedingt erkannt und erweitern ihre Systeme nur sukzessiv mit speziellen Analysen und Funktionen.

4.3 Erneuerung/Modernisierung/Sanierung

Im Rahmen von Erneuerung oder Modernisierung bzw. Sanierung fallen ähnliche Daten wie bei Konzeption, Planung und Einbau an. Diese Dokumentation aktualisiert, erweitert oder ersetzt die vorhandene Bestandsdokumentation in den betroffenen Kanalhaltungen, Baugruppen und Bauteilen. Für die Ausführung der Prozesse und die Dokumentation in dieser Phase werden, ähnlich wie in der initialen Bauphase, BIM-Softwareprodukte genutzt und Dokumente nach HOAI oder anderen Regelwerken gegliedert.
Für ein Recycling bzw. eine Entsorgung von Bauteilen werden nicht so sehr neue Daten generiert, sondern vielmehr bestehende Daten gesichtet und zur Auswertung und Einleitung spezifischer Prozesse genutzt. So können Belastungen und werthaltige Rohstoffe bereits vor dem Beginn von Rückbaumaßnahmen identifiziert und entsprechend behandelt werden.

5 Veränderung der Dokumentation von Kanalnetzen

Durch den digitalen Veränderungsprozess und die Implementierung neuer Technologien wandelt sich die Bauwirtschaft derzeit von einer bis dato primär objekt- und produktintensiv geprägten Branche zu einer informationsintensiven Branche. Digitale Lösungen übernehmen die Bereitstellung und erleichtern die Auswertung und Vernetzung von Daten bzw. Systemen. Das kommerzielle digitale Erfassen, Teilen und Verwerten von Daten ist ein wesentlicher Aspekt der „Plattform-Ökonomie“, die sich in nahezu allen Bereichen der Wirtschaft entwickelt.

5.1 Von analogen zu digitalen Daten

Ältere Daten und Dokumente (z.B. Baugenehmigungen, Ausführungs-/Detailplanungen, Wartungsverträge, Technische Datenblätter, Leistungserklärungen, Zertifizierungen etc.), die wichtige Informationen enthalten können, liegen regelmäßig nur in analoger Form vor. Ein immer größerer Teil hiervon wird inzwischen digital erfasst oder kann digitalisiert werden.
Validität, Aktualität, Objektivität und Stabilität sind wesentliche Qualitätsanforderungen an Daten, [1], [5] die – je nach Organisation und Beteiligten – unterschiedliche Stellenwerte haben können. Die Qualität von Daten und Informationen ist oft sogar innerhalb von Organisationen sehr heterogen. Durch die diversen Spezialisierungen und Wechsel im Lebenszyklus treten regelmäßige Dokumentationsverluste auf. Heute ist die Dokumentation i.d.R. strukturiert und zumeist digital, bspw. in elektronischen Datenräumen hinterlegt.

5.2 Einzelne und integrierte Systeme

Die Vorhaltung notwendiger Informationen in Organisationen erfolgt meist nicht übergreifend, sondern oft nur bedingt für einzelne Prozesse. Damit einhergehend sind auch Software-Systeme in den Organisationen häufig isolierte Einzellösungen statt gemeinsam genutzter und vernetzter Plattformen mit standardisierten Schnittstellen und regelmäßigem Datenaustausch. Mögliche Synergien bleiben dadurch ungenutzt. Der Wert von Informationen bestimmt sich aufgrund ihrer Anwendung und nicht durch ihr Vorhandensein. In einer kontextspezifischen Anwendung kann durch Hinzufügen, Weglassen, Konkretisieren, Selektieren und Aggregieren der Wert einer jeden Information gesteigert werden. [1]
Wie Informationen und Dokumente von welchen Beteiligten zur zielorientierten Steuerung erfasst, strukturiert und vorgehalten werden sollten, ist in der Bauwirtschaft nicht eindeutig beantwortet. Gründe dafür sind u.a. die unterschiedlichen Sichten und die im Lebenszyklus anfallenden großen Daten- und Dokumentenmengen. Weiterhin sind Informationen und Dokumente meist asymmetrisch unter den Marktteilnehmern verteilt, was für den Einzelnen zu einem Informationsvorsprung führen kann. Nur selten partizipieren Akteure an Kenntnissen von anderen Parteien. Die Dokumentation ist im Lebenszyklus durch unterschiedliche Interessen, Systeme und Datenanforderungen stark segmentiert und fragmentiert.
Die divergierenden Standards und Schnittstellen zum Datenaustausch, die teils nur spezielle Phasen, Prozesse, Akteure und Anwendungssysteme berücksichtigen, sind ein wesentliches Innovationshemmnis für die Weiterentwicklung von Anwendungssystemen. Ziel muss daher eine medienbruchfreie Vorhaltung und eindeutige Kennzeichnung der Dokumente und Informationen über die einzelnen Lebenszyklusphasen hinweg sein.

Aktuelle Entwicklungen tendieren zum Digitalen Zwilling als virtuelles Abbild eines Kanalnetzes, der sämtliche im Lebenszyklus anfallenden Informationen umfasst und die Grundlage für weitreichende Anwendungsmöglichkeiten bildet. Unterschiedliche Lebenszyklusphasen erfordern teils individuelle Systeme und Strategien. Diese reichen von digitalen Datenräumen, über GIS- und CAFM-Systeme, Sensorik (IoT) bis hin zu Wartungs-Tools, die alle mit einem digitalen Abbild verbunden werden können. Der Begriff Digitaler Zwilling ist daher momentan mehrdeutig belegt: Mal bezeichnet er ein dreidimensionales Abbild der Maßnahme, das Ergebnis der Durchführung der BIM-Methodik, einen lebenszyklusübergreifenden Permanentdatenraum oder auch ein GIS- oder CAFM-System, das Daten über die Betriebsphase hinausgehend beinhaltet. Wichtig sind daher eine inhaltliche Definition sowie die Bestimmung, welche Informationen und Dokumente wie gespeichert werden sollten. Sind die benötigten Informationen bekannt, können diese systematisch verwaltet und fortgeschrieben werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Marktakteure müssen sich auf beschleunigte Prozesse und stärkere IT-Vernetzung in der Bauwirtschaft einstellen. Eine zukunftsgewandte Innovationskultur mit Offenheit und Bereitschaft zur Mitgestaltung ist Voraussetzung für eine erfolgreiche digitale Transformation. Um in dem digitalen Wandel erfolgreich zu bestehen, müssen Organisationen außerdem eine übergeordnete Digitalisierungsstrategie und entsprechende IT-Infrastruktur schaffen.

Die Existenz von Software-Systemen allein führt nicht zum Ziel einer lebenszyklusübergreifenden, aktuellen, verfügbaren und validen Dokumentation. BIM-, GIS-, CAFM-, ERP-, Dokumentenmanagement- oder ähnliche Systeme müssen zielorientiert angewendet werden.

In einigen Datenbeständen bestehen erhebliche Informationslücken über Kanalnetze. Informationsdefizite können dabei hohe Kosten-, Zeit- und Qualitätsverluste bergen. Meist fehlen grundlegende Informationen zu Eigenschaften, örtlichen Lagen, Wartungen etc. Die Erfassung fehlender Informationen aber auch deren zyklische Aktualisierung sind wichtige Aufgaben. Um eine lückenlose Dokumentation zu gewährleisten, müssen in Dienstleistungsverträgen Angaben zur Datenverwaltung und Datenverwendung geklärt werden. Dabei ist es nicht notwendig, alle bestehenden Daten jederzeit aktuell und konsistent vorzuhalten. Bei einer Vielzahl an Daten stünde dies in keinem sinnvollen Verhältnis zum Aufwand. Bei der Erhebung muss also darauf geachtet werden, dass keine Probleme durch ein Übermaß an Daten und Informationen entstehen. Dabei müssen Qualität und Aktualität der Daten angemessen sichergestellt werden. [6] Aus ungenügenden Daten lassen sich wiederum keine validen Informationen verdichten und aufbereiten.

Es empfiehlt sich, alle Informationen und Dokumente einheitlich in einer konsolidierten Datenbasis zu führen oder durch ein in sich homogenes und standardisiertes Austauschformat schnittstellenfähig zu machen. Die Vision eines Digitalen Zwillings kann nur umgesetzt werden, wenn komplett digitale Prozesse in die Bauwirtschaft Einzug gehalten haben. So können Ressourcen eingespart und in anderen Bereichen eingesetzt werden. Auch kann dadurch ein sukzessiver Aufbau der Datenbasis erfolgen. Dies führt zu einer höheren Datenqualität und Datenverfügbarkeit, die Grundlage für neue digitale Dienste ist.

Forschungsbedarf besteht daher sowohl national als auch international im Hinblick auf den Betrieb von Bauwerken sowie in der Vereinheitlichung und Schaffung einer Kompatibilität

bestehender Ansätze, um den gesamten Lebenszyklus im Planen, Bauen und Betreiben von Kanalsystemen abzubilden. [7]

7 Literatur

[1] Krcmar, Helmut (2015): Informationsmanagement, 6. Aufl., Heidelberg.
[2] GEFMA 100-1:2004: Facility Management – Grundlagen.
[3] Schiller, Klaus (2014): Webbasierte integrierte Daten für BIM-Level 3, Gießen.
[4] Bornemann, Andreas; Lifka, Stephan (2011): Manager müssen umdenken. In: Immobilienwirtschaft (06), S. 40-41.
[5] North, Klaus (2016): Wissensorientierte Unternehmensführung, 6. Aufl., Wiesbaden.
[6] Ziegenbein, Klaus (1998): Controlling, 6. Aufl. Ludwigshafen (Rhein).
[7] Bodenbender, Mario; Kurzrock, Björn-Martin (2016): A document classification standard for real estate management. 23rd ERES Conference, Regensburg, June 2016.

Autor:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH), M.Sc.
Mario Bodenbender
Finger-Beton Unternehmensgruppe, Fronhausen

Tel.: 06426-923069
E-Mail:
m.bodenbender@finger-beton.de
Internet: www.finger-beton.de



Rahmenbauteile: Modulares Bauen mit innovativen Ideen

Von Paul-Martin Großkopff

Im Baubereich rücken Aspekte der Nachhaltigkeit und Zirkularität immer mehr in den Fokus der beteiligten Partner.
Die Niederlande sind hier, wie in anderen Bereichen auch schon einen Schritt weiter.
Der Ausbau der Infrastruktur für Radfahrer ist, vor allem im Vergleich zu Deutschland bereits sehr weit fortgeschritten.
Auch hier spielt, die Nachhaltigkeit des Bauens eine große Rolle.

Bei einem Projekt in der Nähe von Tilburg sollte ein Fahrradtunnel unter einer stark befahrenen Straße erstellt werden.
Die Aufgabenstellung war hierbei durch ein schlüssiges Konzept bei Materialauswahl, Bauverfahren und Design die Umweltbelastung in der Bauphase, im laufenden Betrieb und am Ende der Nutzungsdauer zu minimieren.
Über ein Punktesystem wird die Lösung dieser Aufgabe bewertet und geht in die Vergabe des Projektes an den Auftragnehmer maßgeblich mit ein.

1 Tunnelelemente mit Verspannung (System Niederlande)

Tunnel für Radfahrer und Fußgänger in den Niederlanden werden sehr oft mit einem trapezförmigen Querschnitt ausgeführt.
Durch die Formgebung entsteht eine einladende Sicht in den Tunnel. Der schlauchartige Eindruck eines rechteckigen Profils wird vermieden, die Belichtung ist freundlicher und die Verletzungsgefahr an den Tunnelwänden wird herabgesetzt.

Aufgrund des oft schwierigen Baugrundes und des hohen Grundwasserstandes werden die Fertigteile im Regelfall miteinander verspannt. Die Fugen werden als Mörtelfugen ausgeführt.
Es entsteht ein monolithisches, untrennbar verbundenes blockartiges Fertigteil.
Der Tunnel trägt in diesem Falle als Biegebalken auf elastischer Bettung.

Die Demontage ist nur herkömmlich mit Abbruchhammer möglich.



Abbildung 1 Rahmenprofile mit Mörtelfuge

2 Rahmenprofile mit Elastomerdichtung

Rechteckige Rahmenprofile werden, ähnlich wie runde Rohre im Regelfall mit einer Spitze/Muffe-Verbindung und einer Elastomerdichtung ausgeführt.

Hierdurch wirkt jede Fuge als Gelenk, Setzungen bei schwierigem Baugrund können innerhalb gewisser Grenzen unproblematisch aufgenommen werden. Die Verbindung ist druckwasserdicht.

Weiterhin können die Fertigteilmodule am Ende der Nutzung oder bei Nutzungsänderungen einfach und ohne Beschädigung demontiert und eventuell anderweitig verwendet werden.



Abbildung 2 Rahmenprofile mit Muffe/Spitze-Verbindung

3 Problemstellung:

Die Toleranzen im Bereich der Dichtungen (Spitze/Muffe) liegen, ähnlich wie bei runden Rohren im Millimeterbereich.

Die Einhaltung der Abmessungen ist für die Dichtwirkung essentiell und muss im Rahmen der Herstellung der Fertigteile sichergestellt und überprüft werden.

Trapezförmige Querschnitte in den erforderlichen großen Dimensionen sind bislang nicht mit einer Spitze/Muffe-Verbindung hergestellt worden.

Ein Grund hierfür ist auch das der Winkel in den vier Ecken der Profile projektabhängig variiert. Ein festes Muffensystem in modularer Bauweise wie bei rechteckigen Querschnitten ist hierbei nicht einsetzbar.

Für das vorliegende Projekt wurde eine spezielle Unter- und Obermuffe mit fixen Abmessungen hergestellt.

Aufgrund der großen Dimensionen der Profile ist es notwendig jedes Fertigteil nach der Herstellung auf Maßgenauigkeit zu überprüfen um eventuell Korrekturen an der Schalung vor dem nächsten Betonieren vornehmen zu können.

Das Vermessen eines derart großen Fertigteiles mit Maßband und Zollstock bietet nicht die erforderliche Genauigkeit zur Überprüfung der Toleranzen.

4 Lösung:

Für die Vermessung derartig großer und komplexer Fertigteile wird ein sphärischer Raumscanner eingesetzt.

Um das Bauteil zu vermessen, wird von mehreren Standorten aus mittels Laserstrahl die Entfernung zu einzelnen Messpunkten ermittelt.

Mittels einer Software wird nach dem Scanvorgang ein 3-D-Modell des Baukörpers erstellt.
Dieses Modell des tatsächlichen Körpers wird mit dem idealen CAD-Modell des Fertigteiles verglichen.

Abweichungen werden seitens der Software errechnet und bildlich dargestellt.
Aufgrund einer farblichen Darstellung der Abweichungen ist sofort zu erkennen, wo zulässige Toleranzen überschritten werden.

Im Produktionsprozess wurde jedes Fertigteil nach dem Entschalen vermessen. Der Zeitaufwand hierfür inklusive der Auswertung mittels Software betrug ca. 2h pro Element.



Abbildung 3 Scanvorgang

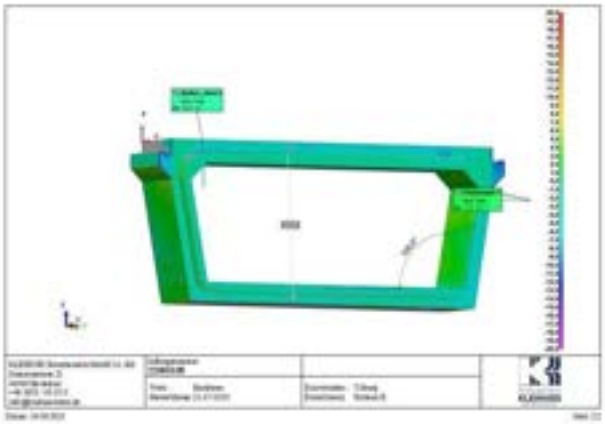


Abbildung 4 Auswertung

5 Ausführung:

Aufgrund des durch das Bauteam aus Bauunternehmung und Fertigteilhersteller eingereichten Konzeptes sowohl der Fertigteile als auch des Bauablaufes wurde der Auftrag erteilt.

Im Oktober 2020 wurde der Fahrradtunnel Stappegoor innerhalb einer Woche montiert.

Die Belastung der Anwohner durch die Baustelle und notwendige Verkehrsbehinderungen konnten minimiert werden.

Die Fertigteile wurden mittels CO2 armen CEM III Zement und mit einem hohen Anteil rezyklierter Gesteinskörnung hergestellt.

Anders als derzeit noch in Deutschland ist in den Niederlanden ein deutlich höherer Anteil rezyklierter Körnung auch bei hochwertigen Betonen erlaubt und wird von den Auftraggebern als Bedingung gestellt. Problematisch ist hierbei teilweise die Verfügbarkeit der Materialien in ausreichender Qualität.

Betonbauteile

Es kommt drauf an, woraus man sie macht

Ressourcen schonen und Co_2 einsparen bei der Produktion von Betonbauteilen? Geht das? Aber sicher.

Bei der Produktion unserer Betonbauteile setzten wir auf

- den Einsatz von Zuschlagstoffen aus recyceltem Beton
- die Verwendung von CO_2-reduziertem Hochofenzement
- statische Optimierung der Bauteile zur Gewichtsreduktion

▸ Dies reduziert die Kohlendioxid-Emissionen und senkt den Primärenergiebedarf.



Wir operieren nachhaltig

Im Jahre 2022 wurde unser Unternehmen erneut mit dem Concrete Sustainability Council (CSC)-Zertifikat in Gold ausgezeichnet. Dieses attestiert uns auf breiter Linie ein ökologisches, soziales und ökonomisch verantwortliches Handeln.

GOLD
224-CSC21-2022

www.kleihues-beton.de · info@kleihues-beton.de

BETON-BAUTEILE
KLEIHUES



Abbildung 5 Montage des Fahrradtunnels

Autor:

Dipl.-Ing. Paul-Martin Großkopff
Kleihues Betonbauteile GmbH & Co. KG, Emsbüren



Tel.: 05903-930316
E-Mail:
m.grosskopff@kleihues-beton.de
Internet:
www.kleihues-beton.de

B
Grabenloses Bauen

1
Grabenlose Verlegetechniken I



Leitungen aus Polyamid mit 16 bar Betriebsdruck: Verlegung mittels Horizontal Directional Drilling

Von Tobias Männel

1 Einleitung

Stahl ist der gängige Werkstoff, wenn es um Rohrleitungen im Druckbereich 16 bar und darüber hinaus geht. Stahl ist bekannt und erprobt; die Verlegung von Stahlleitungen mit Verfahren zur geschlossenen Verlegung, wie das Horizontal Directional Drilling (HDD), sind ebenfalls vielfach erprobt.

Doch die Verwendung von Polyamid als Rohrwerkstoff bietet einige Vorteile, weshalb Leitungsbetreiber mit dem Werkstoff liebäugeln: Es werden Kosten und Zeit eingespart, da die Rohre günstiger sind und leichter zu handhaben, der Werkstoff besitzt eine geringe Permeabilität, teilmechanisierte Schweißverfahren können angewendet werden etc. Jedoch stellen sich im Rahmen der üblichen Verlegemethoden Fragen zur Tauglichkeit des Rohrwerkstoffes: Kann ein Rohr aus Polyamid überhaupt mit HDD verlegt werden? Was muss bei der Planung und Durchführung beachtet werden?

In diesem Beitrag soll erklärt werden, welches wesentliche Problem bei der Verlegung von Polyamidrohren mittels HDD zu kontrollieren ist und wie dies erfolgen kann.

2 Verlegung mit Horizontal Directional Drilling

2.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Bei der geschlossenen Verlegung von Rohren mittels HDD, wird zunächst eine Pilotbohrung ausgeführt. Dabei wird ein Bohrgestänge mit montiertem Bohrkopf durch das sog. Rig rotierend in den Baugrund vorgetrieben. Durch das Bohrgestänge wird eine Bohrspülung zum Bohrkopf gepumpt, welche das Bohrklein durch den Ringraum zwischen Gestänge und Bohrkanalwand in Richtung Eintrittspunkt austrägt. Anschließend können, sofern erforderlich, in mehreren Schritten Aufweitungen des Bohrkanals durchgeführt werden. Am Ende steht jedoch immer der Rohreinzug: Das vorgestreckte Rohr wird am Bohrgestänge befestigt und in den Bohrkanal eingezogen. Dieses Vorgehen ist unabhängig vom verwendeten Rohrwerkstoff.

2.2 Mögliche Beschädigung der Außenseite während des Rohreinzugs

Während des Rohreinzuges kann es z. B. durch spitze Steine, Scherben o. ä. zu Beschädigungen an der Außenseite des Rohres kommen. Solche Beschädigungen sind in Form von Riefen und Rissen vorzufinden. Während bei Stahlleitungen Beschädigungen der Umhüllung durch eine elektrizitätsbasierte Messung festgestellt werden können, ist dies bei Leitungen aus PA nicht der Fall. Es muss also sichergestellt werden, dass wenn Riefen/Risse beim Rohreinzug entstehen, diese den sicheren Betrieb der Rohrleitung nicht gefährden. Bereits bei der Planung

und Durchführung der HDD sind Maßnahmen zur Reduktion der Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung möglich:

– Berücksichtigung der Ergebnisse des geotechnischen Berichts
– Möglichst gerade Verlauf der Bohrlinie
– Ausreichende Dimensionierung des Bohrkanals
– Überwachung des gesamten Einziehvorgangs (insb. der Zugkräfte)
– Ballastierung des Rohres zur Reduktion der Reibung an der Bohrkanalwand
– Verwendung eines „Indikatorstückes“

3 Das Indikatorstück

Um einen besseren Eindruck der Belastung der Außenseite des Rohres im Bohrkanal zu bekommen, empfiehlt es sich ein sog. Indikatorstück zu verwenden. Dazu wird das einzuziehende Rohr länger geplant, als es eigentlich erforderlich wäre. Dieses zusätzliche Stück wird bei der Durchführung der Bohrung aus dem Bohrkanal herausgezogen und kann in Augenschein genommen werden, was einen guten Anhalt für den Zustand des Rohres im Bohrkanal bietet.



Bild 1: Blick auf ein Indikatorstück nach dem Rohreinzug



Bild 2: genauere Betrachtung des in Bild 1 gezeigten Rohrstückes

4 Risswachstum in Kunststoffen

Wenn ein Riss in einem Werkstoff entsteht, bestehet grundsätzliche die Möglichkeit, dass dieser wächst, also das Material weiter aufreißt. In Kunststoffen gibt es zwei wesentliche Wachstumsmechanismen von Rissen:

– Schnelles Risswachstum („Rapid Crack Propagation“, RCP)
  Hierbei handelt es sich um eine schlagartige, plötzliche Vergrößerung des Anfangsrisses. Das Rohr platzt regelrecht auf.

– Langsames Risswachstum („Slow Crack Growth”, SCG)
  Hierbei handelt es sich um eine allmähliche Vergrößerung des Anfangsrisses, welche bei einer Beanspruchung über längere Zeit langsam zunimmt. Der Riss breitet sich über die Zeit über das Rohr aus.

Für beide Wachstumsmechanismen lassen sich in Versuchen Grenzdrücke bzw. Grenzspannungen bestimmen.



Bild 3: aufgeplatztes Rohr mit Riss bei einem Berstversuch

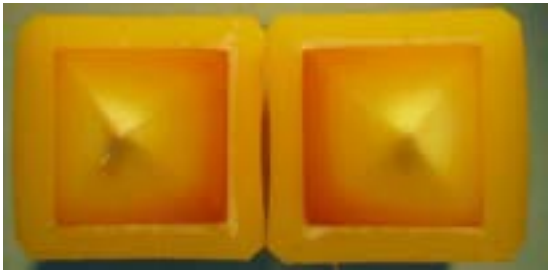


Bild 4: Bruchflächen nach dem Labortest zur Bestimmung der Grenzspannung für langsames Risswachstum

Beide Risswachstumsmechanismen können langfristig die Sicherheit der Rohrleitung gefährden. Bei der Betrachtung der Risse ist auch ein Auftreten in Kombination zu berücksichtigen: Ein Anfangsriss, der zunächst nur langsam wächst, kann anschließend bei entsprechender Belastung auf großer Rohrlänge aufreißen. Da die Grenzwerte eines bestimmten Rohres (Durchmesser, Wanddicke, Material) für schnelles und langsames Risswachstum jedoch bestimmt werden können, kann auch ein entsprechendes Konzept entwickelt werden, sodass Risse nicht weiter anwachsen können. Risse wachsen in Abhängigkeit der Zähigkeit des Werkstoffes. Je zäher ein Werkstoff, desto größer der Widerstand gegen Risswachstum.

5 Druckprüfungskonzept

5.1 Anspruch

Die Druckprüfung soll die Integrität der Rohrleitung nachweisen, indem Dichtheit und Festigkeit der Leitung nachgewiesen werden.

Sollten trotz sorgfältiger Planung und Durchführung der Bohrung Risse an der Außenseite des Rohres entstehen, muss ausgeschlossen werden, dass diese im Laufe der geplanten Lebensdauer der Leitung zum Versagen der Leitung führen. Ein Riss, der aufgrund seiner Tiefe in der Lage ist, die Integrität zu gefährden, wird im Folgenden als kritischer Riss bezeichnet. Das heißt, dass dieser Riss nicht unbedingt zum sofortigen Versagen der Leitung bei Inbetriebnahme führen muss, sondern auch über langsames Risswachstum nach vielen Jahren zum Versagen führen kann. Um einen solchen kritischen Riss auszuschließen, kann eine „erweiterte Druckprüfung“ mit einem erhöhten Prüfdruck durchgeführt werden.

5.2 Ermittlung des Prüfdruckes

Der Werkstoff Polyamid altert: Seine mechanischen Kennwerte verschlechtern sich über die Jahre ein wenig. Die Streckspannung des Werkstoffes nimmt mit der Zeit ab, weshalb Rohre aus Polyamid zu Beginn der Lebenszeit eine Wanddickenreserve besitzen, sodass auch am Ende der Lebenszeit (mit reduzierter Streckspannung) noch ausreichend Tragfähigkeit vorhanden ist. Die Wahl des Prüfdruckes muss also berücksichtigen, dass ein aktuell nicht-kritischer Riss ggf. zu einem späteren Zeitpunkt kritisch werden könnte.

Da die für das jeweilige Risswachstum charakteristischen Werte bereits in praktischen Versuchen (Druckprüfungen, Versuche zur Rissbildung und -fortpflanzung), kann der Prüfdruck so gewählt werden, dass er das Vorhandensein eines kritischen Risses ausschließt.

Der Prüfdruck muss folgendes berücksichtigen: Er muss hoch genug liegen, um schnelles Risswachstum zu provozieren, sofern ein kritischer Riss vorliegt. Ein Riss, der bei der Prüfung nicht durch schnelles Risswachstum zum Versagen führt, ist dann maximal so tief, dass langsames Risswachstum ebenfalls nicht zum Versagen während des Betriebs führen kann.

6 Zusammenfassung und Fazit

Die Verwendung von Rohren aus Polyamid bietet für den Leitungsbetreiber eine Kostenersparnis bei der Verlegung der Rohrleitung. Jedoch müssen im Zusammenhang mit dem „neuen“ Werkstoff Polyamid auch ggf. herkömmliche Bewertungsmaßstäbe und -methoden angepasst werden.

Durch die Sorgfältige Planung und Durchführung von HDDs können auch Rohre aus Polyamid sicher verlegt und betrieben werden. Dazu sind keine großartigen Veränderungen erforderlich, sondern lediglich die Berücksichtigung einiger Aspekte während der Planung und eine kontinuierliche Überwachung des Einziehvorganges. Die Nutzung eines Indikatorstückes liefert ein gutes Indiz für den Zustand der Leitung im Bohrkanal.

Zusätzlich kann eine Druckprüfung mit erhöhtem Prüfdruck die Dichtheit und Festigkeit der Leitung nachweisen – auch wenn sich während des Rohreinzuges eine Riefe/ein Riss an der Außenseite des Rohres gebildet haben sollte. Weil die Streckspannung von Polyamid über die Lebensdauer abnimmt, werden die Rohre mit einer Wanddickenreserve ausgelegt. Wird bei der Ermittlung diese Wanddickenreserve in Kombination mit den beiden Risswachstumsmechanismen berücksichtigt, kann nachgewiesen werden, dass die Rohrleitung einen Riss enthält, welcher über die Lebensdauer ein Versagen der Leitung herbeiführt.

Die Druckprüfung mit erhöhtem Prüfdruck muss nicht immer durchgeführt werden. Sie sollte erst dann in Erwägung gezogen werden, wenn die Baugrundverhältnisse, die Überwachung der Bohrungsparameter sowie das Indikatorstück den Verdacht begründen, dass Riefen entstanden sein könnten. Dann bietet sie jedoch eine gute Möglichkeit zum Nachweis der Integrität der Leitung.

Somit sollte kein grundsätzliches Hindernis bestehen eine Leitung aus Polyamid mittels HDD zu verlegen.

Autor:

B.Eng. Tobias Männel
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH,
Hannover

Tel.: 0511 28499-42
E-Mail:
tobias.maennel@veenkergmbh.de
Internet:
www.veenkergmbh.de



Drilling long under Lake Sakakawea

Von Raelison Novaes, Michael Lubberger

1 Einleitung

Viele Jahrzehnte galt die Länge einer Trasse als wesentliches Hindernis in der Evaluierungsphase von Horizontalbohrungen (HDD). Im Rahmen des Wachstums und der Expansion der HDD-Branche, finden Bauunternehmen und Ingenieure immer mehr Möglichkeiten, um noch breitere und tiefere Hindernisse zu unterqueren, als es noch vor wenigen Jahren für möglich gehalten wurde. Der Erfolg eines Projekts ist zu einer Frage der technischen Durchführbarkeit geworden, wobei die Entwicklung und Implementierung neuer Technologien in die Methodik zunimmt. Zusätzlich zu der Zeit, die für die Vorplanung des Projekts, die Erfassung geologischer Daten, ein effektives Management, die richtige Wahl des Bohrwerkzeugs und die passende Spezifikation für das Bohrequipment aufgewendet werden muss, wurde ein Szenario geschaffen, indem eine Weiterentwicklung der Technik möglich wurde. Die HDD-Technologie hat sich kontinuierlich weiterentwickelt und wird sich auch in der Zukunft weiterentwickeln.

Diese HDD-Entwicklung ermöglicht es vielen Bereichen der Infrastruktur zu expandieren und Energie, Versorgungsleitungen, Wasser und andere Produkte selbst in die entlegensten Gebiete zu liefern. In den vergangenen Jahren hat Michels Trenchless einer Vielzahl von Industrien geholfen, sichere und kosteneffiziente Lösungen für den Einsatz der HDD-Technik zu entwickeln. Vor Kurzem hat Michels eine Unterquerung von mehr als 4 Kilometern Länge durchgeführt und damit die Fähigkeiten dieser sich ständig weiterentwickelnden Technologie unter Beweis gestellt. In diesem Beitrag wird untersucht, inwiefern ein umfassender Planungsprozess im Vorfeld und eine langjährige Erfahrung mit der HDD-Technik der Schlüssel zum Erfolg bei grabenlosen Installationen in Rekordlänge sind.

2 Geschichte und Entwicklung von HDD

Als Mitte der 1960er-Jahre das Horizontal Directional Drilling (HDD) als neue Methode zur Verlegung von Versorgungsleitungen unter feststehenden oder unumgänglichen Hindernissen aufkam, ohne die Oberfläche oder das Hindernis nennenswert zu beinträchtigen, erreichten die Unterquerungen eine Länge von bis zu einigen Hundert Metern, welches häufig mit Setzungen entlang der Trasse einherging. Dies änderte sich im Jahr 1971, als Martin Cherrington, der allgemein als Vater des HDD-Verfahrens gilt, gebeten wurde, eine 4-Zoll-Gasleitung unter dem Pajaro River in Watsonville, CA [1], zu verlegen. Diese erfolgreiche, 500 Fuß lange Unterquerung eines Flusses galt als erstaunliche Leistung – die erste in einer langen Reihe von erfolgreichen Projekten in dieser schnell wachsenden, von Innovationen geprägten Branche.

In den folgenden zwei Jahrzehnten stiegen die HDD-Leistungen in Länge und Durchmesser auf über 1.000 Fuß mit Durchmessern von mehr als 40 Zoll. Nach jedem Erfolg, der in Bezug auf Länge, Durchmesser oder Bodenbeschaffenheit erreicht wurde, stellte sich die Frage, was noch möglich wäre.[2] Mit einer Reihe von Innovationen wurden die Bohrgeräte leistungsfähiger, die

Navigation und Vermessung schneller und genauer, die Bohrspülungen auf Wasserbasis weiterentwickelt und besser an die unterschiedlichen geologischen Bedingungen angepasst sowie neue komplexere Techniken eingeführt, um Risiken zu minimieren und realisierbare Lösungen für Bohrungen selbst bei den schwierigsten Bodenverhältnissen zu entwickeln. Diese Kombination veranlasste die Auftraggeber, die auf die Erschließung und den Transport wertvoller Ressourcen zu und von schwierigen Quellen angewiesen waren, dazu, die Zusammenarbeit von Ingenieuren und Auftragnehmern zu fördern, um sichere, zuverlässige und umweltverträgliche Lösungen für wichtige Projekte zu realisieren.

Als die Gesamtlängen der Bohrungen die 1000 m Marke überschritten, leistete das Team für horizontale Richtbohrungen der Michels Corporation bei einer Unterquerung in Boston im Jahr 2003 Pionierarbeit mit der Pilotloch-Intersect-Methode.[3] Ein leistungsfähiges Bohrgerät startete von jeder Seite der Trasse mit der Aufgabe, einem vorgegebenen Streckenverlauf zu folgen und sich an einer vorbestimmten Position in der Nähe der Trassenmitte zu treffen, wodurch sich das Potenzial einer HDD-Bohrung allein durch die kombinierte Schub-/Zugleistung von zwei Bohrgeräten anstelle von einem verdoppelte. Bei der Georges Island HDD-Querung handelte es sich um eine 1.577 m lange Hartgesteinsquerung von Wasser zu Wasser, zur Installation von Rohren mit einem Durchmesser von 30 Zoll.[4]



Bild 1: Im Jahr 2021 erweiterte Michels die Energielieferoptionen, indem es eine Horizontalbohrung (HDD) unter dem Lake Sakakawea in North Dakota, USA, durchführte.

Fast 20 Jahre später ergab sich ein Projekt in North Dakota. Der Sakakawea-See, der 1956 durch den Bau des Garrison-Damms am Missouri River entstand, ist Teil eines Hochwasserschutzprojektes und dient der Stromerzeugung aus Wasserkraft.[5] Mit einer Länge von 285 km, einer durchschnittlichen Breite von 3 bis 5 km und einer maximalen Breite von 23 km schränkt der Sakakawea-See die Transportmöglichkeiten ein, das aus der Bakken-Formation im Nordwesten von North Dakota entnommene Erdgas zu den Pipeline-Verbindungen im Südosten zu transportieren.[6] Dies führte dazu, dass die bestehende Infrastruktur nicht ausreichte, um den Transportbedarf des bei der Erdölförderung anfallenden Erdgases zu decken.

Vor dem Hintergrund der kostspieligen Optionen, Hunderte von Kilometern Pipeline um den Sakakawea-See zu bauen oder flüssiges Erdgas in Tankwagen um den See zu transportieren, wurde ein großer Teil des Erdgases sicher in einer Fackel verbrannt, um die Freisetzung von Kohlenwasserstoffen in die Atmosphäre zu verhindern.[7]

Die WBI Energy, Inc. (WBI), eine Tochtergesellschaft der MDU Resources Group, Inc. beauftrage im Jahr 2021 die Michels Corporation mit dem Bau der Transportleitung und der grabenlosen Bauabschnitte ihres North Bakken Erweiterungsprojektes.

Nach Angaben von WBI sollten im Rahmen des North-Bakken-Erweiterungsprojekts bis zu 250.000 Dekatherms pro Tag (Dth/d) an verbindlicher Transportleistung von Entnahmestellen im Williston Basin im Nordwesten North Dakotas und in der Nähe der bestehenden Tioga Kompressor Station von WBI zu einer neuen Anschlussstelle mit der Northern Border Pipeline Company (Northern Border) in McKenzie County bereitgestellt werden.[8]

Die Arbeiten an der Hauptleitung umfassten den Bau von ca. 100 km einer neuen 24-Zoll-Erdgasleitung, 50 km einer 12-Zoll-Erdgasleitung und 0,96 km einer 8-Zoll-Erdgasleitung durch Hügellandschaften, Flachland und Prärie.

3 Lösungsmethode zur Unterstützung des Projekts

Ein kritisches Element des Projekts war die Realisierung einer gewaltigen grabenlosen Unterquerung, die bei einem Durchmesser von 24 Zoll weltweit noch nie durchgeführt worden war: 4.702 m - knapp 5 km.



Bild 2: Im Jahr 2019 hat Michels eine ähnliche, aber kürzere HDD-Bohrung im gleichen Gebiet durchgeführt.

Das HDD-Verfahren wurde als das geeignetste, aber gleichzeitig auch sehr komplexes Verfahren für die Verlegung ausgewählt. Der grabenlose Teil des North-Bakken-Erweiterungsprojekts war 687 m länger als ein HDD-Projekt, das Michels nur zwei Jahre zuvor in der gleichen Gegend durchgeführt hatte. Im Jahr 2019 wurde mit der 4.038 m langen Verlegung eines 20-Zoll-

OD-Stahlrohr ebenfalls die Grenze der HDD-Technologie überschritten und wurde als eine der längsten bisher in Nordamerika durchgeführten Arbeiten mit diesem Durchmesser angesehen.[9]

4 Konstruktions- und Projektplanung

Ein Projekt dieser Größenordnung erfordert eine ebenso umfangreiche Konstruktions- und Planungsphase. Zu den wichtigsten Überlegungen gehörten:

A. Länge

Michels verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der grabenlosen Bauindustrie mit dem Bohren von Unterquerungen mit verschiedenen Längen, Durchmesser und geologischer Gegebenheiten. Dieses Fachwissen diente als Grundlage, um dem Unternehmen Michels das erforderliche Selbstvertrauen und die nötigen Einblicke zu geben, um Projekte zu verfolgen, die noch nie vollendet worden sind. Im Jahr 2019 hatte Michels eine Unterquerung mit einer Länge von 4.038 m in North Dakota abgeschlossen. Diese Querung sollte in Länge und Durchmesser durch ein neues Rohrleitungsprojekt von fast 5 km Länge übertroffen werden, was eine große Herausforderung darstellte, die jahrelange Studien und Vorbereitungen erforderte, um sicherzustellen, dass alle Risikobereiche abgedeckt wurden.

B. Geologie

Für den erfolgreichen Verlauf einer Rohrleitungsverlegung ist es von entscheidender Bedeutung, die unterirdischen Verhältnisse entlang und in der Nähe geplanten Trasse für eine grabenlose Unterquerung zu kennen. Hierzu war eine intensive Baugrunduntersuchung erforderlich, um die unterirdischen Bedingungen zu erfassen und einen idealen Trassenverlauf für die Planung der Unterquerung sowie einen realisierbaren Plan für die weitere Vorgehensweise festzulegen.

In diesem Kontext ist es von Bedeutung zu erwähnen, dass in der Vergangenheit bereits einige kürzere Unterquerungen in der Nähe durchgeführt wurden und die gesammelten Daten sowie historische regionale geologische Informationen als Basis für das Verständnis des Gesamtbildes der Formation herangezogen werden konnten. Weitere geotechnische Untersuchungen dienten einer Erweiterung dieser Erkenntnisse. Etwa drei Jahre vor Beginn der Bauphase wurden in der Nähe der Eingangs- und Ausgangsstellen Erkundungsbohrungen mit einer Tiefe von etwa 112 m bis 121 m durchgeführt. Hierbei wurden zahlreiche Daten und Berichte erhoben, um die Ergebnisse der geologischen Untersuchungen von früheren Unterquerungen in der Umgebung zu bestätigen.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Formation überwiegend durch ein Sedimentbett und Schichten aus Schluff, Ton, Sand, Braunkohle, kohlenstoffhaltigem Schiefer, Tonstein und Kohleflözen geprägt war, was eine Herausforderung bei der Bestimmung der optimalen Tiefe für die Planung der Unterquerung darstellte.

C. Zulässige Bohrlochdrücke

Nachdem die geologische Beschaffenheit festgestellt worden war, konnte das Team von CCI Engineering Services die Länge der Unterquerung, den Durchmesser des Pilotbohrlochs und die geologischen Bedingungen zusammenführen, um die Tiefen zu bestimmen, in denen die Formation in der Lage wäre, die Druckkräfte auszuhalten, ohne aufzubrechen und um die zu erwartenden Bohrlochdrücke während der Bohrung zu bestimmen, um unbeabsichtigte Spülungsrückflüsse zur Oberfläche bzw. ins Wasser zu vermeiden.

D. Vermessung

Beim Horizontalbohrverfahren gibt es zwei Arten von Steuerungssystemen. Magnetische Systeme, die das Magnetfeld der Erde als primäre Quelle quantifizierbarer Vektoren zur Bestimmung der Bohrlochrichtung in drei Dimensionen nutzen sowie ein künstliches Magnetfeld, das die berechnete Position bestätigt.

Das künstliche Magnetfeld wird entweder mit Wechsel- oder Gleichstrom erzeugt, wobei in beiden Fällen ein zuvor vermessener Stromkreis an der Oberfläche über der Bohrlochtrasse verlegt wird. Der Schaltkreis erzeugt ein Magnetfeld, das als sekundäres Ortungssystem verwendet wird, um die berechnete Position zu bestätigen, die zuvor auf der Grundlage des Erdmagnetfelds und der Beschleunigungssensoren ermittelt wurde.

Die zweite Art von Systemen, die auch als nichtmagnetische Systeme bezeichnet werden, sind die Gyroskope. Die meisten bei HDD eingesetzten Gyroskop-Systeme basieren auf einem geografischen Koordinatensystem, das auf einer bestimmten Richtungslinie basiert, die von geografischen Koordinaten abgeleitet ist. Bei diesem System sind meist keine zusätzlichen Bestätigungsschaltungen an der Oberfläche erforderlich.

Der Lake Sakakawea hat an der Stelle der Unterquerung eine Länge von 3,7 km, weshalb es fast unmöglich ist, an der Oberfläche irgendeine Art von Stromkreis zu verlegen, was ein gyroskopisches System zum idealen System für das Projekt machte.

E. Vorgehensweise

Als man sich für die „Intersect-“ oder „meet in the middle“-Methode entschied, wurden einige Faktoren berücksichtigt, um die Pilotbohrung für das Projekt durchführen zu können. Diese Methode würde:

- Ringraumdrücke minimieren, die andernfalls weit über den zulässigen Grenzen der Formation liegen würden.
- Die Bohrlochreinigung optimieren. Der Abtransport des Bohrkleins aus dem Loch ist von großer Bedeutung, um Verstopfungen im Bohrloch durch Ablagerungen zu vermeiden.



Bild 3: Pilotbohrungen von HDDs mit Bohrgeräten auf jeder Seite der Trasse mit dem Ziel, sich ungefähr in der Mitte zu treffen.

- Die Steuerung verbessern. Bei großen Entfernungen kann es aufgrund der dreh-elastischen Torsionskräfte entlang des Bohrgestänges schwierig werden, das BHA (bottom hole assambly) zu positionieren und in die gewünschte Richtung zu schieben, um den Kurs der Trasse beizubehalten
- Minimierung der Kräfte und Drehmomente für die Bohranlagen und Erhöhung der Bohrgeschwindigkeit. Da das Projekt vor dem Einsetzen des strengen Winterwetters in North Dakota abgeschlossen sein musste, war die Einhaltung des Zeitplans von hoher Bedeutung.

Nach Fertigstellung des Pilotbohrlochs wurden die beiden Rigs über einen einzigen durchgehenden Bohrstrang verbunden. Das Bohrloch wurde bis auf den endgültigen Durchmesser von 36 Zoll aufgeweitet. Ein speziell angefertigter „Hole opener“ wurde entwickelt, um das Loch so zu vergrößern, dass es die Entfernung und die Belastung durch die Formation entlang der Unterquerung übersteht. Hierfür war eine erhebliche Menge an Bohrspülung erforderlich, um sicherzustellen, dass das Loch während des Bohrvorgangs gereinigt wurde.



Bild 4: Michels entwickelt und stellt eigene HDD-Anlagen her.

Die Aufweitung des Bohrlochs dauerte weniger als einen Monat, und im Anschluss daran wurde ein Spülvorgang vorgenommen, um sicherzustellen, dass das Loch sauber und gleichmäßig war.

Das zusammengeschweißte Produktrohr wog etwa 1678 Tonnen. Aufgrund des immensen Gewichts, das bewegt werden musste, und der Kraft, die zur Überwindung der Trägheit erforderlich war, installierte Michels ein 750-Tonnen-Pipe Thruster an der Austrittsstelle, um die Bohranlage beim Ziehen des Rohrs zu unterstützen.

Dabei stand wie immer die Sicherheit der Mitarbeiter an erster Stelle. Aus diesem Grund war ein hohes Maß an Koordination erforderlich, um diese lange und schwere Last zu bewegen. Es war von entscheidender Bedeutung, dass die Kommunikation vom Start bis zum Ende des Produktrohrs - insgesamt 4703 m - zu 100 Prozent synchronisiert war. Schlussendlich positionierten mehrere schwere Mobilkräne das Rohr und sicherten die Lasten während der gesamten Dauer des Rückzugs, der insgesamt zwei Tage dauerte.

F. Management

Um einen reibungslosen Ablauf der Arbeiten zu gewährleisten, war ein hohes Maß an Planung erforderlich, bevor die Arbeiten überhaupt beginnen konnten. Einige Faktoren des Projekts, wie

die Beschaffung und Lagerung von Frischwasser, der Platz für die Verlegung und das Schweißen des Produktrohrs, die Wartung der Ausrüstung, die Ersatzteilbeschaffung, die Stillstandszeiten und die Logistik stellten dabei eine besondere Herausforderung dar.

5 Technologien

A. Rigs von Michels

Zwei von Michels selbst entwickelte und hergestellte Rigs mit einer Leistung von jeweils mehr als 500 Tonnen Schub- und Zugkraft wurden auf beiden Seiten der Unterquerung eingesetzt, bis die Bohrung abgeschlossen war.

B. Michels-Gewindeverrohrung

Die ein- und ausgangsseitigen oberen Schichten bestanden aus unbefestigten und instabilen Gesteinsschichten, die eine erhebliche Gefahr für die Stabilität des Bohrlochs, die Zirkulation der Bohrspülung während des Betriebs und für die Stabilität des Bohrgestänges darstellten, um eine bessere Verteilung der Axialkräfte zu ermöglichen. Die Lösung für dieses Problem war die Verwendung von Oberflächen-Verrohrungen.



Bild 5: Nach zwei Tagen des Rückzugs wurde das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

Michels installierte etwa 220 m 14-Zoll-Schraubcasing auf jeder Seite. Dabei sind die Verrohrungen von Michels so konstruiert und gebaut, dass sie eine hervorragende Leistung aufweisen und wie ein überdimensioniertes Bohrgestänge funktionieren, was einen schnellen Einbau und Ausbau und eine hohe Wider- standsfähigkeit gegenüber den Belastungen während der Baumaßnahme ermöglicht.

6 Fazit: Teamarbeit als Schlüssel zum Erfolg

Michels, WBI und CCI arbeiteten drei Jahre lang an der Projektplanung für dieses Projekt. Hierbei wurde jeder Schritt des Projekts gründlich besprochen und diskutiert, bis der Bauherr, die Ingenieure und das Bauunternehmen einen gemeinsamen Plan hatten, der das Projekt zum Erfolg führen würde. Jedes anspruchsvolle Projekt erfordert ein intensives Maß an Planung, Engagement und Bewertung, was bereits bei der Projektvorbereitung beginnt, wobei der Zeitaufwand hierfür direkt proportional zur Komplexität des Projektes ist. Michels Trenchless leistet mit seinem erfahrenen Team einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der Horizontalspülbohrbranche und beweist, dass man noch weiter gehen, wenn das richtige Personal, die richtige Ausrüstung und die richtigen Methoden zusammengebracht werden, um gemeinsame Ziele zu erreichen.

Projektdetails:

Länge: 4703 m
Produktrohr-OD: 24" / Stahl
Höhenunterschied zwischen Eingang und Sohle: 99 m
Bohrlochdurchmesser: 36"
Rig-Größen: 500 Tonnen
Pipe Thruster: 750 Tonnen
Standort: North Dakota, USA
Dauer Pilotbohrung: 39 Tage
Aufweitung: 26 Tage
Rohreinzug: 2 Tage

7 Literaturverzeichnis

[1] https://trenchlesstechnology.com/brief-history-horizontal-directional-drilling#:~:text=The%20Beginning,for%20a%20gas%20line%20installation
[2] https://www.nuca.com/trenchless
[3] https://ucononline.com/magazine/2020/december-2020-vol-75-no-12/directional-drilling/intersect-hdd-gets-better-with-experience
[4] https://trid.trb.org/view/759235
[5] https://www.nd-direct.com/travel/lake-sakakawea.php#:~:text=Lake%20Sakakawea%20was%20created%20to,and%20was%finished%20in%201953.
[6] https://www.houstonpipeliners.net/docs/PAH_2021_08_Design_and_Construction_for_Record_HDD.pdf
[7] https://www.houstonpipeliners.net/docs/PAH_2021_08_Design_and_Construction_for_Record_HDD.pdf
[8] https://www.worldpipelines.com/equipment-and-safety/119042022/safe-and-successful-horizontal-directional-drilling/
[9] https://trenchlesstechnology.com/2020-trenchless-technology-project-of-the-year-new-installation/

Autoren:

Master Engineering Management,
Bachelor Civil Engineering
Raelison Noaves
Michels Trenchless, Brownsville, WI, USA

Tel.: 001 920 924 4300
E-Mail:
rnovaes@michels.us
Internet:
www.michels.us



Dipl.-Ing. Maschinenbau
Michael Lubberger
Michels Trenchless GmbH, Lahr, Germany

Tel.: +49 151 111 899 44
E-Mail:
mlubberger@michelstrenchless.de
Internet:
www.michelstrenchless.de



Separationstechnik im Spezialtiefbau – worauf kommt es bei Zentrifugen wirklich an?

Von Benedikt Haider

1 Einleitung

2016 fiel der inoffizielle Startschuss, für die ernsthaft Entwicklung von Separationsequipment für die „klein HDD“ Branche.
Die dabei in den letzten sieben Jahren gezeigten Konzepte, unterschieden sich oft sehr im Entwicklungs- Ansatz. Zu Beginn wurden überwiegend Kompakteinheiten mit Schwingsiebanlagen und Hydrozyklon- Kombinationen gezeigt.
Nur wenig Entwicklungsarbeit wurde in der Spezialisierung von Zentrifugen–Technik für die besonderen Anforderungen im HDD Markt geleistet.
Mittlerweile ist aber die Zentrifugen–Technik im Markt etabliert und die Vorteile dieser Technik sind publik. Dies hat zur Folge, dass immer mehr Spezialtiefbauunternehmen diese Technologie auch bei sich verfolgen wollen und dabei aber oft auf unpassendes Equipment stoßen.
In diesem Beitrag soll kurz die Historie der Separationstechnik, der Stand der Technik bei Spezial - Zentrifugen und die aktuellen Entwicklungen gezeigt werden. Ziel ist es, eine gewisse Transparenz zu schaffen, was wirklich geeignet ist und was eben nur bedingt.

2 Warum wird Recycling im Spezialtiefbau eingesetzt?

Die Ansätze für die Separationstechnik sind Anwendungsübergreifend ähnlich und zumeist dem Umweltgedanken basierend.
<< Schonung von Ressourcen bei möglichst geringer Erzeugung von Abfallstoffen >>

Da dies international immer mehr gefordert wird, werden auch entsprechend die Gesetze und Reglements für öffentliche Ausschreibung/ Projekte permanent angepasst.
Der Spezialtiefbau- Unternehmer wird somit „gezwungen“, sich mit dem Thema Recycling auseinanderzusetzen.
Neben den gesetzlichen Bestimmungen, welche das Recycling immer mehr fordern, gibt es aber auch Vorteile für den Spezialtiefbau- Unternehmen.
Diese können in 2 Kategorien eingeteilt werden können:

Vorteile Kategorie 1 (direkte)

- Senkung Wasserverbrauch; Kosten Ersparnis für Frischwasser (z.T. Transportkosten) und höhere Unabhängigkeit bei Wasserknappheit
- Senkung der Bohrzusatzstoffe; weniger Kosten
- Senkung der zu entsorgenden Reststoffe/ Änderung der Kategorie „Schlamm“ zu Wasser und recycelten Bohrklein
- Unabhängigkeit lokaler Recyclingunternehmen
- Platzersparnis; die oft verwendeten in Reihe geschalteten statischen Absatzmulden mit Überlauf können entfallen

Vorteile Kategorie 2 (indirekte)

- Produktivität steigt, da die Bohrspülung im Kreislauf gefahren wird und Wartezeiten für Absauger oder Wasserholen entfallen.
- Die Werkzeuge (Bohrgestänge, Bohrköpfe, Räumer usw.) werden durch mögliche höhere Spülungsmengen geschont.
- Die Zeiträume für die Ersatzbeschaffung dieser Werkzeuge werden gestreckt = Kostenersparnis.
- Separationsanlagen können auch in fremden Anwendungen verwendet werden, zweites Standbein für das Unternehmen möglich

3 Ursprung der Recyclingtechnologie im Spezialtiefbau

3.1 Separationstechnik im Spezialtiefbau Heute

Die Separationstechnik ist grundlegend im Spezialtiefbau Stand der Technik.

Bereits seit Jahrzehnten wird in Großprojekten wie Tunnelvortrieb, Microtunnel, „groß“ HDD, Geothermie, Offshore- Drilling uvm. Separationstechnik eingesetzt.

Die Ziele der Separationstechnik unterscheiden sich aber in den einzelnen Spezialtiefbauanwendungen.

- Solids Control
  Hier werden nur Grobstoffe (neudeutsch Cuttings) abgetrennt und die Spülung im Kreislauf gefahren

- Klassieren
  Prozess strebt die Klassierungen gewisser Stoffe, wie zum Beispiel die (Rück-) Gewinnung von Schwerspat oder Kaolin an

- Entsorgung
  Nach einmaliger Nutzung der Spülung, wird diese in Fest/Flüssig aufgetrennt um das „Wasser“ in den Kanal/ öffentliche Gewässer einzuleiten oder für die Anmischung neuer Suspension zu nutzen.

In der Tabelle 1 sind die gängigsten Verfahren und deren Separationsziele aufgelistet:

Spezialtiefbau - Anwendungsgebiet	Solids Control	Klassieren	Entsorgung
HDD/ Spühlbohrtechnik	X	X	X
Tunneling und Microtunneling	X		X
Offshore Drilling	X	X	
Schlitzwandfräsen	X		X
Entsorgung auf Deponien			X
Entsorgung von Schlämmen bei Recyclingfirmen			X

Betonschneid- Schlamm			X
Bohrpfähle	X		X
Baugrundinjektion/ Düsenstrahlverfahren			X
Entsorgung von Umweltlasten			X
Geothermie	X	X	X
Brunnen	X		X

Tabelle 1 Anwendungen Separationstechnik

Zum Erreichen dieser Separationsziele, werden unterschiedliche physikalische und chemische Prinzipe herangezogen. Daraus wiederum ergibt sich ein breites Portfolio an möglichen Separationsequipment am Markt, welches individuell für die Projekt- Gegebenheiten im Vorfeld selektiert werden muss.
Da solche Projekte in der Regel mehrere Wochen/Monate dauern und entsprechend großes Equipment benötigt wird (Schlammdurchsätze von 5 - 200m³/h oder mehr), sind hier modulare, semimobile Container- Anlagen im Einsatz.

In der Abbildung 1 wird ein solcher Aufbau exemplarisch gezeigt.



Abbildung 1 Aufbau Separation Microtunnel Quelle: Herrenknecht

1		Microtunnel- Bohrgerät
2		Steuereinheit Microtunnel- Bohrgerät
3		Siebanlage für Grobstoffe
4		Hydrozyklon- Stufe als zweite Reinigungs-stufe
5		Flockungshilfsmittelanlage
6		Statisches Absetzbecken/ Clarifier
7		Zentrifuge

Nebst Zentrifuge werden auch immer noch Kammerfilterpressen, Schneckenpressen oder ähnliches Separationsequipment für die finale Reinigung verwendet. Diese Alternativ- Technologien sind aber im mobilen Separationsequipment für klein HDD- Markt nahezu nicht vorzufinden, da vor allem die Maschinengröße in Abhängigkeit zur Durchsatzleistung viel größer ist, als bei Zentrifugen.

Beispiele einer modernen Dekanter Containeranlage

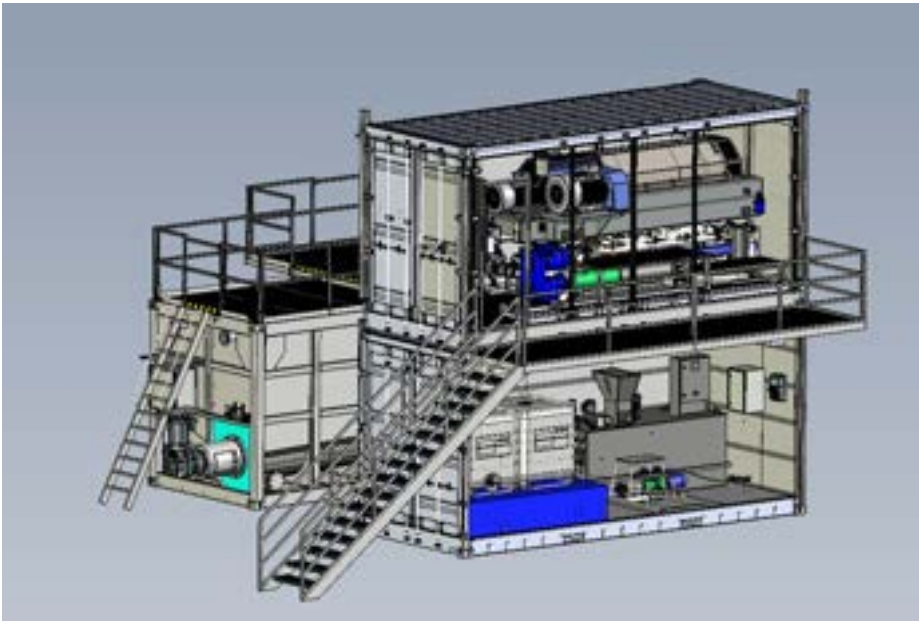


Abbildung 2 System SPF 600 3D

3.2 Unterschied Separation Spezialtiefbau allgemein zu „klein“ HDD

Die in Kapitel 3.1 beschrieben Technologie ist nahezu identisch mit derer, welche auch im „klein“ HDD Bereich genutzt wird.
Der Unterschied ist jedoch, dass die Projekte oft sehr klein sind (geringe Bohrlängen = wenig Spülung).

In Abbildung 3 wird ein gängiger Spülungskreislauf dargestellt.

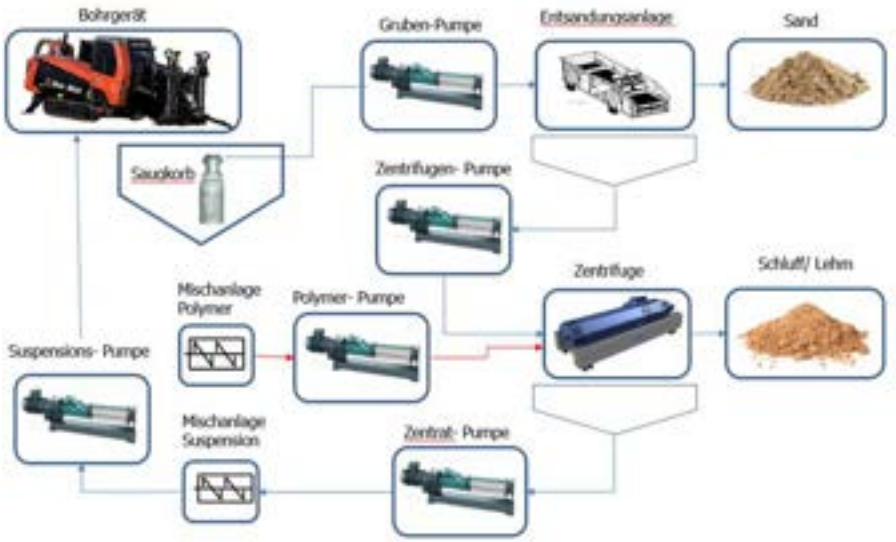


Abbildung 3 Spülungskreislauf HDD

Folgende Anforderungen werden somit an der HDD- Spezialequipment gestellt

- Schnelle Einsatzbereitschaft bei Baustelleneinrichtung
- Mobilität der Anlagen durch gängige Fahrzeugaufbauten im HDD- Tiefbau (KFZ- Anhänger, Hakenabroller, Kettenabsetzer, Wechselbrücke, usw.)
- Autarke Systeme von gegebener Infrastruktur (integrierte Wassertanks, Stromerzeuger, möglichst große Tankvolumen, usw.)
- Möglichst einfache Bedienbarkeit durch z.T. ungeschultes Personal
- Schnelle Integration der Anlage in das HDD- Baustellensystem, mit Automatisierung zur Grube, weiteren Tanks und Mischanlagen
- Separationsanlage auch als Mischanlage einsetzbar
- Anlage auch im Bypass zu anderen Systemen und mit Flockungshilfsmittel einsetzbar

Beispiele einer modernen HDD- Dekanter Containeranlage:



Abbildung 4 MRS350 Midi

3.3 Historie der Zentrifuge

Der Begriff „Zentrifuge“ umfasst eine ganze Familie an Maschinen, welche aber immer das gleiche Prinzip nutzen.
Durch einen rotierenden Prozessraum (zumeist Rotor genannt), wird die allgemein wirkende Fliehkraft auf die einzelnen Partikel erhöht.
Durch den spezifischen Gewichtsunterschied trennen sich daher leichtere und schwerere Phasen voneinander.
Derzeit sind Stand der Technik die Trennung von maximal 3 Phasen (z.B. Wasser, Feststoff, Öl). Vereinzelte Pionierprojekte ermöglichen sogar die Abtrennung einer 4ten Phase.
Die Abfuhr der getrennten Phasen aus dem Prozessraum ist wiederum von Maschinentyp zu Maschinentyp unterschiedlich.
Die Technologie wurde bereits vor 1900 genutzt.

Die im Spezialtiefbau genutzt Zentrifugen sind sogenannte Dekanter- Zentrifugen. Dieser Typ beschreibt eine horizontal- drehende Rotoreinheit mit einer im Rotor integrierten Förderschnecke. Siehe exemplarisch Schnitt einer GHT- Zentrifuge Abbildung 5



Abbildung 5 Funktionsprinzip eines Dekanters

Diese Dekanter wurden in der Zeit um 1950 im Besonderen für die Umwelttechnik entwickelt. Die in dieser Zeit geleistete Pionierarbeit diverser Entwickler hat bis dato noch Gültigkeit und Relevanz.

Für weiter Detailinformationen ist hier folgenden Fachliteratur zu nennen:

- Sokolow: Moderne Industriezentrifugen; VEB Verlag Technik; 1971
- W. Stahl: Industriezentrifugen: Band II: Maschinen- und Verfahrenstechnik DrM Press
- W. Stahl: Industriezentrifugen: Band III: Betriebstechnik und Prozessintegration: DrM Press

Um aber diese „Umweltdekanter“ für den Spezialtiefbau einsetzen zu können, sind gravierende konstruktive Anpassungen notwendig.

4 Dekanter – Eine Sonderentwicklung für den Spezialtiefbau

Ein „Umwelt“- Dekanter kann nur bedingt im Spezialtiefbau eingesetzt werden.

Folgende Faktoren müssen dieser Sonderanwendung angepasst werden:

- Geometrie des Rotors
- Verschleißschutz sämtlicher betroffenen Bereiche
- Antrieb
- Servicefreundlichkeit
- Steuerung/ Automatisierung

Um ein möglichst leistungsfähiges Auslegen durchführen zu können, sind gewisse physikalische Eigenschaften zu beachten:

- Mineralische Partikel lassen sich nicht pressen/ komprimieren wie z.B. Zellen im Klärschlammbereich
- Mineralischer Schlamm ist schwer. In der Umwelttechnik ist man Schlammdichten von 1,1-1,4 kg/dm³ gewohnt. Im Spezialtiefbau sind < 2kg/dm³ möglich
- Mineralischer Schlamm neigt dazu, sehr schnell sich zu separieren, da die Partikel kaum Wasser binden
- Mineralischer Schlamm ist hochabrasiv

Basierend dieser Eigenschaften, müssen folgende konstruktive Merkmale einer Zentrifuge beachtet werden:

1. Winkel des Konus der konischen Trommel muss so flach wie möglich sein
2. Der Auswurfbereich der konischen Trommel muss so groß wie möglich dimensioniert sein
3. Die Trommel muss gemäß kalkulatorischer Auslegung mit dem hohen Schlammgewicht befrachtet werden dürfen
4. Gehäuse, Schnecke und Trommel müssen gegen die Abrasion des Schlammes mittels Hartmetalle, Hochleistungskunststoffen, Keramik und chemischen Beschichtungen geschützt werden
5. Die Antriebsleistung der Trommel und des Schneckenmotors muss hoch genug ausgelegt sein (Faustformel, je m³/h Schlamm 1,6kW installierte Leistung)
   bei Umwelttechnikmaschinen sind es 1,1-1,3kW
6. Das Getriebe muss so dimensioniert werden, dass zum einen die ausreichenden Differenzdrehzahlen, als auch das entsprechende max. Drehmoment an der Schnecke gegeben sind
7. Das Gehäuse und Fundament müssen Servicefreundlich konzipiert sein
8. Die Steuerung der Zentrifuge muss einen modernen, Schneckendrehmoment- abhängigen Regler besitzen mit Verriegelungskette der Gesamtanlage

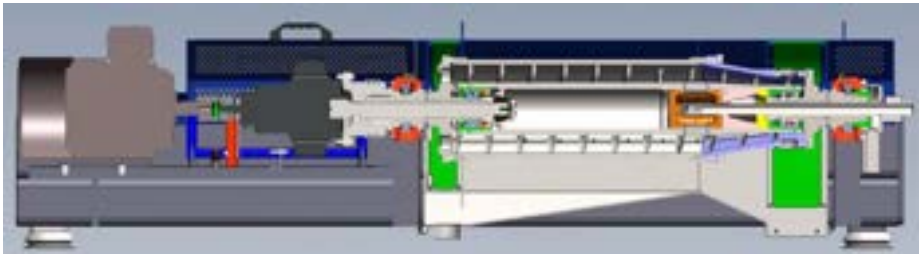


Abbildung 6 Dekanter Spezialtiefbau Schnitt

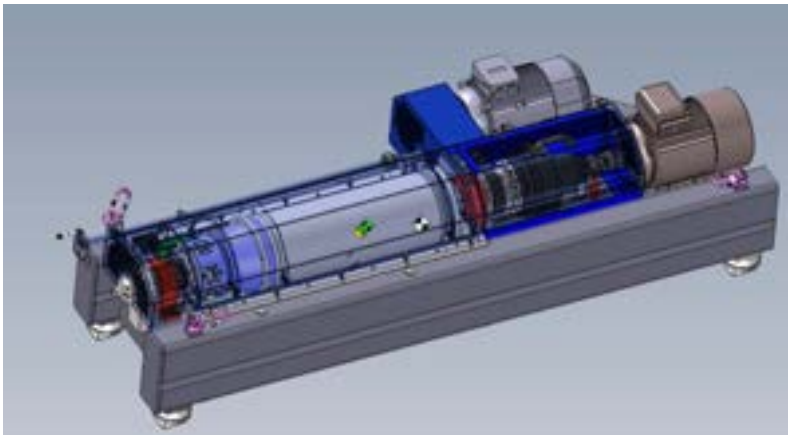


Abbildung 7 Dekanter Spezialtiefbau 3D

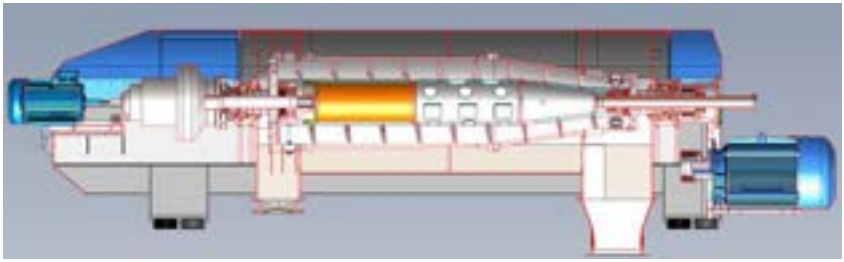


Abbildung 8 Dekanter Umwelttechnik Schnitt

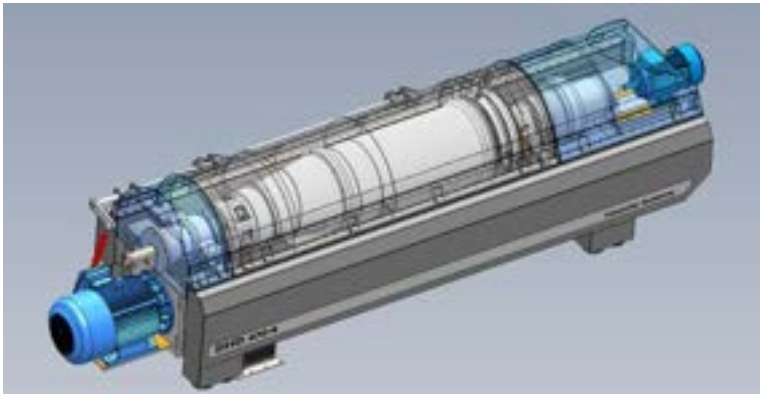


Abbildung 9 Dekanter Umwelttechnik 3D

Autor:

B.Eng.(FH) Benedikt Haider
GHS Separationstechnik GmbH
Neustadt 469, D-84028 Landshut

Tel.: +49 871 9750323 -2
E-Mail:
b.haider@ghsgmbh.de
Internet:
www.ghsgmbh.com



Abbildung 9 Dekanter Umwelttechnik 3D

2
Grabenlose Verlegetechniken II

Umverlegung einer 34"-Mineralölpipeline

Vom Umgang mit erwarteten und unerwarteten Schwierigkeiten

Von Philipp Dick

1 Einleitung

Die Nord-West Oelleitung GmbH (NWO) mit Sitz in Wilhelmshaven betreibt Mineralölfernleitungen und die dazugehörigen Umschlags- und Lagereinrichtungen, um Mineralölraffinerien im Emsland, im Rhein-Ruhr-Gebiet und in Hamburg sowie Kavernen in Wilhelmshaven, Etzel und Epe mit Rohöl zu beliefern. Die im gegenständlichen Projekt betroffene Mineralölfernleitung befindet sich im Eigentum der Norddeutschen Oelleitungsgesellschaft mbH (NDO) in Hamburg. Die NWO wurde von der NDO mit dem Betrieb der Fernleitung beauftragt.
Die NDO-Fernleitung verläuft heutzutage von Wilhelmshaven zur Holborn Europa Raffinerie in Hamburg-Moorburg. Die Hauptleitung von Wilhelmshaven bis zur Molchstation Hamburg-Waltershof hat einen Durchmesser von 22“ und eine Gesamtlänge von ca. 136 km. Diese Fernleitung wurde im Jahr 1982 in Betrieb genommen. Seit 1992 verläuft die Rohrfernleitung mit einem Durchmesser von 34“ ab der Molchstation Hamburg bis zur Übergabe an die Holborn Europa Raffinerie auf einer Länge von ca. 5,8 km. Der jährliche Durchsatz beträgt etwa 4,8 Mio. Tonnen, max. könnten bis zu 8 Mio. Tonnen transportiert werden.

Die Straßenbauverwaltung der Freien und Hansestadt Hamburg plante den Neubau der A 26 als Bauabschnitt 4 (A 7 – Landesgrenze) zwischen Stade und Hamburg in Verbindung mit dem Ausbau der A 7 von Moorburg bis zur Anschlussstelle Hamburg Heimfeld. Durch diese Infrastrukturmaßnahmen im Bereich des Hamburger Hafengebietes wird die vorhandene 34“ Mineralölfernleitung durch zusätzliche Lasten beeinträchtigt. Insbesondere durch den geplanten Neubau des Autobahndreieckes „Süderelbe“ zur Anbindung der neuen A 26 an die bestehende A 7 kommt es zu erheblichen Bodensetzungen. Diese prognostizierten Setzungen sind so groß, dass die bestehende Rohrfernleitung diese Zusatzbelastungen nicht aufnehmen kann. So wurde es erforderlich, die Leitung entlang der Autobahn im Einflussbereich des späteren Autobahnkreuzes auf einer Länge von ca. 1.400 m zu sichern.

Die MOLL-prd wurde bereits im Jahr 2013 mit den ersten Planungsleistungen beauftragt. Es folgten bis zum Jahr 2017 die Erstellung der Genehmigungsunterlagen nach Anhang I der TRFL, im Jahr 2018 die Vorbereitung der Vergabe und ab Mai 2020 die örtliche Bauüberwachung.

2 Die örtlichen Verhältnisse

Das Projektgebiet befindet sich östlich der A 7 im Bereich Moorburg und wird geteilt durch die Straße „Moorburger Elbdeich“. Der nördliche Bereich, ca. 400 m lang, tangiert im Osten den Neuen Altenwerder Deich, eine Hochwasserschutzanlage der Hamburg Port Authority (HPA). Im südlichen Abschnitt verläuft die Fernleitung auf einer Länge von ca. 1000 m in Dammlage zwischen dem Entwässerungsgraben der A 7 im Westen und dem Entwässerungsgraben der Spülfelder Moorburg Mitte, ebenfalls im Zuständigkeitsbereich der HPA, im Osten.

Die Geländehöhen schwanken zwischen ca. 5 m über Normalnull im Norden und ± 0 m über Normalnull im Süden.



Bild 1: Projektgebiet, südlich Moorburger Elbdeich



Bild 2: Projektgebiet, nördlich Moorburger Elbdeich

Der geologische Rahmen wird im Wesentlichen von der jung- und nacheiszeitlichen Entwicklung bestimmt. Die geologischen Karten geben Weichschichten, im Speziellen Torf- bzw. Kleimächtigkeiten von jeweils ca. 2 m bis 6 m an. Unter diesen Weichschichten folgen holozäne Sande mit eingeprägten Rinnenstrukturen (verfüllt mit organischen Sedimentlagen und Sandablagerungen). Darunter schließen sich weichselzeitliche Schmelzwassersande bis zur Sohlfläche des Elbe-Urstromtales an. Die genannte Sohlfläche weist Tiefenlagen von ca. -15 m bis ca. -40 m über Normalnull mit einzelnen weichselzeitlichen Rinnen auf und wird von Geschiebemergel der Elstereiszeit gebildet.
Unterhalb der Weichschichten war „mit Grundwasser in natürlichem Zustand hydraulisch gespannt mit einem Druckniveau um ca. ± 0,0 m über Normalnull“, was ziemlich exakt der Geländeoberkante entspricht, zu rechnen. [2]

Das gesamte Projektgebiet befand sich innerhalb eines Bereiches mit allgemeinem Bombenblindgängerverdacht. Aus der Luftbildauswertung konnten definitiv registrierte Verdachtspunkte (Einschlagstellen) und Bombenkrater ermittelt werden.

Die Spülfelder „Moorburg Mitte“, die einschließlich des Entwässerungsgrabens als Anlage nach BImSchG gelten, wurden mit Projektbeginn als Ausschlussgebiet erklärt, so dass eine partielle Umverlegung als Variante der Sicherung nicht in Betracht kam.

3 Sicherung der Pipeline

Ein Spannungsnachweis bestätigte, dass die Lasten aus der geplanten Überbauung im Bau- und Betriebszustand des Infrastrukturprojektes A 26 zu so massiven Setzungen führen, dass diese durch die bestehende Fernleitung unter Beibehaltung der Betriebskennwerte nicht aufgenommen werden können. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden daher verschiedene Verfahren zur Sicherung der Fernleitung untersucht.
Neben einer großräumigen Umverlegung um die Spülfelder herum wurde geprüft, die in Betrieb befindliche Fernleitung durch eine Abdeckung, welche die Lasten über einen tiefreichende Spundwandschirm beidseitig ableitet, zu sichern. Ergänzend wurden verschiedene geschlossene Verlegeverfahren untersucht. Diese Umverlegung sollte in solchen Horizonten erfolgen, in denen keine Setzungen mehr zu erwarten waren und in die im Rahmen des geplanten Bodenaustausches im Zuge der A 26 nicht eingegriffen würde.

Als vorzugswürdige Variante wurde unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten das Horizontalspülbohrverfahren mit einer Länge von ca. 1000 m herausgestellt, woran sich eine Umverlegung im offenen Rohgraben nördlich des Moorburger Elbdeichs auf einer Länge von ca. 400 m anschließt. Dies war gleichzeitig die Basis der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, einschließlich der Baugrunderkundungsmaßnahmen im Jahr 2014 und 2015.

4 Herausforderungen

Bei der Planung und Bauausführung mussten verschiedene Herausforderungen angenommen und bewältigt werden. Nachfolgend wird zwischen bekannten Herausforderungen, also solchen,

die während des Planungsprozesses bereits bekannt waren, und unbekannten, die erst im Zuge der Bauausführung aufgekommen sind, unterschieden.

4.1 Bekannte Herausforderungen

4.1.1 Baugrund und Hydrologie

Zur Planung der Umverlegung wurden umfangreiche Baugrunderkundungsmaßnahmen durchgeführt. In Anlehnung an die Technischen Richtlinien des DCA wurden mit einem Rasterabstand von ca. 50 m insgesamt 34 Trockenbohrungen (Linerproben) bis in eine Teufe von 25 m niedergebracht. Diese wurden im Anschluss an die durchgehende Kerngewinnung mit Quellton verfüllt. Zur Bestimmung der Lagerungsdichte wurden 10 Drucksondierungen (CPT) durchgeführt. Ergänzend fand eine geophysikalische Untersuchung in Form einer Geoelektrik (hier: Widerstandsgeoelektrik) statt, auf Basis derer ein geologischer Längsschnitt über dem betroffenen Trassenabschnitt erzeugt werden konnte. Die Festlegung des Untersuchungsprogramms erfolgte in Abstimmung zwischen dem Planer und dem Geologen.

Zusammengefasst war im Großteil des zu verlegenden Fernleitungsabschnittes oberflächennah mit organischen Weichschichten in Form von Torf und Klei zu rechnen, die als wenig bis nicht tragfähig einzustufen sind. Die Basis lag, in südlicher Richtung zunehmend, zwischen 2,8 m und 8,5 m unter Gelände. Darunter waren gewachsene Sande (Fein- und Mittelsand, in tieferen Bereichen gröber) zu erwarten, die sich bis in eine Tiefe von ca. 18 m bis 25 m unter Gelände erstrecken. Im Anschluss an diese Sande stand Geschiebemergel mit steifer bis halbfester und partiell fester Ausprägung an. Insbesondere in Schichtgrenzbereichen, in denen Geschiebemergel von Sand überlagert wird, konnten Hindernisse in Form von Steinen, Geröll und Findlingen nicht ausgeschlossen werden. Die Hindernisse können laut Bericht bis zur Größe von Blöcken reichen. Nördlich des Moorburger Elbdeichs musste bis auf Höhe der nacheiszeitlichen Sande von Auffüllungen ausgegangen werden.

Innerhalb der Weichschichten wurde Stauwasser in unterschiedlicher Tiefe vorgefunden. Das Grundwasser unterhalb dieser Schichten lag gespannt in Tiefen zwischen 3 m und 8,5 m unter Ansatzpunkt. Die Endwasserstände lagen zwischen 2,5 m und 0,1 m unter Ansatzpunkt, so dass unter Berücksichtigung von Sicherheiten von einem Bemessungswasserstand knapp oberhalb des Geländes südlich des Moorburger Elbdeichs auszugehen war.

Für die Trassierung der Horizontalspülbohrung erschien aufgrund der mangelnden Tragfähigkeiten der Weichschichten eine möglichst tiefe Bohrung als vorzugswürdig. Dementgegen sollte der Abstand zur Oberkante des Geschiebemergels, einschließlich des Bereiches mit darüberliegendem Geschiebe, ebenfalls möglichst groß sein.

Um die Auswirkungen auf das Horizontalspülbohrverfahren genauer zu beleuchten und die Entwurfstrasse zu prüfen, entschied man sich im Jahr 2017 ein ergänzendes Fachgutachten zu erstellen. In gleichem Zuge erfolgte eine Einteilung in Homogenbereiche.

4.1.2 konstruktive Erfordernisse

Zur Trassenfestlegung waren verschiedenste konstruktive Randbedingungen zu berücksichtigen.
Der elastische Biegeradius der 34“ Fernleitung beträgt entsprechend TRFL mindestens 793 m. Um der zulässigen Abweichung und Steuerung der Pilotbohrung gerecht zu werden, sollte der sog. Designradius im vorliegenden Baugrund ca. dem 1,3-fachen des Mindestbiegeradius entsprechen, hier: ca. 1.030 m. Gleichzeitig sollte man den Eintrittswinkel nicht flacher als 6° ausführen. Beide Aspekte vereint, kam es zu einer Verlegung der Bohrachse in die Homogenbereiche, in denen vermehrt mit Hindernissen zu rechnen war. Eine Reduzierung des Designradius war die Folge.
In der Lage musste man östlich die BImSchG-Anlage als Grenze der Trassierung berücksichtigen. Im Westen kam eine Verlegung unterhalb der A7 nicht in Betracht. Es blieb also nur die Verlegung im Schutzsteifen der Bestandsleitung. Eine weitere Hürde ergab sich dabei aus der geplanten Überbauung in Form eines Überfliegers als Verbindung zwischen der A 26 West und der A 7, der mittels Bohrpfählen gegründet werden soll. Diese Lage war ebenfalls bei der Trassierung zu berücksichtigen und schränkte die zulässige seitliche Abweichung der Bohrung auf ein Maß von 50 cm ein. Die entsprechend des Regelwerks zulässige Toleranz von 10% der Tiefenlage, hätte eine Abweichung von ca. 1,5 m bedeutet. Somit ergab sich eine weitere erforderliche Unterschreitung der Vorgaben aus dem Regelwerk.



Bild 3: Widerlager und Aufständerung Bohrgerät

Aufgrund der schlechten Tragfähigkeit der Weichschichten musste das Bohrgerät auf einer mittels Bohrpfählen gegründeten Konstruktion installiert werden. Das Widerlager wurde auf die maximal mögliche Zugkraft dimensioniert und musste gleichzeitig die Druckkräfte aus der Herstellung der Bohrlochverrohrung aufnehmen.

4.1.3 parallellaufende Arbeiten

Bereits während der Genehmigungsphase – die Umverlegung war Teil der Planfeststellung des Infrastrukturprojektes A 26 West – war klar, dass die Bautätigkeiten sich zeitlich mit den vorbereitenden Arbeiten zum Autobahnbau überschneiden würden.
Gleichzeitig befand sich auch das Projekt „Straßenanbindung Altenwerder-Süd“ (SAS) der Projekt-Realisierungsgesellschaft mbh Hamburg (ReGe Hamburg) in der Genehmigung. Mit Umsetzung der SAS-Baumaßnahme sollten Teile des alten Moorburger Elbdeichs westlich bzw. östlich der Autobahn A 7 entfernt werden, um die bestehende Straße Moorburger Elbdeich nach Norden zu verbreitern. Dies bedeutete, dass im Bereich des hinsichtlich des Spülungsdruckes sensiblen Zielbereiches ein zusätzlicher Abtrag der Überdeckung erfolgte, der eigentlich nur hingenommen werden konnte, wenn dies nach Abschluss der Horizontalspülbohrarbeiten erfolgen würde. Noch vor Vergabe der Bauleistungen bestätigte sich der Verdacht, dass diese zeitlichen Abläufe sich durch unterschiedliche Genehmigungsprozesse und -zeiträume vertauschen würden. Es war daher eine Anpassung der Horizontalspülbohrarbeiten auf die verringerte Überdeckung zwingend erforderlich.

4.1.4 mangelnde Platzverhältnisse

Auch wenn die Luftbilder ausreichend Flächen zur Einrichtung des Equipments und der Materialien suggerieren, mussten diverse Abstimmungen erfolgen und Restriktionen in Kauf genommen werden.
Ein Einzug der Fernleitung in den Bohrkanal mittels zweier oder mehr Teilstränge, die erst während des Rohreinzuges verbunden werden, kam aufgrund der Unterbrechungszeit nicht in Betracht. Somit kam zur Vorstreckung des Gesamtstrangs nur der Bereich nördlich der Umverlegung in Betracht. Hier galt es durch die Lage innerhalb des Deichkörpers die Belange des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen. Eine Erreichbarkeit des Deiches war beispielswiese permanent zu gewährleisten. Sämtliche Zufahrten zum Deich und zu den Parallelbaustellen waren ebenfalls freizuhalten.
Durch die Lage der Montagebahn war gleichzeitig auch die Position des Bohrgerätes definiert. Dieses musste im Bereich des Dammes zwischen dem Entwässerungsgraben der Autobahn A 7 und dem Entwässerungsgraben der Spülfelder Moorburg Mitte installiert werden. Hier stand lediglich eine Breite von ca. 8 m (Dammkrone) zur Verfügung. Gleichzeitig war damit klar, dass das Equipment für die Durchführung der Horizontalspülbohrarbeiten auf getrennten Flächen installiert werden musste.

4.1.5 in Betrieb befindliche Bestandsleitung

Um die Versorgung der Holborn Europa Raffinerie zu gewährleisten, musste die Bestandsleitung dauerhaft in Betrieb bleiben.

Um für einen sicheren Betrieb zu sorgen waren daher sämtliche Arbeiten im Näherungsbereich der Fernleitung so erschütterungsarm auszuführen, dass eine Beschädigung ausgeschlossen werden konnte. Hierzu zählten beispielsweise das Herstellen der Auflagerkonstruktion des Bohrgerätes und des Widerlagers – die Bestandsleitung führt dabei sogar durch den Spundwandschirm. Die Einbindegruben mussten aufgrund des hoch anstehenden Grundwassers so dicht ausgeführt werden, dass zwischen dem Verbau und der Bestandleitung kein Grundwasser in die Grube läuft.

Für die Einbindung der Umverlegung stand in Summe ein Zeitraum von 5 Tagen zur Verfügung. Der Einbindetermin musste entsprechend weit im Voraus definiert werden und war nicht kurzfristig veränderbar, woraus eine Flexibilität in der Ausführung und der Bereitstellung von Personalkapazitäten resultierte.

4.1.6 Rückbau der Bestandsleitung

Per Genehmigungsbescheid war die Bestandsleitung nach Außerbetriebnahme zu sichern. Hierzu war die Altleitung zu reinigen und im Anschluss zu verdämmen. Aufgrund der Bedürfnisse des Infrastrukturprojektes (linienförmiger Bodenaustausch im Trassenbereich und Herstellung von Flügelwänden) war eine sinnvolle Sicherung jedoch nicht durchgängig möglich. In den Bereichen der Kollision mit den Bautätigkeiten zur Autobahn war die Leitung nach der Reinigung auszubauen. Hierbei musste als erschwerender Faktor schwach gebundener Asbest (Chrysotil) in der Werksumhüllung berücksichtigt werden.

4.2 unbekannte Herausforderungen

4.2.1 Kampfmittelsondierungen just-in-time

Die Kampfmittelfreiheit war Bestandteil des Infrastrukturprojektes A 26 West, so dass für die Bauausführung von einer Kampfmittelfreiheit auszugehen war.
Tatsächlich verzögerten sich die Leistungen bis über den geplanten Baubeginn zur Umverlegung hinaus. Durch eine Anpassung des Bauablaufs konnten die Verschiebungen teilweise kompensiert werden. In Gänze konnten jedoch nicht alle Verdachtspunkte rechtzeitig für diese Teilmaßnahme der A26 West überprüft werden. Dies führte zur Fragestellung, ob es sinnvoller sei an einem Verdachtspunkt entlangzubohren oder einen möglichen Blindgänger erst zu einem späteren, sicherheitstechnisch akzeptablen Zeitpunkt zu bergen.

Ganz unabhängig vom Zeitpunkt der Sondierung befand man sich vor der Herausforderung, unterhalb eines Sondierbereiches (kreisförmig, ca. 10 m im Durchmesser, Sondiertiefe bis 9 m unter Gelände) hindurchzubohren. Dies stellte sich bereits während der Pilotbohrung als Störzone heraus, infolgedessen es zu einer Hebung des Geländes kam, die es kontinuierlich zu überwachen galt. Im weiteren Bohrverlauf war die Störzone offensichtlich auch Ursache eines Spülungsaustrittes an der Geländeoberkante.

4.2.2 Abweichende Baugrundsituation

Gleichwohl durch das Erkundungsprogramm und der Kombination von direkten und indirekten, respektive den geophysikalischen Untersuchungen, die Empfehlungen des Regelwerkes übererfüllt wurden, verbleiben Restrisiken, die sich auf den Auftraggeber (sog. Bauherrenrestrisiken) und den Auftragnehmer verteilen. Im vorliegenden Fall war grundsätzlich bekannt, dass insbesondere im Bereich oberhalb des Mergelhorizontes mit Geschiebe gerechnet werden musste. Die genaue Lage, die Größe und die Anzahl war dabei nicht bekannt. Gleichzeitig konnte nicht ausgeschlossen werden, dass sich innerhalb der Sande Holzeinlagerungen bis zur Größe eines Stammes befanden. Beide Eventualitäten bestätigten sich in der Bauausführung und führten zu einer kleinräumigen Umtrassierung, Bauzeitverlängerungen und erhöhtem Verschleiß der Bohrwerkzeuge (siehe Bild 4).



Bild 4: beschädigtes Aufweitwerkzeug

4.2.3 Umgang mit Spülungsaustritten

Auch wenn die Bohrtrasse sowohl im Rahmen der Ausführungsplanung durch den Planer als auch im Rahmen der Bauausführungsplanung durch die beauftragte Bohrfirma hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit von Spülungsaustritten überprüft und bestätigt wurde, konnten Austritte nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Im vorliegenden Projekt waren diese, wenn überhaupt, während der Pilotbohrung zu erwarten, da hier der im Bohrkanal wirkende Spülungsdruck aufgrund des Fließweges und des beengten Querschnittes gegenüber den sonstigen

Arbeitsschritten deutlich erhöht war. Um auf einen Austritt reagieren zu können, waren deshalb Pumpen, Schlauchleitungen und Sandsäcke in ausreichender Anzahl als Eingrenzung vorzuhalten.
Wider Erwarten ereigneten sich die Austritte jedoch nicht während der Pilotbohrung, sondern während der Aufweitungsbohrung. Aufgrund der Lage des Austrittes erschien ein direkter Zusammenhang mit den darüber liegenden Kampfmittelsondierungen als sehr wahrscheinlich. Durch die ad hoc möglichen Maßnahmen konnte der Austritt nicht gestoppt und auf den Ein- oder Austrittspunkt zurückverlagert werden. Umfangreichere Maßnahmen in Form von Barrieren, ausreichend groß dimensionierten Pumpen und zusätzlichem Personal wurden erforderlich. Bis zum Abschluss der Maßnahme kam es immer wieder zur Verlagerung des maßgeblichen Spülungsflusses hin zum ungeplanten Spülungsaustritt. Eine gestörte Bohrlochhydraulik mit vermindertem Bodenaustrag war die Folge.

5 Lösungen

5.1.1 Bohrspezifische Lösungen

Die bohrspezifischen Lösungen basieren im Wesentlichen auf den geologischen und hydrologischen Erfordernissen.
Um den Abstand zum Mergelhorizont und den darüber erwarteten Geschieben möglichst groß auszuführen, gleichzeitig aber auch keine Spülungsaustritte billigend in Kauf nehmen zu müssen, entschied man sich, die Pilotbohrung von beiden Seiten aus aufzufahren. Die Rede ist hier von einem „Meeting in the middle“, bei dem beide Pilotbohrungen steuernd aufeinander zu geführt werden, um sich in einem vorab definierten Bereich zu treffen. Der theoretische Ansatz erfolgte in der Praxis in der Form, dass sich die beiden Bohrungen über das mitgeführte Vermessungssystem orten, annähern und sodann der eine Strang in den anderen Bohrkanal geschoben wird, während der gegenüberliegende zum Bohrgerät zurückgezogen wird.
Da die Aufweitung und der Rohreinzug von Norden nach Süden erfolgen sollte, wurde auf der Südseite das größer dimensionierte Bohrgerät installiert. Die Ermittlung der Umlenk- und Reibungskräfte im Zuge der Planung ergaben, dass einschließlich Sicherheiten von einer Bohranlage mit mindestens 250 to Zugkraft auszugehen war.

Für die Pilotbohrung von Norden wurde eine Anlage mit 80 to Zugkraft eingerichtet. Das Anmischen der Bohrspülung und die Separation erfolgten während der Pilotbohrung getrennt auf der jeweiligen Baustelleinrichtungsfläche, nach der Pilotbohrung wurde sämtliche austretende Spülung zur gesondert angelegten Fläche südlich der Spülfelder gepumpt, um dort nach der Separation wieder dem Kreislauf zugeführt zu werden. Der Transport erfolgte über eine übertägige Leitung.

Zur Gewährleistung der hohen Genauigkeitsanforderungen war ein Kreiselkompasssystem ausgeschrieben, welches über ein zweites Ortungsverfahren an vorab definierten Stellen überprüft und kalibriert werden sollte. Ein drittes System (hier: Radar) wurde für den Vorgang des Aufeinandertreffens der Pilotbohrung mitgeführt.



Bild 5: Baustelleneinrichtung Süd

Aufgrund der teilweise mächtigen Weichschichten an der Geländeoberkante war vorgesehen, an der südlichen Seite vorab eine mechanische Bohrlochstützung in Form eines Stahlschutzrohres zu installieren. Das Schutzrohr musste auf einer Länge von ca. 40 m bis in den tragfähigen Sand eingebracht werden. Im Anschluss an den Einzug der Fernleitung sollte es wieder ausgebaut werden. Der Durchmesser musste daher so groß dimensioniert sein, dass der für den Enddurchmesser entworfene Räumer problemlos hindurchgezogen werden konnte. Man entschied sich für einen Durchmesser von 1.400 mm. Die Oberkante des Schutzrohres wurde dabei soweit über Geländeoberkante geführt, dass sich das unter den Weichschichten potenziell gespannte Grundwasser innerhalb des Schutzrohres entspannen könnte.

Zur zentrischen Führung des Bohrgestänges wurde ein Zentrierrohr während der Pilotbohrung vorgehalten. Dieses hatte den positiven Nebeneffekt, dass das Bohrgestänge bei erhöhten Druckkräften geführt und ein Ausknicken verhindert werden koönnte.

Um dem geodätischen Höhenunterschied zwischen der Start- und Zielseite von ca. 5 m gerecht zu werden, wurde auf der nördlichen Seite eine tiefer als sonst üblich liegende Baugrube hergestellt. Bei der Geometrie wurde der Radius des Oberbogens berücksichtigt und damit die Höhe des Oberbogens reduziert.



Bild 6: Baustelleneinrichtung Nord

Um das Risiko von Bohrschwierigkeiten durch Unterbrechungen der Arbeiten zu vermeiden, entschied man sich bereits in der Vorbereitung mit Ende der Pilotbohrung zu einer Fortsetzung der Arbeiten im durchgängigen Betrieb (24 / 7) zu wechseln.
Die durchgängige Qualität der Bohrspülung gewährleisteten gesonderte Spülungstechniker, deren ausschließliche Aufgabe die Kontrolle und Anpassung der Spülungsparameter war.

Aufgrund der Schwierigkeiten während der Aufweitung – man hatte entweder die tiefer zu erwartende Oberkante des Mergels oder einen größeren Block getroffen und dadurch deutlich erhöhte Drehmomente und Zug- / Druckkräfte erzeugt und Beschädigungen des Räumwerkzeuges vorgefunden – erschien ein zusätzlicher Räum- / Kontrollgang sinnvoll. Dabei war zielführend, ausreichend Bohrwerkzeuge auf der Baustelle vorrätig zu haben. Erst als man einen Durchgang ohne Auffälligkeiten vorweisen konnte, wurde die Freigabe zum Einzug des Rohrstrangs in den Bohrkanal erteilt. Der Einzug erfolgte mit Zugkräften von max. 80 to.

5.1.2 Rohrspezifische Lösungen

Verbaut wurde ein Stahlrohr, L 415 ME nach DIN EN ISO 3183 Anhang M, mit einer Wandstärke von 14,2 mm. Aufgrund der nicht auszuschließenden Steine und Blöcke war planungsseitig vorgesehen, die Fernleitung neben einer verstärkten PE-isolierung mit einer GFK-Umhüllung als Verschleißschicht für den Rohreinzug zu versehen.
Vorab wurden 100 % der Schweißnähte zerstörungsfrei geprüft. Die Umhüllung wurde vor dem Absenken in den Rohrgraben bzw. dem Rohreinzug mittels Iso-Testgerät kontrolliert („abgefunkt“). Nach dem Einzug erfolgte außerdem eine Polarisationsstrommessung.



Bild 7: Schweißnahtbereich der Fernleitung mit PE-Isolierung und GFK-Ummantelung

Die Fernleitung wurde einer Festigkeits- und Dichtheitsprüfung als Wasserdruckprüfung nach VdTÜV-Merkblatt 1051:2013-09 mit mindestens dem 1,3-fachen des maximal zulässigen Betriebsdrucks (hier: 43 bar) auf der Montagebahn unterzogen. Hierzu musste die Montagebahn unter den beschränkten räumlichen Bedingungen so gewählt werden, dass der zulässige Mindestbiegeradius eingehalten werden konnte. Im Bereich des Oberbogens konnten die Radien wiederum reduziert werden.

Die Ovalität der Fernleitung wurde durch eine Kalibrierung nachgewiesen. Alle Prüfungen wurden durch den Betrieb der NWO, den TÜV Nord als Rohrleitungssachverständiger und die Bauüberwachung begleitet.

Zur Reduzierung der Auftriebskräfte während des Rohreinzuges wurde die Fernleitung während des Einzuges mit Wasser befüllt. Hierzu wurde vom hinteren Ende des Strangs eine Befüllleitung so weit eingezogen, dass die Befüllung erst im absteigenden Ast der Bohrung erfolgte und so das Gewicht auf der Montagebahn und im Oberbogen reduziert wurde.



Bild 8: Vorfertigung des Leitungsstrangs im Deichbereich

5.1.3 Umgang mit asbesthaltiger Umhüllung

Um den Anforderungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes gerecht zu werden, wurden die Arbeiten zum Rückbau der Bestandsleitung unter Anwendung der TRGS 524 durch ein gesondert eingebundenes Fachunternehmen durchgeführt. Grundlage der Arbeiten war ein Arbeits- und Sicherheitsplan.

Zum Ausbau wurde die Leitung zunächst bis auf Kämpferhöhe freigelegt und die Umhüllung im Bereich der Schweißnahtverbindungen – hier lag nachgewiesenermaßen keine Asbestbelastung vor – entfernt. Die Rückbaustränge wurden im Anschluss im Schweißnahtbereich getrennt und mit mehreren Hebegeräten aus dem Rohrgraben gehoben.

Die eigentlichen Arbeiten zum Trennen der Umhüllung sowie die fachgerechte Entsorgung erfolgte außerhalb des Baufeldes. Hierzu wurden die Rohrsegmente verpackt und in geschlossenen Fahrzeugen abtransportiert.



Bild 9: in Segmenten ausgebaute Bestandsleitung

5.1.4 organisatorische Lösungen

Die organisatorische Lösung wurden insofern umgesetzt, als dass eine permanente Anwesenheit von Vertretern des ausführenden Unternehmens (Bauleiter und Polier) und des Auftraggebers (örtliche Bauüberwachung, bei Bedarf kurzfristig Betriebspersonal der NWO) gegeben war.

Durch die kontinuierliche Einbindung der beteiligten Dritten, zum Beispiel der Hafenbehörde als zuständige Instanz für die Spülfelder und den Neuen Altenwerder Hauptdeich oder die DEGES als Vorhabensträger des Infrastrukturprojektes A 26 West, konnten erforderliche Änderungen immer rechtzeitig abgestimmt und umgesetzt werden.

Pandemiebedingt wurden die wöchentlichen Baubesprechungen fast durchgängig als hybride Veranstaltungen (online und vor Ort) durchgeführt. Diese neue Art der Projektrealisierung erforderte gesonderte Disziplin bei allen Beteiligten, gleichzeitig wurden aber auch die sich daraus ergebenden Chancen genutzt. Videokonferenzen, insbesondere während der Horizontalspülbohrarbeiten, erlaubten allen Beteiligten eine permanente Information und die Einbindung in die Entscheidungsprozesse.

6 lessons learned

Rückblickend erscheinen neben der Auswahl eines fachlich geeigneten Bauunternehmens und einer guten Bau-/Ausführungsplanung zwei Faktoren hauptausschlaggebend für den Erfolg des Projektes.
Der eine Faktor ist die Flexibilität, mit der auf wiederkehrende Herausforderungen reagiert werden konnte. Der zweite Aspekt ist die permanente Anwesenheit der Bauleitung und Bauüberwachung, die bei einem anspruchsvollen Projekt dieser Größenordnung durchaus gerechtfertigt erscheint.

Auch wenn die Fernleitung unter Einhaltung der Zugkräfte erfolgreich eingezogen wurde und heute fehlerfrei in Betrieb ist, bietet sich für vergleichbare Folgeprojekte an, den Rohreinzug anhand eines Dummys vorab zu simulieren, um daraus Rückschlüsse auf mögliche Beschädigungen und zu erwartende Zugkräfte ziehen zu können.

7 Literatur

[1] Technische Regeln für Rohrfernleitungen (TRFL), 03. Mai 2017
[2] Geotechnischer Bericht vom 01. Juni 2015, BBI Geo- und Umwelttechnik Ingenieur-Gesellschaft mbH
[3] Technische Richtlinien des DCA, 4. Auflage, 2015

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick
MOLL-prd GmbH & Co. KG,
Schmallenberg

Tel.: 02972 97843-11
E-Mail:
pdick@moll-prd.com
Internet:
www.moll-prd.com



DCA-Arbeitskreis Umhüllungen

Von Marc Schnau

1 Vorbemerkung

Der Arbeitskreis „Umhüllungsqualität“ wurde vor einigen Jahren vom DCA ins Leben gerufen und hat seine Arbeit Ende des Jahres 2022 fertiggestellt. Die Ergebnisse sind als DCA Technische Information Nr. 6 den DCA-Mitgliedern auf der Homepage des Verbandes zur Verfügung gestellt. Während der Laufzeit des Arbeitskreises wurde parallel eine DVGW-Arbeitsgruppe zur Überarbeitung des DVGW-Arbeitsblattes GW340 (Faserzementummantelungen zum mechanischen Schutz von Stahlrohren) und Überführung in die neue DIN 30340 eingesetzt, in welcher neben den mechanischen und technologischen Merkmalen der Prüfung von Faserzementummantelungen auch die entsprechenden Merkmale für Glasfaserkunststoffummantelungen und Ummantelungen aus thermoplastischen Kunststoffen enthalten sind. In dieser Norm werden Beschichtungen für den Korrosionsschutz als Umhüllung und Beschichtungen zum mechanischen Schutz als Ummantelung definiert. Diese Definition wurde in der finalen Überarbeitung der DCA Technischen Information Nr. 6 übernommen, so dass im Folgenden, und entgegen dem ursprünglichen Vortragstitels, hier von Ummantelungen zum mechanischen Schutz von Stahlrohren für HDD-Anwendungen gesprochen wird.
Das vorliegende Manuskript ist lediglich eine Zusammenfassung der Ergebnisse des DCA-Arbeitskreises und liefert daher nicht alle Informationen und Zusammenhänge, welche für ein umfassendes Verständnis erforderlich wären.

2 Einleitung

Rohrleitungen werden immer häufiger mittels HDD-Technik (Horizontal Directional Drilling) und damit verbundener Verfahren verlegt. Im Falle der Verlegung von Stahlrohren mit Korrosionsschutzumhüllung ist es gängige Praxis, u.a. die erfolgreiche Prüfung der Umhüllung nach dem Einzug als vertragliches Abnahmekriterium für die von einem HDD-Unternehmer ausgeführten Bohrarbeiten zu nutzen.
Eine mangelhafte Ausführung, wie z.B. der Einsatz ungeeigneter Bohrausrüstung und Werkzeuge, Nichteinhaltung von Bohrparametern, Missachtung von Richtlinien usw., birgt ein hohes Risiko, dass die Rohrumhüllung beim Einzug des Rohres beschädigt wird. Insofern steht die Qualitätsprüfung der Umhüllung nach der Rohrverlegung in einem direkten Zusammenhang mit der Qualität der Ausführung durch den HDD-Unternehmer.
Umgekehrt ist dieser Zusammenhang jedoch nicht unbedingt gegeben. Wenn eine Fehlstelle in der Umhüllung festgestellt wird, kann nicht direkt darauf geschlossen werden, dass dies das Ergebnis einer mangelhaften Ausführung durch den HDD-Unternehmer ist.
Auch wenn die Bohrarbeiten nach allen geltenden Normen, Regeln, Richtlinien, bewährten Verfahren usw. ausgeführt werden und eine ideale Bohrlochgeometrie geschaffen wurde, können Umhüllungsschäden oder Fehlstellen auftreten als Folge

– der Auswahl eines ungeeigneten werkseitigen Umhüllungsmaterials,
– der Auswahl eines ungeeigneten werkseitigen Ummantelungsmaterials,
– der Auswahl eines ungeeigneten Nachumhüllungssystems,
– einer mangelhaften Verarbeitungsqualität, insbesondere bei Nachumhüllungen,
– von im Verantwortungsbereich des Auftraggebers liegenden Baugrundeigenschaften (z.B. Einsturz des Bohrlochs in unbekannten/unkontrollierbaren Formationen, Auftreten von scharfkantigen Hindernissen an der Bohrlochwand, Durchfahrung von heterogenen Verwitterungshorizonten, usw.).

Im Falle der Feststellung eines Umhüllungsschadens nach dem Rohreinzug ist es jedoch kaum möglich, die Verantwortung einer der am Projekt beteiligten Parteien einwandfrei zuzuweisen. Aufgrund dieser Tatsache ist es zielführend, die Qualität jedes relevanten Prozessschrittes im Projekt zu optimieren, um die Wahrscheinlichkeit relevanter Mängel an der Umhüllung nach dem Einzug der Rohrleitung zu minimieren.

3 Prüfung der Umhüllung

Insbesondere die auf der Baustelle aufgebrachten Schweißnahtnachumhüllungen und -ummantelungen müssen vor dem Einzug des Rohrstrangs in das Bohrloch geprüft werden. Im Allgemeinen stehen folgende Testmethoden hierfür zur Verfügung:

– Schichtdickenmessung
– Haftfestigkeitsprüfung (zerstörend)
– Oberflächenhärteprüfung (Shore D)
– Elektrolytische Porenprüfung
– Hochspannungsprüfung

Keiner dieser Tests kann allerdings die Eignung der Umhüllung/Ummantelung für die mechanischen Belastungen während des folgenden Rohreinzugs zuverlässig nachweisen.
Mit dem nach dem Rohreinzug durchgeführten Einspeiseversuch wird der Umhüllungswiderstand gemessen. Die Umhüllung gilt i.d.R. als fehlstellenfrei, wenn der im Rahmen der Einspeisemessung ermittelte Umhüllungswiderstand $r_u \geq 10^8\ \Omega m^2$ beträgt. Dieser Wert entspricht dem Mindestumhüllungswiderstand nach den geltenden Normen für Werksumhüllungen (z.B. DIN 30670) und Nachumhüllungen (z.B. DIN EN 12068).
Es ist also zu beachten, dass für den eingebauten, d.h. bereits mitunter hohen Belastungen ausgesetzten Rohrstrang dasselbe Akzeptanzkriterium gilt wie für werkneue Rohre. Aus diesem Grund müssen höchste Ansprüche an die richtige Auswahl und die fachgerechte Aufbringung der Umhüllungs- und Ummantelungsmaterialien gestellt werden.
In diesem Zusammenhang muss auch darauf hingewiesen werden, dass die Durchführung eines Einspeiseversuchs unter ebenso höchsten Qualitäts- und Sorgfaltsansprüchen zu erfolgen hat, da Fehlmessungen erhebliche Konsequenzen nach sich ziehen können.

4 Umhüllungs- und Ummantelungsmaterialien

Die Vielfalt an unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen ist sehr groß. Eine objektive Bewertung der Qualitäten ist jedoch nicht möglich, da es keine einheitlichen Prüfstandards gibt. Somit ist die Verbreitung der Anwendung der Systeme international sehr unterschiedlich. Individuelle Erfahrungen und Philosophien der Rohrnetzbetreiber und das regional unterschiedliche Angebot verschiedener Lieferanten haben einen großen Einfluss auf die Auswahl der Systeme. In Europa kommen vorrangig folgende Materialien für werkseitige Umhüllungen und Schutzummantelungen zum Einsatz:

Korrosionsschutzumhüllung:
– Polyethylen (PE)
– Polypropylen (PP)

Nur als zusätzliche mechanische Schutzummantelung:
– Faserzementmörtel (FZM)
– Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK)

Die Schweißnahtbereiche sind auf der Baustelle durch geeignete Nachumhüllungs/-ummantelungssysteme zu beschichten. Hierbei sind die Vorgaben der Hersteller in Bezug auf Kompatibilität mit den Werksbeschichtungen sowie Verarbeitungshinweise genauestens zu beachten.
Für HDD-Anwendungen finden in Europa vorrangig folgende Systeme Anwendung:

– Polyurethan/Polyharnstoff (PUR/PUA)
– PE + GFK
– PE + FZM
– Flame Spray Polypropylen (FSPP)

5 Auswahl des Schutzsystems

Es wurde bereits aufgezeigt, dass es einerseits eine relative Vielfalt an Beschichtungssystemen, d.h. Materialkombinationen gibt, die zusätzlich auch noch durch eine gewisse Variation der Schichtdicken und/oder Anzahl der Lagen an die individuellen Anforderungen des Projektes sowie an die individuellen, auf unterschiedlichen Erfahrungen basierenden Präferenzen des Leitungsbetreibers angepasst werden können.
In Bezug auf die individuellen Anforderungen des Projektes ergeben sich andererseits physikalische Einwirkungen aus der Umgebung des Rohres auf die Rohrumhüllung, d.h. aus Baugrundbedingungen, Temperatureinflüssen etc. und aus den chemischen Einwirkungen aus Grundwasser und Baugrund. Die Wirksamkeit bzw. der Einflussfaktor dieser Einwirkungen auf die Rohrumhüllung wiederum sind abhängig von den geometrischen Eigenschaften des Bohrloches bzw. der Rohrleitung. Je größer die Einwirkungen und der Anspruchsgrad aus der Bohrungsgeometrie sind, desto komplexer sind das Zusammenwirken und die Beanspruchung der Rohrumhüllung.

Folgende Aspekte einer Bohrung haben einen Einfluss auf die Beanspruchung der Rohrummantelung und müssen im Vorfeld bei der Systemauswahl und im Rahmen der Qualitätssicherung auf der Baustelle berücksichtigt werden:

- Baugrund
- Effektives Gewicht der Rohrleitung in der Bohrspülung (Auf-/Abtrieb)
- Länge der Bohrung
- Geometrie des Bohrloches (Durchmesser/Form)
- Krümmungsradius
- Bohrspülungskreislauf (ausreichende Reinigung und Schmierung)
- Bohrhindernisse
- Ausbildung der Rohrablaufbahn / Zustand der Rollenböcke
- Planung und Ausführung des Oberbogens
- Grundwasserchemismus und Baugrundkontaminationen

Bei der Wahl des Schutzsystems für das spezifische Bauvorhaben muss ebenfalls die Wahl der jeweils passenden Schweißnahtbeschichtung beachtet werden. Die unterschiedlichen Umhüllungen bzw. Ummantelungen sind nur bedingt miteinander kombinierbar und erfordern schon in der Planung eine genaue Betrachtung, um Fehler bei der späteren Durchführung zu vermeiden.

Tabelle 1: Auswahl von empfohlenen Kombinationen von Schutzsystemen in Abhängigkeit der Komplexität

<table>
<tr><th colspan="2">Werksumhüllungen</th><th>Nachumhüllung (Vorschlag)</th><th>Komplexität der Bohrung</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Monolagen</td><td>PE und PP Standard (Norm)</td><td>Wärmeschrumpfende Materialien (armiert) Polyurethan</td><td>niedrig</td></tr>
<tr><td>PE oder PP-Dick- schicht-system</td><td rowspan="2">Polyurethan</td><td rowspan="2">mittel</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Materialkombinationen</td><td>Kombination PE/PP</td></tr>
<tr><td>Kombination PE/PA</td><td rowspan="3">Polyurethan
Kombination wärmeschrumpfendes Material oder Korrosionsschutzband mit GFK, PUR- oder ZM-Verguss</td><td rowspan="3">hoch</td></tr>
<tr><td>Kombination PE/ FZM</td></tr>
<tr><td>Kombination PE/ GFK</td></tr>
</table>

6 Maßnahmen zur Risikominimierung

Eine wesentliche Aufgabe des DCA-Arbeitskreises war es aufzuzeigen, welche Projektbeteiligten an welcher Stelle einen entscheidenden Einfluss auf Maßnahmen zum Schutz der Integrität

des Korrosionsschutzes einer Stahlrohrleitung nach dem Rohreinzug nehmen kann bzw. muss. In der Regel sind folgende Parteien beteiligt:

– Bauherr
– Planer
– HDD-Unternehmer
– Rohrleitungsbauunternehmer

Diese Projektbeteiligten haben unterschiedlichen Einfluss auf folgende Risikoaspekte:

Baugrund	→	vorrangig Bauherr/Planer
Materialauswahl	→	vorrangig Planer
Rohrhandling auf der Baustelle	→	vorrangig Rohrleitungsbauunternehmer
Ausführungsqualität Nachumhüllung/-ummantelung	→	Rohrleitungsbauunternehmer
Bohrausführung	→	HDD-Unternehmer

Der DCA-Arbeitskreis hat insgesamt ca. 30 Risikopotentiale definiert und in einer Matrix mit einem Risikofaktor sowie einem Einflussfaktor jedes Projektbeteiligten versehen.
Weiterhin wurde eine Vorlage einer Risikobewertungstabelle erstellt, welche projektspezifisch angepasst werden kann. Diese können zusammen mit der DCA Technischen Information Nr. 6 über die DCA-Geschäftsstelle bezogen werden bzw. stehen für DCA-Mitglieder im Mitgliederbereich der DCA-Homepage zum Download zur Verfügung.

Weiterhin hat die Arbeit des DCA-Arbeitskreises insbesondere aufgezeigt, dass die häufigsten Schäden des Korrosionsschutzsystems im Bereich der Schweißnahtbeschichtungen auftreten. Aus diesem Grund ist ein besonderes Augenmerk auf die diesbezügliche Materialauswahl und Ausführungsqualität auf der Baustelle zu richten. Es wird auch ausdrücklich empfohlen eine qualifizierte Aufsicht der Umhüllungs- und Ummantelungsarbeiten (Coating Inspector gemäß DVGW Arbeitsblatt GW 30) einzusetzen.

Autor:

Dipl.-Ing. Marc Schnau
x-plan schnau engineering
DCA Vizepräsident

Tel.: 04941-9236580
E-Mail:
mail@x-plan-schnau.de
Internet:
www.x-plan-schnau.de



HDD Engineering challenges crossing primary sea defence

Wijk aan Zee, Netherlands

Von Dick Vergoes Houwens and Mark de Bruijn

Introduction

TenneT

TenneT is a leading European grid operator, committed to providing a secure and reliable supply of electricity 24 hours a day, 365 days a year, while helping to drive the energy transition in their pursuit of a brighter energy future – more sustainable, reliable and affordable than ever before. In their role as the first cross-border Transmission System Operator (TSO) they design, build, maintain and operate 24,500 km of high-voltage electricity grid in the Netherlands and large parts of Germany, and facilitate the European energy market through 16 interconnectors to neighbouring countries.

NRG

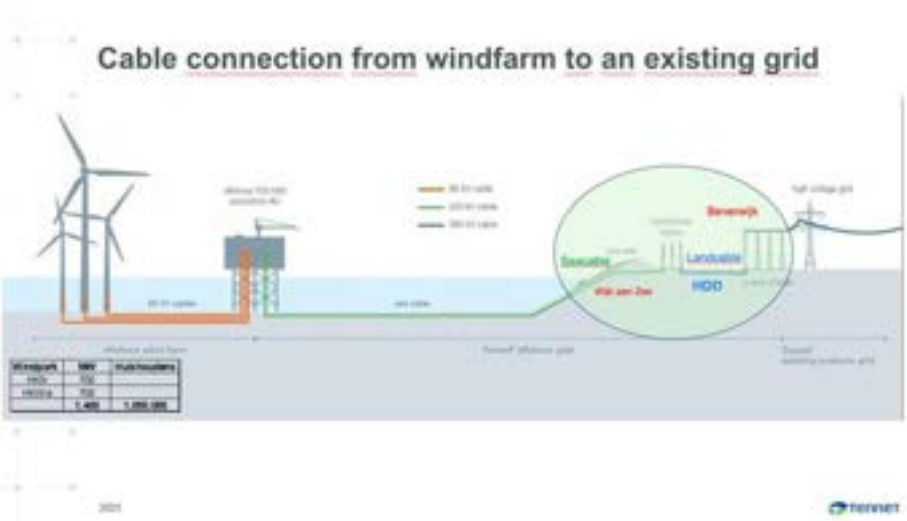
Contractor for TenneT on Large Projects Offshore. Joint Venture / group of three contractors: Alsema, Denys and Van Vulpen. Combination of skills and knowledge to meet challenges on higher level.

Project Hollandse Kust Noord & West Alpha

The wind farms Hollandse Kust (north) and Hollandse Kust (west Alpha) both have a capacity of 700 megawatts. That means that together they generate as much electricity as 1.4 million Dutch households use annually. All that generated electricity is transmitted through the offshore grid. This grid at sea is the total grid connection from the wind farms Hollandse Kust (north) and Hollandse Kust (west Alpha) to the national high-voltage grid and consists of a part at sea and a part on land, up to the high-voltage substation in Beverwijk, which is part of the North Ring 380 kV.

This is how the grid connection Hollandse Kust (north) and (west Alpha) works.

The wind farms are connected to the national high-voltage grid via the offshore grid using underground cables. The offshore grid comprises an offshore section and an onshore section. The laying of the cables on land is done via a number of successive drillings.


Cable connection from windfarm to an existing grid
Landzijde
HDD


Windfarm locations in the Netherlands



Challenges

Our motto is: Happy Environment is Happy Client:

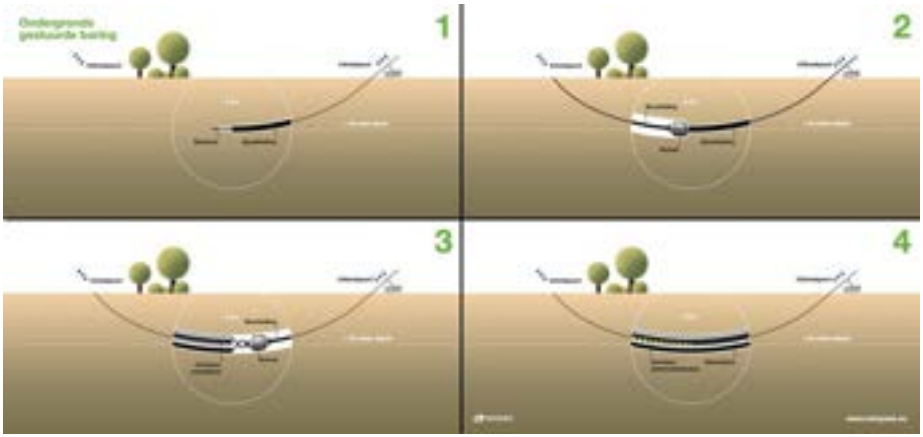


The seal looks happy. And so does the environment. We achieved this by careful stakeholder-management. Also soft skills are important, just like early local community involvement. Quite a challenge because in The Netherlands executing a dune crossing in winter is swearing in church (Dutch proverb).

HDD Crossing

Concept of Horizontal Directional Drilling

This technique has a minimal impact on environment (no digging) and is a fast/efficient working method



Project data dune crossing Wijk aan Zee (natural sea wall)

1. 4 x Cable Ducts
2. Length 1000m
3. Diameter Ø800mm (HDPE)
4. Average Depth 30m



Other important data are: milestone fixed 1st april 2022, start of sea cable contractor JLC. Only 32 weeks to execute, no room for 5th HDD both in time and space.

When you look at thisthe picture below you can imagine it's quite a challenge: working in the back yard of local residents, natural conservation area, with permits needed for working in stormy season, in close collaboration with national and local authorities.



TenneT and NRG decided to assemble cable duct at Tata Steel to minimise impact on local community. Below shows beach (tourists), natural conservation area (Natura 2000) and heavy industry in one picture.



All in all it was quite a task for our engineers:

1. Install four cable ducts by means of four HDD's
2. Entrypoint behind the dunes and exit point at the beach
3. No room for deviations due narrow spatial planning (permits)
4. Install HDD's during winter (storm season), in a tight schedule (JLC awaits arrival with many large and expensive offshore vessels)

So actually, we had one opportunity and failure meant no connection of wind mill farm Hollandse Kust.



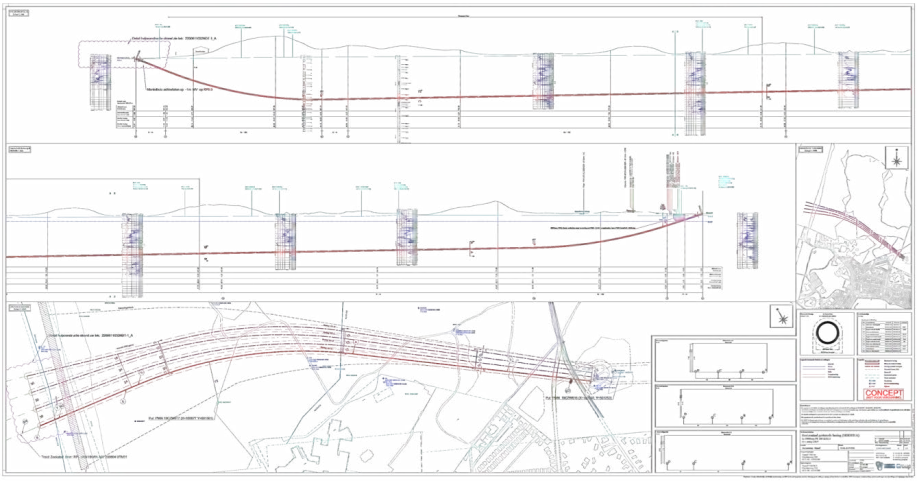
Technical challenges

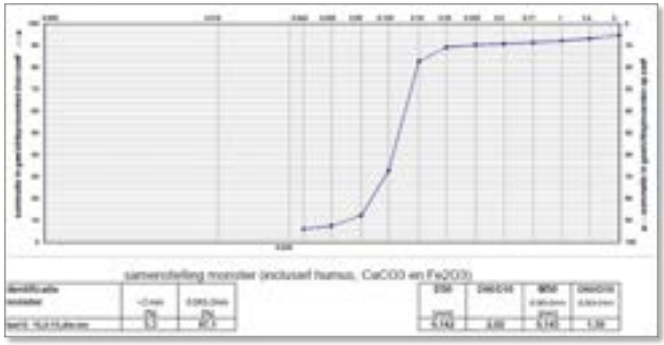
What happens if we take no further action? We need a proper drilling fluid to support the tunnel. After punch-out on the lower beach the drilling fluid level will drop at the higher entry site (law of communicating vessels), leaving the tunnel unsupported at the entry point. Because of the high groundwater levels, a pressure difference arises. Next groundwater starts to flow into the tunnel, due to the law of physics. Once that happens soil will be carried along leading to a collapse of the tunnel.

Mind there are no second chances, if an HDD fails a connection to the wind-mill park is lost.

Design

Soil conditions are not favorable. Sand is like marbles in a box, through which we have to install HDD's.





Sand Castle

So lack of support of the drilling fluid in the tunnel leads to borehole instability. This calls for a control measure!

We need to level the elevation difference by raising the exit site.

Problem solved, but one solution raises another challenge. We now have to build, and maintain, Holland‘s largest sand castle in a tidal zone during storm season (winter).



Risk assessment

We started with a risk assessment to point out major threats:

1. Exposure to waves and wind during drilling- construction- and dismantle activities
2. Tidal movements and high-water levels induce erosion, decaving the sheet pile earth retaining structure
3. Storm conditions might damage the structure and repairs might be necessary
4. Blow out risk between structure and dunes threatening the stability of the flood defense
5. Loss of the cable duct in storm
6. Significant interest from stakeholders

Contingency measures

1. We did apply an intersection drilling method at stage one to avoid blow-outs near the flood defense, but we need additional space and the structure extends even more into the tidal zone.

2. We assemble cable ducts behind the dunes with just in time delivery once the HDD is ready for stage three.

3. We involved Deltares to model the expected erosion zones and exposure to Nautic Loading.

4. Lot's of preparations, meetings, simulations and planning with RWS, TenneT and our team of experts to define safe working conditions and - windows, emergency planning and establish lines of communication.

Deltares

Deltares is an independent institute for applied research in the field of water and subsurface. Throughout the world, we work on smart solutions, innovations and applications for people, environment and society.

From the perspective of water, the subsurface and infrastructure, we will be working on four Mission Areas in which we set out our contributions to the international and Dutch agendas and tasks: Future deltas, Sustainable deltas, Safe deltas and Resilient infrastructure.

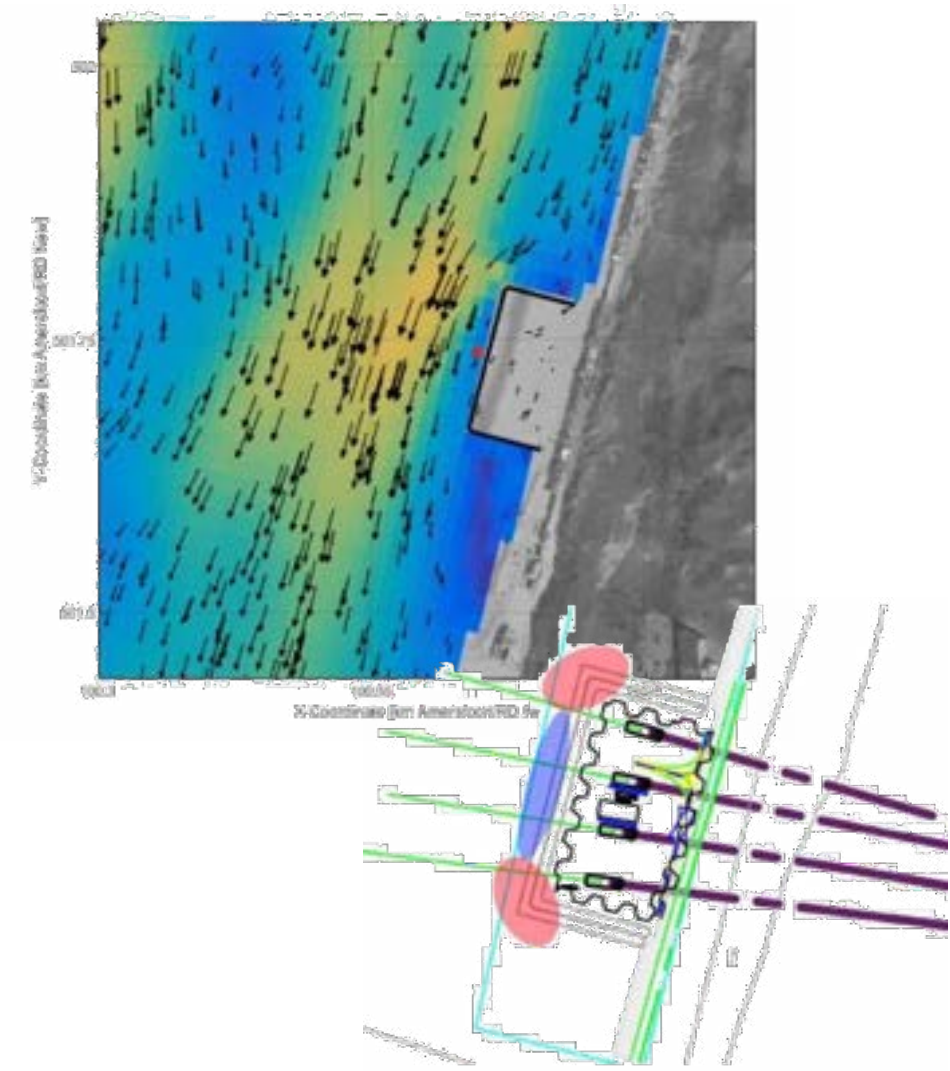
Managing densely populated and vulnerable areas is complex, which is why we work closely with governments, businesses, other research institutes, universities and NGO's at home and abroad.

Once we've drawn up the basic construction Deltares assisted us by creating a numerical calculations program to model the influence on currents due to the presence of our construction

Furthermore, Deltares calculated normative wind- and wave loading for a 1/20yr storm. Also Delates pointed out the critical erosion zones and advised in contingency measures.

This was an expert task. We were happy to have Delates on our team. We couldn't have done this without them

To close the engineering-phase we submitted our design for a peer evaluation by a third party to make sure we didn't miss anything



Building a sand castle

Stage 1: Scour aprons and Geotubes (sacrificial)

Stage 2: Second line of defense (first elevation), independent and supportive to main the main structure

Stage 3: Main structure at needed working height. Providing enough space to work and shelter to wind and waves (Railing).

Practical experience:
The sacrificial Geo-Containers took some heavy beating at times. We lost two Geo-containers during the passing storms. We had back up containers ready to install, however we judged it was not necessary to complete the work. The scour aprons were difficult to install in the tidal zone. During the operation time of the structure, we suffered no erosion except the location of the lost containers

The sea reached the first elevation level and displaced steel plates. Obviously, we faced strong water currents during winter season, but the second line of defense protected the main structure.



Final Result



1. Installation of four HDD's twee weeks ahead of schedule

2. Cofferdam endured the autumn storms Corrie, Eunice and Dudley without unscheduled downtimes during the drilling activities!

3. First non-TATA contractor, safety/environmental award (Green Helmet Award TATA Steel)

4. Pieter Bos RWS: Special compliment from authorities (RWS and HHNK) for safe execution of this project

Autoren:

Dick Vergoes Houwens
TenneT, Arnhem (NL)

Tel.: +31 6 54 68 56 13
E-Mail:
dick.vergoeshouwens@tennet.eu
Internet:
www.tennet.eu

Mark de Bruijn
NRG, Zuidlaren (NL)

Tel.: +31 6 22 76 76 49
E-Mail:
m.debruijn@nrg-group.eu
Internet:
www.nrg-group.eu

C
Digitalisierung und Regelwerke

1
Digitalisierung und BIM im Leitungsbau

BIM im Leitungsbau:

Aktuelle Aktivitäten in der Verbände- und Normenlandschaft

Von Mike Böge

Einleitung

BIM-Standards für den Leitungsbau zu entwickeln, ist aufgrund des noch geringen Erfahrungsstandes sehr schwierig. Bislang gibt es in Deutschland nur wenige Projekte mit BIM im Leitungsbau. Oftmals fällt es den Projektbeteiligten schwer, den Mehrwert der BIM-Methodik zu durchschauen, bzw. konkrete Anwendungsfälle zu definieren. So kommt es, dass – ähnlich wie lange Zeit im Hochbau – allenfalls in den Projektphasen der Planung und Ausführung, einzelnen BIM-Ansätzen nachgegangen wird. Der entscheidende Nutzen der Methodik, die Bauwerks- oder Objektinformationen sinnvoll in der späteren Betriebsphase einzubinden, kommt dabei häufig nicht zum Tragen.

Die Basis

Eine Reihe von allgemeinen Normen und Standards zum Thema BIM sind seit längerer Zeit erhältlich. Dabei spielt die DIN EN ISO [1] eine wichtige Rolle. Neben der Beschaffung, Planung, Erstellung und/oder Inbetriebnahme von Assets wendet sich das Dokument auch an Beteiligte bei Asset-Managementaktivitäten, einschließlich Betrieb und Instandhaltung. Damit verfolgt die Norm den richtigen Ansatz, das Informationsmanagement rund um das Bauwerk im gesamten Lebenszyklus darzustellen.



Abbildung 1: Allgemeiner Lebenszyklus des Projekt- und Asset-Informationsmanagements [1]

Dieses Vorgehen wird auch mit den Blättern der VDI-Richtlinien 2552 [2] „ Building Information Modeling (BIM)“ auf nationaler Ebene spezifiziert und insbesondere im Hinblick auf die Auftraggeber-Informationsanforderung weiter ausgeführt.
Obwohl diese Dokumente ein sehr gutes Verständnis in das Thema vorgeben, sind Sie nur als allgemeines Leitbild im Umgang mit BIM zu verstehen. Enthaltende Beispiele befassen sich nicht explizit mit dem Leitungsbau. Daher lassen sich die existierenden Normen aktuell für die Beteiligten des Leitungsbaus noch schwer greifen. Einen Missstand, auf den die einzelnen „leitungsnahen“ Fachverbände in der Vergangenheit reagiert haben, indem sie Ihre Positionen im Hinblick auf BIM formuliert haben.

BIM in der Kanalsanierung

Vor dem Hintergrund BIM künftig als effiziente Verknüpfungsmöglichkeit zwischen der Bestandsverwaltung und Bauausführung nutzen zu wollen, hat der Verband Zertifizierter Sanierungsberater für Entwässerungssysteme e. V. (VSB) durch einen eigenen Fachausschuss frühzeitig ein Positionspapier erarbeitet. Dieses beschreibt die Kanalsanierung im BIM-Kontext und enthält zudem Musterdokumente für die Erstellung von Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) sowie einen BIM-Abwicklungsplan (BAP).



Abbildung 2: Datenkreislauf bei der Kanalsanierung [3]

BIM im Leitungsbau

Mit der Forderung nach einem einheitlichen Verständnis zur Umsetzung von BIM haben sich die deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V. (GSTT) zusammen mit dem Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv) in einem gemeinsamen Arbeitskreis positioniert. Dieser Arbeitskreis „Digitalisierung und BIM“ beschäftigt sich mit der Definition von

BIM-Anwendungsfällen und Umsetzungsmöglichkeiten im Leitungsbau. Ein erstes Positionspapier wurde gemeinsam mit der Deutschen Bauindustrie e.V. im Oktober 2020 veröffentlicht [4]. In verschiedenen Arbeitsgruppen werden spezifische BIM-Themen behandelt und aus bauausführender Sicht bewertet. Darüber hinaus findet ein intensiver Austausch zu anderen standardsetzenden Institutionen statt.



Abbildung 3:Positionspapier BIM im Leitungsbau [4]

BIM im Untertagebau

Der Deutsche Ausschuss für Unterirdisches Bauen e.V. (DAUB) hat durch den Arbeitskreis „BIM im Untertagebau“ [5] eine gute Grundlage für die Anwendung von BIM im Tunnelbau erarbeitet. Darauf aufbauend wurden von dem Ausschuss inzwischen unterschiedliche Modellanforderungen an eine BIM konforme Umsetzung von Projekten formuliert.

BIM in der Wasserwirtschaft

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) und der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) bereiten das Thema BIM im Kontext einer digitalen und vernetzten Wasserwirtschaft auf. Die Bearbeitung einer gemeinsamen Merkblattreihe (M 860 [6] bzw. W 1070 [7]) legt den Fokus auf die nachhaltige BIM-Nutzung bei wasserwirtschaftlicher Anlagen und Netzen.



Abbildung 4: Merkblattreihe von DWA und DVGW „BIM in der Wasserwirtschaft“ [6], [7]

Datenformate und Strukturen

Ein wiederkehrendes Problem bei der Verarbeitung von Informationen sind die Datenformate. Diese liegen aktuell in Bezug auf eine durchgängige BIM-Nutzung im Leitungsbau noch nicht standardisiert vor. Ein barrierefreier Datenaustausch ist somit nicht möglich bzw. eine spätere Nutzung von BIM-Daten in den Informationssystemen der Netzbetreiber erscheint noch sehr aufwändig. Dies ist jedoch für die betreibenden Unternehmen von eminenter Bedeutung, da sich im Netzbetrieb im Laufe der Zeit unterschiedliche Datenmanagementsysteme etabliert haben. Mit deren Hilfe ist es möglich, sämtliche Ressourcen (einschließlich Anlagen, Material und Informations-technik) im Sinne des Unternehmenszwecks frühzeitig und bedarfsgerecht ggf. mit BIM zu planen, zu steuern und zu verwalten. In diesem Bezug ist die Arbeit von buildingSMART Deutschland hervorzuheben. Dabei handelt es sich um ein Kompetenznetzwerk für digitales Planen, Bauen und Betreiben von Bauwerken. Es agiert als Teil der internationalen buildingSMART-Community und setzt letztendlich internationale Standards im Bezug auf einen BIM-fähigen Datenaustausch. Hierzu gehört insbesondere die Weiterentwicklung des Dateiformates IFC (Industry Foundation Classes), welches als herstellerneutral und offenes Format gilt [8]. Mit der Gründung der neuen buildingSMART Fachgruppen „Open-BIM in der Wasserwirtschaft“ und „BIM- und GIS-Integration“ – unter Mitwirkung der aufgezeigten Fachverbände - wurde ein weiterer wichtiger Normungsschritt für „BIM im Leitungsbau“ vollzogen.

BIM Deutschland

Nicht zuletzt ist im Hinblick auf die Normungslandschaft die Initiative „BIM Deutschland“ zu nennen, die im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr sowie des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen agiert. Es ist die vom Bund ausgestellte zentrale öffentliche Anlaufstelle für Informationen und Aktivitäten rund um Building Information Modeling (BIM). Durch Zusammenarbeit mit Experten aus allen Bereichen des Bauwesens sollen Erkenntnisse und Erfahrungen zum Einsatz von BIM auf nationaler und internationaler Ebene zusammengeführt werden. So wurde zusammen mit dem DIN e.V., buildingSMART Deutschland und VDI eine gemeinsame Normungsroadmap [9] entworfen und veröffentlicht. Diese stellt einen umfassenden Gesamtüberblick über die BIM-Normungs- und Standardisierungslandschaft dar. Gleichzeitig ist diese Roadmap als lebendiges Dokument zu verstehen, die sich Änderungen bei Terminologie oder internationalen Regelwerk anpasst. Der Anwendende bleibt somit stets auf dem Neuesten Stand und kann die Zusammenhänge der Normungsaktivitäten besser durchschauen.

Fazit

Insgesamt betrachtet unterliegt die BIM-Normung einer großen Dynamik. Die zunehmende Identifizierung von neuen BIM-Anwendungsfällen betrifft auch den Leitungsbau und -Betrieb. Die genannten Fachgremien und -gruppen tragen mit Ihrer Arbeit dazu bei, dass künftig auch BIM im Leitungsbau keine exotische Arbeitsmethode mehr sein wird.

Quellen

[1] DIN EN ISO 19650 „Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) - Informationsmanagement mit BIM - Teil 1: Begriffe und Grundsätze“, August 2019
[2] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI), Richtlinien, „Blatt-Reihe BIM“
[3] Verband zertifizierter Sanierungs-Berater für Entwässerungssysteme e. V. (VSB), Publikation Nr. 0.7 (ZAI): „BIM – Building Information Modeling in der Kanalsanierung“, September 2019
[4] Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V. (GSTT), Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv), Deutsche Bauindustrie e.V., „BIM im Leitungsbau“, Oktober 2020
[5] Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen e.V. (DAUB), „BIM im Untertagebau“, Mai 2019
[6] Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt DWA-M 860-1 „Building Information Modeling (BIM) in der Wasserwirtschaft –Teil 1: Grundlagen“, September 2022
[7] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Technischer Hinweis / Merkblatt DVGW W 1070 -1 (M), „Building Information Modeling (BIM) in der Wasserwirtschaft –Teil 1: Grundlagen“, September 2022
[8] DIN EN ISO 16739 -1, „Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement - Teil 1: Datenschema“, November 2021
[9] DIN e.V., „Deutsche Normungsroadmap BIM“, Version 1, November 2021

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Mike Böge
iro GmbH Oldenburg

Tel.: 0441-361039-17
E-Mail:
boege@iro-online.de
Internet:
www.iro-online.de



BIM-Anwendung im Leitungsbau

Adaptation der BIM-Methodik (BIM) für die Verlegung einer Wasserleitung – Erfahrungsbericht eines Leitungsbauunternehmens

Von Alexander Heidel, Anna Wörle

1 Einleitung

Dass Neuerungen anfangs immer auch eine Portion Skepsis hervorrufen, diese Erfahrung hat Anna Wörle gemacht. Die beim rbv-Mitglied Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG beschäftigte Bauzeichnerin und Assistenz der Bauleitung absolvierte mit Unterstützung ihres Arbeitgebers eine Weiterbildung zur BIM-Baustellen-Managerin. Für ihre Abschlussarbeit lotete Wörle auf einer Baustelle in Gundelfingen die Möglichkeiten von BIM aus. Das Fazit: Viele Prozesse lassen sich mit BIM optimieren. Sinnvolles Umdenken beginnt im Detail.

Die Gundelfinger Erfahrungen konnte das Unternehmen im Anschluss direkt nutzen und weiter vertiefen: Es erhielt den Zuschlag für eine „Pilot-Baustelle“ in Lauingen, welche nach BIM ausgeschrieben worden war.

Das Thema BIM (Building Information Modeling) ist derzeit in aller Munde. Spätestens seitdem eine Pflicht für diese digitale Arbeitsmethode bei öffentlichen Ausschreibungen ab fünf Millionen Euro Bausumme eingeführt worden ist, lässt sich die Bedeutung von BIM für das Bauwesen der Zukunft nicht mehr von der Hand weisen. Auch wenn die Digitalisierung schon jetzt aus dem Alltag vieler Rohrleitungsbauunternehmen nicht mehr wegzudenken ist – sei es in der Bürokommunikation, der Geräteverwaltung oder der Projektdokumentation – führt der Weg in Richtung BIM weiter und setzt voraus, Bauprozesse neu zu denken.



Bild 1: Das Tablet zeigt dem Baggerfahrer alle digitalen Daten an, die für die Baumaßnahme erforderlich sind. Somit wird die Geländeabsteckung durch einen Vermesser überflüssig. Die Bestandsaufnahme der neu verlegten Rohrleitung wird direkt mit dem „Bagger-Löffel“ erledigt. (alle Bilder © Heidel)

2 BIM als Teil einer Projektarbeit

Neue Wege zu beschreiten, dies war auch der Ansatz bei der konkreten Adaptation einer BIM-Methodik für die Verlegung einer Wasserleitung im bayerischen Gundelfingen durch die Fritz Heidel OHG aus Glött. Auf einer Länge von fast fünf Kilometern sollten zwischen Echenbrunn und dem zur Stadt Lauingen gehörenden Ortsteil Veitriedhausen eine Gussleitung DN 300 neu verlegt sowie 18 Betonschächte für Hoch- und Tiefpunkte gesetzt werden. Zudem sollten eine Anschlussleitung für den Ortsteil Veitriedhausen und eine zusätzliche Verbindungsleitung für den östlichen Teil des Gundelfinger Stadtteils Echenbrunn hergestellt werden. Bei der Maßnahme war auf einer Länge von 150 Metern auch eine Spülbohrung unter der Bundesstraße B 16 erforderlich. Ausgeschrieben worden war der Auftrag vom Zweckverband Untere Brenzgruppe als herkömmliche Maßnahme, ohne BIM-Inhalte. Da Bauzeichnerin Anna Wörle jedoch im Rahmen ihrer Weiterbildung zur BIM-Baustellen-Managerin im kommunalen Verkehrswege- und Tiefbau eine abschließende Projektarbeit vorzuweisen hatte, die die BIM-gemäße Abwicklung eines Bauvorhabens an einem Anwendungsbeispiel darlegt, bereitete sie die notwendigen digitalen Daten und Informationen selbst auf.

3 Abläufe verbessern

„Mein Ziel war es, dem Auftraggeber die Vorteile einer Ausschreibung und Ausführung gemäß BIM zu verdeutlichen. So hoffe ich, dass generell mehr Offenheit für den Einsatz digitaler Arbeitsmethoden entsteht“, fasst Wörle ihre Intention zusammen.

Bei ihrer täglichen Arbeit als Bauzeichnerin und Assistenz der Bauleitung hat Wörle mit Baustellenvorbereitungen, Vermessungen und Abrechnungen zu tun. „Mich interessiert, wie Abläufe verbessert und erleichtert werden können. Noch immer werden Pläne in Papierform übergeben, obwohl sie am Computer erstellt wurden. Oder aber sie werden zwar digital übermittelt, dann aber in 2-D, ohne Höheninformationen. Hier wäre es doch leicht, etwas zu ändern und für alle einfacher zu machen.“

Mit Blick auf das bei der Baustelle in Gundelfingen involvierte Planungsbüro Kapfer Ingenieure GmbH & Co. KG, Dillingen, hatte Wörle Glück: Das Ingenieurbüro hatte den Bestand bereits digital aufgenommen und die Geländedaten im 3-D-Modell erstellt – für BIM-Baumaßnahmen ist dies Voraussetzung, da das Bauobjekt zunächst virtuell am Computer erstellt und erst danach unter Beteiligung von Auftraggeber, Planer und ausführendem Unternehmen gebaut wird. „Wir zeichnen schon seit Jahren in 3-D. So konnten wir Frau Wörle die Daten leicht zur Verfügung stellen. Für uns war es spannend zu sehen, wie die Baustelle gemäß BIM ablaufen würde“, sagt Geschäftsführer Markus Kapfer.

4 Festlegung der Aufgaben

Wird BIM angewendet, so beeinflusst das alle Phasen des Bauvorhabens, von der Planung über die Umsetzung bis hin zur Abrechnung. Die Baubeteiligten tauschen untereinander in einer gemeinsamen Datenumgebung (CDE) fortlaufend die auf die Maßnahme und den jeweiligen Prozess bezogenen Daten und Informationen aus und minimieren dadurch Informationsverluste. Aus diesem Grund muss die Entscheidung, ob eine Maßnahme mit BIM realisiert werden soll,

eigentlich bereits vor Planungsbeginn und Ausschreibung durch den Auftraggeber getroffen werden. Dabei gibt der Auftraggeber den Beteiligten die AIA (Auftraggeber-Informationsanforderungen) an die Hand, worin er die Ziele, alle Anforderungen an digitale Daten sowie die benötigten Prozesse für die Projektabwicklung mit BIM formuliert.

Da das Projekt in Gundelfingen allerdings als herkömmliche Maßnahme ausgeschrieben worden war, erstellte Wörle nachträglich zunächst die AIA. „Kurz gesagt beschreiben die AIA, warum welche Informationen wann benötigt werden. Sie legen unter anderem BIM-Rollen und -Verantwortlichkeiten fest und formulieren Vorgaben zur Qualitätssicherung, zum Umfang der Visualisierung sowie zu den einzusetzenden Übergabeformaten. Ich habe mich bei den AIA an Pilotbaustellen orientiert und die Erfordernisse auf die konkrete Projektsituation in Gundelfingen zugeschnitten“, so Wörle.

Basierend auf den AIA beschreibt der BAP (BIM-Abwicklungsplan) konkret, welche Aufgaben Auftraggeber, Planer und Auftragnehmer zu erfüllen haben. Mit Blick auf die Baustelle in Gundelfingen wurde im BAP etwa eine vollständige Modellierung für die Wasserleitung und die Schächte in 3-D gefordert, wobei der BAP konkret festlegte, wie die Vermessung ablaufen sollte. Hier kam die Baggersteuerung ins Spiel: Die vom Planungsbüro Kapfer zur Verfügung gestellten 3-D-Daten bereitete Wörle so auf, dass sie für die Baggersteuerung genutzt werden konnten. „Für den Aushub sind zum Beispiel Informationen über die Höhe der Rohrsohle, Schachtsohle und Rohrdeckung wichtig. Allerdings sollte man sich im Ausführungsplan auf die notwendigen Informationen beschränken, damit es nicht zu unübersichtlich wird“, rät Wörle.

5 Zeit- und Kostenersparnis

Infolge der Datenaufbereitung konnte Wörle ein As-Planned-Modell, ein 3-D-Modell des geplanten Bauwerks im Soll-Zustand, als Grundlage erstellen. Auch verschiedene Querungen durch eine Erdgas-Hochdruckleitung, 20 KV-Stromleitung sowie bestehende alte Wasserleitungen, die Wörle vor Ort mithilfe von Suchschlitzen ermittelt hatte, fanden dabei Berücksichtigung. Mögliche Kollisionen konnten auf diese Weise früh erkannt und verhindert werden.

Im Ausführungsplan zeichnete Wörle die genauen Eckpunkte der Betonschächte mit der Sohltiefe ein, so dass diese vor Leitungsbau an exakter Stelle gesetzt werden konnten: „Dabei haben wir das MTS-Navi als Baugrubenassistent genutzt. Es berechnet die Baugrube mit der richtigen Größe – sowohl, was die Schachtgröße, den Arbeitsraum als auch den notwendigen Böschungswinkel anbelangt. Das Tablet zeigt dem Baggerfahrer bildlich die Baugrube an, die ausgehoben werden muss. Somit entfällt das Handaufmaß.“ Welche Zeit- und Kostenersparnis dies für den Planer hat, weiß Kapfer einzuschätzen: „Die erforderlichen Informationen waren alle digital im Bagger vorhanden. Dadurch entfielen aufwendige Absteckungsarbeiten. Wir mussten keine einzige Grenze mehr abstecken, da der Baggerführer auf dem Display bereits alles Notwendige sehen konnte. Das Aufmaß der Leitungen war genauso einfach“, stellt Kapfer fest.



Bild 2: Tablet mit digitalem Plan: Mithilfe der Baggersteuerung hat der Baggerfahrer alles im Blick.

6 Digitale Bestandsaufnahme

Hier war im BAP festgelegt, dass der Baggerführer mit dem MTS-Navi alle sechs Meter, vor jeder Muffe des Gussrohres, die Rohroberkante im offenen Graben dank Gerätesensorik digital aufnahm. Das Gleiche galt für jedes Formstück. Einmal pro Woche sicherte Wörle die Daten. „Will man später einen Krümmer finden, ist dies leicht möglich, da die genaue Lage und Höhe im UTM-Koordinatensystem vermessen wurde“, so Wörle. Kapfer fügt hinzu: „Ohne die Baggersteuerung und ohne die digitale Bestandsaufnahme wäre der Vermessungsaufwand für mich vor Ort wesentlich höher gewesen. Dies spiegelt sich natürlich auch in den Honorarkosten für den Auftraggeber wider.“ Mit Blick auf die Spülbohrung wurden alle drei Meter die Rohrachsen vermessen und auf dem Gelände angezeichnet. Wörle nahm diese Punkte nach der Ausführung mit dem Rover auf.



Bild 3: Die Baugrube ist mit dem digitalen Baugrubenassistenten hergestellt worden. Mit seiner Hilfe lässt sich die Größe der Grube, der Aushub und der Böschungswinkel berechnen. So entsteht weniger Aushub und Lkw-Fahrten werden reduziert.

Die digital erhobenen Daten vom offenen Graben wurden an den Auftraggeber übermittelt, der sie in das Geoinformationssystem (GIS) der Stadt Gundelfingen einlesen konnte. Wörle digitalisierte zudem sämtliche Lieferscheine sowie Datenblätter und Bedienungsanleitungen der eingebauten Rohrleitungs-Materialien und übermittelte diese per PDF ebenfalls an den Auftraggeber. „Auch das hat einen enormen Vorteil. So ist gewährleistet, dass die eingesetzten Materialien auch nach Jahren noch nachvollziehbar sind. Dank der BIM-Methode weiß man stets, was wo liegt."

Für den Planer ist das digitale Aufmaß ebenfalls hilfreich. Nicht nur, dass dadurch Bestandsvermessungen von Hand entfallen. Auch bei der Abrechnung hatte Kapfer weniger Arbeit: „Digitale 3-D-Aufmaße mit Verschneidungen von unterschiedlichen Geländemodellen sind für die Abrechnung eine große Erleichterung – auch wenn dafür die Erstellung der digitalen Ausführungsplanung etwas aufwändiger ist. Wir hatten zudem weniger Planungs- und Abrechnungsunterlagen in Papierform. Indem Arbeitgeber, Arbeitnehmer und das Ingenieurbüro eine gemeinsame Datenumgebung haben, herrscht gute Transparenz. Der aktuelle Stand ist für jeden leicht ersichtlich."



Bild 4: Die Fremdsparten werden mit dem Bodenradar geortet und in die digitale Planung übertragen.

7 Planer sieht Potenzial von BIM

Mit BIM hatte Kapfer zuvor noch keine direkten Berührungspunkte. Entsprechend skeptisch war der Planer anfangs, wie er zugibt. „Jedes unserer Bauvorhaben ist sozusagen ein Unikat. Planungs- und Bauabläufe sind jedes Mal anders. Dies gilt meiner Meinung nach besonders für den Straßen- und Tiefbau. Im Tiefbau alle Abläufe vollumfänglich so zu standardisieren, um es in BIM abzubilden, sehe ich als Herkulesaufgabe an. Wir müssen aufpassen, dass wir uns mit BIM nicht mehr Arbeit machen und im schlimmsten Fall nicht noch zusätzliche Kosten für den Auftraggeber produzieren", hatte er vor Projektbeginn formuliert.

Heute ist Kapfers Interesse an BIM geweckt – so sehr, dass er selbst, wie zuvor Anna Wörle, eine Ausbildung zum BIM-Professional-Baustellen-Manager absolvierte. „Ich bin überzeugt, dass wir um das Thema nicht umhinkommen. BIM hat Vorteile. Es ist nur die Frage, wie tief man

bei seiner Arbeit in das Thema einsteigen möchte. BIM kann nicht alle Probleme lösen. Für mich habe ich entschieden, dass ich das aus BIM ziehe, was mir sinnvoll erscheint, zum Beispiel die digitale Erfassung der Daten, eine gemeinsame Datenumgebung oder der Transfer ins GIS-System. Wenn man es auf das Wesentliche reduziert, ist BIM smarter Straßen- und Tiefbau von morgen in Form einer digitalen, strukturierten Arbeits- und Kommunikationsmethode. Mit ihrer Hilfe kann die orts- und zeitunabhängige Zusammenarbeit mit allen Projektbeteiligten verbessert und der Lebenszyklus eines Projekts vom Entwurf über den Bau bis zur Betriebs- und Wartungsphase optimiert werden“, lautet Kapfers Fazit nach Beendigung der Gundelfinger Baustelle im Dezember 2021.



Bild 5: Wichtig für das Arbeiten mit BIM ist Funkkontakt. Hier die Basis-Station mit GPS-Antenne.

8 Anschlussprojekt in Lauingen

Für seine eigene Projektarbeit zum Abschluss seiner Ausbildung zum BIM-Professional Baustellen-Manager hatte Kapfer selbst eine BIM-Baustelle für die Donau-Stadtwerke Dillingen-Lauingen ausgeschrieben, bereits mit den AIA.

Bei der Maßnahme handelt es sich um eine Straßensanierung in Lauingen mit der Erneuerung der Trinkwasserleitung auf einer Länge von 180 m sowie der Sanierung einiger Hausanschlüsse. Die Maßnahme fand zwischen Mitte November und Mitte Dezember 2022 statt.

Den Zuschlag für die Maßnahme erhielt die Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG, die hier ihre in Gundelfingen gemachten Erfahrungen einbringen und weiter vertiefen konnte. Zudem wurde über diese BIM-Maßnahme auch eine Bachelorarbeit durch eine Werkstudentin erstellt.

Zunächst konkretisierte das Rohrleitungsbauunternehmen den BIM-Abwicklungsplan (BAP) mit dem Auftraggeber. Von Anfang an nutzten alle Beteiligten – das bauausführende Unternehmen Heidel, das Planungsbüro Kapfer sowie die Donau-Stadtwerke Dillingen-Lauingen als Auftraggeber – die gemeinsame Datenbank (CDE), in die alle projektbezogenen Daten hochgeladen wurden. Hierdurch standen sie in Echtzeit allen zur Verfügung, sodass sämtliche Vorgänge stets transparent waren. Papier wurde für die Baustellenabwicklung gar nicht mehr benötigt. Zum Beispiel waren die Pläne so aufbereitet, dass der Baggerfahrer sie digital mit zur Baustelle nehmen konnte. Die Bautagebücher wurden genauso digital abgelegt wie die Protokolle der Besprechungen.

9 Vorteile von BIM

Von der BIM-Baustelle in Lauingen konnten alle profitieren: Wichtig war den Donau-Stadtwerken Dillingen-Lauingen die Aufbereitung der Daten für das Geoinformationssystem (GIS). Das Planungsbüro konnte anhand der digitalen Informationen die erstellten Aufmaße mühelos überprüfen, während es für Heidel ebenfalls eine Vereinfachung bei der Rechnungserstellung ergab und eine strukturierte und digitale Arbeitsvorbereitung bedeutete. Für die Maßnahme in Lauingen wurde das BIM Level [1] angewandt, das heißt, dass es für die Baustelle keine Visualisierung gab.

Dass BIM in der Branche künftig eine immer größere Rolle spielen wird, darin sind sich die Beteiligten einig. Um auch andere von den Vorteilen der digitalen Arbeitsmethode zu überzeugen, luden die Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG, das Planungsbüro und der Auftraggeber Anfang Dezember 2022 Interessierte zu einer Baustellenbesichtigung nach Lauingen ein. Quasi „vor der Baggerschaufel“ konnten sich Stadtwerke, Ingenieurbüros und Bauunternehmen die Planung und Umsetzung einer Baumaßnahme mithilfe von BIM live anschauen.

10 Chancen durch die digitale Arbeitsmethode

„Wir müssen die Auftraggeber ins Boot holen. Sie müssen die BIM-Methode bereits bei Vergabe der Planungsleitungen an die Ingenieurbüros fordern. Nur dann ist ein vollständig durchgängiger BIM-Prozess über die gesamte Baumaßnahme möglich. BIM-Vorgaben werden schon in naher Zukunft auch bei kleinen Ausschreibungen ein fester Bestandteil sein. Da ist es von Vorteil, wenn man gut gerüstet ist. Im Vergleich mit anderen Branchen hat sich die Wertschöpfung im Baugewerbe in den letzten 30 Jahren unterdurchschnittlich entwickelt. Mithilfe von BIM kann sich das ändern“, so Kapfer. Er sieht in der Digitalisierung der Baubranche noch eine weitere Chance: „Indem wir uns moderner aufstellen, sind wir auch attraktiver für junge Menschen. BIM könnte eine Antwort auf den Fachkräftemangel sein.“

Alexander Heidel, Geschäftsführer von Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG, sieht das ähnlich. Digitalisiertes Bauen ist für ihn schon längst eine Selbstverständlichkeit, ebenso wie die Qualifizierung seiner Mitarbeiter in diesem Bereich. „Wir arbeiten seit Jahren mit der digitalen Baggersteuerung; Vorarbeiter bekommen von uns Tablets mit digitalen Plänen, die wir aufbereitet haben. Digitalisiertes Bauen bringt viele Vorteile vor allem für Auftraggeber mit sich, unter anderem bessere Kommunikation, die Archivierung der Fotos mit Hilfe von GPS-Koordinaten oder

die Dokumentation von Bauteilen mitsamt Chargennummer. Hier liegt die Zukunft. Es gilt, Auftraggeber von dem Mehrwert des digitalisierten Bauens zu überzeugen. Bauunternehmen, die sich mit digitalisiertem Bauen beschäftigen, haben einen gewissen Wettbewerbsvorteil und sind vor allem für junge Mitarbeiter ein attraktiver Arbeitgeber."

Auch wenn die Ausschreibungen von BIM-Tiefbaumaßnahmen derzeit noch die Ausnahme sind, die Beispiele von Gundelfingen und Lauingen zeigen, dass Offenheit für Neues die Grundlage für digitale Weiterentwicklung ist.

[1] In Anlehnung an den Masterplan für Bundesbauten; ab Ende 2022 wird die Einführung von BIM auf Level 1 für öffentliche Baumaßnahmen zur Verpflichtung. Für Einzelheiten siehe Literaturempfehlungen am Ende des Dokuments.

Literatur

[1] BIM im Leitungsbau
Technisches Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für grabenloses Bauen e. V. und des Rohrleitungsbauverbandes e. V. in Zusammenarbeit mit der Bundesfachabteilung Leitungsbau im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Oktober 2020.

[2] „Masterplan BIM für Bundesbauten"
des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und des Bundesministeriums für Verteidigung (BMVg); September 2021.

Autoren:

Dipl.-Ing. Alexander Heidel
Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG, Glött

Tel.: 09075-204
E-Mail:
info@heidel-gloett.de
Internet:
www.heidel-gloett.de



Anna Wörle
Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG, Glött

Tel.: 09075-204
E-Mail:
info@heidel-gloett.de
Internet:
www.heidel-gloett.de



2
Digitale Instrumente in praktischer Anwendung

SecureSafety: Integrierte Risikobewertung für kritische Infrastruktur zur Unterstützung der Versorgungssicherheit

Von Marcus Geiger

1 Industrie 4.0 und Operational Technology (OT)

„Science-Fiction“, „Mumpitz“ vielleicht sogar „Magie“: Das wären möglicherweise die Kommentare der Technologiepioniere aus der Mitte des letzten Jahrhunderts für das gewesen, was wir heute unter dem Internet, der Digitalisierung oder Industrie 4.0 verstehen. Digitale Informationstechnologie (IT) ist inzwischen vielfach integraler Bestandteil industrieller Systeme und Anwendungen. In diesen Umgebungen wird aus dem „I“ allerdings ein „O“, denn „OT“ steht für operationelle Technologie mit realen, physischen Auswirkungen, welche den Betrieb von Maschinen und Anlagen steuert oder überwacht. IT bezog sich hingegen bisher in erster Linie auf die Datenverarbeitung, z. B. in Office- und Businessanwendungen, also außerhalb sogenannter Cyber-Physischer-Systeme, bei denen die Datenverarbeitung in Kombination mit mechanischen Komponenten zur Steuerung und Kontrolle in Echtzeit eingesetzt wird. Eine technologisch basierte Unterscheidung zwischen IT und OT wird jedoch aufgrund der rasanten Fortentwicklung des Stands der Technik zunehmend schwieriger.



Moderne prozesstechnische Anlage

2 Bedrohungslage

Große Augen gäbe es bei den vorgenannten Pionieren auch hinsichtlich des Manipulations- und Missbrauchspotenzials, das mit dem Einsatz dieser IT bzw. OT einhergeht. Überall dort, wo betriebliche Prozesse abhängig von veränderbaren digitalen Daten sind, besteht ohne ausreichenden Schutz immer die Möglichkeit einer Beeinträchtigung durch digitale Angriffe. Dass so etwas bereits Realität ist und welche Auswirkungen damit verbunden sein können, sieht man an der zunehmenden Anzahl an Vorfällen in den letzten Jahren. Folgende Auflistung enthält nur wenige Beispiele, die in diesem Kontext für sich sprechen:

- Der Colonial Pipeline Hack in den USA im Mai 2021, bei dem ein Ransomware-Angriff zu einer Stilllegung der Öl-Pipeline geführt hat und über 5 Mio. USD Lösegeld gezahlt wurden [1]
- Schon im Jahr 2008 wurde eine Explosion einer Pipeline in der Türkei mutmaßlich durch einen Hackerangriff ausgelöst [2]
- Der BSI Lagebericht 2022 attestiert informationssicherheitstechnische Mängel in diversen KRITIS-Sektoren und führt weiterhin auf, dass 452 Meldungen von Ausfällen oder erheblichen Beeinträchtigungen kritischer Infrastrukturen als Folge digitaler Vorfälle im einjährigen Berichtszeitraum beim BSI eingegangen sind [3]
- Der Bitkom beziffert den jährlichen Schaden digitaler Sabotage, Datendiebstahls und Spionage auf die deutsche Industrie auf über 200 Mrd € [4]

Das Bedrohungsbild wandelt sich ebenfalls, physische Sabotage der Leitungen selbst, wie die Sprengung von drei der vier Strängen der Gaspipelines Nord Stream 1 und 2 in der Ostsee [5], als auch das Durchtrennen von Glasfaserleitungen bei der deutschen Bahn [6] und der Internetversorgung in Südfrankreich [7], welche zu signifikanten Einschränkungen in der Versorgungssicherheit und im Betrieb geführt haben, sind mehr in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt.

Erwähnenswert ist außerdem die berüchtigte Malware TRITON / TRISIS, die 2018 in einer saudi-arabischen Ölraffinerie durch den gezielten Angriff auf Safety-Systeme von Schneider-Electric potenziell verheerende Folgen hätte nach sich ziehen können. Der Vorfall ist nur durch das unbegründete Auslösen der Safety-Systeme, vermutlich durch einen Fehler seitens der Angreifer, aufgefallen, welcher eine Untersuchung nach sich gezogen hat und dadurch Schlimmeres verhindert werden konnte [8].

Grundsätzlich können hinsichtlich digitaler Angriffe drei Schutzziele unterschieden werden:

1. Wirtschaftlichkeit: Schutz vor negativen finanziellen Auswirkungen durch eine Beeinträchtigung der Betriebsabläufe oder auch Lösegeldforderungen durch Ransomware-Befall
2. Unmittelbarer Schutz von Mensch und Umwelt: Schutz der klassischen Safety vor Beeinträchtigung
3. Versorgungssicherheit: Schutz kritischer Infrastrukturen mit dem Ziel die Versorgungssicherheit im Sinne der Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung und des Bevölkerungsschutzes sicherzustellen

Abhängig von der Art der betriebenen Anlage und den durch den Betrieb betroffenen Rechtsgebieten ist die Aufrechterhaltung eines ausreichenden Schutzniveaus vor Cyber-Bedrohungen obligatorisch.

3 Verantwortlichkeit der Betreiber und Bezug zur funktionalen Sicherheit

Vor allem die Betreiber prozesstechnischer Anlagen und von Versorgungsinfrastruktur sind dafür verantwortlich, den Betrieb verlässlich und frei von unvertretbaren Risiken für Mensch und Umwelt zu halten. In der klassischen funktionalen Sicherheit gibt es dafür etablierte Verfahren, um die Wahrscheinlichkeit systematischer und zufälliger Fehler und ihre Auswirkungen zu quantifizieren.

Klassische Sicherheitsbetrachtungen basieren, je nach gewähltem Verfahren, auf festgelegten Eingangsgrößen und prozessualen Vorgaben. Ein gängiges Mittel gegen zufällige Fehler ist neben der Qualitätssicherung beispielsweise die Einführung einer Redundanz (z. B. „2oo2“ anstelle „1oo2“). Um Common Cause Fehlern entgegenzuwirken, bedarf es ggf. einer Diversität.

Mit der absichtlichen Sabotage digitaler Elemente kommt nun aber ein neuer Fehlertyp hinzu: der intendierte Fehler, entstanden durch eine Manipulation veränderbarer Daten. Die Worst-Case-Annahme dabei ist, dass einem Angreifer all das möglich ist, was ein berechtigter Programmierer und Bediener der Anlage ausführen kann. Dies gilt sowohl bei Steuerungen und Sensoren des normalen Betriebsablaufs als auch für digital programmierbare und/oder vernetzte Safety-Systeme. Cyberbedrohungen können aufgrund ihrer Beschaffenheit auch bei diversitären Systemen gleichzeitige Probleme hervorrufen. Der intendierte Fehler besitzt somit bei digitalen Systemen das größte Schadpotential.

Ein simples Beispiel soll den intendierten Fehler verdeutlichen: Es fallen Messdaten auf einem Sensor an, diese werden an die Logik übertragen, dort im Programm verarbeitet, dann an die Aktoren übertragen und auf diesen genutzt, um eine entsprechende Aktion auszuführen. Jede dieser Stellen bietet potenziell die Möglichkeit eines Angriffs, z. B. durch Manipulation der Daten auf dem Übertragungsweg, durch unberechtigten Zugriff über Fernwartungsschnittstellen, Infektion der Engineering-Station mit Schadsoftware oder auch durch physischen Zugriff auf Netzwerkschnittstellen in Messstationen, von denen sich Steuerbefehle in das Netzwerk einspielen lassen.

Auch in der Politik gibt es diverse Bestrebungen, diesem neuen Bedrohungspotenzial angemessen zu begegnen. Zum Beispiel bezieht die Empfehlung zur Betriebssicherheit 1115 (eine weitergehende Technische Richtlinie für Betriebssicherheit befindet sich in der Erstellung) Cyberbedrohungen in die Gefährdungsbeurteilung mit ein. Demnach müssen Arbeitgeber, wozu auch Betreiber überwachungsbedürftiger Anlagen zählen, innerhalb einer Risikoanalyse die potenziellen Auswirkungen von Cyberbedrohungen analysieren und Maßnahmen ergreifen, welche die Cybersicherheit in dem Umfang gewährleisten, der erforderlich ist, um Arbeitnehmer vor Gefährdungen zu schützen. Mittelfristig wird sich dieses auch auf die Verpflichtungen im Rahmen der Rohrfernleitungsverordnung auswirken. In Bereichen wie der kritischen Infrastruktur, dem

Atomgesetz oder dem Strahlenschutzgesetz, gibt es bereits jetzt schon Verpflichtungen hinsichtlich der Cybersicherheit.

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass Cybersicherheit in den vorgenannten Bereichen kein Selbstzweck ist, sondern der Einhaltung von gesetzlich verankerten Schutzzielen dient, sodass auch eine „nicht-Cyber-Maßnahme“ für die Aufrechterhaltung der Schutzziele sorgen kann, z. B. ein rein mechanisches Überdruckventil, welches sich aufgrund seiner Natur nicht über digitale Wege angreifen lässt.

4 Wie klappt die Vereinigung von Safety und Security?

Wir stehen folglich aktuell vor der Herausforderung, die klassische funktionale Sicherheit im Sinne der Safety mit der Cybersicherheit zu einer holistischen Gesamtbetrachtung der Sicherheit zu vereinen. Dass im Deutschen unter dem Begriff „Sicherheit“ zwei komplett unterschiedliche Zielsetzungen verstanden werden können, führt in Gesprächen zwischen Fachleuten der funktionalen Sicherheit und Cybersicherheit dabei häufig zu Missverständnissen. Die Nutzung der im Englischen besser abgegrenzten Begriffe „Safety“ und „Security“ kann hier hilfreich sein.

Doch wie erzielt man nun eine holistische Sicherheitsbetrachtung? Wie integriert man Fragestellungen, wie die Wahrscheinlichkeit eines digitalen Angriffs und dessen potenzielle Auswirkungen einzuschätzen sind, in das bestehende „Ökosystem“ der Safety?

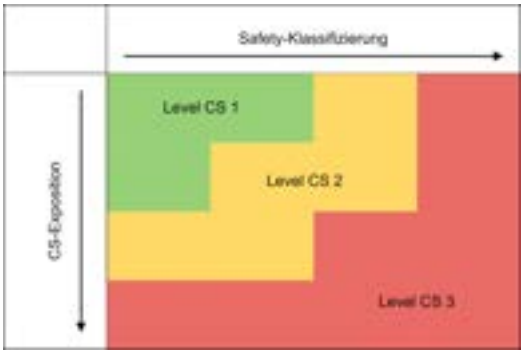
Wie auch in vielen anderen Bereichen des Lebens gibt es hierauf nicht die eine, allumfassende Antwort. Verschiedene Ansätze sind möglich, wobei immer der Grundsatz gilt, dass mit steigendem Detaillierungsgrad und zunehmendem Aufwand auch die Präzision der Ergebnisse zunimmt. Je spezifischer der Schutzbedarf im Kontext der Einhaltung der Schutzziele bestimmt und die konkreten Randbedingungen der Anlage Berücksichtigung finden, desto passgenauer können auch Lösungen zum Schutz der Anlage vor Cyberbedrohungen festgelegt werden. Nachfolgend sind drei Vorgehensweisen mit aufsteigender Präzision dargestellt.

Die erste und einfachste Vorgehensweise ist, eine pauschale Zuordnung von Safety Integrity Level (SIL) auf ein Security Level (SL) vorzunehmen. Das SL ist dabei ein Konzept aus der Normenreihe IEC 62443 [9], welche das Standardwerk der industriellen Cybersicherheit darstellt. Bei diesem Ansatz erfolgt jedoch eine sehr pauschale Festlegung des Cyberschutzbedarfs, was im Einzelfall dazu führen kann, dass nicht alle relevanten Cyberbedrohungen passgenau behandelt werden. Im Gegenzug ermöglicht diese Vorgehensweise jedoch eine schnelle Quantifizierung des Cyberschutzbedarfes und ermöglich es daher, insbesondere bei begrenzten Ressourcen, schnell in die Umsetzung von Cybersicherheitsmaßnahmen zu gelangen.



Direkte Zuordnung des Cybersicherheit-Schutzbedarfes gemäß VCI [10]

Eine weitere Möglichkeit ist, ein simples kombiniertes Risiko aus Cybersicherheit und Safety zu erstellen. Hierbei wird anhand einer einfachen Risikomatrix das Ausmaß der datentechnischen Vernetzung (Cybersicherheitsexposition) und der Safety-Klassifizierung der Schutzbedarf ermittelt.



Kombinierte Betrachtung nach Cybersicherheitsexposition und Safety-Klassifizierung

Dieser Ansatz betrachtet allerding ebenso wenig wie die bereits beschriebene pauschale Zuordnung das spezifische Risiko für die Safety, dass aus einem Cyberangriff resultieren kann. Ein Vorteil gegenüber der einfachen Zuordnung ist jedoch, dass man durch die Berücksichtigung der Exposition des Systems gegenüber Cyberbedrohungen ein Äquivalenzkriterium zur in der Safety etablierten Eintrittswahrscheinlichkeit erhält und somit die Kritikalität hinsichtlich des Erfordernisses von Maßnahmen der Cybersicherheit präziser ermitteln und beschreiben kann. Was jedoch auch diese Vorgehensweise nicht leisten kann, ist die Berücksichtigung von Aspekten der Kosteneffizienz, ergänzend zur Frage der Effektivität der Maßnahmen.

Der umfassendste unter den Vorgehensweisen ist die vollständig integrierte Safety- und Security-Risikobeurteilung, die nachfolgend dargestellt wird.

5 Integrierte Safety- und Security-Risikobeurteilung

Ein vollumfassendes Bild unter Berücksichtigung der Kosteneffizienz, aller Bedrohungen und aller potenziellen Auswirkungen entsteht erst durch eine integrierte Safety- und Security-Risikobeurteilung. Diese Lösung ist der Maßanzug, welcher individuell auf die Bedürfnisse des Betreibers unter Berücksichtigung der individuellen Randbedingungen der Anlage angefertigt wird.



Integrierte Safety- und Security-Beurteilung

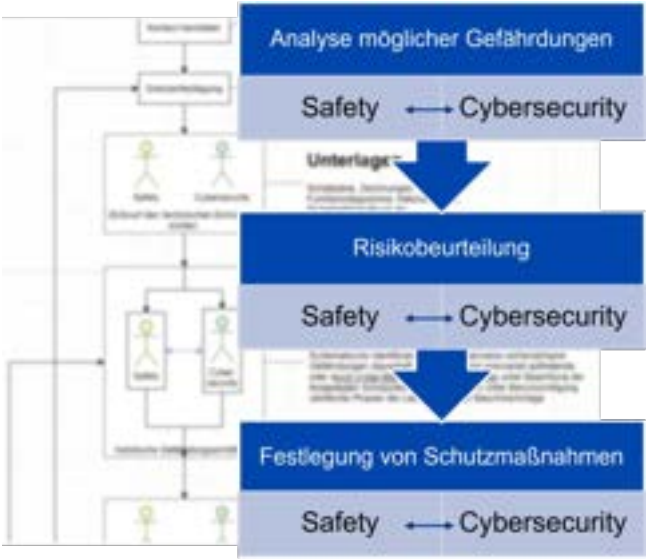
Eine solche integrierte Risikobeurteilung durchläuft üblicherweise wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt drei Phasen. In allen Phasen findet ein intensiver Austausch zwischen Safety- und Security-Experten statt.

1. **Phase: Analyse möglicher Gefährdungen**
   In dieser Phase ist herauszuarbeiten, welche gefährlichen Anlagenzustände bzw. Gefährdungen bei zusätzlicher Berücksichtigung von intendierten Fehlern grundsätzlich möglich sind. Hierbei sind der spezifische Anlagenkontext sowie die physischen und informationstechnischen Grenzen zu berücksichtigen. Ziel dieses Schrittes ist es festzustellen, ob die bisherige Safety-Auslegung weiterhin abdeckend ist oder, ob zusätzliche Funktionen zu betrachten sind. Bei der Analyse sind bestehende oder geplante Cybersecurity-Maßnahmen nicht zu berücksichtigen. Man redet von der sogenannten „ungeschützten Anlage“.

2. **Phase: Risikobeurteilung**
   In der zweiten Phase erfolgt die Durchführung einer Risikoanalyse inklusive einer Schwachstellenanalyse und einer erweiterten Safety-Risikoeinschätzung. Vereinfacht gesagt erfolgt die detaillierte Ermittlung und Bewertung des Risikos unter Berücksichtigung aller drei Fehlerarten, die zu gefährlichen Zustände führen können. Das Ergebnis dieser Phase könnte man als die „To-Do-Liste“ bezeichnen, welche die Baustellen ausweist, die für den sicheren Betrieb der Anlage noch zu behandeln sind.

3. **Phase: Festlegung von Schutzmaßnahmen**
   In Phase drei erfolgt nun die Festlegung der zu realisierenden Schutzmaßnahmen mit integrierter Abstimmung zwischen Safety und Security. Ziel dieser Abstimmung ist es, die effektivsten und dabei kosteneffizientesten Schutzmaßnahmen zu identifizieren. Oft ist die

wirtschaftlichste Lösung eines Cybersecurity-Problems, eine technische Implementierung zu wählen, die dieses Problem erst gar nicht entstehen lässt. Die Realität ist, dass Komfort durch Digitalisierung und Vernetzung insbesondere im Bereich von Safety-Einrichtungen im Regelfall teuer durch Maßnahmen der Cybersecurity zu erkaufen ist.
Ein weiterer wesentlicher Bestandteil dieser Phase ist die Sicherstellung der Rückwirkungsfreiheit der Maßnahmen der Cybersecurity auf die Saftey-Funktionen. Auch hier lauern Stolperfallen. Ein aus Sicht der Cybersecurity hergestellter sicherer Zustand (Gerät netzwerktechnische getrennt oder heruntergefahren) kann aus Sicht der Safety das Schutzkonzept kollabieren lassen.



Die drei Phasen eine integrierten Safety- und Security-Beurteilung

Wie die praktische Umsetzung der 3 Phasen ausgestaltet werden kann, ist nachfolgend am Beispiel eine sogenannten Enhanced Risk Assessment (ERA) des TÜV SÜD beschrieben. Da sich in der Praxis gezeigt hat, dass in vielen Unternehmen Gräben zwischen den Zuständigkeitsbereichen Safety und Cybersecurity bestehen, hat sich ein moderiertes Workshop-Modell bewährt, um die erforderliche Interaktion zu unterstützen.

Über den Verlauf von fünf Workshops werden alle wichtigen Stakeholder aus Management, IT, OT und funktionaler Sicherheit einbezogen, um den Fragen nachzugehen, „Welche Systeme muss ich betrachten?“, „Wie hoch ist deren Schutzbedarf?“ und „Wie sieht die effizienteste Lösung aus?“. Die Risikobeurteilung folgt dabei den etablierten Verfahren aus der IEC 62443 Normenreihe.



Ablauf der einzelnen Workshops

Als Ergebnis entsteht eine holistische Sicherheitsbeurteilung, welche alle Cyber-Bedrohungen einbezieht und für eine zukunftsfähige Aufstellung des Betreibers sorgt.

6 Fazit

Auch wenn der Einzug neuer Technologien in die Industrie und die sich ständig ändernde Bedrohungslage industrielle Betreiber vor große Herausforderungen stellt, gibt es doch glücklicherweise einen gut gefüllten Werkzeugkoffer, auf den zurückgegriffen werden kann, um den erforderlichen Schutzbedarf zu erreichen. Mit diesen Verfahren und Hilfestellungen bleiben Betreiber auch in Zukunft gewappnet, Cyber-Bedrohungen kompetent entgegenzuwirken.

7 Literatur

[1] BBC Berichterstattung zum Colonial Pipelines Hack, https://www.bbc.com/news/technology-57063636

[2] worldpipelines.com Berichterstattung zum Cyberangriff auf die türkische Pipeline, https://www.worldpipelines.com/business-news/12122014/cyber-attack-caused-2008-pipeline-explosion/

[3] Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland, BSI, https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Lageberichte/Lagebericht2022.html

[4] 203 Milliarden Euro Schaden pro Jahr durch Angriffe auf deutsche Unternehmen, Bitkom e. V., https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Wirtschaftsschutz-2022

[5] Tagesschau Berichterstattung zur Sabotage von Nordstream 2, https://www.tagesschau.de/ausland/europa/lecks-nord-stream-sabotage-101.html

[6] heise.de Berichterstattung zur Sabotage von Glasfaserverbindungen bei der deutschen Bahn, https://www.heise.de/news/Sabotage-bei-der-Bahn-Viele-vertrauliche-Infos-sind-offen-zugaenglich-7307277.html

[7] heise.de Berichterstattung zur Sabotage von Internet-Backbone Glasfaserverbindungen in Frankreich, https://www.heise.de/news/Frankreich-Unbekannte-durchtrennen-Glasfaser-Backbones-7068664.html

[8] SANS Institut Berichterstattung zur TRITON / TRISIS Malware, https://www.sans.org/blog/triton-trisis-in-search-of-its-twin/
[9] ANSI/ISA-62443-3-2-2020, Security for industrial automation and control systems, Part 3-2: Security risk assessment for system design
[10] Verband der Chemischen Industrie e. V., VCI-Statuspapier zur Cybersicherheit in der Chemie – Risikobasiertes Vorgehen, https://www.vci.de/themen/umwelt-sicherheit/anlagensicherheit/cybersicherheit-in-der-chemie-statuspapier.jsp

Autor:

M.Sc. Marcus Geiger
TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Westendstraße 199, 80686 München

Tel.: +49 151 61851132
E-Mail: marcussean.geiger@tuvsud.com
Internet: www.tuvsud.com



Der digitale Monteur – Was braucht es für die digitale Arbeit im Graben?

Das Smartphone als Arbeitsmittel zur Baudokumentation

Von Dennis Bienkowski und Maximilian Erdmann

Smartphones sind aus dem Alltag vieler Menschen nicht mehr wegzudenken. Hatten laut Statista im Jahr 2012 nur 36 Prozent der Deutschen ab vierzehn ein eigenes Smartphone, ist diese Zahl innerhalb von weniger als zehn Jahren auf knapp 89 Prozent gestiegen – in der Altersgruppe bis 59 Jahren sind es insgesamt sogar ganze 93 Prozent (vgl. Tenzer). Damit besitzen neun von zehn Deutsche ein Smartphone.

Bei diesen Zahlen ist es wenig verwunderlich, dass sich das Gerät auch fest in den Arbeitsalltag vieler Menschen integriert hat. Enorme Rechenleistungen, kombiniert mit einem allgegenwärtigen Zugang zum Internet, sorgen für nie dagewesene Geschwindigkeiten in der Kommunikation und dem Austausch von Daten. Selbst komplexeste Aufgaben lassen sich durch die starken Recheneinheiten von mobilen Geräten stemmen und sorgen dafür, dass von überall aus effektiv gearbeitet werden kann.

Diese Entwicklung hin zu digitalen Werkzeugen findet auch in der Baubranche statt. Sensoren und Schweißgeräte können per Bluetooth mit Smartphones und Tablets verbunden werden. Protokolldaten müssen nicht mehr auf Papier abgeschrieben werden, sondern brauchen nur wenige Klicks, um sie als saubere Datensätze in fortlaufende Systeme zu übergeben. Zunehmend werden Smartphones und Tablets dabei auch direkt zur Dokumentation verwendet – und sind damit zu einem hilfreichen Multifunktionswerkzeug auf Baustellen geworden.

Digitale Apps wie Vaira sind dabei der Schlüssel, um das Smartphone als Werkzeug nutzbar zu machen – denn Rechenleistung allein bringt noch nichts. Die Anforderungen auf der Baustelle müssen aufgenommen, in sinnvolle Funktionen übersetzt und anschließend nutzerfreundlich aufbereitet werden. Erst die einfache Handhabbarkeit digitaler Werkzeuge und die Zuverlässigkeit der Anwendungen sorgen für eine Zustimmung bei den Menschen, die tagtäglich mit ihnen arbeiten.

»Gerade bei der Dokumentation von Netzen hat die Digitalisierung einen hohen Stellenwert, der immer wichtiger wird. Was manuell begonnen hat, ist mittlerweile weitestgehend digitalisiert«, sagt Herr Guido Reimuth, Hauptverantwortlicher für die Netzdokumentation bei den Stadtwerken Eschwege (s. Interview mit Guido Reimuth).

In Vorbereitung dieses Fachartikels haben wir ein Interview mit einem unserer Kunden zu seinen täglichen Herausforderungen, seinen Erwartungen an digitale Instrumente und seine Erfahrungen mit Vaira geführt. Teile aus diesem Interview mit Herrn Reimuth werden im Folgenden

zitiert. Das komplette Interview steht außerdem auf unserer Website zum Download zur Verfügung.

1 Die drei aktuell größten Herausforderungen der Baubranche

Jedes Unternehmen kämpft mit eigenen Herausforderungen. Doch derzeit lassen sich mindestens drei bedeutende Herausforderungen ausmachen, die teils historisch gewachsen sind und die die komplette Versorgungs- und Bauwirtschaft betreffen.

1.1 Materialknappheit und Materialkosten

Eine zentrale Herausforderung wurde speziell durch die Corona-Pandemie und den Krieg Russlands gegen die Ukraine provoziert. Lieferketten kamen ins Wanken, Lieferungen bleiben teils komplett aus. Baumaterialien wie Stahl, Bitumen und Aluminium – und damit auch Fertigungsprodukte von einfachen Schrauben über Rohre bis hin zu komplexen Bauteilen – sind von der daraus resultierenden Knappheit betroffen. Da die Nachfrage das Angebot übersteigt, steigen die Preise. Absprachen mit Zulieferern werden unzuverlässiger, Preisgarantien kürzer und die Planung so insgesamt schwieriger.

Tim-Oliver Müller, Hauptgeschäftsführer des Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., erklärte dazu im März 2022, dass Angebote in dieser unsicheren Versorgungszeit kaum noch erstellt werden könnten. Man müsse sich fragen, welche Bauprojekte noch umsetzbar seien und auf welche man verzichten könne. Denn, so hebt Müller hervor, das wirtschaftliche Risiko bedeute auch, dass Bauunternehmen schlimmstenfalls auf den Mehrkosten sitzen bleiben würden (vgl. Reuters).

1.2 Überwältigende Nachfrage bei Bau- und Infrastrukturprojekten

Diese Aussicht der Mehrkosten verhagelt vielen Bauunternehmen eine eigentlich erfreuliche Nachricht. Denn der Bedarf an neuen Gebäuden und insbesondere neuer Versorgungsinfrastruktur ist drastisch gewachsen. Der Wohnungsknappheit wird mit neuen Bauprojekten begegnet, die Energiewende braucht neue Versorgungsleitungen in alle Winkel Deutschlands und auch der TK-Ausbau in Form von Glasfaserleitungen wird weiter vorangetrieben.

Die gigantische Nachfrage hebt auch Bernd Freytag, Journalist zu unter anderem dem Themenfeld Bauwirtschaft, hervor: “Die Bauunternehmen kommen mit dem Abarbeiten der Auftragsflut nicht mehr nach. Wer die vielen neuen staatlichen Bauaufträge ausführen soll, ist komplett unklar” (vgl. Freytag). Doch wo die kostendeckende Planung nicht mehr selbstverständlich ist, trifft eine erfreuliche Auftragslage auf Unsicherheit und schlimmstenfalls Mehrkosten statt Gewinn.

1.3 Fachkräftemangel

Die dritte große Herausforderung zieht sich schon seit Jahren durch die Berichterstattung und gewinnt immer weiter an Brisanz. Besonders in Handwerksbetrieben fehlen die Fachkräfte. Gleichzeitig schwebt bedrohlich das Damokles-Schwert der Demographie über Bauunternehmen – denn hier ist die Überalterung von Fachkräften besonders stark ausgeprägt. Viele

Arbeiter auf dem Bau gehen auf ihre Rente zu und hinterlassen Lücken im Personalstamm, die nicht mit neuen Fachkräften besetzt werden können, da diese auf dem Arbeitsmarkt fehlen. Das macht den Mangel umso dramatischer. Dabei sind diese Fachkräfte essenziell, um den Ausbau von Wohnungen und Versorgungsinfrastruktur voranzubringen und bestehende Strukturen instandzuhalten.

Auch im Interview sieht Herr Reimuth diese Herausforderung an Brisanz zunehmen: “Probleme wie der Fachkräftemangel, die Überalterung oder auch die mangelnde Digitalisierung machen sich im Alltag bemerkbar und stehen der Zusammenarbeit von Unternehmen untereinander oft im Wege” (s. Interview mit Guido Reimuth).

2 Der Umgang mit diesen Herausforderungen

Wie ist also der Stand? Wenn sich die Kosten für Materialien kaum kalkulieren lassen, müssen alle anderen beinflussbaren Stellschrauben umso sorgfältiger betrachtet werden. Die Auftragslage für sich genommen ist positiv, leidet aber unter der Materialunsicherheit. Und der Fachkräftemangel sorgt gleichzeitig für zu wenig Arbeitskraft, wo sie gebraucht wird.

Wir haben über die Jahre mit vielen überregionalen Versorgern, regionalen Stadtwerken und Bauunternehmen gesprochen und tiefe Einblicke in ihre Prozessstrukturen erhalten. Was sich dabei immer gezeigt hat: umso weniger digital die Unternehmen aufgestellt waren, desto ineffizienter liefen auch ihre Prozesse ab.

Gerade die analoge Dokumentation – mit Stift, Zettel und Bandmaß – ist ein gigantischer Kosten- und Aufwandsfaktor für alle Beteiligten. Die Kommunikation läuft schleppend, Datenverluste oder fehlerhafte Übertragungen von Daten führen zu kostenintensiven Nachbetreuungen von Dokuentationen. Diese Mehrbelastung wirkt sich auch auf die Attraktivität des Berufsfeldes aus. Monteure sind Fachkräfte für die praktische Arbeit im Baugraben. Dokumentationsaufgaben hingegen sind nur notwendige und unliebsame Pflichtarbeiten, die möglichst schnell hinter sich gebracht werden.

Der Einsatz einer digitalen Lösung für diese Aufgabe kann die Baudoku drastisch entschlacken, verkürzen und damit mehr Sicherheit in die eigenen Angebote bringen. Die Vereinfachung und Beschleunigung der Dokumentation führt zu mehr Akzeptanz im Baugraben und zu einer größeren Bereitschaft, die Arbeit umso sorgfältiger durchzuführen. Digitale Hilfestellungen steigern die Datenqualität zusätzlich.

3 Wie digitale Werkzeuge Planungs- und Zukunftssicherheit schaffen

Der allgemeine Antrieb für digitalen Wandel ist also schnell zusammengefasst: mehr schaffen – das in weniger Zeit – und das am besten noch günstiger als je zuvor. Jedes gute digitale Werkzeug verfolgt letztlich eines oder mehrere dieser Ziele. Unternehmen führen digitale Werkzeuge ein, da durch sie die Effizienz der eigenen Prozesse bzw. Arbeit gesteigert wird. Im Umkehrschluss stehen Unternehmen, die nicht bereit sind, sich zu modernisieren, zunehmend vor Argumentationsschwierigkeiten.

Warum dauern die Dokumentationen im Marktvergleich so lang? Warum sind sie vergleichsweise teuer? Und warum kommen am Ende trotzdem Dokumentationen dabei herum, die fehlerhaft oder unvollständig sind?

Auch auf der Suche nach neuen Fachkräften spielt die digitale Transformation eine wichtige Rolle. Digitale Lösungen sprechen sich besonders in Ausbildungsbetrieben schnell herum und entfachen Begeisterung bei jungen Fachkräften. Wenn diese dann vor der Wahl stehen, welchem Unternehmen sie ihre Arbeitskräfte zur Verfügung stellen wollen, wird das Angebot der Arbeitsmittel ein zunehmend relevanter Faktor. Die Bedeutung von modernen Werkzeugen hebt auch Guido Reimuth im Interview hervor: “Umso wichtiger ist es deshalb, dass verwendete Materialien und Produkte genauso wie die Arbeitsmittel, die den Beschäftigten zur Verfügung stehen, immer dem neusten Stand entsprechen” (s. Interview mit Guido Reimuth).

Die Nutzung digitaler Werkzeuge zur Dokumentation schafft also eine stabilere Konkurrenzfähigkeit. Sie führt außerdem zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit, kann die Wahrscheinlichkeit von Mehrkosten senken und bestenfalls sogar den Gewinn steigern. Als Unternehmen macht man sich zudem für Nachwuchskräfte attraktiver, indem man moderne Lösungen anbietet und wertschätzend mit der gebotenen Arbeitskraft umgeht.

4 Vaira als umfassende Lösung für die Baudokumentation

Wir haben unsere jahrelange Erfahrung – in Zusammenarbeit mit Branchengrößen wie der EWE AG, der Thüga AG und deren Stadtwerken sowie zahlreichen einzelnen Stadtwerken, Bauunternehmen und Bauteil- und Geräteherstellern wie Georg Fischer – in einer Plattform gebündelt. Herausgekommen ist eine Plattform, die alle Anforderungen bündelt.



Abbildung 1: An die Stelle der analogen Papierbauakte rücken die Vaira App und das Vaira Office.

Über Vaira können alle Beteiligten gemeinsam an Bauprojekten und deren Dokumentation arbeiten. Der Anwender steht dabei immer im Mittelpunkt. Das heißt auch: unsere Plattform ist modular und flexibel einsetzbar. Sie bietet umfassende Funktionen, von denen aber nur die in die eigene Baudokumentation eingebunden werden müssen, die man wirklich braucht. Bei der Nutzung von Vaira wird außerdem nur der Funktionsumfang abgerechnet, der tatsächlich genutzt wurde – das steigert die Kalkulationssicherheit für die eigene Angebotserstellung.

Bauunternehmen können ihre Kolonnen mit Smartphones oder Tablets ausstatten und die Dokumentation vollständig digital vornehmen. Dazu zählen auch die Vermessung per Augmented Reality oder – mit einer optionalen Zusatzhardware – auch hochpräzise per GNSS und Korrekturdatendienst.



Abbildung 2: Mit Vaira kann per Augmented Reality (links) oder mit der optionalen Zusatzhardware viDoc® per GNSS mit Korrekturdatendienst (rechts) vermessen werden.

Komfort-Funktionen wie Checks auf die Korrektheit von Daten und darauf, ob alle verpflichtenden Felder ausgefüllt sind, sorgen für eine gesteigerte Dokumentationsqualität und weniger Rückfragen. Gleichzeitig wird den Monteuren vor Ort Arbeit dadurch abgenommen, dass sie für jeden Auftrag die passenden digitalen Formulare direkt auf ihr Gerät erhalten.

Die digitale Bauakte wird kontinuierlich mit allen Beteiligten synchronisiert und niemand muss Dokumente warten. Am Ende genügt ein einfacher Klick zum Abschließen eines Vorgangs. Die Daten können per Schnittstelle direkt an den Auftraggeber oder eigene fortführende Systeme durchgereicht werden – oder nach Wunsch auch traditionell in eine PDF übergeben, die dann ausgedruckt und dem Auftraggeber übergeben werden kann, falls dieser auf Papier besteht.

Guido Reimuth blickt im Interview positiv auf die bisherige Zusammenarbeit mit Vaira und resümiert: “Wir setzen Vaira ein, um unsere Monteure in die Lage zu versetzen kleine Baustellen und einfache Leitungs- und Kabelverläufe möglichst selbst einzumessen. Bei der Dokumentation ist der Prozess zwar noch nicht abgeschlossen, aber er befindet sich auch schon auf der Zielgeraden. So konnten wir unsere Prozesse verbessern. Zusätzlich zu den genannten Punkten konnten wir uns bei der Digitalisierung und Übertragung der Skizzen ins GIS verbessern” (s. Interview mit Guido Reimuth).

Durch den vollumfassenden digitalen Ansatz werden Schattenprozesse wie Korrekturschleifen, abwendbare Rückfragen und Liegezeiten vollständig umgangen. Monteure werden in ihrer täglichen Arbeit entlastet und der Fokus kann verstärkt auf die eigentlichen Bauarbeiten gesetzt werden. Die vereinfachte und digital unterstützte Dokumentation wird beschleunigt, steigert die Akzeptanz auf der Baustelle und damit auch die Datenqualität erfasster Dokumentationen. Die Kalkulationssicherheit bei der Angebotserstellung wird erhöht, die Attraktivität für Nachwuchskräfte gesteigert und die Arbeitszufriedenheit auf der Baustelle nimmt zu.

Damit trägt das Smartphone mit der passenden Software als digitales Werkzeug zentral dazu bei, den aktuell größten Herausforderungen von Bauunternehmen zu begegnen.

5 Interview

Interview mit Guido Reimuth, Hauptverantwortlicher für die Netzdokumentation bei den Stadtwerken Eschwege; geführt von Patrick Tegethoff (Vaira UG) im November 2022. Das Interview kann in der Vollversion von der Vaira-Website bezogen werden: https://www.vaira.app/2022-11-Interview-Guido-Reimuth.

QR-Code zum Interview-Download:

6 Literatur

[1] Freytag, Bernd: Bau am Limit. Kommentar vom 31.01.2022, veröffentlicht auf FAZ.net; URL: https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/kommentar-die-baubranche-ist-am-limit-17765798.html (abgerufen am 22. November 2022).

[2] Reuters: Schrauben, Nägel, Bitumen. Bau spürt Kriegsfolgen; veröffentlicht am 18.03.2022 auf FAZ.net; URL: https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/bau-spuert-kriegsfolgen-stopp-fuer-projekte-nicht-ausgeschlossen-17887414.html (abgerufen am 22. November 2022).

[3] Tenzer, F.: Anteil der Smartphone-Nutzer in Deutschland bis 2021«; digital veröffentlicht am 24.01.2022; URL: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/585883/umfrage/anteil-der-smartphone-nutzer-in-deutschland/#:~:text=Der%20Anteil%20der%20Smartphone%2DNutzer,oder%20Handy%20im%20Haushalt%20besitzen.&text=Fast%20jeder%20Deutsche%2C%20der%20unter,alt%20ist%2C%20nutzt%20ein%20Smartphone (abgerufen am 23.11.2022).

Autoren:

Dennis Bienkowski
Vaira UG (haftungsbeschränkt)
33100 Paderborn

Tel.: 05251 28470 67
E-Mail:
dennis.bienkowski@vaira.app
Internet:
www.vaira.app



Maximilian Erdmann
Vaira UG (haftungsbeschränkt)
33100 Paderborn

Tel.: 05251 28470 66
E-Mail:
max.erdmann@vaira.app
Internet:
www.vaira.app



3
GIS für Infrastruktur und Versorgung

Utility GIS als Service aus der Cloud

Von Martin Scheu

1 Über BTC

Die BTC Business Technology Consulting AG ist eines der führenden IT-Consulting-Unternehmen in Deutschland mit Niederlassungen in China, Japan, Polen, Rumänien, der Schweiz, der Türkei und den USA. Das Unternehmen mit rund 2.100 Mitarbeitern und Hauptsitz in Oldenburg ist Partner von SAP und Microsoft. BTC erzielte im Jahr 2021 einen Umsatz von 247 Mio. Euro.

BTC hat ein ganzheitliches, auf Branchen ausgerichtetes IT-Beratungsangebot und damit eine führende Position in den Bereichen Energie, Telekommunikation, Öffentlicher Sektor, Industrie und Dienstleistungen. Das Angebot umfasst Beratung, Systemintegration sowie Applikations- und Systemmanagement. Ein weiterer Fokus liegt auf energienahen Softwareprodukten.

2 Utility GIS

Geoinformationssysteme werden heute in der Energieversorgung überwiegend noch On Premise genutzt. Doch auch im GIS-Umfeld erkennen die Unternehmen die Vorteile einer Nutzung von GIS-Technologie aus der Cloud. Frühere Vorbehalte wegen mangelnder Sicherheit verlieren ihre Bedeutung oder verkehren sich sogar ins Gegenteil.

Für IT-Verantwortliche in den Unternehmen gibt es verschiedene Anlässe, sich dem Thema eines Wechsels vom eigenen Rechenzentrum in die Cloud anzunehmen. Die Migration kann sich aus der allgemeinen IT-Strategie der Organisation ergeben: An vielen Stellen fallen strategische Entscheidungen für „Cloud first“ oder gar „Cloud only“ als Leitplanke für die zukünftige IT-Landschaft.

Anlass ist oft auch der Wechsel auf ein neues Releases, mit denen ein Auslaufen der Unterstützung älterer Versionen einhergeht. Da das Aufspielen von Updates On Premise zeitaufwendig und kostspielig ist, tritt bei einigen Unternehmen das Risiko ein, mit veralteter Software und unsicheren Applikationsumgebungen zu agieren.

3 Vorteile eines cloudbasierten GIS-Service

Die folgende Abschnitte zeigen die wichtigsten Vorteile, die bei der Nutzung von Cloud-basierten GIS-Services entstehen.



Abbildung 1: Vorteile von Cloud-basierten GIS-Service

3.1 Wirtschaftlichkeit

GIS-Plattformen beinhalten oftmals Komponenten, die nur sporadisch genutzt werden. Dazu gehören Staging-Umgebungen sowie Reporting- oder ETL-Datenmanagement-Anwendungen. In der Cloud fallen für diese Komponenten nur dann Kosten an, wenn diese auch tatsächlich genutzt werden. Somit können die Kosten für nur zeitlich begrenzt genutzte Bestandteile der GIS-Plattform signifikant gesenkt werden:

- Staging-Umgebungen (z.B. E-Q-I) werden nur dann aktiviert, wenn Softwaretests anstehen.
- Umgebungen für zeitgesteuerte ETL-Prozesse (Extract, Transform, Load), z.B. für Geobasisdaten oder Ausleitungen, werden nur dann aktiv, wenn die Prozesse tatsächlich laufen.
- Reporting-Umgebungen werden gezielt für den Zeitraum bereitgestellt in denen sie benötigt werden (z.B. jährliches BNetzA-Reporting).
- Editor-Arbeitsplätze brauchen nur im Rahmen der üblichen Wochenarbeitszeiten zur Verfügung stehen.

3.2 Skalierbarkeit:

Das volatile Nutzungsverhalten – z.B. bei öffentlichen GIS-Auskunftslösung zum Thema „Hochwassergefährdung“ – sorgt dafür, dass für hohe Lasten ausgelegte GIS-Plattformen einen Großteil der Zeit funktionslos sind, aber dennoch erhebliche IT-Kosten verursachen. Sind die IT-Kapazitäten hingegen zu knapp bemessen, führen stark steigende Zugriffszahlen zu langen Reaktionszeiten oder gar zu Systemzusammenbrüchen.



Abbildung 2: Lastgesteuerte Kapazitätsanpassung in der Cloud

Cloud-Ressourcen hingegen können kurzfristig und in beliebigem Volumen und Ausprägungen „per Klick“ oder gar automatisch hinzugefügt und entfernt werden. Somit passt sich die Infrastruktur immer der Lastsituation an und die IT-Ressourcen werden wirtschaftlich optimal genutzt.

3.3 Nachhaltigkeit – der CO2-Footprint

Hyperscaler als Anbieter von IT-Ressourcen auf Basis des Cloud-Computings tätigen derzeit hohe Investitionen in erneuerbare Energien, um den Energieverbrauch durch die Cloud abzudecken. Allein der Umstieg von herkömmlichen Rechenzentren auf Clouddienste steigert die Effizienz enorm. Aktuell erhalten die Kunden genaue Daten zum CO2-Fußabdruck ihrer Cloud-Workloads über entsprechende Auskunftslösungen der Hyperscaler.

3.4 Sicherheit:

Informationen über kritische Infrastruktur wie die genaue Lage von Versorgungsleitungen in einem Utility GIS, verlangen einen besonderen Schutz. Entsprechend vorsichtig zeigte sich die Energiewirtschaft bei der Nutzung von Cloud-Services. Lange hielt sich der Glaube, Daten wären On Premise sicherer aufgehoben als in der Cloud. Inzwischen reift die Erkenntnis, dass die Cloud ein höheres Sicherheitsniveau gewährleisten kann, sodass sich die alte Frage unter veränderten Vorzeichen stellt: Erfinden wir unser Rechenzentrum neu oder vertrauen wir uns einem Hyperscaler an?

Ein Beispiel: On Premise Umgebungen sind lediglich nach außen vor Cyberangriffen geschützt. Dringt jemand in das System ein, muss er keine weiteren nennenswerten Schutzmechanismen überwinden und es droht eine ungehinderte Ausbreitung des Angriffs. Nach dem Umzug in die Cloud sind Umgebungen auch nach innen getrennt und es wirken zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen. Diese Barrieren innerhalb des Systems agieren wie Brandschutztüren in einem Gebäude: Sie sorgen für eine Minimierung des schädlichen Zugriffs durch eine Begrenzung auf einzelne Bereiche. Durch zusätzliche Event- und Auditierungssysteme, sowie spezialisierte Security-Services auf Basis von Machine-Learning-Strukturen können Sicherheitsvorfälle meist vermieden, mindestens aber erkannt und entsprechend (automatisiert) beseitigt werden. Gerade in Zeiten ständig wachsender Sicherheitsanforderungen liefern Cloud-Umgebungen so bereits heute in der Regel ein höheres Sicherheits- und Schutzniveau als vorhandene On Premise-Installationen im Unternehmen.

3.5 Geschwindigkeit

Durch die Nutzung hunderter fertiger Plattformdienste, die heute bei einem Hyperscaler verfügbar sind, können auch GIS-Applikationen deutlich schneller implementiert werden. Wo On Premise bei der Implementierung und späteren Anpassung Detailpläne und lange Lastenhefte dominieren, die wenig Raum für Abweichungen lassen, herrscht in der Cloud-Welt eine iterative „Einfach-Machen“-Mentalität. Im Rahmen eines intelligenten Testmanagements zeigt der schnelle, durch GIS-Anwender begleitete Proof of Concept für verschiedene Use Cases deutlich bessere Ergebnisse, weil er kaum Kosten verursacht und von Anfang an nahe an der Praxis angesiedelt ist.

3.6 Stabilität

Cloud-Umgebungen zeichnen sich durch einen hohen Automationsgrad aus. Der Betrieb wird 360-Grad-überwacht, Cloudsysteme haben selbstheilende Eigenschaften. Als selbstheilendes System wird für gewöhnlich eine IT-Infrastruktur bezeichnet, die eine Fehlfunktion innerhalb ihres eigenen Betriebs erkennen und dann jeden Fehler ohne Eingriff von außen beheben kann. "Reparieren" bedeutet in diesem Fall insbesondere, einen problematischen Teil der GIS-Plattform vollständig zu ersetzen. Mit der richtigen Kombination von etablierten Automatisierungs- und Überwachungstools entsteht also eine selbstheilende IT-Infrastruktur, deren Hochverfügbarkeit und Stabilität im Wesentlichen ohne manuelle Eingriffe gewährleistet werden kann.

4 Der POC GIS2Cloud – Ein Weg voller Chancen

Die Migration von On-Premise-Umgebungen in die Cloud gelingt oft schneller als gedacht, Zeitspannen von drei bis sechs Monaten sind die Regel. Für die Migration ist ein leichtgewichtiger Proof of Concept (POC) „GIS2Cloud“ empfehlenswert. Beim POC als technischen Durchstich wird ermittelt, welchen Reifegrad die GIS-Plattform im Rahmen der Migration in die Cloud erreichen kann.

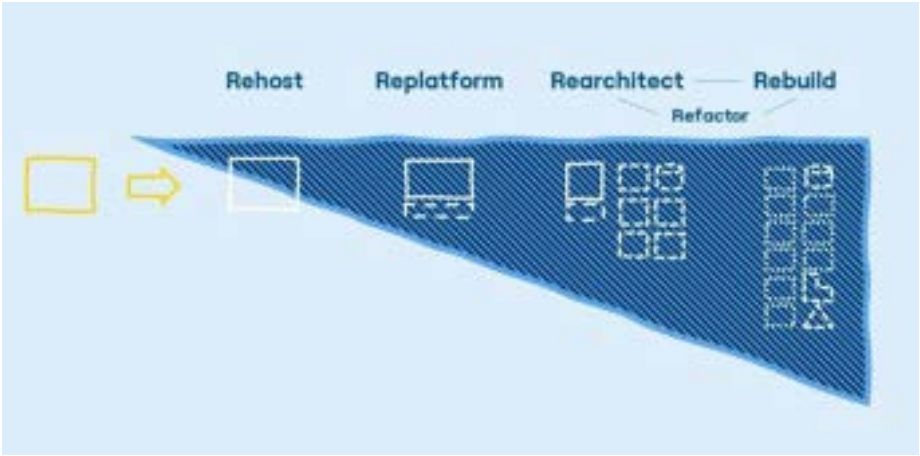


Abbildung 3: Reifegrade bei der Migration in die Cloud

Dabei nimmt die Anzahl der Vorteile, die durch die Cloud-Nutzung in den Reifegraden Rehost-Replatform-Rearchitect und Rebuild entstehen, stetig zu. Auf dieser Skala kommen die Vorteile einer Cloud-basierten GIS-Plattform insbesondere zum Tragen, wenn sich im POC herausstellt, dass sich Cloud-Services wie z.B. eine Managed DB oder ein Virtual Desktop für die zu migrierende GIS-Applikation eignen.

Je mehr Cloud-Services genutzt werden können desto mehr nähert sich die Migration von einem reinen „Rehosting“ einem „Replatforming“. Sollen die Reifegrade „Rearchitect“ oder eines „Rebuild“ erreicht werden kann dies nur mit GIS-Plattformen gelingen, die für einen Betrieb in der Cloud vorbereitet sind oder idealerweise mit Blick auf den Betrieb in der Cloud entwickelt wurden (Refactor).

Im Rahmen eines POC GIS2Cloud wird auch die grundlegende Skalierung der Cloud-Plattform ermittelt. Dabei können Best-Practice-Ansätze genutzt werden, um das für eine GIS-Plattform wirtschaftlichste Service-Design festzulegen. Davon ausgehend zeigen Performance-Tests, wie die Cloud-basierte GIS-Plattform auf sich ändernde Lastszenarien reagiert.

5 GIS@Cloud – die selbstheilende IT-Infrastruktur

Ist die GIS-Plattform einmal in der Cloud, können die vielfältigen Mechanismen einer selbstheilenden IT-Infrastruktur helfen, die Ausfallsicherheit und Stabilität der Plattform deutlich zu erhöhen. Dazu trägt ein hoher Automationsgrad bei der Verhinderung von Störungen und Ausfällen, bei der Erkennung von Sicherheitsvorfällen und insbesondere bei der automatischen Skalierung der Infrastruktur bei.



Abbildung 4: Komponenten einer selbstheilenden IT-Infrastruktur

Neben der weitgehend automatisierten Beseitigung von Störungen werden auch alle anderen Aufgabenpakete im „GIS@Cloud“-Umfeld wie z.B. das Patch- und Change-Management optimal unterstützt und laufen teilautomatisiert ab. Insgesamt lassen sich so die Aufwände für den IT-Betrieb von GIS-Plattformen in der Cloud immer weiter senken. Dies gilt aber natürlich mit Einschränkungen, sofern die Migration auf die Reifegrade Rehost oder Replatform hinausläuft.

6 Fazit

Mit der Migration in die Cloud können Betreiber von GIS-Plattformen mindestens sechs Vorteile nutzen:

(1) *Wirtschaftlichkeit*: Es wird nur das bezahlt, was auch genutzt wird.

(2) *Skalierbarkeit*: Lastgesteuerte automatische Anpassung der Kapazität der IT-Infrastruktur.

(3) *Stabilität*: Reduktion der Incidents um 50 % bis 90 %, und die noch verbliebenen lassen sich sofort beheben.

(4) *Sicherheit*: Nutzung der weltweit sichersten Rechenzentren und umfangreichsten Verfügbarkeitstechnologien.

(5) *Time to Market*: Mit GIS-Anwendungen schneller in den produktiven Einsatz durch die Nutzung hunderter fertiger Plattformdienste.

(6) *CO_2-Fußabdruck*: Hyperscaler sind insgesamt nachhaltiger und energieeffizienter als klassische Rechenzentren.

Je nach Reifegrad der Migration können somit GIS-Plattformen die Mehrwerte bei den beiden Vorhaben „GIS2Cloud“ und GIS@Cloud“ heben.

Autor:

Dr.-Ing. Martin Scheu
BTC Business Technology
Consulting AG
Escherweg 5
26121 Oldenburg
Tel.: 0441-3612-0
E-Mail:
info@btc-ag.com
Internet:
www.btc-ag.com



Geodatenanalyse zur Abschätzung der Wärmenetzeignung im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung

Von Marvin Schnabel, Sascha Koch

1 Einleitung

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität 2045 spielt die Transformation der Wärmeversorgung und somit die Wärmewende eine zentrale Rolle. Derzeit wird die Hälfte der Endenergie in Deutschland zur Bereitstellung von Wärme genutzt. Zudem werden in Deutschland derzeit etwa die Hälfte der Haushalte durch Erdgas und ein Viertel durch Heizöl mit Wärme versorgt [1]. Aufgrund der derzeitigen Versorgungsstruktur besteht ein hohes Dekarbonisierungspotential in der Wärmeversorgung. Um die Wärmeversorgung zukünftig klimaneutral zu gestalten und unabhängig von fossilen Brennstoffen zu werden, besteht ein hoher Koordinationsbedarf [1]. Wie zuvor beschrieben werden viele Haushalte derzeit durch die Gasnetzinfrastruktur mit Erdgas versorgt. Diese könnte in der Zukunft die Versorgung mit Wasserstoff und Syntheseprodukten sicherstellen. Trotzdem wird die Versorgung von Haushalten und dem Gewerbe-Handel-Dienstleistungssektor durch Wasserstoff nur im begrenzten Maß und Syntheseprodukte eine Rolle spielen [13]. Daher müssen auch andere Technologien betrachtet werden, die unabhängig von Gasnetzinfrastruktur sind. Darunter fallen Wärmepumpen, die mit Umweltwärme arbeiten, Solarthermie, Geothermie oder die Nutzung von Biomasse. Zudem kann unvermeidbare Abwärme aus industriellen Prozessen eine Rolle spielen. Gerade in dicht besiedelten Gebieten können durch Wärmenetze hohe Anteile in die Wärmeversorgung eingebunden werden [4]. Die kommunale Wärmeplanung ist ein strategisches-planerisches Instrument, das den Koordinationsproblemen der Wärmewende begegnen soll [11].
In diesem Beitrag sollen zunächst die rechtlichen Rahmenbedingungen der kommunalen Wärmeplanung erläutert werden. Anschließend wird der Begriff der geodatenbasierten Wärmeleitplanung, die die kommunale Wärmeplanung unterstützen kann, eingeführt. Danach wird beispielhaft die Geodatenanalyse zur geodatenbasierten Abschätzung der Wärmeliniendichte innerhalb der geodatenbasierte Wärmeleiplanung am Beispiel von Oldenburg beschrieben und die Ergebnisse visualisiert. Dies hat das Ziel aufzuzeigen wie Geodatenanalysen die kommunale Wärmeplanung unterstützen können.

2 Kommunale Wärmeplanung

Die kommunale Wärmeplanung kann als strategischer Prozess mit dem Ziel einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis zum Jahr 2045 aufgefasst werden [6]. Durch die kommunale Wärmeplanung sollen Kommunen gesellschaftlich und wirtschaftlich tragfähige Transformationspfade zur treibhausgasneutralen Wärmeversorgung erhalten [11]. Innerhalb der kommunalen Wärmeplanung müssen die örtlichen Rahmenbedingungen erfasst werden, um lokal angepasste Gesamtkonzepte entwickelt werden können [5]. Zudem betrifft die kommunale Wärmeplanung ver-

schiedene Akteure. Neben Kommunen sind das Energieversorger, Netzbetreiber, Wohnungsunternehmen und Privateigentümer_innen von Gebäuden. Dies macht die kommunale Wärmeplanung zum Multiakteurs-Prozess [11].
In Baden-Württemberg ist die kommunale Wärmeplanung für Stadtkreise und große Kreisstädte verpflichtend [§ 7d Absatz 1 KSG BW]. Das Land Schleswig-Holstein hat durch die Anpassung des Gesetzes zur Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein (EWKG) die Aufstellung von Wärme- und Kälteplänen für Mittel- und Oberzentren verpflichtend gemacht [§ 7 Absatz 2 EWKG]. Auch in Niedersachsen wird die kommunale Wärmeplanung zukünftig gesetzlich unterstützt. Mit den Änderungen des Niedersächsischen Gesetzes zur Förderung des Klimaschutzes und zur Minderung der Folgen des Klimawandels (Niedersächsisches Klimagesetz - NKlimaG) wird die Aufstellung eines Wärmeplans für Mittel und Oberzentren in Niedersachsen verpflichtend. Der Wärmeplan muss bis zum 31.12.2026 fertiggestellt werden und spätestens alle fünf Jahr aktualisiert werden. Dabei sollen drei Vorbereitungsschritte innerhalb der Erstellung des Wärmeplans durchlaufen werden. Zunächst soll eine Bestandsanalyse durchgeführt werden. Hierbei sollen Wärmebedarfe, Verbräuche sowie die Treibhausgasemissionen, die damit verbunden sind, erhoben und dargestellt werden. Des Weiteren sollen Gebäudetypen, Baujahresklassen und die vorhandene Wärmeversorgungsstruktur dargestellt werden. Im Anschluss sollen durch eine Potentialanalyse Potentiale zur Senkung des Wärmebedarfs und zur Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme erhoben werden. In einem dritten Schritt soll berechnet werden wie sich die Wärme und die Versorgungsstruktur entwickeln müssen, dass bis 2040 eine klimaneutrale Wärmeversorgung vorliegt. Aufbauend auf dieser Grundlage soll eine konkrete Handlungsstrategie und Maßnahmen abgeleitet werden [Nds. GVBl. Nr. 21/2022 S. 391].

Auch auf der Bundesebene gibt es Bestrebungen die kommunale Wärmeplanung als flächendeckendes Planungsinstrument zu etablieren. In einem Diskussionspapier vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) wird beschrieben, dass ein Gesetz zur bundesweiten Regelung der kommunalen Wärmeplanung bis zum Ende des dritten Quartals 2023 inkrafttreten soll [1]. Im April 2022 hat der Bund bereits das Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) eröffnet. Dies soll als bundesweite Anlaufstelle für Kommunen zum Thema Kommunale Wärmewende fungieren [1].

3 Geodatenbasierte Wärmeleitplanung

Der Prozess der Wärmeleitplanung befasst sich mit der Planung des Einsatzes von verschiedenen Wärmeversorgungstechnologien [8]. Eine Herausforderung ist dabei, dass Wärme nicht beliebig weit transportiert werden kann, daher sind Wärmeversorgungslösungen zu suchen, die auf lokaler Ebene funktionieren [11]. Dafür müssen Wärmebedarfe und Potentiale räumlich verortet werden. Geodatenbasierte Planungsinstrumente können durch den inhärenten Raumbezug in der Wärmeleitplanung diese unterstützen [9]. Wird die Wärmeleitplanung durch geodatenbasierte Planungsinstrumente unterstützt, kann von einer geodatenbasierten Wärmeleitplanung gesprochen werden. Der Ablauf des Prozesses der geodatenbasierten Wärmeleitplanung ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Prozess der geodatenbasierten Wärmeleitplanung startet mit einer Bestandsanalyse. In dieser wird der Ist-Zustand der Wärmeversorgung ermittelt. Dies umfasst die Ermittlung von Energiebedarfen sowie die derzeitige Versorgungsstruktur. Die Versorgungs-

stur besteht aus der Anlagenstruktur, die zur Erzeugung von Wärme verwendet wird, beispielhaft zu nennen sind die Heizungssysteme in Wohngebäuden. Zur Versorgungstruktur gehören aber auch Informationen zur Infrastruktur wie das vorhandene Gasnetz oder bestehenden Wärmenetze. Innerhalb der Bestandanalyse können Geoinformationssysteme verwendet werden, um Bedarfe sowie die vorhandene Infrastruktur räumlich zu verorten. Darauf folgt eine Potentialanalyse, in der Potentiale zur Bedarfsreduktion, Potentiale zur Nutzung von erneuerbaren Energien wie z. B. Solarthermie oder Geothermie sowie zur Nutzung von Abwärme ermittelt und verortet werden. Nachdem die Bedarfe und Potentiale ermittelt worden sind, werden Szenarien entwickelt, die die zukünftigen Rahmenbedingungen beschreiben. Aus den gewonnenen Informationen wird dann eine Transformationsstrategie entwickelt. Diese beschreibt das Zielkonzept sowie konkrete Maßnahmen mit Zeitplan für die Umsetzung der Transformationsstrategie. Danach folgt die Umsetzung der Maßnahmen. Dabei wird der Fortschritt innerhalb der Wärmeleitplanung dokumentiert und überwacht. Zudem wird geprüft, ob die Transformationsstrategie angepasst werden muss. Dies kann erfolgen, wenn Maßnahmen nicht die gewünschte Wirkung bringen oder sich die Rahmenbedingen ändern. Da der Prozess der geodatenbasierten Wärmeleitplanung ein langangelegter Prozess ist, können sich rechtliche oder technische Rahmenbedingungen ändern.

Die geodatenbasierte Wärmeleitplanung kann genutzt werden, um die kommunale Wärmewende umzusetzen. Dabei müssen während des gesamten Prozesses die verschiedenen Akteure eingebunden werden. Dazu zählen neben Kommunen, denen eine koordinierende Rolle zukommt, Energieversorger, Netzbetreiber aber auch Bürger_innen [11].



Abbildung 1: Schematische Darstellung des Ablaufs der Wärmeleitplanung [12]

4 Geodatenbasierte Abschätzung der Wärmenetzeignung

Innerhalb der Wärmeleitplanung müssen Vorzugsgebiete für verschiedene Versorgungstechnologien identifiziert werden. Eine mögliche Versorgungstechnologie ist die dezentrale Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz. Ein Wärmenetz versorgt in der Regel mehrere Gebäude. Im Folgendem soll beschrieben werden wie die Wärmenetzeignung geodatenbasiert abgeschätzt werden kann. Ein wichtiges Bewertungskriterium für die Eignung von Versorgungstechnologien ist die Wärmeliniendichte [7]. Die Wärmeliniendichte ist der Quotient aus der abgesetzten Wärmemenge innerhalb eines Jahres und der Trassenlänge des Wärmenetzes [14]. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht muss die Wärmeliniendichte möglichst hoch sein, weil mit steigender Netzlänge die Wärmeverluste und Investitionskosten steigen [14]. Die Abbildung 2 zeigt schematisch den Arbeitsablauf zur Abschätzung der Wärmeliniendichte. Die Datengrundlage umfasst u. a. gebäudescharfe Daten zum Wärmedarf.

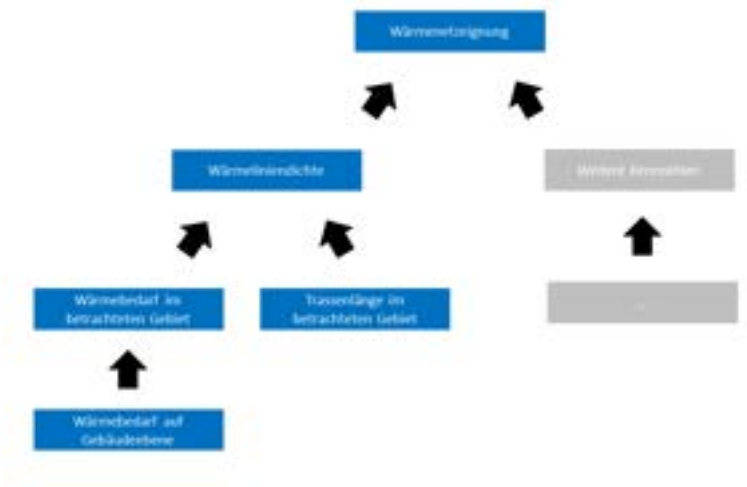


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Ermittlung der Wärmenetzeignung (eigene Darstellung)

4.1 Räumliche Bezugsebenen

Da Wärmenetze mehrere Gebäude versorgen, müssen bei der Bewertung der Eignung einer Verwendung eines Wärmenetzes mehrere Gebäude gemeinsam betrachtet werden. Daher wird eine übergeordnete Betrachtungsebene benötigt. Als übergeordnete Ebene können beispielsweise Rasterebenen verwendet werden [10]. In diesem Beitrag wird als übergeordnete Betrachtungsebene eine Rasterebene verwendet. Dazu wird ein Raster mit einer Kantenlänge von 250 m über das Betrachtungsgebiet gelegt. Die Wärmeliniendichte wird dann für die Rasterzellen abgeschätzt.

4.2 Wärmebedarfe auf den räumlichen Bezugsebenen

Als Datengrundlage liegen gebäudescharfe Wärmebedarfsdaten vor. Diese stammen vom Datendienstleister DBI GUT GmbH. Bedarfsdaten stellen nicht die tatsächlichen Verbrauchsdaten dar, sondern sind modellierte Daten. Diese Daten liegen auf der Gebäudeebene vor. Für die Betrachtung auf der Rasterebene werden die Wärmebedarfe der Gebäude innerhalb einer Rasterzelle aggregiert. Somit wird für jede Rasterzelle ein Gesamtwärmebedarf errechnet.

4.3 Antizipation eines möglichen Trassenverlaufs

Zur Bewertung der Wärmenetzeignung ist es notwendig einen möglichen Trassenverlauf für ein Wärmenetz zu antizipieren. Wärmenetze werden meistens entlang von bestehenden Straßen und Wegen verlegt. Von dem Netz zweigen dann die Hausanschlüsse ab [3]. Daher werden für die Antizipation des Trassenverlaufs Straßendaten von OpenStreetMap (OSM) verwendet. Zunächst werden ungeeignete Straßen entfernt. Darunter fallen Autobahnen, Bundes-, Landes und Kreisstraßen. Aus diesen Straßen wird der Trassenverlauf ermittelt und von diesem wird durch Kombination mit den Informationen zu den Gebäudestandorten der kürzeste Weg zwischen dem Trassenverlauf und Gebäuden ermittelt, um den Verlauf der Hausanschlüsse zu antizipieren [2]. Daraus folgt ein erstes Zwischenergebnis, das beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt wird. Der Trassenverlauf des Wärmenetzes ist in rot dargestellt. Der vorläufige Verlauf der Hausanschlüsse ist in blau dargestellt.



Abbildung 3: Darstellung des antizipierten Trassenverlaufs ohne Optimierung des Verlaufs [2]

Es ist zu erkennen, dass im Bereich der Hausanschlüsse unplausible Ergebnisse gibt. So entstehen Leitungsverläufe, die sehr nah beieinanderliegen.
Um das Ergebnis zu optimieren, werden weitere Analyseschritte durchgeführt. Dazu werden um die erzeugten Linien Puffer gelegt. Die Puffer, die Schnittflächen mit anderen Puffern aufweisen, werden zusammengeführt. Als neuer Leistungsverlauf wird die Mittellinie des entstehenden Polygons ermittelt [2]. Dadurch entsteht ein optimierter Trassenverlauf (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Darstellung des Trassenverlaufs nach der Optimierung [2]

4.4 Berechnung und Visualisierung der Wärmeliniendichte

Zur Ermittlung der Wärmeliniendichte wird für jede Rasterzelle der Quotient aus dem Gesamtwärmebedarf aller Gebäude in der Rasterzelle und der gesamten Trassenlänge innerhalb der Rasterzelle, die durch die Antizipation des Trassenverlaufs (vgl. Kapitel 4.1.2) ermittelt werden kann, gebildet.

Die Wärmeliniendichte ist beispielhaft für das Stadtgebiet Oldenburg visualisiert (siehe Abbildung 5). Zu erkennen ist die übergeordnete Rasterebene. Die Rasterzellen werden anhand der Wärmeliniendichte eingefärbt. Dabei steht die eine rote Einfärbung für eine hohe Wärmeliniendichte und eine gelbe Einfärbung für eine niedrige Wärmeliniendichte.

Es werden verschiedene Bereiche deutlich mit einer sehr hohen Wärmeliniendichte. Beispielhaft zu nennen ist ein Bereich im Süden von Oldenburg. Dieser ist in Abbildung 5 durch einen schwarzen Kreis markiert. Der Bereich liegt im Stadtteil Kreyenbrück.

In einem weiteren Schritt kann dieser Bereich genauer betrachtet werden. In Abbildung 6 sind die betreffenden Rasterzellen dargestellt. In diesem Bereich befinden sich verschiedene Gebäude mit einem hohen Wärmebedarf. Darunter fallen ein Klinikum, ein Rehazentrum, eine Grundschule sowie zwei Supermärkte. Zudem befinden sich in diesem einige Mehrfamilienhäuser. Durch diese Gebäude mit hohen Wärmebedarfen sorgen für eine hohe Wärmeliniendichte. Die hohe Wärmeliniendichte deutet darauf hin, dass sich dieser Bereich für die Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz eignet, da durch die hohe Wärmeliniendichte ein wirtschaftlicher Betrieb eines potentiellen Wärmenetzes wahrscheinlich ist. Zur weiteren Bewertung müssen dann weitere Kriterien genutzt werden. Da durch die Wärmeliniendichte keine Aussagen über technische Umsetzbarkeit sowie die Eignung der Gebäude im Betrachtungsgebiet für die Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz getroffen werden kann.

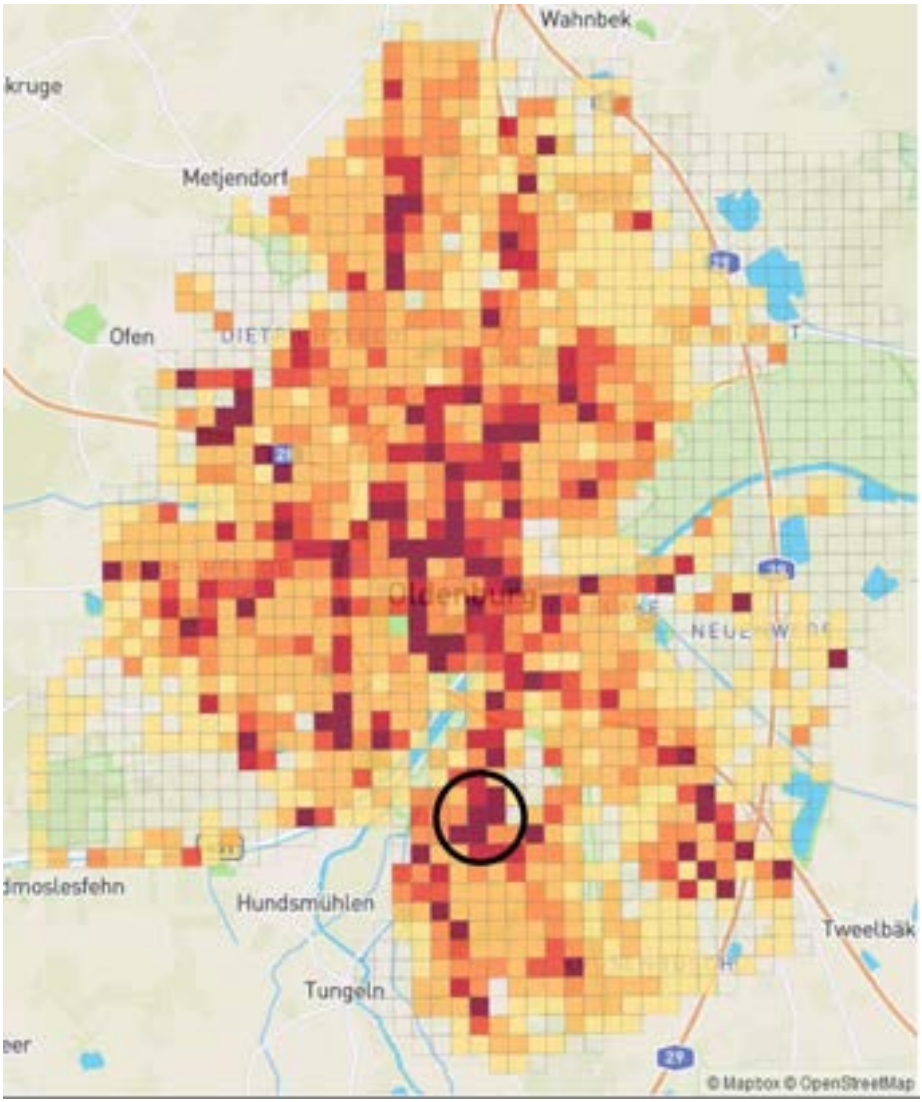


Abbildung 5: Darstellung der Wärmeliniendichte auf einem Raster mit einer Kantenlänge 250 m für Betrachtungsgebiet Oldenburg (eigene Darstellung; Hintergrundkarte: © Mapbox, © OpenStreetMap, © GeoBasis-DE / BKG (2022))

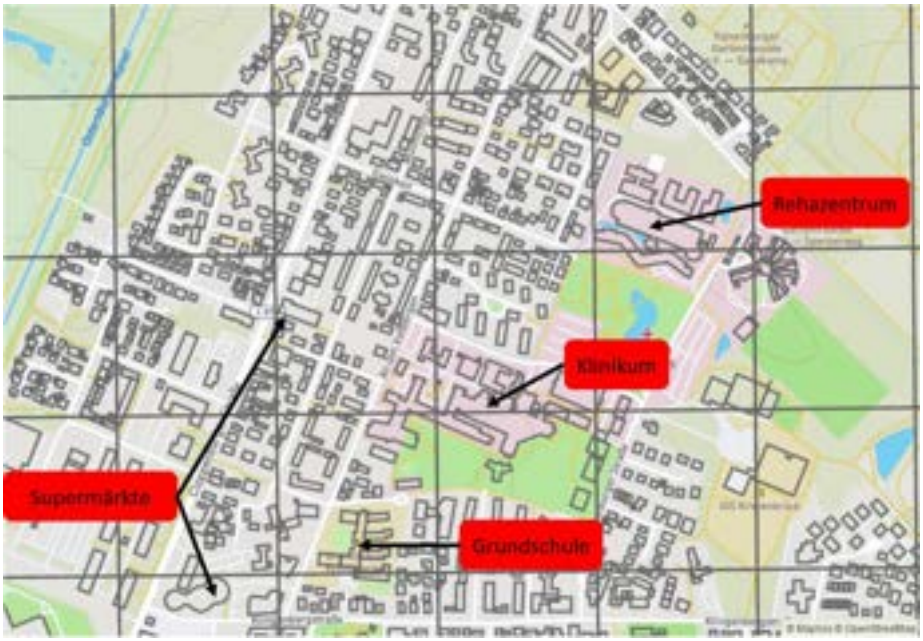


Abbildung 6: Detailansicht des potentiellen Eignungsgebietes für ein Wärmenetz (eigene Darstellung; Hintergrundkarte: © Mapbox, © OpenStreetMap, © GeoBasis-DE / BKG (2022))

5 Fazit und Ausblick

Geoinformationssysteme können die kommunale Wärmeplanung unterstützen, indem durch geodatenbasierte Analysen eine erste Abschätzung für Vorzugsgebiete für Wärmenetze getroffen wird. Eine erste Identifikation für Eignungsgebiete kann durch eine abgeschätzte Wärmelinien erfolgen. Diese Abschätzung kann durch Geoanalysen erfolgen.

Nach der ersten Identifikation durch eine Kennzahl auf der Rasterebene wird deutlich, dass zur weiteren Beurteilung mehr Kriterien benötigt werden. Dabei können die vorhanden Anlagestruktur sowie die Versorgungsinfrastruktur eine Rolle spielen.

Zudem können weitere Betrachtungsebenen herangezogen werden. Dabei können verschiedene Rastergrößen verwendet werden oder alternative Einteilungsmöglichkeiten herangezogen werden. Ein Nachteil, den Rasterebenen haben, ist, dass die Rastereinteilung strukturiert aber auf das Betrachtungsgebiet bezogen willkürlich ist [10]. So könnte eine sinnvolle Einteilung des Betrachtungsgebiets anhand der vorhandenen Infrastruktur in Form des Stromverteilnetzes erfolgen. Die Betrachtung anhand des Stromnetzes hat den Vorteil, dass in das Stromnetz nahezu jedes Gebäude eingebunden ist. Zudem ist davon auszugehen, dass das Stromverteilnetz auch in der Zukunft vorhanden sein wird. Außerdem können ggf. Rückschlüsse auf notwendige Anpassungen auf das Stromverteilnetz gezogen werden, wenn die Wärmeversorgung zukünftig in

bestimmten Bereichen durch Wärmepumpen elektrifiziert wird. Eine weitere denkbare Möglichkeit ist die Orientierung an planerischen Instrumenten wie Bebauungsplänen.

Danksagung

Die präsentierten Inhalte sind im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SBE111 geförderten Projekts „ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg“ entstanden.

Quellen

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen: 29.11.2022)

[2] Erdmann, S.; Belkot, T.; Friebe, F.; Gravenhorst, T.; Koch, S. (2021): GIS-Analysen für eine kleinräumige multikriterielle Wärmeleitplanung. In: AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 7-2021, S. 228-238

[3] Esch, T.; Taubenböck, H.; Geiß, C.; Schilling, C.; Nast, M.; Metz, A.; Heldens, W.; Keil, M. (2011): Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale. URL: https://elib.dlr.de/76816/1/Waermenetzpotenzial_DLR_Endbericht_final.pdf (zuletzt abgerufen: 29.11.2022)

[4] Kienzel, V.; Böhnich, H.; Bieber, H.; Bürger, V.; Nast, M.; Pehnt, M.; Schmidt, M.; Leprich, U.; Schulz, W. (2014): Bedeutung von Wärmenetzen für die Energiewende. URL: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Bedeutung_von_W%C3%A4rmenetzen_PP.pdf (zuletzt abgerufen: 29.11.2022)

[5] Kienzler, V.; Peters, M. (2022): Kommunale Wärmeplanung als Beitrag zur systematischen Erschließung von Klimaschutz im Wärmemarkt. In: Sahling, U. (Hrsg.), Klimaschutz und Energiewende in Deutschland, Springer Spektrum Berlin, Heidelberg

[6] Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen (2022): Was ist kommunale Wärmeplanung?. URL: https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/zielgruppen/kommunen/kommunale-waermeplanung.php (zuletzt abgerufen: 29.11.2022)

[7] Knies, J. (2017). Räumliche Integration industrieller Abwärme in zukünftige Wärmeversorgungsoptionen. AGIT – Journal Für Angewandte Geoinformatik, 3-2017, 98–108. DIO: http://doi.org/10.14627/537633011

[8] Maier, M. (2016): Die kommunale Wärmeleitplanung Ein wichtiger Treiber der Wärmewende. In: RENEWS SPEZIAL, 11. Agentur für Erneuerbare Energien e.V., Berlin.

[9] Mauthner, F.; Leusbrock, I.; Heimrath, R.; Nageler, P.; Biberacher, M.; Schardinger, I. (2018): Räumliche Energieplanung in Städten und Kommunen. In: Transforming Cities, 1/ 2018. Trialog Publishers Verlagsgesellschaft, Baiersbronn, S. 44-48.

[10] Peters, M.; Steidle, T.; Böhnisch, H. (2020): Kommunale Wärmeplanung – Handlungsleitfaden, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.)
[11] Riechel, R.; Walter, J. (2022): Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung, Umweltbundesamt (Hrsg.)
[12] Schnabel, M.; Gravenhorst, T.; Belkot, T.; Friebe, F.; Erdmann, S.; Koch, S. (2022): Visual Data Discovery im Kontext der geodaten-basierten Wärmeleitplanung. gis.Science 2-2022
[13] Wietschel, M.; Zheng, L.; Arens, M.; Hebling, C.; Ranzmeyer, O.; Schaadt, A.; Hank, C.; Sternberg, A.; Herkel, S.; Kost, C.; Ragwitz, M.; Herrmann, U.; Pfluger, B. (2021): Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrats. Karlsruhe, Freiburg, Cottbus: Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG (Hrsg.).
[14] Wolff, D.; Jagnow, K. (2011): Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung, URL: https://www.freie-waerme.de/fileadmin/Freie-Waerme-DE/Downloads/Studie-Untersuchung-Nah-und-Fernwaerme.pdf (zuletzt abgerufen 24.11.2022)

Autoren:

M.Sc. Marvin Schnabel
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)
Jade Hochschule, Oldenburg

Tel.: 044177083284
E-Mail:
marvin.schnabel@jade-hs.de
Internet:
iapg.jade-hs.de



Prof. Dr. Sascha Koch
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)
Jade Hochschule, Oldenburg

Tel.: 044177083298
E-Mail:
sascha.koch@jade-hs.de
Internet:
iapg.jade-hs.de



GIS gestützte Optimierung von Planungs- und Bauprozessen durch die Nutzung von Straßenbefahrungsdaten als IT-Service

Von Aleksej Bojarkin

1 Über EWE NETZ

Die EWE NETZ betreibt hochmoderne und effiziente Netze, die zu den sichersten in Europa zählen. Hierzu gehören ein Stromnetz sowie ein Erdgasnetz im Ems-Weser-Elbe-Gebiet und zusätzlich Erdgasnetze in Brandenburg, Nordvorpommern und auf Rügen. Zugleich ist EWE NETZ auch Eigentümer dieser Netze. Zu unseren Aufgaben zählen die Betriebsführung, Instandhaltung und Ausbau der Netzinfrastruktur sowie der Netzvertrieb. Darüber hinaus betreibt die EWE NETZ Trinkwassernetze und ein weit verzweigtes Kommunikationsnetz zur Steuerung und Überwachung der Energienetze. Die Infrastruktur zeichnet sich durch hohe technische Qualität, Versorgungssicherheit und wirtschaftlich effizienten Betrieb auf.



Abbildung 1: Netzgebiete und Sparten der EWE NETZ

2 Nutzung von Straßenbefahrungsdaten

Die EWE NETZ hat sich entschieden, die Planung von Strom- und Gastrassen durch den Einsatz von digitalen Bilddaten zu unterstützen. Straßenbefahrungsdaten werden in der Fläche durch speziell ausgerüstete Fahrzeuge, die das Straßennetz im Netzgebiet der EWE NETZ systematisch befahren, mittels Sensorik erfasst. Diese Daten werden aufbereitet und für die Nutzung innerhalb der EWE NETZ als IT-Service bereitgestellt.

2.1 Auswahl eines Befahrungsdienstleisters

EWE NETZ hat im Jahr 2021 eine europaweite Ausschreibung durchgeführt, um einen Rahmenvertrag mit einem Befahrungsdienstleister zu schließen. Im Rahmen der Ausschreibung wurde der Anbieter Cyclomedia Deutschland GmbH [https://www.cyclomedia.com/de]

ausgewählt. Der Anbieter Cyclomedia erfasst und verarbeitet weltweit derzeit rund 600.000 km von 360°-Panoramafotos auf Straßenniveau sowie LiDAR-Daten jährlich. Cyclomedia beschäftigt rund 250 Mitarbeiter. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in den Niederlanden und Niederlassungen in den USA und in Deutschland.
Für die EWE NETZ war es besonders wichtig einen Anbieter zu finden, der in der Lage ist, organisatorisch wie auch logistisch ein großes Versorgungsgebiet in einer Kampagne mit möglichst vielen Fahrzeugen zu befahren. Dabei hat sich Cyclomedia als Marktführer durchgesetzt.

2.2 Piloterfassung Netzregion Cloppenburg / Emsland

EWE NETZ führte im Jahr 2021 eine Piloterfassung für das Gebiet der Netzregion Cloppenburg / Emsland durch. Die Aufnahmekampagne umfasste eine Streckenlänge von ca. 11.250 km. Als Ergebnis wurden unter Anderem hochauflösende und georeferenzierter 360°-Panoramabilder bereitgestellt. Die Daten aus der Piloterfassung wurden EWE NETZ aus der Cloud über eine Webanwendung inklusive weiterer Funktionalitäten bereitgestellt. Die Nutzer hatten so Zugriff auf die 360°-Panoramabilder, eine orthogonale Darstellung des Straßenraums, die Realflächenkartierungen und die LiDAR-Daten.

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Kontext der Piloterfassung hat EWE NETZ im Jahr 2021 eine Analyse der Planungs- und Bauprozesse durchgeführt, um die Frage zu klären, welcher qualitativer bzw. monetärer Nutzen durch den Einsatz von Befahrungsdaten entsteht. Im Rahmen dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fanden insgesamt 30 Arbeitsreffen statt, um mit den Prozessverantwortlichen die Potentiale der Nutzung von Befahrungsdaten zu evaluieren.
Weiterhin wurden rund 60 Zugänge auf die Web-Plattform eingerichtet, um eine Pilotnutzung der Befahrungsdaten in den Bereichen von Planung, Bau und Betrieb zu ermöglichen. Mit potenziellen weiteren Nutzern im Bereich des EWE Konzerns und der Kommunen wurden weitere Termine durchgeführt, um das Nutzungspotential abzuschätzen.
Bei der Untersuchung von 17 Kernprozessen aus der Prozesslandkarte der EWE NETZ zu den Aufgaben im Bereich Planung, Bau und Betrieb hat sich dabei das folgende Bild ergeben:

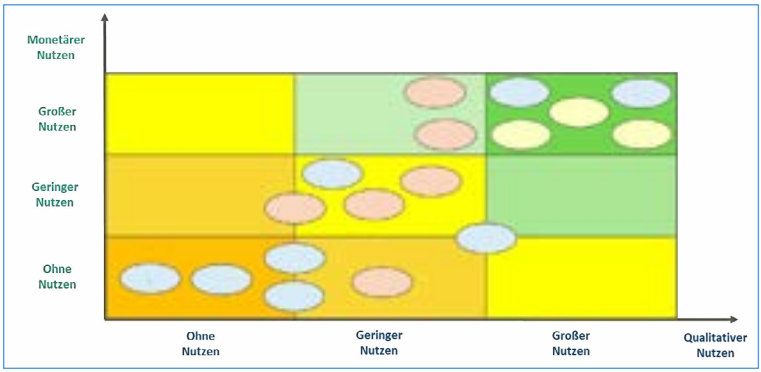


Abbildung 2: Monetärer und qualitativer Nutzen in Planungs-, Bau und Betriebsprozessen

Durch Interviews mit den Prozessverantwortlichen haben sich dabei die folgenden qualitativen und monetären Hauptnutzen der Befahrungsdaten ergeben:

1. Stärkung der Innovationsstrategie von EWE NETZ durch Digitalisierung und moderne IT-Verfahren.
2. Reduktion von Außenterminen im Planungs- und Bauprozess
3. Erhöhung der Flexibilität, u. A. durch die Option für regionsübergreifendes Arbeiten.
4. Erhöhung der Qualität und der Genauigkeit von Planungsergebnissen.
5. Vereinfachung bei der Qualitätssicherung für Ein- und Aufmaße, die durch Baudienstleister erfolgen.

Auf Basis der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat sich die EWE NETZ für die Fortsetzung der Befahrung im Netzgebiet Weser-Ems-Region entschieden.

2.4 Datenschutz

Die Befahrungen werden von Cyclomedia Deutschland GmbH gemäß den Anforderungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) durchführt. Auf den 360°-Panoramabildern werden Gesichter und Kennzeichen durch „Verpixelung“ unkenntlich gemacht. Die unkenntlich gemachten Bilder sind über eine geschlossene Cloudplattform zugänglich. Darüber hinaus hat Cyclomedia den Datenschutz-Kodex für Geodatendienste unterzeichnet. Der Kodex bietet eine zentrale Anlaufstelle für Nutzer von Geodatendiensten an, wo diese erfahren können, ob Ihr Wohnort erfasst wurde, ob neue Aufnahmefahrten geplant sind und welche Rechte sie haben. Über eine Suchfunktion können Nutzer feststellen, ob Bilder ihres Hauses oder ihrer Wohnung von einem oder mehreren Diensten der Unterzeichner des Kodex genutzt werden [https://geodatenkodex.de/verbraucher/adresssuche].

2.5 Laufende Erfassungsarbeiten

Im Juni 2022 startete EWE NETZ die Befahrung der Weser-Ems-Region mit einem Umfang von ca. 44.000 Straßenkilometer. Der Abschluss der Befahrung wird im Frühjahr 2023 erwartet. Die Befahrungsplanung erfolgt gebietsweise durch Cyclomedia und wird vor Beginn der Kampagne seitens EWE NETZ validiert. Aufgrund der günstigen Witterungsverhältnisse konnten die Arbeiten im Sommer 2022 schneller als geplant durchgeführt werden. Cyclomedia brachte dabei bis zu zehn Fahrzeuge gleichzeitig zum Einsatz. Vor der Befahrung werden die Kommunen und andere Stellen entsprechend über den Umfang und den Hintergrund der Maßnahme informiert.

3 Bereitstellung von IT-Services

Die Befahrungsdaten werden innerhalb der EWE NETZ durchgängig als GIS-Service genutzt. Dazu gehören die folgenden drei Ausprägungen.

3.1 360°-Panoramafotos

Cycloramas von Cyclomedia sind 360°-Panoramafotos mit sehr hoher Auflösung. Die digitalen Bilder zeigen eine zuverlässige und objektive digitale Ansicht auf den öffentlichen Raum auf Straßenniveau. Die hohe Qualität und Auflösung liefern Benutzern Klarheit, ermöglichen den Blick auf Details wie Beschriftungen auf Schildern oder andere Infrastrukturmerkmale und

zeigen die Position und den Zustand der tagessichtbaren Betriebsmittel einer Netzgesellschaft. Alle Bilddetails können bewertet und analysiert werden, ohne dass man die Örtlichkeit aufsuchen muss. Es ist auch möglich, zwei- und dreidimensionale Vermessungen in den Bildern durchzuführen.



Abbildung 3: Firmensitz der EWE NETZ im 360°-Panoramafoto

3.2 LiDAR-Punktwolke

LiDAR (Light Detection and Ranging) ist eine optische Erfassungstechnik, bei der Laserlicht für ein dichtes Abtasten von Objekten verwendet wird, um hochgenaue X-, Y- und Z-Messwerte zu ermitteln.

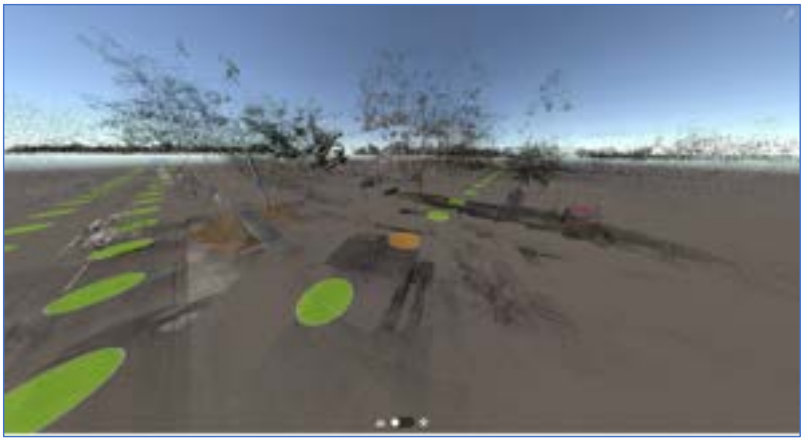


Abbildung 4: LiDAR-Daten zum Firmensitz der EWE NETZ

Die LiDAR-Punktwolke als Teilergebnis der Befahrungsdaten ist eine dreidimensionale Punktwolke mit hoher Dichte. LiDAR-Daten und 360°-Panoramafotos werden während einer Befahrung zeitgleich erfasst. In Kombination mit den Farben der 360°-Panoramafotos, die in der Punktwolke verarbeitet werden, kann der Nutzer die LiDAR-Punktwolke als eine fotorealistische dreidimensionale Informationsquelle nutzen.

3.3 Street Ortho

Aus den Befahrungsdaten werden im Nachgang Street Ortho als hochdetaillierte Bilder der Straße und ihrer direkten Umgebung prozessiert. Street Ortho zeigen die Umgebung, ohne dass Bäume, Brücken, Überführungen oder Fahrzeuge die Sicht auf die Straße behindern. Ein Street Ortho wird aus den LiDAR-Daten und den 360°-Panoramafoto generiert, die von den Fahrzeugen aus erfasst werden.

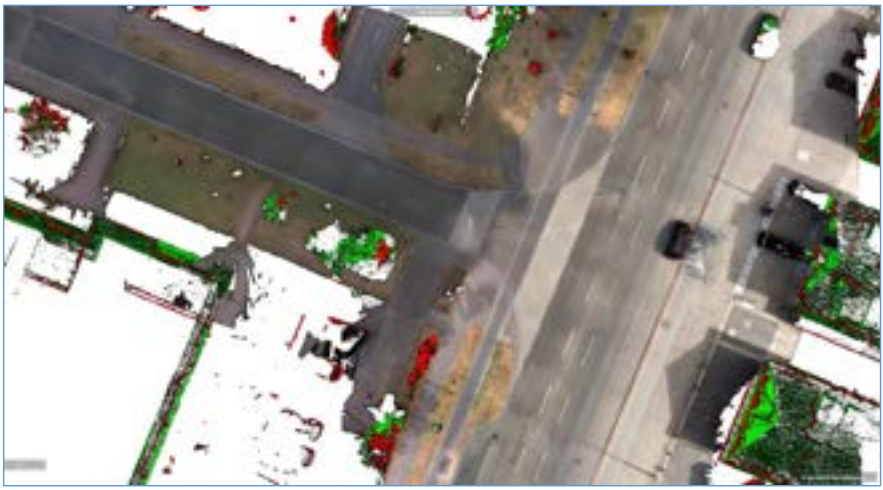


Abbildung 5: Street Ortho Firmensitz der EWE NETZ

EWE NETZ beabsichtigt, die Street Ortho gemeinsam mit den für Niedersachsen verfügbaren Geobasisdaten der Orthophotos in der Qualitätsstufe TrueDOP [https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#dop] zu nutzen. Die originäre Bodenauflösung, also die Größe eines Pixels der Aufnahme-Kamera am Boden beträgt standardmäßig 20 cm x 20 cm. Durch diese Kombination aus Orthophotos, überlagert mit den Street Ortho, entsteht eine für die EWE NETZ optimale flächendeckende Planungsgrundlage.

4 Ausblick

Bis zum Herbst 2022 wurden bereits 40.000 Kilometer im Netzgebiet Ems Weser Elbe befahren und bis Ende Q1 2023 steht das gesamte Straßennetz mit allen Informationen digital über einen Cloud Service zur Verfügung.
Dadurch, dass die Daten kontinuierlich nach der Erfassung des Straßennetzes prozessiert und zur Verfügung gestellt werden, kann die Lösung in der gesamten EWE NETZ in Wert zu setzen werden.
Um eine optimale Prozessintegration zu ermöglichen hat EWE NETZ die Befahrungsdaten in die bestehende Geo-IT-Plattform integriert. Zusätzlich können die Daten über die Cloudlösung StreetSmart genutzt werden.

Autor:

Aleksej Bojarkin
EWE NETZ GmbH
Cloppenburger Straße 302
26133 Oldenburg

Tel.: 0441 4808-0
E-Mail:
info@ewe-netz.de
Internet:
www.ewe-netz.de

4
Daten erfassen und auswerten

3D-Laserscanning in nicht begehbaren Kanälen

Referenzmessungen für die Unterwelt in Kombination mit Oberflächenscans durch autonom fliegende Laserscanner

Von Lüdeke Graßhoff

1 Abstract

Kein anderes Thema in der Vermessungstechnik hat sich in den letzten Jahren so dynamisch entwickelt wie der Bereich des Terrestrischen 3D-Laserscannings. Der Startschuß für das Laserscanning Verfahren fiel im Jahre 2000 (Cyrax 2500). Von koffergroßen Abmaßen und Gewichten von über 30 Kg ist man mittlerweile bei von Baugrößen von 150mm Höhe, 80mm Durchmesser und einem Gewicht von weniger als 900g (und das inklusive des Akkus) angekommen. Noch vor 5 Jahren waren hier Scannergewichte von knapp 20 kg völlig üblich.

Für unseren Bereich in der Kanalanwendungen können wir uns genau dies zu Nutze machen. Bereits ab einem Durchmesser von DN 500 (Ei 400x600) ist es nun endlich möglich mit den Scansystemen durch Abwasserkanäle zu fahren. Hierbei ist der limitierende Faktor mittlerweile nicht mehr die Baugröße der Scanner, sondern eher der naheliegende Messbereich, da die Scanner in der Regel mit 50cm als untere Messgrenze angegeben sind. Die Reichweiten der Scanner liegen in Normalfalle zwischen 50 und 150 Metern oder sogar darüber.

Auch große Bauwerke mit Durchmessern und Tiefen von über 50m sind somit problemlos zu erfassen. Die integrierten sehr hochauflösenden Fotokameras bilden die Umgebung ab und stellen uns als Anwender zusätzlich Kugelbilder zur Verfügung. Durch dieses Verfahren wird die Punktewolke zusätzlich in naturgetreuen Farben dargestellt, so dass mit den aktuellen Modellen tatsächlich eine Art „Virtual Reality“ erzeugt wird, durch die sich der Betrachter interaktiv mittels der freien Sichtprogramme bewegen kann.

2 Statisches Laserscanning

Beim Statischen Laserscanning wird, wie der Name schon besagt an einem statischen Punkt die Scanvermessung ausgeführt. Bei dem Scan (Dauer 1 bis 4 min) darf der Scanner nicht bewegt oder Erschütterungen ausgesetzt werden. Dann setzt man den Scanner zum nächsten Standpunkt um und löst den nächsten Scan aus. Der Abstand zwischen den Scanstandorten ist immer abhängig von der Umgebung. An der Oberfläche kann der Abstand mitunter über 10m liegen, in den Kanälen beträgt er in der Regel je nach Durchmesser und Materialbeschaffenheit zwischen 2m und 5m.

Diese einzelnen Setups aus den Scans werden dann bereits in Teilmenge auf ein Tablett übertragen und können dort registriert werden. Registrieren nennt man den Vorgang die einzelnen Punktewolken möglichst genau in Deckung zu bringen (in Lage und Neigung) und zu optimieren, so dass es nicht zu Verzerrungen bzw. zu Ungenauigkeiten kommt. Es lassen sich so durchaus Genauigkeiten von 2mm bis 3mm auf einer Strecke von 100m erreichen.

2.1 VIS – System – Visuelles Innertial System

Bis ca. 2019 musste für genau diesen Registriervorgang an den Messobjekten, also für uns im Kanal, Zielmarken (Schwarz-Weiß Targets) angebracht werden, um eine exakte Verknüpfung der Scans zu erreichen. Im Jahre 2019 hat die Firma Leica Geosystems das Visuelle Innertial System (VIS) entwickelt und auf den Markt gebracht. Das VIS verfügt über 5 eigene Kameras mit denen die Umgebung speziell bei der Bewegung des Scanners beobachtet wird und einzelne Fixpunkte festgehalten werden. Genau diese Punkte werden dann nach Erreichen des nächsten Scanstandpunktes wieder ermittelt und über Triangulation kann dann die genaue Position des Standpunktes berechnet werden. Genau gesagt wird sogar während der Bewegung über dieses Verfahren die Trajektorie errechnet und der visuelle SLAM (Simultanious Localization and Mapping) bestimmt.



Bild: Darstellung der verwendeten visuellen Fixpunkte (grün) bei Bewegung des Scanners RTC360

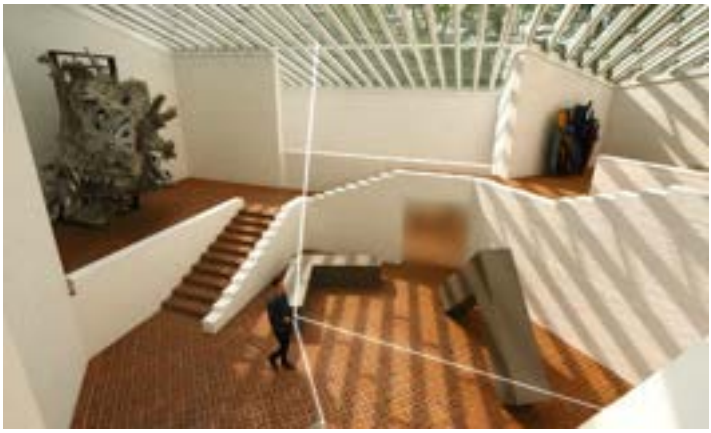


Bild: Visueller Slam am Beispiel des BLK2GO

2.2 Genauigkeiten IKT

Immer wieder stellt sich die Frage, welche Genauigkeiten mit dem 3D-Laserscanning verfahren erreicht werden? Dazu hat jüngst in der Ausgabe 11 der Korrespondenz Abwasser die Arbeitsgruppe der DWA ES-4.3 einen sehr interessanten Projektbericht veröffentlicht *(Messungen zur Quantifizierung bei der erweiterten Zustandserfassung von Entwässerungssystemen – Teil 1: Profilmaßbestimmung).*

Da nicht mal der Hersteller Leica Geosystems eine Angabe zu den Genauigkeiten im Kanal machen konnte oder wollte, haben wir eine Überprüfung der Messwerte eines 3D-Laserscansystems beim IKT in Gelsenkirchen in Auftrag gegeben. Mit Nummer P08358 ist der Prüfbericht veröffentlicht worden, der aber auch auf unserer Webseite (https://geodoc-gmbh.de/was-wir-machen/3d-laserscan/referenzmessung) abgerufen werden kann. Als Ergebnis wurde eine Genauigkeit von besser als 0,1% Prozent festgestellt. Damit kann das für die Sanierung wichtigste Maß, das innenliegende Profilumfangsmaß, mit einer Genauigkeit von 2mm ... 3mm bestimmt werden (Am Beispiel eines DN 1200 Kreisprofils).

Bestätigt wurde auch, dass das Messergebnis relativ unabhängig vom Material und der Lage des Scanners im Kanal ist. So kann sich der Scanner durchaus schräge oder nichtmittig im Kanal befinden. Um auf die unterschiedlichen Rohroberflächen (hell, dunkel, reflektierend, nass) zu reagieren, sendet der Scanner ein intensives Signal und zusätzlich ein weniger intensives Messsignal aus, von dem dann das jeweils bessere Ergebnis für die Messung verwendet wird.

Unserer Philosophie nach sollten die Vermessungsergebnisse für Kanalanwendungen in der höchstmöglichen Genauigkeit ermittelt werden, den der aktuelle Stand der Technik anbieten kann. Im weiteren Verlauf ergeben sich noch Ungenauigkeiten, die sich in der Regel eher aufsummieren. Weiters ist aber sehr gut in dem oben genannten Bericht der DWA Arbeitsgruppe ES-4.3 beschrieben.

3 Auswertungsmöglichkeiten

Mit der Messgenauigkeit von besser als 0,1% lassen sich nun umfangreiche und aussagefähige Auswertungen erstellen. Dafür werden die Punktewolken in Plug-In Software für CAD Programme (z.B. AutoCAD, BricsCAD) übertragen, und es lassen sich somit die gewünschten Zeichnungen erstellen. Einige Maße und Zeichnungen lassen sich sogar bereits mittels des freien Viewers abgreifen. Aber nur mit der speziellen CAD Software ist es möglich Schnitte genau lotrecht zur neutralen Achse der Rohre zu erstellen, ansonsten würde man mit einem „schiefen Schnitt“ das Messergebnis verfälschen. Grundsätzlich sind hier 2 Verfahren üblich:

a) die Bearbeitung der Punktewolke im CAD oder
b) die Erstellung von 3D-Vermaschungen (Meshes) mit spezieller Software. (z.B.: Cyclone 3DR, Reshaper, Revit).

3.1 Querschnittszeichnungen

Überträgt man die Punktewolken in die spezielle Software Cyclone 3DR, Revit, …, lassen sich lotrecht zur neutralen Achse halbautomatisch Schnitte erstellen. Dies Schnitte können dann

direkt mittels CAD Software bearbeitet und um weitere Information ergänzt werden. Dabei wird zum Beispiel die millimetergenaue Schnittposition (rotes Fadenkreuz in Bild unten) mit georeferenzierten Koordinaten mit ausgegeben. Dargestellt ist auch der zum Beispiel unter Wasser liegende und nicht durch den Scanner erfassbare Bereich, der (magentafarben) anhand von Zeichnungen und anderen Querschnittspositionen konstruiert werden konnte. Zusätzlich zur Breite und Höhe wird hier das innenliegende Umfangsmaß ausgegeben. Höhenkoten sowohl am Scheitel und in der Sohle geben den Sanierungsfirmen wichtige Informationen für den Neubau des Kanals.



Bild: Querschnitt durch Eiprofil mit Darstellung des Istzustandes (grün) und Neurohr (blau) und Höhenkoten.

Die nächste Grafik stellt sogar das geplante Neurohr mit Innen- und Außenmaß dar, wobei in diesem Beispiel durch die deutliche Verkleinerung des Profils eine Kollisionsprüfung relativ unkritisch ist. Grau dargestellt ist hier der Vergleich mit einen Scanstation bei 3,0m um die Größe der Verformung exakt darstellen zu können.

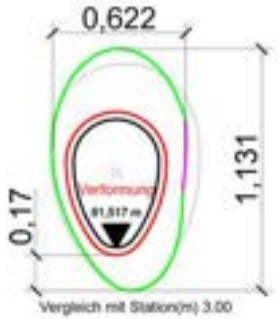


Bild: Querschnitt Eiprofil mit Istzustand (grün), Vergleich des Idealrohres (grau) und Neurohres (schwarz, rot)

3.2 Grundrisse

In der Draufsicht lassen sich mittels der georeferenzierten Scandaten selbstverständlich auch Grundrisszeichnungen erstellen. Zum Beispiel kann ein in beliebiger Höhe angesetzter Schnitt und Schnitte in verschiedenen Höhen erstellt werden und so kombinieren, dass sehr übersichtliche Zeichnungen geliefert werden können. Sämtliche Bemaßungen sind auch hier wieder im Millimeterbereich, bzw. können aus dem mitgelieferten CAD Zeichnungen (DWG oder DXF) von Anwender abgegriffen werden.

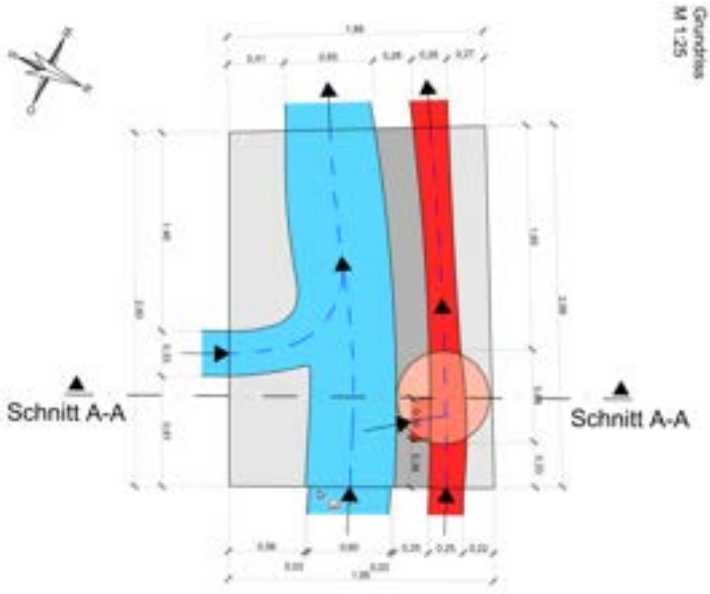


Bild: Grundrisszeichnung eines Schachtes mit umfangreicher Bemaßung in der Draufsicht.

Die Erstellung der Draufsichten funktioniert natürlich nicht nur im Kleinen, sondern lässt sich auch im Großen für ganze Kanalhaltungen mit horizontalem Schnitt erstellen. Genau dies ist für nicht geradlinig verlegte Kanäle mit teilweise unbekannter Lage von elementarer Bedeutung. Auch hier kann die Lage so genau bestimmen, dass Schadenspositionen mit der Lagegenauigkeit von 2cm … 3cm an der Oberfläche abstecken lassen. Diese Genauigkeit erscheint nicht immer erforderlich, aber z. B. bei Rammarbeiten werden teilweise lichte Maße von 50cm genutzt. Auch für Baugruben und Kopflöcher, die andere Versorgungsleitungen kreuzen sind solche Anforderungen an die Genauigkeit durchaus gefordert.

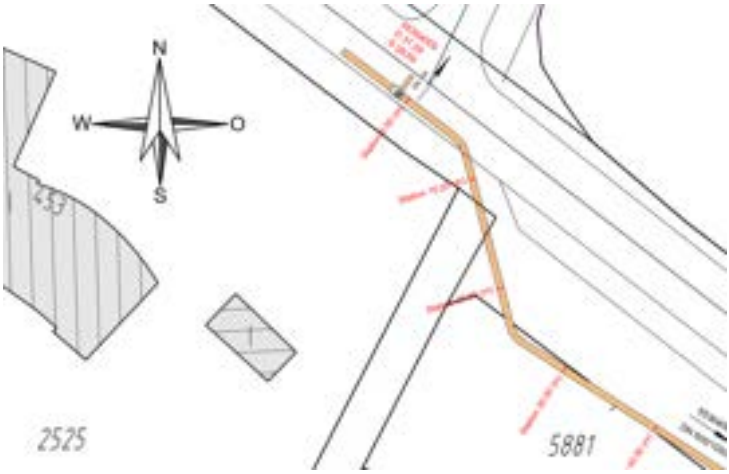


Bild: Draufsicht georeferenzierter Kanalverlauf einer nicht geradlinigen Haltung.

3.3 Rohrverlegepläne

Mittels der georeferenzierten Draufsicht (horizontaler Schnitt) lassen sich unter anderem Rohrverlegepläne erstellen. Diese sind so hochauflösend, dass sich hier sogar die Muffen der einzelnen Rohrstücke darstellen lassen. Wir haben diese Rohrverlegepläne bereits dazu genutzt, um zu simulieren wie lang die Formstücke gefertigt werden können, um noch im Kanal durch die Bögen ‚geschoben' zu werden und um durch die Schachtöffnung zu gelangen. Eine weitere Stufe auf diesem Datenbestand ist die Kollisionsprüfung der neuen Formteile auf Basis des 3D-Models (Vermaschung) des Bestandskanales. Auch hier hat es sich bewährt Höhenkoten mit auszugeben, damit die Sanierungsfirmen bereits Informationen darüber erlangen, wie weit jedes Rohr unterfüttert werden muss.

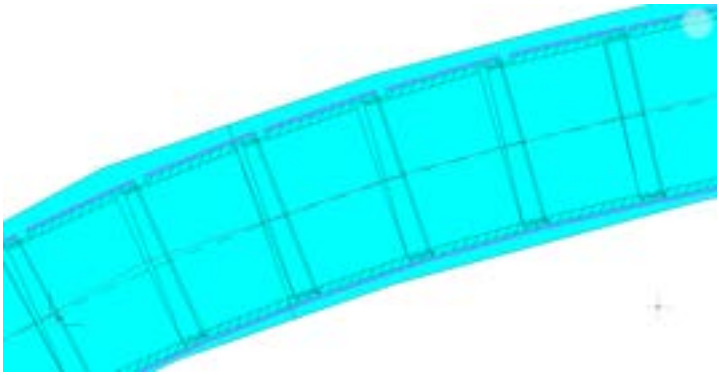


Bild: Ausschnitt aus einem Rohrverlegeplan mit Darstellung der Muffen des neuen Rohres.

3.4 3D-Modellierung

Um die Weiterverarbeitung der Daten aus dem Laserscanning Verfahren zu gewährleisten, ist es oftmals notwendig die Daten vom Punktewolkenformat in ein CAD Format zu transformieren. Dazu werden die Punktewolken über geeignete Software wie oben beschrieben in ein Mesh transformiert, so dass sich die Dateien z.B. dann als Standard *.dwg-Datei und Orbit Werkzeug im CAD weiterverarbeiten lassen. Nach der Glättung der Oberfläche kann man über die Maschenweite des Meshes dann die Genauigkeit definieren. Je nach Auflösung reduziert sich dadurch die Datenmenge deutlich (mind. Faktor 1/10 oder höher). Jetzt lassen sich die verschiedensten Auswertungen anwenden (Ovalitätsanalyse, Abweichung vom Sollwert, Neutrale Achse, Schnitte, Volumina, …)



Bild: Punktewolke eines Schachtes



Bild: 3D-Modell (Mesh) des Schachtes



Bild. Schachtvermaschung als DWG-Datei

Bild: Detail der Schachtvermaschung

4 Mobiles Laserscanning – Mobile Mapping

Worin besteht nun der große Unterschied beim „Mobilen Laserscanning? Gegenüber den Terrestrischen Scannen (Statischen Scannen) wird beim Mobile Mapping bereits während der Bewegung ohne anzuhalten gescannt. Dieses Verfahren bringt einen deutlichen Geschwindigkeitsfaktor (ca. 10-mal schneller) mit sich – im Gegenzug stellt das Mobile Mapping natürlich umso höhere Anforderungen an die Registrierung (Zusammenfügen der einzelnen Messpunkte) mit sich. Fortwährend muss dazu beim Scanvorgang der aktuelle Standpunkt bekannt sein, was durch verschiedene Algorithmen erreicht wird.

Zum Visuellem Slam (siehe Pkt. 2.1 **VIS-System** – visuelles Innertial System) der über Fotokameras die Umgebung auswertet, kommt der **IMU Slam** (das ist der Slam durch die **I**nnertiale **M**easuring **U**nit) z.B. durch ein Altimeter, Neigungssenor bzw. Gyroskop und letztendlich durch den **LIDAR Slam** (Berechnung der jeweiligen Position über die Punktewolke des LIDAR Systems).

Mit diesen 3 SLAM Berechnungen kann schon direkt bei der Bewegung, also beim Scanvorgang, die Trajektorie (Bewegungslinie) anzeigt werden. Dies hat vielfältige Vorteile. So erhält der Bediener in Echtzeit Informationen über seinen jeweiligen Standpunkt, was z.B. innerhalb von Gebäuden oder in Labyrinthen oder in Tunnelsystemen ein erheblicher Vorteil ist.



Bild: Trajektorie (Grüne Linie) beim Gang durch ein Gebäude

4.1 Spot – Boston Dynamics

Das wohl bekannteste Mobile Mapping System ist sicherlich der „Roboterhund“ inkl. dem Leica BLK-ARC Scanner. Die korrekte Bezeichnung wäre natürlich der Spot von Boston Dynamics. Vielfach findet er bereits Anwendung im Industriebereich und z.B. für Sicherheitskräfte um möglichst autonom ein Messmittel an die gewünschten Orte zu transportieren.



Bild: Spot von Boston Dynamics bei GEODOC in Hamburg

Natürlich haben wir den Spot auch bereits in Kanalanwendungen getestet, um zum Beispiel Kanalstrecken, die weder mit einem fahrbaren Kamerasystem zu inspizieren sind, noch durch eine Begehung erfasst werden können, da der Querschnitt dies nicht hergibt oder der Kanal z.B. einsturzgefährdet ist. Folgendes Foto stellt einen verrohrten Bachlauf dar, durch den kein Kamerafahrwagen fahren könnte. Zusätzlich erschwert der vorhandene Wasserstand die Inspektion. Hier wäre es nahezu ideal, wenn wir den Spot durch diese Haltung laufen lassen könnten.



Bild: Verrohrter Bachlauf mit Geröll und Wasserstand

Leider kommen die Sensoren des Spot noch nicht mit dem Wasserstand in der Sohle klar. Die Kameraerfassung sieht die Wasseroberfläche als festen Untergrund an und tritt dann sozusagen ins Leere. Dabei könnte er ins stolpern geraten, so wie zum Beispiel ein Jogger der im Dunkeln eine Bodensenke übersieht. Natürlich muss der Spot auch über entsprechende Lüftungsschlitze für seine PC-Systeme verfügen. Diese Lüftungen sitzen aber an der Unterseite (Bauchseite) und wenn der Spot in seine Grundstellung (Notstellung) geht, macht er Platz wie ein Hund und legt sich hin, was natürlich dann bei vorhandenem Wasserstand im Kanal dazu führen würde, dass das Wasser über die Lüftungsschlitze eingesaugt werden würde.



Bild: Spot von Boston Dynamics im Kanal.

Trotzdem dürfen wir hier auf entsprechende Weiterentwicklungen sehr gespannt sein, da sich damit einige Probleme in komplexen Projekten lösen könnten.

4.2 BLK ARC

Mit dem BLKARC hat die Firma Leica Geosystems ein dynamisches Laserscanning Modul für den Einsatz auf allgemein gesprochen Trägersystemen/Roboterfahrzeugen geschaffen. Der Scanner ist nur noch 18cm hoch und 9 cm breit und wiegt 690g inkl. der Batterie.



BilD: BLK Arc inkl. Bemaßung.

Zusätzlich verfügt der BLKARC über eine sehr hochauflösende Kamera (12 Megapixel) und speziell für den visuellen Slam 3 Kameras mit je 4,8 MPx. Die geringe Baugröße und das Gewicht, sowie die Möglichkeit ein Mobile Mapping durchzuführen, versetzt uns nun in die Lage mit dem BLK ARC auf einem Kanal-TV-Fahrwagen als Trägerfahrzeug durch den Kanal zu fahren und die Rohrgeometrie hochauflösend zu scannen und die Abmaße komplett zu erfassen

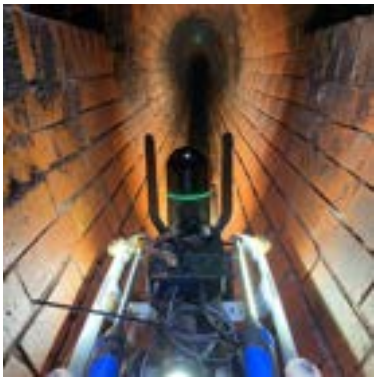


BILD: BLK Arc im Kanal auf Kanal-TV-Fahrwagen

Schon erste Versuche zeigten, dass die Messergebnisse mit dem BLK ARC ebenfalls mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich aufgenommen werden können und sich die Ergebnisse kaum von den Referenzdaten des RTC360 unterscheiden.

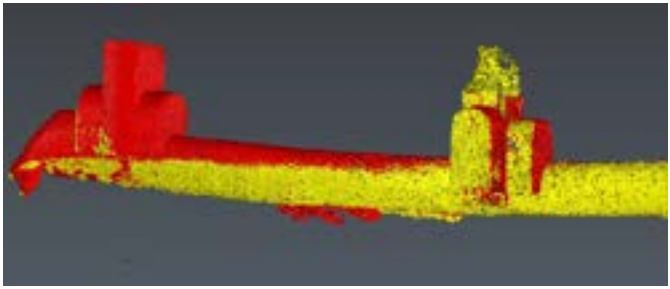


Bild: Differenz Punktewolken des BLK ARC (gelb) und Referenz RTC360 (rot)

4.3 BLK2FLY- weltweit erster autonom fliegender Laserscanner

Genau dieses Laserscanning Modul des BLK ARC wurde zusammen mit einem Quadrocopter entwickelt um das Mobile Mapping während des Fluges auszuführen. Serienreif war der BLK2FLY Anfang des Jahres 2022. Verschiedene Sensoren wie GNSS zur Positionsbestimmung, 3 Radarantennen zur Hindernisvermeidung, 5 Kameras für den visuellen SLAM, WLAN und LTE Antennen sorgen dafür, dass der BLK2FLY seinen Flugplan völlig autonom abarbeitet und auch nicht mehr, wie sonst üblich bei Drohnen, per Joystick gesteuert wird.



Bild: BLK2FLY von Leica Geosystems – erster autonom fliegender Laserscanner.

Der Pilot bedient den BLK2FLY über ein handelsübliches IPAD und erhält dort alle relevanten Daten wir Echtzeit-Video-Ansicht, Live Punktewolke oder Kartenansicht um die Vermessung mit

dem BLK2FLY zu kontrollieren und zu steuern. Da der BLK2FLY noch zwingend über eine Positionsbestimmung via GNSS benötigt und seine Baumaße 60x53cm betragen, ist er noch nicht in der Lage im Kanal eingesetzt zu werden. Außerdem ist die automatische Hindernisserkennung für einen minimalen Abstand von 2m von einem Objekt ausgelegt. Bei einem autonomen Flug im Kanal würden wir diesen Sicherheitsabstand fast immer deutlich unterschreiten. Trotzdem nutzen wir den BLK2FLY seit Q1/2022 um für die Scans im Kanalbereich zusätzlich die Oberfläche mit zu erfassen und miteinander zu verbinden. So ist der Projektleiter jederzeit in der Lage seine Baustelle virtuell Über- und Unter Tage zu begehen. Auch schwer erreichbare Positionen wie Dachflächen, abgeschirmte Bereiche, hohe Gebäude, und weitere entlegene Stellen können mit dem BLK2FLY gescannt und vermessen werden und liefern den Anwender vollständige Informationen mit einer Genauigkeit von ca. 2cm in Lage und Höhe.

Trotzdem lässt sich erkennen, dass entwicklungstechnisch bereits an weiteren Schritten zur Miniaturisierung für einen Betrieb in engen Räumen geforscht wird.

4.4 Elios 3 – Flyability

Eine bahnbrechende Weiterentwicklung der ELIOS 2 Drohne ist die ELIOS 3, die seit ca. September 2022 erhältlich ist. Die für Vermessungsarbeiten wichtigste Komponente ist das LIDAR Modul, mit dem hochdichte Punktewolken erzeugt und in Echtzeit an das Bedienpanel übertragen werden. Zusätzlich wurde die Beleuchtung nochmal auf 16.000 Lumen verbessert und zur 4K Videokamera noch eine Wärmebildkamera zugefügt. Ein Range Extender verlängert das Funksignal und soll es auch ermöglicht größere Entfernungen bis ca. 180m zu realisieren.



BILD: Elios 3 Drohne von Flyability.

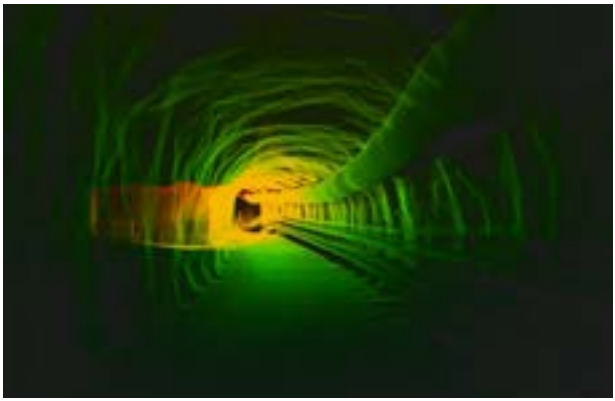


Bild: Punktewolke der ELIOS 3 Drohne exemplarisch aus einem Stollensystem.

4.5 Pegasus TRK

Ein weiteres System für das Mobile Mapping ist z.B. das Pegasus TRK System, welches auf dem Dach eines Fahrzeuges montiert wird. Bei der Datenerfassung mit Scangeschwindigkeiten von 0,15 m/s (BLK ARC) oder 2m/s (BLK2FLY) stößt man mitunter an Grenzen, da vielfach, wie z.B. im Straßenbereich, das Mobile Mapping eine deutliche Beeinträchtigung der anderen Verkehrsteilnehmer darstellt. Hier bieten Systeme wie Pegasus TRK ganz andere Möglichkeiten. Es lassen sich z.B. Straßenbereiche mit einer Geschwindigkeit von bis zu 130 km/h (36 m/s) abscannen. Bei einer Versuchsfahrt mit 15 km/h (4m/s) konnten Punktewolken mit einer Dichte von 1 cm erzeugt, und auf einer Strecke von 7,5 km über 22.000 hochauflösende Fotos der Straßenoberfläche aufgenommen werden. Vergleicht man diese Messfahrt mit der Fahrt mit dem BLK ARC durch den Kanal, so waren wir mehr als 25 mal so schnell unterwegs.

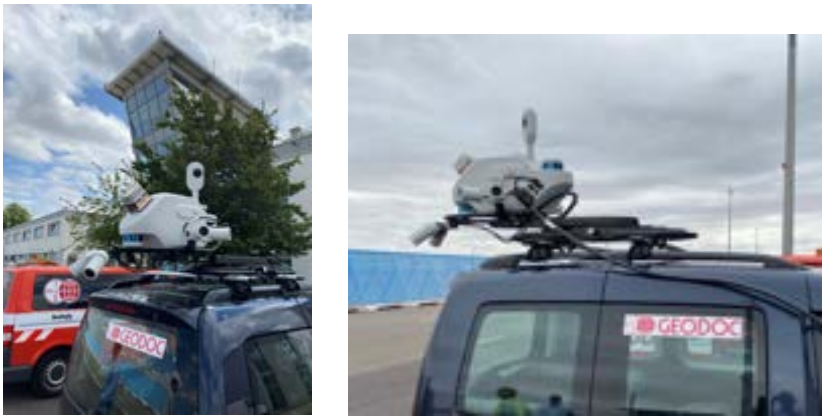


Bild: Leica Pegasus TRK System montiert auf Autodach

Das Pegasus TRK System bietet die Möglichkeit neben 2 LIDAR als Hauptscanner, 2 zusätzliche Lidar Scanner für den SLAM, 8 Kameras für die Oberflächenerfassung, eine 360 Grad Kamera und GNSS Empfänger zu verwenden. Im Vergleich zu einem Terrestrischen Scan konnte die Datenerfassung ca. 80-mal schneller erfolgen, wenn auch der stationäre Scan eine ca. um Faktor 10 höhere Auflösung bietet. Das Ziel eines solchen Systems ist nicht nur die Fotografische Erfassung und Vermessung, sondern die Anschließende automatische Erkennung und Digitalisierung der Objekte zur weiterführenden Auswertung.

5 Projektbeispiele

In meinem Vortrag werden ich anschauliche Projektbeispiele zu den oben beschriebenen Systemen präsentieren (Doppeldüker unter Autobahn, Ortung eines einsturzgefährdeter Kanals mit 13m Überdeckung und komplexer Zugangsmöglichkeit,) und die Möglichkeit bieten, durch verschiedene Punktewolken zu ‚fliegen'. Daraus lassen sich dann weiter Ergebnisse und Erkenntnisse ableiten und eventuell auf weitere Anforderungen und Projekte übertragen.

6 Hinweis

In diesem Beitrag wurden die meisten Messsysteme der Firma Leica Geosystems Part of Hexagon vorgestellt. Dies liegt daran, dass man Leica sicherlich als Marktführer in diesem Bereich bezeichnen muss. Zusätzlich setzen wir fast ausschließlich Komponenten der Firma Leica ein und arbeiten im Bereich von Weiterentwicklungen (Hard- und Software) eng mit der Entwicklungsabteilung zusammen. Daher ist es naheliegend hier Systeme von Leica exemplarisch vorzustellen. Natürlich gibt es in dem Bereich aber auch noch andere Anbieter, die sich leicht über das Internet recherchieren ließen.

Autor:

Dipl.-Ing. Lüdeke Graßhoff
GEODOC GmbH
Liebigstraße 64
22113 Hamburg

Tel.: +49-40-72000-630
E-Mail:
lgrasshoff@geodoc-gmbh.de
Internet:
www.geodoc-gmbh.de



Inspektionen von Rohrleitungen mit Drohnen

Praxisbeispiele für die Inspektion von Großkanälen

von Andreas Obermayer und Simon Lukaschewsky

1 Einleitung

Die für die Inspektion von Abwasserkanälen zur Verfügung stehenden Technologien sind auf einem technologisch ausgereiften Stand und durch langjährige Entwicklungen konnten Lösungen auch für verwinkelte und schwer erreichbare Bereiche geschaffen werden. So können wir in Deutschland heute auf eine durchaus beeindruckende Inspektionsquote von 86,5% verweisen (vgl. [1]).

Was aber auch wiederum aufzeigt, dass 13,5% der Kanalisation noch nicht inspiziert werden konnten. Dies entspricht immerhin ca. 82.000 km (errechnet mit [2]). Der Grund hierfür liegt vor allem an einer schlechten bzw. schweren Zugänglichkeit. Die eigene berufliche Praxis bestätigt dies. Dabei ist schlechte oder schwere Zugänglichkeit nicht nur im Sinne der „Erreichbarkeit“ zu verstehen, vielmehr können darunter auch Aspekte der Arbeitssicherheit fallen, welche mancherorts eine Inspektion von Teilstrecken erschwert oder nahezu unmöglich macht.

Wenn auch nicht häufig, so ist man doch immer mal wieder mit der Herausforderung konfrontiert, dass das eine oder andere Bauwerk der Entwässerung genauer betrachten zu müssen. Häufig stellt sich dann die Frage - Wie?

Moderne Drohnensysteme leisten heute bereits einen Beitrag dazu, diese Lücken zu schließen und die Betriebs- und Arbeitssicherheit deutlich zu erhöhen.

Im vorliegenden Artikel sollen kurz die aktuellen Möglichkeiten einer Drohneninspektion dargestellt werden, dabei wird das Verfahren beschrieben und die Möglichkeiten und Grenzen einer Inspektion „aus der Luft“ aufgezeigt.

Der Vortrag wird den Artikel um einige Beispiele ergänzen, welche die Möglichkeiten und Einsatzgrenzen nochmals in der Praxis verdeutlichen.

2 Wichtige Informationen zu Drohnen und zur Drohnenbefliegung

Drohnen sind unbemannte Flugobjekte, welche zum einen autonom oder automatisiert fliegen können oder aber von Menschenhand gesteuert werden.

Bei den Drohnen, die zur Inspektion eingesetzt werden, handelt es sich um von Menschenhand gesteuerte Flugobjekte, welche mit den im Hobby-Bereich üblichen Objekten wenig bis gar

nichts gemein haben. Diese Industriedrohnen werden speziell für den Einsatz in anspruchsvollen Umgebungen entwickelt und entsprechend den Einsatzbedingungen und –anforderungen ausgerüstet. Es handelt sich dabei meist um sogenannte Quadrocopter – also „Vierflügler“. Aber auch alternative Ausführungen sind am Markt erhältlich (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Aktuelle Drohnen zur Kanalbefliegung: Flyability Elios 2 (Links) und Elios 3 beim Einflug in ein abwassertechnisches Bauwerk (Mitte), Flybotix Asio Drohne (Rechts).

Mit einem Durchmesser von ca. 40 cm, inklusive eines die Drohne umgebenden Anprall-/Kollisionsschutzes, können diese durch nahezu jede Schachtöffnung in die Kanalisation oder abwassertechnische Bauwerke einfliegen. Lediglich durch ungünstig montierte Steigeisen, Einstiegshilfen oder sonstige Einbauten kann es hierbei zu Einschränkungen kommen.
Neben diesen baulichen Hindernissen gibt es auch noch Hinderungsgründe für Befliegungen auf Grund der Datenübertragung aus dem Rohr. So stellen tangential angebundene Schachtbauwerke eine Herausforderung dar, da sie den Empfang der Drohne stark einschränken.

Je nach Wasserführung im Kanal und dem damit erzielbaren Auftrieb sind die Drohnen in Kanälen > DN 800 einsetzbar. Die Windgeschwindigkeiten sollten dabei in den Bauwerken generell unter 3m/s liegen. Hinsichtlich des Temperaturbereiches gibt es praktisch keine Einschränkungen (-10°C bis +50°C). Da die Drohne den Kontakt mit Wasser üblicherweise nicht unbeschadet übersteht, ist eine sichere Verbindung zur Fernbedienung sowie die Live-Übertragung des Bildes unabdingbar, um im Zweifel auch Einleitungen ausweichen zu können.

Die Bilder der Drohne werden live aus den Bauwerken auf externe Monitore übertragen. Wie schon angesprochen ist dies auch aus sicherheitstechnischer Sicht nötig. Gleichzeitig kann so aber auch der Bauwerkszustand direkt beurteilt und ggf. weiterer, intensiverer Inspektionsbedarf aufgedeckt und veranlasset werden. Dabei lässt die Kombination aus 4K-Kamera und Thermokamera in Verbindung mit einer 10 k Lumen Beleuchtung hinsichtlich Helligkeit und Bildqualität keine Wünsche offen.

Noch ist die Akkulaufzeit ein wichtiger Faktor für die Planung der Inspektionen. Mit einer Laufzeit von ca. 10 Minuten bei neueren Entwicklungen bis zu 20 Minuten, in Abhängigkeit von den Randbedingungen, ist die Inspektionslänge limitiert. Durch eine geschickte Kopplung von

schnellen Durchflügen und intensiver betrachtetne Abschnitten sowie einem Anfliegen aus mehreren Richtungen kann jedoch die Datengenerierung optimiert werden. Hierfür sind das Geschick und die Erfahrung des Piloten sowie eine intensive Vorplanung der Befliegung wichtige Erfolgsfaktoren.



Abbildung 2: Bild einer Drohnenaufnahme eines verrohrten Gewässers mit seitlichen Regenwassereinleitungen

Auch Drohneninspektionen benötigen eine grundlegende und sorgfältige Vorbereitung, um den Einsatz vor Ort zu reduzieren und eine sichere und wirtschaftliche Durchführung zu gewährleisten. Fragen der Arbeits- und Betriebssicherheit während der Inspektion sind möglichst im Vorfeld zu klären.
Eine Drohneninspektion umfasst die Befliegung der sichtbaren Bauwerksteile. Eine Trockenlegung und Reinigung z. B. von Abwasserkanälen oder Bauwerken ist somit nicht zwingend erforderlich. Gleichwohl wird durch eine Absenkung der Wasserspiegel natürlich der optisch beurteilbare Teil der Bauwerke erhöht.



Abbildung 3: Typische Aufbauten bei der Befliegung mit Drohnen

Für die Befliegung des Kanals benötigt der Pilot eine kleine Fläche in der Nähe einer Einflugsöffnung. Eine Fläche von ca. 2 m x 1 m ist hierfür ausreichend (vgl. Abbildung 3). Ggf. sind dazu entsprechende Verkehrssicherungsmaßnahmen erforderlich. Da die Befliegung von einem Standort aus jedoch nur ca. 30 – 45 Minuten dauert, sind die Sperrungen nur temporär und können in größeren Städten entsprechend flexibel an das Verkehrsaufkommen angepasst werden.

Während der Befliegung bestimmt der Pilot wann und wie lange geflogen werden kann. Ein Großteil des Inspektionserfolges ist von seiner Person und seinem Geschick abhängig. Er trägt auch die Verantwortung für das Flugobjekt und die Qualität der Bilder.

Während bei einer „klassischen“ qualitativen Zustandserfassung eine lineare Begehung bzw. Befahrung der Bauwerke erfolgt und eine klare Inspektionsrichtung vorgegeben ist, besteht eine Inspektion mittels einer Drohne aus mehreren Teilfragmenten, welche erst im Nachgang zu einem Ganzen zusammengesetzt werden. Damit hier keine Lücken entstehen ist eine gute Vorbereitung und ein konzentriertes Arbeiten unabdingbar. Das Gesamtbild der inspizierten Bauwerke entsteht dann im der Drohnenbefliegung nachgeordneten Postprocessing.

3 Welche Daten werden gesammelt?

Die Drohnen (z. B. Elios 2 / 3, Asio): zeichnen folgende Daten auf:

- Flugnummer, -name
- Video (4K), ggf. Wärmebild
- Kamerawinkel
- Lage im Raum über optische Sensoren (Elios 2, Asio) bzw. Lidar Technik (Elios 3)
- Am Ende (in der Software) erhält man eine Punktwolke des Bauwerks und die Flugroute der Drohne innerhalb dieses Bauwerks. Man weiß somit genau, wo man sich befindet und wohin die Drohne zum Zeitpunkt x geschaut hat.
- Lidar Technik: Der Pilot erhält in Echtzeit ein grobes 3D Modell (Punktwolke) aus dem Laserscan und kann sich somit schon während des Fluges im Bauwerk orientieren.
- Während des Flugs oder hinterher im Post-Processing können Punkte (POIs) markiert werden. Diese bekommt man dann auch mit Lage und Blickrichtung angezeigt.

Für den Datenaustausch ist folgendes zu berücksichtigen:

- Um die Datenstandards zu bedienen, werden die aufgenommenen Daten noch mit den Stammdaten zusammengeführt (Haltungs- und Schachtbezeichnungen, …)
- Die Zustandserfassung erfolgt dann in der gängigen Software (bspw. Wincan) oder mittels KI (bspw. Pallon)

Eine Georeferenzierung der aufgenommenen Daten / Bauwerke ist ein wichtiger Teil einer Dokumentation der Befliegung. Dabei gilt es Folgendes zu beachten:

- Über Umwege lassen sich die beflogenen Bauwerke georeferenzieren (die vorgestellten Drohnen haben alle kein GPS)

- Drohnen (bspw. die DJI Mavic 3) lassen sich mit einem RTK-Modul ausstatten (hochpräzises GPS), wodurch eine zentimetergenaue Positionierung möglich ist.
- Man muss also mit zwei Drohnen fliegen: Inspektionsdrohne innen, Drohne mit RTK-Modul außen (kann automatisiert fliegen). Über gemeinsame Punkte in beiden Aufnahmen lässt sich das beflogene Bauwerk zentimetergenau georeferenzieren.

4 Postprocessing

Bei einer gängigen TV-Befahrung erfolgt die Zustandsbewertung vor Ort, während der Kamerawagen durch den Kanal fährt. Bei einem anderen etablierten Verfahren werden 360° Fotos des Kanals aufgenommen und anschließend zu einem abgewickelten Bild des Kanals zusammengefügt. Die Auswertung erfolgt dabei erst im Nachgang der Inspektion, die dadurch relativ schnell durchgeführt werden kann. Ähnlich ist es auch bei der Drohnenbefliegung: Der Pilot hat die Möglichkeit, bei seiner Befliegung bestimmte Punkte direkt anzufliegen und bereits als POIs (Points of Interest) zu markieren. Die eigentliche Zustandserfassung und -bewertung erfolgt aber erst im Postprocessing der Befliegung.

Die nachträgliche Aufbereitung umfasst die Sichtung des Materials sowie die Zustandserfassung und -bewertung des Kanals. Die Dateien müssen geschnitten und zusammengefügt werden auch vor dem Hintergrund, dass sie in „10 Jahren“ noch verwertbare Informationen liefern sollen. Hierbei unterstützen moderne Softwareprodukte die Ingenieure. Damit bleiben die Aufwendungen wirtschaftlich darstellbar, bei jedoch stetig wachsenden Anforderungen an die Hardware.

Auch wenn die Befliegung per Drohne noch längst kein Standardverfahren darstellt, wird sich bei der Datenauswertung am Standard orientiert. Daraus kann eine Dokumentation erstellt werden, die hinsichtlich Optik und Inhalt voll und ganz dem gewohnten Bild aus der Kanalinspektion entspricht. Auch wenn hierfür Produkte von der Stange fehlen, ist es möglich den Datenexport in für den Kanalnetzbetreiber gewohnten Formaten zu ermöglichen. Beispielsweise seien hier genannt das Format nach DWA M 150 [3] oder nach den Baufachlichen Richtlinien Abwasser, auch bekannt als ISYBAU [4].

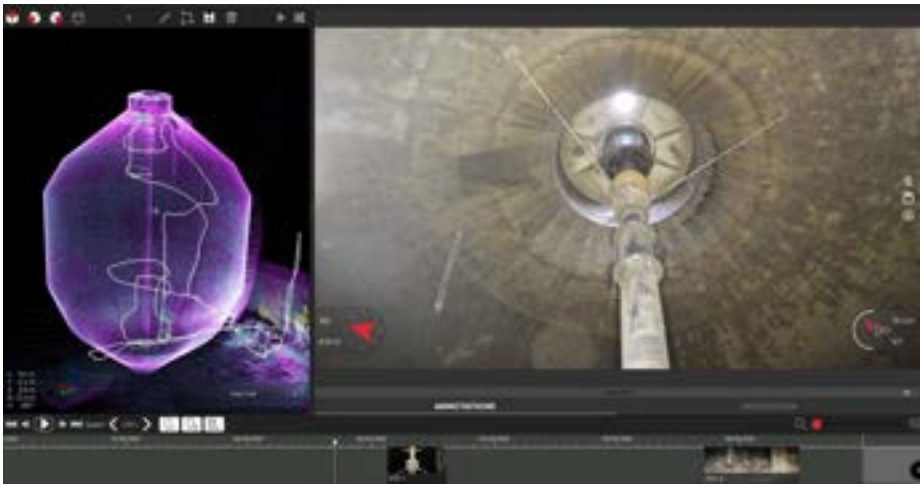


Abbildung 4: Verarbeitung der Daten im Postprocessing. Rechts Bildaufnahme, links Laser-Scan des gesamten Bauwerks

Im Rahmen der nachgelagerten Verarbeitung der Daten ist es möglich Stationierung der Drohne während des Fluges zu ermitteln oder auch weitere POIs zu lokalisieren. welche bereits bei der Befliegung oder der Datensichtung markiert wurden. Daraus entsteht ein „Punktwolkenmodell“ mit eindeutig zugeordneten Positionen und Bildern (vgl. Abbildung 4). Die Erzeugung eines solchen Punktwolkenmodells ist für alle beflogenen Bauteile möglich und kann bereits in wenigen Minuten vor Ort erstellt werden.

Erfolgt eine qualitätsgesicherte und hochwertige Befliegung des Bauwerks, so ist es auch möglich, aus den Befliegungen photogrammetrische Modelle (vgl. Abbildung 5) zu erzeugen, welche die für diese Art der Aufnahme typischen Möglichkeiten bieten. Der Detailgrad derartiger Modelle hängt stark von der Befliegungsdichte ab.

Drohnen der neuesten Generation ermöglichen die Aufnahme von 3D-Scans, welche unmittelbar in 3D-Modelle der Oberfläche überführt werden können. Jedoch zeigen erste Erfahrung, dass dies gerade bei linearen Projekten häufig noch problematisch ist. In räumlichen Strukturen funktioniert dies jedoch bereits sehr gut.

Mit den vorhandenen Daten ist es möglich, Modelle z. B. für CFD-Modellierungen zu erarbeiten oder Bauwerksschnitte und Zeichnungen auf einfache Art und Weise zu erstellen (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 7).



Abbildung 5: Photogrammetrisches Bild eines Trennbauwerkes

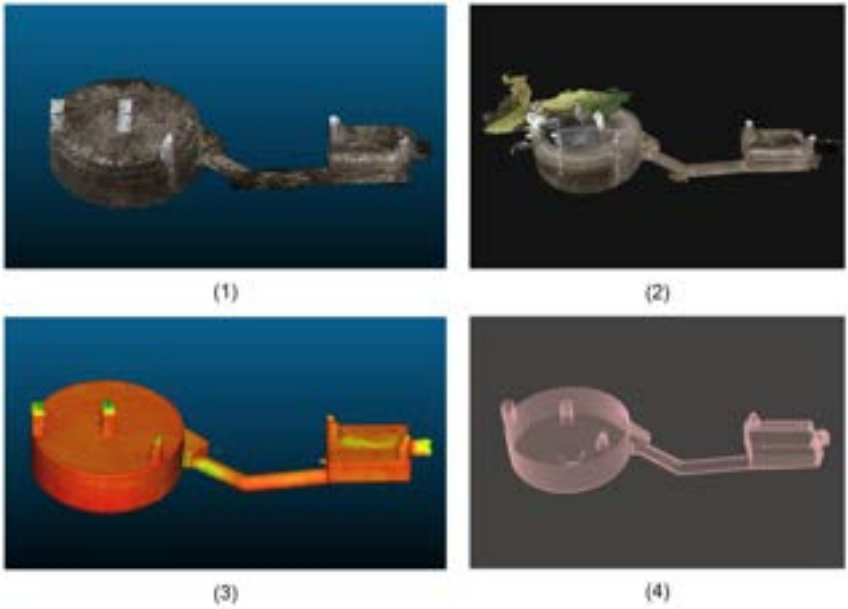


Abbildung 6: Generierung eines Oberflächen / CFD-Modells aus den Befliegungen

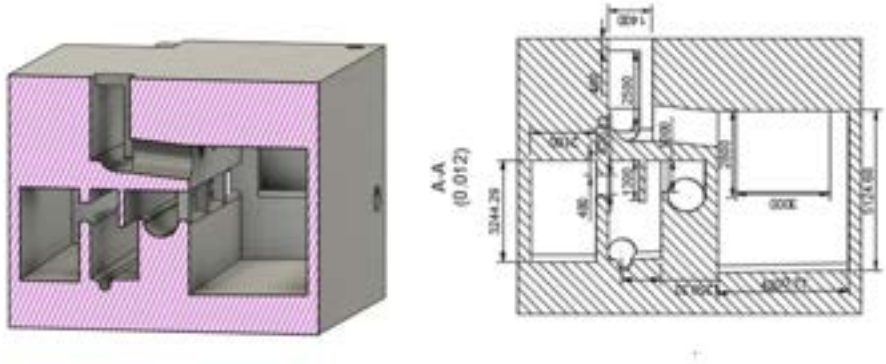


Abbildung 7: Schnittzeichnungen mit Vermaßung durch die mittels Drohnen aufgenommenen Bauwerke

5 Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von Drohnen zur Inspektion

Die Ausführungen zu den Drohnen, dem Drohneneinsatz und dem Postprocessing umreißen bereits auch die aktuellen Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen für Drohnen zur Inspektion. Die Möglichkeiten für den Einsatz der Drohnen sind vielfältig als Beispiel seien genannt:

- große Kanäle mit Durchmesser > DN 1000
- ständig wasserführende Kanäle
- Sonderbauwerke aller Art
- Bauwerke wie RÜB oder RRB
- überbaute / verrohrte Gewässer
- Düker
- große, tiefe Schachtanlagen
- Sonderbauteile im Kanal und auf Kläranlagen

Es wird aber auch klar, dass die Drohneninspektion keine Konkurrenz zur „klassischen“ optischen Kanalinspektion sein kann und will. Sie wird immer auf Sonderfälle begrenzt bleiben. Zudem gibt es klare Einsatzgrenzen, welche eine Drohneninspektion erschweren oder komplett unmöglich machen. Beispielsweise seien hier genannt:

- starker Wind in den Bauwerken / eigene Thermik
- geringer Luftraum / geringer Auftrieb
- lange Inspektionsstrecken ohne eigenen Einstieg
- tiefe Tangentialschächte
- schlechte Signalweiterleitung im Kanal

Grundsätzlich gilt, dass nach DWA M 149-5 [5] bei der qualitativen Zustandserfassung zwischen direkter optischer Inspektion und indirekter optischer Inspektion zu unterscheiden ist. Bei der direkten optischen Inspektion erfolgt eine direkte „Inaugenscheinnahme“ durch Begehung oder Befahrung des Kanals/der Bauwerke. Unter den Verfahren der indirekten optischen Inspektion werden Kanalspiegelungen und Kanalfernsehen zusammengefasst. Es ist klar, dass eine Drohneninspektion in die Kategorie der indirekten optischen Inspektion einzuordnen ist.

Darüber hinaus steht neben der qualitativen Zustandsbewertung aber auch eine quantitative Zustandsbewertung [6]. Ein Blick in das Kapitel Postprocessing macht klar, dass die Drohneninspektion hier vielfältige Möglichkeiten bietet, welche erst am Anfang stehen. Dies unterscheidet die Drohneninspektion klar von anderen „klassischen“ optischen Inspektionen und wird in Zukunft dieser Inspektionstechnologie eine zusätzliche Berechtigung geben.

6 Zusammenfassung

Drohnen sind bereits jetzt in der Lage, einen wichtigen Beitrag zur Inspektion von Kanalisationen und Bauwerken zu leisten. Sie stellen dabei keine Konkurrenz zu den herkömmlichen Methoden der optischen Inspektion dar, sondern unterstützen / ergänzen diese. Gleichwohl zeigen die aktuellen Randbedingungen aber auch, dass Drohneninspektionen noch Grenzen gesetzt sind. Davon werden einige durch aktuelle, mittelfristige und zukünftige Entwicklungen relativ schnell versschwinden (z. B. Akkuleistung), andere werden bleiben (z. B. Probleme bei geringem freien Luftraum). Es wird spannend, wo hier die Reise hingeht.

Die modernen auf den Drohnen eingesetzten Technologien in Verbindung mit der extremen Mobilität und moderner Software eröffnen heute bereits Möglichkeiten, welche vor kurzem noch undenkbar waren. Hier wird die Zeit schnell voraneilen und Leistungen wie automatische Schadenerkennungen werden die Ingenieure in nicht allzu ferner Zukunft entlasten und unterstützen.

Aus der Sicht eines Planers sei angemerkt, dass die Inspektion mit Drohnen ein sehr wertvolles Mittel darstellt um den Zustand der „vernachlässigten Kellerkinder“ der Entwässerungssysteme, welche es fast in jedem Netz gibt, einer Ersterkundung zu unterziehen und Handlungsbedarf abzuschätzen und zu erkennen. Sofern ein solcher festgestellt wird, bleibt es einem aber auch in Zukunft nicht erspart erweiterte Analysen (z. B. Betonproben) etc. auf altbewährte Art und Weise zu gewinnen. Drohnen schaffen es aber den Betreibern Fragen zur Betriebssicherheit, Standfestigkeit und Arbeitssicherheit zu geben. Sie leisten damit einen großen Beitrag zur Planungssicherheit und damit zur Gebührenstabilität.

7 Ausblick

Ein aktuell von uns zusammen mit den Berliner Wasserbetrieben, der Julius Maximilian Universität Würzburg und der Firma UNIINSPECTOR durchgeführtes Forschungsprojekt DIANE.verfolgt das Ziel eine miniaturisierte Inspektionsdrohne zu entwickeln, die durch ihre ge-

ringen Abmessungen große Teile des Kanalnetzes befliegen kann. Für eine einfache Bedienbarkeit wird eine mindestens semi-autonome Steuerung der Drohne realisiert. Fehlende Navigationsdaten werden dabei durch ein innovatives System aus onboard Sensorik und Echtzeitdatenanalyse ersetzt. Des Weiteren sollen Explosionsschutzanforderungen bei der Technikentwicklung berücksichtigt werden. Das Projekt wird gefördert von Bundesminsiterium für Verkehr und digitale Infrastuktur im Förderprogramm mFUND.

Literatur

[1] Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2020. Christian Berger (Hennef), Christian Falk (Dortmund), Friedrich Hetzel (Hennef), Johannes Pinnekamp (Aachen), Jan Ruppelt (Aachen/Essen), Peter Schleiffer (Aachen) und Jonas Schmitt (Hennef), in: Sonderdruck der KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 67.Jahrgang, Heft 12/2020, Seiten 939 bis 953.

[2] Statistisches Bundesamt - https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/ww-04-kanalnetz-1991-2019.html; abgerufen am 01.12.2022

[3] Merkblatt *DWA-M 150* - Datenaustauschformat für die Zustandserfassung von Entwässerungssystemen - April 2010; Stand: korrigierte Fassung November 2018.

[4] Baufachliche Richtlinien Abwasser; Arbeitshilfen zu Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes; Stand 2019

[5] Merkblatt *DWA-M* 149-5 - Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 5: Optische Inspektion - Dezember 2010.

[6] STEIN, D. (1998): Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Verlag Ernst und Sohn, Berlin

Autoren:

Dipl.-Ing., Dipl.-Umweltwiss.
Andreas Obermayer
UNITECHNICS KG
Werkstraße 717
19061 SCHWERIN

Tel.: 0151 / 511 74 406
E-Mail:
a.obermayer@unitechnics.de



M. Sc.
Simon Lukaschewsky
UNITECHNICS KG
Werkstraße 717
19061 SCHWERIN

Tel.: 0385 343371 0
E-Mail:
s.lukaschewsky@unitechnics.de



Nachhaltige Sicherung der Kanalinfrastruktur mit Methoden der Künstlichen Intelligenz

Von Arno Jugel

1 Das Potential der Schlüsseltechnologie

Das Thema Künstlichen Intelligenz (KI) bewegt die Kanalbranche. In der Debatte über Chancen und Risiken zum Einsatz von KI formt sich die Sichtweise, dass damit die Vielzahl an Inspektions- und Sanierungsaufgaben effizienter abgewickelt und dem Fachkräftemangel begegnet werden kann. Was den Bedarf und den Nutzen angeht, muss demnach keine größere Überzeugungsarbeit geleistet werden. Diskutiert wird über das „Wie“.
Das große Potential dieser Schlüsseltechnologie im Blick, treten zunehmend Akteure auf, die KI-basierte Lösungen für das Gebiet der Zustandserfassung anbieten. Sie alle eint die Zielsetzung, wiederkehrende Routinetätigkeiten schneller, qualitativ hochwertig und produktiver zu erledigen. Es geht übereinstimmend um die Entlastung des Menschen von monotoner Arbeit und die Schaffung von Kapazitäten für die Fülle der weiteren Tätigkeitsprofile unserer Branche.
Dennoch sind die Ansätze, wie die neue Mensch-Technik-Kollaboration gestaltet wird, und die zugrunde liegenden Geschäftsmodelle durchaus unterschiedlich. Gerade diese sind aber maßgeblich, wenn man sich um das „Wie“ Gedanken macht.

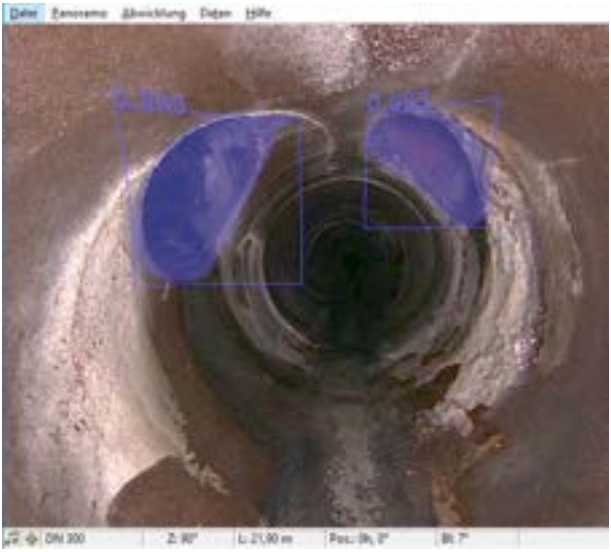


Bild 1: Durch Maskierungen (lila dargestellt) visualisierte Anschlüsse, die der IBAK ArtIST-Webdienst in einem für das KI-System unbekannten Film als solche mit Hauptkode und Charakterisierung erkannt hat.

2 IBAK ist Systemanbieter

In den nachfolgenden Ausführungen wird der von IBAK ermöglichte KI-Weg aufgezeigt. IBAK ist Hersteller von Kanalinspektions- und Sanierungssystemen sowie dazugehören Softwarelösungen. Diese werden von Anwenderinnen und Anwendern rund um den Globus dafür eingesetzt, eine sichere und langfristig einwandfreie Funktion des Kanalnetzes zu gewährleisten. Das produzierende Unternehmen mit Hauptsitz in Kiel ist kein Dienstleiter, der Zustandsdaten erfasst. Vielmehr bereiten IBAKs praxisorientierte Lösungen den Weg für den Erfolg für die Arbeit von Kanalinspekteurinnen und -inspekteuren, Ingenieurbüros, Netzbetreibenden und Kanalsanierern.
Als Pionier der Kanalbranche ist es für IBAK Motivation und Verpflichtung, die Zukunft der Kanalinspektions- und Sanierungsbranche weiterhin zu prägen und mitzugestalten. Mit einer eigenen Entwicklungsabteilung speziell für KI-Themen, wird an mehreren KI-Projekten gearbeitet und entwickelt. Ein Schwerpunkt ist die automatisierte Zustandserkennung in Inspektionsfilmen (ArtIST). Ein weiteres ebenso spannendes Projekt ist der KI-basierte Autopilot für die Inspektionsanlage (aiControl). Außerdem wird geforscht, wie die KI-Methodik in Kanaldaten für Sanierungsplanung und Prognosemodelle genutzt werden kann.
Im Folgenden wird ArtIST (Artificial Intelligence Software Tool) detaillierter betrachtet. Mit der cloudbasierten Erweiterung der IBAK Kanalanalyse-Software IKAS evolution kann die Zustandsdetektion in Inspektionsfilmen automatisiert erfolgen (vgl. Bild 1). IBAK hat das auf den Methoden der künstlichen Intelligenz basierende Tool in Zusammenarbeit mit Anwendenden entwickelt, die die Datengrundlage dafür gewährleisten. IBAK stellt ArtIST als ersten KI-Baustein den Anwenderinnen und Anwendern der IBAK-Systeme zur Verfügung. Mit der KI-Lösung werden von IBAK folglich keine Wertschöpfungsanteile übernommen, die bisher durch die Kundinnen und Kunden generiert worden sind.
Das im Markt bestehende Gefüge aus Auftragnehmenden (AN) und Auftraggebenden (AG) von Inspektionsdienstleistungen bleibt mit IBAK ArtIST erhalten.

Dementsprechend gibt es zwei Wege, von IBAKs KI-Entwicklung zu profitieren:

1. ArtIST für Inspekteure (AN)
Möchte ein Unternehmen, das Kanalinspektionen anbietet, zukünftig KI-unterstützt arbeiten, ist es mit ArtIST und der Software IKAS evolution dazu in der Lage.

2. ArtIST mittels Inspektions-Dienstleister (AG)
Legen Kommunen und andere Netzbetreiber, die die Zustandserfassung extern ausführen lassen, Wert auf eine KI-unterstütze Zustandserfassung, können sie diese Anforderungen in ihren Ausschreibungen entsprechend definieren.

3 ArtIST für Inspekteure (AN)

In Abschnitt 3 wird zunächst die Perspektive von Inspektionsdienstleistenden eingenommen. Die folgenden fünf Kerngedanken sind Anhaltspunkte, um das „Wie“ mit IBAK für Inspektionsdienstleistende (AN) zu verdeutlichen. Diese Form der Implementierung ist natürlich für Netzbetreiber, Ingenieurbüros und Kommunen geeignet, die bisher bereits die Zustandserfassungen mit eigenen Fachpersonal selbst durchführt, haben.



Bild 2: Fünf Aspekte der Implementierung von ArtIST für Inspektionsdienstleistende.

3.1 Dienstleister erhalten ein Werkzeug

IBAK ArtIST ist ein Werkzeug für Inspektionsdienstleistende. Mit IBAK ArtIST erhalten sie ein weiteres Instrument für ihre Tätigkeit, um ihre Arbeit mit den Methoden der Künstlichen Intelligenz zu optimieren. Der Effizienzvorteil ergibt sich nicht daraus, dass Inspekteure die Arbeit der Zustandserfassung auf den Schreibtisch von jemand anderen gelegt haben. Sie selbst erbringen nach wie vor die Leistung, sowohl die optische Filmung durchzuführen als auch die Zustandsdaten zu erfassen. Folglich bleibt es auch die abrechenbare Leitung des Inpektionsdienstleistenden. Dieser hat - ohne Teilbereiche abzugeben - den Mehrwert für seinen AG generiert, folglich kann er auch wie bisher die Rechnung über den vollen Leistungsumfang stellen.

3.2 Abläufe bleiben unverändert

Für die KI-Anwendung müssen Inspekteure nichts extra anschaffen. Für Jede und Jeden, der die IBAK Software IKAS evolution nutzt, ist der Dienst verfügbar. Inspekteure erfassen die optischen Inspektionsdaten mittels Kamerabefahrung. Der Webdienst ArtIST ist mit der Software verbunden. Den Film sendet der Inspekteur oder Inspekteurin per Maus-Klick an den Webdienst und dieser liefert die Zustandsdaten zurück. Selbstverständlich werden dabei die Vorgaben aus den Kanaldaten-Regelwerken und die der Auftraggebenden beachtet und von der Software unterstützt. Alle Funktionalitäten des IKAS evolution können auf diese Daten anwenden werden.

3.3 Verantwortungsvolles Arbeiten

Mit ArtIST müssen Inspektionsdienstleistende nicht komplett webbasiert arbeiten. Das offlinefähige System ist vollständig in das IKAS evolution integriert. Die Stamm- und Untersuchungsdaten verlassen das lokale Netzwerk nicht. Anwendende senden nur den reinen Inspektionsfilm in die Cloud.
IBAK verwendet den Film ausschließlich dazu, den Webdienst zu betreiben und weiter zu optimieren (Feedbackloop). Damit wird ArtIST zur einer Cloud-Plattform, die ein objektives Inspektionsergebnis für alle Anwendenden gleichermaßen liefert.
Für eine webbasierte Datenweitergabe werden andere Webdienste bereitgestellt. IBAK hostet seine Webservices auf einem europäischen Rechenzentrum. Auch wenn über ArtIST hinaus weitere IBAK Webservices genutzt werden, verlassen die Daten Europa nicht und werden unter den Richtlinien der DSGVO verarbeitet.

3.4 Das Heft in der Hand behalten

ArtIST ist keine Black-Box. Mensch und Webdienst ergänzen sich gegenseitig: ArtIST schlägt vor, der Inspekteur oder die Inspekteurin hat die Kontrolle. Das KI-basierte Zustandsergebnis wird ohne jegliche menschliche Nachbearbeitung an den Inspektionsdienstleistenden zurückgegeben, der den Film an das Tool gesendet hat.
Er erhält die von ArtIST automatisch erkannten Zustände vollständig auskodiert inklusive aller Charakterisierungen für jedes gewünschte Kodiersystem. Die Entscheidungsprozesse der KI-Software sind dabei transparent gestaltet. Unabhängig von den Stationskoordinaten (wo ist der Schaden) wird automatisch die günstigste Blickposition zurückgeliefert (von welcher Position ist der Schaden am besten zu beurteilen). Auf diese Weise sind die automatisiert getroffenen Entscheidungen für Anwendende erklär- und nachvollziehbar. Und diese wissen auch genau, an welcher Stelle sie gegebenenfalls eingegriffen haben. Damit können Inspektionsdienstleistende auch in ihrer KI-basierten effizienteren Arbeitsweise die Qualität durchgehend von der Filmung bis hin zum fertigen Inspektionsbericht sicherstellen.

3.5 Mehrwert steigert sich

Die Datenerhebung ist kein Selbstzweck. Sie werden generiert, um darauf aufbauend weitreichende Sanierungsentscheidungen zu treffen und Instandhaltungsstrategien zu entwickeln. Mit ArtIST erhalten Inspektionsdienstleistende beispielsweise Messwerte und Maße zu den Schadensbildern. Mittels der Methodik der 3D-Rekonstruktion wird ein digitaler Zwilling des Inspektionsobjektes erzeugt. Aus diesem werden Messwerte generiert, die für die Sanierungsplanung benötigt werden. (siehe Bild 3)
Auch um die Frage zu beantworten, wie ein Rohr in 10 oder 20 Jahren aussieht, schaffen Dienstleistende mit ArtIST die nötige Datengrundlage. IBAK beteiligt sich an einem Forschungsprojekt zu einem Prognosemodell, das auf Basis von Kanaldaten den Alterungsprozess berechnen kann. Diese Informationen sollen genutzt werden, um Instandhaltungsstrategien zu optimieren.

Nicht zuletzt sei an dieser Stelle das intelligente Bedienkonzept IBAK aiControl erwähnt. Damit soll die Inspektionskamera zukünftig wie von einem Autopiloten gesteuert durch das Rohr fahren und automatisch alle zu dokumentierenden Ereignisse anfahren, abschwenken und aufzeichnen. Diese und weitere Anwendungsfälle, die Anwendenden zukünftig bei der Kanalinspektion und -sanierung dienlich sind, hat IBAK seit Beginn der KI-Entwicklung im Blick.

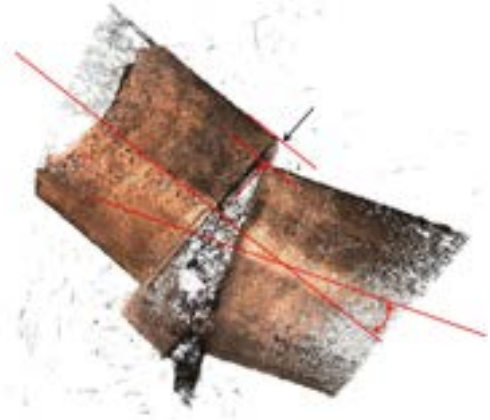


Bild 3: 3D-Rekonstruktion des Webdienstes: Automatisch von ArtIST errechnete Messwerte im 3D-Raum.

4 Implementierung für AG

Netzbetreiber, Ingenieurbüros und Kommunen, die bisher bereits die Zustandserfassungen mit eigenen Fachpersonal selbst durchführen, können ArtIST selbstverständlich auf die gleiche Weise wie Inspektionsdienstleistende (vgl. Abschnitt 3) implementieren.
Legen Kommunen und andere Netzbetreiber, die die Zustandserfassung extern ausführen lassen, Wert auf eine KI-unterstütze Zustandserfassung, können sie diese Anforderungen in ihren Ausschreibungen entsprechend definieren. IBAK hat ArtIST als Plattform angelegt: Das Tool wird von verschiedensten Dienstleistern im Bereich Kanalzustandserfassung genutzt. Wie bisher können AG ihren Dienstleister aus den verfügbaren AN auswählen, die durch die Verwendung von ArtIST performanter geworden sind. Dadurch profitieren AG ebenfalls von dieser Schlüsseltechnologie. Argumente, wie dem Fachkräftemangel entgegen zu wirken und die Notwendigkeit zur Effizienzsteigerung in Anbetracht der Vielzahl an Aufgaben, treffen sicher auch auf die AG-Seite zu. Unabhängig von menschlicher Tagesform oder personeller Verfügbarkeit zu sein, wirkt sich ebenfalls positiv auf die Daten und Effektivität von Netzbetreibern aus. Arbeiten diese mit Dienstleistern zusammen, die KI-basierte Inspektionen durchführen, erhalten sie eine konsistent hohe Qualität der Zustandserfassung.

Autor:

Dipl.-Ing. Arno Jugel
IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel



Tel.: 04317 270-334
E-Mail:
arno.jugel@ibak.de
Internet:
www.ibak.de



3D-Laserscanning aus der Luft, mit weltweit erstem fliegendem Laserscanner Leica BLK2FLY

- 3D-Laserscanning unter und über Tage
- Sämtliche Vermessungsdienstleistungen rund um den Kanal
- Panoramo Analyse von Haltungen und Schächten

GEODOC

040 - 72000-630
info@geodoc-gmbh.de
www.geodoc-gmbh.de

D
Planen, Bauen, Betreiben und Sanieren von Rohrleitungssystemen

1
Intelligent planen, bauen und betreiben – Umwelt im Fokus

Einsatz nachhaltiger Produkte im Tief- und Rohleitungsbau

Was heißt hier EPD und LCA?

Von Frank Heimbecher und Raoul Mancke

1 Einleitung

Die Wirtschaftsaktivitäten von Unternehmen spielen eine maßgebliche Rolle bei der Erreichung einer klimaneutralen Wirtschaft im Einklang mit dem europäischen Grünen Deal und die Realisierung der Ziele der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Entwicklung. Dazu gehören insbesondere die Festlegung und Ermittlung umweltbezogener Indikatoren. Unternehmen müssen demnach entlang der Wirtschöpfungskette Verfahren zur Abschwächung negativer Auswirkungen auf die Umwelt umsetzen, nachhaltige Unternehmensführungs- und Managementsysteme implementieren, sowie neben Menschenrechten, das Klima und die Umwelt im Hinblick auf einen langfristigen Bestand des Unternehmens bei geschäftlichen Entscheidungen berücksichtigen. (Europäische Kommission, 2022)

Der Infrastruktursektor und die Baubranche spielen aufgrund der wirtschaftlichen und sozialen Relevanz eine erhebliche Bedeutung bei der Transformation zu einer nachhaltigen europäischen Wirtschaft. Auf Grund der Komplexität spezifischer Wertschöpfungsketten sind die beschriebenen rechtlichen Rahmenbedingungen zur Achtung von Klima und Umwelt von hoher Relevanz. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) resultierten im Jahr 2020 37 % der globalen CO_2 Emissionen aus dem Bausektor inklusive indirekter Emissionen für Wärme- und Stromerzeugung. Nach Berechnungen der IEA resultieren schätzungsweise 10 % der gesamten CO_2-Emissionen im Jahr 2020 aus der Produktion von Baustoffen inklusive der Produktion von Produkten für den Tief- und Rohrleitungsbau. (United Nations Environmental Programme, 2021)

Politische Maßnahmen und Initiativen zeigen, dass die hohe Relevanz des Infrastruktur- und Bausektors zur Erreichung einer klimaneutralen Wirtschaft erkannt wurde, die Branche jedoch noch vor einigen Herausforderungen zur Zielerreichung steht. Eine etablierte Methodik zur Quantifizierung der Umweltwirkungen auf der Bauproduktenebene sind die Umweltproduktdeklaration (Environmental Product Declaration - EPD) gemäß der DIN EN 15804. (Deutsches Institut für Normierung e.V. (DIN), 2020) (Constrction Products Europe, 2021) Der hohe Bedarf an transparenter Information von Bauprodukten zur Identifizierung wirksamer Maßnahmen zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele spiegelt sich ebenfalls in dem Vorschlag zur Überarbeitung der europäischen Bauproduktenverordnung wider. Der Vorschlag bezieht sich neben technischer Parameter auf die ökologische Nachhaltigkeit von Bauprodukten unter Einbindung relevanter Wirtschaftsakteure. (Europäische Kommission, 2022)

Im Rahmen des Referates „Einsatz nachhaltiger Produkte im Tief- und Rohrleitungsbau – Was heißt hier EPD und LCA?“ wird auf die Quantifizierungsmethoden der Umweltproduktdeklarationen (EPD), deren Anwendung als Bewertungsmethoden der Nachhaltigkeit sowie der Verankerung in legislativen Erneuerungen im Rahmen des europäischen Green Deals eingegangen. Nach einer praktischen Kurzvorstellung der EPD Methodik wird die Methodik kritisch im Zusammenhang mit unterschiedlichen Anwendungsbeispielen auch des Rohrleitungsbaus vorgestellt und eingeordnet.

2 Ökobilanzen (LCA) und Umweltproduktdeklarationen (EPD)

Zur Bewertung der potenziellen Umweltauswirkungen von Produkten kann die Methode der Ökobilanzierung nach ISO 14040 und ISO 14044 verwendet werden. Der Bauproduktensektor orientiert sich an den international gültigen Normen ISO 14025 und EN 15804, die für die Erstellung einer Umwelt-Produktdeklaration (EPD) gelten. Die EPD sind Ökobilanzen auf der Produktebene. Im Rahmen dieser Methodik werden relevante Energie- und Stoffströme erfasst und sogenannten Umweltwirkungskategorien zugeordnet. (Deutsches Institut für Normierung e.V. (DIN), 2020)

Bei ökobilanziellen Betrachtungen in Anlehnung an EN 15804, also der EPD, soll im Idealfall der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden. Je nach dem, an welchen Teil der Wertschöpfungskette die Analyse durchgeführt wird, müssen nicht alle sogenannten Informationsmodule bilanziert werden. Im Tief- und Rohleitungsbau sind in der Regel die Produktions- und Entsorgungsphase obligatorisch und am relevantesten.
Die folgende Darstellung gibt einen Überblick zu den betrachteten Informationsmodulen bzw. Produktlebensphasen nach DIN EN 15804. (Deutsches Institut für Normierung e.V. (DIN), 2020)

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau / Erneuerung	Betrieblicher Energieeinsatz	Betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	Wiederverwendungs-Rückgewinnungs-Recycling-Potenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Für alle Lebensphasen werden sämtliche Inputs (Rohstoffe, Vorprodukte, Energie und Hilfsstoffe) sowie die anfallenden Abfälle betrachtet.

Von hoher Relevanz ist die Herstellungsphase. Folgende Produktionsschritte werden während der Herstellungsphase berücksichtigt:

- Rohstoffgewinnung
- Bereitstellung von Energie
- Herstellung von Vorprodukten
- Herstellung der Verpackung
- Transport der Rohstoffe, Vorprodukte, Verpackung, Hilfs- und Betriebsstoffe
- Herstellungsprozess
- Transport von Produktionsabfällen zum Ort der Entsorgung
- Entsorgung von Produktionsabfällen

3 Berechnung und Anwendung von EPDs

Die EPDs lassen sich softwaregestützt z.B. mithilfe des EPD tools „R<THiNK“ erstellen. Basis stellen die Prozessabläufe zu den Produkten/Baustoffen in den einzelnen Lebenszyklusphasen dar.



Abbildung 1: Darstellung von EPD Ergebnissen – hier CO_2-Emissionen - für eine Betonrezeptur (exemplarisch)

Mittlerweile werden EPDs nicht nur auf der Produkt-/Baustoffebene, sondern vermehrt auch auf der Bauteil-/Bauwerksebene genutzt. Hierdurch wird es möglich, sowohl verschiedene Bauweisen und Bauverfahren als auch unterschiedliche konstruktive Gestaltungen aus ökobilanzieller Sicht miteinander zu vergleichen. Hierdurch liegt für den Entscheidungsträger eine transparente und quantitative Beurteilungsgrundlage vor, um zukünftig im Sinne der Nachhaltigkeit diese Ergebnisse als Entscheidungsgrundlage nutzen zu können. Auch im Tief- und Rohrleitungsbau können hierdurch ökologische Aspekte zum Einsatz bestimmter Materialien (z.B. Beton oder Kunststoff), als auch zur Wahl der Verfahrenstechnik (grabenlos/offen) in die Entscheidungsprozesse Eingang finden.

4 Zusammenfassung

Ökobilanzen (LCA) und Umweltproduktdeklarationen (EPD) sind etablierte Methoden zur Quantifizierung von Umweltwirkungen. Die daraus resultierenden Daten dienen als Datengrundlage für die Bewertung von Bau- und Infrastrukturprojekten. Aktuelle politische Entwicklungen zur Transformation zu einer klimaverträglicheren Wirtschaft lassen die Annahme zu, dass die Relevanz von verifizierten Umweltinformationen in den nächsten Jahren an Relevanz zunehmen wird.

Die Darlegung der EPD-Methodik, die Einführung in eine EPD-Berechnungssoftware und die Vorstellung eines Anwendungsbeispiels aus dem Infrastruktur-/Rohrleitungssektor zeigen auf, wie Unternehmen EPD-Berechnungen durchführen können und wie eine sektorspezifische Anwendung aussehen kann.

5 Literaturverzeichnis

[1] Construction Products Europe. (2021). *Analysis of European initiatives related to the freen, digital and resilient construction ecosystem*. Brussels.

[2] Deutsches Institut für Normierung e.V. (DIN). (2020). *DIN EN 15804:2020-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.* Berlin: Beuth Verlag.

[3] Europäische Kommission. (2022). *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedinungen für die Vermarktung von Bauprodukten, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011.* Brussels.

[4] Mancke, R., & Gebert, G. (2022). Ökobilanzielle Bewertung von alternativen Bauweisen. *Bautechnik 99.*

[5] United Nations Environmental Programme. (2021). *2021 Global Status Report for Building and Construction: Towards a zero-emssions, efficient and resilent building and construction sector.* Nairobi.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Frank Heimbecher
Münster University of
Applied Sciences

Tel.: +49 251 83 65200
E-Mail:
Heimbecher@fh-muenster.de
Internet:
www.fh-muenster.de



M.Sc. Raoul Mancke
Kiwa GmbH, Berlin

Tel.: 00491702261294
E-Mail:
Raoul.Mancke@kiwa.com
Internet:
www.Kiwa.com



Auf dem Weg zum kleineren CO_2-Fußabdruck

Neue Techniken im Leitungsbau

Von Hans German Fall

1 Einleitung

Das Thema Nachhaltigkeit ist für die Zukunft der Baubranche von entscheidender Bedeutung. Verantwortliches unternehmerisches Handeln, das auf freiwilliger Basis in der Geschäftstätigkeit und in den Wechselbeziehungen mit Interessengruppen und Anspruchsberechtigten soziale und ökologische Belange integriert, ist die entscheidende Grundlage, um Nachhaltigkeit zu erzielen. Das ESG-Prinzip stellt diesen Denkansatz dar. Die 3 Bereiche Environmental (Umwelt), Social (Soziale Verantwortung) und Governance (Unternehmensführung) bilden den Rahmen, um nachhaltig zu handeln.

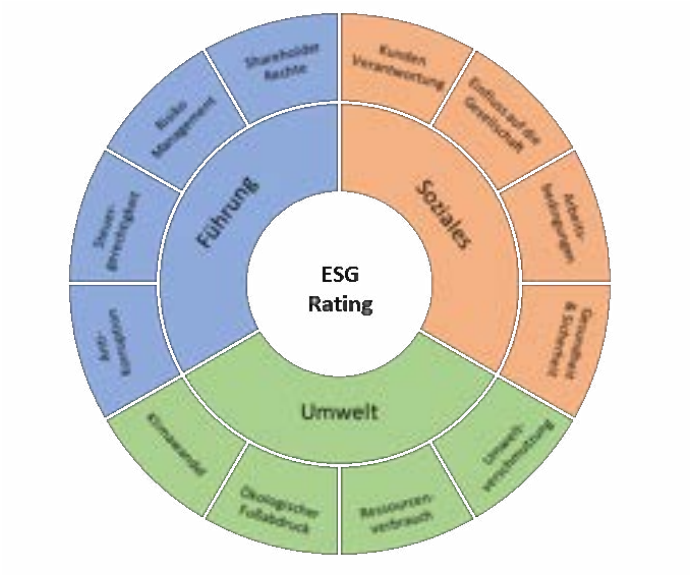


Bild 1: ESG-Sektoren für Nachhaltigkeit

Im Weiteren werden wir die Betrachtung für neue Techniken im Rohrleitungsbau auf den Sektor Umwelt und dort insbesondere auf den ökologischen Fußabdruck beschränken. Denn die Baubranche ist für einen großen Teil der weltweiten CO2 Emissionen verantwortlich, je nach Quelle werden unterschiedliche Werte um die 40% genannt. Durch den Einsatz neuer Techniken kann eine deutliche Reduzierung des CO2-Fußabdruckes im Baubereich erreicht werden.

2 Kreislaufwirtschaft

Die Entwicklung hin zu einem geringeren CO2-Fußabdruck erfordert die konsequente Einführung einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft in der Baubranche. Der Einsatz von Materialien, Geräten, Maschinen und Technologien muss ebenso auf Nachhaltigkeit überprüft werden wie die Arbeitsprozesse selbst.

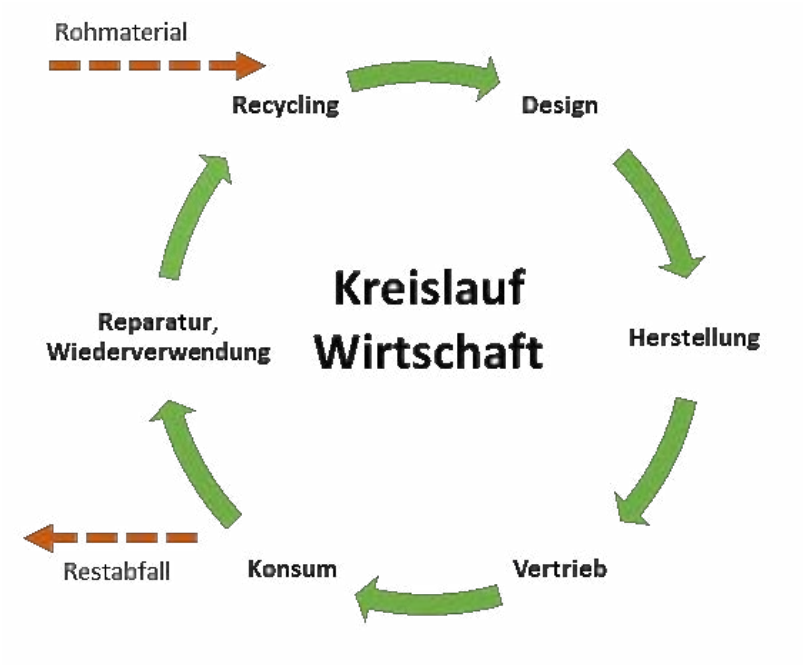


Bild 2: Produktentwicklung, -herstellung und -verwendung als geschlossener Kreislauf

Der Einsatz von Produkten, bei denen schon in der Produktentwicklungsphase spätere Nutzungsmöglichkeiten, Transport, Reparatur und Wiederverwertung mit bedacht werden, ist hier von entscheidender Bedeutung. Die Energie, die in die Herstellung eines Produktes investiert wird, soll durch möglichst konsequente Nutzung des Produktes sinnvoll verwendet werden. Durch Weitergabe bzw. Vermietung des Produktes wird eine häufigere Nutzungsfrequenz erreicht und so die Effizienz der eingesetzten Energie gesteigert. Die Möglichkeit, ein und dasselbe Produkt für verschiedene Zwecke zu nutzen, erhöht diesen Effekt zusätzlich. Durch die Reparatur von Verschleißteilen kann die Lebensdauer und die Nutzungsfrequenz weiter gesteigert werden. Recycling am Lebensende des Produktes und Nutzung als Rohstoff für ein neues Produkt schließt den Kreislauf.

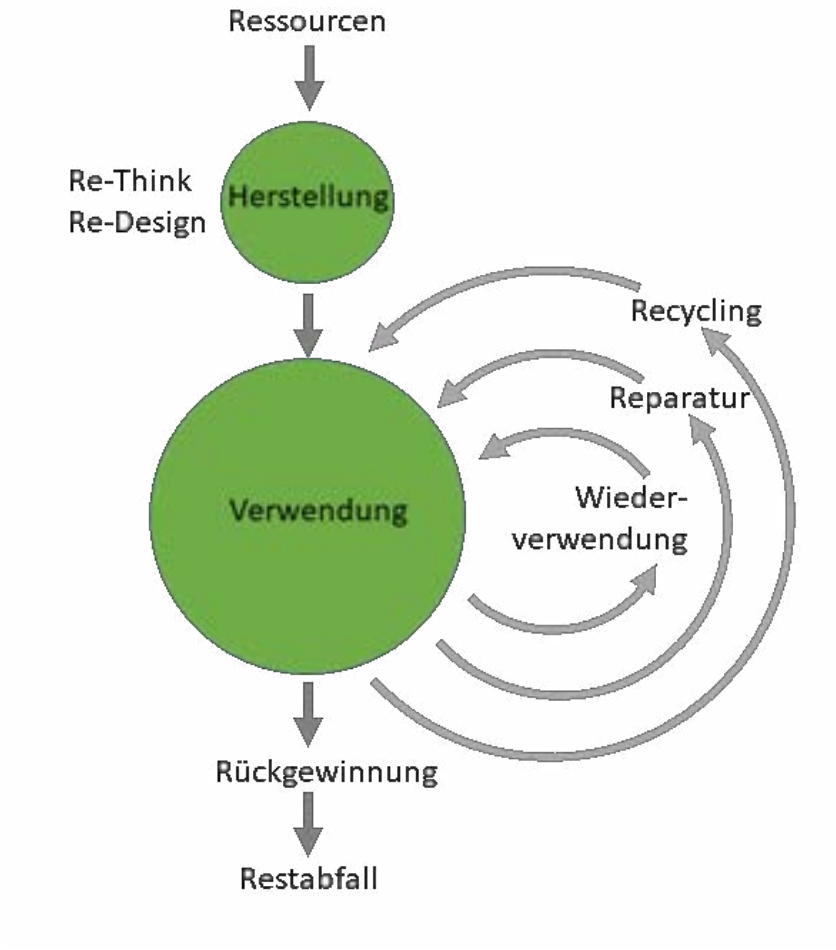


Bild 3: Lebenszyklus eines Produktes in einer konsequenten Kreislaufwirtschaft

Durch den Einsatz von neuen Technologien und Produkten kann so der CO2-Fußabdruck einer Baustelle deutlich gesenkt werden. Bei einem Vergleich von neuen mit herkömmlichen Produkten ist selbstverständlich zu beachten, dass neue Produkte die geltenden Vorschriften und Regeln einhalten und bisher verwendete Produkte ersetzen können.

3 Provisorische Grabenbrücken

3.1 Einleitung

Bei der Erstellung von Rohrgräben im Straßen- und Gehwegbereich ist häufig der Einsatz provisorischer Grabenbrücken für Schwerlastverkehr und Fußgänger notwendig. Entsprechend der ZTV-SA müssen diese provisorischen Grabenbrücken folgende Vorgaben einhalten:

– Bemessung entsprechend der Belastung
– Rutschsichere Oberfläche ab 1 m überfahrbare Länge
– Lagesicherung der provisorischen Grabenbrücke
– Ab 2,5 cm Stärke eine Anrampung oder flächenbündiger Anschluss
– Eignung für Rollstuhl- und Radfahrer sowie Blinde
– Absturzsicherung bei Fußgängerbrücken

In der Regel werden in Deutschland derzeit Stahlplatten als provisorische Grabenbrücken für Schwerlastverkehr verwendet, Fußgängerbrücken bestehen häufig aus Aluminium oder Holz. Gerade Stahlplatten entsprechen meist nicht den Vorgaben der ZTV-SA, da weder eine Lagesicherung noch eine rutschsichere Oberfläche vorhanden ist. Die Verlegung von Stahlplatten erfolgt aufwändig mit schwerem Gerät. Verbogene Stahlplatten, Absätze und zu geringe Auflagerfläche stellen Unfallgefahren dar.



Bild 4: Stahlplatte als Grabenbrücke

Fußgängerbrücken aus Aluminium oder Holz haben neben der eingeschränkten Gehwegbreite von 1,00 m das Problem, dass bei Gehwegen mit Gefälle ein ebenes Verlegen der Grabenbrücke schwierig ist und Unfallgefahren entstehen.



Bild 5 Auflagerung Fußgängerbrücke

3.2 Neue Technologie

Die provisorische Grabenbrücke RoadPlate 23/05 aus Stahl-Kunststoff Verbundmaterial der Fa. Oxford Plastics ist eine nachhaltige, ökologische Alternative zu herkömmlichen Stahlplatten.

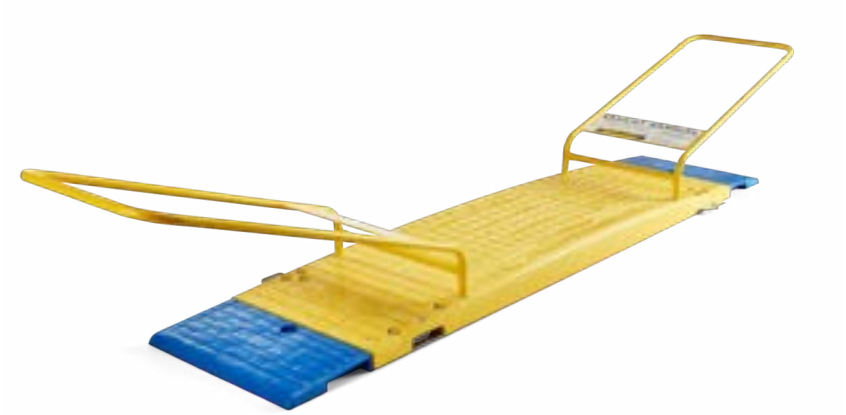


Bild 6: RoadPlate 23/05 mit Verlegehilfen

Die RoadPlate 23/05 ist für Rohrgräben bis 1,20 m Breite bei einer Fahrzeugbelastung bis 44 Tonnen oder für Fußgänger bis zu einer Grabenbreite von 1,50 m geeignet. Ihre Oberfläche ist rutschsicher gestaltet. Durch die Schwerkraft nach unten fallende Senkbolzen sorgen für eine Lagesicherung.



Bild 7: Lagesicherung der RoadPlate 23/05 durch Senkbolzen

Flexible Gummienden sorgen für eine geräuscharme Überfahrt. Aufgrund ihrer Querriffelung können die Gummienden von Blinden mit dem Taststock erkannt werden. Über Adapter können gängige Absturzsicherungen als Geländer an die Grabenbrücke angebracht werden.



Bild 8: Verwendung der RoadPlate 23/05 als 1,50 m Breite Fußgängerbrücke

Die Verlegung der RoadPlate 23/05 erfolgt per Hand, zusätzliches schweres Gerät wird dabei nicht benötigt.



Bild 9: Verlegung der RoadPlate 23/05 mit Hilfe der Verlegehilfe Easylift Handles

Die RoadPlate 23/05 kann somit sowohl Stahlplatten als Schwerlastgrabenbrücke als auch Aluminium- oder Holzbrücken als Fußgängerbrücke ersetzen. Das folgende Bild zeigt die Nutzung im Straßen- und Fußgängerbereich. Das Bild ist an derselben Stelle wie Bild 5 aufgenommen.



Bild 10: Straßenübergang und Gehwegbrücke System RoadPlate 23/05

3.3 Nachhaltigkeit

Die Firma Oxford Plastics hat sich selbst zur nachhaltigen Produktion verpflichtet. Ihr vernetzter Nachhaltigkeitsansatz setzt das Prinzip der Kreislaufwirtschaft konsequent um.



Bild 11: Vernetzter Nachhaltigkeitsansatz der Firma Oxford Plastics

Schon zu Beginn des Entwicklungsprozesses der RoadPlate 23/05 wurden Leitplanken im Hinblick auf Verwendung, Transport und Wiederverwertbarkeit definiert. Ein leichtes Produkt, eine Verlegung von 2 Personen ohne schweres Gerät, das Recht auf Reparatur und die Möglichkeit die RoadPlate 23/05 am Lebensende zu recyceln waren die Vorgaben, die es umzusetzen galt.

Die Firma Oxford Plastics hat für alle ihre Produkte den CO2-Fußabdruck ermittelt. In 3 Stufen wurde über einen Zeitraum von 12 Monaten der Energie- und Ressourcenverbrauch des Unternehmens insgesamt und auf dieser Basis der CO2-Fußabruck jedes Produkts exakt ermittelt. Für ein Element der RoadPlate 23/05 ergibt sich bei einer Nutzungsdauer von 7 Jahren und einem jährlichen Transportweg von 1.900 km ein CO2e Emissionswert von 400 kg.



Bild 12: CO2-Fußabdruck der RoadPlate 23/05

Für einen kompletten Straßenübergang von 6 m Breite im 2-Richtungsverkehr werden 12 Elemente der RodPlate 23/05 benötigt mit einem Gesamtwert von 4,7 Tonnen CO2e.

Wird derselbe Straßenübergang mit 5 Stahlplatten in den Abmessungen 1,25mx2,50 m in der Stärke von 5 mm erstellt, ergibt sich mit denselben Rahmenbedingungen von 7 Jahren Nutzungsdauer bei 1.900 km Transport pro Jahr ein Gesamtwert von 41,1 Tonnen CO2e.

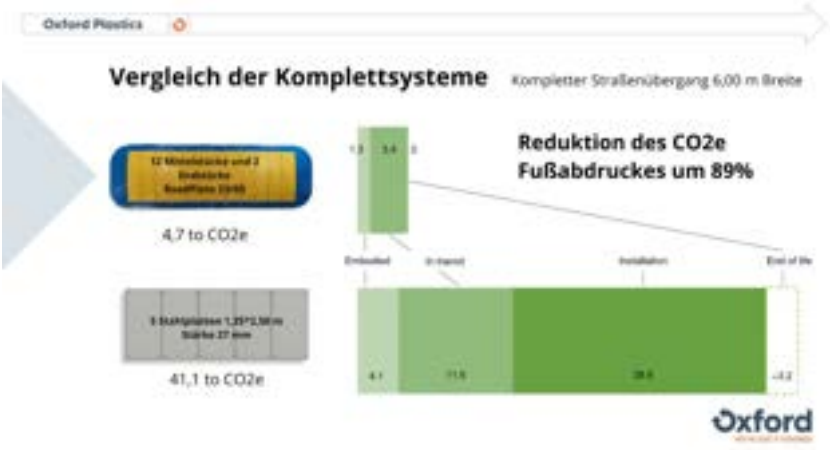


Bild 13: Systemvergleich CO2 Fußabdruck RoadPlate 23/05 und Stahlplatten

Der Einsatz der RoadPlate 23/05 als provisorische Grabenbrücke kann die CO2 Emissionen um ca. 90% im Vergleich zur Benutzung von Stahlplatten senken. Die Stadt New York konnte diese Ergebnisse im Rahmen einer einjährigen Vergleichsstudie belegen. Für die Vergleichsstudie konnte eine Einsparung bei den CO2 -Emissionen von 16.500 Tonnen in 12 Monaten nachgewiesen werden.

Neben der reinen CO2 Reduzierung führt der Einsatz der RoadPlate 23/05 zu weiteren Verbesserungen der Nachhaltigkeit. Durch verbesserten Arbeits-, Verkehrs und Lärmschutz werden auch die Säulen soziale Verantwortung und unternehmerisches Handeln positiv beeinflusst. Aufgrund des leichten Handlings der Platten erhöht sich deren Einsatzfrequenz, da diese auch als Mietprodukte geeignet sind. Zudem ist neben dem Einsatz als Schwerlast Grabenbrücke auch der Einsatz als Fußgängerbrücke möglich, was wiederum zu einer höheren Einsatzfrequenz führt.

4 Kabelschutz aus Geotextil

4.1 Einleitung

Der Schutz unterirdischer Kabel und Rohrleitungen ist unerlässlich. In der Regel wird dieser durch eine Bettung und Umhüllung aus steinfreiem Sand gewährleistet. Die Ummantelung der Leitungen mit Sand und die Abraumbeseitigung haben jedoch Nachteile:

– Hohe Umschlagsleistung der Lkw
– Hohe Baustellenkosten
– Hohe Instandsetzungskosten,
– Unannehmlichkeiten für die Anwohner

Neben den CO2-Emissionen, die durch den Abbau und den Transport des Sandes entstehen, muss für die Beurteilung der Nachhaltigkeit auch berücksichtigt werden, dass Sand ein endlicher Rohstoff ist und in vielen Teilen der Welt bereits Mangel herrscht. Für den Bau eines Einfamilienhauses werden ungefähr 200 Tonnen Sand benötigt, für ein Krankenhaus ungefähr 3.000 Tonnen und in einem Kilometer Autobahn werden ungefähr 30.000 Tonnen Sand verbaut.

4.2 Neue Technologien

Das System der Firma Dalen aus Frankreich, welches die Fa. Meyer Frästechnik aus Krumbach einsetzt, bietet die Möglichkeit Kabel und Rohrleitungen bis zu einem Durchmesser von 200 mm automatisch mittels einer Wickelmaschine mit Geotextil zu ummanteln.



Bild 14: Mit Geotextil umwickelte Kabel

Um das Verfahren der Ummantelung zu erleichtern, hat die Firma DALEN eine Wickelmaschine entworfen, die das Geotextil mechanisch um die Rohrleitungen wickelt. Hierfür wird die Wickeltrommel der Maschine mit dem Geotextil und dem Wickelfaden bestückt und die Umhüllung erfolgt automatisch.



Bild 15: Wickelmaschine

Im Rahmen eines Gutachtens durch Prof. Rolf Schrodi von der Prüfstelle für Geotechnik in Biberach wurde die Eignung des Geotextils als Ersatz für eine Sandbettung und -umhüllung auch im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit explizit nachgewiesen.

4.3 Nachhaltigkeit

Die Verwendung von Kabeln und Rohren mit einer Umwickelung aus Geotextil bietet schon beim Verlegen Vorteile, da die Kabel und Rohre vor mechanischen Beschädigungen geschützt werden. Der Schutz wird über die Lebensdauer des Kabels kontinuierlich gewährleistet, es kann nicht zu Auswaschungen etc. kommen. Zudem wird die Logistik für die Baustelle erheblich erleichtert. Der Antransport von Sand und der Abtransport von Aushubmaterial entfallen. Das

Gewicht einer Spule Geotextil für die Umhüllung von 100 m Kabel bzw. Rohrleitung beträgt ca. 30 bis 60 kg je nach Breite des Geotextils.

Betrachtet man eine Leitungslänge von 100 m bei einer Rohrgrabenbreite von 30 cm und 30 cm Sandbettung und -umhüllung führt dies zu 18 Tonnen Aushub, der abtransportiert werden muss, und einem Antransport von 18 Tonnen Sand. Hierfür sind jeweils etwa 1,5 Fahrten mit einem 3-Achs LKW nötig. Ein LKW mit dieser Beladung verursacht eine Emission von ca. 116 kg CO2 auf 100 km.







Bild 16: Gegenüberstellung der nötigen Transportkapazitäten

Durch die Benutzung des Geotextils lässt sich also in deutlichem Umfang CO2 einsparen, aber auch Lärmemissionen werden deutlich reduziert. Die Akzeptanz von Baustellen wird erhöht, da Belästigungen durch Lärm, Verschmutzungen und Abgase deutlich sinken. Ein großer Vorteil ist zudem, dass die Umwicklung der Kabel nicht nur auf der Baustelle erfolgen kann. Die Kabel können auch am Lagerplatz gewickelt und wieder aufgetrommelt werden. So kann auch direkt ab Lager das umhüllte und geschützte Kabel zur Baustelle transportiert werden.

5 Fazit

Durch den Einsatz neuer Technologien kann die Nachhaltigkeit der Baubranche gesteigert werden und der CO2-Fußabdruck je Baumaßnahme reduziert werden. Neben den hier vorgestellten zwei Vorschlägen gibt es vielfältige weitere Möglichkeiten.

Autor:

Dipl.-Ing. Univ.
Hans German Fall
-hgf- Ingenieurdienstleistungen
Oettingen
Tel.: +49 176 32132313
E-Mail:
info@hgf-ingenieurdienstleistungen.de
Internet:
www.hgf-ingenieurdienstleistungen.de



2
Der ewige Konflikt: Rohrleitungen und Wurzelzone

Das Prinzip „Schwammstadt für Straßenbäume – Regenwasser in nachhaltiger Nutzung“

Von Frank Horstmann

1 Einleitung

In Deutschland wird es tendenziell immer wärmer. Der Anstieg der Jahrestemperatur geht einher mit immer länger andauernden Dürreperioden. Der Boden wird hart und verkrustet. Je trockener der Boden jedoch ist, desto schlechter nimmt er Wasser auf. Die Niederschläge, die im Sommer ohnehin häufig kurz und heftig sind und schnell verdunsten, fließen dann einfach an der Oberfläche ab, ohne in das Erdreich einzusickern. Die Folge: Bäume leiden zunehmend unter den Folgen des Wassermangels. Daher steht in vielen Städten der Wasserhaushalt der Bäume weit oben auf der Agenda. Sie spenden Schatten und kühlen durch Wasserverdunstung die Umgebungsluft. Das hierzu benötigte Wasser wird allerdings zunehmend knapper. Deshalb besteht Handlungsbedarf. Stadtplaner sind dabei, Lösungsansätze und zukunftsfähige Konzepte zu entwickeln. Eines davon ist das sogenannte „Schwammstadt-Prinzip“. Dabei wird anfallendes Regenwasser in Stadtgebieten lokal aufgenommen und gespeichert, anstatt es zu kanalisieren und abzuleiten.



Quelle: „Zukunftsinitiative Klima.Werk“

2 „Das Funke-rundum-sorglos-Paket“

Die hierfür nötigen Produkte und Konzepte hat die Funke Kunststoffe GmbH in den letzten Jahren entwickelt und erfolgreich im Markt eingeführt. Mit einem regelrechten „Rundum-sorglos-Paket“ für die Bewässerung und die Belüftung lassen sich Baum-Standorte optimal gestalten.



Angesichts sich wandelnderklimatischer Rahmenbedingungen gilt es die Baumstandorte zu optimieren.

2.1 Systemlösungen

Während der Einsatz des Baumwurzelbelüfters für eine dauerhafte und ausreichende Tiefenbelüftung der Baumwurzeln sorgt und darüber hinaus eine Überprüfung des Untergrundes auf Staunässe möglich macht, stellt der Bewässerungswinkel eine ausreichende unterirdische Versorgung mit Wasser und Nährstoffen sicher, indem die erforderliche Gießwassermenge von 60 Litern zwischengespeichert und gezielt an den Wurzelballen abgegeben wird. Das funktioniert in der Regel nach einem Zeitraum von ca. drei Jahren nach einer Neuanpflanzung, wenn die Baumwurzeln die Einbauhöhe des Bewässerungswinkel erreicht haben.



2.2 Systemlösungen

Bis dahin übernimmt der Funke Gießring die Bewässerung über den Ballen. Er ersetzt den klassischen Gießrand bzw. eine Gießmulde. Der Gießring kann schnell durch Gießfahrzeuge mit 100 l Wasser, z. B. mit Regenwasser befüllt werden und hält bei Mäharbeiten den „Freischneidern“ stand. Nach der Anwuchsphase kann der werkzeuglose Verschluss geöffnet und der Gießring für den nächsten Jungbaum wiederverwendet werden.



In den ersten zwei bis drei Jahren nach einer Neuanpflanzung übernimmt der Funke Gießring die Bewässerung direkt über dem Ballen.

2.3 Systemlösungen

Während die für die Baumpflege entwickelten Spezialprodukte durch ihren Einsatz bereits zu einer deutlichen Verbesserung von Baum-Standorten beitragen, lässt sich durch ihre gemeinsame Verwendung – so zum Beispiel in Kombination mit dem D-Raintank 3000® – ein optimaler Baumstandort schaffen, der auch unter widrigen Rahmenbedingungen seine Funktion zuverlässig erfüllt. Die neuartige Konstruktion des D-Raintank 3000® mit seinen großen seitlichen Öffnungen schafft die Voraussetzung dafür, dass die Elemente nach ihrem Einbau einfach und schnell mit Baumsubstrat gefüllt werden können. Um den Wurzelballen angeordnet, sorgt das für einen sicheren und jederzeit leicht durchwurzelbaren Standort.





Ab einer Überdeckung von 0,40 m ist dieser Standort PKW befahrbar, ab 0,80m LKW befahrbar (SLW 60). Der D-Raintank 3000 verfügt über eine DIBt-Zulassung.

Nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser, z.B. das von Dachflächen, kann in der Regel direkt in den Untergrund eingeleitet werden. Hierfür empfiehlt es sich, trotzdem einen Reinigungsschacht für den Rückhalt von Laub und Sand den Rigolen vorzuschalten. Anschließend kann das Regenwasser direkt im Umfeld versickern und über geeignete Baumsubstrate auch Wasser zwischengespeichert werden. Die Dimensionierung der Rigolenkörper erfolgt nach der DWA-A 138. Dazu sind die angeschlossene Fläche, der Ort für die Regenspende nach Kostra DWD und der kf-Wert des anstehenden Bodens maßgebend.



2.4 Systemlösungen

Auch die gezielte Zuleitung von gereinigtem Niederschlagswasser über die D-Rainclean®-Sickermulde mit DIBt-Zulassung oder den INNOLET- Filtern zum Einsatz in Straßenabläufen nach DWA-A 102 können zur deutlichen Verbesserung des Baumstandortes beitragen. In den Behandlungsanlagen werden Schwermetalle wie Kupfer, Zink, Blei und Tropfverluste wie Öl zurückgehalten.



Regenwasserbehandlung von Straßenwasser in der D-Rainclean® Sickermulde mit direkter Einleitung und Versickerung in der Pflanzgrube.



Regenwasserbehandlung von Straßenwasser im Straßenablauf mit Nassschlammfang und INNOLET G mit direkter Einleitung und Versickerung in der Pflanzgrube, ein Notüberlauf mit Anschluss an den Regenwasserkanal wird bei größeren Anschlussflächen empfohlen.

2.5 Systemlösungen

Regenwasserbehandlung, Speicherung und gedrosselte Versickerung nach dem „Schwammstadt-Prinzip“:
Die Bewässerung von Baumstandorten lässt sich gerade im städtischen Bereich – etwa in der Nähe von Verkehrsflächen (z.B. Parkplätzen) – mit Funke-Produkten optimieren. Diese erfolgt z. B. über eine Funke Sedimentationsanlage mit nachgeschalteter KS- Bluebox®. Das Niederschlagswasser gelangt über einen Straßenablauf in die Sedimentationsanlage, in der eine Vorreinigung und Rückhaltung von abfiltrierbaren Stoffen (AFS) nach DWA-A102 erfolgt (Rückhalt AFS 72%, AFS_{63} 55 %). Das gereinigte Wasser wird in einer einlagig ausgelegten KS-Bluebox® mit DIBt-Zulassung gespeichert und über einen Drosselschacht DN 1000 in HS®-Kanalrohren und HS®-Vollsickerrohren zum Baumstandort geführt und dort versickert. Bei einer solchen flachen Anordnung kann auf Pumpen und die Zuführung von Fremdenergie verzichtet werden.

Die Verwendung der KS-Bluebox® erlaubt eine Wasserzugabe über den Inspektionsblock während Trockenperioden bzw. auch eine Wasserentnahme nach Regenereignissen. Alternativ sind unmittelbar am Baumstandort auch D-Raintank 3000®-Elemente statt der HS®-Vollsickerrohre einsetzbar. Wenn höhere Behandlungsgrade gefordert werden, kann anstatt der Sedimentationsanlage auch die D-Rainclean® Sickermulde mit DIBt-Zulassung eingesetzt werden (Rückhalt AFS 99%, AFS_{63} >80 %).

Über einen Notüberlauf zwischen der Sedimentationsanlage und der KS-Bluebox® kann Niederschlagswasser in einen Vorfluter, in einen Regenwasserkanal oder in eine Versickerungsrigole abgeleitet werden, sofern die KS-Bluebox® gefüllt ist und es trotzdem weiter regnet.



Behandeln, speichern und Bäume bewässern: Die Kombination von Funke Sedimentationsanlage, KS-Bluebox®, D-Raintank 3000®, Funke Drosselschacht und HS®-Vollsickerrohren sorgt für eine optimale Versorgung von Baumstandorten in der Nähe von Verkehrsflächen.

Digitale Steuerung: Anstatt eines Drosselschachtes mit permanentem Drosselabfluss kann auch ein Steuerschacht eingebaut werden. Feuchtesensoren im Bereich der Baumscheiben geben Aufschluss über die Notwendigkeit zur Bewässerung. Weitere Datenquellen sind z. B. Niederschlagsdaten, Wettervorhersage, Baumdaten und Satellitendaten, die dann über ein Cloud basiertes System verarbeitet werden. Die Ventile im Steuerschacht werden dann bei Bedarf geöffnet und die Bäume unterirdisch mit Regenwasser versorgt. Die Funkübertragung kann nach Kundenwunsch über LoRaWAN oder NB-IoT erfolgen.

3 Zusammenfassung

Speziell für das Thema Baumversorgung hat Funke für Planer, Architekten und Kommunen eine Themen-Webseite eingerichtet: https://funke-aktuell.funkegruppe.de/baumversorgung/. Fragen Sie gerne Ihr nächstes Projekt bei uns an, wir unterstützen Sie gerne in der Planung und betreuen auch die Umsetzung vor Ort. Wir blicken auf langjährige Praxiserfahrung im Bereich der Baumversorgung und Regenwassermanagement zurück.

Autor:

Frank Horstmann
Funke Kunststoffe GmbH
Hamm-Uentrop

Tel.: 02388 3071-175
E-Mail:
f.horstmann@funkegruppe.de
Internet:
www.funkegruppe.de



Botanische und technische Faktoren in der Koexistenz Baum / Rohr

Kritische Konstellationen im Fokus

Von Michael Honds

1 Einleitung

Bäume, als wichtige Sauerstofflieferanten, Schattenspender und ortsprägende Objekte sowie Rohr- und Kabelanlagen für die Gas-, Wasser- und Stromversorgung, sind existentielle Grundlagen für das Leben in der Stadt.

Doch führt unser stetig steigender Anspruch an hohen Übertragungsraten, ständig verfügbaren Ressourcen und flächendeckender Infrastruktur, zu einem kaum beachteten, da unsichtbaren Spannungsfeld.
Unterhalb der versiegelten Straßen- und Gehwegflächen stoßen die Straßenbäume auf unterirdische Leitungen und andere Infrastruktur. Dies führt zu Gegenreaktionen der Wurzeln, die zuweilen mit gefährlichen Wechselwirkungen einhergehen.

Daher muss das Erkennen und Beurteilen möglicher Gefahrenstandorte, die Erarbeitung entsprechender Sicherungsverfahren und die Herstellung und Modifizierung technisch / botanischer Bodenzonen, die eine gemeinsame und sichere Nutzung dieser Spannungsräume zulassen, das erklärte Ziel einer interdisziplinären Betrachtung und Aufgabenbearbeitung sein.

2 Wie alles begann – die Sache mit der Interaktion

Das Jahr 1993 bleibt sicher vielen Verantwortlichen aus der Gasversorgungsbranche lebhaft in Erinnerung.
Im niederrheinischen Viersen kam es baumwuchsbedingt zu einer dynamischen Wechselwirkung der Wurzeln einer ca. 35-jährigen Platane und einer ebenso alten Gasversorgungsleitung aus Stahl.
Diese Interaktion verursachte eine folgenschwere Undichte an der Rohrleitungsanlage. Ausströmendes Gas diffundierte nicht vollständig und drang über einen alten Leitungsgraben durch das Kellergemäuer in das Gebäude ein.
Durch eine Funkenzündung kam es zu einer verheerenden Explosion, bei der ein Mensch starb und eine weitere Person schwer verletzt wurde.

Ein Fall, der in Auswirkung und Dimension glücklicherweise eine Ausnahmestellung einnimmt, nicht jedoch die Tatsache, dass wir jährlich eine große Anzahl von Störfällen, Undichten bis hin zu Explosionen, verursacht durch die Interaktion von Baumwurzeln mit erdverlegten Gasversorgungsanlagen, haben.

3 Grundlagen und Ursachen der Interaktionen

Als häufigste Ursache für die Interaktionsgrundlagen zwischen Bäumen, deren Wurzeln und der unterirdischen Infrastruktur, ist der nicht eingehaltene Mindestabstand zwischen Bäumen und Leitungen bei Pflanzungen von Straßenbäumen bzw. Neuverlegungen von erdverlegten Leitungsanlagen zu nennen.

Auf Grundlage unserer empirischen Ermittlung der erstellten Leitungs-Baum-Kataster aus den zurückliegenden 26 Jahren (s. Bild 1) wird deutlich, dass ca. 8,1 Millionen - zumeist innerstädtische Baum-Leitungs-Standorte - den regelwerksdefinierten Sicherheitsabstand unterschreiten. Es ist Tatsache, dass die Hälfte aller oben genannten Standorte in den letzten 30 Jahren, also somit nach der Veröffentlichung des DVGW Merkblatts GW 125 im Jahr 1989, geschaffen wurden. Dies lässt die Vermutung zu, dass diesem Regelwerk in seiner Umsetzung wenig Beachtung zuteilwurde.



Bild 1: Ergebnisse empirischer Ermittlungen der vergangenen 26 Jahre

Im Hinblick auf den immer größer werdenden, unterirdischen Raumbedarf im urbanen Umfeld stellt sich die Frage, ob die „bewährten“ und „für gut befundenen“ Vorgehensweisen bei Baumpflanzungen im innerstädtischen Raum und die Leitungsverlegungen im Nahbereich von Baumstandorten noch zeitgemäß sind.
Aus unserer Sicht spiegeln genau diese botanischen und versorgungstechnischen Ansätze die zum Teil hohen Gefahrenpotentiale hinsichtlich Leitungsbeschädigungen dar.

Die Betrachtung und Berücksichtigung eindeutiger Tendenzen innerhalb genetischer Unterschiede bevorzugter Baumarten für die innerstädtische Begrünung, sowie die Herstellung eines „wurzelfesten“ Rohrgrabens sind nur zwei Beispiele für eine konsequente Umsetzung aller gewonnener Erkenntnisse in diesem interdisziplinären Thema.



Bild 2: Leitungsdichte / Wurzelraum

Das Bild 2 verdeutlicht die enorme Raumkonkurrenz im urbanen Umfeld. Baumwurzeln und Leitungskörper teilen sich dabei eine definierte unterirdische Bodenzone.

Die Projektion eines Leitungskörpers in der Regelverlegetiefe zeigt auf, dass sich Bäume und Leitungen nicht nur einen Bodenhorizont teilen, sondern dass in dieser Tiefenlage auch das massivste und stärkste Halte- und Stabilitätswurzelwerk eines Baumes zu erwarten ist. Dieser Effekt und dieses natürliche Wuchsverhalten eines Baumes resultieren in dem immer wieder zu beobachtenden Ergebnis:

Die Leitungszone wird zur Wurzelzone.



Bild 3: Leitungszone wird zur Wurzelzone

4 Gefährdung sicher erkennen – Auswirkungen der Interaktionen

4.1 Platanenstandort im Nahbereich einer Gasübernahmestation

Im Nahbereich einer Gasübernahmestation befindet sich eine Platane mit einem Brusthöhendurchmesser von 0,85m bei einem geschätzten Alter von rund 70 Jahren.
Der gesamte unterirdische Bereich der Gasübernahmestation ist mit Starkwurzeln durchzogen, die mehrfach deutliche Druckstempel ausgebildet haben. Die seitliche Verdrängung der Stahlleitung DN 200 hat zu einer Undichte an einem Schraubflansch geführt, aus der ein erheblicher Gasaustritt resultiert.



Bild 4: Platanenstandort Gasübernahmestation



Bild 5: Leitungszone / Wurzelzone

4.2 Weitere Beispiele für Baum-Leitungs-Interaktionen

Anhand der unten dargestellten Beispiele können die Baum-Leitungs-Interaktionen eindrucksvoll dargestellt werden.
Auf dem Bild 6 ist die für eine Platane typische Starkwurzelausprägung ersichtlich. Der oberirische Stammdurchmesser der Platane beträgt ca. 0,60m. Der Durchmesser der Hauptstabilitätswurzel dieses Baumes beträgt rund 0,45m.
Die Bruchlast einer Wurzel dieses Durchmessers beträgt ca. 40 Tonnen. Das wiederum bedeutet, dass diese Wurzel, resultierend aus enorm hohen Windlasteinträgen, erst bei einem Krafteintrag von über 40 Tonnen reißen würde. Alle, auch nur geringfügig schwächeren Krafteinträge werden auf den umliegenden Bodenbereich, oder wie in diesem Fall über parallel verlaufende Wurzelstränge auf das Leitungsmaterial übertragen.



Bild 6: Platanenstandort



Bild 7: Umschlingung einer HAS-Leitung

5 Regelwerke und Normen

Aufgrund des interdisziplinären Ansatzes sind die regelwerks- und normengestützten Hilfestellungen sehr unterschiedlichen Ursprungs.
Neben dem Regelwerk GW 125 und GW 125-B1 (M) des Deutschen Verbands des Gas- und Wasserfaches (DVGW) und weiteren Verweisen in übergeordnete Regelwerke des DVGW sind es weiterhin die Richtlinie RAS-LP 4 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, sowie die DIN-Norm DIN 18920, die das Thema Bäume und Leitungen beleuchten und reglementieren.

Ein erster Versuch eines interdisziplinären Ansatzes wurde mit der Veröffentlichung des Merkblattes GW 125-B1 (M) des DVGW im Jahr 2016 gestartet.
Dieses Merkblatt verbindet sowohl botanische als auch versorgungstechnische Parameter, die eine visuellen Ersteinschätzung potentiell gefährdender Baumstandorte (hinsichtlich möglicher Leitungsbeschädigungen) im urbanen Raum erläutert.



Bild 8: Regelwerke zum Thema Bäume und Leitungen

6 Lösungsansätze und Ausblick

6.1 Verbesserungsansätze

Neben dem wichtigen Ansatz der flächendeckenden Lokation aller potentiellen Gefahrenstandorte in einem Versorgungsgebiet, über die Erstellung eines Leitung-Baum-Katasters und die Bewertung der botanischen Einflüsse auf zukünftige Standorte im innerstädtischen Bereich (Stichwort Baumartwahl), spielt aus unserer Sicht die Gestaltung und Auslegung des Rohrgrabens mit den Bemühungen diesen Bereich „wurzelsicher“ zu gestalten, eine elementare Rolle.

6.1.1 Gefährdung sicher erkennen – Leitung-Baum-Kataster zur Festlegung potentieller Gefahrenstandorte

Die Festlegung der Baumstandorte im Bezug zu erdverlegten Versorgungsanlagen erfolgt über ein Leitung-Baum-Kataster (LBK). In diesem LBK werden alle Baumstandorte erfasst, die sich innerhalb der regelwerksdefinierten Abstandsbereiche befinden. Nach Eingabe der botanischen und standortrelevanten Parameter des Baumes gleicht das System diese mit den hinterlegten Leitungsparametern ab. Diese Parameter sind deckungsgleich mit den Vorgaben und Empfehlungen aus dem Regelwerk GW 125-B1 (M) des DVGW.

Nach einem Abgleich aller rund 16.000 möglichen Kombinationsmodellen ermittelt das System eine Gefahrenklasse, die in die Gefahrenklassen A1 bis B2 unterteilt sind. Hierbei stellt die Gefahrenklasse A1 das höchste und die Gefahrenklasse B2 das niedrigste Gefahrenpotential dar. Die Darstellung aller Standorte im betriebs- oder behördeneigenen GIS-System über eine klassische Ampeldarstellung, ermöglicht einen schnellen Überblick über die Gefahrenpotentialverteilung in einem Versorgungs- bzw. Stadtgebiet.



Bild 9: Leitung-Baum-Kataster (LBK®)



Bild 10: Beurteilungskriterien (LBK®)

Das Ergebnis dieses LBK's dient der weiteren Maßnahmenumsetzung hinsichtlich einer Reduzierung des Gefährdungspotentials.

Diese Maßnahmen können sowohl botanischer als auch versorgungstechnischer Natur sein. Eingehende Informationen zu den unterschiedlichen Maßnahmen finden sich auch unter anderem im DVGW Regelwerk GW-125 B1.

Eine klassische Vorgehensweise wäre z.B. die eingehende Untersuchung eines oder zweier A-Standorte in einer Allee im Sinne einer Referenzschachtung. Hierbei wird gemäß der DIN 18920 der Wurzelbereich des Baumes partiell, im Bereich der erdverlegten Leitungsanlage, freigelegt und hinsichtlich möglicher Kontaktwurzeln untersucht.
Bei einer Bestätigung der Verdachtsmomente aus der Erstaufnahme des LBK`s muss die Vitalität der Bäume und die Restverweildauer der erdverlegten Versorgungsleitung gegenübergestellt werden. Wirtschaftliche, aber auch ökologische Aspekte müssen in dieser Fragestellung gewissenhaft und nachhaltig beleuchtet werden.

Die Auswertung eines Gefahrenbaumkatasters ergibt durchschnittlich ca. 5% Gefahrenstandorte der Klasse A1 und A2, ca. 10%-15% B1- und ca. 80%-85% B2-Standorte. Aufgrund der Alterungsprozesse der Bäume und der Leitungskörper sind diese in turnusmäßigen Abständen erneut zu überprüfen und ggf. neu zu beurteilen.
Grundlage dieses Katasters ist der Abgleich aller relevanten Baum-, Standort- und Leitungsparameter gemäß Bild 10.

Ein weitere, oberflächenzerstörungsfreie Überprüfungsmöglichkeit der potentiellen Gefahrenstandorte ermöglicht die Georadarmessung (GPR). Dieses Verfahren dient neben dem Wurzelnachweis auch dem Lagenachweis und der Lagebestimmung aller Leitungstypen (auch nichtmetallisch) und ist nach derzeitigem Stand der Entwicklung für eine Vielzahl der Gefahrenstandortnachweise einsetzbar.



Bild 11: Leitungsdetektion mittels Georadar



Bild 12: Verfahrensbeschreibung

6.1.2 Botanische Einflussgrößen (Baumartenwahl)

Neben der Erstellung eines Leitung-Baum-Katasters zur Lokalisierung der kritischen Baum-Leitungs-Situationen im Bestand, sollten weitere Präventionsmaßnahmen Einzug in die Planungsgrundlagen neuer Baumstandort-Leitungssituation im Versorgungsgebiet halten.

Grundlage der Baumartenwahl für Pflanzungen im innerstädtischen Raum sind dabei die Empfehlungen der GALK (Gartenamtsleiterkonferenz). Diese GALK legt alle zwei Jahre eine überarbeitete Pflanzliste vor, in der alle für den innerstädtischen Raum getesteten und empfohlenen Baumarten gelistet sind. Diese Liste bildet die Grundlage für eine Baumartenwahl. Diese Standartliste haben wir hinsichtlich des Aspekts der Leitungsaktivität (wurzelaggressives Verhalten) hin überprüft und die besonders interaktionslastigen Sorten als nicht zu empfehlende Baumarten markiert. Mithilfe dieser Liste schließt man interaktionspotentielle Standorte für die Zukunft aus. Ein Auszug dieser auf Bild 13 ersichtlichen Liste verdeutlicht die erfreuliche Mengenverteilung des positiven und negativen Auswahlanteils.



Bild 13: Auszug aus der GALK-Liste

6.1.3 Wurzelfeste Leitungsbettung

Ein wichtiger und aus unserer Sicht unerlässlicher Ansatz zur Sicherstellung der Baumwurzel-Rohrleitungs-Interaktionen ist die Neugestaltung und Neukonzeption des Rohrleitungsgrabens. Aufgrund des bisherigen, als porenoffenen zu beschreibenden Leitungsbettungsverfahrens, kommt es immer wieder zu stark ausgeprägten Wurzel-Leitungs-Interaktionen, die aufgrund der enormen Lasteinträge über die Kontaktwurzeln zu erheblichen Leitungsbeschädigungspotentialen führen.
Abhilfe kann aus unserer Sicht hier, neben der bereits erläuterten Baumartenwahl, auch die Gestaltung und Auslegung des Rohrgrabens schaffen. Hierbei führen wir drei Verfahren und Materialien als besonders vielversprechend.

- Selbstverdichtendes Verfüllmaterial (Flüssigboden mit chemischen Komponenten)
- Mineralische Abdichtung (tonbasierende Dichtmasse)
- Selbstverdichtender Flüssigsand (ohne chemische Zusatzstoffe)



Bild 14: Lösungsansatz Rohrgraben

Bei allen drei Verfahren und Materialentwicklungen handelt es sich um deutliche Abweichungen von den bisherigen Verfülltechniken und Verfüllmaterialien.
Wohlwissend, dass wir mit diesen Anwendungen die „haben wir immer schon so gemacht" Komfortzone verlassen, die auch mit mehr oder weniger hohen Mehrkosten verbunden ist, glauben wir die Sicherstellung der Leitungskörper im Nahbereich problembehafteter Baumstandorte auf diese Art bewältigen zu können.

7 Zusammenfassung

Die Berichte über Leitungsbeschädigungen durch den nichtsichtbaren und somit schwer einschätzbaren Wurzelwuchs der Bäume häufen sich zunehmend.
Die Gründe für diese Zunahme der Schadensmeldungen sind sowohl botanischen als auch versorgungstechnischen Ursprungs. Mit dem zunehmenden ökologischen Denken und Anspruch steigt das Bewusstsein für den Erhalt innerstädtischer Baumstandorte. Die wiederum steigende Forderung an schnelle Datenübertragungsraten und der steigende Bedarf in Sachen Wasser- und Gasversorgung lässt die Leitungsdichte im urbanen Raum zunehmend wachsen.
Im Untergrund der urbanen Räume kollidieren diese technischen Einbauten jedoch mit den Wurzeln der Stadt- und Straßenbäume Die daraus resultierenden Interaktionen, die je nach Intensität und Einwirkdauer zu erheblichen Schäden an unterirdischer Infrastruktur führen können, gehen je nach transportiertem Medium auch mit erheblichen Gefährdungen einher.

Das Erkennen dieser Interaktionspotentiale, die Aufbereitung und Interpretation entsprechender Nachweisergebnisse und die Suche nach interdisziplinären Lösungen, bieten erfolgsversprechende Lösungsansätze zur Bearbeitung dieses weitestgehend unerforschten Konflikts.

Einige Ergebnisse und Ansätze aus fast 30 Jahren Themenarbeit „Bäume und erdverlegte Leitungen“ sind Bestandteil der Präsentation.

8 Literatur:

[1] DVGW Regelwerk GW 125 (M)
[2] DVGW Regelwerk GW 125-B1 (M)
[3] DIN 18920
[4] RAS-LP 4
[5] FLL Richtlinien
[6] GALK

Autor:

Michael Honds
ArborPlan GmbH & Co. KG,
Mönchengladbach

Tel.: +49 2166 552390
E-Mail: info@arborplan.de
Internet: www.arborplan.de



Aktiver und passiver Schutz bei Wurzelwachstum in Leitungstrasse und Rohrsystem

Von Jürgen Herbst

1 Einleitung

Bäume gibt es schon mehr als 200 Millionen Jahre, also lange bevor der Mensch die Weltbühne betrat. Botanisch angesprochen, sind Bäume verholzende, ausdauernde Samenpflanzen, von denen weltweit etwa 73.000 Arten bestimmt sind. Es wird angenommen, dass es insgesamt aber noch deutlich mehr sein dürften.

Bäume unterscheiden sich, neben vielen anderen Merkmalen, auch in der Wurzelbildung voneinander. Grundsätzlich unterscheidet man sie durch Form des Wurzelstocks als Pfahlwurzler, Flachwurzler oder Herzwurzler.

Neben der genetischen Festlegung wird das Wurzelwachstum in Art und Intensität aber auch sehr stark von der Notwendigkeit einer ausreichenden Standsicherheit und Versorgung mit Wasser und Nährstoffen bestimmt.

Spätestens hier entsteht das Problem im urbanen Raum, wo sich Mensch und Baum die ohnehin schon knappe Ressource "Boden" teilen müssen. Der wertvolle Beitrag der Bäume zu unserem Wohlergehen ist unbestritten und bekommt gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels eine herausragende Bedeutung.

Die Aufgabe ist also, für den Baum bestmögliche Lebensgrundlagen zu schaffen und unsere unterirdischen Ver- und Entsorgungssysteme vor Schaden zu bewahren. Insbesondere bei Neuanlagen, aber auch für Sanierungen im Bestand gilt die Frage nach der optimalen Lösung des jeweiligen Problems.



2 Aktiver und passiver Schutz vor Schäden durch Wurzelwachstum

Zu diesem Thema gibt es bereits eine Vielzahl von Ansätzen, Maßnahmen und Modellen, die sich in der Zukunft zu bewähren haben. Erstaunlich ist, dass man selbst unter Fachleuten einer Disziplin zum Teil deutlich voneinander abweichende Kernaussagen findet.

2.1 Der aktive Schutz von Wurzeleinwuchs

Als aktiven Schutz bezeichnet man Maßnahmen, dem Baum möglichst ideale Bedingungen schaffen, die Wurzeln auf der Suche nach ihren Lebensgrundlagen gar nicht erst in Leitungstrassen wachsen zu lassen, beispielsweise:

– ausreichend dimensionierte Pflanzgruben
– optimierte Baumsubstrate
– Wurzelgräben
– Lösungen zur Bewässerung und Bodenbelüftung.

In diesem Zusammenhang sei ausdrücklich auf die FLL Richtlinie "Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterungen, Bauweisen und Substrate" verwiesen.

Als sehr wirkungsvollen, aktiven Schutz, sehen wir bei Neupflanzungen auch die geeignete Baumart für den jeweiligen Standort an. In diesem Sinne hier der Verweis auf die Liste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz e.V., die sogen. "GALK-Straßenbaumliste" aus dem Arbeitskreis Stadtbäume (www.galk.de).

Diese Liste zählt Baumarten auf, die für veränderte klimatische Bedingungen am besten gerüstet sind. Einschränkend muss man sagen, dass das es sich hierbei nicht um die Sorten mit dem geringsten Wurzelwachstum handelt. Es gibt aber eine unter diesem Aspekt überarbeitete Listen, z.B. von der Firma ArborPlan, Mönchengladbach (www.arborplan.de).

2.2 Der Passive Schutz vor Wurzeleinwuchs

Als passiven Schutz bezeichnet man Maßnahmen, die eine Barriere zwischen Leitungen und dem angrenzenden Boden bilden, den Baumwurzeln nicht durchdringen können, beispielsweise:

– wurzelfeste Rohrverbindungen
– Schutzrohre
– Platten und Folien aus Kunststoffen
– porenarme Verfüllbaustoffe.

Wurzelfeste Rohrverbindungen verhindern zwar den Einwuchs in die Verbindungen, aber schützen nicht vor Zug- und Druckkräften durch Umschlingungen oder Stempel. Aus unserer Sicht soll daher eine Wurzel möglichst auf Abstand zum jeweiligen Leitungssystem gehalten werden.

Über die Wirksamkeit von Platten und Folien aus Kunststoffen gibt es sehr unterschiedliche Ansichten. Wir können und wollen das nicht bewerten, vermutlich haben die örtlichen Gegebenheiten einen großen Einfluss auf die Eignung dieser Produkte.

3 Porenarme Verfüllbaustoffe

Unter porenarmen Verfüllbaustoffen versteht man Mischungen aus Sand (Kies), Schluff und tonmineralischen Füllern, die im Endzustand eine möglichst ungünstige Matrix für das Wurzelwachstum bilden.

Wurzeln gehen in erster Linie den Weg des geringsten Widerstands. Die Auffassung, dass Wasser und Nährstoffe den Weg der Wurzel lenken, sind seit etwa 25 Jahren wissenschaftlich widerlegt. Insbesondere benötigt die Wurzel Luft für den Gasaustausch und daher ein möglichst lockeres Gefüge.

Sind porenarme Verfüllbaustoffe wirklich automatisch wurzelfest?
Allgemein herrscht die Meinung vor, dass durch den geringen Porenraum des Verfüllmaterials der Schutz der Leitungen vor Einwuchs immer gegeben ist. Fast alle Anbieter dieser Produkte kommunizieren das jedenfalls in diesem Sinne.

Nach unseren Erfahrungen ist das aber leider ganz und gar nicht der Fall. Einerseits hat man es im urbanen Raum vielfach mit extrem verdichteten Böden zu tun, die in größeren Städten zudem oft noch mit Schutt und Schadstoffen aus dem Weltkrieg durchsetzt sind und für Baumwurzeln ebenfalls nur sehr schwer zu durchdringen sind.

Andererseits gibt es Standorte mit sehr fetten Böden, die es den Wurzeln auch nicht leicht machen. Bäume und Wälder wachsen selbstverständlich auch in Regionen mit lehmigen oder tonigen Böden, ansonsten wären ganze Landstriche Deutschlands kahl.

Ein "porenarmer Verfüllbaustoff" kann also einer Wurzel auch durchaus weniger Widerstand entgegensetzen, als das angrenzende Erdreich. So einfach ist das also leider nicht, die Standortbedingungen spielen hier eine wichtige Rolle.

Im Wesentlichen gibt es zwei Arten dieser Produktgruppe, Flüssigböden und mineralische Dichtmischungen.

3.1 Flüssigböden

Flüssigböden sind Mischungen aus Sand/natürlichen Boden/Recyclingböden, Zement und einem Plastifikator, der meistens aus (Na-)Bentonit besteht, sowie einer optimalen Menge Anmachwasser. Das Füllgut ist selbstnivellierend und erhärtet durch die Hydratation des Zementes.



Der Vorteil von Flüssigboden ist, dass er sich formschlüssig im Graben und um die Leitungen verteilt und nach etwa einem Tag überbaubar ist. Vielfach werden Aushubböden wieder als Ausgangsmaterial eingesetzt, was Ressourcen spart.

Allgemein haben sich Flüssigböden fest am Markt etabliert und es wird wenig Nachteiliges darüber kommuniziert. Bei zementgebundenen Systemen besteht allerdings grundsätzlich die Gefahr, dass sie auf längeren Strecken zur Rissbildung neigen, in die dann Wurzeln einwachsen können.

Kritisch wird gelegentlich die Verwendung von Zement gesehen. Dadurch, dass mittlerweile Flüssigböden massenhaft eingesetzt werden, hinterlassen wir der Nachwelt eine stetig wachsende Menge zementvergüteter Verfüllungen. Eine Frage ist, unter welchen umweltrechtlichen Rahmenbedingungen sich Wiederverwendung oder Entsorgung dieses Aushubs in Zukunft einmal gestalten werden.

Bei der Wiederverwendung von Aushubmaterial kommt hinzu, dass es hinsichtlich etwaiger Schadstoffe nicht immer zuverlässig geprüft werden kann. In der Praxis wird normalerweise nie derselbe Boden eingebaut, der vorher ausgebaut worden ist. Vielmehr fährt der Auftragnehmer die Aushubböden auf seinen Lagerplatz, siebt und mietet für die spätere Verwendung auf. Dadurch erfolgt eine Homogenisierung von unterschiedlichsten Böden verschiedener Standorte mit der Gefahr, auch unerkannte Schadstoffe in ansonsten unbelastete Böden zu tradieren. Was ökonomisch zunächst sinnvoll erscheint, könnte ökologisch problematisch werden.

Wenig bis gar nicht erforscht ist die Interaktion von der Komponenten Boden, Zement und Bentonit untereinander, sowie die Wechselwirkungen mit anstehendem Erdreich. Da die Inhaltsstoffe (Chemismus/Spurenelemente/lösliche Gehalte) der Böden sehr unterschiedlich sein können, lassen sich aus unserer Sicht zum Langzeitverhalten kaum pauschale Aussagen treffen. Aber gerade die sollten elementar zur Beurteilung von Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit eines Produktes sein.

3.2 Mineralische Dichtmischungen im Bereich des optimalen Einbauwassergehaltes

HERAL ist Hersteller einer Vielzahl mineralischer Dichtmischungen mit dem Markennamen "Bentofill", die aus natürlichen Kiesen, Sanden, Bentoniten und inerten Tonfüllern (Kaolin) bestehen. Die Produkte sind grundsätzlich im Bereich des optimalen Einbauwassergehaltes eingestellt und werden einbaufertig angeliefert. Bauseits wird Bentofill lagenweise eingebaut und dynamisch verdichtet. Vielfach werden Bentofill-Mischungen gem. DWA-M 146 für die Kapselung von Abwasserkanälen in Trinkwasserschutzzonen eingesetzt.



Aus unserer Sicht und aus eigenen Versuchen ist die größtmögliche Wurzelfestigkeit einer mineralischen Dichtmischung unter folgenden Voraussetzungen gegeben:

Ein im Sinne der Fullerkurve abgestimmter Sand, Na-Bentonit mit hoher Quellfähigkeit, sowie einem inerten Tonfüller, der für hohe Dichtigkeiten auch bei Störstoffen (Kationen) aus dem umgebenden Erdreich, Taumitteleinträgen, Diffusion von Elektolyten aus Dichtungen und natürlich im Havariefall sorgt.

Besonders scherfeste Mischungen werden durch Zusatz von Kieskorn erreicht (Bentofill 0/16 ST, Bentofill 0/8 HQ). Mag der Wurzeldruck des Baumes durchaus noch Sandkorn verlagern, bei Kieskorn in einem verdichteten, praktisch porenfreien Gefüge ist der Widerstand letztlich zu hoch.

3.2.1 Ungeeignete Rezepturen mineralischer Dichmischungen

Ungeeignet für eine dauerhafte Funktion sind reine Sand-Bentonit-Mischungen ohne inertem Tonfüller und ohne ausreichenden Ton-/Bentonitgehalt.

Trotzdem werden auch solche Mischungen immer noch als "wurzeldicht" beworben und durchaus häufig eingebaut. In den entsprechenden Ausschreibungstexten wird beispielsweise gefordert:

Die Forderung "Frostempfindlichkeitsklasse F1 – nicht frostempfindlich (nach ZTV E-StB 09)" bedeutet, dass maximal 5 % Schlämmkorn (Ton und Schluff) in der Mischung sein dürfen. Einerseits sind F1-Böden dem Sinne nach wasserdurchlässig und andererseits ist die Klassifizierung nicht mehr zutreffend, sobald der Bentonit quillt. Tatsächlich fordert der Planer durch diesen Text eine Mischung, die mindestens zu 95 % aus gewaschenem Sand besteht.

Obgleich das Produkt als "Tonmischung" oder "spezielle Tonmischung" bezeichnet wird, ist es korrekt angesprochen nur ein leicht lehmiger Sand mit ca. 20-30 % Porengehalt und maximal 5 % Bentonit, der daher besonders quellfähig sein muss.

"Auch noch nach 15 Jahren wurzeldicht" wird durch ein Gutachten untermauert, das sich aber gar nicht auf das aktuelle Produkt bezieht und eine flachwurzelnde Birke in sandigem Boden als Beleg für alle Baumarten und Standorte herangezogen wird. Der entspreche Gutachter beschreibt das Produkt in einer Fachzeitschrift (THIS – Tiefbau Hochbau Ingenieurbau Straßenbau 03/2013), als "das einzige Material, das einen 100-prozentigen Wurzelschutz gewährleistet" und meint "Theoretisch kann das Material Millionen Jahre im Boden eingelagert werden, ohne dass es sich physikalisch oder chemisch verändert."

Wissenschaftlich gesehen ist diese Aussage nicht haltbar, da hochquellfähige Bentonite durch Kationenaustausch unausweichlich an Quellfähigkeit verlieren (www.kationenaustausch.info) und sich der Porenraum dadurch innerhalb weniger Jahre u.U. wieder deutlich erhöht. Das gleiche Produkt wird übrigens auch zur Einkapselung von Abwasserleitungen ausgeschrieben und seit Jahren eingesetzt. Die grundsätzliche Eignung einer derartigen Mischung für die angegebenen Zwecke sollte aus unserer Sicht dringendst von neutraler Seite im Interesse von Umwelt und Netzbetreiber geprüft werden.

3.3 Mineralische Dichtmischungen auf dem trockenen Ast

Wo es um die Verfüllung von sensiblen Leitungssystemen geht, kann in der Regel nicht, oder nicht stark verdichtet werden. In diesen Fällen werden Flüssigböden mit bekannten Vorteilen und möglichen Nachteilen eingebaut.

HERAL hat spezielle, rieselfähige Dichtmischungen entwickelt, die beispielsweise auch bei Frost eingesetzt und sofort überbaut werden können: QuellMix Quellsande DS/CP und HERAL Quellkies CP. Mittels der einfachen Bodenfeuchte verdichten sich die Mischungen selbsttätig durch den entstehenden Quelldruck der verwendeten Tonminerale.



Vorteilhaft sind der einfache Einbau, sehr hohe Dichtigkeiten und die Verwendung von natürlichen Zuschlägen. Die Anlieferung erfolgt in Big Bags und für Kleinstmengen steht Sackware zur Verfügung. Bislang wurden QuellMix-Produkte vorwiegend zur Verfüllung von Spalten und Klüften und zur Abdichtung von Erdbecken eingesetzt.

3.4 Flüssigsand



Die Idee vom Flüssigboden ist wirklich genial, wir arbeiten aktuell an einer Abwandlung: Flüssigsand. Das Besondere daran ist, dass keine Zemente oder sonstige Binder in der Mischung enthalten sind. Wir benutzen einen gut abgestuften Sand und einen natürlichen, tonmineralischen Plastifikator, der das Anmachwasser besonders schnell wieder ausleiten kann. Im Endzustand ist das Produkt vergleichbar mit einem optimal verdichtetem Füllsand. Bislang wurden verschiedene Versuche mit unterschiedlichen Rezepturen in kleinerem Rahmen gemacht.

"Flüssigsand" funktioniert natürlich nur dort, wo der angrenzende Boden Wasser aufnehmen kann und ist aus diesem Grund wohl nur eine Sonderlösung (www.flüssigsand.de).

4 Zusammenfassung

Getreu nach dem Motto "Die Weisheiten von heute sind die Irrtümer von morgen" ist es notwendig, sich nicht primär vom Marketing leiten zu lassen, sondern Produkte und Konzepte kritisch zu hinterfragen, Widersprüche interdisziplinär noch gründlicher zu erforschen und auch neue Wege zu denken.

In diesem Sinne mögen diese Zeilen einen kleinen Beitrag dazu leisten.

5 Literatur

[1] Merkblatt DWA-M 162: Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle
[2] Merkblatt DWA-M 146: Abwasserleitungen in Wassergewinnungsgebieten
[3] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen
[4] GALK-Straßenbaumliste, Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz e.V.

6 Bildernachweis

Arborplan GmbH & Co. KG
MTS Mobile Tiefbau Saugsysteme GmbH
Herbst GmbH, Tonmineralien
HERAL GmbH & Co. KG

Autor:

Jürgen Herbst
HERAL GmbH & Co. KG
Herbst GmbH, Münster

Tel.: 0251/297914-40
E-Mail:
jh@heral.de; kontakt@bentonit.de
Internet:
www.heral.de; www.bentonit.de



3
Gashochdruckleitungen – außergewöhnliche Bauprojekte

Schutz eines Dükers in einer Schifffahrtsstraße durch Abdeckung mit Betonmatten

Von Steffen Päßler

1 Zusammenfassung

Durch die Fahrrinnenunterhaltung bzw. Ausbaggerung von schiffbaren Gewässern kann es dazu kommen, dass auch Düker tiefer gelegt werden müssen. Das ist dann tragisch, wenn der Düker sicherheitstechnisch in einem guten Zustand ist und trotzdem neu gebaut werden muss. Der Artikel beschreibt ein innovatives Sicherungskonzept mit Spezialmatten, welche durch Unterwasserbeton verstärkt wurden. Mit dem Verfahren konnte die Zeitvorgabe gehalten, die Umwelt geschont und ca. 75 % Kosten gegenüber einem Neubau eingespart werden.

2 Problemstellung

Die Havel bei Ketzin wird durch einen Düker der ONTRAS Gastransport GmbH gekreuzt. Die technische Begutachtung des 1974 in DN 600 DP 63 errichteten Bauwerkes ergab, dass durch die Molchung keinerlei Auffälligkeiten registriert wurden und auch der KKS durchgehend wirksam war. Ohne die Forderung der Tieferlegung wäre der Neubau des Dükers nicht angezeigt. Neben den ohnehin schon hohen Kosten eines Neubaus kam erschwerend die dichte Bebauung am Nordufer und Umweltschutzgebiete am Südufer dazu. Als bekannt wurde, dass für die naturschutzrechtlichen Belange des Planfeststellungsverfahrens nur der Fluss mit seinen Ufern geprüft und das Hinterland nicht berücksichtigt wurde, wurde der Neubau von Seiten des Betreibers wie auch der Behörde verworfen.
Im Vorfeld der Diskussion mit der Behörde beauftragte der Betreiber eine Sicherheitsstudie [1], um technische und sicherheitstechnische Randbedingungen zu klären.

3 Technische und sicherheitstechnische Vorgaben

Ein Düker ist zwar ein Sonderbauwerk, unterliegt aber unisono dem DVGW-Regelwerk. Das heißt, dass für alle Lastfälle, die bestimmungsgemäß auftreten können, der Spannungsnachweis nach DVGW G 463 zuführen ist. Als besondere Einwirkung in diesem Fall ist auch der Ankerangriff eines Schiffes anzusehen, was am Düker schwerste Schäden bis hin zum Vollabriss hervorrufen kann. Deshalb wird durch die Wasser- und Schifffahrtsämter eine Mindestüberdeckung von 1,5 m vorgeben, die im vorliegenden Fall nach Ausbaggerung mit punktuell 0,6 m bei weitem nicht erfüllt werden konnte. Einfach die Wandstärke immer weiter zu erhöhen, kann auch keine wirtschaftliche Lösung sein bzw. müsste dafür der Düker neu gebaut werden, was bereits verworfen wurde.
Nach intensiver Beratung mit den zuständigen Behörden ist herausgearbeitet worden, dass die Überdeckungsforderung vernachlässigt werden kann, wenn durch einen wirksamen mechanischen Schutz die Beschädigung des Dükers durch Ankerangriff ausgeschlossen werden kann. Dieses Vorgehen entspricht auch der zitierten Vorschrift der Wasserschifffahrtsämter, welche für solche Fälle zusätzliche Sicherungsmaßnahmen gegen mögliche Beschädigungen der Rohre erlaubt.

4 Sicherungskonzept

Die beiden folgenden Prinzipskizzen zeigen das Sicherungskonzept [1], das zwischen allen beteiligten Parteien abgestimmt und Grundlage für die Ausschreibung wurde.

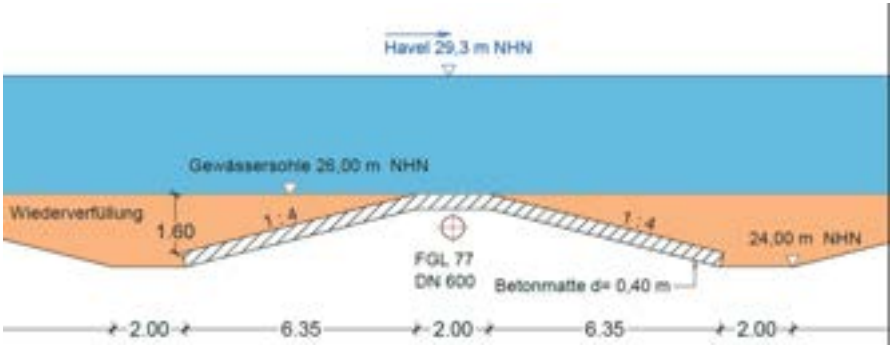


Bild 1: Dükerquerschnitt

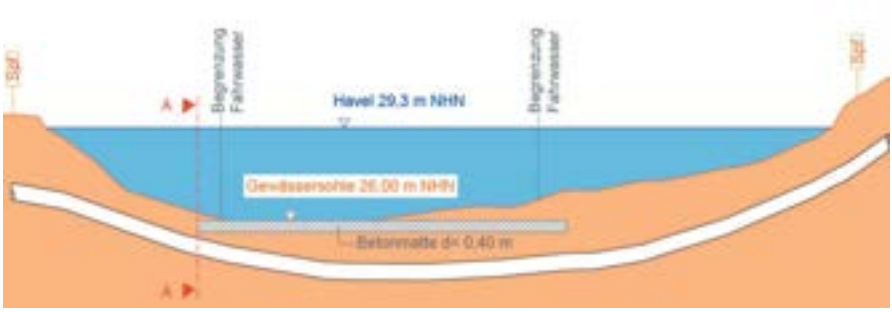


Bild 2: Dükerlängsschnitt

Für das sichere Abweisen eines Ankers wird hier eine Colcrete-Matte eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Tragwerk, das recht genau als „große Luftmatratze“ beschrieben werden kann. Nach dem Ausbaggern und der Herstellung des Abdeckungsprofils wird diese Matte auf die vorbereitete Gewässersohle abgesenkt, dort von Tauchern fixiert und dann vollständig über vorher befestigte Zulaufschläuche mit Beton befüllt. Bei der Bemessung dieser Matte ist es wesentlich, dass an jeder Stelle eine Mindestbetondicke gewährleistet ist, sodass ein Anker diesen Beton nicht durchstoßen kann. Die Vorgaben für die Bemessungskräfte wurden behördlicherseits vorgegeben [2] und in die Sicherheitsstudie [1] eingearbeitet.

5 Sicherheitsaspekte und Einfluss auf die Schifffahrt

Bei den Arbeiten wurden von Seiten des Wasser- und Schifffahrtsamtes wie vom Betreiber hohe sicherheitstechnische Forderungen aufgestellt. Diese umfassten bspw. den Verzicht auf schneidende Werkzeuge beim Freilegen des Dükers, Einsatz von Baggerschaufeln mit Gummilippen (statt Zähnen), einer schrittweisen Freilegung des Dükers (Verhinderung Aufschwimmen), Druckabsenkung während der Bauzeit sowie wasserpolizeilichen Restriktionen und hohen Vorgaben des Arbeitsschutzes für die Taucher (bei parallel laufenden Schifffahrtsverkehr).

6 Literatur:

[1] Ingenieurbüro Veenker: Sicherheitsstudie Sohlsicherung FGL 77 bei Ketzin, ONTRAS Gastransport GmbH, 2019 (unveröffentlicht)

[2] Forschungsbericht B3951.01.04.10187 „Ermittlung Kräfte bei Ankerwurf auf Kreuzungsbauwerke“ Bundesanstalt für Wasserbau, 2016 (unveröffentlicht)

[3] Bundesanstalt für Wasserbau: Stellungnahme zum PFV „Fahrrinnenanpassung Flußhavel“, Brief vom 30.3.17 (unveröffentlicht)

Autor:

Dr.-Ing. habil. Steffen Päßler
ONTRAS Gastransport GmbH
14669 Ketzin

Tel.: 0341 27111-6620
E-Mail:
steffen.paessler@ontras.com
Internet:
www.ontras.com



Einsatz von Flüssigboden im Leitungsbau am Beispiel ZEELINK

Von Franz-Josef Kißing und André Graßmann

1 Einleitung

Ausgangspunkt für eine sichere und wirtschaftliche Nutzung von Gastransportnetzen sind u. a. deren Bemessung und Errichtung. Die Bemessung orientiert sich an den normativen Vorgaben für Gastransportsysteme und ist im Wesentlichen auf den Innendruck fokussiert. Zusätzliche Bemessungsgrößen, sofern diese bekannt oder zu erwarten sind, müssen im Planungsstadium bereits mitberücksichtigt werden.

Sowohl bei der Errichtung als auch bei betrieblichen Arbeiten an Leitungen sind immer wieder Erdbautätigkeiten notwendig, bei denen (Wieder-) Einerdungen mit einer bestimmungsgemäß verdichteten und setzungsarmen Verfüllung des Rohrgrabens zum Teil schwieriger und aufwendiger sein können. In solchen Bereichen, in denen eine konventionelle Verfüllung schwerer realisierbar ist, eignet sich Flüssigboden auch als alternativer Verfüllbaustoff. Beispiele hierfür sind Leitungsquerungen, Stationen oder andere Zwangspunkte einer Leitungstrasse.

Eine mögliche Einflussgröße auf Gastransportleitungen stellen äußere Schwingungen dar, welche beispielsweise durch Verdichtungsarbeiten, Rammarbeiten oder auch Erdbeben entstehen können. Schwingungen können damit einen Lastfall für Rohrleitungen und deren Systeme darstellen, welcher dann bei Planung und Bau zu beachten ist.

Die Bemessung von neu zu errichtenden Gastransportsystemen bezüglich des Schwingungslastfalls ist in den anzuwendenden Normen und Standards geregelt und wurde so auch bei der Planung und Errichtung der ZEELINK-Gasfernleitung mitberücksichtigt. Grundlage hierfür sind geologische Bewertungen und statistische Daten. Neben der diesbezüglich entsprechend ausreichenden Bemessung der Rohrleitung ist auch der Einsatz von Flüssigboden als Verfüllbaustoff, welcher u. a. die Lasten einer Schwingung hinreichend sicher aufnehmen bzw. dämpfen kann, bei dieser Baumaßnahme zur Anwendung gekommen.

Eine besondere Maßnahme im Rahmen der Errichtung der Gastransportsysteme stellt die Lagerung von Armaturenstationen, Rohrleitungen und Bögen auf einem schwingungsdämpfenden Untergrund dar. Ein schwingungsdämpfender Untergrund kann zum einen durch technische Schwingungsdämpfer errichtet werden oder zum anderen durch besondere Verfüllbaustoffe hergestellt werden. Flüssigboden kann - je nach Rezeptur - schwingungsdämpfende Eigenschaften haben und zur Verfüllung von Rohrleitungsgräben und Baugruben von Armaturen- und Stationsanlagen eingesetzt werden. Der Einsatz empfiehlt sich vornehmlich bei schwierigen und beengten Verfüllsituationen, z. B. bei Leitungen in Hanglage, Leitungsbündeln oder zur Ringraumverfüllung.

Im Rahmen einer Baumaßnahme hat die Open Grid Europe GmbH (OGE) Flüssigboden als Verfüllbaustoff bei einer neu zu errichtenden Streckenstation der ZEELINK-Gastransportleitung eingesetzt und das schwingungsdämpfende Verhalten wurde neben anderen

Flüssigbodeneigenschaften unter Steuerung/Koordinierung von der Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH untersucht. Verfüllungen von Streckenstationen mit Flüssigboden sind bislang eher Einzelfälle als gängige Praxis. Die Grundlagen des Einsatzes von Flüssigboden und die Ergebnisse der Anwendungsuntersuchung sind im Folgenden beschrieben.

2 Flüssigboden

2.1 Eigenschaften

Flüssigboden ist ein zeitweise fließfähiger, selbstverdichtender Verfüllbaustoff (ZFSV), welcher aus Boden-Bindemittel-Gemischen, Wasser, Boden/Bodenaushub, Bindemitteln, quellfähigen Tonen und ggf. Zusatzstoffen besteht. Durch die natürlichen Bestandteile ist Flüssigboden auch ökologisch unbedenklich. Der dieser Bezeichnung zugrundeliegende Baustoff ist dadurch gekennzeichnet, dass er unter definierten Prozess- und Qualitätsanforderungen zeitweise fließfähig und selbstverdichtend ist sowie eine Endfestigkeit und eine Gas-/Wasserdurchlässigkeit besitzt, welche variabel einstellbar sind.

Flüssigboden ist im Einbauzustand fließfähig und erreicht in einer bestimmten Zeit eine einstellbare Festigkeit. Dieser Verfüllbaustoff ist wiederaushubfähig („stichfest“) und hat ähnliche bis gleiche bodenmechanische und bodenphysikalische Eigenschaften wie der umgebende Boden.

Durch die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens sind durch einfache Tiefbauarbeitsmittel spätere Instandhaltungsmaßnahmen ohne Probleme möglich.

2.2 Anwendungsgebiete für Flüssigboden

Je nach Rezeptur weist Flüssigboden verschiedene Eigenschaften auf. Durch die Fließfähigkeit kann Flüssigboden sich gut und gleichmäßig verteilen, wodurch eine gleichmäßige Bettung der verfüllten Anlagensysteme entsteht. Somit wird die Bettung homogener und weniger anfällig für nachträgliche Setzungen oder das Aufquellen des Bodens, wie es bei der konventionellen Verdichtung der Fall sein kann. Diese Eigenschaft ist insbesondere für Aufbauten auf dem Flüssigboden, z. B. Straßen, vorteilhaft.

Flüssigboden kann zudem weitere bestimmte Funktionen erfüllen, wie z. B.:
- Dränage,
- Gas-/Wassersperren,
- Auf-/Widerlager,
- Dämpfer,
- Dehnpolster,
- Dämmmaterial (Sicherung stillgelegter Leitungsabschnitte).

Sofern der Flüssigboden eine bestimmte Funktion ausüben soll, ist die Rezeptur daraufhin entsprechend anzupassen. Innerhalb des Verfüllbereiches können mehrere Funktionen festgelegt werden. In diesem Falle müssen gegebenenfalls mehrere Rezepturen erstellt und der Flüssigboden chargen- bzw. lagenweise eingebaut werden.

3 Anforderungen im Rohrleitungsbau

3.1 Allgemeines

Von Seiten der Leitungsstatik, also der Festigkeitsbewertung einer Gashochdruckleitung, die im Leitungsgraben mit Flüssigboden verfüllt ist, soll das Verfüllmaterial eine ähnliche Wichte wie der „natürliche Boden“ besitzen. Der Einfluss des Bodens bei 1,0 m Überdeckung auf die Belastung eines Rohres einer Gashochdruckleitung ist nachweislich vernachlässigbar. Für den Fall des Einsatzes von Flüssigboden kommen jedoch zwei neue Lastkollektive im Bauzustand hinzu, welche die Lagesicherheit und Stabilität beeinflussen können. Diese sind der Auftrieb und der hydrostatische Druck.

Die projektbezogenen Anforderungen an Flüssigboden ergeben sich im Wesentlichen aus dem baulichen Anwendungsfall, den anstehenden Bodenverhältnissen sowie Forderungen des Leitungsbetreibers und ggf. Betroffenen (z. B. Behörden und Anlieger). Die Anforderungen an den Flüssigboden im Rohrleitungsbau sind in Tabelle 1 zusammengestellt und erläutert. Je nach Anwendungsfall müssen nicht alle Anforderungen gestellt werden.

Anforderung	Grund / Bemerkung
Fließfähigkeit, Kennwert: Ausbreitmaß *a* Forderung: *a* = 500…700 mm	Ermittlung der Konsistenz des Baustoffes Ausbreitklassen für Flüssigboden von F4 bis F6 („sehr weich“ bis „sehr fließfähig“)
Leichte Wiederaushubfähigkeit, Kennwert: Druckfestigkeit β_D Forderung: $\beta_D \leq 0{,}20$ N/mm²	Definition der Lösbarkeit nach der Verfestigung Leichte Wiederaushubfähigkeit = Lösbarkeit von Hand mit Schaufel
Tragfähigkeit, Kennwert: E_{v2}-Wert Forderung: $E_{v2} \geq 45$ MN/m² (Verdichtungsgrad ≥ 100% D_{pr})	Festigkeitswert, typische Anforderung für Straßenaufbauten
Durchlässigkeit, Kennwert: Permeabilität *K* Forderung: $K_{FB} < K_{Boden}$	Quantifizierung der Durchlässigkeit von Böden und Fels für Flüssigkeiten oder Gase abhängig von Porosität und Klüftigkeit geforderte Durchlässigkeit des Flüssigbodens muss geringer als die des anstehenden Bodens sein
Spezifischer Bodenwiderstand, Kennwert: r (Rho)	Elektrischer Widerstand des Flüssigbodens (Korrosionsschutz)
pH-Wert	Flüssigboden bei Einbau alkalisch pH-Wert sinkt binnen 30-40 Tagen signifikant bis zur Neutralität pH-Wert ist vom Anwendungsfall abhängig

Tabelle 1: Übliche Anforderungen an den Flüssigboden [4]

3.2 Auftrieb

Wird eine Rohrleitung in Flüssigboden gebettet, wirkt, solange der Flüssigboden noch nicht abgebunden ist, auf die Rohrleitung eine Auftriebskraft. Die Auftriebskraft ist eine Funktion der Rohrleitungsgeometrie, der Dichte des Flüssigbodens und der Höhe, bis zu der die Leitung im nicht abgebundenen Flüssigboden gebettet wird und wirkt entgegengesetzt der Gewichtskraft. Ist die Auftriebskraft höher als die Gewichtskraft, schwimmt die Rohrleitung auf. Die Rohrleitung wird am Aufschwimmen gehindert, wenn sie außerhalb der Baugrube im Boden gebettet ist oder andere Randbedingungen dies verhindern.

Die Wirkung des Auftriebs kann z. B. durch eine Teilfüllung, die „Sandwichbauweise“ oder durch die konstruktive, temporäre oder dauerhafte Ausbildung einer Auftriebssicherung gemindert werden. Dabei muss die Auftriebssicherung die Auftriebskräfte der Gashochdruckleitung vollständig und sicher aufnehmen und abtragen können, z. B. durch eine Bodenrückverankerung oder die Ausbildung von Bodenriegeln.

3.3 Hydrostatischer Druck

Bis zum Abbinden des Flüssigbodens wirken hydrostatische Außendrücke, welche bei bestimmten Verhältnissen zwischen Wanddicke und Rohrdurchmesser von Stahlrohren und Kunststoffleitungen ohne ausreichenden Innendruck (z. B. in der Bauphase) zu Stabilitätsproblemen führen können. Ist der Flüssigboden ausgehärtet, wirkt die Stützwirkung des Bodens, wodurch sich die Last auf die Leitung verringert.

4 Anwendung von Flüssigboden am Beispiel der ZEELINK

4.1 Strecken-/ Armaturenstationen Marbeck und Tungerloh

Im Rahmen dieser Baumaßnahme hat die OGE anhand einer neu errichteten Strecken-/Armaturenstation der Gasfernleitung ZEELINK Flüssigboden als Verfüllbaustoff geprüft und eingesetzt. Dabei wurde unter anderem das schwingungsdämpfende Verhalten des Flüssigbodens untersucht. In einem Feldversuch wurden Schwingungen in der Nähe der in Flüssigboden gebetteten Station (Marbeck) gemessen und mit Messungen an einer zweiten Station (Tungerloh) mit konventioneller Bettung verglichen.

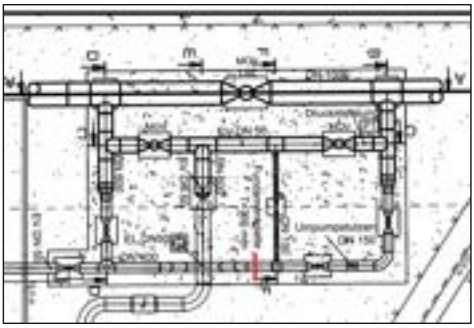


Abbildung 1: Lageplan Station Marbeck der ZEELINK

Beide Stationsstandorte besitzen eine große Ähnlichkeit in der lokalen Geologie, welche im Wesentlichen aus umgelagerten Böden sowie Tonen und Sanden besteht. Dementsprechend waren vergleichbare dynamische Systemantworten während der Schwingungsanregung zu erwarten.

Im Vorfeld des Vorhabens wurde die Auftriebskraft der Station Marbeck untersucht. Die Station besitzt eine Gesamtmasse von ungefähr 35 t. Die rechnerische Auftriebskraft bei kontinuierlicher Verfüllung bis zum obersten Rohrscheitel und die Gewichtskraft der Station sind in Abbildung 2 gegenübergestellt.



Abbildung 2: Auftriebskraft der Station Marbeck

4.2 Einbaubedingungen

Der Einbau des Flüssigbodens erfolgte an der Station Marbeck wie geplant an zwei Tagen. Die Verfüllung mit Flüssigboden ist vom Fundament bis knapp 0,1 m über dem höchstgelegenen Rohrscheitel innerhalb der Station erfolgt. Oberhalb des Flüssigbodens ist anschließend konventionell verfüllt worden. Abbildung 3 zeigt die Station Marbeck bei vorangeschrittener Verfüllung.



Abbildung 3: Station Marbeck bei vorangeschrittener Verfüllung

Der Flüssigbodens ist lagenweise in einer „Sandwichbauweise“ verbaut worden. Die erste Lage erfolgte bis zu den Kämpfern (Mitte der Verrohrung, bei ca. 1,7 m oberhalb des Fundamentes). Die zweite Lage wurde nach einer Wartezeit von ungefähr einem Tag eingebaut. Die Lagen der Verfüllung der Station sind schematisch in Abbildung 4 dargestellt.

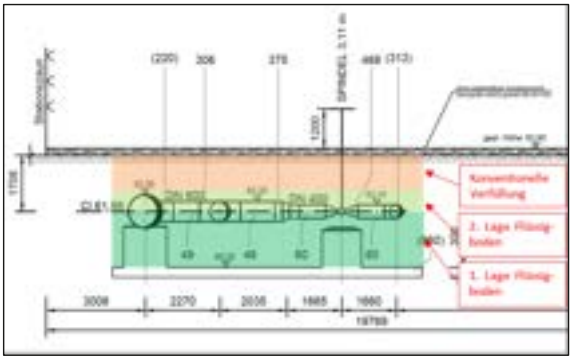


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Verfüllung

4.3 Qualitätssicherung / Überwachungskonzept

Das Überwachungskonzept dient der Gewährleistung der Qualität des Flüssigbodens im Einbau- und Endzustand. Das Überwachungskonzept setzt sich für die Bauausführung gemäß [2] und [3] aus Eigen- und Fremdüberwachung zusammen. Die Durchführung einer Fremdüberwachung ist dabei nicht verpflichtend.

Eigenüberwachung

Die Eigenüberwachung erfolgte durch die bauausführende Fachfirma Anton Meyer bzw. ihre Kontraktoren (ARGE Los 3+5 Friedrich Vorwerk, PPS, Anton Meyer). Es hat eine Prüfung der Einhaltung der Vorgaben hinsichtlich der Herstellung, des Transportes und des Einbaus von Flüssigboden gegeben. Die Ergebnisse wurden im Bautagebuch dokumentiert.

Der Prüfumfang der Eigenüberwachung gilt für die folgenden Bereiche:

Herstellung:	Rezepturprüfung je Lieferung Prüfung der Lieferscheine und Herstellerbescheinigungen
Transport:	Prüfung der Einbauzeit je Lieferung (in der Regel 90 min)
Einbau:	Prüfung der Witterungsbedingungen Führung des Bautagebuches Wasserzugaben sind mit Lieferanten und Kunden abzustimmen und zu dokumentieren Prüfung des Ausbreitmaßes nach [1] Prüfung der Schütthöhe (nicht mehr als 50 cm)

Fremdüberwachung

Die Fremdüberwachung des Flüssigbodens erfolgte gemäß [3] durch ein zugelassenes Prüfinstitut. Allgemein gilt: Ist der Flüssigboden nach erfolgter Eigenüberwachung eingebaut worden, sind einer oder mehrerer beliebiger Lieferungen während des Einbaus Proben zu entnehmen und gemäß den Anforderungen nach [3] zu prüfen. Die Anzahl der Proben richtet sich nach den zu prüfenden Eigenschaften und sollte bei Fremdüberwachung mit der Prüfstelle abgestimmt werden.

Die Qualitätssicherung wird durch die Dokumentation jeglicher Schritte des Flüssigbodeneinbaus sichergestellt. Folgende Unterlagen sollten für die Dokumentation des Flüssigbodeneinbaus zusammengetragen werden:

- Flüssigboden-Rezeptur,
- Herstellerbescheinigungen,
- Lieferscheine,
- Ergebnisse der Vor-Ort-Prüfungen (Ausbreitmaße, Charge),
- Probenzuordnung zur Lieferung,
- Ergebnisse Fremdüberwachung,
- Lagevermessung vor, während und nach der Verfüllung.

4.4 Schwingungs- und Messverfahren

Für die Untersuchung einer möglichen schwingungsdämpfenden Eigenschaft des Flüssigbodens sind seismische Messungen durchgeführt worden. Bei seismischen Messungen wird der Untergrund mittels Schallwellen untersucht, um ein seismisches Echo zu erhalten. Ziel der Anregung außerhalb der Stationen ist es, die Schwingung an den Stationen aufzuzeichnen und zu vergleichen. Somit lässt sich feststellen, ob der Flüssigboden andere Schwingungseigenschaften aufweist als eine konventionelle Verfüllung.

Die Anregung einer typischen Schwingungsbeeinflussung kann durch oberirdische Anregung des Bodens mit Maschinentechnik erfolgen. Für das Projekt wurde ein „VibroTruck“ ausgewählt (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: VibroTruck der Firma Baudynamik Heiland & Mistler GmbH

Die seismischen Anregungen werden durch einen am VibroTruck montierten Kolben erzeugt. Mit dem VibroTruck lassen sich die eingebrachte Energie und der Frequenzbereich steuern. Zudem kann der VibroTruck an jeder zugänglichen Stelle platziert werden und ist somit deutlich flexibler einsetzbar als stationäre Energiequellen.

Für das Messverfahren wurden in diesem Feldversuch festgelegte Objekte aufgezeichnet. Die Messüberwachung erfolgte soll sowohl oberirdisch als auch unterirdisch. Unterirdisch wurden

Dehnungsmesstreifen (DMS) an der Verrohrung appliziert. Oberirdisch wurden Schwingungsaufnehmer (Geophone) an den Absperrarmaturen befestigt (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Station Marbeck, Installation der Messsensoren

Zur Ermittlung der Positionen der DMS wurden im ersten Schritt die geometrischen und statischen Größen der Systeme aufgenommen (Abmessung, Geometrie, Lasten, Gewichte) und in einem entsprechenden Rechenmodell Schwinggeschwindigkeiten auf die Station aufgeprägt. Aus diesen Betrachtungen wurden, die an den stärksten schwingenden Positionen ermittelt, an welchen die DMS appliziert wurden.

4.5 Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Laborergebnisse für die Qualitätssicherung des Flüssigbodens, die Erkenntnisse des Flüssigbodeneinbaus und die Ergebnisse des Feldversuches an den beiden Standorten Tungerloh und Marbeck lassen folgende Erkenntnisse zu:

- Flüssigboden stellt eine gute Alternative zur konventionellen Verfüllung von Armaturen/-Streckenstationen dar.
- Durch den Einsatz von Flüssigboden können Beschädigungen/Einwirkungen von konventionellen Verdichtungsverfahren auf Stationsrohrbauteile/-systeme vermieden werden.
- Über die Rezeptur des Flüssigboden lassen sich anwendungsspezifische Anforderungen steuern. Es ist möglich, mehrere Eigenschaften des Flüssigbodens gezielt durch dessen Rezeptur zu beeinflussen.
- Flüssigboden kann zur lückenlosen Verfüllung von Stationen angewendet werden und sorgt zusätzlich für eine homogene Verdichtung (gleichmäßige Bettung).
- Die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens mit normalen Tiefbauarbeitsmitteln ermöglicht eine problemlose spätere Instandhaltung der Stationssysteme.
- Die beobachteten Unterschiede der Messwerte im Anregungsfrequenzbereich 1 – 10 Hz zwischen den beiden Standorten sind signifikant und deuten auf eine schwingungsdämpfende Wirkung des Flüssigbodens bei niedrigfrequenten Schwingungen hin. Dieser Frequenzbereich ist beispielsweise typisch für Erdbeben.
- Für den Frequenzbereich von >10 – 30 Hz ergibt sich ein uneindeutiges Bild, das keine Interpretation hinsichtlich des Einflusses des Flüssigbodens erlaubt.

5 Zusammenfassung

Flüssigboden kann als Alternative zu konventionellen Verfahren zur Verfüllung von Rohrleitungsgräben und Baugruben von Armaturen- und Stationsanlagen eingesetzt werden. Flüssigboden eignet sich dabei besonders bei schwierigen und beengten Verfüllsituationen.

In Anbetracht eines Lastfalles auf Gastransportsysteme durch mögliche äußere Schwingungen, hat die OGE für die Station Marbeck der ZEELINK den Einbau von Flüssigboden durchgeführt und untersucht. Um die Verfüllung mit Flüssigboden mit einer konventionellen Verfüllung einer Station zu vergleichen, sind in einem Feldversuch die Stationen Marbeck und Tungerloh hierzu ausgewählt worden. Ziel der Anwendung war die Untersuchung der Eigenschaften des Flüssigbodens als Verfüllbaustoff allgemein und im Vergleich zu konventionellen Verfahren sowie die Ermittlung möglicher schwingungsdämpfender Eigenschaften.

Der Einsatz von Flüssigboden am Beispiel der Station Marbeck der ZEELINK zeigt, dass Flüssigboden als vielseitiger Verfüllbaustoff für Gastransportsysteme und deren Anlagen eingesetzt werden kann. Die Eigenschaften des Flüssigbodens sind je nach Rezeptur anpassbar. Eine schwingungsmindernde Eigenschaft des Flüssigbodens konnte im Rahmen der Anwendungsuntersuchung anhand eines Feldversuches im unteren Frequenzbereich von 1 – 10 Hz ermittelt werden.

Mit Flüssigboden kann eine homogene gleichmäßige Bettung von Gastransportsystemen erreicht werden. Die Wiederaushubfähigkeit des Flüssigbodens ermöglicht darüber hinaus mit einfachen Tiefbauarbeitsmitteln spätere Instandhaltungsmaßnahmen an den Stationssystemen.

6 Literatur

[1] DIN EN 12350-5: „Prüfung von Frischbeton - Teil 5: Ausbreitmaß; Deutsche Fassung EN 12350-5:2009“, Ausgabe 08/2009

[2] Qualitätsrichtlinie Flüssigboden (QRF), Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigboden e. V., Ausgabe 03/2017

[3] Gütesicherung RAL-GZ 507: „Flüssigboden“, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., Ausgabe 02/2019

[4] Bericht Nr. 19320: „Forschungsvorhaben Flüssigboden“, aufgestellt von Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH vom 29.06.2021

Autoren:

Dipl.-Ing.
Franz-Josef Kißing
Open Grid Europe GmbH
Essen
Tel.: +49 201 3642 18226
E-Mail:
franz-josef.kissing@oge.net
Internet:
www.oge.net



Dipl.-Wirt.-Ing.
André Grassmann
Open Grid Europe GmbH
Essen
Tel.: +49 201 3642 18173
E-Mail:
andre.grassmann@oge.net
Internet:
www.oge.net



Bau einer Gashochdruckleitung quer durch eine Großstadt

Von Stanislav Daschevski

1 Einleitung

Aufgrund der hohen Siedlungsdichte in Deutschland und der notwendigen Versorgungssicherheit führen Gashochdruckleitungen unweigerlich mitunter dicht an bebaute Gebiete und an Verkehrsflächen heran bzw. kreuzen diese. Bei Planung, Bau und Betrieb von Gashochdruckleitungen müssen deshalb Sicherheit und Schutz von Mensch und Umwelt an erster Stelle stehen.

Die Bemessung von Gashochdruckleitungen erfolgt weltweit nach deterministischen Verfahren, welche aus festgelegten Systemgrößen und Sicherheiten bestehen. Im deutschen Normenraum sind für Gashochdruckleitungen die Regelwerke des Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) und die Normen des Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) sowie die daran anschließenden Regeln und Richtlinien zu berücksichtigen.

Einwirkungen, wie beispielsweise Unfälle von Fahrzeugen oder Baumaschinen, welche eine Gashochdruckleitung beschädigen können, lassen sich deterministisch nicht sinnvoll in die Bemessung einbinden. Hierfür existiert die probabilistische Bemessung, welche mit der DIN EN ISO 16708 rechtsverbindlich in Deutschland vorliegt.

Für den Bau einer Gashochdruckleitung quer durch eine Großstadt wird neben dem deterministischen Verfahren auch das probabilistische Bemessungsverfahren angewendet. Dadurch kann ein hohes Sicherheitsniveau der Gashochdruckleitung nachgewiesen werden, welches die zuständigen Normen und Regelwerke erfüllt und damit für eine hohe Sicherheit für Mensch und Umwelt sorgt.

Am Beispiel einer geplanten Gashochdruckleitung von ca. 9,6 km Länge durch den Berliner Stadtteil Marzahn werden sowohl die zuständigen Rechtsvorschriften, Bemessungsverfahren als auch die Sicherheitsmaßnahmen aufgezeigt, welcher es für eine solche Planungs- und Durchführungsmaßnahme bedarf.

2 Kurzbeschreibung der Gashochdruckleitung

Bei der im Weiteren beschriebenen Gashochdruckleitung handelt es sich um die Gasanbindungsleitung Marzahn (GAM) der ONTRAS Gastransport GmbH (ONTRAS). Die Gashochdruckleitung befindet sich derzeit im Genehmigungsverfahren und wird nach dem Bau das Heizkraftwerk (HKW) Marzahn der Vattenfall Wärme Berlin AG (Vattenfall) mit dem Fernleitungsnetz der ONTRAS am Netzanschlusspunkt (NAP) Ahrensfelde verbinden.

Die GAM aus dem Werkstoff L360 mit einem Nenndurchmesser DN 400 und einer Wandstärke von 12,5 mm dient dem HKW Marzahn zur Belieferung mit Erdgas und wird mit einem Betriebsdruck von 63 bar betrieben werden.

Die Trasse der GAM liegt überwiegend im innerstädtischen Bereich (siehe Abbildung 1) und soll in der Regel in offener Bauweise verlegt/gebaut werden, in Ausnahmefällen in geschlossener Bauweise. Dabei wird die Trasse hauptsächlich im Straßenverlauf von Haupt- und Nebenverkehrswegen verlegt.



Abbildung 1: Trassenverlauf der Gasanbindungsleitung Marzahn

3 Technische Sicherheit von Gashochdruckleitungen

3.1 Bemessung nach dem Stand der Technik

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Energieversorgung werden im Energiewirtschaftsgesetz in § 49 „Anforderungen an Energieanlagen“ definiert. Absatz 1 besagt: „… Energieanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.“ Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn

nach Absatz 2 „… bei Anlagen zur Erzeugung die Fortleitung und Abgabe von … Gas die technischen Regeln der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) eingehalten worden sind."

Für Gashochdruckleitungen erfolgt die Bemessung gemäß Normen und Regelwerken nach dem deterministischen Verfahren. Bindend für die Bemessung und den Betrieb sind die Regelwerke des DVGW und die Normen des DIN. Im Speziellen sind für die Bemessung von Gashochdruckleitungen die DIN EN 1594 [1] und das DVGW G 463 [2] zu berücksichtigen.

Gemäß [1] und [2] werden Gashochdruckleitungen mit Sicherheitsbeiwerten bemessen. Am Beispiel der GAM ist die Bemessung um den Faktor 2,2 gegenüber dem geforderten Sicherheitsbeiwert von 1,6 überbemessen. Die Regeln der Technik und die damit einhergehenden Sicherheitsaspekte werden damit erfüllt und übertroffen.

3.2 Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen

3.2.1 Allgemeines

Ziel jeder sicherheitstechnischen Betrachtung ist der Schutz menschlichen Lebens. Es wird erwartet, dass jedes technische System (hier: Gasleitung) menschliches Leben nicht gefährdet. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zahlreiche Vorschriften und Bestimmungen - sowohl für die Errichtung als auch für den Betrieb einer Leitung - aufgestellt worden. Diese Vorschriften und Bestimmungen gehören zu den allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Die Beschreibung und Bewertung eines verbleibenden Risikos, welches jedes technische System hat, erfolgt mit probabilistischen Verfahren zur Berechnung einer Versagenswahrscheinlichkeit des Systems, mithilfe der Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse (eng. structural reliability analysis – SRA) sowie der betragsmäßigen Quantifizierung der Folgen dieses Versagens, mithilfe der Quantitativen Risikoanalyse (eng. quantitative risk assessment – QRA), in Gegenüberstellung zulässiger Grenzwerte.

Als bestimmendes Versagen zur Beschreibung der technischen Sicherheit einer Gasleitung ist die „Undichte", d. h. der Austritt des Mediums aus der Gasleitung.

3.2.2 Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse

In Ergänzung zur deterministischen Bemessung wird die Sicherheit der GAM im Rahmen der SRA untersucht.

Bei der SRA werden, entgegen der deterministischen Bemessung, sämtliche mögliche Lastfälle mit der jeweiligen Auftretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt und die Tragfähigkeit der Struktur in einer Zuverlässigkeitsanalyse bewertet. Bei den Berechnungen wird über die Streuung der Parameter die Zuverlässigkeit des Systems in Form einer berechneten Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt. Diese Bewertung erfolgt ergänzend zur Bemessung und ersetzt diese nicht. Die Aussagen der SRA dienen der Quantifizierung des Sicherheitsniveaus der

Gashochdruckleitung unter Berücksichtigung äußerer Einflüsse sowie zusätzlicher Sicherungsmaßnahmen, welche in der deterministischen Bemessung nach Vorschriften nicht quantifiziert sind.

Im Rahmen der SRA wird unter Verwendung der Rechenalgorithmen nach einer Versagenswahrscheinlichkeit infolge der Gefährdung durch Dritte und nach einer Versagenswahrscheinlichkeit infolge mechanischer Beanspruchung unterschieden. Die Algorithmen stützen sich auf anerkannte Berechnungsmodelle der Statik und der Statistik und sind damit eindeutig reproduzierbar und nachvollziehbar.

Bei der Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit infolge der Gefährdung durch Dritte ist das Versagen gleichgesetzt mit dem Auftreten einer Undichte. Hierbei ist es unerheblich, ob es sich bei dieser Undichte um ein Loch, aus dem nur begrenzte Gasmengen austreten, oder um einen Totalabriss der Leitung handelt. Die ermittelten Ergebnisse sind konservativ, da sie immer den Totalabriss abdecken, auch wenn es lediglich zu punktuellen Gasaustritten kommt.

Bei der Ermittlung des Versagens infolge mechanischer Beanspruchung wird als Versagen das Erreichen der Materialstreckgrenze definiert. Das heißt, die im Werkstoff hervorrufenden Beanspruchungen liegen über der Werkstoffstreckgrenze. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass der Werkstoff auch über die Streckgrenze hinaus, unter Inkaufnahme plastischer Verformungen, beansprucht werden kann, ohne dass es zu einer Beschädigung oder einem Gasaustritt kommt. Die Bewertung ist daher als konservativ zu betrachten.

3.2.3 Quantitative Risikoanalyse

Bei der QRA handelt es sich um ein Verfahren zu Berechnung und Bewertung des Risikos bzw. der Folgen eines Versagens für Mensch und Umwelt, welches von einer technischen Anlage - im vorliegenden Fall Gasleitung - ausgeht. Auch hier muss eine Verkettung von weiteren Ereignissen oder Umständen stattfinden, damit eine tatsächliche Beeinträchtigung vorliegt.

Zur Beurteilung der Folgen eines Leitungsschadens müssen der Austritt des Gases aus der Leitung, die Ausbreitung des Gases im Umfeld der Leitung und die Einwirkung auf die im Umfeld der Leitung anwesenden Personen modelliert und berechnet werden.

Aus der Verknüpfung der SRA- und QRA-Bewertungen lässt sich im Ergebnis ein Risiko berechnen und bewerten, welches für den Einzelnen und für die Gesellschaft von der Leitung ausgeht. Man spricht hierbei von einem individualen Risiko und einem gesellschaftlichen Risiko. Das Ergebnis einer QRA ist somit keine absolute Aussage über das Sicherheitsniveau einer Leitung, sondern eine Aussage über das von der Leitung ausgehende Risiko und dessen Zulässigkeit im Vergleich zu entsprechenden Grenzwerten.

Das Risiko wird durch das Verfahren quantifiziert und die Zulässigkeit des berechneten Risikos wird anschließend anhand festgelegter Grenzwerte bestimmt.

3.3 Bautechnische und betriebliche Sicherheitsmaßnahmen

Um für die GAM eine hohe Sicherheit während des Baus und des Betriebes zu gewährleisten, sind die Umsetzung einer entsprechenden Instandhaltungsstrategie sowie bautechnischer und betrieblicher Sicherheitsmaßnahmen notwendig.

Bautechnisch werden folgende Maßnahmen zur Prüfung und zum Nachweis der Sicherheit angewendet:

- erhöhte Rohrwanddicke auf 12,5 mm,
- erhöhte Regelüberdeckung auf 1,2 m,
- Verlegung eines Warnbandes ca. 40 cm oberhalb der Leitung,
- Verwendung von passivem Korrosionsschutz (Außenumhüllung aus Polyethylen nach DIN 30670),
- molchbare Ausführung der Gasleitung,
- doppelte Schweißnahtprüfung (Röntgen und Ultraschall) sowie
- Druckprobe im Stressverfahren mit einem Innendruck größer als der geplante maximale Betriebsdruck.

Die Überwachung des Betriebes erfolgt durch kontinuierliche Aufzeichnung der Betriebs- und Prozessparameter des Gastransportes. Die Daten werden in eine ständig besetzte Leitwarte übertragen und bei Grenzwertüberschreitungen wird Alarm ausgelöst. Diese Art der Fernüberwachung wird zusätzlich in periodischen Abständen durch Sichtkontrollen ergänzt.

Die aktiven betrieblichen Sicherheitsmaßnahmen bestehen konkret aus:

- Einsatz von aktivem Korrosionsschutz mit Kathodenschutzanlagen (KKS),
- Überwachung der KKS-Betriebsgrößen in Echtzeit und Detektion von Beschädigungen in Echtzeit,
- permanente Druck- und Durchflussüberwachung durch die Dispatchingzentrale der ONTRAS,
- wiederkehrende Begehung und/oder Befliegung der Leitung,
- wiederkehrende Inspektion der Leitung mit Inspektionsgerät (Molch) sowie
- wiederkehrende SRA und QRA mit aktuellen Zustandsdaten aus Molchung und Betriebsdatenaufzeichnung der Leitung.

3.4 Erweiterte Sicherheitsmaßnahmen für die Gasanbindungsleitung Marzahn

3.4.1 Allgemeines

Im Rahmen der Planung wurden technische Aspekte betrachtet, welche Aussagen zum Systemverhalten bei Leckage oder bei Havarie geben und diese mit anderen technischen Systemen des Energietransportes verglichen. Hierzu sind die nachfolgenden technischen Aspekte untersucht worden.

3.4.2 Druckverlustberechnung

Unter dem Aspekt der Erhöhung des Sicherheitsniveaus wurde die Möglichkeit der Trassenteilung in Leitungssegmente, welche durch selbstschließende Sicherheitsarmaturen getrennt sind, untersucht. Eine durchgeführte Druckverlustberechnung untersuchte dabei die Auswirkungen von theoretisch unterstellten Leckagen auf die Funktionalität von selbstschließenden Sicherheitsarmaturen.

Im Ergebnis wurde unter den vorliegenden Randbedingungen ein rechnerischer Druckverlust zwischen ca. 0,13 bar und 0,68 bar über die gesamte Transportstrecke ermittelt. Bei kurzen Transportstrecken, z. B. 500 m, liegt der Druckverlust und damit die Detektionsgrenze der äquivalenten Leckgrößen unterhalb der Fehlerbandbreite klassischer Drucksensoren von 0,1 % zum Nennwert. Wird die gesamte Leitungsstrecke als ein Leitungsabschnitt betrachtet, so sind die Druckverluste der äquivalenten Leckagen durch die Messtechnik gut erfassbar.

Ein „plötzliches“ Öffnen der Regelstrecke zur Versorgung der nachgelagerten Gas- und Dampfturbine (GuD) würde kurzzeitige Druckgradienten in einer 500 m entfernten, theoretisch angenommenen, selbstschließenden Sicherheitsarmatur erzeugen, welche weitaus größer wären als die einzustellenden Drucktoleranzgrenzen zur Erkennung einer Leckage. Ohne dynamische Anpassung der Druck-Toleranzgrenzen der selbstschließenden Sicherheitsarmatur ist ein plötzliches Schließen der Sicherheitsarmatur beim plötzlichen Öffnen der Regelstrecke der GuD-Versorgungschiene zu erwarten.

3.4.3 Risikovergleich

Im Rahmen eines von der Berliner Energieaufsichtsbehörde angeregten qualitativen Risikovergleiches wurde das von einer Gashochdruckleitung ausgehende Risiko dem Risiko einer Havarie eines Tanklastwagens im innerstädtischen Bereich gegenübergestellt.

Im Ergebnis wurde gezeigt, dass die Gashochdruckleitung ein rund 490-fach (Leck) bzw. rund elffach (Vollabriss) geringeres Risiko gegenüber dem Tanklastwagen für lebensbedrohliche bzw. schädliche Auswirkungen darstellt. Somit ist das von einer Gashochdruckleitung ausgehende Risiko um ein Vielfaches geringer als das derzeit zulässige Risiko einer Havarie eines Tanklastwagens im innerstädtischen Bereich.

4 Sicherheitsanalyse der GAM auf Basis einer SRA und QRA

4.1 Allgemein

Für die GAM sind das SRA- und QRA-Verfahren im Rahmen einer Sicherheitsanalyse angewendet worden. Es sind Versagenswahrscheinlichkeiten eines möglichen Leitungsschadens ermittelt worden, sowie Folgen und Auswirkungen eines möglichen Leitungsschadens berechnet und bewertet worden.

4.2 SRA

Im Rahmen der SRA wird - wie eingangs - beschrieben nach einem mechanischen Versagen und einem Versagen durch Dritte unterschieden. In der DIN EN ISO 16708 [3] sind Grenzwerte für mechanische Versagen nach Klassen definiert. Folgende Klassen werden demnach definiert:

- Sicherheitsklasse 1 (niedrig),
- Sicherheitsklasse 2 (mittel),
- Sicherheitsklasse 3 (hoch) und
- Sicherheitsklasse 4 (sehr hoch).

Die Klasse „sehr hoch“ wird gemäß [3] als zulässiger Grenzwert für die SRA herangezogen. Versagenswahrscheinlichkeiten für Gasleitungen werden in

$$Ereignisse\ pro\ km\ und\ Jahr$$

angegeben. Eine Versagenswahrscheinlichkeit von 1,00 bedeutet somit, dass mit dem Auftreten eines Schadensfalles pro Jahr und Kilometer zu rechnen ist und ein Wert von $1{,}00 \cdot 10^{-6}$ bedeutet, dass mit einem Ereignis in einer Millionen Jahre pro Kilometer zu rechnen ist.

Für die GAM sind folgende Versagenswahrscheinlichkeiten (Pf) im Mittelwert und Maximalwert berechnet worden:

Versagensart	Versagenswahrscheinlichkeit [Ereignisse pro km und Jahr]		
	Grenzwert/ Referenzwert	Maximum	Mittelwert
mechanisches Versagen	$1{,}18 \cdot 10^{-6}$	$1{,}00 \cdot 10^{-20}$	$1{,}00 \cdot 10^{-20}$
Versagen durch Dritte	$8{,}00 \cdot 10^{-6}$	$1{,}97 \cdot 10^{-7}$	$2{,}25 \cdot 10^{-8}$

Tabelle 1: Versagenswahrscheinlichkeiten der GAM

Die Ergebnisse zeigen, dass die Nachweise gegenüber den zulässigen Grenzwerten erbracht werden und mit einer sehr hohen Sicherheit der GAM in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit eines Versagens zu rechnen ist.

4.3 QRA

Das Verfahren der SRA mit der Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeit ist durch die Definitionen und Sicherheitsklassen der DIN EN ISO 16708 im deutschsprachigen Raum etabliert und anerkannt. Obwohl mit der DIN EN ISO 16708 [3] einzuhaltende Grenzwerte vorliegen, ist das auf der SRA aufbauende Verfahren der QRA in Deutschland noch nicht verbreitet.

In der DIN EN ISO 16708 werden lediglich Richtwerte und mögliche Definitionen eines Risikos benannt. Verschiedene europäische Nachbarländer haben das Verfahren der QRA weiterentwickelt und im technischen Regelwerk sowie in Gesetzen verankert. Für die GAM wurde sich daher an Grenzwerten und Richtwerten nach dem Schweizer Rahmenbericht [4] und dem Purple Book [5] orientiert.

Im Rahmen der QRA wird - wie eingangs beschrieben - nach einem individualen und einem gesellschaftlichen Risiko unterschieden. Das Risiko wird dabei in

$$Ereignisse\ pro\ Jahr$$

angegeben. Das Risiko bezieht sich dabei auf die Gesamtheit einer technischen Anlage. Der Kilometerbezug bei einer Gasleitung entfällt dadurch. Berechnete Ergebnisse gelten dadurch für die gesamte Leitungstrasse.

Für die GAM sind folgende Risiken berechnet worden:

Risikokriterium	Risiko [Ereignisse pro Jahr]	
	Grenzwert	Maximum
individual Risiko	$1{,}00 \cdot 10^{-6}$	$1{,}34 \cdot 10^{-9}$
gesellschaftliches Risiko	$1{,}00 \cdot 10^{-4}$	$2{,}59 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 2: Risiken der Gasanbindungsleitung Marzahn

Auch im QRA-Verfahren zeigt sich, dass die zulässigen Nachweise gegenüber den Grenzwerten erfüllt worden. Das berechnete Risiko für die Trasse der Gasleitung in Bezug auf eine Leckage mit anschließenden Folgen und Auswirkungen auf Personen ist sehr gering, wodurch eine hohe Sicherheit der Gasleitung gegeben ist.

5 Fazit

Die GAM ist hinsichtlich ihrer technischen Planung, Ausführung und ihres künftigen Betriebes als sicher zu bewerten, da sie nach den zuständigen Regelwerken und Normen ausgelegt worden ist. Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen in dicht besiedelten Gebieten ist die Gasleitung entsprechend den geltenden Regelwerken überbemessen, wodurch ein hohes Sicherheitsniveau erreicht wird.

Darüber hinaus ist die Gasleitung mit einem Zuverlässigkeits- und einem Risikoverfahren bewertet worden, wodurch zusätzlich mögliche Versagen der Gasleitung und deren Folgen für die nahe Umgebung in der Bewertung mit abgebildet worden sind. Zulässige Grenzwerte für Versagenswahrscheinlichkeiten und sowie individuale und gesellschaftliche Risiken werden erfüllt.

6 Zusammenfassung

Bei der Planung und dem Bau von Gashochdruckleitungen müssen die Integrität der Gasleitung sowie der Schutz und die Sicherheit von Mensch und Umwelt an erster Stelle stehen. Neben den gesetzlichen und normativen Anforderungen an die Planung von Gashochdruckleitungen sind darüberhinausgehende Sicherheitsmaßnahmen anzuwenden, welche die Sicherheit und Integrität der Gasleitung und der Umgebung auch in Gebieten mit hohem Schutzbedürfnis gewährleisten.

Die GAM verläuft überwiegend im dicht besiedelten Berliner Stadtteil Marzahn und stellt somit ein Gebiet mit hohem Schutzbedürfnis dar. Für die betriebliche und bauliche Sicherheit der Gasleitung sind über die deterministische Bemessung hinausgehende Maßnahmen angewendet worden. Damit wird ein hohes Sicherheitsniveau der Gasleitung gewährleistet.

Für die GAM kommen neben den gesetzlich geforderten Bemessungsrichtlinien Verfahren für Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen, in Form einer Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse (SRA) und einer Quantitativen Risikoanalyse (QRA), zum Einsatz. Im Rahmen dieser Berechnungen werden Versagenswahrscheinlichkeiten (SRA) und Risiken (QRA) ermittelt. Die Zulässigkeit der Verfahren und Ergebnisse richtet sich bei der SRA nach nationalen Normen und bei der QRA nach etablierten anerkannten Regelwerken aus europäischen Nachbarländern.

Die berechneten Ergebnisse der Zuverlässigkeits- und Risikobewertung der GAM liegen unterhalb der zulässigen Grenz- und Referenzwerte. Damit ist eine hohe Sicherheit der Gasleitung in Bezug auf mögliches Versagen in Form von Leckagen und deren Auswirkungen auf die nahe Umgebung gewährleistet.

7 Literatur

[1] DIN EN 1594: „Gasversorgungssysteme – Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar – Funktionale Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1594:2013, Ausgabe 06/2013.

[2] Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 463 (A): „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Errichtung“, Ausgabe 07/2016.

[3] DIN EN ISO 16708: „Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems – Reliability based limit state methods”, Ausgabe 08/2006.

[4] Swissgas: „Rahmenbericht zur standardisierten Ausmaßeinschätzung und Risikoermittlung“, Schweiz, Revision 2010.

[5] Guidelines for quantitative risk assessment, „Purple Book”, CPR 18E, Committee for the Prevention of Disasters, The Hague.

Autor:

Dipl.-Ing. Stanislav Daschevski
Dr.-Ing. Veenker
Ingenieurgesellschaft mbH,
Hannover

Tel.: 0511/28499-0
E-Mail:
Stanislav.Daschevski@veenker-gmbh.de
Internet:
https://www.veenkergmbh.de/



4
Rohrsanierung: Neuerungen für Hauptkanäle, Grundstücksentwässerungsanlagen, Fernwärmeleitungen

Grabenlose Renovierung und Erneuerung von stark beschädigten Kanälen

Von Benedikt Stentrup

1 Einleitung

Die Sanierung von Rohrleitungen bzw. Kanälen wird nach den gängigen Regelwerken in die drei Untergruppen Reparatur, Renovation und Erneuerung unterteilt. Während bei der Kanalreparatur in der Regel punktuelle Schäden z.B. mit Robotertechniken behoben werden, beziehen sich die Sanierungsverfahren der Gruppen Renovation und Erneuerung üblicherweise auf ganze bzw. mehrere Haltungen. Die neue oder verlängerte Nutzungsdauer der sanierten Leitung ist bei Renovations- und Erneuerungsverfahren mittel- und langfristig angelegt.
Die Auswahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens und auch des dafür eingesetzten Rohrmaterials hängt von vielen Parametern ab. Neben der Verteilung und Ausprägung von Schäden in den Kanalnetzen spielen auch statische, hydraulische oder sonstige Rahmenbedingungen (z.B. Verkehrssituation, Abwasserüberleitung während der Bauzeit) eine Rolle bei der Festlegung von Maßnahmen. Bei der wirtschaftlichen Betrachtung verschiedener Sanierungsvarianten wird neben den heutigen Projektkosten vor allem die zu erwartende Nutzungsdauer ein wichtiger Faktor für die Auswahl des projektspezifisch besten Sanierungsverfahrens spielen.
Der Fokus dieses Vortrages liegt in der grabenlosen Sanierung von stark beschädigten Abwasserkanälen, bei denen aufgrund der Ausprägung der Schäden die klassischen Renovationsverfahren (z.B. Schlauchliner) nicht mehr eingesetzt werden können. Hier bieten die im Folgenden beschriebenen Verfahren eine technische, wirtschaftliche und umweltschonendere Alternative zum Neubau in offener Bauweise.
Neben möglichen Anwendungsbereichen und technischen Verfahrensbeschreibungen sollen im Rahmen dieser Abhandlung auch aktuelle Regelwerke berücksichtigt werden.

2 Sanierbare Schadensbilder

Der Verfasser betrachtet im Rahmen dieser Abhandlung ausschließlich Kanalrohre, die nach DWA-A 143-2 bereits dem Altrohrzustand III zuzuordnen sind, d.h. bei denen das Altrohr-Boden-System langfristig nicht mehr tragfähig ist. In der Praxis treten hier Scherbenbildungen, Risse, fehlende Wandungsteile etc. zusammen mit Deformationen oder Ovalisierungen des Rohrquerschnittes auf. Mögliche Ursachen hierfür können in Produktions- oder Verlegefehlern (z.B. ungenügende seitliche Bettung) beim früheren Bau der Rohre aber auch in einer falschen statischen Bemessung des Altrohres liegen. Auch durch neue, zusätzliche Lasten kann auch nachträglich eine statische Überbelastung zustande kommen.
Reparatur und klassische Renovierungsverfahren (z.B. Schlauchlining) scheiden ab einer Ovalisierung von deutlich größer 10% aus verschiedenen Gründen als Sanierungsmethode aus, da z.B.

- Der statische Nachweis mit den gängigen Berechnungsprogrammen für die Schlauchlinerstatik nicht mehr möglich ist. Ggf. wird ist hier dann noch eine Finite-Elemente-Berechnung möglich, die aber eine exakte Vermessung der Deformationen voraussetzt;

- Die Verfahrenssicherheit sowohl beim Vorfräsen der Scherben mittels Robotertechnik als auch beim eigentlichen Einzug des Schlauchliners nicht mehr gegeben ist und es zu einem Total-Einsturz des Altrohres oder zur Beschädigung des Schlauchliners kommen kann;
- Fehlende Wandungsteile Widerlager für Schlauchliner nicht ausreichen und so beispielsweise eine befriedigende Verdichtung von Schlauchlinerlaminaten beim Einbau nicht mehr gegeben ist.

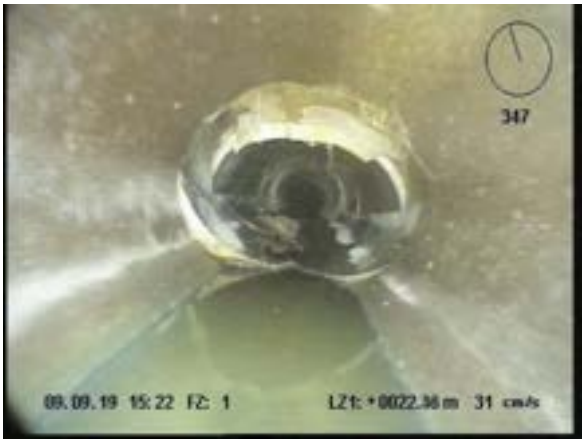


Abbildung 1: Stark beschädigter Steinzeugkanal

Generell lassen sich stark beschädigten Rohre auch in offener Bauweise austauschen, jedoch bereiten das damit einhergehende Bodenmanagement und die so genannten sozialen Kosten vor allem in Ballungsgebieten Probleme. Gerade die Entsorgung von belasteten Böden dürfte wegen fehlenden Frachtraums, höheren gesetzlichen Auflagen und gleichzeitig zurückgehenden Deponiekapazitäten in naher Zukunft nicht einfacher werden. In Einzelfällen kann der (Teil-) Austausch beschädigter Haltungen auch wegen vorhandener Überbauung nicht ausgeführt werden. Es sprechen also sowohl technische wie auch wirtschaftliche Gründe dafür, sich auch für extrem schadhafte Rohre mit den grabenlosen Sanierungslösungen auseinander zu setzen.

3 Grabenlose Renovierungsverfahren: Das Tight-In-Pipe-Verfahren

Wie der Name schon sagt, liegt beim Tight-in-Pipe-Verfahren (TIP-Verfahren) das Sanierungsrohr eng am Altrohr an, d.h. der Außendurchmesser des Sanierungsrohres ist auf den Innendurchmesser des Altrohres abgestimmt (z.B. Neurohr DA392 in Altrohr DN400). Der dazwischen verbleibende Ringspalt wird im Nachhinein nicht verfüllt. Das Verfahren findet in Altrohr-Durchmessern von DN 150 bis DN 1000 Anwendung und kann in Beton-, Steinzeug, Asbestzement oder anderen Rohrwerkstoffen eingesetzt werden.

TIP eignet sich ferner für die Altrohrzustände I, II, III und ist damit bei einer Vielzahl von Schäden – wie unter anderem bei Rissen, Korrosion, Wurzeleinwüchsen und Undichtigkeiten – anwendbar. TIP gleicht zudem Deformationen von bis zu 25 Prozent sowie Versatzbildungen von bis zu 10 Prozent aus. Bei größeren Schäden – wie zum Beispiel Einstürzen – kann auf das Kaliberberstlining (siehe unten) zurückgegriffen werden. Für den Vorschub beim TIP-Verfahren kommen in der Regel hochwertige, vorgefertigte Kurzrohre oder verschweißte Rohrstränge aus Polypropylen mit hohem E-Modul (PP-HM) oder Polyethylen (PE) zum Einsatz. Der Einbau erfolgt im Idealfall – ohne Tiefbauarbeiten – von Schacht zu Schacht. Ein Rohreinbau von Grube zu Grube, Schacht zu Grube oder Grube zu Schacht ist ebenfalls möglich.

Der Verfahrensablauf auf der Baustelle gestaltet sich wie folgt:

3.1 Vorbereitende Arbeiten

Im Vorfeld des TIP-Verfahrens findet eine Hochdruckreinigung des zu sanierenden Kanals statt, bei der grober Schmutz und Ablagerungen entfernt werden. Im Anschluss wird eine TV-Befahrung des Altkanals durchgeführt, um sicherzugehen, dass sich das Verfahren zur Sanierung ausnahmslos eignet. Hierbei können zudem Anschlussleitungen erkundet, mögliche Fehleinleiter abgeklemmt und gegebenenfalls querende Leitungen eingemessen werden. Wichtig ist zudem die Durchführung einer Kalibermessung zur Bestimmung des lichten Innendurchmessers. Diese erfolgt mittels einem Laseroptischen-Sensor, der für verschiedene Kamerasysteme am Markt verfügbar ist. Nachdem die unterirdische Infrastruktur in Gänze erfasst worden ist, kann nach Bedarf eine Vorbereitung der zu sanierenden Haltung mittels Fräsroboter durchgeführt werden. Das System misst die genaue Lage der seitlichen Zuläufe ein, damit diese später wieder geöffnet werden können. Zudem lassen sich zum Beispiel größere Wurzeleinwüchse beseitigen, die das Einbringen der Rohre im Nachgang erschweren würden. Anders als beim Schlauchlining sind jedoch keine aufwändigeren Fräsarbeiten notwendig. Im nächsten Schritt müssen die Schächte und die gegebenenfalls neu erstellten Baugruben vorbereitet und mit Geräten und Maschinen für das TIP-Verfahren ausgestattet werden.

3.2 Einbau der Rohr-Module

Der Einbau der Rohre ist entweder durch Einschub oder im Press-Zieh-Verfahren möglich. Beim Einschub erfolgt der Einbau mittels einem hydraulisch angetriebenen Vorschubzylinder. Hierbei wird zunächst die Kalibrierhülse mit dem ersten Rohr verbunden. Anschließend werden die Rohre nach und nach miteinander gekoppelt und taktweise in den Altkanal eingeschoben. Für die Dichtheit der ineinandergesteckten Rohrmodule sorgen die in die Rohrwandung integrierten Lippendichtungen. Nach Bedarf können zudem Rohre mit Raster- oder Schweiß-Verbindung zur Verwendung kommen. Während des Rohreinschubs wird das Altrohr durch die vorweggeschobene Kaliberhülse auskalibriert. Hierbei werden Deformationen und Versätze automatisch ausgeglichen und das Kreisprofil wiederhergestellt. Wenn sehr starke Deformationen und/oder Scherbenbildungen vorliegen, wird in der Regel der Einbau im Press-Zieh-Verfahren angewendet. Bei diesem Verfahren kommt eine statische Zuglafette oder eine Seilzugmaschine zum Einsatz, die in einem geeigneten Schacht oder einer Grube platziert wird. Von dort aus wird das

Gestänge/Stahlseil in das Altrohr eingeführt. Sobald das Gestänge/Stahlseil an der Einziehgrube beziehungsweise -schacht angekommen ist, wird dieses mit der Führungs- beziehungsweise Kalibrierhülse mit dem angehängten Neurohr aus PP-HM oder PE verbunden. Das Gestänge/Stahlseil wird zurückgezogen und die Neurohre nach und nach in das Altrohr eingezogen. Auch hier gleicht die Kalibrierhülse etwaige Deformationen und Versätze im Altrohr aus. Auf diese Weise erhält das Rohr wieder seine kreisrunde Form und Tragfähigkeit durch das Neurohr. Grundsätzlich ist auch der Einzug eines verschweißten Rohrstrangs mittels Zuglafette – zum Beispiel bei besonders langen Renovierungstrassen – möglich und sinnvoll.



Abbildung 2: Einbau von Rohren aus einem Schacht heraus

3.3 Zulauf- und Schachtanbindungen

Die Anbindung der Seitenzuläufe kann beim TIP-Verfahren ebenfalls grabenlos erfolgen. Hierbei kommen systemkompatible und materialgleiche Einschweißsattel zur Anwendung. Zunächst erfolgt hierbei die Öffnung der Zuläufe durch Anbohren und Auffräsen der Rohrwandung. Mittels Robotertechnik werden die Einschweißsattel am jeweiligen Zulauf exakt positioniert und eingebaut. Dazu werden die Sattel mit Kaschierung auf der Innenseite zunächst unter hohem Anpressdruck angeschweißt. Im nächsten Arbeitsschritt erfolgt das Einkleben eines Hutprofils auf die Kaschierung des Einschweißsattels und in den Anschluss. Hierzu werden Versetzpacker samt Hutprofil in den Kanal eingeführt und über den bereits aufgeschweißten Innensattel gesetzt. Der Packer bläst sich auf und das Hutprofil kann aushärten. Mittlerweile sind auch Einschweiß-Sättel am Markt erhältlich, an denen der „Abzweig-Strumpf“ werkseitig schon an das Sattelstück verbunden wurde und bei denen Einschweißen und Hutsetzen in einem Arbeitsgang erfolgen kann. In kürzester Zeit lassen sich so seitliche Zuläufe fachgerecht und dicht anschließen. Alternativ kann auch eine Anbindung mittels Aufschweiß-Sättel in einer Baugrube erfolgen. Der Anschluss von Schächten aus PP oder PE erfolgt in Schweißtechnik. Bei Beton- oder Mauerwerksschächten werden passende Schachtfutter verwendet, an die die Neurohre dicht angebunden werden.



Abbildung 3: Zulaufeinbindung mit Einschweiß-Sattel beim TIP-Verfahren

3.4 Abschreibungs- und Nutzungsdauer

Streng genommen zählt das TIP-Verfahren zur Gruppe der Renovierungsverfahren, da es sich innerhalb des Altrohres bewegt und z.B. bei der Zulaufeinbindung auch noch auf die Substanz des Altrohres angewiesen ist. Andererseits sind die eingesetzten Rohre und auch die Maschinentechnik mit denen des Berstlining-Verfahrens sehr vergleichbar, welches eindeutig zu den Erneuerungsverfahren zählt.
Im Hinblick auf die Nutzungsdauer des sanierten Kanalabschnittes sprechen sowohl die Erfahrungen mit den Werkstoffen der TIP-Rohre an sich wie auch aktuelle Regelwerke z.B. die GSTT-Information 22-1 („Renovation – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren“) und das im Jahr 2022 überarbeitete RSV-Merkblatt 2.2 dafür, dass man 80-100 Jahre als durchschnittliche Nutzungsdauer einer so sanierten Leitung ansetzen kann.

4 Grabenlose Erneuerungsverfahren: Berstlining-Verfahren

Das Berstverfahren wird im DWA-Arbeitsblatt A 143-15 „Erneuerung von Abwasserleitungen und –kanälen durch Berstverfahren“ geregelt und dort wie folgt beschrieben:
„Das Berstverfahren ist ein umweltschonendes, grabenloses Verfahren zur Erneuerung von Rohrleitungen in gleicher Trasse. Ziel ist, in diesem Bereich den vorhandenen Kanal zu erneuern.
Beim Berstlining unterscheidet man nachfolgende Systeme:

- *Dynamisches Berstverfahren*
- *Statisches Berstverfahren*
- *Kaliberbersten*
- *…“*

4.1 Verfahrensvarianten: Dynamisches und statisches Berstverfahren

Beim klassischen Berstverfahren, mit dynamischer oder statischer Krafteinleitung, wird vor dem einzuziehenden Neurohr ein Berstkopf, der das Altrohr auftrennt und verdrängt durch die Kanalhaltung gezogen. Unmittelbar nach dem Berstkopf und ggf. einem zusätzlich erforderlichen Aufweitkopf folgt das Neurohr, bei dem es sich sowohl um einen Rohrstrang wie auch um Einzelrohre handeln kann. Der Einbau des neuen Rohres erfolgt also in der gleichen Trasse wie der des Altrohres. Je nach eingesetzter Maschinentechnik kann das Verfahren auch aus bestehenden Schächten heraus eingesetzt werden, so dass nicht immer Baugruben erforderlich sind. Anforderungen an Planer und Ausführende, mögliche Altrohr und Neurohr-Materialien sowie weitere Hinweise finden sich im o.g. Arbeitsblatt der DWA.
Beide Verfahrensvarianten - dynamisch und statisch – sind als Verfahren mit geringer Exposition nach Nr. 2.10 Abs. 8 der TRGS 519 gelistet und dürfen somit auch für die grabenlose Erneuerung von Asbestzement-Rohren eingesetzt werden.



Abbildung 4: Positionierung von Bersttechnik innerhalb eines Schachtunterteils

4.2 Verfahrensvarianten: Kaliberbersten

Beim Kaliberbersten werden in der Regel Neurohre verwendet, die eine Dimension kleiner sind als das zu sanierende Altrohr (z.B. Neurohr DA450 im Altrohr DN500). Auch hier wird vor dem ersten Rohr bzw. vor dem Rohrstrang ein Aufweitkopf eingesetzt, der im Fall von starken Deformationen des alten Rohres die Scherben und Verformungen zurückdrückt und so den Weg für das Neurohr ebnet. In Abschnitten mit geringen oder ohne Ovalisierung entsteht verfahrensbedingt zwischen Alt- und Neurohr ein Ringraum, der im Nachgang mit fließfähigem Beton oder so genanntem Dämmer verfüllt werden muss. Dichte und Fließfähigkeit des Verfüllmaterials bedürfen hier dem besonderen Augenmerk des Planers.

4.3 Zulauf- und Schachtanbindungen

Dadurch, dass beim Berstverfahren das Altrohr ins umgebende Erdreich verdrängt wird, müssen seitliche Anschlüsse in der Regel in offener Bauweise angebunden werden. Hierfür stehen ausgereifte Formteile zur Verfügung, die für dauerhaft dichte Verbindungen sorgen.
Durch den verfahrensbedingten Bedarf von Maschinen- oder Rohreinzugs-Gruben werden die erneuerten Rohre häufig an neu zu errichtende Schächte angebunden. Beim Berstlining aus Schächten heraus können Schachteinbindungen auch analog zum TIP-Verfahren mit entsprechenden Schachtfuttern erfolgen.

4.4 Abschreibungs- und Nutzungsdauern

Als „reinrassiges" Erneuerungsverfahren können die Abschreibungs- und Nutzungsdauern beim Einsatz des Berstverfahrens mit denen der klassischen offenen Bauweise gleichgesetzt werden. In der Regel geht man hier von einer Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren aus.

5 Fazit

Die Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens ist immer den projektspezifischen Rahmenbedingungen und dem zu erreichenden Sanierungsziel geschuldet. Die oben angeführten Verfahren zeigen jedoch, dass auch bei extremen Schadenbildern, bei denen übliche Reparatur- und Erneuerungsverfahren an ihre technischen Grenzen kommen, ausgereifte grabenlose Verfahren vorhanden sind. Insbesondere wenn man die langen Nutzungsdauern der mit werksseitig gefertigten Rohren sanierten Leitungen mitberücksichtigt, ergeben sich auch wirtschaftlich interessante Sanierungsvarianten, ohne dass man auf die vergleichsweise aufwändige offene Bauweise zurückgreifen muss.
Bei Einbautechnik, Formteilen und Verbindungs-Techniken haben sich mittlerweile viele ausgereifte Lösungen etabliert, sowohl die Installation wie auch die dauerhafte und dichte Verbindung mit anderen Netzbereichen oder Rohrmaterialien ermöglichen.

6 Literatur

[1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Arbeitsblatt DWA-A 143-15 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 15 Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren, Gelbdruck, August 2017

[2] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Merkblatt DWA-M 143-12 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 12 Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraum – Einzelrohrverfahren, August 2008

[3] GSTT German Society for Trenchless Technology e.V. (Hrsg.): GSTT-Information 22-1: Nutzungsdauer von mittels grabenloser Bau- und Sanierungsverfahren hergestellten bzw. sanierten Ver- und Entsorgungsleitungen, März 2007

[4] GSTT German Society for Trenchless Technology e.V. (Hrsg.): GSTT-Information 24: Offensive für alternative Bauverfahren im Leitungsbau, grabenlos – kostengünstig – sicher, November 2010

[5] IFA Institut für Arbeitsschutz der gesetzlichen Unfallversicherung (Hrsg.): Aktuelle Ergänzungen zur DGUV Information 201-12 „Asbestsanierung“, Online-Abruf vom 15.11.2022
[6] RSV Rohrleitungssanierungsverband e.V. (Hrsg.): Merkblatt 2.2: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren durch Tight-in-Pipe-Verfahren, Dezember 2022

Autor:

Dipl.-Wirt.Ing. (FH) Benedikt Stentrup
Sanierungstechnik Dommel GmbH, Hamm

Tel.: 02381-98764-21
E-Mail:
benedikt.stentrup@sanierungs-technik-dommel.de
Internet:
www.sanierungstechnik-dommel.de



Grundlagen zur Qualität bei Renovierung und Reparatur von Entwässerungsleitungen und Schächten

Von Michelle Peeck

1 Gesamtbetrachtung der Sanierung

In Deutschland wurde Anfang der 80er Jahre damit begonnen, grabenlose Sanierungstechniken anzuwenden. Anfangs konzentrierten sich die Sanierungssysteme vor allem auf die Renovierungsverfahren. Die Anbindungs- und Schachtsanierungsverfahren entwickelten sich mit einer zeitlichen Verzögerung. Heutzutage wird das Kanalnetz als ganzheitliches System betrachtet, indem Renovierungs- und Reparatursysteme als fester Bestandteil für die Instandhaltung etabliert sind.
Im Bereich der Sanierung werden vorwiegend werksseitig hergestellte Produkte oder vor Ort härtende Reaktionsharzprodukte verwendet. Die Besonderheit der vor Ort härtenden Produkte ergibt sich dadurch, dass das Endprodukt durch den Härtungsprozess auf der Baustelle entsteht. Eine Qualitätssicherung ist somit für das Endprodukt erst nach Abschluss des Einbauprozesses möglich.

2 Dauerhaftigkeit

Abhängig vom vorliegenden Schadensbild können bei der Sanierung Renovierungs- oder Reparaturverfahren zum Einsatz kommen. Bei der Wahl des Sanierungssystems ist neben den Produkteigenschaften auch die Dauerhaftigkeit der Systeme entscheidend. Für Renovierungsverfahren mit Schlauchlinern wird, unabhängig vom Schadensbild des Altrohres, eine technische Nutzungsdauer von über 50 Jahren angenommen. Bei Reparaturverfahren kann die Art des Schadens erheblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit nehmen, deshalb wird die technische Nutzungsdauer mit 2-20 Jahren angenommen. Die typische Nutzungsdauer liegt zwischen 5 und 10 Jahren.
Für beide Sanierungsvarianten gilt: nur ein verfahrensgerechter Einbau führt dazu, dass die verwendeten Materialien die erwartete Dauerhaftigkeit erreichen.

3 Reaktionsharze

Vor Ort härtende Renovierungs- und Reparatursysteme basieren auf Reaktionsharzen. Die Besonderheit der reaktionsharzbasierten Systeme ist, dass das Endprodukt erst durch eine chemische Reaktion auf der Baustelle entsteht. Nur bei erfolgreichem Reaktionsprozess können die Soll-Eigenschaften des Endproduktes erreicht werden. Die Baustellenbedingungen, wie z.B. Wasserhaltung oder Temperatur, haben dabei entscheidenden Einfluss auf den Aushärteprozess.
Im Hausanschluss- und Reparaturbereich finden vor allem Epoxy-und Silikatharze Anwendung. Bei diesen Harzsystemen sind die genauen Mischungsvorgaben des Herstellers (stöchiometrische Mischung) einzuhalten. Mischungsfehler haben Auswirkungen auf die Viskosität, Reaktivität und die mechanischen Kennwerte des Endproduktes. Eine vollständige Härtung des Reaktionsharzsystems ist bei Mischungsdefiziten nicht möglich.

Im Bereich der Schachtsanierung und bei UV-härtenden Anschlusssystemen werden typischerweise UP- oder VE-Harze verwendet. UP- und VE-Harze enthalten Styrol als reaktives Lösemittel, welches während der Härtungsreaktion in die Harzmatrix eingebunden wird. In Hausanschlussbereich wird der Geruch von Styrol als störend empfunden und daher zunehmend durch wenig geruchsintensive Substituenten wie z.B. Methacrylate ersetzt.

4 Besonderheiten in der Sanierung

4.1 Hausanschlusssanierung

Die Sanierung von Entwässerungsleitungen im Hausanschlussbereich bringt gegenüber der haltungsweisen Sanierung einige besondere Anforderungen mit sich. Die Hausanschlussleitungen haben typischerweise kleine Durchmesser ≤DN 200 und weisen häufig eine Vielzahl von Bögen und Abwinklungen auf, weshalb eine hohe Bogengängigkeit der Systeme gefordert wird. Durch die geringen Durchmesser ist auch eine Probennahme analog zu der in der haltungsweisen Sanierung meist nicht möglich. Die Entnahme eines Probestückes außerhalb der Anschlussleitung wäre möglich, ist jedoch meist nicht repräsentativ für die eigentliche Sanierung. Daher werden bei Anschlusslinern Proben im Form eines Bohrkerns mit Durchmessern ≥ 2 cm entnommen. Die Probennahmestelle wird anschließend mit geeigneten Systemen, wie z.B. Epoxidspachtelmasse, verschlossen.



Bild 1: Probestück aus einer Hausanschlusssanierung im Vergleich zu einer 2-Euro-Münze

Eine weitere Besonderheit in der Hausanschlusssanierung ist die Pflicht, dass auf privatem Grund nur DIBt-zugelassene Systeme verwendet werden dürfen. Das bietet für Eigentümer eine gewisse Sicherheit, da die zugelassenen Systeme regelmäßigen Fremdüberwachungen und halbjährlichen Prüfungen unterliegen. Dennoch sollten bei vor Ort härtenden Systemen Probennahmen mit anschließender Qualitätssicherung nach der Installation durchgeführt werden. Je nach Baustelle und Ausführung können auch gut überwachte Systeme durch Fehler beim Einbau eine Minderung der Qualität aufweisen. Auftretende Fehler sind zum Beispiel Tränkungsdefizite, Mischungsfehler, falsche Temperierung, mangelhafte Aushärtung oder Wassereinfluss durch fehlende Wasserhaltung. In der haltungsweisen Sanierung im öffentlichen Bereich sind Standardprüfungen, z.B. gemäß DWA, nach dem Einbau bereits etabliert. Im Hausan-

schlussbereich werden aktuell viele Sanierungen ohne anschließende Qualitätsprüfung ausgeführt, was dazu führt, dass die tatsächliche Qualität des Endproduktes unbekannt ist und demnach auch keine Sicherheit für eine ausreichende Dauerhaftigkeit gegeben ist.

4.2 Schachtsanierung

Bei der Schachtsanierung sind typischerweise eher große Dimensionen im begehbaren Bereich (>DN 800) anzutreffen. Die Besonderheit der Schachtsanierung liegt vor allem in den komplexen Geometrien. Schachtbauwerke können sowohl Rund als auch Eckig sein und besitzen typischerweise einen Konusbereich. Zusätzlich sind in Schächten häufig unterschiedliche Arten von Zuläufen vorhanden, die bei der Sanierung wasserdicht angebunden werden müssen. Die Schachtsohle ist ebenfalls Teil der Sanierung von Schachtbauwerken, diese besitzt üblicherweise ein Gerinne, wodurch eine komplexe Sohlgeometrie des Schachtes entsteht.
Die Probennahme nach der Schachtsanierung gestaltet sich durch die Möglichkeit der Begehbarkeit einfacher als in der Hausanschlusssanierung. Bei Schachtlinern kann so z.B. eine Probennahme analog zu der Probennahme in der haltungsweisen Sanierung vorgenommen werden. Bei verklebenden Systemen findet keine Probennahme statt, die Qualitätssicherung erfolgt direkt über eine Haftzugprüfung im Schacht.

Für vor Ort härtende Systeme in der Schachtsanierung werden keine allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Deutschen Institutes für Bautechnik in Berlin (DIBt) ausgestellt. Es wird dennoch empfohlen, sich einen entsprechenden Nachweis über die Durchführung von Eignungsprüfungen des verwendeten Produktes vorlegen zu lassen. Ein solcher Eignungsnachweis sollte zum einen eine genaue Beschreibung des Verfahrens in Form eines Verfahrenshandbuches und Mindestkennwerte (z.B. E-Modul und Glasgehalt) enthalten. Zum anderen sollten auch eine Verwendbarkeitsprüfung (z.B. chemische Beständigkeit und Temperaturbeständigkeit) und eine In-situ-Prüfung vorliegen, die die grundlegende Durchführbarkeit des Sanierungssystems nachweist.

5 Qualitätssicherung

In der haltungsweisen Sanierung mit vor Ort härtenden Reaktionsharzprodukten ist die Qualitätssicherung über Materialprüfungen etabliert. Zu den Standardprüfungen in diesem Bereich gehören die Dreipunktbiegung und die Wasserdichtheitsprüfung am Laminat. Als weitere Prüfung wird außerdem die Bestimmung des Reststyrolgehalts als Nachweis für eine im technischen Sinne vollständige Aushärtung der Harzsysteme durchgeführt. Die Infrarotspektroskopie kann in Stichproben zum Identitätsnachweis des Harzsystems beauftragt werden.
Über die Materialprüfungen wird sichergestellt, dass das Sanierungssystem seine Anforderungen an die mechanischen Kennwerte und die geforderten Produkteigenschaften erfüllt. Da jede Baustelle individuelle Bedingungen mit sich bringt, kann nur eine Materialprüfung nach dem Aushärteprozess eine sichere Aussage über die Qualität des Endproduktes liefern.

5.1 Hausanschlusssanierung

In der Hausanschlusssanierung werden wie in 4.1 erwähnt, vorzugsweise Bohrkerne als Probenmaterial entnommen. Auf Grund der geringen Probengröße können keine Standardprüfungen, wie in der haltungsweisen Sanierung durchgeführt werden.
An den Bohrkernen wird eine visuelle Prüfung des Laminates auf Lufteinschlüsse bzw. Auffälligkeiten und eine Wanddickenbestimmung durchgeführt. Anschließend werden die Materialkennwerte in Abhängigkeit des Harzsystems bestimmt und mit den Vorgaben der Zulassung abgeglichen.
Bei Epoxidharzen wird die Materialkenngröße Glasübergangstemperatur mittels DSC (Dynamische Differenz Kalorimetrie) bestimmt. Die Glasübergangstemperatur ist ein Kennwert für Kunststoffe, der sowohl eine Aussage über die Vernetzung, als auch eine Überprüfung der Mischungsqualität von Reaktionsharzen zulässt. Die Glasübergangstemperatur stellt sich in der Messung als eine Stufe dar. In einem ersten Messlauf wird die Glasübergangstemperatur des Ist-Zustandes der Baustellenprobe bestimmt, wodurch die Qualität der Aushärtung beurteilt werden kann. In einem zweiten Messlauf wird die maximal mögliche Glasübergangstemperatur der Probe bestimmt, was einen Rückschluss auf die Mischungsqualität des Systems ermöglicht.

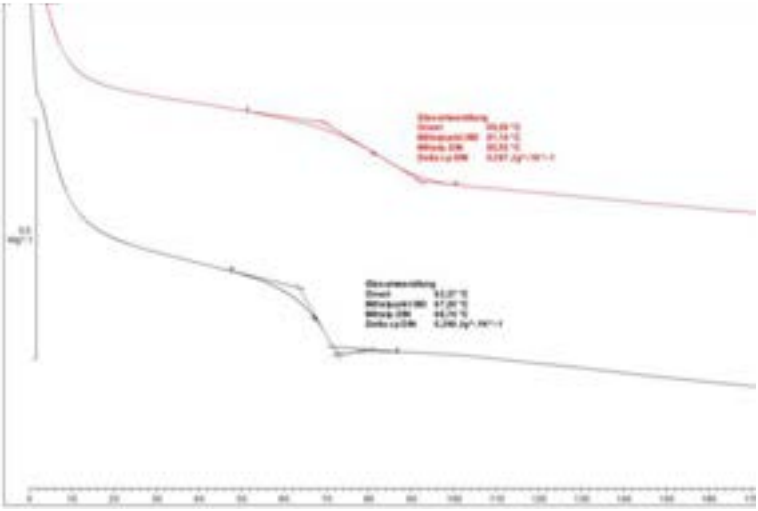


Bild 2: Ergebnis einer DSC-Analyse

Neben der Glasübergangstemperatur können mit der DSC-Analyse auch weitere thermische Effekte wie z.B. Nachhärtungsreaktionen oder Verdampfungen (z.B. Wasser) erkannt werden.

Für ungesättigte Polyesterharze findet die Messung der Glasübergangstemperatur im Sinne der Qualitätssicherung keine Anwendung, da die Glasübergänge bei diesen Harzsystemen keine starke Ausprägung zeigen.
Bei der Qualitätssicherung von UP-, VE- und Silikatharzsystemen wird die dynamisch mechanische Analyse (DMA) durchgeführt. Bei diesem Prüfverfahren wird ein Probekörper in einer Dreipunktbiegeanordnung einer sinusförmigen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt. Als Ergebnis der Analyse wird der E-Modul der Probe ermittelt. Das Prüfverfahren erlaubt die normative Bestimmung des E-Moduls an kleinen Probekörpern. Die Probekörpergröße beträgt ca. 55 mm x 10 mm. Mit der DMA lassen sich für weiterführende Untersuchungen oder Eignungsprüfungen auch Moduln in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmen. Dies wird insbesondere dann interessant, wenn Sanierungssysteme höheren Temperaturen ausgesetzt werden, z.B. im industriellen Bereich bei Havariefällen.

Für styrolhaltige Harzsysteme wird eine Restmonomerenanalyse mittels Gaschromatographie empfohlen. Dieses Messverfahren ist bei der Qualitätssicherung in der haltungsweisen Sanierung etabliert. Über die gaschromatographische Analyse kann der Gehalt an Reststyrol im Reaktionsharzformstoff bestimmt werden. Im Reaktionsprozess wird das monomere Styrol chemisch in der polymeren Molekülstruktur gebunden. Als Grenzwert für eine im technischen Sinne ausreichende Härtung werden 2 % Reststyrol im Bezug auf die Gesamtprobenmasse angenommen. Reststyrolanalysen ermöglichen an kleinen Probestücken eine Aussage über den Aushärtegrad des Reaktionsharzformstoffes.

5.2 Schachtsanierung

Bei der Qualitätssicherung von Schachtlinern wird die Probennahme und Prüfung analog zu der haltungsweisen Sanierung durchgeführt. Die Ergebnisse der Materialprüfungen sind anschließend mit den Angaben der Eignungsprüfung abzugleichen. Auch bei Schachtlinern wird die Restmonomerenanalyse mittels Gaschromatographie empfohlen, insbesondere wenn das entnommene Probenmaterial Lösemittelgeruch aufweist.
Bei verklebenden Systemen in der Schachtsanierung kann keine Entnahme von Probenmaterial für Materialprüfungen vorgenommen werden. In diesem Fall sind vor Ort Haftzugversuche durchzuführen, um die Qualität der Verklebung des Systems mit dem Altbauwerk sicherzustellen. Haftzugversuche können vor Ort sowohl als Qualitätssicherung nach der Sanierung, als auch zur Bewertung der Beschaffenheit des Altbauwerkes vor der Sanierung durchgeführt werden.



Bild 3: vor Ort Haftzugprüfung

5.3 Reparaturverfahren

Reparaturverfahren beschränken sich auf lokale Schäden und sind meistens verklebend, wodurch eine Probennahme üblicherweise nicht möglich ist. Die Entnahme von Probenmaterial würde den Reparaturerfolg an der Probennahmestelle beeinträchtigen.
Die Qualitätssicherung wird über die optische Inspektion der reparierten Bereiche durchgeführt. Wesentlich für den Sanierungserfolg ist, dass auch die optische Inspektion der Vorarbeiten durchgeführt wird. Bei verklebenden Systemen muss z.B. durch Reinigung und Vorfräsen der Haftgrund für die Verklebung hergestellt werden. Alle Schritte sollten vor der Reparatur durch eine optische Inspektion überprüft und dokumentiert werden.
Insbesondere bei größeren Sanierungsmaßnahmen können Stichproben vor Ort in Form von Materialmustern für die Qualitätssicherung hergestellt werden. Im Falle eines Schadens ist die Entnahme von Materialproben aus dem Schadensbereich zur Ursachenfindung möglich und empfehlenswert.

6 Zusammenfassung

Klare Vorgaben in den Regelwerken z.B. der DWA oder des RSV fördern nicht nur eine steigende Qualität der Systeme durch eindeutige Anforderungen und deutliche Definitionen, sondern fördern auch die Akzeptanz der Sanierungssysteme am Markt.

Moderne Sanierungskonzepte betrachten Haltungen, Schächte und Anschlusssysteme als Gesamtsystem. Die ganzheitlich durchgeführte Sanierung erlaubt es, durch den Einsatz unterschiedlicher, miteinander kombinierbarer Verfahren nachhaltige Sanierungsergebnisse zu erzielen. Ein wesentliches Element dieser Sanierungskonzepte ist eine Qualitätssicherung, die die Besonderheiten der verwendeten Verfahren berücksichtigt. Die Besonderheit der meisten Systeme liegt darin, dass sie auf Reaktionsharzen basieren, daher muss die Qualitätssicherung nach der Aushärtereaktion am Endprodukt durchgeführt werden.

Autorin:

B.Sc. Michelle Peeck
Siebert + Knipschild GmbH
Bergstücken 25
22113 Oststeinbek

Tel.: 040 688714-41
E-Mail:
m.peeck@siebert-testing.com
Internet:
www.siebert-testing.com



Sanierung von Fernwärmenetzen mit Schlauchlinern – Testbaustelle mit dem AGFW, Beispiele aus der Praxis, Erkenntnisse, Möglichkeiten und Einsatzgrenzen

Von Lars Quernheim und Max Gottschalk

1 Einleitung

„Fernwärme ist in vielen Ländern ein wichtiges Standbein in der Energieversorgung. Die Energieversorger in Deutschland betreiben und unterhalten hierfür ein Rohrleitungsnetz von mehr als 56.000 Kilometern. Für diesen Teil der überwiegend unterirdischen Infrastruktur gibt es bis heute kein etabliertes grabenloses Sanierungsverfahren. Im Sanierungsfall müssen die Rohre in offener Bauweise erneuert werden.“ schreibt Artur zu Eulenburg in der B_I umweltbau 03/22 in einem Artikel über einen durch den AGFW e.V. begleiteten Einbau von CarboSeal® in eine Teststrecke im Fernwärmenetz Neumünster.
Seitdem konnten national und international weitere Erfahrungen mit CarboSeal®, dem ersten Schlauchliner für Fernwärmeleitungen, gesammelt werden über die dieser Vortrag berichtet.

Die mehr als zehn Jahre andauernde Entwicklungsarbeit der Firma Pressure Pipe Relinig Sweden AB (PPR) mündete im Juni 2021 in der Marktreife des Schlauchliners für Fernwärmeleitungen. Unter dem Produktnamen CarboSeal® kam der neue Liner erstmals in Schweden zum Einsatz.

Das Projekt zur Entwicklung des Fernwärmeliners wurde 2010 in Schweden durch die Firma HWQ Group gestartet. Oxeon AB ist im Verlauf des Projektes zunächst als Lieferant von Verstärkungsstoffen dazugekommen und hat 2019 durch Akquisition der PPR Sweden sämtliche Rechte an dem Patent und der Entwicklung von der HWQ Group übernommen.
Oxeons Marke Textreme® sind ultradünne Gewebe aus Bändern, die aus Kohlefasern hergestellt und für ultraleichte Composites in verschiedensten Anwendungen eingesetzt werden. Nachdem die Materialauswahl für den Schlauchliner CarboSeal® erfolgte und erste Muster erfolgreich manuell gefertigt wurden, konnte die Firma BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG in 2017 mit seiner mehr als 25-jährigen Kompetenz als Schlauchlinerhersteller für die Serienfertigung des Schlauchliners unter kontrollierten Werksbedingungen gewonnen werden. PPR Sweden AB ist ein Gemeinschaftsunternehmen von Oxeon, BKP Berolina und PPR Deutschland GmbH.
Für CarboSeal® wird ein hochtemperaturbeständiges, zweikomponentiges, warmhärtendes Epoxidharz und das Carbongewebe als Trägermaterial verwendet. Die Kohlefaser bietet die Möglichkeit, die temperaturbedingte Längenausdehnung des Liners der des zu sanierenden Stahlrohres anzupassen. Relativbewegungen finden daher zwischen dem Liner und dem Stahlrohr nicht oder nur in extrem geringem Ausmaß statt. Im Veltener Werk der BKP Berolina wird das Kohlefasergewebe mit dem Epoxidharz beschichtet und zu einem Schlauch gefaltet. Der Aufbau mit Innen- und Außenfolie basiert weitgehend auf dem des bekannten Berolina-Liners zur Sanierung von Freispiegelleitungen. Nach einer kurzen Reifephase wird das Produkt

eingefroren. Bei Temperaturen zwischen -15 und -25 Grad Celsius ist der Liner über mehrere Monate lagerfähig.

2 Testbaustelle mit dem AGFW

Dank des AGFW| Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. und den Stadtwerken Neumünster hatte PPR Deutschland im Frühjahr 2022 die Möglichkeit, CarboSeal® auf einer rund 40 Meter langen Teststrecke zu installieren und zu demonstrieren, welches Potenzial in dem Fernwärmeliner steckt. Seit mehr als fünf Jahren beschäftigt sich der AGFW mit dem Thema "Möglichkeiten und Grenzen der Fernwärme-Leitungssanierung aus vor Ort erhärtenden Schlauch-Linern". Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördertes Forschungsvorhaben (FKZ: 03ET1457), wurde im Februar 2022 beendet.

In einer während des Forschungsvorhabens gebauten, aber zum Projektende nicht vollständig genutzten Testleitung DN 250 mit einer Länge von 60 m in Neumünster durfte PPR auf einer Länge von 40 m das Produkt CarboSeal® unter Begleitung des Branchenverbandes AGFW installieren. Es findet vom Einbau bis zum Sanierungsergebnis und Netzbetrieb eine Untersuchung auf Praxistauglichkeit statt. Das Testgelände wurde von der AGFW und ihren Projektpartnern vorbereitet und an das Fernwärmenetz Neumünster parallel laufend angeschlossen.
Vor Einbau wurde der Rohrstrang mit Fehlstellen versehen, die z.B. defekte Schweißnähte und Korrosionsschäden simulieren – axial sowie radial. CarboSeal® wurde problemlos eingebaut und der Rohrabschnitt nach dem Anbringen der Linerendmanschetten und dem Verschließen der Rohrzugangsöffnungen wieder an das Fernwärmenetz angeschlossen. Im Laufe des Frühjahres 2023 wird der Langzeittest ausgewertet.



3 Praxisbeispiele

Mittlerweile wurden CarboSeal®-Liner der Nennweiten von DN 100 bis DN 500 in sieben Ländern installiert. Dazu gehören Deutschland, Dänemark, Großbritannien, Litauen, Österreich, Schweden und Südkorea.

Installation in Vilnius, Litauen

Vilniaus Silumos Tinklai, Betreiber des städtischen Fernwärmesystems im litauischen Vilnius, stand vor einer Herausforderung: Ein Rohrstrang DN 500, der in eine Betonbrückenkonstruktion eingebettet war, musste saniert werden. Die stark genutzte Brücke mit sechs Fahrspuren, Geh- und Fahrradwegen und über Oberleitungen elektrisch betriebene Buslinien überspannt einen zehngleisigen Rangierbahnhof. Jegliche baulichen Eingriffe in die Brücke waren während der Nutzung untersagt. Ein Austausch des Rohrstrangs hätte den Stadtverkehr stark beeinträchtigt und hätte aufwändige und kostspielige Umleitungsmöglichkeiten zur Folge gehabt.

Durch die nicht-invasive Installationsweise von CarboSeal® konnte eine Erneuerung des 2 x 95 Meter langen Abschnitts ohne Beeinträchtigung des Verkehrs im September 2022 durchgeführt werden. Der Liner wurde durch eine 4 Meter tiefe Kammer mit einem Schachtzugang vom Bürgersteig in die Rohre eingezogen. Der Bürgersteig wurde leicht verengt, für Fußgänger und Radfahrer aber durchgehend offengehalten. Die Fahrbahn blieb während der gesamten Installationsmaßnahme völlig unbeeinflusst. Der CarboSeal-Einbau dauerte zwei Tage, der gesamte Vorgang fünf. Die Firma Poli führte die Installation mit Hilfe von PPR-Personal vor Ort durch.





Installation in Sheffield, Großbritannien

Im Stadtzentrum von Sheffield, Großbritannien, musste ein 42 Meter langer Rohrabschnitt DN 400 erneuert werden. Eine herkömmliche Lösung per Erdaushub war nicht möglich, da die Rohre unter einer stark befahrenen Straße mit mehreren Buslinien verlaufen.

Durch Schächte auf jeder Seite der Straße wurden Zugänge zum Rohrstrang geschaffen. In bis zu vier Metern Tiefe konnte CarboSeal® ohne Probleme eingebaut werden. Die Installationsfirma CPC Civils sowie der Netzeigentümer Veolia UK freuten sich über weitreichende Vorteile gegenüber der offenen Bauweise: Neben den nur minimalen Grabungsarbeiten und dem damit verbundenen ausgebliebenen Umleitungsmaßnahmen konnten durch die Installation von CarboSeal® Kosten in Höhe von rund 120.000 £ im Vergleich zu alternativen Methoden eingespart werden. Die Installation kann an einem einzigen Arbeitstag durchgeführt und der Rohrstrang nach zwei Tagen wieder in Betrieb genommen werden.







Installation in Aachen

Im Rahmen der Bewältigung einer Havarie im Fernwärmenetz der RWE bei Aachen wurde mit CarboSeal® eine vorbeugende Sanierung eines 128 Meter langen Rohrstrangs DN 500 unter der A44 realisiert. Dieser Rohrstrang liegt parallel zur havarierten Leitung. Schon fünf Wochen nach der Beauftragung fiel der Startschuss für den Einbau. Als erstes Unternehmen in Deutschland setzte die RWE auf einen CarboSeal-Liner in dieser Dimension und Länge in einer Fernwärmehauptleitung.







4 Erkenntnisse

Bei allen durchgeführten Baustellen konnten die Vorteile des Schlauchliners, die aus der Sanierung von Abwasser-, Trinkwasser- und Gasleitungen hinlänglich bekannt sind, auch für den Bereich der Fernwärmeleitungen erfolgreich demonstriert werden:

- kurze Bauzeit, dadurch schnelle Wiederinbetriebnahme möglich
- geringer Platzbedarf
- kaum Beeinträchtigungen der Umgebung (Umwelt, Anwohner, Geschäfte) während der Bauzeit
- gut planbarer Bauablauf, Überraschungen aufgrund Baugrund oder anderer kreuzender Infrastruktur, die nicht in den Plänen eingezeichnet sind, entfallen.
- nahezu keine Belastung durch Staub, Lärm oder zusätzlichen Baustellenverkehr
- Flexibilität beim Einbau und der Terminplanung

5 Möglichkeiten

Entwickelt wurde CarboSeal®-Liner für Rohrdimensionen von DN 100 bis DN 800, derzeit ist er bis DN 500 verfügbar. CarboSeal® hält Temperaturen von bis zu 130°C und einem Innendruck von 16 bar stand. Für höhere Innendrücke kann die Konstruktion des Liners angepasst werden. Der Verbundstoff aus Hochtemperatur-Epoxidharz und Carbonfasern ist hydrolysebeständig, weiterhin sind keine Verluste der Fasereigenschaften im Laufe der Zeit zu erwarten. Durch seine geringe Oberflächenrauigkeit bleibt die Durchflusskapazität der Fernwärmeleitung erhalten oder sogar erhöht. Im Vergleich zur offenen Bauweise werden die Umwelt und Umgebung deutlich geschont, der CO2-Ausstoß um bis zu 90 Prozent reduziert. Auch der Platzbedarf für Maschinentechnik ist im Vergleich zur offenen Bauweise deutlich geringer. Durch die grabenlose Installationsweise ergeben sich auch schnellere Baufortschritte, kurzweiligere Planungs- und Genehmigungsphasen, geringere Beeinträchtigungen umliegender Infrastrukturen sowie erhebliche finanzielle Einsparpotentiale hinsichtlich Bodenaushub und Wiederherstellung der Oberflächen.

6 Einsatzgrenzen

CarboSeal® eignet sich momentan fast ausschließlich für die Sanierung gerader Leitungen. Projektbezogen kann eine Machbarkeitsprüfung von Bögen bis zu 12 Grad vorgenommen werden. Die Entwicklung von grabenlosen Verfahren zur Einbindung von Abzweigen ist in der Planung. Zurzeit muss für jeden Abzweig, Armatur oder Kompensator eine Baugrube erstellt und der Liner jeweils vor und nach dem Abzweig unterbrochen und mit einer Manschette an das Stahlrohr angebunden werden. Da CarboSeal® durch den Einbau von einem flexiblen Schlauch zu einem selbsttragenden Rohr geworden ist, dient das Altrohr während des Einbaus lediglich als Schalung und muss diese Aufgabe jedoch auch noch übernehmen können. Naturgemäß kann mittels einer Schlauchlinersanierung die Wärmeisolation des Altrohres nicht verbessert werden. Sollten äußere Lasten auf den Liner einwirken (z.B. Erd- oder Verkehrslasten), so kann CarboSeal® auch gegen diese Lasten ausgelegt werden.

Autoren:

Dipl.-Ing. /FH) Lars Quernheim
BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG, Velten

Tel.: +49 3304 2088 101
E-Mail:
lars.quernheim@bkp-berolina.de
Internet:
www.bkp-berolina.de



Max Gottschalk
BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG, Velten

Tel.: +49 3304 2088 173
E-Mail:
max.gottschalk@bkp-berolina.de
Internet:
www.bkp-berolina.de



5
Neues aus dem Rohrleitungsbau

Seismische Einwirkungen auf segmentierte, erdverlegte Rohrleitungen

Von Timo Schmitt, Roland Satlow, Christoph Melcher

1 Kurzfassung

Erdverlegte Rohrleitungssystemen für die Energie- und Wasserversorgung gehören zur kritischen Infrastruktur, deren erdbebensichere Auslegung von elementarer Bedeutung zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit nach einem Erdbebenereignis ist. Da für seismische Einwirkungen keine geeigneten Typprüfungen für Rohre durchführbar sind, wurde die hier vorliegende Studie zur seismischen Belastbarkeit von duktilen Gussrohren mit längskraftschlüssiger Muffenverbindung ausgearbeitet. Dazu werden an 3D Finite-Elemente-Modellen ausgewählte Rohrleitungskonstellationen mit gemufften VRS-T Verbindungen (schub- und zuggesichert) der Firma Tiroler Rohre auf den Lastfall seismische Wellenausbreitung untersucht. Die Belastungen werden als Verschiebungszeitverläufe auf die Rohrleitungsmodelle aufgebracht und nichtlineare Zeitverlaufsberechnungen durchgeführt. Dabei werden verschiedene Randbedingungen (Rohrverlauf, Nennweite, Erdbebenstärke, Welleneinfallswinkel, Wellengeschwindigkeit) und Einbausituationen (Bodenparameter, Erdüberdeckung) untersucht. Die Lasten werden dabei sukzessive gesteigert, um die Erdbebenwiderstandsfähigkeit der Leitung zu testen.

2 Einleitung

Zurückliegende Erdbeben haben die seismische Vulnerabilität von segmentierten Leitungen aus Gusseisen aufgezeigt, oftmals verbunden mit längeren Ausfallzeiten. Beispiele dazu sind die Erdbeben von San Francisco 1906, Coalinga 1983 oder Michoacan 1985 [1]. Die damals geschädigten Leitungen bestanden vermutlich aus Grauguss, der im Gegensatz zum hier verwendeten duktilen Gusseisen geringere Festigkeiten und Verformbarkeiten aufweist. Speziell bei systemrelevanten Rohleitungsnetzen für die Trinkwasserversorgung sowie Abwasserentsorgung ist es von essentieller Bedeutung, dass die Muffenverbindungen Überlastungen infolge von einzelnen Extremereignissen (Hangrutschung, Erdbeben) schadlos überstehen und der Betrieb und die Versorgung aufrechterhalten bleibt. Dazu eignen sich z. B. längszuggesicherte, segmentierte, duktile Gussrohrleitungen, deren Rohrstränge aus einzelnen mit flexiblen Verbindungen gefügten Rohren bestehen. Der große Vorteil von längskraftschlüssigen VRS-T Muffenverbindungen liegt in der Flexibilität der einzelnen Gelenkpunkte. Die Verbindungen lassen eine bedingte Längsverschiebbarkeit von einigen Millimetern zu. Je nach Nennweite sind Abwinkelungen von 3° bis 5° möglich. Auf Torsion besteht keine Einschränkung, die Verbindungen können frei rotieren.

Erdverlegte Rohrleitungen sind verschiedenen seismischen Einwirkungen ausgesetzt. In diesem Beitrag wird die Einwirkung infolge fortschreitender Erdbebenwellen betrachtet, welche zu transienten Verschiebungsdifferenzen führt, die von der Leitung aufgenommen werden müssen. Darüber hinaus können erdverlegte Rohrleitungen auch permanenten Verschiebungsdifferenzen infolge von oberflächennahen Verwerfungen ausgesetzt sein. Dabei treten nicht nur

relevante Verschiebungen entlang der Verwerfung und beim Kreuzen der Verwerfung auf, sondern auch Sekundärverschiebungen abseits der Verwerfung. Einwirkungen infolge von Sekundäreffekten sind Bodenverflüssigung, Hangrutschungen und seismischen Setzungen infolge Erdbeben. Eine detaillierte Beschreibung der seismischen Welleneinwirkungen auf erdverlegte Rohrleitungen wurde bereits in [2] bei analogen Untersuchungen zu nicht-segmentierten Leitungen gegeben. In [3] wurde eine Parameterstudie zu verschiedenen Einflussparametern bei nicht-segmentierten Leitungen vorgestellt.

3 Rohre aus duktilem Gusseisen

„Duktiles Gusseisen ist ein plastisch verformbarer und zäher Eisen-Kohlenstoff Werkstoff, dessen Kohlenstoffanteil überwiegend als elementarer kugelförmiger Grafit vorliegt. Vom Grauguss unterscheidet er sich hauptsächlich durch die Gestalt der Grafitteilchen. […] Seine mechanisch-technologischen Eigenschaften sind in der Norm EN 545 [4] beschrieben. […] Beim Grauguss (Bild 1, links) setzen die Grafitlamellen wegen ihres Kerbeffekts die relativ hohe Festigkeit des Grundgefüges herab, wobei sie seine Bruchdehnung unter 1% sinken lassen. […] Im duktilen Gusseisen bzw. Gusseisen mit Kugelgrafit ist der Grafit kugelig ausgebildet (Bild 1, rechts). […]

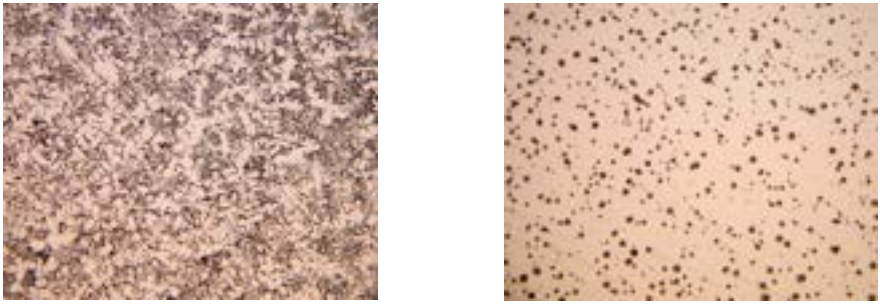


Bild 1: Links: Grauguss mit Grafitlamellen, rechts: Gusseisen mit Kugelgrafit; Quelle: Tiroler Rohre GmbH, Roland Satlow

Während beim Gusseisen mit Lamellengrafit die Spannungslinien an den Spitzen der Graphitlamellen stark verdichtet sind, umfließen sie den in Kugelform ausgeschiedenen Grafit fast ungestört. Aus diesem Grunde lässt sich duktiles Gusseisen unter Last verformen. Damit bei der Erstarrung der Kohlenstoff in weitgehend kugeliger Form kristallisiert, muss das flüssige Eisen mit Magnesium behandelt werden. Die Folge ist eine erhebliche Steigerung von Festigkeit und Verformbarkeit im Vergleich zum Grauguss.“ (Quelle: EADIPS-European Association für Ductile Iron Pipe Systems)

4 Berechnungsansatz

4.1 Berechnungsmodell

Die Berechnung erfolgt an einem 3D-Finite Elemente Modell unter Vernachlässigung der Trägheitskräfte. Die Leitung wird mit ringförmigen Balkenelementen abgebildet, wobei die Nichtlinearität des Materials durch eine bilineare Last-Verformungskurve beschrieben wird. Die Interaktion mit dem Boden wird durch an die Leitung angeschlossene nichtlineare Federelemente erfasst. Es werden Federn in axialer, transversaler und vertikaler Richtung angebracht. Zusätzlich werden torsionale Federn berücksichtigt. In der Vertikalrichtung sind zwei Federn angeordnet, da sich die Federeigenschaften für die Aufwärts- und Abwärtsbewegung unterscheiden (Bild 2). Die Federkennlinien für die Bodenfedern basieren auf den Angaben in den Richtlinien ALA [5] und ASCE [6].

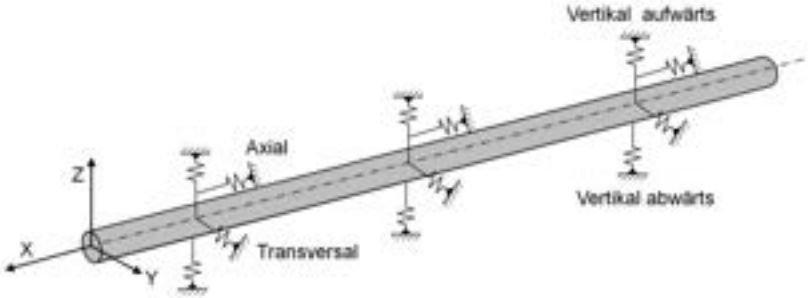


Bild 2: 3D-Modell der Rohrleitung mit nichtlinearen Bodenfedern

Die Modellierung der Muffenverbindungen zwischen den einzelnen 5 m langen Segmenten erfolgt ebenfalls mit Federmodellen (Axial-, Dreh- und Rotationsfedern). Im Folgenden sind die Federmodelle beschrieben.

4.2 Seismische Einwirkung

Als Erdbebenbelastung werden transiente Verschiebungsdifferenzen fortschreitender Erdbebenwellen als Zeitverlaufsberechnung auf das Modell aufgebracht. Dazu werden kompatibel zum Antwortspektrum aus EN 1998-1 [7], Typ 1, für die Bodenklasse D (Lockersediment) drei Sets mit je drei Richtungskomponenten (X, Y, Z) von spektrumkompatiblen und stochastisch unabhängigen synthetischen Zeitverläufen generiert. Die Zeitverläufe werden basislinienkorrigiert und in die drei Raumrichtungen auf die Lagerpunkte der Boden-Federelemente der Leitung angesetzt (Bild 2).

Die Wellenausbreitung über den betrachteten Leitungsabschnitt aus mehreren Segmenten wird durch eine zeitversetzte Aufbringung der seismischen Einwirkung an den Lagerpunkten für eine scheinbare Wellengeschwindigkeit C_{SW} von 2000 m/s simuliert. Die sog. scheinbare Wellengeschwindigkeit ist dabei die Laufgeschwindigkeit entlang der Erdoberfläche. Nach [8] liegen die

scheinbaren Wellengeschwindigkeiten etwa zwischen 2000 m/s und 5000 m/s. Die sich ausbreitende Wellenfront wird im Modell in einer jeweils vorgegebenen (azimutalen) Richtung angesetzt. Es werden verschiedene Richtungen untersucht. Zu jedem Zeitpunkt der Zeitverlaufsberechnung wird die Entfernung jedes Rohrleitungspunktes im Rechenmodell zur Wellenfront berechnet. Sobald die Welle einen Punkt der Rohrleitung erreicht, werden in diesem die drei Raumkomponenten der Erdbebenwirkung gleichzeitig wirkend voll angesetzt. Als Dauer des Zeitverlaufs werden 5 s angesetzt. In Testrechnungen zeigte sich, dass ein längerer Zeitverlauf von 10 s zu ähnlichen Ergebnissen führt.

4.3 Boden-Federgesetze

Die Größe der Kräfte, die bei einem Erdbeben auf die Leitung übertragen werden, ist dabei von den Relativbewegungen in den einzelnen Richtungen abhängig. Ab einer bestimmten Relativbewegung zwischen Leitung und Boden steigt die übertragbare Kraft nicht weiter an und es kommt zu einem Schlupf zwischen Leitung und Boden.

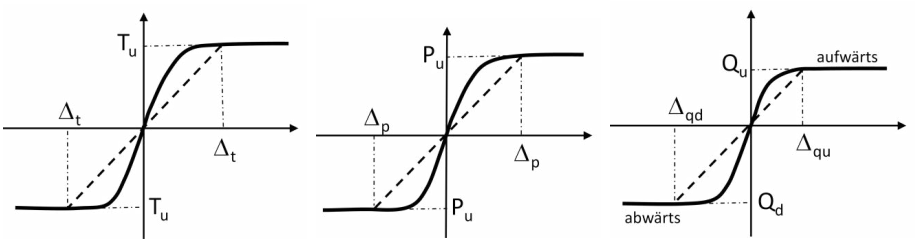


Bild 3: Federgesetz in axialer Richtung (links), transversaler Richtung (mitte) und vertikaler Richtung (rechts

4.3.1 Federgesetz in axialer Richtung

Das in Bild 3 (links) dargestellte Federgesetz für die axiale Richtung ist definiert durch die maximal übertragbare Axialkraft T_u und die maximale Relativbewegung Δ_t. Die maximal übertragbare Axialkraft T_u pro Längeneinheit beträgt:

$$T_u = \pi \cdot D \cdot \alpha \cdot c + \pi \cdot D \cdot H \cdot \gamma \frac{1 + K_0}{2} \tan(f \cdot \varphi) \qquad (1)$$

Hierbei sind D [m] der Rohrdurchmesser, c [kN/m²] die Kohäsion, α [-] der Adhäsionsfaktor, H [m] die Höhe der Bodenverfüllung über dem Rohr, K_0 [-] der Erdruhedruckbeiwert, γ [kN/m²] die effektive Bodenwichte, f [-] der Beiwert zur Berücksichtigung des Rohrmaterials (Beton: 1,0; glatter Stahl: 0,7) und φ[°] der Reibungswinkel des Bodens. Der Adhäsionsfaktor α ist wie folgt anzusetzen:

$$\alpha = 0{,}608 - 0{,}00123 \cdot c - \frac{0{,}274}{\left(\frac{c}{100}\right)^2 + 1} + \frac{0{,}695}{\left(\frac{c}{100}\right)^3 + 1} \qquad (2)$$

Die maximale Relativbewegung Δ_t beträgt 3 mm für dicht gelagerten Sand, 5 mm für locker gelagerten Sand (z. B. Bettungssand), 8 mm für steifen bindigen Boden und 10 mm für weichen bindigen Boden.

4.3.2 Federgesetz in transversaler Richtung

Das in Bild 3 (Mitte) dargestellte Federgesetz für die transversale Richtung ist definiert durch die maximale Kraft in transversaler Richtung P_u und die maximale Relativbewegung Δ_p. Die maximale Kraft in transversaler Richtung P_u pro Längeneinheit beträgt:

$$P_u = N_{ch} \cdot c \cdot D + N_{qh} \cdot \bar{\gamma} \cdot H \cdot D \quad (3)$$

Hierbei ist N_{ch} der horizontale Tragfähigkeitsfaktor für bindige Böden (0 für c = 0) und N_{qh} für Sand (0 für φ = 0). Die beiden Tragfähigkeitsfaktoren werden aus dem Diagramm in Bild 4 bestimmt. Die zur maximalen Kraft P_u gehörige Relativbewegung Δ_p beträgt 0,07 bis 0,1 (H + D/2) für losen Sand, 0,03 bis 0,05 (H + D/2) für mitteldichten Sand, 0,02 bis 0,03 (H + D/2) für dichten Sand und 0,03 bis 0,05 (H + D/2) für steifen bis bindigen Boden.

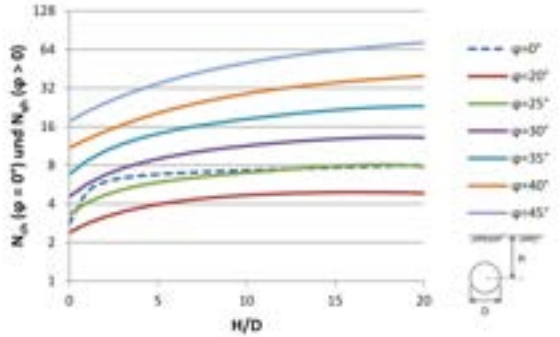


Bild 4: Tragfähigkeitsfaktoren N_{qh} und N_{ch} aus [5]

4.3.3 Federgesetz in vertikaler Richtung

Das in Bild 3 (rechts) dargestellte Federgesetz für die vertikale Richtung wird definiert durch die maximal übertragbare Axialkraft Q_u und die maximalen Relativbewegung Δ_{qd} und Δ_{qu}. Die maximale vertikale Kraft Q_u pro Längeneinheit für Aufwärtsbewegungen beträgt:

$$Q_u = N_{cv} \cdot c \cdot D + N_{qv} \cdot \bar{\gamma} \cdot H \cdot D \quad (4)$$

Hierbei sind N_{cv} der vertikale Tragfähigkeitsfaktor für bindige Böden (0 für c = 0) und N_{qv} für Sand (0 für φ = 0), die wie folgt ermittelt werden:

$$N_{cv} = 2\left(\frac{H}{D}\right) \le 10 \text{ anwendbar für } \left(\frac{H}{D}\right) \le 10 \quad (5)$$

$$N_{qv} = \left(\frac{\varphi \cdot H}{44 \cdot D}\right) \le N_q \quad (6)$$

Die Relativbewegung Δ_{qu} für die maximale vertikale Federkraft Q_u beträgt 0,01 H bis 0,02 H und < 0,1 D für locker bis dicht gelagerten Sand sowie 0,1 H bis 0,2 H und < 0,2 D für steifen bis weichen bindigen Boden.

Der maximale vertikale Kraft Q_d pro Längeneinheit für Aufwärtsbewegungen beträgt:

$$Q_d = N_c \cdot c \cdot D + N_q \cdot \gamma \cdot H \cdot D + N_\gamma \cdot \bar{\gamma} \cdot \frac{D}{2} \tag{7}$$

Hierbei ist $\bar{\gamma}$ [kN/m³] die totale Bodenwichte und N_c, N_q und N_γ sind die vertikalen Tragfähigkeitsfaktoren, die sich wie folgt berechnen:

$$N_C = [\cot(\varphi + 0{,}001)] \cdot \left(\left[\exp[\pi \cdot \tan(\varphi + 0{,}001)] \tan^2\left(45 + \frac{\varphi + 0{,}001}{2} \right) - 1 \right) \right) \tag{8}$$

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \tag{9}$$

$$N_\gamma = e^{(0{,}18\varphi - 2{,}5)} \tag{10}$$

Die zur maximalen vertikalen Kraft Q_d korrespondierende Relativbewegung Δ_{qd} beträgt 0,1 D bis 0,15 D für nicht-bindigen und bindigen Boden.

4.3.4 Federgesetz für Torsion

In den Richtlinien ALA [5] und ASCE [6] finden sich keine Angaben für den Ansatz des Widerstands des Bodens gegen Rotationen des Rohres um die Längsachse. Wenn die Rohrleitung Kurvenbereiche aufweist, sollte der Torsionswiderstand aber berücksichtigt werden. Nach Kuhlmann [9] kann die Annahme getroffen werden, dass sich für Relativbewegungen zwischen Rohr und Boden in tangentialer Richtung der gleiche Widerstand wie für Relativbewegungen in axialer Richtung einstellt. Mit der maximal auf die Rohrleitung übertragbaren Axialkraft T_u pro Längeneinheit (Gl. 1) ergibt sich das maximal pro Längeneinheit auf die Rohrleitung übertragbare Torsionsmoment zu $R_u = T_U \cdot D / 2$.

Für die Torsionsfeder wird ebenfalls ein bilineares Federgesetz angesetzt. Die zur Aktivierung des maximalen Torsionswiderstandes R_u notwendige relative Verdrehung $\Delta\varphi$ ergibt sich, indem die relative Verschiebung Δ_t zur Aktivierung des maximalen axialen Bodenwiderstandes in Radiant umgerechnet wird: $\Delta\varphi = (2 \cdot \Delta_t) / D$.

4.4 Muffenverbindung (VRS-T Verbindung) und Federgesetze

Eine längskraftschlüssige Muffe mit Auszugsicherung besteht aus zwei getrennten Kammern, einer Sicherungskammer und einer Dichtungskammer (Bild 5). Die Kräfte werden von einem Rohr / Formstück zum anderen über die Schweißraupe und die Riegel / Verriegellungselemente in die Muffe übertragen. Die Ausführung der Verbindung ist bei Rohren und Formstücken gleich. Die Verbindung wirkt als bedingt längsverschiebbares Gelenk und bleibt bei maximaler Dezentrierung und Abwinkelung dicht. Dies ist durch die Typprüfungen lt. EN 545 [4] und EN 598 [10] nachgewiesen.

4.4.1 Axiale Kraftfedern

Die axialen Federgesetze für die VRS-T Verbindungen der untersuchten Nennweiten DN 150 und DN 300 sind in Bild 6 beispielhaft dargestellt. Zusätzlich wurden auch einzelne Berechnungen für die Nennweite DN 80 durchgeführt. Durch den Innendruck ist die Verbindung i. d. R. auf Zug belastet. Tritt infolge des Wellenversatzes beim Erdbeben eine Schubkraft auf, so schiebt sich die Muffe zusammen und geht auf Block.



Bild 5: Schematische Darstellung der Verbindung zwischen zwei Rohrsegmenten (VRS-T Verbindung); Quelle: Tiroler Rohre GmbH

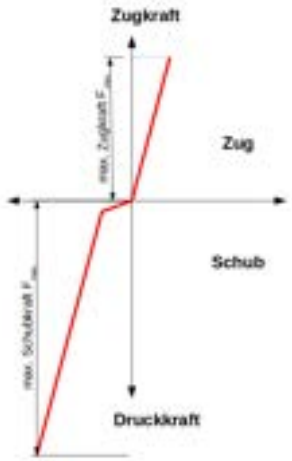


Bild 6: Kraft-Verschiebungsverlauf der axialen Kraftfedern der VRS-T Muffenverbindung

4.4.2 Drehfedern für die Abwinkelung

Für die gegenseitige Verdrehung der Rohrsegmente, wird unter Berücksichtigung der Geometrie eine maximale Abwinkelung von 5 Grad (ϕ_1 = 0,087 rad) angenommen. Bis zu dieser

Verdrehung wird nur eine sehr kleine Steifigkeit angesetzt. Für größere Winkel geht die Steifigkeit der Feder gegen unendlich.

4.4.3 Torsionsfedern

Bei Leitungsabschnitten mit Kurven, kann es zu Torsion in der Rohrleitung kommen. Der Widerstand für die gegenseitige Verdrehung um die Längsachse in tangentialer Richtung in der Muffe ist allerdings sehr klein. Daher wird hier nur eine sehr geringe Drehfedersteifigkeit angesetzt.

5 Kennwerte und Parameter

5.1 Bodenkennwerte

Die Aufstellung der Federgesetze für das Rechenmodell der Leitung erfordert als Eingabewerte die Materialparameter zur Beschreibung des Bodens. Konservativ wird keine Kohäsion berücksichtigt. Es werden folgende Parameter für einen Lockersedimentboden (Bettungssand) angesetzt: Effektive Bodenwichte g' = 11 kN/m², Erdruhedruckbeiwert K0 = 0,50 (≈ 1 - sin φ), Reibungswinkel φ = 30° (Variante 38°), Reibungskoeffizient f zwischen Rohr und Boden [9]: f = 0,8 (rauer Stahl [5]), Bodenwichte g = 18 kN/m².

5.2 Materialkennwerte der Rohre

Für die Rohre werden folgende Kennwerte für das Material GJS 420-10 (duktiles Gusseisen) angesetzt: 0,2 % Dehngrenze $Rp_{0,2}$ = 300 N/mm², Zugfestigkeit R_m = 420 N/mm², Bruchdehnung: 10 %, E-Modul: 170.000 MPa.

6 Berechnungen

6.1 Untersuchte Modellvarianten

Es werden zwei Grundvarianten von Rohrleitungsabschnitten mit Segmentlängen von 5 m untersucht: ein gerader Abschnitt und ein Abschnitt mit 90 Grad Bogen. Dabei werden die Nennweiten DN 150 und DN 300 betrachtet. Für die Nennweite DN 80 werden anschließend ergänzende Berechnungen mit 90 Grad Bogen durchgeführt. Die zugehörigen Geometrieparameter wurden den Datenblättern der Rohre mit VRS-T Verbindungen entnommen. Im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung werden folgende Parameter bei verschiedenen Modellen variiert: Erdbebenstärke (bis 0,2 g), Nennweite (DN 80, DN 150, DN 300), azimutaler Einfallswinkel (Erdbebenrichtung) 0°, 22,5°, 45°, 90° zur Rohrachse, Erdüberdeckung (1,8 m, 4 m, 10 m), Zeitverlauf-Set (Set 1, Set 2, Set 3), Boden-Reibungswinkel (30°, 38°), scheinbare Wellengeschwindigkeit (C_{SW} = 1000 m/s, C_{SW} = 2000 m/s). Zur Untersuchung des Einflusses der Segmentlänge werden zudem für eine Konstellation zwei zusätzliche Varianten mit 4 m Segmenten und 6 m Segmenten berechnet.

6.2 Berechnungsergebnisse

Aus den Zeitverlaufsberechnungen wurden jeweils die maximal während des Zeitverlaufes aufgetretenen Spannungen und Dehnungen entlang der Leitung ausgewertet. Zusätzlich wurde überprüft, ob die maximal aufnehmbare Zugkraft der Muffen zu keinem Zeitpunkt überschritten wurde. Nach sukzessiver Steigerung der seismischen Einwirkung wurden die Modelle zur Vergleichbarkeit für eine max. Bodenbeschleunigung von 0,2 g ausgewertet. Die Berechnungen mit dem geraden Abschnitt ergaben für die zugrunde gelegten Bodenkennwerte auch bei hohen seismischen Belastungen unkritische Spannungen, Dehnungen und Zugkräfte in den Muffen. Folgend sind die Ergebnisse der Berechnungen mit den Modellen mit 90° Bogen angegeben. Ein Auszug der Ergebnisse für die Modelle B90_1 bis B90_8 mit DN 150 und DN 300 sind in der Tabelle 1, normiert auf die Maximalwerte der Ergebnisse aus der Variante B90_7, angegeben. Die Variante B90_7 ergab eine maximale Axialspannung von ± 332 N/mm² und eine maximale Dehnung von ± 7,5 ‰.

Modell	Parametervariante	$\sigma_{x,max,\ normiert}$	$\varepsilon_{x,max\ ,\ normiert}$	Ausnutzungsgrad F_M [kN]
B90_1	DN150, B1, $C_{SW,2000}$, $H_{1.8}$, E0	0,70	0,18	12,9 %
B90_2	DN150, B1, $C_{SW,2000}$, $H_{1.8}$, E22,5	0,66	0,17	< 10 %
B90_3	DN150, B1, $C_{SW,2000}$, $H_{1.8}$, E45	0,65	0,17	< 10 %
B90_4	DN150, B1, $C_{SW,2000}$, $H_{1.8}$, E90	0,68	0,17	< 10 %
B90_5	DN300, B1, $C_{SW,2000}$, $H_{1.8}$, E0	0,42	0,11	< 10 %
B90_6	DN150, B1, $C_{SW,1000}$, $H_{1.8}$, E0	0,70	0,18	< 10 %
B90_7	DN150, B2, $C_{SW,2000}$, $H_{4.0}$, E0	1,00	1,00	53,4 %
B90_8	DN150, B2, $C_{SW,2000}$, $H_{10.0}$, E0	-	-	> 100 %

Tabelle 1: Ergebnisse der Modellvarianten B90_1 bis B90_8 für das Modell mit 90° Bogen, normiert auf die Maximalwerte aus der Variante B90_7; Axialspannung $\sigma_{x,max}$, Dehnung $\varepsilon_{x,max}$, Zugkraft der Muffe F_M; Boden-Reibungswinkel 30° (B1) und 38° (B2), $C_{SW,j}$: Scheinbare Wellengeschwindigkeit (j in m/s), H_k: Erdüberdeckung (k in m), E_l: azimutaler Einfallswinkel der Erdbebenwellen (l in Grad), Zeitverlauf-Set 1

Die maximal berechneten Spannungen sind exemplarisch für die Variante B90_1 (Boden-Reibungswinkel 30°, Erdüberdeckung 1,8 m, maximale Bodenbeschleunigung 0,2 g) in Bild 7 dargestellt. Im Zeitverlauf trat die maximale Axialspannung von ± 234 N/mm² zum Zeitpunkt t = 2,56 s auf, bei einer maximalen Dehnung von ± 1,4 ‰. Dabei verläuft die einfallende Wellenfront entlang der Axialrichtung der Leitung „in den Bogen hinein“. Das Leitungsstück hinter dem Bogen, in Querrichtung zur Wellenfront, wirkt dabei wie eine Art Auflager. Die anderen Einfallswinkel führten zu geringeren Spannungen. Die Berechnung mit einer halb so großen Wellengeschwindigkeit C_{SW} = 1000 m/s (Modell B90_6), die eine sehr konservative Annahme darstellt, führte zu gleich großen Spannungen wie im Modell B90_1 mit C_{SW} = 2000 m/s.

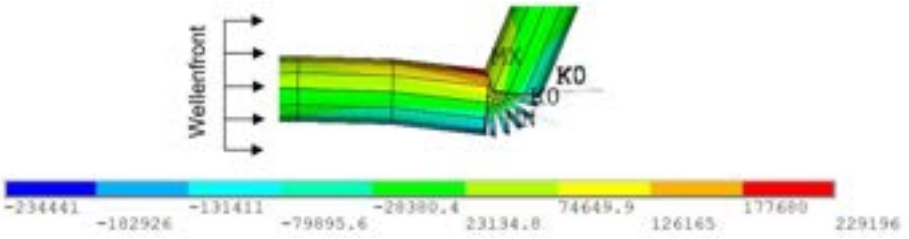


Bild 7: Modell B90_1 bei t = 2.56 s: Axialspannungsverteilung im Kurvenbereich; Verformungen überhöht dargestellt!

Während der Einfallswinkel in den Varianten B90_2 bis B90_4 hier einen eher geringen Einfluss hat, ergaben sich für höhere Erdüberdeckungen und den größeren Boden-Reibungswinkel deutlich höhere Spannungen. Bei der Variante B90_8 mit DN 150 und einer Erdüberdeckung von 10 m wurde die maximale Zugkraft in der Muffe überschritten. Die Varianten mit DN 300 (hier beispielhaft Modell B90_5) ergaben wesentlich geringere Beanspruchungen. In ergänzenden Berechnungen zum DN 80 Querschnitt zeigte sich, dass ein Auseinanderziehen der Segmente aufgrund der deutlich geringen maximal aufnehmbaren Zugkraft der Muffen, im Vergleich zum DN 150 und DN 300 Querschnitt, bei ungünstigen Randbedingungen deutlich schneller eintritt. Die maximalen Spannungen und Dehnungen waren dabei unkritisch. Für den DN 80 Querschnitt und die Grundkombination mit dem Reibungswinkel 30° und der Erdüberdeckung 1,8 m, ergab sich für den ungünstigsten Einfallswinkel von 0° zur Rohrachse bereits eine Auslastung von 75 % der maximal aufnehmbaren Zugkraft der Muffen. Die maximale Spannung ergab sich in dieser Variante zu ± 285 N/mm^2 und die maximale Dehnung zu ± 1,7 ‰. Bei einer erneuten Berechnung mit einem Boden-Reibungswinkel von 38° wurde die maximale Zugkraft erreicht.

Ergänzend wurde der Einfluss der Segmentlänge auf die Ergebnisse untersucht. Dazu wurde basierend auf dem Modell B90_1 mit 5 m langen Segmenten im Modell B90_1_4m die Segmentlänge auf 4 m reduziert und im Modell B90_1_6m auf 6 m erhöht. Die maximalen Spannungen zeigten eine signifikante Abhängigkeit von der Segmentlänge. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 auf das Modell B90_1 normiert dargestellt. Für das Modell mit 4 m Segmenten ergaben sich um 14 % reduzierte maximale Belastungen gegenüber dem Modell mit 5 m Segmenten, während das Modell mit 6 m Segmenten zu 10 % höheren Belastungen führte.

Modell	**Parametervariante**	$\sigma_{x,max,\ normiert}$	$\varepsilon_{x,max\ ,\ normiert}$
B90_1_4m	wie B90_1 mit 4 m Segmenten	0,86	0,86
B90_1	s. Tabelle 1	1,0	1,0
B90_1_6m	wie B90_1 mit 6 m Segmenten	1,10	0,10

Tabelle 2: Vergleich der maximalen Spannungen und Dehnungen für unterschiedliche Segmentlängen (Ergebnisse auf das Modell mit 5 m langen Segmenten normiert)

7 Zusammenfassung

Im Rahmen der hier durchgeführten Berechnungen wurde die Erdbebenwiderstandsfähigkeit und das Verhalten erdverlegter segmentierter Leitungen aus duktilem Gusseisen für den Lastfall „seismischer Wellenversatz“ untersucht. Dazu wurden nichtlineare Zeitverlaufsberechnungen an einem 3D Finite-Element-Modell eines Leitungsabschnittes durchgeführt. Es wurden ein gerader Leitungsabschnitt und ein Abschnitt mit einem 90 Grad Bogen betrachtet, die in Lockersediment verlegt sind. In Modellvarianten wurde der Einfluss von Nennweite, Kurvenradius, Variation des azimutalen Einfallswinkels der seismischen Wellen, seismische Wellengeschwindigkeit, Erdüberdeckung und synthetische Zeitverläufe untersucht.

Die maximalen Axialspannungen für eine maximale Bodenbeschleunigung von 0,2 g ergaben sich beim Modell mit 90 Grad Bogen und axial einlaufenden Erdbebenwellen. Bei den ungünstigsten Varianten (insbesondere DN 80) trat ein Versagen durch das Überschreiten der maximalen Zugkraft in den Muffen auf. Als Ertüchtigungsmaßnahme gegen ein Auseinanderziehen der Muffen, kann hierbei durch den Einbau von Dehnungselementen - insbesondere vor und nach Rohrbögen - die Erdbebenrobustheit erhöht werden. Die Untersuchung des Einflusses der Segmentlänge ergab, dass sich kürzere Segmente günstiger auf die Belastung auswirken.

8 Schlussfolgerungen

Die hier untersuchten segmentierten Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen für Nennweiten von mindestens DN 80 zeigten bis zu einer maximalen Bodenbeschleunigung von 0,2 g - auch für einen ungünstigen 90 Grad Boden - unter den Randbedingungen eines Boden-Reibungswinkels von ca. 30° und einer Erdüberdeckung bis ca. 2 m eine hohe Robustheit gegen seismische Einwirkungen. Für Nennweiten ab DN 150 kann auch für einen ungünstigeren Boden-Reibungswinkel von bis ca. 38° und einer Erdüberdeckung von bis ca. 4 m, bei den hier untersuchten Konstellationen, von einer ausreichenden Robustheit gegen Erdbeben bis zu einer maximalen Bodenbeschleunigung von ca. 0,2 g ausgegangen werden.

Die durchgeführten Untersuchungen belegen die allgemein erwartete hohe Robustheit segmentierter Rohrleitungen gegen Erdbebeneinwirkungen. Treten Schäden auf, sind diese oft durch ein Auseinanderziehen der Segmente verursacht [1]. Dem kann allerdings durch den Einbau von Dehnungselementen an den kritischen Stellen begegnet werden. Der Einfluss des azimutalen Einfallswinkels der Wellen war bei den hier durchgeführten Berechnungen weniger ausgeprägt als bei den Berechnungen in [3] an kontinuierliche Leitungen. Die Anzahl der Simulation ist allerdings zu gering, um hieraus eine allgemeine Tendenz abzuleiten.

In Starkbebengebieten empfiehlt sich, insbesondere bei Leitungen mit kleinen Nennweiten und bei Einbausituationen mit hohem Reibungswinkel und / oder großen Erdüberdeckungen, eine Berechnung mit konkreten Trassierungsabschnitten durchzuführen. Bei maximalen Bodenbeschleunigungen ab 0,2 g wird zudem eine Abschätzung des Bodenverflüssigungspotentials empfohlen, sofern bei Leitungsschäden relevante Folgewirkungen zu vermeiden sind.

9 Literatur

[1] Elhmadi, K. & J. O'Rourke (1990): Seismic damage to segmented buried pipelines. – Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 19, pp. 529-539, 1990

[2] Butenweg, Ch., Schmitt, T. & B. Rosen (2014): Seismische Einwirkungen auf erdverlegte Rohrleitungssysteme. – Bauingenieur, ISSN: 0005-6650, Band 89, Juli / August 2014

[3] Butenweg, Ch. & T. Schmitt (2015): Seismische Einwirkungen auf erdverlegte Rohrleitungssysteme, Parameterstudie. Tagungsbeitrag: D-A-CH Tagung 2015 in Zürich

[4] EN 545: Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines – Requirements and test methods 2010

[5] ALA - American Lifelines Alliance: Guidelines of the Design and Buried Steel Pipe, 2001

[6] ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering: Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems, 1984

[7] EN 1998-1:2010-12: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; EN 1998-1:2004 + AC:2009

[8] O'Rourke, M.J., Bloom, M.C., & R. Dobry (1982): Apparent propagation velocity of body waves. – Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 10, pp. 283-294, 1982

[9] Kuhlmann, W. (2004): Gesamtkonzept zur Ermittlung der seismischen Vulnerabilität von Bauwerken am Beispiel unterirdischer Rohrleitungen, Dissertation, RWTH-Aachen, 2004

[10] EN 598: Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for sewerage applications – Requirements and test methods 2007+A1:2009

Autoren:

Dr.-Ing. Timo Schmitt
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
München

Tel.: +49 89 5791-2239
E-Mail:
timo.schmitt@tuvsud.com
Internet:
www.tuvsud.com/de-is



Dipl.-Ing. Roland Satlow
Tiroler Rohre GmbH
Hall in Tirol

Tel.: +43 664-6112158
E-Mail:
roland.satlow@trm.at
Internet:
www.trm.at



Ing. Christoph Melcher
Tiroler Rohre GmbH
Hall in Tirol

Tel.: +43 664-88921417
E-Mail:
christoph.melcher@trm.at
Internet:
www.trm.at



Herstellen neuer Abgänge unter Druck und Temperatur – ohne Versorgungsunterbrechung

Von Tobias Bunse

1 Einleitung

In diesem Beitrag geht es um die „Anbohrtechnik“, einem Verfahren, das entwickelt wurde, um neue Verbraucher an bestehende Rohrleitungssysteme wie z. B. für Wärme, Kälte und Industrieanlagen im laufenden Betrieb anzuschließen, also unter vollem Druck und bei Betriebstemperatur. Damit wird eine Versorgungsunterbrechung zuverlässig vermieden.

Der bisherige konventionelle Weg ist deutlich zeitaufwendiger und kostenintensiver. Dabei muss die Rohrleitung außer Betrieb genommen und entleert werden. Danach wird ein Teil der beste-henden Rohrleitung herausgeschnitten und durch ein T-Stück ersetzt. Abschließend muss die Rohrleitung wieder mit dem Medium befüllt und entlüftet werden.

Daher gewinnt das Anbohrverfahren bei Netzverdichtung und -erweiterung zunehmend an Bedeutung. Leitungserweiterungen durch kleindimensionierte Anschlüsse, aber auch größere Ab-gänge an in Betrieb befindlichen Rohrleitungen werden durch das Anbohrverfahren wirtschaftli-cher und ohne Einschränkung der Versorgung am Netz befindlicher Verbraucher ermöglicht.

2 Einsatzbereiche

Das hier vorgestellte Anbohrverfahren wurde für flüssige Medien konzipiert. Es ist grundsätzlich auch für andere Medien zulässig, das müsste aber in Rücksprache mit den Herstellern geprüft werden.

Meistens werden Wärme- oder Kältesysteme mittels Anbohrtechnik erweitert. Die zulässige Be-triebstemperatur liegt zwischen -30°C und +200°C. Der maximal zulässige Betriebsüberdruck beträgt 25 bar. Es ist zwingend das zulässige Druck-/Temperatur-Verhältnis der verwendeten Anbohrarmaturen zu beachten.

Info-Kasten: Spezifikationen

- DN 20 bis DN 200
- Bis 25bar
- Bis 200°C

3 Das Anbohrverfahren

Beim Anbohren wird im laufenden Betrieb ein Anbohrkugelhahn auf die bestehende Rohrleitung aufgeschweißt. Mit einem speziellen Anbohrgerät wird dann durch diesen Kugelhahn hindurch die Rohrleitung aufgebohrt und somit der neue Abgang hergestellt.



Bild 1: Anbohrung durch einen Anbohrkugelhahn

Verbindliche Vorgaben für Anbohrverfahren finden sich zum Beispiel im Arbeitsblatt FW432 des AGFW (Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V).

Im Folgenden werden die speziellen Anbohrarmaturen und -gerätschaften sowie das Anbohrverfahren detaillierter vorgestellt.

Auf dem Markt sind verschiedene Hersteller mit ihren Anbohrsystemen vertreten, die alle in ähnlicher Weise die Anbohrtechnik umsetzen. Die konkreten Beispiele in diesem Beitrag beziehen sich aber immer auf das von uns benutzte (und vertriebene) NAVAL-Anbohrsystem.

4 Anbohrarmaturen

Es gibt verschiedene Arten von Anbohrarmaturen. Die gängigsten sind Anbohrkugelhähne, Anbohrsperren und Anbohrschellen. In den meisten Fällen werden Anbohrkugelhähne verwendet, da diese die sicherste und komfortabelste Variante sind. Darüber hinaus können Anbohrkugelhähne auch nach abgeschlossener Anbohrung als Absperrarmatur weiterverwendet werden.

Hochwertige Anbohrkugelhähne verfügen über verstärkte Anschweißenden, in der Regel 3-fache Spindelabdichtung und vollen Durchgang. Eine Betätigung mittels Außensechskant mit eindeutiger, gut ablesbarer Stellungsanzeige erhöht die Sicherheit. Das Öffnen und Schließen des Hahnes wird durch 90° Auf-/Zu-Anschläge (kein Durchrotieren der Kugel!) sicher begrenzt und verhindert Fehlbedienung. Durch Verwendung von Anbohrkugelhähnen mit verlängerter Spindel und Handhebel (in begehbaren Bereichen) entfällt eine zusätzliche Absperrarmatur nach der Anbohrarmatur.



Bild 2: Außen-Sechskant mit eindeutiger Stellungsanzeige

Alle von uns verwendeten Anbohrkugelhähne verfügen über komfortable Betätigungs-Außen-Sechskante (kein Inbus!) mit eindeutiger Stellungsanzeige sowie einer verschweißbaren Deckelschraube.

Durch die geringe Betätigungsspindelhöhe ist die gute Isolierbarkeit der Armatur gewährleistet.

Der Anbohrkugelhahn übernimmt die Aufgabe einer sonst erforderlichen Absperrarmatur.

5 Das Anbohrgerät

Anbohrgeräte können grundsätzlich nur in Verbindung mit den passenden Anbohrarmaturen eingesetzt werden.

Für die Anbohrung werden sie auf den auf die bestehende Rohrleitung aufgeschweißten Anbohrhahn geschraubt.

Sie sind folgendermaßen aufgebaut:

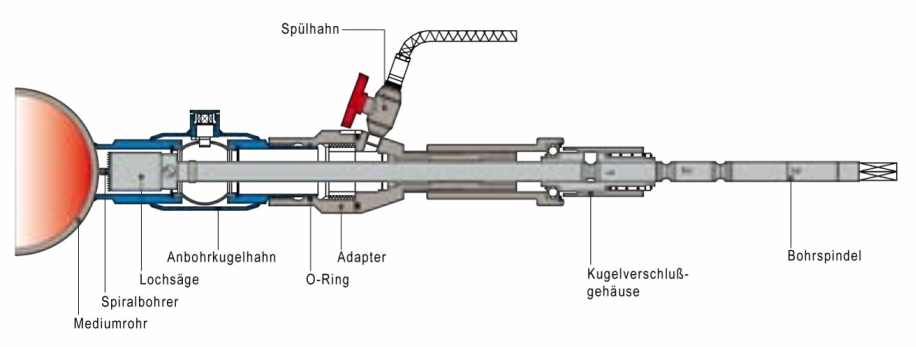


Bild 3: Skizze montiertes Anbohrgerät auf Kugelhahn und Mediumrohr

Das Anbohrgerät besteht aus einem Gehäuseteil mit montiertem Prüf- bzw. Spülhahn und der Vorschubeinheit, die aus dem Kugelverschlussgehäuse und einem Feingewinde für den Vortrieb der Bohrspindel besteht.

Die Bohrspindel ist mehrstufig ausgelegt und verfügt an dem einen Ende über eine Aufnahme für den Bohrerhalter und am anderen Ende über eine Aufnahme für die Bohrmaschine. Auf den Bohrerhalter wird die Lochsäge mit dem Zentrierbohrer montiert. Der Zentrierbohrer verfügt über eine Spreizfeder, die verhindert, dass das ausgesägte Wandstück in die Rohrleitung fällt.

Mit diversen Nennweitenadaptern, die mittels O-Ringen abgedichtet werden, kann das Anbohrgerät auf die unterschiedlich großen Anbohrkugelhähne aufgeschraubt werden.

Als Antrieb wird die mitgelieferte Bohrmaschine auf das Ende der Bohrspindel aufgesetzt.

6 Ablauf einer Anbohrung

6.1 Vorbereitende Maßnahmen

6.1.1 Vorbereitung der Anbohrarbeitsstelle

Dabei sind zunächst die Art des Mediums in der anzubohrenden Rohrleitung, sowie dessen Druck und Temperatur, die Nennweite und der Werkstoff der bestehenden Rohrleitung, als auch die Nennweite des herzustellenden Abgangs zu klären. Darüber hinaus ist festzustellen, ob der Platzbedarf an der Baustelle für die Arbeiten ausreicht und wo die nächsten Absperrmöglichkeiten der Rohrleitung sind. Die Brandmeldeeinrichtungen an der Baustelle sind für die Dauer des Schweißvorganges abzuschalten.



Bild 4: Anbohrbaustelle

6.1.2 Vorbereitung der Anbohrarmatur

Als nächstes ist der Anbohrkugelhahn vorzubereiten. Dabei muss die Anschweißenden-Kontur des Hahnes (auf der dem Gewinde abgewandten Seite) nach dem Krümmungsradius des Hauptrohres ausgebildet werden.

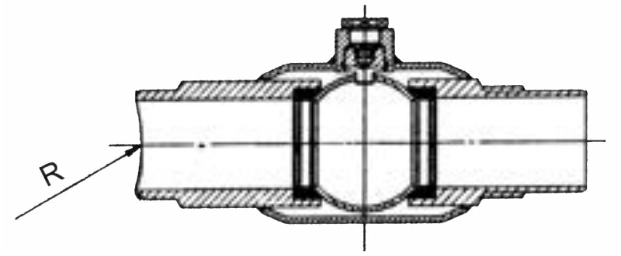


Bild 5: Anpassung der Anschweißendenkontur passend zum Hauptrohr

Der Anbohrhahn kann beliebig radial in einem Winkel von 0 bis 360 Grad an das Hauptrohr angeschweißt werden. Der Winkel zur Rohrmittellinie muss exakt 90 Grad betragen.

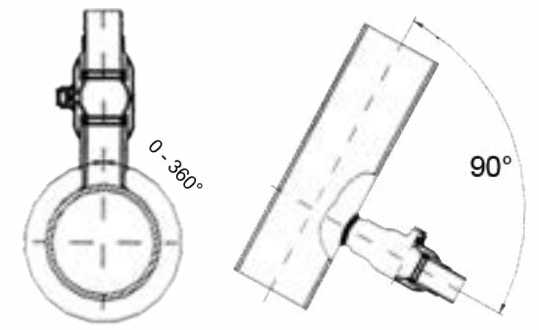


Bild 6: Ausrichtung des Anbohrkugelhahnes zur Rohrleitung

Die Anbohrung darf bei einem geschweißten Hauptrohr nicht auf der Schweißnaht erfolgen. Die Schweißung hat die erforderlichen Festigkeitsanforderungen zu erfüllen. Nötigenfalls ist der Anschluss mit einem Bundring zu festigen.

Es darf kein Schweißgut in das Innere des Anbohrhahnes gelangen, um ein Festsetzen der Lochsäge auszuschließen und ihre Beschädigung zu verhindern.

Abschließend ist eine Betätigungsprobe an dem abgekühlten Anbohrhahn durchzuführen und sicherzustellen, dass der Anbohrkugelhahn für die Anbohrung vollständig geöffnet ist.

6.1.3 Vorbereitung des Anbohrgeräts

Gemäß der folgenden Justiertabelle ist der der Nennweite (DN) des Anbohrkugelhahnes entsprechende Adapter, die Lochsäge und der Spiralbohrer mit Spreizfeder zu wählen.

Anbohrhahn DN	Rille	Lochsäge ∅	Maß B	Gang	Drehzahlstufe
20	1	18	20	2	B
25	1	24	20	2	D
32	1	30	20	2	C
40	1	38	20	2	B
50	2	48	20	1	E
65	2	64	20	1	C
80	3	76	20	1	B
100	3	95	20	1	A
125/150	3	121	20	1	A
150/200	3	146	20	1	A
Zentrierbohrung				2	F

Bild 7: Justiertabelle

Die Bohrmaschine wird auf Rechtslauf und Bohren eingestellt. Die Geschwindigkeit ist gemäß der Justiertabelle (letzte Zeile) einzustellen.

Danach wird der Nennweitenadapter fest auf das Anbohrgerät aufgeschraubt. Es ist darauf zu achten, dass ein unbeschädigter O-Ring in die Ringnut des Adapters eingelegt ist.
Anschließend wird die Lochsäge mit dem Spiralbohrer auf dem Bohrerhalter montiert und diese Einheit auf der Bohrspindel fixiert.

Der Spiralbohrer ist so weit in den Bohrerhalter einzuführen, dass die erforderlichen 20 mm (Maß B) Überstand zur Lochsäge vorhanden sind. Es ist empfehlenswert, einen Ring-Magneten um den Bohrer zu verwenden um mehr Bohrspäne fangen zu können.

Die Bohrspindel muss im abdichtenden Bereich geschmiert werden (Fett/Schneidöl) und bei zurückgezogenem Kugelverschlussgehäuse in das Anbohrgerät bis zum Anschlag eingesetzt werden, um ein Verkanten bei der Montage des Gerätes auf dem Anbohrkugelhahn zu verhindern.

Das so vormontierte Anbohrgerät wird auf das Gewinde des vollständig geöffneten Anbohrkugelhahnes soweit aufgeschraubt, dass der abdichtende O-Ring auf dem äußeren Anschweißende aufsitzt.

Danach wird die Spindel bei zurückgezogenem Kugelverschlussgehäuse vorsichtig und mit leichten Drehbewegungen durch den Kugelhahn bis zum Rohr geführt.

Der Spülhahn ist zu öffnen und der Schlauch so zu verlegen, dass das Spülmedium mit den anfallenden Bohrspänen gefahrlos abgeleitet wird.

Abschließend wird die korrekt eingestellte Bohrmaschine mit Winkelgetriebe auf dem Vierkant der Bohrspindel montiert.

6.2 Dichtheitsprobe

Vor jeder Anbohrung ist unbedingt eine Dichtheitsprüfung mit Wasser oder Luft durch den Prüf- bzw. Spülhahn durchzuführen. Dabei werden alle bei der Anbohrung verwendeten Komponenten (Schweißnaht zwischen Bestandsleitung und Anbohrkugelhahn, die Schweißnähte am Anbohrkugelhahn, sowie alle Bereiche des Anbohrgeräts) auf Dichtheit überprüft.

6.3 Durchführung der Anbohrung

Als erstes wird die Zentrierbohrung durchgeführt, indem langsam und gleichmäßig die Vorschubeinheit soweit vorgedreht wird, bis die Rohrleitung durchbohrt ist (Medium tritt durch den Spülschlauch aus). Nach Abschluss der Zentrierbohrung wird der Spülhahn geschlossen.

Für die Hauptbohrung wird die Drehzahl der Bohrmaschine auf den der Nennweite entsprechenden Wert gemäß der Justiertabelle reduziert.

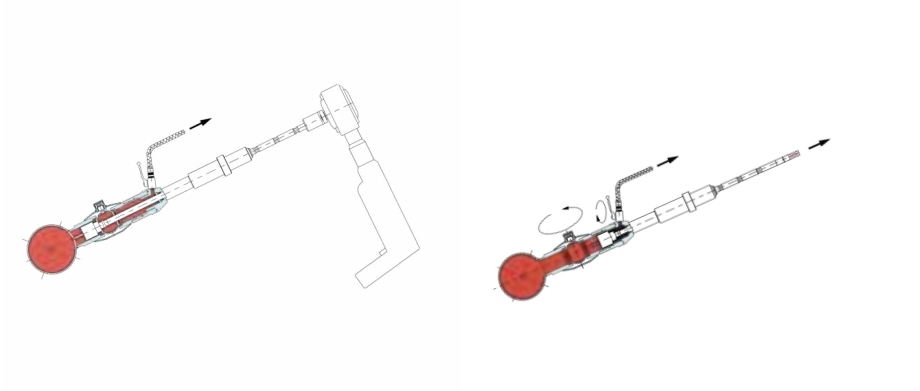


Bild 7: Darstellung des Anbohrgerätes nach der Zentrierbohrung (links) bzw. nach der Anbohrung (rechts)

Bei laufender Bohrmaschine wird die Spindel dann soweit zum Hauptrohr vorgedreht, bis die Lochsäge ansitzt. Danach wird die Hauptbohrung durch langsames und gleichmäßiges Drehen der Vorschubeinheit durchgeführt. Während des Bohrvorgangs ist der Spülhahn geöffnet, um die Bohrspäne abzuführen.

Nach abgeschlossener Hauptbohrung wird der Spülhahn wieder geschlossen und die Bohrspindel bei zurückgezogenem Kugelverschlussgehäuse vorsichtig bis in den Anschlag zurückgeführt. Der Kugelhahn ist nun frei von der Bohreinheit und wird geschlossen. Durch Aufschrauben der Deckelschraube wird dieser gegen unbeabsichtigte Betätigung gesichert.

Durch Öffnen des Spülhahns wird sichergestellt, dass der Anbohrhahn dicht schließt und das Anbohrgerät sicher entfernt werden kann.

Nun wird das Anbohrgerät abgenommen und der Kreisausschnitt aus der Lochsäge entfernt. Die Hauptbohrung ist abgeschlossen

Über die gesamte Anbohrmaßnahme ist gemäß AGFW Arbeitsblatt FW432 immer ein Anbohrprotokoll zu führen.


KÄHLER

Anbohrprotokoll

Allgemeine Informationen

Vorbereitungen der Anbohrmaßnahme

Durchführung der Schweißung

KÄHLER

Durchführung der Anbohrmaßnahme

Dichtheitsprobe

Bild 8: Muster Anbohrprotokoll

7 Zusammenfassung

Abschließend möchte ich noch einmal die unbestreitbaren Vorteile des Anbohrverfahrens gegenüber der konventionellen Vorgehensweise zusammenfassen.

Durch Verwendung des Anbohrverfahrens müssen bestehende Leitungsnetze bei Erweiterungen nicht abgestellt werden. Bereits angeschlossenen Verbraucher werden so vor einem temporären Versorgungsausfall bewahrt.

Darüber hinaus entfallen das personal- und kostenintensive Abstellen, Entleeren und (Wieder-) Befüllen der bestehenden Leitungsnetze. Der Aufwand, neue Verbraucher an bestehende Rohrleitungssysteme anzuschließen, wird durch Einsatz des Anbohrverfahrens deutlich reduziert.

Dies für zu erheblichen Zeit-, Aufwands- und Kosteneinsparungen.

Autor:

Tobias Bunse
KÄHLER GmbH
Industrie-Armaturen
Industriestraße 77b
51399 Burscheid

Tel.: +49 2174 7848-0
E-Mail:
t.bunse@kaehler-armaturen.de
Internet:
www.kaehler-armaturen.



E
Korrosionsschutz, Fernwärme, Schweißtechnik

1
Neue Entwicklungen auf dem Fachgebiet des KKS

Bessere Integration des Kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) innerhalb von Stahlrohrleitungsbauprojekten

Von Dirk Krümmel

1 Einleitung

Es gibt viele Gründe, die für eine gute Integration des KKS-Gewerkes in Rohrleitungsbauprojekte sprechen. Dass dies nicht nur wünschenswert, sondern auch notwendig ist, soll der nachfolgende Beitrag zeigen.

In den vergangenen Jahren wurden KKS-Aufträge häufig über Generalunternehmer an die KKS-Dienstleister vergeben. Dies hat dazu geführt, dass bestimmte Aufgaben viel zu spät verteilt wurden und diese auch vom Inhalt her nicht den Anforderungen der Projekte gerecht wurden.

Um eine qualitativ hochwertige erdverlegte Rohrleitung in einem festgelegten Zeitraum herzustellen, sind eine Vielzahl von Arbeitsschritten notwendig, die alle reibungslos ineinandergreifen müssen.

Um nur einige Beispiele zu nennen, müssen das Raumordnungsverfahren, das Planfeststellungsverfahren mit der Einbindung der Bevölkerung, die Einigung mit den Grundstückseigentümern, sowie die komplette Rohrleitungsplanung vorab exakt aufeinander abgestimmt sein. Später müssen dann alle zu beteiligenden Firmen beauftragt werden, damit sie sich mit den zu erledigenden Arbeiten vertraut machen können.

Die Reihenfolge und auch die Priorisierung der einzelnen Arbeiten sind unterschiedlich, alle haben jedoch ein oberstes Ziel: Das Medium muss am Zieltermin fließen können.

Mit diesem Ziel sind die Logistiker für die Rohre, der Tiefbau, die Schweißerkolonnen, die Schweißnahtprüfer, die Schweißnahtumhüller und nicht zuletzt die Sachverständigen für die Teil- und Schlussabnahmen ganz vorn mit dabei.

Für den KKS wäre es wichtig einzusteigen, sobald die Trasse endgültig festliegt und die Rohrleitungsplanung beginnt. Häufig wird dieses Gewerk jedoch erst eingebunden, wenn sich auf der Baustelle die ersten Bagger drehen.

Da der KKS bei Druckleitungen mit gefährlichen Medien nicht nur gesetzlich vorgeschrieben ist, sondern auch zur Qualitätssicherung der Baumaßnahme dient, sollte jeder Betreiber dafür sorgen, dass hier eine frühe Einbindung sichergestellt wird.

2 Überblick über die KKS-Aufgaben und -Maßnahmen

Von den KKS-Dienstleistern wird eine Vielzahl von Aufgaben wahrgenommen, die vor, während und nach der Verlegung einer Rohrleitung durchgeführt werden müssen. Einige davon lassen sich nicht oder nur mit einem erheblichen Aufwand nachträglich durchführen oder wiederholen. Falls bei größeren Projekten mehrere Lose durch verschiedene Rohrbauunternehmen realisiert werden, gibt es auch übergeordnete Tätigkeiten, die erfahrungsgemäß oft nicht übergeordnet beauftragt werden.

Die im Abschnitt 2.1 genannten Arbeiten sind von zentraler Bedeutung für die gesamte Anlage und sollten daher vom Betreiber mit langer Vorlaufzeit beauftragt werden.

2.1 Übergeordnete Planungsaufgaben und Untersuchungen im Vorfeld

Untersuchung der Leitung auf Hochspannungsbeeinflussung
Mitwirkung bei der Planung von Übergangsbereichen zwischen KKS / Verdichter- oder GDRM-Anlagen
Elektrische Bodensondierungen
Schutzanlagenplanung für die Leitung und Planung der Ferninspektion
Messstellenplanung
Planung von Erdungsmaßnahmen
Planung der Standorte von Isolierstücken

Tabelle 1: KKS-Arbeiten vor Beginn des Rohrbaus

2.1.1 Hochspannungsbeeinflussungsuntersuchung

Die Bündelung von Energietrassen führt zu einer immer stärker werdenden Beeinflussung, die seitens der Betreiber untersucht werden muss. Diese Untersuchungen erfordern eine lange Vorbereitungszeit, da ggf. von verschiedenen Übertragungsnetzbetreibern die Planunterlagen von vorhandenen oder geplanten Freileitungen / Kabeln angefordert werden müssen.

Erst nach deren Eintreffen kann die Prüfung der Notwendigkeit durchgeführt werden, ob eine Berechnung der Beeinflussung erfolgen muss. Dort wo die Notwendigkeit einer weiterführenden Untersuchung besteht, erfolgt dann die Berechnung der Beeinflussung.



Bild 1: Trassenbündelung

Es ist zu beobachten, dass vermehrt Anfragen mit relativ kurzen Reaktionszeiten gestellt werden. Mittlerweile liegen die Bearbeitungszeiten jedoch bei weit mehr als einem Jahr. Hier wird mehr als deutlich, dass eine wirklich frühzeitige Beauftragung unabdingbar ist.

2.1.2 Mitwirkung bei der Planung der Übergangsbereiche zwischen KKS und Stationen

In den Übergangsbereichen ergeben sich oft spezielle Anforderungen für den KKS, der durch eine geschickte Rohrleitungsplanung entschärft werden kann. Da diese Planung üblicherweise lange vor der Realisierung begonnen wird, muss auch der KKS mit langer Vorlaufzeit eingebunden werden. Ansonsten muss die KKS-Planung in diesem Bereich fehlende Anpassungen auf Rohrleitungsseite wieder ausgleichen.



Bild 2: Übergang zu einer Station

2.1.3 Elektrische Bodensondierungen

Diese Messungen sind einerseits wichtig für die Planung der Schutzanlagen und deren Anodenfelder. Andererseits werden die Werte dieser Messungen für die Abschätzung der korrosiven Wirkung der Hochspannungsbeeinflussung und für die zugehörigen Gegenmaßnahmen benötigt.

2.1.4 Schutzanlagenplanung

Von entscheidender Bedeutung für die gesamte Betriebszeit der Anlage ist die sorgfältige Planung der Schutzanlage. Die passende Dimensionierung sowohl für den Normalbetrieb als auch für erhöhte Einspeisungen und die Überwachung sowie eine Einstellbarkeit aus der Ferne sind Eigenschaften, mit denen der Betreiber möglicherweise täglich Berührungspunkte hat.

Erfahrungsgemäß werden häufig Schutzanlagen ohne vorherige Grobplanung und Konzept errichtet.

2.1.5 Messstellenplanung

Die Standorte und die Ausführung der Messstellen sind zentrale Parameter für die spätere Überwachbarkeit der Leitung über die gesamte Betriebszeit hinweg.

2.1.6 Planung von Erdungsmaßnahmen

Die Erdungsmaßnahmen führen während des Baus und auch später im Betrieb bei einer beeinflussten Leitung zu einem sicheren Betrieb sowohl unter dem Blickwinkel des Berührungsschutzes als auch unter dem Einfluss der Wechselstromkorrosion.

Es lässt sich der Trend erkennen, dass Betreiber oder auch Generalunternehmer immer später gewünschte Maßnahmen beauftragen, was zu Problemen bei der Umsetzung führt.

2.1.7 Planung der Standorte von Isolierstücken

Isolierstücke sind nicht nur in Übergangsbereichen zu geerdeten Anlagen erforderlich, sondern ergeben sich auch im Zusammenhang mit der Reduzierung der Wirkung von Beeinflussungssituationen. Wenn diese Bauteile frühzeitig geplant werden, verhindert dies eine Störung der Baustelle durch späte Änderungen.

2.2 Arbeiten, die üblicherweise parallel zum Rohrbau erfolgen

Auch die hier genannten Arbeiten sind von großer Bedeutung für die Gesamtanlage und sollten rechtzeitig beauftragt werden.

Messstellenbau (unterirdisch)
Erderbau
Überprüfung der Umhüllungsqualität von Schweißnähten vor Einbringung der Rohre (el. Porenprüfung)
Überprüfung an Kreuzungen mit Verkehrswegen und Gewässern (Einspeiseversuch)
Überprüfung auf der gesamten Rohrleitung (IFO-Messung)
Schutzanlagenbau
Einrichtung der Ferninspektion

Tabelle 2: KKS-Arbeiten während des Rohrbaus

2.2.1 Messstellenbau (unterirdisch)

Die Anschlüsse der Messkabel an die Rohrleitung werden üblicherweise bei offenem Rohrgraben hergestellt und sind damit direkt an den Rohrbau gebunden. Eine spätere Ausführung hätte erheblichen Mehraufwand durch zusätzliche Tiefbauarbeiten zur Folge.
Zusätzlicher Abstimmungsbedarf besteht hier mit dem Sachverständigen, der u.a. durchgeführte Probeschweißungen begutachtet.



Bild 3: Probeschweißungen für Messstellen

2.2.2 Erderbau

Wenn an der Leitung Beeinflussungssituationen bestehen, die eine Ableitung von Strömen zur Erde erfordern, werden an den zuvor berechneten Standorten die entsprechend dimensionierten Erder errichtet.



Bild 4: Ableiteinheit mit Fernüberwachung an einem Erder

Abhängig von der Gefährdung kann die Errichtung dieser Erder schon vor dem Leitungsbau notwendig sein, um hohe Berührungsspannungen schon auf der Baustelle auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.

Durch den gezielten Einbau von Erdungsanlagen können Gefahren durch Hochspannungsbeeinflussung wirksam präventiv vorgebeugt werden.

2.2.3 Überprüfung der Umhüllungsqualität im Bereich von Schweißnähten

Nachumhüllungen von Schweißnähten werden gemäß GW10 (A) mittels einer elektrolytischen Porenprüfung untersucht. Hierzu ist eine genaue Abstimmung des Zeitpunktes erforderlich, da diese Prüfung nicht nur bei ganzen Strängen für eine Horizontalbohrung, sondern in einigen Fällen auch einzeln während einer Pressung gefordert wird.

Bei der Untersuchung einzelner Nachumhüllungen für Pressungen ist besonders darauf zu achten, dass der Zeitraum für die Messung extrem kurz ist, da alle Mitarbeiter, die mit der Pressanlage arbeiten, sowohl auf die Aushärtezeit der Nachumhüllung als auch auf die Messung warten müssen.



Bild 5: Messaufbau elektrolytische Porenprüfung

Wenn die Pressung fortgesetzt wird, muss das KKS-Personal warten. Es ergibt sich demzufolge für diese Arbeitsweise ein ungünstiges Verhältnis zwischen Arbeitszeit und Wartezeit, welches eine genaue Abstimmung der Arbeiten im Vorfeld erfordert.

2.2.4 Überprüfung der Umhüllungsqualität im Bereich Kreuzungen mit Verkehrswegen und Gewässern

Bei dieser Untersuchung handelt es sich im ersten Schritt um einen Einspeiseversuch nach erfolgter Rohrverlegung, bei dem die Umhüllungsfehlstellenfreiheit des kreuzenden Leitungsabschnittes nachgewiesen werden soll. Bei schwierigen Umgebungsbedingungen kann diese Messung bei entsprechender Vorbereitung sogar während des Einzugs durchgeführt werden und somit mögliche hohe Folgeschäden vermeiden helfen.

Gelingt der Nachweis der Fehlstellenfreiheit nicht und soll zunächst keine Beseitigung von vorhandenen Fehlstellen durchgeführt werden, wird eine sogenannte Polarisationsstrommessung durchgeführt, durch die die kathodische Schützbarkeit nachgewiesen und der späteren Arbeitspunkt des KKS ermittelt werden soll.

Am Ende dieser Messung steht die Abschätzung der Fläche aller im Kreuzungsbereich vorhandenen Umhüllungsfehlstellen, um später an ungefähr gleichgroßen künstlichen Fehlstellen weitere Vergleichsmessungen vornehmen zu können.



Bild 6: Messaufbau Einspeiseversuch

Alle diese Messungen erfordern eine extrem gute Isolierung der Rohrenden vom umgebenen Erdreich, die vom Rohrbau gut vorbereitet werden muss. Nach Einbindung eines solchen Abschnitts in die weiterführenden Leitungen sind die Untersuchungen nicht mehr möglich.

2.2.5 Überprüfung der Umhüllungsqualität der gesamten Leitung

Nach Fertigstellung der Leitung oder auch abschnittsweise kann die Umhüllungsqualität durch die intensive Fehlstellenortung ermittelt werden. Dazu muss die Leitung oder der Abschnitt von weiterführenden Leitungen elektrisch isoliert, die Umhüllung vollständig erdfühlig und die Trasse vollständig begehbar sein.

Provisorisch wird eine erhöhte Einspeisung realisiert, die dann eine Lokalisierung von evtl. vorhandenen Fehlstellen in der Umhüllung der Rohrleitung von der Erdoberfläche aus ermöglicht.

2.2.6 Schutzanlagenbau

Sobald der vorgesehene Standort für die Schutzanlage eingerichtet ist, kann der vorbereitete Schaltschrank mit dem Schutzstromgerät und der vorbereiteten Fernüberwachungstechnik aufgestellt werden.

2.2.7 Einrichtung der Ferninspektion

Der letzte Schritt der KKS-Errichtung ist die Einrichtung der Anlage zur Fernüberwachung. Hierzu werden die dezentralen Geräte parametriert, der Datentransport zur Zentrale geprüft. Es erfolgt dann die Konfiguration der Visualisierung in der Zentrale, die eine optimale Darstellung der Messwerte sicherstellt.

2.3 Arbeiten, die üblicherweise nach dem Rohrbau erfolgen

Die hier genannten Arbeiten sind nicht sehr kritisch für den Ablauf auf der Baustelle, sollten jedoch auch nicht zu spät beauftragt werden.

Abschließender Messstellenbau (oberirdisch)
Begleitende Messungen bei Fehlstellenbeseitigung
Prüfung der Umhüllungsqualität vor Ablauf der Gewährleistung

Tabelle 3: KKS-Arbeiten nach Beendigung des Rohrbaus

2.3.1 Abschließender Messstellenbau



Bild 7: Fertige Messstelle an einem Erder

Nachdem die Oberfläche wiederhergestellt ist, werden die Messpfähle, Kleinverteiler und sonstige KKS-Einrichtungen an die Kabel angeschlossen und so die Anlage fertiggestellt. Da in dieser Phase die Baumaschinen weitgehend von der Trasse verschwunden sind, gibt es hier nur noch wenig Abstimmungsbedarf.

2.3.2 Begleitende Messungen bei Fehlstellenbeseitigung

Die Fehlstellenbeseitigung kurz nach der Verlegung der Leitung ist meistens eine Maßnahme der Rohrbaufirmen, die die von ihrem Auftraggeber geforderte Qualität sicherstellen soll. Die KKS-Messungen hierzu werden oft in Eigenregie vergeben.

2.3.3 Prüfung der Umhüllungsqualität vor Ablauf der Gewährleistung

Der Gewährleistungszeitraum für die Umhüllung innerhalb dessen alle Mängelmeldungen beim Rohrbauunternehmen eingegangen sein müssen, beträgt meistens fünf Jahre.

Es ist daher sinnvoll, diese Messung ca. ein Jahr vor Ende dieses Zeitraums zu beauftragen, um eine fristgerechte Durchführung zu ermöglichen.

Erfahrungsgemäß stellen sich in dieser Phase keine nennenswerten Abstimmungsprobleme ein.

3 Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren ist dem KKS in Rohrleitungsbauprojekten oft nicht der Stellenwert eingeräumt worden, der für einen reibungslosen Ablauf der gesamten Baustelle notwendig ist. Daher soll dieser Beitrag die Aufmerksamkeit auf eine bessere Integration des KKS lenken.

Bei Rohrleitungsbauprojekten spielt der kathodische Korrosionsschutz in allen Phasen eine entscheidende Rolle. Je früher dieses Gewerk in die Überlegungen eingebunden wird, desto einfacher gestaltet sich die Integration und desto besser ist das Ergebnis der Gesamtanlage.

Je besser die Kommunikation zwischen den Beteiligten funktioniert, desto weniger werden unnötige Verzögerungen und Aufwände produziert.

Alle übergeordneten KKS-Aufgaben und alle Prüfungen, die der Qualitätssicherung dienen, sollten unbedingt direkt durch den Betreiber termingerecht an den KKS-Dienstleister übergeben werden. Die Vergabe dieser Aufgaben über den Generalunternehmer führen häufig zu Verzögerungen, die im Projekt nicht mehr zu kompensieren sind.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Krümmel
Fa. Steffel KKS GmbH,
Lachendorf

Tel.: 05145 98 91 219
E-Mail:
dirk.kruemmel@steffel.com
Internet:
www.steffel.com



Einrichtung und Betrieb des KKS an Wasserleitungen aus Stahl

Von Anton Wadenstorfer, Stefan Roth

1 Einleitung

Seit 1883 wird München mit naturbelassenem Wasser aus dem Voralpenland versorgt. Über insgesamt 205 km Hauptwasserleitungen aus Grauguss, duktilem Guss, Spannbeton und aus Stahl mit Durchmessern zwischen 800 und 1200 mm wird das quellfrische Nass von den Hochbehältern am südlichen Stadtrand über natürliches Gefälle ins Münchner Stadtnetz für die Versorgung von rund 1,6 Millionen Menschen und der dazugehörigen Wirtschaft eingespeist.
Für die Verwendung von Stahlrohren für Hauptwasserleitungen spricht die enorme Festigkeit und Widerstandskraft gegenüber Druckschlägen und anderen mechanischen Beanspruchungen – ein klarer Vorteil gegenüber den anderen verwendeten Materialien. Diesen Vorteilen steht die Korrosionsanfälligkeit von erdverlegten Stahlleitungen entgegen.
Zur Erhaltung der wertvollen Assets und Vermeidung von teuren Rohrschäden der ca. 150 km Hauptwasserleitungen aus Stahl, entstand der Grundgedanke, die weitreichenden Erfahrungen der Stadtwerke München GmbH (SWM) über den Einsatz des KKS im Gasnetz, auf das Hauptwasserleitungsnetz aus Stahl zu übertragen.

2 Schaffung der konstruktiven Voraussetzungen

In einem Stadtgebiet wie München, liegen eine Vielzahl an Beeinflussungen vor. Trotz des vorhandenen passiven Korrosionsschutzes der teils mehr als 100 Jahre alten Stahlleitungen konnten Punkt- und Flächenkorrosionen an den Hauptwasserleitungen aus Stahl nicht verhindert werden. Zu den Hauptverursachern von Außenkorrosion an erdverlegten Stahlleitungen zählen unter anderem die Streuströme der gleichstrombetriebenen Bahnen, sowie Kontaktelemente bei Verbindungen mit Stahlbetonbauwerken, aber auch aggressive oder unterschiedlich belüftete Böden. Neben der Erfahrung des KKS am sehr umfangreichen Gashochdruck- und Gasverteilnetz, lagen erfolgsversprechende Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit des KKS an einer vor 25 Jahren verlegten 4 km langen Wasserleitung vor. Die Installation des KKS wurde bei dieser Leitung bereits während der Planungsphase berücksichtigt und alle konstruktiven Voraussetzungen im Zuge des Rohrleitungsbaus geschaffen.
Im bestehenden Hauptwassernetz gestaltete sich die Planung der KKS-Schutzbereiche sehr herausfordernd, da im Gegensatz zum Gasnetz der bereits oben erwähnte Materialvielfalt verbaut ist. Hierdurch ist die erforderliche elektrische Längsleitfähigkeit nicht immer gegeben.
Neben dem technischen Zustand und der Altersstruktur der Stahlleitungen war die Art der Rohrverbindungen entscheidend für die Einrichtung des KKS am Hauptwasserleitungsnetz. Nur eine elektrisch leitende Rohrverbindung ermöglicht einen durchgängigen Stromfluss, der für die einwandfreie Funktion des KKS Voraussetzung ist.
Bei der Planung und Errichtung von elektrisch längsleitfähigen Wasserleitungen aus Stahl lassen sich die konstruktiven Voraussetzungen für die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes relativ problemlos bewerkstelligen. Diese bestehen im Wesentlichen in der

elektrischen Trennung zu allen niederohmig geerdeten Objekten und Anlagenteilen durch den Einbau von Isolierstücken und entsprechenden Konstruktionen an Wanddurchführungen, Festpunkten, Kreuzungen und Aufhängungen. Erforderlichenfalls müssen metallen leitende Verbindungen zu Anlagen mit niedrigem Ausbreitungswiderstand, die die Wirksamkeit der Isolierstücke aufheben können, geortet und beseitigt werden.



Bild 1: Stahlisolierstück mit Gummierung und ZM-Innenauskleidung

Die an Isolierstücken vorhandene Potentialdifferenz bei Elementbildungen und bei äußerem kathodischem Korrosionsschutz bewirkt, dass an den Stromaustrittsstellen Korrosionserscheinungen an der Rohrinnenseite auftreten können. Zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung dient allein die maximal mögliche Stromdichte unmittelbar an der Begrenzung zur Isolierstrecke. Bei gegebenem Durchmesser und bekannter elektrischer Leitfähigkeit des Mediums wird der Innenwiderstand des Isolierstückes und damit die Stromdichte durch die Länge der Isolierstrecke gesteuert. Eine ausreichend bemessene elektrisch isolierende Innenbeschichtung bewirkt, dass die Innenkorrosion auf ein technisch vernachlässigbares Maß reduziert wird.



Bild 2: Kunststoffisolierstück mit Flanschadapter

Die Einbaurichtung eines Isolierstücks in der Rohrleitung ist abhängig von der auf beiden Seiten anliegenden elektrischen Spannung. Die innenbeschichtete Seite des Isolierstücks ist am elektrisch negativeren Rohrnetzende zu installieren. Im Bild 3 ist der Stromfluss (rot gestrichelt) im Medium über das Isolierstück ohne Innenbeschichtung dargestellt. Da dieser an den Stromaustrittsstellen Innenkorrosion zur Folge hat, ist die gelb dargestellte Innenbeschichtung zwingend erforderlich. Der Stromfluss über das Medium wird durch die den Gegebenheiten angepasste Innenbeschichtung unterbunden. Die Bilder 1 und 2 zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wie die erforderliche Isolierstrecke realisiert werden kann.

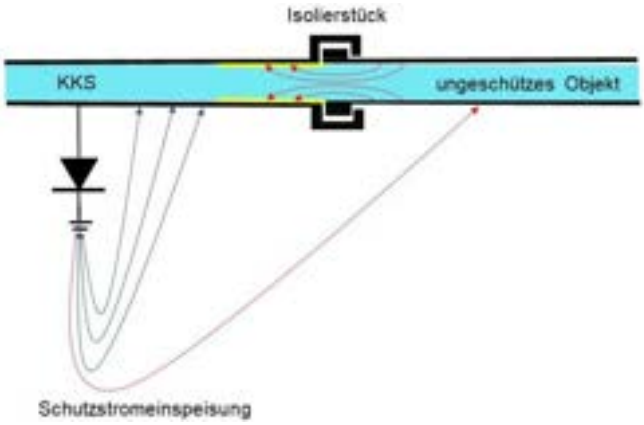


Bild 3: Schematische Darstellung Isolierstück mit und ohne Innenbeschichtung

3 Ortung von Unterbrechungen der Längsleitfähigkeit im Leitungsverlauf

Nach erfolgter Inbetriebnahme des KKS der einzelnen Schutzsystem zeigten sich bei den ersten Inspektionsmessungen vereinzelt noch starke Potentialeinbrüche zwischen aufeinanderfolgenden Messkontakten, welche Rückschlüsse auf eine Unterbrechung der Längsleitfähigkeit geben. Auf Grund dieser Erkenntnisse aus den Messungen, muss bei älteren Rohrleitungen die Ortung von Unterbrechungen, der für den vollständig wirksamen KKS erforderlichen Längsleitfähigkeit, mit in Betracht gezogen werden. Im Gegensatz zu Schutzunterbrechungen an kathodisch geschützten Gasleitungen, wird hier in den meisten Fällen kein Ruhepotential nach der Unterbrechung zu messen sein, sondern ein positiveres Einschaltpotential, da ein Teil des Schutzstromes über die Wassersäule transportiert wird. Wie hoch dieser Strom ist, ist von der Länge der isolierenden Strecke und der Leitfähigkeit des transportieren Mediums abhängig. Bei geplanten Isolierkupplungen wird die isolierende Länge daher wie im Punkt 2 Bild 3 ausgeführt, um Innenkorrosion am ungeschützten Teil der Wasserleitung zu vermeiden.
Um unbekannte Unterbrechungen der Längsleitfähigkeit im Leitungsverlauf punktgenau zu ermitteln, wird zunächst das vorhandene Planwerk herangezogen. Auf Grund der teilweise über 100 Jahre alten Leitungen, ist dieses aber leider nicht immer vollständig, so dass zusätzliche messtechnische Untersuchungen unerlässlich sind. Planwerk und Messergebnisse kombiniert

lassen eine genaue Bestimmung der Unterbrechung zu, und die hierfür erforderlichen Tiefbauarbeiten zur Überbrückung der Längstrennung können gezielt durchgeführt werden. Somit entstehen keine unnötigen Kosten für Tiefbauarbeiten an nicht betroffenen Bauelementen. Geht man bei einem Leitungsabschnitt von durchgehend gleicher Umhüllungsqualität aus, ist die Gradientenmessung gegen unbeeinflusste Elektrode eine Möglichkeit die betroffene Stelle gut ermitteln zu können. Allerdings benötigt man hierfür auf beiden Seiten der vermuteten Unterbrechung eine Einspeisemöglichkeit. Der gleichmäßige Gradientenverlauf über die gesamte Strecke zeigt an der Unterbrechung eine signifikante Änderung des Potentialgradienten auf. Um auszuschließen, dass es sich hierbei nicht um eine Änderung der Umhüllungsqualität handelt, muss die Messung wie oben erwähnt zweimal mit unterschiedlichen Einspeiseorten durchgeführt werden. Dieses Verfahren setzt allerdings voraus, dass es sich um eine ältere Leitung mit mittlerer bis schlechter Umhüllungsqualität handelt, da bei neueren PE-umhüllten Leitungen im Leitungsverlauf nur vereinzelt Umhüllungsfehlstellen vorhanden und somit nur punktuell Potentialgradienten messbar sind. Das Bild 4 zeigt eine Beispielmessung, wie sie von den SWM durchgeführt wurde. Hier tritt die oben beschriebene signifikante Änderung der Potentialgradienten im Bereich zwischen AP3 und AP4 auf. Ausschlaggebend ist die invertierte Änderung im Bereich der Unterbrechung. Je negativer das Potential eingestellt werden kann, desto deutlicher zeigt sich die Änderung. Die Freilegung der betroffenen Stelle war erfolgreich und die nichtleitende Verbindung wurde elektrisch überbrückt.

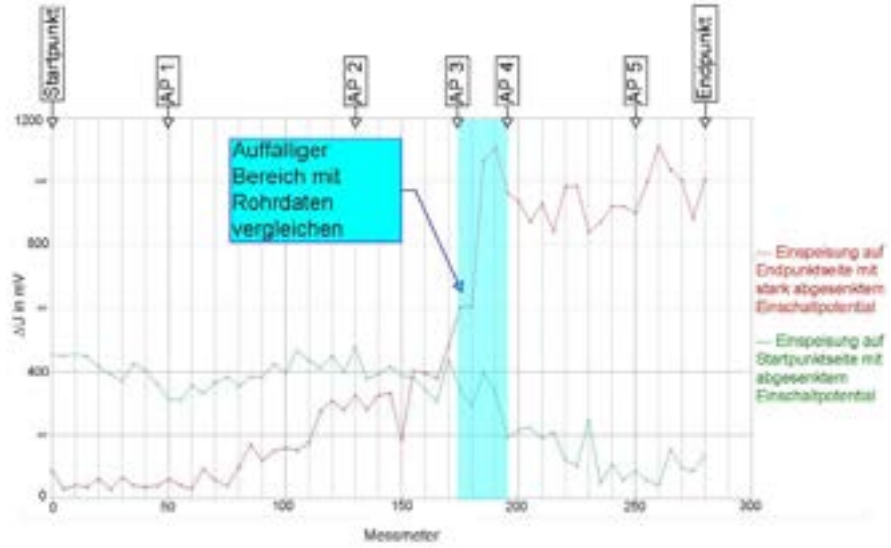


Bild 4: Grafik einer Gradientenmessung zur Ortung von Unterbrechungen der Längsleitfähigkeit

4 Erfassung von Zustandsdaten und Nachweis der Wirksamkeit des KKS

Die gewonnene Möglichkeit der Zustandsbewertung mittels Durchführung einer Intensivmessung nach erfolgter Einrichtung des KKS machte sich an einem Schutzsystem schnell bezahlt. Angetrieben wurde das Vorhaben durch die Planung einer neuen Trambahnstrecke in unmittelbarer Leitungsnähe. Der weitere Betrieb der Wasserleitung wäre ohne Erfassung der Zustandsdaten und der Wirksamkeit des KKS nur mit hohen Risikofaktoren möglich gewesen. Daher waren die Untersuchungsergebnisse ausschlaggebend für die Entscheidung die Wasserleitung nach dem Bau der Trambahnstrecke weiter betreiben zu können, und eine großflächige, kostenintensive Sanierung konnte vermieden werden. Im Zuge der Untersuchungen wurden gezielt Schwachstellen hinsichtlich des Nachweises der Wirksamkeit, gemäß den Messverfahren nach GW 27 lokalisiert und beurteilt. Da die Inbetriebnahme des KKS der Leitung erst mehr als 80 Jahre nach der Rohrleitungsverlegung erfolgte, wurden im Zuge der Freilegungen umfangreiche Untersuchungen nach GW 19-1 durchgeführt, um sich einen Überblick über den Zustand der Leitung im weiteren Verlauf verschaffen zu können. Im Anschluss an die Untersuchungen wurden die freiliegenden Bereiche fachgerecht gemäß GW 15 nachumhüllt.
Auf den Bildern 5 und 6 sind zwei dieser Schwachstellen zu sehen. Bild 5 zeigt einen Flansch, welcher beim Einbau nicht isoliert wurde. Bild 6 zeigt einen Korrosionsangriff an der Stahloberfläche im Bereich einer Umhüllungsfehlstelle, die durch Verwendung von nicht geeigneten Hebegeräten erzeugt wurde. Geht man davon aus, dass die Beschädigung bereits beim Einbau der Leitung stattgefunden hat, entspricht die vorgefundene Muldentiefe der im belüfteten Boden natürlichen Korrosionsabtragrate. Die ermittelte Restwandstärke gewährleistet einen sicheren Betrieb über die nächsten Jahrzehnte.



Bild 5: Flansch ohne passiven Korrosionsschutz

Hierbei wurden folgende Umgebungs- und Zustandsdaten erfasst und beurteilt:

- **Umgebungsdaten**
  - Physikalische Bewertung, Bodencharakteristik
    - Korngröße; gewachsener Boden, Bettung
    - Bodenart; gewachsener Boden, Bettung
    - Statische Belastungen

- Korrosionschemische Bewertung der Bettung
  - LPR-Messung
  - Bodenwiderstandsermittlung
  - Untersuchung nach GW 9
- Besonderheiten im Trassenverlauf
  - Gleichstrombahnen
  - Grundwasser
  - Benachbarte Objekte

– **Bewertung der Umhüllung**
  - Material
  - Schichtdicke; minimal, maximal
  - Haftfestigkeit; Resthaftung
  - Kerben, Risse

– **Rohrwerkstoff**
  - Wanddicke; Ultraschall
  - Narbentiefe; Tiefenlehre
  - pH-Wert mit Farbenindikator

– **Elektrische Messungen**
  - Ein- u. Ausschaltpotential an der Erdoberfläche
  - Einschaltpotential im Rohrgarben
  - Ausschaltpotential (Schutzpotential) i. Rohrgraben



Bild 6: Korrosionsangriff an Stahloberfläche

5 Fazit

An bestehenden elektrisch längsleitfähigen Wasserleitungen kann der kathodische Korrosionsschutz nachträglich realisiert werden. Der Aufwand zur Schaffung der konstruktiven Voraussetzungen ist zwar erheblich größer als bei einer Neuverlegung, trotzdem kann die zusätzliche Anwendung des aktiven Korrosionsschutzes wirtschaftlich sein. Koordinierungsmöglichkeiten mit bereits geplanten Sanierungsmaßnahmen an der zu schützenden Wasserleitung oder Beispielsweise mit initiierenden Projekten wie z.B. Straßenbau oder Tiefbauarbeiten anderer Sparten wirken sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der nachträglichen Einrichtung des KKS aus und sollten nach Möglichkeit bei der Planung berücksichtigt werden. Durch die Einrichtung eines wirksamen kathodischen Korrosionsschutzes wird die Lebensdauer der Leitung erheblich verlängert und die Leckraten gehen erfahrungsgemäß stark zurück. Dadurch entfallen aufwendige, kostenintensive Sanierungsmaßnahmen und die Versorgungssicherheit wird gewährleistet. Neben diesen Vorteilen bietet der KKS zusätzlich die Möglichkeit der zustandsorientierten Instandhaltung.

6 Literatur

[1] DVGW GW 9 (A) 2021-08
Beurteilung der Korrosionsbelastungen von erdüberdeckten Rohrleitungen und Behältern aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen in Böden

[2] DVGW GW 10 (A) 2018-06
Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) erdüberdeckter Rohrleitungen, Rohrleitungen in komplexen Anlagen und Lagerbehälter aus Stahl; Planung, Einrichtung, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung

[3] DVGW GW 18 (M) 2013-01
Zustandsbewertung von kathodisch geschützten Rohrleitungen der Gas- und Wasserversorgung

[4] DVGW GW 19-1 (M) 2015-07
Erfassung von Zustandsdaten von nicht kathodisch geschützten metallischen Rohrleitungen der Gas- und Wasserversorgung; Teil 1: Einzelerfassung, -bewertung und Handlungsempfehlungen

[5] DVGW GW 27 (A) 2014-02
Verfahren zum Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes an erdverlegten Rohrleitungen; textgleich mit AfK-Empfehlung Nr. 10

[6] energie | wasser-praxis 7/8 2009
Nachrüstung eines kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) am bestehenden Hauptwasserleitungsnetz aus Stahl

Autoren:

Dipl.-Ing. Anton Wadenstorfer
SWM Services GmbH, München

Tel.: 089 2361 3600
E-Mail:
wadenstorfer.anton@swm.de
Internet:
ww.swm.de



B.Eng. Stefan Roth
SWM Services GmbH, München

Tel.: 089 2361 3603
E-Mail:
roth.stefan@swm.de
Internet:
ww.swm.de



Praktische Erfahrungen mit Bewertungskriterien für den kathodischen Korrosionsschutz und für die Integritätsbewertung von Gashochdruckleitungen

Von Ashokanand Vimalanandan

1 Einleitung

Für den Nachweis der Wirksamkeit des KKS an Umhüllungsfehlstellen wird meistens die Intensivmesstechnik nach EN 13509 angewendet. Aus den Daten der Intensivmessung können die IR-freien Potentiale berechnet und entsprechend mit den Schutzkriterien nach ISO 15589-1 abgeglichen werden (Tabelle 1). Die Wirksamkeit des KKS ist gegeben, wenn das berechnete IR-freie Potential negativer ist als das entsprechende Schutzkriterium.

Tabelle 1: Potentialkriterien nach ISO 15589-1

Bettungsbedingungen	**IR-freie Potential in V**
Alle Bettungen außer unten aufgeführte	-0.85
Aerobe Bedingungen mit einem Bodenwiderstand $100 < \rho < 1000\ \Omega$ m	-0.75
Aerobe Bedingungen mit einem Bodenwiderstand $\rho > 1000\ \Omega$ m	-0.65
Anaerobe Bedingungen	-0.95

Die Schutzpotentialkriterien sind fachlich belegt und zeigen in der Praxis, dass beim Erfüllen der Kriterien bei unbeeinflussten Leitungen eine technisch vernachlässigbare Abtragsrate von < 10 µm/a einstellt und die korrosionsschutztechnische Integrität der Leitung über Jahrzehnte sichergestellt werden kann.
Umhüllungsfehlstellen, bei denen das Schutzpotential nicht erreicht wird, werden vereinzelt freigelegt, die Wanddickenminderung vermessen und neu umhüllt.
Freilegungserfahrungen zeigten, dass in über 90 % der Fälle keine integritätsrelevante Korrosion gefunden wurde, obwohl die in der o.g. Tabelle genannten Schutzkriterien nicht erfüllt erfahren. Diese Erfahrung zeigt die Komplexität von Korrosionsvorgängen ab, die sich in einfachen Potentialkriterien sich nicht widerspiegeln und auch nicht widerspiegeln müssen.
In dieser Arbeit werden die Daten aus Intensivmessungen mit den Freilegungsdaten verglichen und mit zunehmend komplexeren Vorgehensweise analysiert.

2 Ergebnisse

2.1 -0,95 V IR-freies Potential

Zur Beurteilung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes nach ISO 15589-1 müssen Belüftungsverhältnisse und Bodenwiderstände gemessen werden. Wenn diese Informationen jedoch nicht verfügbar sind, wird das konservativste der Kriterien nach ISO 15589-1 angesetzt.
Abbildung 1 zeigt die Korrosionsabtragsrate als Funktion des IR-freien Potentials für insgesamt 89 Freilegungen. Von 89 Freilegungen wurden 71 auf Basis von Intensivmessungen zur Zustandsbewertung der Rohrleitung durchgeführt. Die restlichen 18 Freilegungen sind Freilegungen betrieblicher Art, wobei zuvor eine lokale Intensivmessung durchgeführt worden ist.
Die Korrosionsrate wurde aus der Extrapolation der maximalen Tiefe der auf der Stahloberfläche gefundenen Freilegung auf das Betriebsjahr berechnet. Bei vier von 71 Freilegungen (~5 %), bei denen das -0,95 V Kriterium nicht erfüllt wurde, wurden integritätsrelevante Wanddickenminderungen festgestellt. Dies zeigt, dass das Kriterium konservativ genug ist, um Umhüllungsfehlstellen mit erheblicher Korrosion zu erkennen. Gleichzeitig gibt es auffällig viele Freilegungen, bei denen es eine Schutzpotentialüberschreitung gab und keine integritätsrelevante Korrosion festgestellt wurde. Dies steht im Einklang mit den Beobachtungen in [1] [2], dass scheinbar keine Korrelation zwischen dem IR-freien Potential und der Korrosionsrate besteht. Folglich hätte die Anwendung des konservativsten Kriteriums zu einer Vielzahl von Freilegungen geführt.

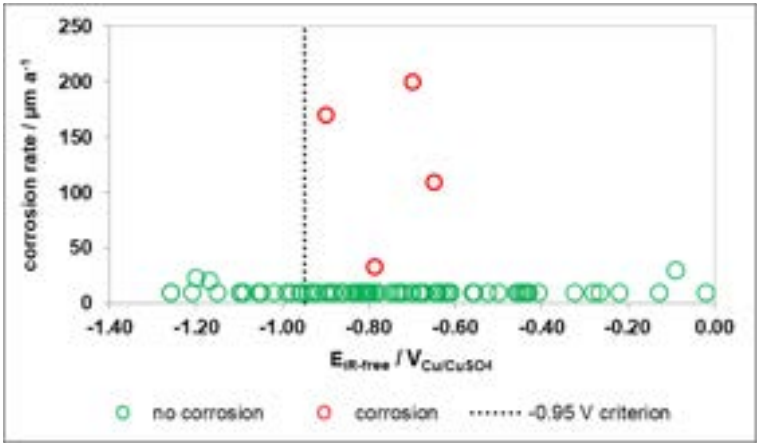


Abbildung 1: Berechnete Korrosionsabtragsraten von Freilegungen in Abhängigkeit vom IR-freien Potential aus Intensivmessdaten. Ergebnisse für IR-freies Potential <-0.95 V wurden von betrieblichen Freilegungen hinzugefügt.

Folgt eine reine Bewertung der Wirksamkeit des KKS über Ausschaltpotential-Messungen (Abbildung 2), was strenggenommen regelwerkstechnisch nicht zulässig ist, wird ersichtlich, dass selbst beim Erfüllen des Ausschaltpotentials von -0,95 V kein konservatives Kriterium darstellt. Beim Anwenden des Ausschaltpotentials von -0,85 V, wird integritätsrelevante Korrosion nicht erkannt.

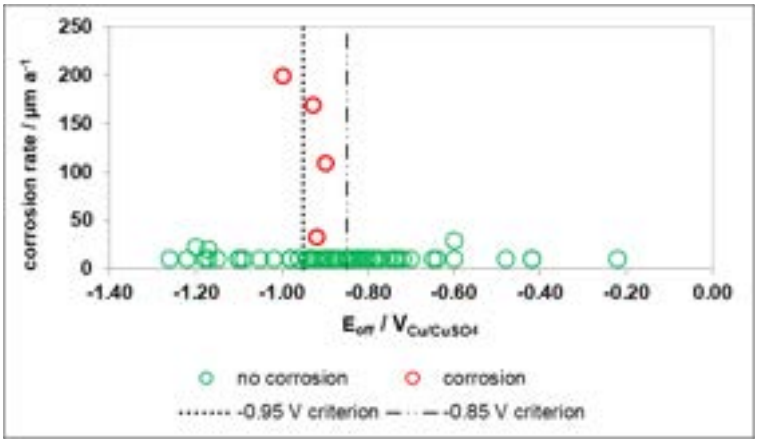


Abbildung 2: Berechnete Abtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit des Ausschaltpotentials

2.2 Auswertung der Daten unter Berücksichtigung der Belüftungsbedingungen

Die Intensivmessdaten wurden unter Berücksichtigung der Belüftungsbedingungen an der Fehlstelle analysiert. Die Belüftungsbedingungen wurde auf Basis von geologischen Daten durch Klassifizierung von Bettungsmaterial, Grund- und Stauwässer klassifiziert. Bettungsmaterial mit gröberer Körnung (z. B. Sand und Kies) wurde als aerobe Bedingungen klassifiziert und das Vorhandensein von feineren Bettungsmaterialien mit Grund-/Stauwasserwasser sollte die Belüftung behindern, folglich kann hierbei auf anaerobe Bedingungen geschlossen werden. Bei Vorliegen dieser Daten können die Schutzpotentialkriterien nach ISO 15589-1 -0,85 V für aerobe und -0,95 V für anaerobe Bedingungen verwendet werden. In Abbildung 3 und Abbildung 4 werden die so analysierten Daten dargestellt. Während die IR-freien Potentiale bei aeroben Bedingungen statistisch von -1,2 V bis fast 0 V gestreut werden, liegt das maximale Potential bei etwa -0,6 V bei anaeroben Bedingungen. Dies ist ein erster Hinweis auf eine erfolgreiche Klassifizierung der Potenzialdaten anhand verfügbarer geologischer Daten, da Potentiale, die höher als die typischerweise zu erwartenden Potentiale von Eisen, durch die Dicke und den Oxidationsgrad des Eisens innerhalb der Oxidschicht bestimmt werden können [5]. Durch die konservative Wahl des Schutzpotentials kann noch Korrosion festgestellt werden. Dennoch zeigen die Daten wieder eine Unabhängigkeit des IR-freien Potentials von der Korrosionsrate. Dies gilt insbesondere für belüftete Bedingungen und steht in guter Übereinstimmung mit den

Erkenntnissen nach [1], da auf einer oxidbedeckten Eisenoberfläche im alkalischen Zustand das Potential hauptsächlich durch die Eisenoxidationsstufe in der Passivschicht bestimmt wird. Statistisch gesehen wurde bei 98 % der Ausgrabungen, die das Kriterium -0,85 V nicht erfüllten, und bei 73 % der Ausgrabungen, die das Kriterium -0,95 V nicht erfüllten, keine Korrosion festgestellt.

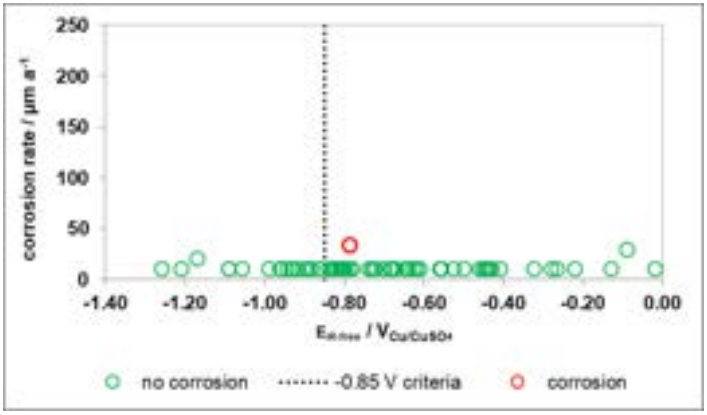


Abbildung 3: Berechnete Korrosionsabtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit vom IR-freien Potential. Darstellung der aeroben Bedingungen.

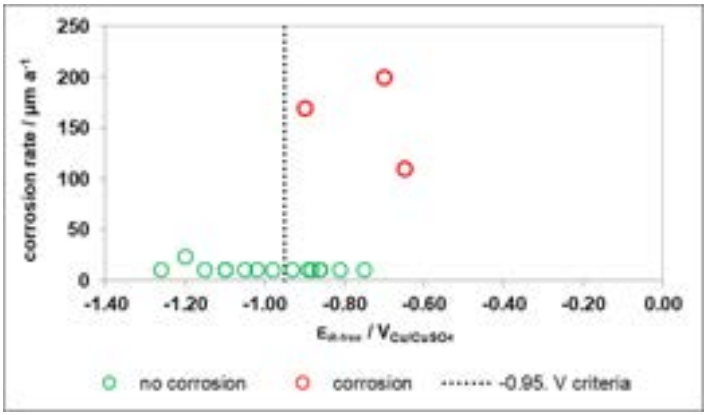


Abbildung 4: Berechnete Korrosionsabtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit vom IR-freien Potential. Darstellung der anaeroben Bedingungen.

2.3 Bewertung der Daten unter Berücksichtigung von IR-freiem Potential, Belüftung und Bodenwiderstand

In der ISO 15589-1 können die Potenzialkriterien von -0,75 V für einen spezifischen Bodenwiderstand zwischen 100 und 1000 Ω m und -0,65 V für den Bodenwiderstand über 1000 Ω m angewendet werden. Dies bedeutet, dass der Bodenwiderstand an Stellen überwacht oder gemessen werden muss, an denen das IR-freie Potential von -0,85 V unter aeroben Bedingungen nicht erfüllt werden. Die Anwendung des Bodenwiderstands und die Bestimmung des Belüftungszustandes stehen in voller Übereinstimmung mit ISO 15589-1 und sind von praktischer Bedeutung, da Freilegungen, ohne erwartbare integritätsrelevante Korrosion vermieden werden können. In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind Daten unter aeroben Bedingungen dargestellt.

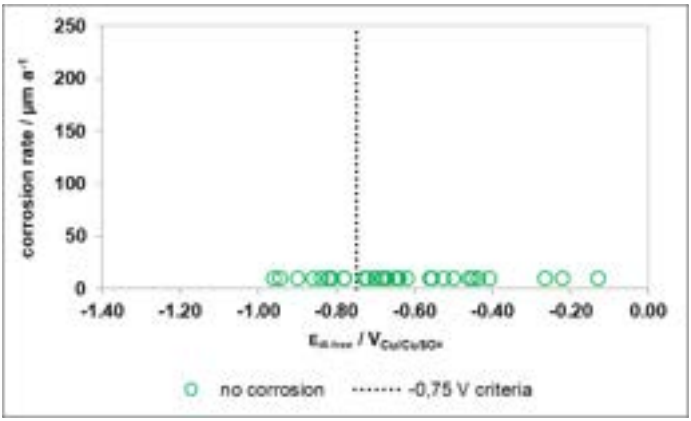


Abbildung 5: Berechnete Korrosionsabtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit vom IR-freien Potential. Darstellung der aeroben Bedingungen für einen Bodenwiderstand zwischen 100 und 1000 Ω m.

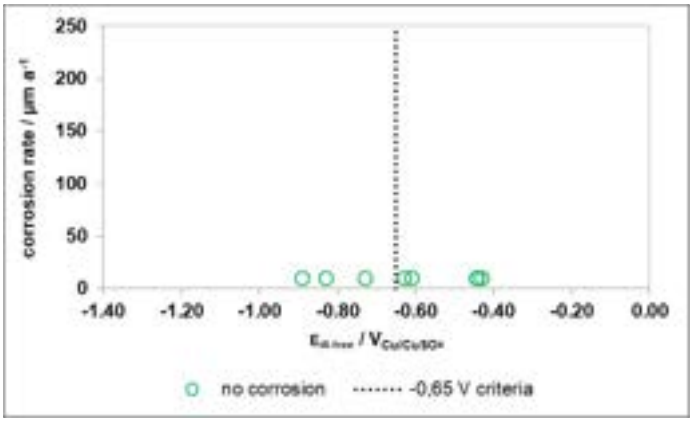


Abbildung 6: Berechnete Korrosionsabtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit vom IR-freien Potential. Darstellung der aeroben Bedingungen für einen Bodenwiderstand größer 1000 Ω m.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine kombinierte Betrachtung von Belüftung und Bodenwiderstand die Anzahl der Freilegungen auf fast 60 % reduzieren kann, während die Sicherheit aufgrund der konservativen Wahl der Schutzkriterien erhalten bleibt. Auch hier ist erkennbar, dass die Korrosionsabtragsrate unabhängig vom IR-freien Potential ist.

2.4 Anwendung des Einschaltpotentialkriteriums aus EN 14505

Neben der Bestimmung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes von Rohrleitungen entsprechend der Schutzpotentialkriterien nach ISO 15589-1 wurde die Daten auch nach den Einschaltpotentialkriterium für komplexe Bauwerke nach EN 14505 „kathodischen Korrosionsschutz komplexer Bauwerke“ ausgewertet. Hierbei wird die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes für Böden unter 100 Ω m angenommen, wenn das Mindesteinschaltpotential von -1,2 V erfüllt ist. Somit weisen Einschaltpotentiale unter -1,2 V auf einen wirksamen kathodischen Schutz hin. Die Anwendung dieses Kriteriums auf die zuvor gezeigten Daten für Böden mit einem spezifischen Widerstand unter 100 Ω m führt jedoch dazu, dass Standorte mit relevanter Korrosion fälschlicherweise als nicht korrodierend bewertet werden (Abbildung 7).

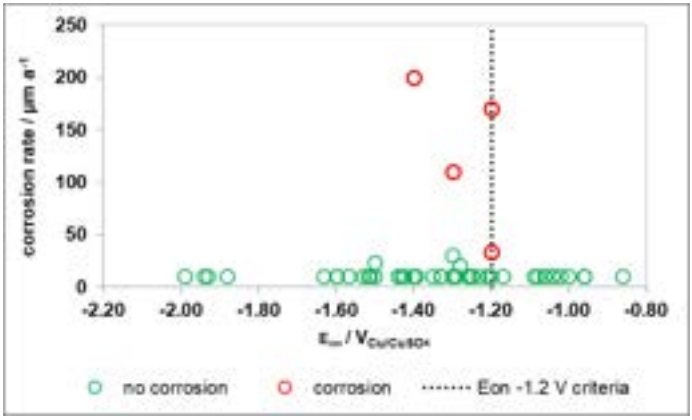


Abbildung 7: Berechnete Korrosionsabtragsrate von Freilegungen in Abhängigkeit vom Einschaltpotential. Nach dem Einschaltpotentialkriterien entsprechend EN 14505.

Dies zeigt, dass Korrosion ein komplexes Problem darstellt, wie im einleitenden Teil dieses Beitrags erwähnt. Während nach ISO 15589-1 mindestens nach zwei Dimensionen (Belüftung und Bodenwiderstand) bewertet wird, um die Wirksamkeit des kathodischen Schutzes zu bestimmen, ist es nach EN 14505 nur eine zusätzliche Dimension (Bodenwiderstand) berücksichtigt. Hier zeigt sich, dass das einschaltpotential sehr stark von der Umhüllungsqualität bzw. -größe abhängt. Größere Fehlstellen im Bereich von 100 cm^2 können an alten Bitumen-umhüllten auftreten, wodurch das Risiko eines nicht wirksamen KKS durch die heterogene Polarisation einer Fehlstelle in gut belüfteten Böden zur Bildung galvanischen Elementen innerhalb einer Fehlstelle führen kann. Unter dieser Bedingung reicht ein Einschaltpotential von -1,2 V nicht aus, um

die Potentialunterschiede an der Oberfläche auszugleichen. Überraschenderweise könnte dies auf eines von vier hier vorgestellten Freilegungsergebnisse zutreffen, bei denen eine relevante Korrosionsrate gefunden wurde. Die anderen drei wurden unter anaeroben Bedingungen im Grundwasser gefunden. Der Bodenwiderstand lag in diesen Fällen unter oder nahe 100 Ω m. Es ist unwahrscheinlich, dass sich unter solchen Bedingungen eine wesentliche Belüftungszelle bilden kann. Dies führt neben der Defektgröße zu zwei weiteren wichtigen Parametern: Wasserhärte und Konvektion. Die Kombination von weichem und fließendem Wasser mit einem großen Beschichtungsfehler erhöht die Schwierigkeit, einen Schutz durch Konzentrationspolarisation zu erhalten. Schlussendlich wird auch für diese Bedingung ein viel negativeres Einschaltpotential von mehr als -1,2 V benötigt.

Folglich sollte an komplexen Anlagen, wenn bekannt ist, dass die erdverlegten Rohrleitungen mit Bitumenumhüllung beschichtet wurden, andere zusätzliche Methoden in Betracht gezogen werden, um die Wirksamkeit des KKS zu bestimmen.

2.5 Untersuchung der Daten nach einem Stromdichtekriterium

Die Schlussfolgerung aus vorangegangenen Analysen zeigt, dass die Verwendung von IR-freien Potenzialkriterien in Kombination mit Belüftung und Bodenwiderstand ein sehr konservativer und somit ein sicherer Ansatz zur Bestimmung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes darstellen. Die Anwendung des Einschaltpotentialkriteriums nach EN 14505 ohne Kenntnis von Belüftung, Wasserchemie (Härte) und Defektgröße führt zu Fehlinterpretationen und eine Bewertung der Wirksamkeit des KKS ist nicht sichergestellt. Wie bereits erwähnt, muss die Wirksamkeit des kathodischen Schutzes mehrdimensional analysiert werden. Es wurde in einer CeoCor Arbeitsguppe der Vorschlag unterbreitet, Stromdichtekriterien woraus Mindesteinschaltpotentiale gebildet werden anzuwenden.

$$|E_{on}| = \frac{J\,\pi\,\rho\,d}{8} + |E_{ir-free}| \quad (1)$$

wobei Eon das minimal erforderliche Ein-Potential für eine einzelne Fehlstelle darstellt, J die Stromdichte zum Erreichen von $E_{ir\text{-}frei}$ oder besser das Schutzpotential, d der Defektdurchmesser, ρ der spezifische Bodenwiderstand und $E_{ir\text{-}frei}$ das IR-freie Potential gemäß ISO 15589-1 für die entsprechende Belüftung und den spezifischen Bodenwiderstand.

Mit den Stromdichten aus Tabelle 2 wurde die Gesamtstromdichte nach (1) berechnet
J=a+b+c (d+e) (2)

Die so analysierten Daten sind in Abbildung 8 und 9 dargestellt. Es ist zu erwähnen, dass bei Vorhandensein von Grundwasser immer eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,1 – 1 m/Tag entsprechend 0,1 A m-2 auf die entsprechend berechnete Stromdichte aufaddiert wurde.

Tabelle 2: Parameter für die Berechnung der benötigten Stromdichte

Defect surface	*[cm²]*	*<1*	*1-10*	*10-100*
a	*[A/m²]*	0.01	0.03	0.1
Aeration (J_{O2})	*[A/m²]*	*<0.01*	*0.01 - 0.1*	*0.1 - 1*
b	*[A/m²]*	0.01	0.1	1
Hardness	*[°fH]*	*0-15*	*15-25*	*>25*
c	[-]	1	0	0
Flow	*[m/day]*	*<0.1*	*0.1 - 1*	*>1*
d	*[A/m²]*	0	0.1	1
Bedding size	*[mm]*	*< 1*	*1-10*	*> 10*
e	*[A/m²]*	0	0.1	1

Das Diagramm fasst das gemessene Eon als Funktion des berechneten Minimal benötigten Einschaltpotentials zusammen, welches benötigt wird, um die Stromdichte zu erreichen. Das Diagramm wird durch eine Gerade geteilt, bei der das Verhältnis von berechnetem und gemessenem Eon eins entspricht. Oberhalb dieser Linie ist das Verhältnis > 1, was auf ein mögliches Korrosionsrisiko hinweist, und wenn das Verhältnis < 1 ist, ist der kathodische Schutz wirksam. Auf den ersten Blick erscheinen einige der berechneten Werte unrealistisch negativ. Dies liegt daran, dass, wie bereits erwähnt, größere Defektgrößen in Kombination mit hoher Belüftung zu einer heterogenen Polarisation führen können. Die vorgeschlagenen Stromdichten in Tabelle 2 sind für diese Fälle ein sehr konservativer Ansatz, der die erforderlichen Einschaltpotentiale für die Erfüllung des Schutzkriteriums von -0,85 aufzeigt. Die vorangegangenen Analysen zeigen deutlich, dass dies nicht erforderlich ist. Basierend auf diesen Daten erfordert die effektive kathodische Polarisation unter diesen Bedingungen solchen negativen Einschaltpotentiale nicht. Ein weiterer Grund für diese hohen Werte sind die Bodenwiderstände, die meist über 1 kΩ m liegen (der höchste liegt über 4 kΩ m). Obwohl die Korrosionsgefahr rechnerisch angedeutet werden könnte, wurde im Feld keine Korrosion festgestellt. Zusammenfassend scheint die Methode für solche Bedingungen konservative Ergebnisse zu liefern, die für die Gewährleistung der Sicherheit relevant sind. Ein genauerer Blick auf die Potentiale zwischen -0,8 bis -2,4 V (Abbildung 9) zeigt, dass drei von vier Daten korrekt als Korrosionsprobleme vorhergesagt wurden.

Ein Datenpunkt mit integritätsrelevanter Korrosion befindet sich fälschlicherweise im Bereich eines wirksamen KKS. Basierend auf geologischen Daten verläuft die Pipeline an dieser Stelle durch einen gut durchlüfteten Boden und der Bodenwiderstand liegt im Bereich von 60 Ω m. Freilegungsergebnisse zeigten jedoch, dass sich die Pipeline im Grundwasser befindet, so dass der Zustand eher anaerob ist. Eine Neuberechnung unter Berücksichtigung der anaeroben Bedingung ergibt ein erforderliches Mindest-Einschaltpotential von -1,5 V, das mit einem Pfeil in Abbildung 9 angezeigt wird.

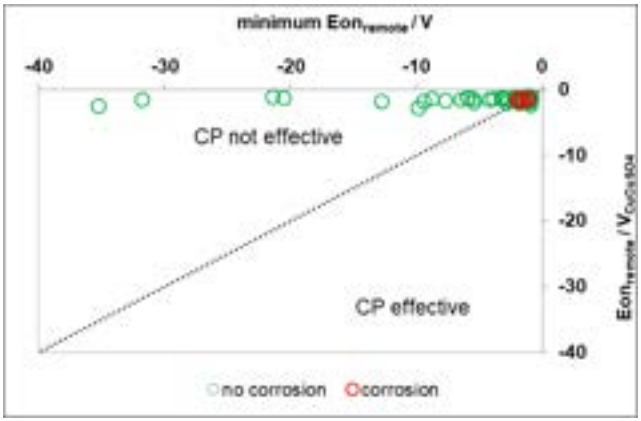


Abbildung 8: Minimal benötigtes Einschaltpotential zum Erreichen des IR-freien Potentials in Abhängigkeit vom gemessenen Einschaltpotentials

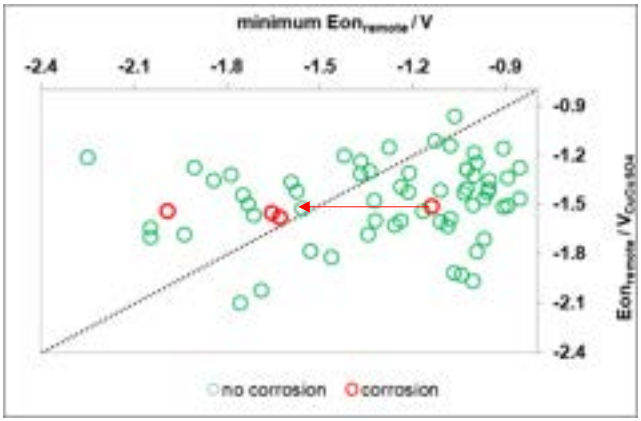


Abbildung 9: Darstellung des Diagramms in Abbildung 8 mit einem kleineren Potentialbereichs

Aus Integritätssicht wären über diese Analyse ebenfalls 40-50 % der Freilegungen ohne Indikation für eine Korrosion nicht freigelegt worden, was vergleichbar ist mit der Anzahl der Freilegungsergebnisse, die bei der Analyse der Daten nach ISO 15589-1 unter Berücksichtigung der Belüftung und des Bodenwiderstands erzielt wurden.

3 Schlussfolgerung

In diesem Beitrag wurde das Verfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes nach ISO 15589-1, den Ausschaltpotential-Kriterium, Einschaltpotential -Kriterium nach EN 14505 und den vorgeschlagenen Stromdichte-Kriterien der CeoCor Working Group H „Potential Criteria“ verglichen. Dabei wurden die Freilegungsdaten resultierend aus der Intensivmessung und betrieblichen Freilegungen verwendet.

Eine Analyse der Daten unter Verwendung der Ausschaltpotentials von -0,85 V hätte trotz Erfüllung des Kriteriums zur integritätsrelevanten Korrosion geführt. Somit ist es richtig, dass Ausschaltpotentiale nicht zur Bewertung der Wirksamkeit des KKS herangezogen werden.

Die strikte Befolgung der IR-freien Potenzialkriterien nach ISO 15589-1 in Kombination mit der Analyse der Belüftung und des Bodenwiderstands führt zu einem konservativen und sicheren Ansatz zur Bestimmung der Wirksamkeit des kathodischen Schutzes, da richtigerweise Freilegungen empfohlen wurden unter denen sich ebenfalls integritätsrelevante Korrosionsangriffe in Folge eines nicht-wirksamen KKS befanden. Eine Bewertung der Intensivmessung in Kombination mit den Belüftungsbedingungen mit Bodenwiderständen führt in der Regel zu 40% weniger Freilegungen, als wenn rein nach dem -0,95 V bzw. -0,85 V Kriterium bewertet wird.

Im Gegensatz dazu führt die alleinige Anwendung der Einschaltpotentials und Bodenwiderstand aus EN 14505 zu einer deutlichen Unterschätzung des Korrosionsrisikos und sollte für Rohrleitungen insbesondere mit großen Umhüllungsfehlstellen und unter konvektiven Bedingungen nicht verwendet werden. Für komplexen Anlagen wo homogenere Bettungsbedingungen herrschen und nachweislich keine Bitumenumhüllung vorliegt, ist dieses Kriterium sicher.

Die im Rahmen der CeoCor-Arbeitsgruppe H „Schutzkriterien“ vorgeschlagene Methode definiert, wie die Einschaltpotentialkriterien unter Berücksichtigung der Parameter Fehlstellengröße (Beschichtungsqualität), Belüftung, Wasserhärte, Fließgeschwindigkeit und Größe des Bettungsmaterials eine mehrdimensionale Betrachtung zulassen.
Daraus kann geschlossen werden, dass die Verwendung des Mindesteinschaltpotentials bzw. Stromdichte Kriterien eine umfassende Analyse der Eingangsparameter selbst erfordern (z. B. Validierung von Bodenwiderstandsmessungen, Messung von Belüftung und Bettung). Es wird angenommen, dass eine mehrdimensionale Analyse und Bewertung von Daten einen detaillierteren Überblick über die Wirksamkeit des KKS an einem Schutzobjekt andeuten könnte. Ein wichtiger Kritikpunkt dieser Methode ist, dass größere Umhüllungsfehlstellen in hochohmigen und belüfteten Bettungsverhältnissen zu unrealistisch hohen berechneten Mindest-Einschaltpotentialen führen, die in der Realität nicht einstellbar sind. Daher bleibt diese Methode für gut umhüllte Rohrleitungen vorbehalten. Bei der richtigen Anwendung dieser Methode, führt diese ebenfalls zu ähnlichen konservativen und sicheren Ergebnissen, wie die Verwendung des IR-freien Potentialkriteriums unter Berücksichtigung der Belüftungs- und Bodenbedingungen.

4 Literatur

[1] Angst, U. (2016). Cathodic protection of soil buried steel pipelines – a critical discussion of protection criteria and threshold values. Materials and Corrosion(11), p. 9.

[2] Büchler, M. (2019). Cathodic protection strategy based on current density. CeoCor WOrkinig Group H "Protection Criteria", (p. 17).

[3] Büchler, M., Collet, S., & Angst, U. (2017, 05 17). The effect of coating defect distribution on buried steel pipelines on the effectiveness of cathodic protection. CeoCor Conference Proceeding, p. 18.

[4] Joos, D., & Büchler, M. (2016). An objective discussion of cathodic protection criteria based on literature data.

[5] Wapner, K. (2006). Grenzflächenchemische und elektrochemische Untersuchungen zur Haftung und Enthaftung an modifiziertenKlebstoff/Metall-Grenzflächen.

[6] Zhang, X. (2011). Galvanic Corrosion. In Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Autor:

Dr. Ashokanand Vimalanandan
OGE, Essen

Tel.: +49 201 3642-18348
E-Mail:
ashokanand.vimalanandan@oge.net
Internet: www.oge.net



KMR SERVICE GMBH
WIR LIEFERN ZUKUNFT

Vertrieb von Kunststoffmantelrohr • Nachisolierung • Fehlerortung
Statische Berechnung • Thermografie • Formteilbau

KMR-Service GmbH, Gewerbepark 3, 17039 Trollenhagen
www.kmr-fernwaerme.de info@kmr-service.de

Innovativer Einsatz der Wärmepumpe im Wärmenetz 4.0

AiF-Forschungsthemen am FFI

Von Fang Yang

1 Einleitung

Aus Gründen des Klimaschutzes sollen Fernwärmenetze mehrheitlich durch erneuerbare Energien (Biomasse und Biogas, Geothermie, Umgebungswärme, Solarenergie) sowie industrielle und kommunale Abwärme gespeist werden [1]. Um kosteneffizient mehr Wärmequellen einbinden zu können, wird eine Absenkung der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes auf 95 °C oder geringer angestrebt. Wärmenetze mit dieser niedrigeren Vorlauftemperatur werden als „Wärmenetzsysteme der vierten Generation“ (Wärmenetz 4.0) bezeichnet.

Im Vorgängerprojekt „Potenziale von Absorptionswärmepumpen in zentralisierten Wärmeversorgungsnetzen“ (AiF-Vorhaben 19696 N, Forschungsstellen FFI und IGTE von UNI Stuttgart) wurde erstmals eine Absorptionswärmepumpe (AWP) in die konventionelle Hausstation integriert, um die netzseitige Rücklauftemperatur abzusenken. Der Fokus lag dabei auf einer Anwendung in Wärmenetzen der dritten Generation (typischer Vorlauf von 120 °C) [2].

Das zweite gemeinsame Forschungsvorhaben (AiF-Vorhaben 21315 N) schließt an das Vorgängerprojekt an. Ziel ist es, das Konzept „Hausstation mit integrierter Absorptionswärmepumpe“ auf die neuen Anforderungen des Wärmenetzes 4.0 anzupassen. Der Forschungspartner, das IGTE der Universität Stuttgart, hat dabei die Aufgaben, durch günstigere alternative Bauteile die Investitionskosten der AWP zu senken und durch ein neues Austreiberkonzept die Wärme- und Stoffübertragung der Anlagen im Hinblick auf Wärmenetz 4.0 zu optimieren. Mit der Kostenbetrachtung wurde an der Forschungseinrichtung FFI die Wärmegestehungskosten des Modellwärmenetzes berechnet, um das Konzept mit anderen Versorgungskonzepten vergleichen zu können. Das entwickelte Geschäftsmodell soll dazu dienen, das Umsetzen des Konzeptes in der Praxis anzureizen. Zum Schluss wurden die technischen sowie die wirtschaftlichen Wirkungen der Rücklauftemperaturabsenkung im Wärmenetz 4.0 durch die Simulationsrechnung identifiziert.

2 Ergebnisse seitens FFI

2.1 Netzdaten-Analyse

Zunächst wurde eine Netzdaten-Analyse durchgeführt, um das Einsatzpotenzial der Absorptionswärmepumpe (AWP) im Wärmenetz 4.0 festzustellen. Im Bild 1 sind die Eckdaten von 35 Wärmenetzen zusammengestellt. Links sind die primärseitigen (Fernwärmeseite) Vor-/ und Rücklauftemperaturen. Die typischen Vorlauftemperaturen liegen zwischen 70 und 90 °C, die Rücklauftemperaturen zwischen 40 und 50 °C. Rechts sind die sekundärseitigen

(Heizungswasserseite) Vor- und Rücklauftemperaturen (meistens mit 70 °C im Vorlauf und 40 °C im Rücklauf).

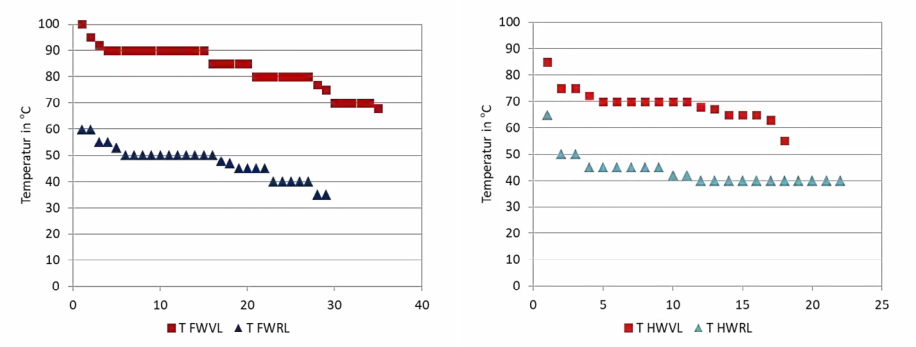


Bild 1: Netzdatenanalyse

Auf Basis dieser Netzdatenanalyse wurden zusammen mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PA) drei Temperaturen aus dem Fernwärmenetzvorlauf (95, 85, 75 °C) als Antriebstemperatur der AWP ausgewählt. Zwei Heizsysteme (jeweils 55/45 °C als Heizradiator und 35/28 °C als Fußbodenheizung) sollen die typischen Wärmeverbraucher repräsentieren. Daraus ergeben sich sechs Kombinationen als zu untersuchende Betriebspunkte der AWP (Tabelle 1). Aus Ergebnissen des vorgängigen Projektes wurde jedoch die Kombination BP 2.5, wegen der kleinen Temperaturdifferenz zwischen Angebot/Nutzen, ausgenommen [2].

	BP 2.1	**BP 2.2**	**BP 2.3**	**BP 2.4**	**~~BP 2.5~~**	**BP 2.6**
$\vartheta_{FW,VL}$ [°C]	95	95	85	85	~~75~~	75
Heizsysteme [°C/°C]	55/45	35/28	55/45	35/28	~~55/45~~	35/28

Tabelle 1: Ausgewählte Betriebspunkte

2.2 Kostenberechnung

Um die wirtschaftliche Einsetzbarkeit von Absorptionswärmepumpen in den Hausstationen beurteilen zu können, wurde am FFI die Kostenrechnung durchgeführt. Nach der Annuitätenmethode aus der VDI-Richtlinie 2067 [3] wurden die im Betrachtungszeitraum anfallenden, mittleren jährlichen Kosten (sogenannte Wärmegestehungskosten (WGK)) ermittelt. Schließlich wurden die WGK der verschiedenen Versorgungskonzepte miteinander verglichen [4].

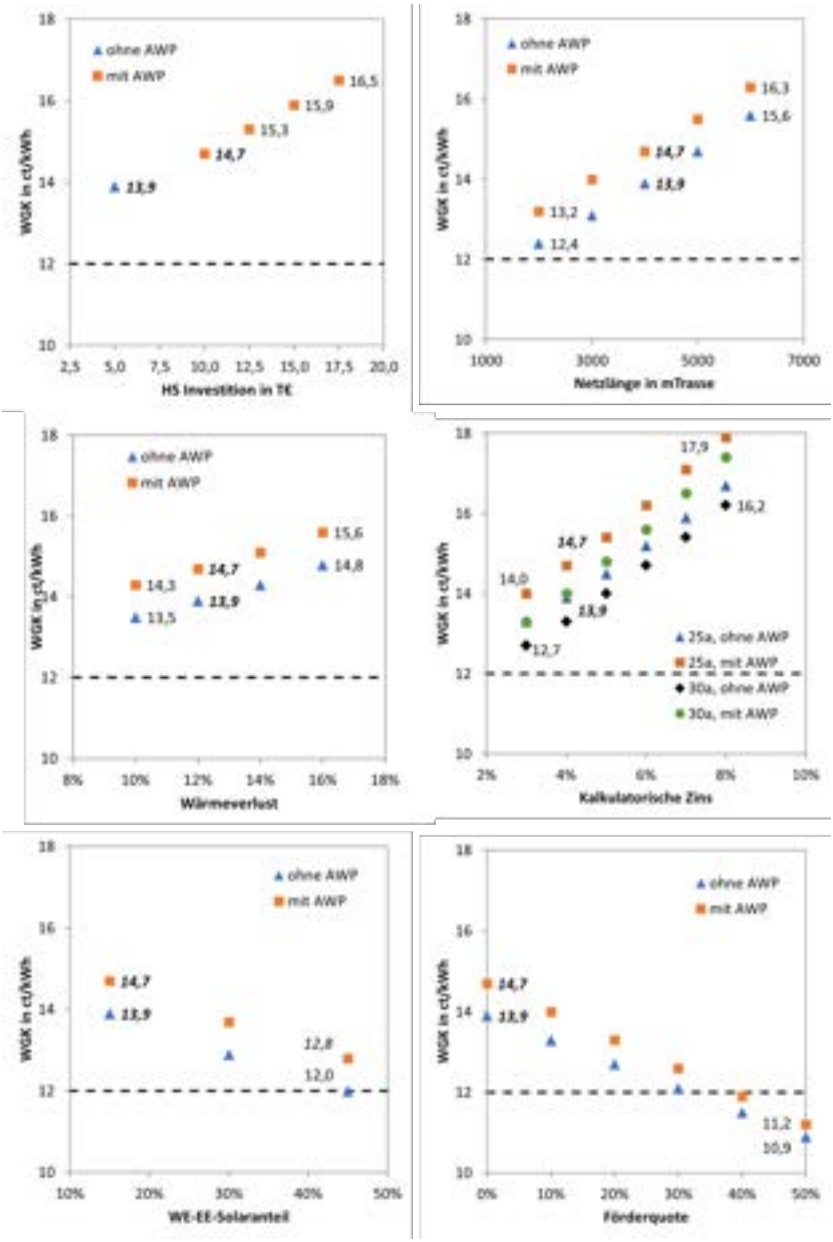


Bild 2: Sensitivitätsanalyse der Kostenberechnung

Auf Basis der berechneten WGK des Modellnetzes wird die Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dazu erfolgte die Ermittlung mit 6 wichtigen Parametern (Hausstation-Investition, Netzlänge, Wärmeverluste, kalkulatorischer Zins, Kombination der Wärmeerzeugung, Förderquote) (Bild 2). Zum Vergleich wurde jeweils eine horizontale schwarze Linie als Zielwert der WGK eingetragen. Die WGK eines Wärmenetzes 4.0 sollten demnach kleiner 12 ct/kWh sein, um in den Energieversorgungsmärkten konkurrenzfähig zu werden [5].

Aus der Sensitivitätsanalyse lässt sich ablesen, dass durch Kombination von kostengünstigen erneuerbaren Energien (z.B. 45% Solar-Anteil an Wärmeerzeugung) sowie durch den hohen Investitionszuschuss des Förderprogramms (z.B. mindestens ein Förderzuschuss von 30% Investitionskosten) die WGK des betrachteten Modellnetzes den Zielwert 12 ct/kWh erreichen wird.

2.3 Geschäftsmodell

Ein passendes Geschäftsmodell wurde benötigt, um das Konzept „Hausstation mit integrierter AWP“ in der Praxis umzusetzen. Dabei wurde die mögliche Lösung „Energie-Contracting“ eingeführt, da das Contracting immer mehr Anwendung in der Energiebranche findet. Die beiden Varianten (Energieliefer- und Energiespar-Contracting), die die dominanten Marktanteile zeigen, wurden ausführlich vorgestellt. Mit der Funktionsweise und dem Leistungsspektrum lassen sich die Merkmale der jeweiligen Contracting-Variante präsentieren bzw. vergleichen.

Energieliefer-Contracting ist die meistverbreitete Form des Energie-Contractings. Der Contractor übernimmt dabei die Investition, den Aufbau, die Primärenergiebeschaffung und die Betriebsführung der Energieanlage. Die in der Energieanlage erzeugte Nutzenergie verkauft der Contractor in definierter Qualität an den Contracting-Nehmer [6]. Der Contracting-Nehmer (Nutzer) bezahlt für diese Dienstleistung an den Contractor üblicherweise einen Grundpreis pro Jahr und einen Arbeitspreis pro Einheit Nutzenergie sowie eine Mess-/Verrechnungspreis-Komponente. Die Preise werden über eine Preisanpassungsklausel transparent über die gesamt Vertragslaufzeit fortgeschrieben. Die Funktionsweise des Energieliefer-Contractings ist in Bild 3 schematisch dargestellt.

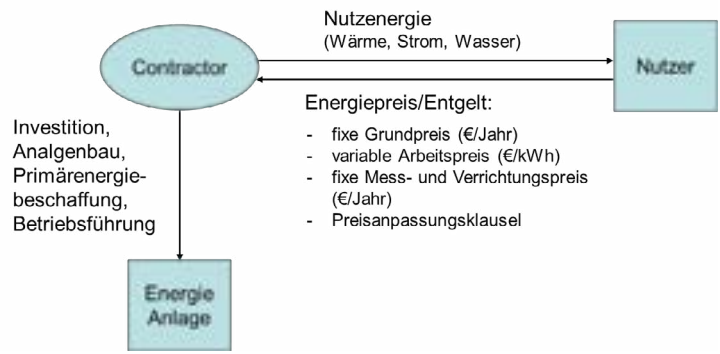


Bild 3: Funktionsweise des Energieliefer–Contractings

Im Energiespar-Contracting wird der Contractor die technischen Anlagen des Gebäudes ganzheitlich betrachten. Ziel dieser meist mittel- bis langfristigen Betreiber-Nutzer-Kooperation ist, den Energieverbrauch maximal zu senken und damit die Energiekosten zu reduzieren [7].

Durch die technischen Maßnahmen kann der Contractor dem Contracting-Nehmer (Nutzer) in der Regel einen bestimmten Einsparerfolg während der festgelegten Vertragslaufzeit garantieren. Die notwendige Investition für die Umsetzung und Betreuung der Optimierungsmaßnahmen refinanziert der Contractor aus der über die Vertragslaufzeit erzielten Einsparung an Energiekosten (Contracting-Rate). Das Funktionsprinzip des Energiespar-Contractings ist in der nachfolgenden Abbildung (Bild 4) dargestellt.

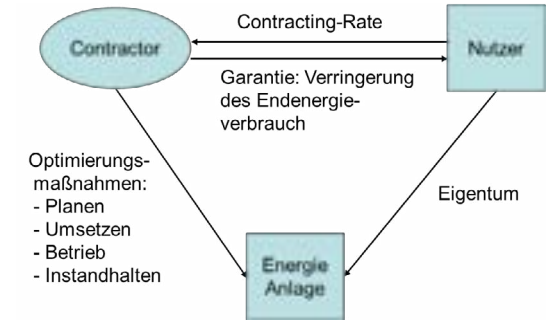


Bild 4: Funktionsweise des Engergiespar-Contactings

Das in diesem Projekt entwickelte Konzept, mit Einsatz von AWP die Netzrücklauftemperatur abzusenken, kann je nach Anwendungsfall sowohl in das Energieliefer-Contracting als auch in das Energiespar-Contracting integriert werden.

In der Praxis sind die Liefer- und Eigentumsgrenze der normalen Fernwärmehausstation an verschiedenen Stellen zu finden. Die Leistungsgrenze muss nicht gleich der Eigentumsgrenze sein. Je nach Vereinbarung kann die Grenze vor der Übergabestation, innerhalb der Hausstation oder hinter der Hauszentrale sein.

In diesem Projekt wird empfohlen, beim Energieliefer-Contracting die Liefer- und Eigentumsgrenze hinter der Hauszentrale (HWÜ+AWP) zu setzen (Bild 5). Die meisten Contracting-Anbieter sind erfahrene Energieversorger oder Energiedienstleister, die die Energieanlage effizienter und energiesparender betreiben können als die Nutzer. Somit ist die Liefer- und Eigentumsgrenze hinter der Hauszentrale von Vorteil. Da das wirtschaftliche Risiko bei ihm liegt, ist der Contractor motiviert, die Energie möglichst kostengünstig und effizient bereitzustellen (z.B. Wärmenetz-Rückauflauftemperatur niedrig zu halten durch den Einsatz von AWP).

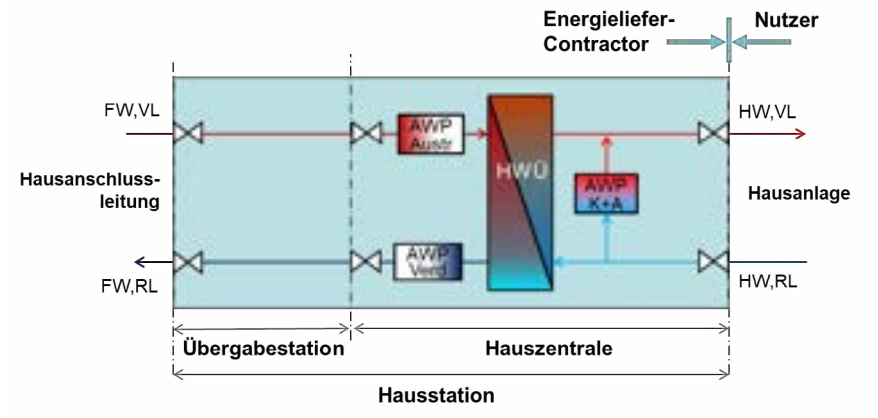


Bild 5: Liefer- und Eigentumsgrenze bei Energieliefer-Contracting

Bei dem Energiespar-Contracting wird der Contractor speziell für die Hauszentrale verantwortlich. Der Einsatz von AWP kann als Energiesparmaßnahme in das gesamte Konzept integriert werden. Das Fernwärmeversorgungsunternehmen (FVU) liefert die Energie an die Grenze zu dem Contactor. Der Contractor kann eine garantierte niedrige Rücklauftemperatur als Bonus an die FVU verkaufen (Bild 6).

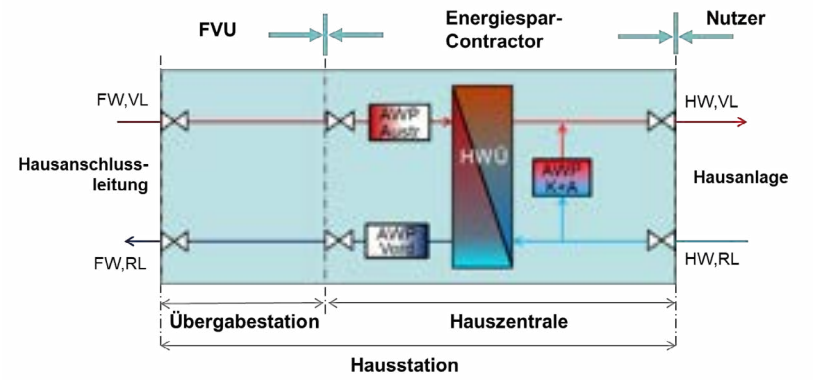


Bild 6: Liefer- und Eigentumsgrenze beim Energiespar-Contracting

Zur Sicherstellung einer reibungslosen und wirtschaftlichen Fernwärmeversorgung gehört die regelmäßige Inspektion und Wartung der Anlagenteile in der Hausstation. Obwohl Fernwärmehausstationen äußerst robust und langlebig sind, empfiehlt sich, dass ein Fachmann in regelmäßigen Abständen die Anlage in Augenschein nimmt und neben kleineren Wartungsarbeiten sich evtl. abzeichnende Störungen im Vorhinein erkennt, beseitigt und den Anlagenbetrieb optimiert [8]. Die Wartung und Instandhaltung der Anlagen soll der Contractor mit fachlichen Kompetenzen übernehmen.

2.4 Gesamtsimulation

Im Rahmen dieses Projektes wird das Simulationsmodell mit der Open-Source-Programmiersprache „Python“ überarbeitet, damit das Modell plattformunabhängig ist. Das Simulationsmodell ist modular aufgebaut. Die einzelnen Teilmodelle (Wärmeerzeuger WE, Wärmespeicher WSP, Verteilungsnetz VN, Hausstation HS, Wärmeverbraucher WV) werden durch die thermodynamischen und strömungsmechanischen Größen miteinander verknüpft, wobei die allgemeinen Annahmen und Randbedingungen in Anlehnung an die vorherige Netzdatenanalyse (Kap. 2.1) und Kostenrechnung (Kap. 2.2) ausgewählt wurden.

Die schematische Darstellung des Gesamtmodells wurde in Bild 7 aufgeführt. Das Modellwärmenetz 4.0 hat eine Jahreswärmekapazität von ca. 3 GWh/a. Die Wärmeerzeugung besteht aus eine Kombination von Solarthermie (15%), Biomasse-Heizkessel (75%) und Gas-Spitzenlastkessel (10%).

Der Wärmespeicher (WSP) hat ein Volumen von 300 m³ und angenommene Wärmeverluste in Höhe von 10% der Speicherkapazität. Für das fiktive Verteilungsnetz wurden drei typische Rohrleitungsdimensionen (DN 150, DN 100, DN 50) verwendet.

Die Wärmeverbraucher beziehen sich auf 100 Hausstationen. Die zwei typischen Heizsysteme mit unterschiedlichem Temperaturniveau sind berücksichtigt (50 Hausstationen mit 55/45 °C, 50 Hausstationen mit 35/28 °C). Die summierten Wärmebedarfe der Wärmeverbraucher entsprechen der Nettowärmeerzeugung (die bereitgestellte Wärme aus dem Wärmeerzeuger minus die Wärmeverluste vom Wärmespeicher und vom Verteilungsnetz).

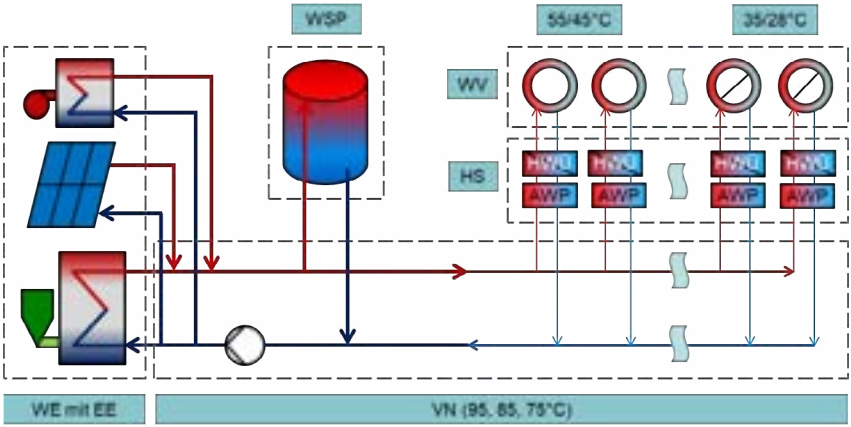


Bild 7: Schema des Gesamtsimulationsmodells

In dem Gesamtmodell werden die Auswirkungen der abgesenkten Rücklauftemperaturen bei verschiedener Betriebsweise (bei konstantem Wasserstrom oder bei konstanter Wärmeleistung) des Modellnetzes für ein Betriebsjahr durchberechnet. Für die Jahressimulation wird angenommen, dass das Modellwärmenetz jeweils 70 Heiztage im Jahr mit den drei ausgewählten Vorlauftemperaturen betrieben wird. Dies entspricht den typischen 7 Monaten Heizperiode im Jahr für Deutschland.

Bei konstantem Massenstrom:
Bei dieser Betriebsweise wird der Massenstrom im Wärmenetz für die Simulation der HS mit AWP bzw. ohne AWP konstant gehalten. Durch den Einsatz der AWP wird die Rücklauftemperatur im Wärmenetz abgesenkt (im Durchschnitt um 12 K). Beim gleichbleibenden Massenstrom vom Wärmeerzeuger wird einerseits der Wärmeverlust des Verteilungsnetzes um 13% verringert und anderseits die übertragbare Wärmeleistung des Netzes um 21% erhöht (Bild 8).

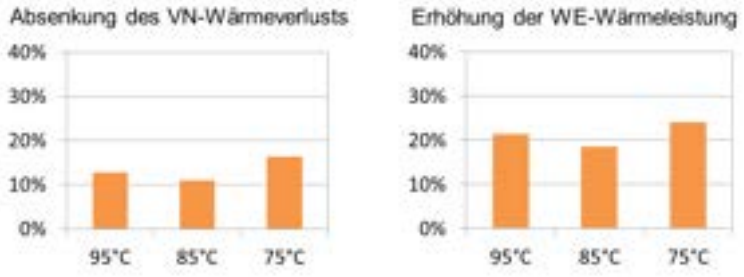


Bild 8: Auswirkung der abgesenkten Rücklauftemperatur bei konstantem Massenstrom

Bei konstanter Wärmeleistung:
Durch den Einsatz der AWP wird in dieser Betriebsweise ebenso die Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes um 12 K abgesenkt, wodurch der Wärmeverlust um 13% verringert wird. Da die Wärmeleistung des Fernwärmenetzes unverändert bleiben soll, kann der Massenstrom des Netzes um 17% reduziert werden. Aus diesem Grund sinkt die für die Verteilung benötigte elektrische Leistung der Umwälzpumpe um 31% (Bild 9).

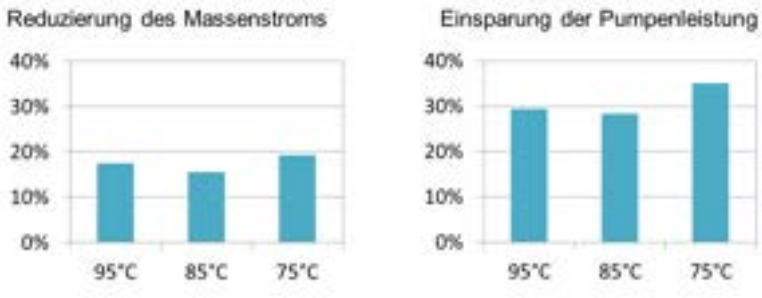


Bild 9: Auswirkung der abgesenkten Rücklauftemperatur bei konstanter Wärmeleistung

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführte Netzdaten-Analyse hat die breiten Einsatzbereiche des innovativen Anlagekonzepts in Wärmenetzen mit niedrigerer Vorlauftemperatur (max. 95 °C) belegt. Bezüglich der Kostenberechnung wurde ein Modellnetz in Anlehnung an die Mindestanforderungen des Wärmenetzes 4.0 definiert. Die berechneten Wärmegestehungskosten (WGK) zeigen, dass insgesamt das Modellnetz, durch Kombination von kostengünstigen erneuerbaren Energien sowie durch den Investitionszuschuss des Förderprogramms, mit der dezentralen Wärmeversorgung konkurrenzfähig ist.

Im entwickelten Geschäftsmodell wurde vorgeschlagen, das Anlagenkonzept in Form von Energieliefer-Contracting bzw. Energiespar-Contracting zur Anwendung zu bringen. Die Fragestellungen hinsichtlich der Festlegung der Liefer- und Eigentumsgrenze sowie der Verantwortlichkeit der Anlage wurden ebenfalls geklärt.

Das modular aufgebaute Simulationsprogramm bietet dem Anwender die Möglichkeit, die Betriebsbedingungen für die Auslegung der einzelnen Hauptkomponenten des Wärmenetzes zu ermitteln. Die Auswirkungen der abgesenkten Netzrücklauftemperatur auf die Wärmeverteilung und -bereitstellung können durch das einfach zu bedienende Berechnungstool quantifiziert werden. Auch die weiteren technischen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung des Wärmenetzes können in das Simulationstool umgesetzt und untersucht werden.

Auf Seiten der Versorger bestehen für Bestandsnetze technische Möglichkeiten und auch wirtschaftliche Interessen, die Vorlauftemperatur abzusenken, aber eine Minderheit der am Wärmenetz angeschlossenen Verbraucher benötigt das hohe angebotene Temperaturniveau. Um diese Fragestellung zu beantworten, haben die drei Forschungseinrichtungen (FFI, IGTE UNI Stuttgart und IFT UNI Hannover) zusammen in einem weiteren Forschungsvorhaben einen möglichen Lösungsansatz entwickelt. Die abgesenkten Netzvorlauftemperaturen können lokal durch einen Absorptionswärmetransformator oder durch eine Kompressionswärmepumpe mit Lösungskreis erhöht werden, damit die Hochtemperaturverbraucher weiter vom Wärmenetz versorgt werden. Dabei zeichnen sich die beiden Konzepte durch den relativ niedrigen Stromverbrauch aus.

4 Literatur

[1] Merten, F., Schüwer, D., Horst, J., Matschoss, P.: Technologiebericht 7.4 Systemintegration, -innovation und -transformation innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende, 29. März 2018.

[2] Yang, F.; Mirl, N.; Schmid, F.: Potenziale von Absorptionswärmepumpen in zentralisierten Wärmeversorgungsnetzen. Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 19696 N. FFI Hannover; IGTE Universität Stuttgart, 2020.

[3] VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/1885127.pdf, VDI Richtlinie, 2012.

[4] Yang, F.; Grage, T. (2022): Kostenrechnung für den Einsatz von Absorptionswärmepumpen im Wärmenetz 4.0. In: EuroHeat&Power (1-2), S. 54–58. 2022.

[5] Pehnt et al.: Wärmenetzsysteme 4.0. Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme "Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen". Endbericht. ifeu; adelphi; Ecofys; PwC; dena; AEE, 2017.

[6] BDEW: Contracting - effizient, wirtschaftlich und planungssicher. Informationen für Einsteiger. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin, 2019.

[7] DENA: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Energiespar-Contracting (ESC). Arbeitshilfe für die Vorbereitung und Durchführung von Energiespar-Contracting. dena-Leitfaden. 7. überarbeitete Auflage. Berlin. 2017

[8] AGFW: Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.: AGFW Merkblatt FW 525: Wartung und Inspektion von Fernwärmehausstationen, 2006.

Autorin:

Dr.-Ing. Fang Yang
Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V., Hemmingen

Tel.: +49 511 94370-326
E-Mail:
yang@fernwaerme.de
Internet:
www.fernwaerme.de



Aramidverstärkte PE-Xa Fernwärmeleitungen: Die Alternative zu KMR

von Markus Euring

1 Einleitung

Bei der Konzeption von Wärmenetzen stellt sich schon sehr früh die Frage, welches Rohrsystem eingesetzt werden soll. Bis dato wurde in der Nah-/Fernwärmewelt oftmals auf Kunststoffmantelrohre (KMR) gesetzt, wenn an die Netze höhere Anforderungen hinsichtlich Temperatur oder Druck gestellt wurden. Mit den aramidverstärkten PE-Xa Leitungen PN10/16 wird jedoch der Einsatzbereich der polymeren Mediumrohre (PMR) erweitert – die Druck- und Temperaturbeständigkeit ist wesentlich höher im Vergleich zu Standard PN6-Leitungen. Somit ergeben sich neue Einsatzbereiche für PMR und es können die allgemein bekannten Vorteile der schnelleren, einfacheren und kostengünstigeren Verlegung ausgespielt werden



Bild 1: PMR-Leitungen im Neubaugebiet

2 Überblick in der PMR Welt

Eins vorab – PMR ist nicht gleich PMR! Kommt es zum Einsatz von PMR in der Fernwärmewelt, so hat sich in den letzten Jahren ganz klar bei der Dämmung das geschäumte Polyurethan als Standard herauskristallisiert, was auch bei KMR verwendet wird. Bei den Mediumrohren kommen zumeist PE-Xa-Leitungen zum Einsatz, andere Medienenrohre z.B. aus Polybuten sind eher Randerscheinungen. Mit den Standard PN6 Rohren aus PE-Xa wurden eine Vielzahl an Niedertempraturwärmenetzen umgesetzt. Jedoch führten die limitierenden Faktoren Druck und Temperatur immer wieder dazu, dass weiter in Stahl gebaut werden musste. Die Technologie blieb jedoch nicht stehen, inzwischen wurden Lösungen entwickelt, um auch in der PMR Welt Netze mit höheren Drücken und Temperaturen fahren zu können. Der Schlüssel ist der Einsatz von aramidverstärkten Leitungen, die die Produkteigenschaften hinsichtlich der Druck- und Temperaturbeständigkeit erhöhen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die unterschiedlichen Standzeiten von PN6 PE-Xa-Leitugnen im Vergleich zu den aramidverstärkten Leitungen. Bei zunehmenden Betriebstemperaturen wird der Vorteil der aramidverstärkten Leitungen deutlich.

	60°C und SF1,5		70°C und SF1,5		80°C und SF1,5		85°C und SF1,3		Max. Temp. (gleitend)	Störfall-temperatur
	[bar]	[Jahre]	[bar]	[Jahre]	[bar]	[Jahre]	[bar]	[Jahre]	[°C]	[°C]
PE-Xa Mediumrohr PN6	7,8	100	6,9	95	6,3	32	6,9	19	95	100
FibreFLEX PN10	14,0	>100	12,0	100	10,0	50	9,0	30	95	110
FibreFLEX PRO PN16	22,5	>100	20,0	100	18,4	50	16,9	50	115	125

Tab. 1: Temperatur, Druckbeständigkeit und Lebensdauer der unterschiedlichen Rohrsysteme. Sicherheitsfaktoren sind entsprechend der ISO 15875-2 zugrunde gelegt.

3 Aramidverstärkte PE-Xa-Leitugenen

Es gibt bei den aramidverstärkten Leitungen aktuell 2 Varianten. Zum einen das FibreFLEX PN10 (FF) und das FibreFLEX PRO PN10/PN16 (FFP). Beide vorisolierte flexible Kunststoffrohrsysteme sind mit einem Mediumrohr aus vernetztem und faserverstärktem Polyethylen (PE-Xa) sowie einer PUR Wärmeisolierung ausgestattet und eignen sich für den Einsatz in Fern- und Nahwärmenetzen mit Temperaturen bis max. 95 °C (FF) und einem max. Betriebsdruck von 10 bar (FF) bzw. Temperaturen bis max. 115 °C (FFP) und einem max. Betriebsdruck von 10/16 bar (FFP). Gegenüber der Variante FF besitzt das FFP ein noch stärkeres Aramidfasergeflecht.

3.1 . Aufbau der aramidverstärkten PE-Xa- Leitungen

Das Mediumrohr besteht aus vernetztem Polyethylen PE-Xa (DIN16892). Dieser Werkstoff ist dank seiner physikalischen Eigenschaften ideal für sowohl thermische als auch mechanische Belastungen geeignet. Das FibreFLEX Mediumrohr ist mit einem Geflecht aus hochfesten Aramidfasern verstärkt. Der Einsatz dieser Fasern ermöglicht höhere Betriebsdrücke ohne dabei die Rohrwandstärke vergrößern zu müssen. Dank der geringeren Wandstärken ist das FibreFLEX Rohr flexibel und besitzt eine stärkere Isolierung im Vergleich zu konventionellen PEX-Rohrsystemen PN 6. Durch den kleineren Außendurchmesser des Mediumrohres wird die Dämmung bei ansonsten gleichem Außendurchmesser des gesamten Fernwärmerohres erheblich verbessert. Das Mediumrohr aus PE-Xa lässt sich trotz Korrosions- und höchster chemischer Beständigkeit sehr leicht verarbeiten. Um den Sauerstoffeintrag in das System zu verhindern, ist eine organische Sauerstoffdiffusionssperre (EVOH DIN 4726) auf dem Mediumrohr aufgebracht.



Bild 2: Aufbau aramidverstärktes Rohrsystem FibreFLEX

3.2 Druck- und Temperaturbändigkeit

Auch bei den aramidverstärkten Leitungen gibt es für die Lebensdauer die beiden limitierenden Faktoren Druck und Temperaturen. Demensprechend sind vor der Materialauswahl die Parameter genauestens zu prüfen, um dann unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen eine Entscheidung Pro oder Contra PMR zu treffen.

Abhängig von einer konstanten Betriebstemperatur und Betriebsdauer sind die Werte in den nachstehenden Tabellen für das FibreFLEX - Rohr gültig. Den aus der folgenden Tabelle ersichtlichen zulässigen Betriebsdrücken unter den jeweiligen Betriebstemperaturen liegt der Sicherheitsfaktor entsprechend ISO 15875-2 zugrunde.

Druckbegrenzung bei Betriebsdauer PN 10

Betriebs-temperatur	Sicherheits-faktor	1 Jahr	10 Jahre	15 Jahre	20 Jahre	25 Jahre	30 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
60°C	1,5	19,2 bar	18,3 bar	18,1 bar	18,0 bar	17,9 bar	17,9 bar	17,6 bar	17,0 bar
50°C	1,5	17,9 bar	16,9 bar	16,7 bar	16,6 bar	16,5 bar	16,5 bar	16,2 bar	15,0 bar
60°C	1,5	16,3 bar	15,2 bar	15,0 bar	14,9 bar	14,8 bar	14,8 bar	14,5 bar	14,0 bar
65°C	1,5	15,4 bar	14,3 bar	14,1 bar	13,9 bar	13,8 bar	13,8 bar	13,5 bar	13,0 bar
70°C	1,5	14,4 bar	13,0 bar	13,0 bar	12,9 bar	12,8 bar	12,8 bar	12,5 bar	12,0 bar
75°C	1,5	13,3 bar	12,1 bar	11,9 bar	11,8 bar	11,7 bar	11,7 bar	11,3 bar	-
80°C	1,5	12,1 bar	10,9 bar	10,7 bar	10,5 bar	10,1 bar	10,1 bar	10,0 bar	-
85°C	1,5	10,8 bar	10,0 bar	9,3 bar	9,2 bar	9,1 bar	9,0 bar	-	-
90°C	1,3	10,7 bar	9,3 bar	9,1 bar	9,0 bar	-		-	-
95°C	1,0	11,4 bar	9,7 bar	8,9 bar	-	-		-	-

Tab. 2: Standzeittabelle von FibreFLEX, gemäß OFI ZG 200-2 technische Spezifikation muss der Sicherheitsfaktor 1,5 für die Auslegungstemperatur betrage, 1,3 für die maximale Betriebstemperatur und 1 für den Störfall (+110°C). Die Mindestanforderungen an die Langzeitverhalten gemäß der Vorgaben der DIN 16892 werden eingehalten.

In der Regel werden die Wärmenetze auch nicht konstant 8760h im Jahr mit den gleichen Temperaturen gefahren. Deswegen kann hier ebenso wie in der PN6 Welt bekannt auf die Miner'sche Regel zurückgegriffen werden, um bei bekannten Betriebszeiten und Betriebstemperaturen die zu erwartende Lebensdauer zu ermitteln.

3.3 Verlegung/Installation

Die Verlegung/Installation der aramidverstärkten Leitungen ist annähernd identisch zu Standard PN6- Systemen. Es kann in der offenen Grabenbauweise, als auch mittels Spühlbohrverfahren gearbeitet werden, sofern es die die örtlichen Gegebenheiten zu lassen. Bei der Verbindungstechnik wird ebenfalls auf das bekannte, bewährte und sichere Schiebehülsensystem zurückgegriffen.



Bild 3: Verpressvorgang beim Rohrsystem FibreFLEX

4 Einsatzmöglichkeiten von PMR

4.1 Klassische PMR Netze im Neubau und ländlichen Raum

Was haben Wärmenetze im ländlichen Raum und Neubaugebieten gemeinsam? Oftmals eine relativ geringe Wärmebelgungsdichte zwischen 400-600 kWh/(m*a). Um auch in sochen Gebieten Wärmenetze wirtschaftilch umsetzen und betreiben zu können sollte neben einer effizienten Übergabetechnik (z.B. Smartes Dezentrales Pufferspeichersystem), ein aufeinander abgestimmtes Erzeuger- samt smaten Reglungskonzept auch auf ein effizientes Rohrystem gesetzt werden. All diese Netze können selbstverständlich rein technisch auch in KMR realisert werden, jedoch bietet PMR gerade mit den alternativen Verlegemöglichkeiten (Spühlbohrverfahren, Grabenfräse,…) eine gute Option, um die Investitionskosten reduizieren zu können, was sich wieder auf die Gesmtwirtschaftlichkeit der Netze verbessert bzw. überhaupt deren Umsatzbarkeit zu ermöglichen.

4.2 Mischnetz: Kombination von KMR und PMR

In Wärmenetzen werden Doppelleitungen – unabhängig ob bei KMR oder PMR – präferiert eingesetzt, um die Wärmeverluste zu reduzieren und somit die Effizienz zu steigern. Lange Zeit waren die 63er Doppelleitung bzw. seit gut sieben Jahren die 75er Doppelleitung die größten für den Markt produzierten und eingesetzten PMR-Doppelleitungen. Waren größere Dimensionen gefordert, musste dies mit Einzelleitungen gelöst werden. Mit der neuen FibreFLEX-Pro-Doppelleitung 90+90/225 können Wärmenetze nun in PMR noch effizienter realisiert werden. Da aber gerade bei größeren Netzen auch eine 90er Dimension nicht ausreicht, um den nötigen Volumenstrom bei moderaten Pumpenstromkosten transportieren zu können, gibt es Projektentwickler bzw. Versorger, die auf eine Kombination von KMR und PMR setzen. Vorteile sehen sie in einer kostengünstigeren Verlegung. Am Markt beteiligte Unternehmen sprechen bei einem Mischnetz von einer Kostenersparnis von 15 bis 20 % im Vergleich zu einem reinen KMR-Netz. Auch Stadtwerke schätzen an ihren Stahlnetzen die Flexibilität bei der Realisierung von Hausanschlüssen. Zum Teil werden dafür flexible Stahlrohre (MMR) eingesetzt. Auch hier kann das neue FibreFLEX Pro PN10/16 eine kostengünstigere, genauso sichere und effiziente Alternative werden.

4.3 Sekundärnetze bzw. Tertiärnetze

Unterschiedliche Netzebenen mit unterschiedlichen Netztemperaturen bzw. Drücken sind großen Wärmenetzen keine Seltenheit. Nur weil ein in einem Teilbereiches Wärmekunden sind, die sehr hohe Temperaturen benötigen ist es nicht zielführend deswegen das ganze Netz auf dem gleichen Niveau zu fahren. In dem Fall werden oftmals Kopfstationen eingesetzt, um die unterschiedlichen Netzebenen hydraulisch voneinander zu trennen. Werden in einem neuen Versorgungsgebiet nur moderate Temperaturen und Drücke benötigt, dann kann dieses Sekundärnetz komplett in PMR realisiert werden. Ein solches Projekt haben wir vor kurzem erst mit dem Stadtwerken Dinkelsbühl umsetzen dürfen. Ein Sekundärnetz wurde aufgebaut, als Wärmequelle dient nicht ein neuer Erzeuger, sondern lediglich die Kopfstation, die die ca. 120 EFH mit Wärme versorgen wird.

5 Fazit

Die aramidverstärkten Nahwärmeleitungen sind ein Allrounder im Bereich Nah- und Fernwärmenetze. Als Alternative für Stahlrohre oder als Ergänzung bietet es vielfältige Einsatzmöglichkeiten. So sind erhöhte Temperaturen oder Drücke in einem Netz mit Höhenunterschieden ebenso wenig ein Problem für die aramidverstärkten PE-Xa Leitungen wie lange Zuleitungen. Ganz nebenbei lassen sich die Bau- und Bezugskosten der Nah-und Fernwärmerohre gegenüber einem Stahlnetz deutlich senken. Mit einer individuellen Planung unter Einbeziehung der örtlichen Gegebenheiten und Fördermöglichkeiten können somit bezahlbare Wärmenetzverbunde sowohl im städtischen Gebieten als auch im ländlichen Raum entstehen.

Autor:

M. Eng. Markus Euring
ENERPIPE GmbH, Hilpoltstein

Tel.: 09174/9765070
E-Mail:
Markus.Euring@enerpipe.de
Internet:
www.enerpipe.de



Kunstoffmantelrohre – das bewährte System für Nah- und Fernwärme

Stand der Technik und Entwicklungsperspektiven

Von Martin Beck

1 Einleitung

Der infrastrukturelle Ausbau der Wärmenetze, in Verbindung mit regenerativen Erzeugereinheiten, stellt die fundamentale Einheit der zukünftigen Energie- und Wärmewende dar. Die auftretenden Herausforderungen in Bezug auf Nachhaltigkeit und Effizienz rücken in den Fokus der Energieversorger, die Versorgungssicherheit darf dabei nicht vernachlässigt werden. Das Wärmenetz, welches im Mittelpunkt des Referates steht, stellt eine solide und verlässliche Transporteinheit dar, sofern alle vorhanden Normen und Regelwerke eingehalten werden. Diese Ausarbeitung bezieht sich zunächst auf die Historie der werkmäßig gedämmten Mantelrohrsysteme und bietet anschließend einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Meilensteine in Bezug auf Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft.

2 Geschichte der Kunstoffmantelrohre

Die Geschichte der Fernwärme lässt sich bis in das Zeitalter der Römer zurückführen, wo Thermalwasser für Badezwecke und für Bodenheizungen genutzt wurde. Die kommerzielle Nutzung begann gegen Ende des 19. Jahrhunderts, mit dem Ziel die Anzahl der Feuerstätten und die Verschmutzung durch beispielsweise Kohle als Brennstoff, in den Städten zu verringern. Die Einführung der „Städteheizung“ und der Ausbau kleiner Fernheizungen begann in Deutschland in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts. Mit der zunehmenden Entwicklung der „Städteheizungen“ ergaben sich gleichermaßen Entwicklungsmärkte für Produkte und Dienstleistungen. Nach vielen Lösungsansätzen rund um die Transportmöglichkeit der in der Ferne erzeugten Wärme, wurde ab dem Jahr 1960 das heute bekannte Kunstoffmantelrohr (KMR) gefertigt und verbaut. Im Norden Dänemarks, im Ort Løgstør, wurden zunächst 3-m-Rohrstangen diskontinuierlich gefertigt. Begrenzt auf die Dimension DN 25 mit einem 90-mm-Außenmantel wurde die Produktion im Jahr 1962 auch auf 6-m-Rohrstangen erweitert. Der Aufbau ähnelt der heute bekannten „Sandwich“-Konstruktion aus Stahlmediumrohr/PUR-Schaum/HDPE-Ummante-lung. Die Entwicklung schritt fort und so wurde im Jahr 1970 die Produktion auf 12m-Stangen in der diskontinuierlichen Fertigung erweitert. Auch die Dimensionen vergrößerten sich, so wurde bspw. die Produktpalette bis zu einer Dimension von DN 200 mit entsprechender Ummantelung von 315 mm erweitert. Nachdem im Jahr 1980 Fertigungen von 16-m-Stangen, mit einer Dimension von DN 400 und 500 mm Außenmantel möglich waren, wurde 1990 die Kontinuierliche Fertigungsweise für Rohre bis zu der Dimension DN 700 mit 1000 mm Außenmantel eingeführt. Die verschiedenen Fertigungsmethoden wurden im Jahr 1995 auf die Dimension DN 1000 mit 1200-mm-Ummantelung ausgeweitet und bilden heute noch den Standard für vorgedämmte Rohre in der Fernwärme.

3 Stand der Technik

Die hervorzuhebende Rolle der Fernwärme, im Kontext der Energie- und Wärmewende, erfordert ein hohes Anforderungsniveau und Qualitätsmaß an die einzusetzenden Produkte. Die bekannten Normen und Regelwerke stellen den Rahmen der technischen Erfordernisse dar. Sowohl die EN 13941, EN253 oder die FW 401 beziehen sich auf den produkttechnischen Stand der Technik und geben somit ein Mindestmaß an Anforderungen an. Diese Standards beinhalten die zu erwartende Lebensdauer von mindestens 30 Jahren bei entsprechender Einhaltung der Dauergebrauchstemperatur von 120°C, die Verbundeigenschaften zwischen den einzelnen Komponenten, sowie verschiedene Konfigurationsmöglichkeiten. Die projektspezifischen Anforderungen an das Kunstoffmantelrohr, sowie deren Bauteilgruppen, erstrecken sich von dem Einsatz bestimmter Stahlerzeugnisse, über die Dämmserien bis hin zur Notwendigkeit von Diffusionsbarrieren und der Variabilität der Rohrnetzüberwachungssysteme. Betrachtet wird dabei immer der aktuelle Stand der Technik. Zukünftige Einflüsse, wie die volatilen Einspeisemöglichkeiten, Personalknappheit oder Produktinnovationen hingegen werden erst nach Einführung in den Markt und der Revision der technischen Regelwerke in die Norm aufgenommen. Somit sind fortschrittliche Produkte oder Dienstleistungen nur schwer zu implementieren, auch wenn Tests von akkreditierten Prüfanstalt in Anlehnung der entsprechenden Norm durchgeführt wurden.

4 Entwicklungsperspektiven

Nach Entstehung in den 60er Jahren hat sich das Kunstoffmantelrohr zu einem Standardprodukt im Bereich der Fernwärme & -kälte entwickelt, welches jährlich in vielen hundert Kilometern verbaut wird. Nach den letzten Evolutionen im Bereich der PUR-Schäume wurden neben der Entwicklung des PIR-Schaumes, für 159°C Dauergebrauchstemperatur, nur minimale Weiterentwicklungen des KMR-Gesamtsystems vorangetrieben. Die Firma KINGSPAN zeigt mit seinem „GreenPipe“ weitere Fortschritte aufzeigen. Unter dem Motto „100% Recycling und Kreislaufwirtschaft“ werden wiederverwertbare Materialien eingesetzt, wie auch als Standard in vielen anderen Lebensbereichen.

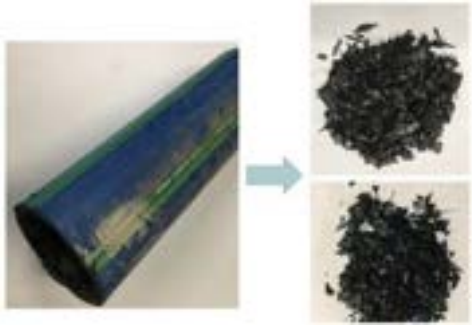


Abbildung 1 Herstellung Regranulat

KINGSPAN ist der Auffassung, dass nicht nur die Wärmeerzeugung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit stehen soll. Auch das Recycling und damit die Senkung der CO_2-Emissionen bei der Produktion von neuen Erzeugnissen für die Fernwärme muss im Fokus nachhaltiger Wärmeerzeugung sein. Aus diesem Grund wurde im ersten Schritt eines nachhaltigen Kunstoffmantelrohres eine HDPE-Ummantelung aus 100% recyceltem Material hergestellt. Die Vorgaben der entsprechenden europäischen Norm EN253 in Bezug auf die Materialgüte und den entsprechenden Test dient der Grundlage aller Materialien und anschließenden Testreports, welche von einem deutschen akkreditierten Prüflabor durchgeführt wurden. Die Grundlage der „GreenPipe“–Ummantelung bildet das Recycling und die Aufbereitung von PE80- und PE100-Erzeugnissen, welche beispielsweise in Gas- oder Trinkwasserleitungen im Einsatz sind. Durch die Wiederverwendung alter Rohrleitungen ist somit weniger neuhergestelltes HDPE-Granulat notwendig, die damit verbundene Senkung der CO_2-Emissionen beläuft sich auf 1,644 kg CO_2 je 1kg HDPE-Granulat. Diese Minderung wird anhand externer Zertifizierungen dem Nutzer übermittelt, welcher dadurch Umweltberichte und Nachhaltigkeitszertifizierungen verbessern kann. Alle geforderten Qualifizierungen der Ummantelung, entsprechend EN253, können übermittelt werden. Des Weiteren sind zusätzliche interne Materialfreigaben und Test durchzuführen, bevor das angelieferte Granulat weiterverarbeitet werden kann, um Qualitätseinschränkungen diesbezüglich auszuschließen. In Dänemark wurde 2021 ein Pilotprojekt beliefert, in dem ca. 30 km Rohrtrasse mit dem „GreenPipe“ ausgestattet wurden. Ergebnis war eine Einsparung an CO_2-Emissionen von rund 164t. Auch in Deutschland wurde eine 1,5 km lange Rohrtrasse mit unserem Produkt ausgestattet, was den Stadtwerken nicht nur geringe Wärmeverluste, sondern auch eine CO_2-Einsparung von 5,5t liefert.



Abbildung 2 Pilotprojekt in Deutschland 2022

„GreenPipe“ erfüllt laut Prüfanstalt die Norm EN253 in allen Punkten, einzig die Beschaffung des aufbereiteten Materials überschreitet die Vorgabe der Norm. Maßgebend für den Einsatz ist die Wiederverwendung von HDPE-Granulat aus eigener Produktion, wobei KINGSPAN zusätzliches Regranulat von zertifizierten Bezugsquellen nutzt. Somit ist dieses Produkt an die Norm angelehnt, weist jedoch keinen technischen Unterschied zum Standardprodukt auf. Das Inverkehrbringen neuartiger, sinnvoller Weiterentwicklungen ist somit schwierig und kann nur durch die technische Akzeptanz und dem Verstehen der Sinnhaftigkeit der Kunden vorangetrieben werden. Es ist festzuhalten, dass die Norm den Stand der Technik abbildet, jedoch die Hürde für notwendige Weiterentwicklungen im Bereich der Produktgruppen hoch ist. Weitere Entwicklungen werden aktuell in verschiedener Richtung unternommen. So wird auf das Recycling von Stahl und PUR-Schäumen, sowie die Wiederverwendung von PUR-Abfällen konzentriert, um unser Ziel der 100%igen Kreislaufwirtschaft zu erreichen.

Grüne Fernwärme ist mehr als die CO_2 neutrale Wärmeerzeugung.

Autor:

B.Sc. Martin Beck
LOGSTOR Deutschland GmbH,
Hamburg

Tel.: 0170 766 9217
E-Mail:
martin.beck@kingspan.com
Internet:
www.logstor.com



3
Schweißtechnik

Schäden an mit Trinkwasser gefüllten Rohren

Von Elke Epperlein

1 Einleitung

„Bereits 1713 erwähnte Hans Carl von Carlowitz 1713 in seinem Werk „Silvicultura oeconomica“ erstmalig die Bezeichnung *Nachhaltigkeit* in deutscher Sprache im Sinne eines langfristig angelegten verantwortungsbewussten Umgangs mit einer Ressource. Carlowitz fragte, „wie eine sothane [solche] Conservation und Anbau des Holzes anzustellen / daß es eine continuirliche beständige und nachhaltende Nutzung gebe / weiln es eine unentbehrliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag“. [Nach Wikipedia*]

Gerade im Stahlbau, beispielsweise im Brücken- und Rohrleitungsbau werden lange Lebensdauern, von häufig mehr als 50 Jahren erwartet, die jedoch häufig nicht erreicht werden. Z.B. sind die Hälfte aller Schäden an Trinkwasserleitungen auf Korrosion zurückzuführen. Die Ursache(n) zu finden, um Ressourcen zu schonen ist deshalb Aufgabe und Anliegen einer Schadensanalyse.

Ursachen für Schäden und damit Grund für Instandhaltungsmaßnahmen und Verbrauch von Ressourcen sind abhängig von verschiedensten Faktoren, wie z.B. der Wahl der Werkstoffqualität (chemische Zusammensetzung, Wärmebehandlung, Verarbeitung), Installation und Verlegung von z.B. Rohrleitungen, Korrosionsschutzverfahren (metallischer Überzüge, Beschichtungen) sowie des Mediums (Zusammensetzung, Inhibitoren), der Betriebsweise (Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeiten) sowie konstruktiver Gegebenheiten (Toträume, Spalten).

Nachfolgend werden überwiegend Korrosionsschadensfälle, in Verbindung mit schweißtechnischen Fertigungsunregelmäßigkeiten und deren Ursachenermittlung behandelt.

2 Geltende Normen/Werkstoffeinsatz/Korrosion

Beispiel Trinkwasserleitungen: In Deutschland gelten für Unternehmen, „die Rohrleitungen in Gas- und Wasserversorgungssystemen errichten, instandsetzen und einbinden“ das Arbeitsblatt DVGW 301 sowie die DIN 1988 (Teile 100 bis 600) und DIN EN 806 (Teil 1 bis 5).

Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass Schäden durch z.B. Korrosionsprodukte auch Einfluss auf das Medium (Trinkwasser) und deren Qualität haben können. Die Trinkwasserverordnung (neu 2018) legt u.a. Grenzwerte der chemischen Inhaltsstoffe fest.

*Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit (2021)

Die DIN 50930-6 „beschreibt den Einfluss wasser- und werkstoffseitiger Parameter sowie der Betriebsbedingungen auf die Veränderung der Wasserbeschaffenheit bei Kontakt des Trinkwassers mit metallischen Werkstoffen, sofern deren Korrosionsprodukte oder Reaktionsprodukte mit Wasserinhaltsstoffen für die Wasserbeschaffenheit relevant und mit Grenzwerten der Trinkwasserverordnung belegt sind."

Die DIN 1988-200 gibt dazu an, dass, „die Trinkwasser-Installation so zu planen und auszuführen ist, dass an allen Entnahmestellen (kalt und warm) die Trinkwasserqualität nach der TrinkwV eingehalten wird… Metallene Werkstoffe müssen den Anforderungen nach DIN EN 50930-6 entsprechen…". D.h. die Eignung der Werkstoffe hinsichtlich der hygienischen Eignung ist nachzuweisen. Das betrifft Grundwerkstoffe ohne und mit Überzügen sowie deckschichtbildende Werkstoffe.

Werkstoffe, die unter entsprechenden Betriebsbedingungen gemäß o.a. Normen im Trinkwasserbereich eingesetzt werden (können) sind Kupfer und innenverzinntes Kupfer, im Kaltwasserbereich schmelztauchverzinkte Eisenwerkstoffe und nichtrostende Stähle. Un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe können i.d.R. nicht eingesetzt werden, da eine korrosionsbeständige Deckschicht nur bei definierten Strömungsgeschwindigkeiten (keine Stillstände), Sauerstoffgehalten, pH-Werten u.a. entstehen kann, die jedoch i.d.R. in einem Trinkwassernetz nicht vorliegen (vgl. DIN EN 12502-5). Wenn andere Werkstoffe eingesetzt werden sollen, müssen diese gemäß o.a. Norm geprüft und deren Unbedenklichkeit nachgewiesen werden.

Die Normenreihe DIN EN 12502 gibt Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit für o.a. Werkstoffe bzw. Überzüge in Wasserverteilungs- und Speichersystemen an.

Einige wesentliche Korrosionsarten, die auftreten können, sind zunächst Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung, wie gleichmäßige Flächenkorrosion und Lokalkorrosion (Loch- und Spaltkorrosion), selektive Korrosion, Bimetallkorrosion, aber auch Mikrobiologisch induzierte Korrosion. Es können auch Korrosionsarten mit mechanischer Beanspruchung, wie Spannungsriss-, Erosions- und Kavitationskorrosion auftreten.

Diese Auflistung stellt nur die wesentlichen Korrosionsarten dar. Weitere, durch spezielle Bedingungen auftretende Korrosionsarten werden nicht aufgeführt, wurden aber festgestellt oder in der Literatur beschrieben.

Erläuterungen der einzelnen Korrosionsarten und –mechanismen werden an dieser Stelle ebenfalls nicht vorgenommen. Es wird auf einschlägige Literatur und die angegebenen Normen und Richtlinien verwiesen.

Schadensfälle werden nicht veröffentlicht. Das Manuskript wurde unter Berücksichtigung der Neutralität und rechtlicher Konsequenzen, die aus einer Veröffentlichung von Schadensbeispielen resultieren erarbeitet.

Wir bitten die Teilnehmer der IRO, Verständnis dafür zu haben, dass keine einzelnen Schadensbeispiele veröffentlicht werden können.

Nachfolgend nur einige Ausführungen zur Erarbeitung von Schadensanalysen, wie diese an der SLV-Hannover vorgenommen werden.

3 Schadensanlaysen

Die Ursachen für Schadensfälle sind sehr vielfältig, sie können mechanisch, thermisch oder korrosionsbedingt sein und sind oft nur durch umfangreiche Untersuchungen mit ausreichender Sicherheit definierbar. Aufgrund des makro- und mikroskopischen Erscheinungsbildes an der Oberfläche oder im Inneren des schadhaften Bauteils können Rückschlüsse auf die Schadensursache(n) gezogen werden. Die Schadensanalyse ist gemäß VDI Schadensrichtlinie 3822 definiert und durchführbar, sie ist ein „systematisches Verfahren zur Ermittlung der Ursache des Versagens technischer Bauteile“. Schadensanalysen umfassen die “Schadensbeschreibung, die Bestandsaufnahme, die Schadenshypothese, die instrumentelle Analyse, die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Erarbeitung der Schadensursache sowie die Schadensabhilfe“.

Im speziellen Anwendungsfall beginnt die Schadensanalyse zunächst mit der Beweissicherung (Bauteil mit Bruchfläche und/oder Korrosionsprodukt) sowie eine Dokumentation (Foto, Film) des Schadensteils und –umgebung und, soweit zugänglich des Schadensortes und der Umgebung voraus (Bestandaufnahme). Weiterhin werden Angaben und Einlassungen der Beteiligten und Errichter des Bauteils dokumentiert, Unterlagen, Zeichnungen sowie Informationen zur Funktion und Arbeitsweise der Anlage/des Bauteils zusammengestellt. Die üblichen und temporär vorhandenen Umgebungsbedingungen (Medien, Temperatur) sowie Betriebsausfälle werden, soweit bekannt dokumentiert. Weiterhin werden der Werkstoff, die Herstellungs- und Belastungsart, Betriebsdauer usw. festgehalten (Schadenbeschreibung) und nachfolgender Erarbeitung der Schadenshypothese.

Im Anschluss wird die Probenahme vorbereitet (Anzeichnen, Dokumentieren). Die Trennung des Bauteils erfolgt mit größter Sorgfalt. Bei korrosionsbedingten Schadensfällen werden die Prüfteile ohne chemische Zusätze wie z.B. Kühlmittel, Bohrmilch usw. getrennt, um nachfolgende Untersuchungen der Ablagerungen nicht zu beeinflussen. Die Prüfteile werden so „kalt“ wie möglich getrennt, um Gefügeveränderungen durch einen Wärmeeintrag zu vermeiden. Die Ober- und/oder Bruchflächen der Schadteile dürfen soweit möglich nur mit sauberen Handschuhen angefasst werden. Korrosionsprodukt darf nicht entfernt werden.

In der SLV Hannover, Niederlassung der GSI mbH, werden Schadensanalysen unter anderem anhand von zerstörungsfreien (Ultraschall, Röntgen), zerstörenden (u.a. Zug- und Kerbschlagbiegeversuche, Druckprüfungen), metallographischen (Lichtmikroskop, Rasterelektronenmikroskop), chemischen (Spektralanalysen, Medienproben wie Wasser, Biomasse usw.) und elektro-

chemischen (potentiostatischen) Untersuchungsmethoden (durch kooperierende Labore) erstellt. In Einzelfällen werden auch Simulations- und Korrosionsversuche durchgeführt (instrumentelle Analyse).

In jedem Fall wird mit der makroskopischen Beurteilung des Schadens (Auge, Lupe, Lichtmikroskop) begonnen. Nach erster Beurteilung werden dann je nach Art des Schadensfalles die weiteren Untersuchungen festgelegt. Bei Feststellung der Schadensursache können Simulationsversuche zur Nachstellung der Umgebungs- und Belastungsbedingungen erfolgen. Die Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse werden mit einer Empfehlung zur Beseitigung der Schadensursache erarbeitet (Schadensursache, Schadenabhilfe).

4 Zusammenfassung

Schadensanalysen erfordern eine systematische Vorgehensweise, um die Ursache für das Versagen eines Bauteils, einer Bauteilgruppe oder einer Anlage zu ermitteln. Die Untersuchungsmethoden sind vielfältig und müssen je nach Schadensfall (und Kundenwunsch) individuell ausgewählt werden. In der GSI-Gesellschaft Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV-Hannover werden Schadensanalysen insbesondere an metallischen (in kleinem Umfang auch an Kunststoffen) durchgeführt. Während des Vortrages werden Schadensfälle an mit Trinkwasser gefüllten Rohrleitungen und Komponenten verschiedener Werkstoffqualitäten vorgestellt.

Autorin:

Dipl.-Ing. Elke Epperlein
GSImbH, Niederlassung SLV-Hannover

Tel.: 0511/2196244
E-Mail:
epperlein@slv-hannover.de
Internet:
www.slv-hannover.de



Projektbericht Laserstrahlschweißen an einer Trinkwasserpipeline

Von Steffen Keitel, Hendrik Neef, Jörg Brozek, Amadeus Aurin

1 Einleitung

Das Laserstrahlschweißen hat dem klassischen Lichtbogenschweißen in nahezu allen Bereichen der industriellen Anwendung Marktanteile streitig gemacht. Man darf heute davon ausgehen, dass nahezu 50 % der mittels Schmelzschweißen verbundenen Nahtquerschnitte mit dem Laser realisiert werden. Dabei kommt dem Verfahren bei größeren Nahttiefen der Effekt des Tiefschweißens zugute. Nahttiefen von 10 mm und mehr werden in nur einer Lage ohne Gegenlage verschweißt. Neue Anwendungsgebiete, wie das Schweißen von Tailored Blanks – großen maßgeschneiderten Blechtafeln, sind ohne dem verzugsarmen Laserstrahlschweißen nicht denkbar.

Will man die Vorteile des Laserstrahlschweißens voll ausnutzen, wird in der Regel vollmechanisiert oder automatisiert geschweißt. Dies wiederum setzt eine entsprechende Qualität in der Nahtvorbereitung und bei der Positionierung der Fügepartner voraus. Montageprozesse und das Arbeiten unter freiem Himmel waren deshalb nicht die bevorzugten Anwendungsfälle für das Laserstrahlschweißen.

Dies mag einer der Gründe sein, weshalb die Lasertechnik noch nicht den Weg in die Anwendung beim Pipelinebau gefunden hat. Der andere Grund sind fehlende Erfahrungen in einer Branche, die sich durch hohes Sicherheitsbewusstsein auszeichnet. Dies gilt insbesondere für die Anwendungen für Gashochdruckleitungen.

2 Entwicklungsetappen des Laserstrahlschweißens im Rohrleitungsbau

Bereits in den 1990er Jahren wurden mit den damals verfügbaren CO_2-Hochleistungslasern Versuche zum Schweißen von Großrohren unternommen. Dies galt für die Herstellung von längsnahtgeschweißten Rohren ebenso wie für Spiralrohre. Erstmals wurden um die Jahrtausendwende laserstrahlgeschweißte Spiralrohre hergestellt, werkstofftechnisch qualifiziert und in einer Gashochdruckpipeline verbaut. Diese Rohre blicken nunmehr auf eine fast 20-jährige Betriebszeit zurück. Die Protagonisten waren seinerzeit VNG Verbundnetz Gas AG als Betreiber, die Rohrwerke Muldenstein als Rohrproduzent und die SLV Halle GmbH als Technologieentwickler.

Folgerichtig richteten sich die weiteren Schritte auf das Verbinden der Rohre im Pipelinebau. Dabei standen die besonderen Eigenschaften des Verfahrens im Vordergrund, wie:

- einfache Nahtvorbereitung als I-Stoß über den gesamten Querschnitt
- minimaler Wärmeeintrag beim Schweißen
- geringer Verzug und minimale Eigenspannungen

– blechebene Nahtoberfläche an Wurzel und Nahtoberseite
– Prüffähigkeit direkt nach dem Schweißen

So wurden zwischen 2005 bis 2015 verschiedene Methoden zum orbitalen Laserstrahlschweißen konstruktiv umgesetzt. Entscheidend dafür waren die nunmehr am Markt verfügbaren Faserlaser. Sie ermöglichten die Übertragung der Laserstrahlung im Lichtwellenleiter bei ausreichender Laserleistung im kW-Bereich. So konnte der Fokussierkopf in seiner Baugröße reduziert und die Schweißbewegung 360° um das Rohr realisiert werden.

Der Prozess wurde für längsnahtgeschweißte Rohre im Durchmesserbereich 200 bis 400 mm und Wandstärken zwischen 4 bis 8 mm qualifiziert. Rohrlieferant und Projektpartner war in dieser Phase die MLP – Mannesmann Line Pipe GmbH. Erreicht wurden Schweißzeiten im Bereich 1 Minute für das beschriebene Rohrspektrum. Geschweißt wurde grundsätzlich in einer Lage bei Anpassung der Strahlparameter auf die jeweiligen Rohrabmessungen.

3 Orbitales Laserstrahlschweißen an einer Gashochdruck-Pipeline 2016

Erstmals in der industriellen Anwendung wurde das orbitale Laserstrahlschweißen beim Bau einer Pipeline im Herbst 2016 in der Nähe von Greifswald angewandt. Die Verlegung erfolgte auf freiem Feld bei stark schwankenden Witterungsbedingungen. Dies stellte an die Lasertechnik, deren Einsatz sich bis zu diesem Zeitpunkt auf Anwendung unter Hallenbedingungen fokussiert hatte, extreme Anforderungen. Einflüsse auf den Schweißprozess waren unter anderem:

– Stromversorgung über autarken Generator
– Druckluftversorgung über Kompressor
– Wettereinflüsse in Bezug auf schwankende Umgebungstemperatur und Luftfeuchte
– Schutz gegen Verschmutzung durch Regen und Flugsand
– Vorbereitung der Rohre und Herstellen der Passfähigkeit unter Baustellenbedingungen

Mit erfolgreichem Abschluss des Bauprojektes wurde weltweit erstmals das Laserstrahlschweißen unter Baustellenbedingungen als orbitaler Prozess angewandt. Die Gashochdruckleitung befindet sich seither im Betrieb.

4 Integration des Laserstrahlschweißens in den Verlegeprozess

Der wirtschaftliche Effekt der kurzen Schweißzeiten musste nunmehr in den Verlegeprozess integriert werden. Um die Prozesszeiten je Rohrverbindung insgesamt zu reduzieren, waren zusätzlich folgende Teilaufgaben zu lösen:

– Ausrichten und spaltfreies Spannen der Rohre
– Festlegen der Schweißbahn über den Rohrumfang mittels programmierter Positionskorrektur und Hilfslaser
– Heftschweißen mit reduzierter Laserleistung und Qualifizierung des Überschweißens
– Prozessdatenerfassung während des Laserstrahlschweißens

– zerstörungsfreie Prüfung integriert in den Geräteträger unmittelbar nach dem Laserstrahlschweißen

Für das Spannen der Rohre sowie das Ausrichten zu einer spaltfreien Passung ohne Kantenversatz hat sich eine im Rohr sitzende Innenspannvorrichtung bewährt. Die Zeitanteile für diese Arbeiten konnten hierdurch um mehr als 50% verkürzt werden. Dabei werden die beiden Rohrenden fixiert und spaltfrei zueinander geführt. Eventuell auftretende Ovalitäten der Rohre werden im Fügebereich herausgedrückt. Es entstehen eine leichte Presspassung und damit ideale Voraussetzungen für das Laserstrahlschweißen.

Dieser Vorgang ist von der Innenbeschichtung der zu verschweißenden Rohre abhängig. Im Falle von Trinkwasserleitungen mit Zementmörtelbeschichtung sind hier Restriktionen zu beachten.

Das Festlegen der Orbitalbahn mittels optischem System und Hilfslaser hat die Bahnprogrammierung vor dem Schweißen um mehr als 50% reduziert und den Bedienkomfort deutlich erhöht. Je nach Rohrumfang können bis zu 10 Bahnpunkte gespeichert werden. Typischerweise werden 6 bis 8 Punkte für die Parametrisierung der Schweißbahn angefahren.

Grundsätzlich kann bei der Verwendung einer Innenspanneinrichtung direkt mittels vorgegebener Laserleistung der Nahtquerschnitt vollständig angeschlossen werden. Bewährt hat sich dennoch eine Heftschweißung mit verminderter Leistung. Eine optische Nahtkontrolle bringt zusätzliche Sicherheit bezüglich der Position des Fokussierkopfes zur Naht. Das Überschweißen ist sowohl metallurgisch als auch hinsichtlich der äußeren Nahtform unkritisch.

Während des Schweißens werden mittels LWM – Laser Welding Monitor – typische im Laserprozess entstehende Signale dokumentiert. Dies sind beispielsweise die applizierte Laserstrahlung oder deren Rückreflexion.

Unmittelbar nach dem Schweißen wird mit einer EMAT-Technik (Ultraschallprüfung) die Naht auf innere Nahtfehler geprüft. Das Verfahren wurde durch eine neutrale Prüfinstitution anerkannt.

5 Laserstrahlschweißen einer Trinkwasserleitung im städtischen Umfeld

Im Sommer 2021 wurde ein weiteres Projekt zum orbitalen Laserstrahlschweißen umgesetzt. Geschweißt wurde eine Trinkwasserleitung DN 300, die in eine vorhandene Altleitung DN 600 eingezogen wurde. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Laserstrahlschweißungen in einer Baugrube in ca. 4 Meter Tiefe auszuführen. Verwendet wurde hierfür ein 6-kW-Faserlaser. Der Laser war zusammen mit dem Kühler und der Prozesssteuerung in einem handelsüblichen 10-Fuß-Standardcontainer oberhalb der Baugrube platziert. Die Laserstrahlung wurde über einen Lichtwellenleiter mit 20 Meter Länge und einem Kerndurchmesser von 300 µm an die Schweißeinrichtung und den Fokussierkopf übertragen. Bild 1 zeigt die Baugrube mit dem vorpositionierten Rohr.



Bild 1: Baugrube mit vorpositioniertem Rohr; links oben: Blauer Container mit Laserquelle, Steuerung und Kühler

Über verstellbare Halteböcke wurde das lose Rohr so positioniert, dass eine spaltfreie Verbindung über den Umfang gegeben war. In diesem Zusammenhang wurde auch der Kantenversatz durch Ausrichten der Rohre minimiert. Dabei stellt der Kantenversatz für das Laserstrahlschweißen kein Problem dar. Seine Größe darf jedoch die Grenzwerte nach ISO 13919-1 Bewertungsgruppe B nicht überschreiten.



Bild 2: Positionieren und Ausrichten der Rohrenden zu einer spaltfreien Passung; Nahtvorbereitung I-Stoß

Bild 2 zeigt das Ausrichten der Rohrenden vor dem Schweißen. Da die Beschichtungen der Rohrleitung keine Innenzentrier- und Spannvorrichtung zuließen, wurden die Rohre zueinander durch kurze WIG-Heftschweißungen fixiert.

Das Aufsetzen der Schweiß- und Prüfvorrichtung auf das Rohr zeigt Bild 3. Beim Aufsetzen ist die Vorrichtung nach unten geöffnet und wird nach dem Ausrichten geschlossen. Damit entsteht ein Zahnkranz um den gesamten Rohrumfang, der Voraussetzung für die Drehbewegung ist. Auf dem Support sind sowohl der Fokussierkopf als auch die Prüfausrüstungen fest montiert.



Bild 3: Aufsetzen und Fixieren der Schweißvorrichtung auf die vorbereiteten Rohrenden

Mit der Laserstrahlschweißvorrichtung erfolgen das Positionieren des Lasers zum Schweißspalt, das Heftschweißen mit reduzierter Leistung sowie das eigentliche Verbindungsschweißen, mit welchem der gesamte Querschnitt angeschlossen wird. Abschließend wird in der gleichen Aufspannung die Ultraschallprüfung mittels EMAT realisiert.

Sollte bei der EMAT-Prüfung beispielsweise ein Bindefehler festgestellt werden, kann der Prozess wiederholt werden. Dies ist sowohl über den gesamten Umfang als auch in einem Teilsegment möglich. Typischer Grund für einen Flankenbindefehler könnte eine Fehlpositionierung des Schweißkopfes quer zur Naht sein.

6 Qualitätssichernde Maßnahmen

Die Qualitätssicherung für das Gesamtprojekt begann bereits zu einem frühen Zeitpunkt durch die Schulung und Unterweisung des Montagepersonals. Dies erfolgte an der Schweißanlage im Labor der SLV Halle. Sichergestellt wurde hierdurch das reibungslose Zusammenwirken aller Beteiligten bei der Vorbereitung der Rohre sowie dem Schweißprozess. Hierbei wurden reale Rohrstöße mittels Laser verschweißt, die gleichzeitig der Verfahrensqualifizierung dienten.

Während der Schweißungen auf der Baustelle kamen alle Systeme der Qualitätssicherung und Dokumentation zum Einsatz. Dies war prozessbegleitend die Aufzeichnung der Schweißparameter und abschließend die zerstörungsfreie Prüfung mittels EMAT-Verfahren. Auf diese Weise entstand eine lückenlose Dokumentation über den gesamten Umfang der Schweißnaht am Rohr. Die Sichtprüfung an allen Schweißverbindungen sowie die Durchstrahlungsprüfung über 10% der Anzahl der Nähte komplettierten den Prüfumfang.

Die endgültige Freigabe erfolgte nach der Druckprüfung am fertiggestellten Rohrleitungsstrang, woraufhin die Trinkwasserleitung im Sommer 2021 in Betrieb genommen wurde.

7 Fazit und Ausblick

Mit dem orbitalen Laserstrahlschweißen einer Trinkwasserleitung in der Stadt Halle (Saale) wurde im Sommer 2021 ein weiteres Referenzobjekt für den Einsatz der Lasertechnik im Baustellenbetrieb realisiert. Die weiterentwickelte Gerätetechnik gestattet einen flexiblen Einsatz des 6-kW-Faserlasers auch unter schwierigen Wetterbedingungen. Mit dem handelsüblichen Container als Geräteträger bestehen nunmehr definierte Einsatzkriterien auch für kurzfristige Arbeiten. Die ausgeführten Schweißungen bestätigten erneut die Vorzüge der Lasertechnik.

Erstmals wurde das Schweißen kombiniert mit einer komfortablen Bahnprogrammierung, der Aufzeichnung von Laserparametern sowie der nachfolgenden EMAT-Prüfung. Damit konnten erstmals Zykluszeiten von unter 20 Minuten (inklusive zerstörungsfreier Prüfung) sichergestellt werden.

Die gesammelten Erfahrungen geben wichtige Hinweise für eine weitere Stabilisierung des Prozesses und dienen der Erweiterung des Anwendungsspektrums hin zu größeren Rohrdurchmessern und -wandstärken. Hierfür hat die SLV Halle zudem im zurückliegenden Jahr das Forschungsvorhaben AuLaRo abgeschlossen. Darin wurden die Grenzen der vorhandenen Laserorbitalschweißtechnik ausgelotet. Diese liegen bei einer Wandstärke von 9,5 mm für unlegierte Stähle, 6 mm für nichtrostende Stähle und 8 mm für Feinkornbaustähle. Bei den letztgenannten Werkstoffen sind zusätzliche Vorkehrungen zu treffen, um den Anforderungen an die Schweißnahtqualität gemäß DIN EN ISO 13919-1 bzw. DVGW GW 350 gerecht zu werden. Die Schutzgasabdeckung sowie die Einstellung des Formiergasüberdrucks sind für den nichtrostenden Stahl essenziell. Der Feinkornbaustahl benötigt definierte Vorwärmtemperaturen, um die Martensitbildung infolge der prozessbedingten hohen Abkühlgeschwindigkeit zu vermindern. Beide Maßnahmen sind im Rohrleitungsbau bekannt und finden bereits bei den konventionellen Schweißverfahren Anwendung.

Gemeinsam mit einer überarbeiteten Fehlererkennungsmatrix stellt die Applikationserweiterung des Laserorbitalschweißens auf höhere Wandstärken und neue Werkstoffe eine Öffnung des Anwendungsmarkts auf beispielsweise den Chemie- und Anlagenbau dar. Die SLV Halle steht diesbezüglichen Anfragen und zukünftigen Kooperationen stets offen gegenüber.

8 Dank an die Projektpartner

Voraussetzung für einen erfolgreichen Projektabschluss war das enge Zusammenwirken der Projektpartner. Dies beginnt bei der Rohrbeschaffung. Gewählt wurden aufgrund der guten Erfahrungen in der Zusammenarbeit längsnahtgeschweißte Rohre von Mannesmann Line Pipe aus Siegen.

Wichtigste Projektpartner waren die Stadtwerke Halle, im Besonderen die Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH. Ihr oblag die Auswahl eines geeigneten Projektes sowie die Gesamtkoordination der Maßnahme. Dazu gehörte insbesondere die Auswahl der für die Realisierung verantwortlichen Baufirma, Tief- und Spezialbau Halle GmbH.

Für das Laserstrahlschweißen und die Einhaltung der Toleranzen und dem damit verbundenen Ausrichten der Rohre war die Zusammenarbeit aller Monteure die wichtigste Voraussetzung. Deshalb sei dem ausführenden Personal und dem gegenseitigen Verständnis sowie der großen Bereitschaft, gemeinsam Neues zu erschließen, ein besonderer Dank gewidmet.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing.
Steffen Keitel
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH, Halle (Saale)

Tel.: 0345 5246-415
E-Mail:
gf@slv-halle.de
Internet:
www.slv-halle.de



Hendrik Neef
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH, Halle (Saale)

Tel.: 0345 5246-382
E-Mail:
fue@slv-halle.de
Internet:
www.slv-halle.de



Dipl.-Ing.
Jörg Brozek
Halle (Saale)



B.Eng., IWE
Amadeus Aurin
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH, Halle (Saale)

Tel.: 0345 5246-448
E-Mail:
fue@slv-halle.de
Internet:
www.slv-halle.de



FTW-Trinkwasserbehälter, in modularer Bauweise für Hochbehälter bis 800 m³

Schweißen von gewickelten Großrohren

Von Matthias Haese

1 Einleitung

Für Rohrsysteme aus polyolefinen Werkstoffen wurden in den letzten Jahren immer neue Anwendungsgebiete erschlossen. Um den Anforderungen für diese Anwendungen gerecht zu werden, wurde das Produktprogramm ständig weiterentwickelt. Neben der damit verbundenen Verbesserung der Werkstoffe wurde auch der Dimensionsbereich der Rohrsysteme immer weiter nach oben erweitert. So sind heute extrudierte Rohre mit Außendurchmessern von bis zu 3.500 mm und Wanddicken von über 100 mm herstellbar. Noch größere Durchmesser und Wanddicken können im Wickelverfahren hergestellt werden. Die Verbindung der Rohre sowie der Formteile in diesen Dimensionen ist aber noch immer eine besondere Herausforderung. Häufig finden sich im gängigen Regelwerk (z. B. in den DVS-Richtlinien) für diese Abmessungen keine oder keine vollständigen Vorgaben, wie zum Beispiel Prozessparameter oder Anforderungen an die Verbindung. Mit diesem Beitrag soll gezeigt werden, was bei den bekannten Schweißmethoden Heizwendelschweißen und Warmgasextrusionsschweißen bei Großrohren zu beachten ist.

Der Autor wird in seinem Vortrag anhand von Projekten aus dem Trinkwasserbereich auf diese Schweißverfahren sowie die relevanten Produktdetails eingehen.

2 Herstellung von Wickelrohren aus PE100 / PP nach DIN 16961 bzw. EN 13476

Die Herstellung der profilierten Kanalrohre bis zur Nennweite DN 3500 aus Polyethylen und/oder Polypropylen mit integrierter Muffe sowie der Schächte und Bauteile erfolgte bei der FRANK Kunststofftechnik GmbH im hessischen Wölfersheim. Bis zur Nennweite DN 2400 können diese Wickelrohre mit einer intergierten Elektroschweißmuffe ausgeführt werden.

Die Herstellung von Wickelrohren findet folgendermaßen statt: Die Formmasse (PE 100 oder PP) wird im schmelzeförmigen Zustand als fortlaufendes, überlappendes Band spiralförmig auf eine Metalltrommel aufgewickelt. Über einen Coextruder kann eine zweite, funktionale und/oder inspektionsfreundliche Innenschicht aufgebracht werden. Als Kalibrierung dient eine Metalltrommel, die den Innendurchmesser (DN) des Rohres bestimmt. Die Kühlung der Rohre erfolgt langsam über ein Gebläse. So können Eigenspannungen, die durch die Volumenschwindung und den Produktionsprozess verursacht werden, reduziert werden. Durch mehrlagiges Übereinanderwickeln der Formmasse und Variieren der aufgetragenen Materialmenge können unterschiedliche Wanddicken ausgeführt werden.



Bild 1: Herstellung von Wickelrohre bei der FRANK Kunststofftechnik GmbH

3 FTW-Trinkwasserbehälter, modulare Bauweise von Hochbehältern bis 800 m³ Vorlagevolumen

FTW®-Systeme aus langlebigem und umweltfreundlichem PE (Polyethylen) ermöglichen – unter Einhaltung der DVGW-Anforderungen – die Quellfassung und die sichere Speicherung von Trinkwasser. Hierfür nutzen wir die ausgezeichneten technischen Eigenschaften des PE-Kunststoffs, der sich schon seit Jahrzehnten in der Gas- und Wasserversorgung bewährt hat. Mit den anpassungsfähigen FTW®-Modulen – die im zuvor genannten Wickelrohrverfahren gefertigt werden – realisieren wir Röhrenspeicher bis DN 3500. Die werkseitig vormontierten Bauteile, mit vergleichsweise geringem Gewicht, erleichtern die Handhabung auf der Baustelle und ermöglichen kurze Montagezeiten. FTW®-Bauwerke lassen sich wirtschaftlich errichten, wartungsarm betreiben und nach der Nutzung ökologisch wiederverwerten.

Das FTW®-System beinhaltet drei Module: den Quellsammelschacht, die Wasserkammer und die Armaturenkammer. Diese lassen sich individuell auf die jeweiligen Anforderungen abstimmen und mit geringem Aufwand zusammensetzen

1) Quellsammelschacht:
   Im Quellsammelschacht werden die einzelnen Quellzuläufe in separaten Kammern erfasst und über ein Beruhigungsbecken mit einer Messeinrichtung in einem Sammel-becken für die Entnahme zusammengeführt.



Bild 2: Systemskizze eines Quellsammelschachtes

2) Wasserkammer:
In den Trinkwasserspeichern wird das Trinkwasser gesammelt bzw. gespeichert. Sie werden in der Regel als liegende Röhren mit Zulauf-, Entnahme-, Entleerungs-, Überlauf- sowie Be- und Entlüftungsrohren ausgestattet. Des Weiteren dienen eine Drucktür zur Begehung des Speicherraums und ein Schauglas zur Kontrolle des gespeicherten Trinkwassers.

3) Armaturenkammer:
Die Armaturenkammer ist direkt mit der Wasserkammer verbunden. In der Armaturenkammer sind alle Absperrarmaturen sowie Luftfilter untergebracht. Optional finden hier auch Druckerhöhungsanlagen sowie Wasseraufbereitungsanlagen ihren Platz.



Bild 3: Systemsbeispiel eines FTW-Hochbehälters (Armaturen- und TW-Kammer)

4 Heizwendelschweißen bei FTW-Trinkwasserbehälter und -Rohren

Beim Heizwendelschweißen werden Rohre und Formteile mit Hilfe von Widerstandsdrähten (Heizwendel) erwärmt und geschweißt. Die Widerstandsdrähte sind im Muffenteil des Formstückes angeordnet. Bei diesem Verfahren werden die Verbindungsflächen mit in der Muffe angeordneten Widerstandsdrähten durch elektrischen Strom auf Schweißtemperatur erwärmt und dadurch geschweißt. Die durch die Abkühlung erstarrende Schmelze erzeugt dann den erforderlichen Anpressdruck in der Fügefläche. Die Energiezufuhr erfolgt mit Hilfe eines Schweißtransformators. Das Verfahren zeichnet sich ebenfalls durch einen hohen Automatisierungsgrad aus. Entscheidend bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Heizwendelschweißverbindungen ist eine perfekte Schweißvorbereitung. Hierzu gehören zum Beispiel das exakte Ausrichten der Bauteile und eine absolut trockene Oberfläche der Fügeteile. Bei gewickelten Großrohren (z. Bsp. FTW-Rohren) werden die einzelnen Rohre (aber auch Schächte und Bauteile) standardmäßig mit der integrierten Heizwendel-Muffe (Elektroschweißmuffe) geschweißt. Beim Herstellprozess werden Muffe und Spitzende an das Rohr angeformt. Bei der Montage auf der Baustelle wird dann das Spitzende in die Muffe gesteckt und anschließend über ca. 20 bis 25 Minuten (in Abhängigkeit zur Außentemperatur) erwärmt und geschweißt. Das Schweißgerät protokolliert automatisch den beschriebenen Schweißvorgang. Nach erfolgter Schweißung und entsprechender Abkühlzeit können die Schweißverbindungen mittels Muffendruckprüfung und normativer Vorgabe geprüft werden. So kann sichergestellt werden, dass alle Schweißverbindungen vor der Verfüllung des Rohrgrabens als „dicht“ beurteilt werden können.



Bild 4: Gewickeltes Großrohr DN 1800 (hier: PKS-Rohr) mit Elektroschweißmuffe



Bild 5: Extrudiertes Druckrohr mit separater Elektroschweißmuffe

5 Warmgasextrusionsschweißen bei FTW-Trinkwasserbehälter und -Rohren

Als Ergänzung zu den Heizwendelschweißverbindungen der Nennweiten ≤ DN 2400, wird für größere Nennweiten bis DN 3500 bei den Verbindungsnähten der einzelnen FTW-Module das Warmgasextrusionsschweißen gewählt. Für diese Nennweiten gibt es kaum Alternativen zum Extrusionsschweißen. Daher werden bei derartigen Großrohren den Anwendern Extrusionsschweißautomaten zum kontinuierlichen Schweißen zur Verfügung gestellt. Diese Anlagen zeichnen sich unter anderem durch einen großen Masseausstoß (bis zu 8 kg/h), stufenlos regelbaren Vorschub (Schweißgeschwindigkeit) und gleichmäßigen Fügedruck aus. Der Schweißzusatz wird über einen beheizten Schlauch vom eigentlichen Extruder zum Schweißkopf geführt. Die zu schweißende Wanddicke im Muffenbereich beträgt üblicherweise mindestens 20 mm. Deshalb ist in der Praxis meist ein zweilagiges Schweißen erforderlich, um eine ausreichende Nahtüberdeckung zu erhalten. Für eine Verbindung DN 3500 (ca. 11,0 m Schweißnaht) werden ca. 5 bis 6 Stunden Arbeitszeit benötigt (in Abhängigkeit von Passgenauigkeit und Außentemperatur).

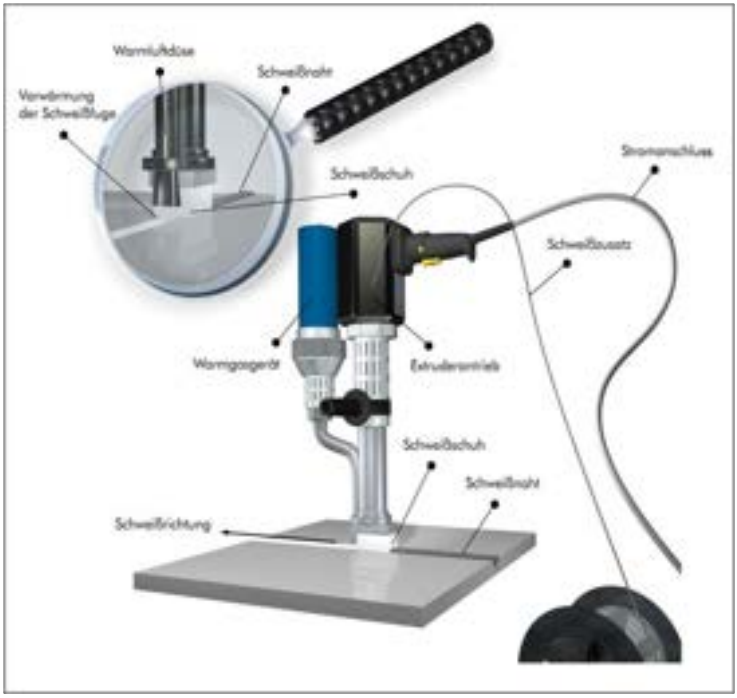


Bild 6: Prinzip Warmgasextrusionsschweißen (WZ) nach DVS® 2207-4



Bild 7: Schweißvorrichtung für Warmgasextrusionsschweißung DN 3500



Bild 8: Schweißung mit Handschweißextruder in einem FTW-Bauwerk

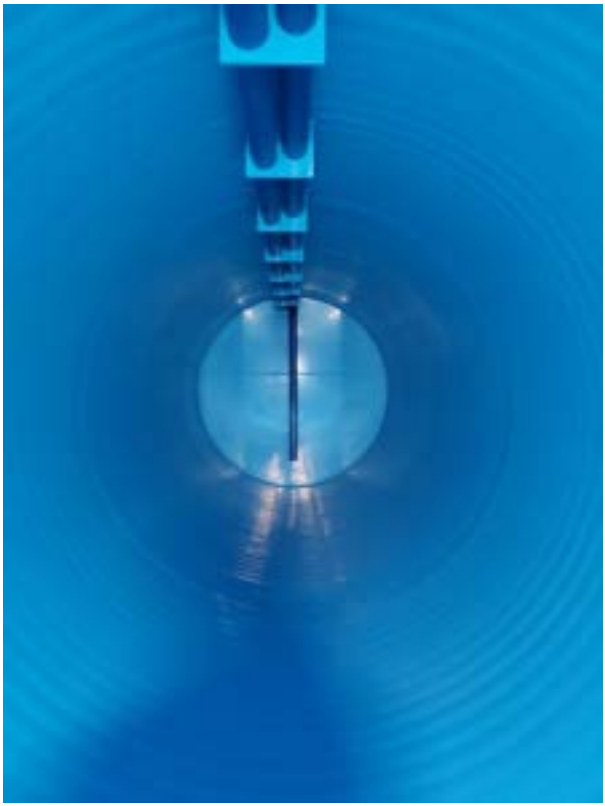


Bild 9: Ausführung eines homogenen geschweißten FTW-Behälters mittels Warmgasextrusionsschweißung

6 Zusammenfassung

Anhand von Praxisbeispielen wurde gezeigt, dass die Heizwendelschweißung bei Großrohren aus Polyethylen eine hervorragend geeignete Verbindungstechnik ist. Gerade in beengten Einbausituationen ist diese Verbindungstechnik die ideale Lösung und Stand der Technik in der Verlegung von PE100 FTW-Modulen. Neben der Elektroschweißmuffenverbindung kommt auch das Warmgasextrusionsschweißen von PE 100 bei großen Dimensionen immer mehr zum Einsatz. Beide Verfahren werden in ihrer Anwendbarkeit ständig zu immer größeren Durchmessern erweitert. Das Warmgasextrusionsschweißen gilt bei Rohrverbindungen als Sonderverfahren und wird bei Abmessungen > 2.400 mm bevorzugt im drucklosen Bereich eingesetzt. Der hohe Automatisierungsgrad und der geringe Zeitaufwand beim Heizwendelschweißen und Warmgasextrusionsschweißen sind Gründe dafür, dass diese Verfahren im großen Dimensionsbereich immer mehr an Bedeutung gewinnen.

7 Literatur

[1] FRANK GmbH 07/20 Produktbroschüre „FTW®-FRANK Trinkwasserspeichersysteme“

[2] Joining Plastics 4/08 Fachbeitrag „Schweißen von Rohren mit großem Durchmesser“ von Thomas Frank/

[3] 3R 03/2017 Objektbericht „Zwei 150-m3 -Röhrenbehälter aus PE 100 als Vorlagebehälter des neuen Wasserwerks „Vogelhölzle“ von Jochen Obermayer

[4] gwf-Wasser 06/2011 Fachbericht „Trinkwasserspeichersysteme aus PE 100 Wickelrohr“ von René Carbon und Jochen Obermayer

Autor:

Dipl.-Ing. (FH)
Matthias Haese
FRANK GmbH
Starkenburgstr. 1
64546 Mörfelden-Walldorf

Tel.: 0 61 05/40 85-210
E-Mail:
m.haese@frank-gmbh.de
Internet: frank-gmbh.de



Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. Jens-Uwe Apitzsch
Steinzeug-Keramo GmbH
Europaallee 63
50226 Frechen
Seite 425

Amadeus Aurin B.Eng./IWE
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH
Köthener Straße 33a
06118 Halle (Saale)
Seite 802

Julian Bartels M.Sc.
Deutsches Zentrum für Luft- u. Raumfahrttechnik e. V. (DLR)
Institut für Vernetzte Energiesysteme / Energiesystemanalyse
Carl-von-Ossietzky-Str. 15
26129 Oldenburg
Seite 114

Dipl.-Ing. Roland Baum
Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf
Auf dem Draap 17
40221 Düsseldorf
Seite 37

Martin Beck B.Sc.
LOGSTOR Deutschland GmbH
Große Elbstraße 145c
22767 Hamburg
Seite 792

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt
European Association for Ductile Iron Pipe Systems EADIPS®-FGR®
Doncaster-Platz 5
45699 Herten
Seite 410

Dipl.-Ing. Andreas Beuntner *
STEIN Ingenieure GmbH
Querstraße 18
04103 Leipzig

Dennis Bienkowski
Vaira UG (haftungsbeschränkt)
Technologiepark 13
33100 Paderborn
Seite 565

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Mario Bodenbender M.Sc.
Finger Baustoffe GmbH
Bellnhäuser Straße 1
35112 Fronhausen
Seite 466

Dipl.-Ing. (FH) Mike Böge
iro GmbH Oldenburg
Ofener Straße 18
26121 Oldenburg
Seiten 30, 138, 542

Aleksej Bojarkin
EWE NETZ GmbH
Cloppenburger Straße 302
26133 Oldenburg
Seite 591

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

Apl.-Prof. Dr. Helge Bormann
Jade Hochschule
Campus Oldenburg
Ofener Straße 16–19
26121 Oldenburg
Seite 138

Dr. Urte Brand-Daniels
Deutsches Zentrum für Luft- u.
Raumfahrttechnik e. V. (DLR)
Institut für Vernetzte Energiesysteme /
Energiesystemanalyse
Carl-von-Ossietzky-Str. 15
26129 Oldenburg
Seite 114

Dr.-Ing. Holger Brauer
Mannesmann Line Pipe GmbH
Werk Hamm
Kissinger Weg 55
59067 Hamm
Seiten 362, 375

Dr.-Ing. Lisa Broß
Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz GmbH
Rheinallee 87
55294 Bodenheim
Seite 85

Dipl.-Ing. Jörg Brozek
Halle (Saale)
Seite 802

Tobias Bunse
KÄHLER GmbH Armaturen
Industriestraße 77b
51399 Burscheid
Seite 736

Leonard Commandeur
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln
Seite 318

Dipl.-Ing. Stanislav Daschevski
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH
Heiligengeiststraße 19
30173 Hannover
Seite 689

Ing. Mark de Bruijn
NRG Group
Papland 8
4206 CL Gorinchem
Niederlande
Seite 528

Dr.-Ing. Hans-Jürgen de Buhr
Gasunie Deutschland Transport Services
GmbH
Pasteurallee 1
30655 Hannover
Seite 283

Dipl.-Ing. Oliver Denz
Westfälische Kunststoff Technik GmbH
Hombergstraße 11–13
45549 Sprockhövel
Seite 452

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick
MOLL-prd GmbH & Co. KG
Weststraße 2
57392 Schmallenberg
Seite 508

Ing. Walter Dosek
Wiener Netze GmbH
Erdbergstraße 236
1110 Wien
Österreich
Seite 103

Dipl.-Ing. Christian Engel
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Niederlassung Essen
Grugaplatz 2–4
45131 Essen
Seite 311

Dipl.-Ing. Elke Epperlein
GSI-Gesellschaft für Schweißtechnik
International mbH, NL SLV Hannover
Am Lindener Hafen 1
30453 Hannover
Seite 798

Maximilian Erdmann
Vaira UG (haftungsbeschränkt)
Technologiepark 13
33100 Paderborn
Seite 565

Markus Euring M.Eng.
ENERPIPE GmbH
An der Autobahn M1
91161 Hilpoltstein
Seite 787

Christoph Euringer B.Sc.
Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz GmbH
Rheinallee 87
55294 Bodenheim
Seite 85

Dipl.-Ing. (Univ.) Hans German Fall
-hgf- Ingenieurdienstleistungen
Schloßstraße 50
86732 Oettingen
Seite 636

Prof. Dr. Alexander Fekete
Technische Hochschule Köln
Claudiusstr. 1
50678 Köln
Seite 85

Mariusz Frankowski
TenneT TSO GmbH
Eisenbahnlängsweg 2a
31275 Lehrte
Seite 220

Dipl.-Ing. Axel Frerichs
OOWV Oldenburgisch-Ostfriesischer
Wasserverband
Georgstraße 4
26919 Brake
Seite 70

Marcus Geiger M.Sc.
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Westendstraße 199
80686 München
Seite 556

Dipl.-Ing. (FH) Jens Gnauck
URETEK Deutschland GmbH
Weseler Straße 110
45478 Mülheim an der Ruhr
Seite 210

Dr.-Ing. Georg Golisch
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
Ehinger Straße 200
47259 Duisburg
Seite 375

Max Gottschalk
BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG
Heidering 28
16727 Velten
Seite 715

Dipl.-Ing. Lüdeke Graßhoff
GEODOC GmbH
Leibigstraße 64
22113 Hamburg
Seite 598

Dipl.-Wirt.-Ing. André Graßmann
Open Grid Europe GmbH
Bamlerstraße 1b
45141 Essen
Seite 679

Dipl.-Ing. Paul-Martin Großkopff
KLEIHUES Betonbauteile GmbH & Co. KG
Siemensstraße 21
48488 Emsbüren
Seite 477

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Haese
FRANK GmbH
Starkenburgstraße 1
64546 Mörfelden-Walldorf
Seite 809

Benedikt Haider B.Eng. (FH)
GHS Separationstechnik GmbH
Neustadt 469
84028 Landshut
Seite 497

Dipl.-Ing. Hubertus Hanschke
Aggerverband Gummersbach
Sonnenstr. 40
51645 Gummersbach
Seite 394

Lara Amelie Hauck M.Sc.
Gasunie Deutschland Transport Services GmbH
Pasteurallee 1
30655 Hannover
Seite 283

Dipl.-Ing. Jens Heckenbach
Planning GmbH
Ringener Straße 7–9
53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler
Seite 90

Dipl.-Ing. (FH) SFI/EWE Alexander Heidel
Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG
Mühlstraße 3
89353 Glött
Seite 547

Prof. Dr.-Ing. Frank Heimbecher
FH Münster
University of Applied Sciences
Corrensstraße 25
48159 Münster
Seite 632

Jürgen Herbst
HERAL GmbH & Co. KG
Dornierweg 4–6
48155 Münster
Seite 668

Chris Hetkämper
Technische Hochschule Köln
Claudiusstr. 1
50678 Köln
Seite 85

Pascal Hinrichs B.Eng.
iro GmbH Oldenburg
Ofener Straße 18
26121 Oldenburg
Seite 30

Dipl.-Ing. (BA) Marc Hirschmann
Amiblu Germany GmbH
Am Fuchsloch 19
04720 Döbeln
Seite 173

Jan Gerrit Hobe
HAMBURG WASSER
Billhorner Deich 2
20539 Hamburg
Seite 65

Dipl.-Ing. Manfred Hochbein MBA
GELSENWASSER AG
Ascheberger Straße 28
59348 Lüdinghausen
Seite 178

Dennis Hoeveler B.Eng./IWE *
Nowega GmbH
Anton-Bruchausen-Straße 4
48147 Münster

Dr.-Ing. Susanne Höhler
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
Ehinger Straße 200
47259 Duisburg
Seite 362

Michael Honds
ArborPlan GmbH & Co. KG
Berger Dorfstraße 35
41189 Mönchengladbach
Seite 657

Frank Horstmann
Funke Kunststoffe GmbH
Siegenbeckstraße 15
59071 Hamm
Seite 650

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

David I'Ons M.Sc.
Sweco Sweden AB
Skånegatan 3
41140 Göteborg
Schweden
Seite 161

Dr. Christian Janzen
Uniper Global Commodities SE
Holzstraße 6
40221 Düsseldorf
Seite 344

Dipl.-Ing. Arno Jugel
IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG
Wehdenweg 122
24148 Kiel
Seite 624

Dr.-Ing. Christoph Kalwa
EUROPIPE GmbH
Pilgerstraße 2
45473 Mülheim an der Ruhr
Seite 362

Prof. Dr.-Ing. Steffen Keitel
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH
Köthener Straße 33a
06118 Halle (Saale)
Seite 802

Dipl.-Ing. Agr. (FH) Franz-Josef Kißing
Open Grid Europe GmbH
Kallenbergstraße 5
45141 Essen
Seite 679

Gerald Klein *
KLINGER GmbH
Richard-Klinger-Straße 37
65510 Idstein

Prof. Dr. Sascha Koch
Jade Hochschule
Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth
Ofener Straße 16–19
26121 Oldenburg
Seite 581

RAin Beate Kramer
Becker Büttner Held – Rechtsanwälte, Wirtschaftsprüfer, Steuerberater, PartGmbB
Magazinstraße 15–16
10179 Berlin
Seite 78

Dipl.-Ing. Klaus Krieger
HAMBURG WASSER
Pinkertweg 5
22213 Hamburg
Seite 59

Dr. Dipl.-Geol. Frank Krögel
Bohlen & Doyen Bau GmbH
Hauptstr. 248
26639 Wiesmoor
Seite 228

Dipl.-Ing. Kerstin Krömer
OOWV Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
Georgstraße 4
26919 Brake
Seite 120

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Krümmel
STEFFEL KKS GmbH
Im Bulloh 6
29331 Lachendorf
Seite 746

Dr. rer. pol. Wilhelm Kuckshinrichs *
Forschungszentrum Jülich GmbH
Wilhelm-Johnen-Straße
52425 Jülich

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

Dipl.-Ing. Michael Kuhn
EnviroChemie GmbH
In den Leppsteinswiesen 9
64380 Rossdorf
Seite 133

Dipl.-Ing. Amel Kurtović
KOCKS Consult GmbH
Beratende Ingenieure
Darmstädter Landstraße 114
60598 Frankfurt am Main
Seite 265

Dipl.-Ing. Thomas Lindner
SABUG GmbH
Siemensstraße 8
46359 Heiden
Seite 248

Sven Lindner
GERODUR MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG
Andreas-Schubert-Str. 6
01844 Neustadt in Sachsen
Seite 436

Dipl.-Ing. Michael Lubberger
Michels Trenchless GmbH
Industriehof 3
77933 Lahr
Seite 489

Simon Lukaschewsky M.Sc.
UNITECHNICS KG
Werkstraße 717
19061 Schwerin
Seite 613

Tekn. Lic. Douglas Lumley
DHI Sweden AB
Drakegatan 10
41250 Göteborg
Schweden
Seite 161

Åsa Magnusson M.Sc.
Gryaab AB
Box 8984
40274 Göteborg
Schweden
Seite 161

Raoul Mancke M.Sc.
Kiwa GmbH
Voltastraße 5
13355 Berlin
Seite 632

Tobias Männel B.Eng.
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH
Heiligengeiststraße 19
30173 Hannover
Seite 484

Dr.-Ing. Ulrich Marewski
Open Grid Europe GmbH
Gladbecker Straße 404
45326 Essen
Seite 298

Dr.-Ing. Norbert Markwardt
pedotec GmbH
Ingenieurbüro für Boden und Wasser
Bohnsacker Steig 10
13503 Berlin
Seite 239

Dr. Christian Mayer
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln
Seiten 318, 337

Ing. Christoph Melcher
Tiroler Rohre GmbH
Innsbrucker Straße 51
6060 Hall in Tirol
Österreich
Seite 724

Björn Munko *
DVGW Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V.
Josef-Wirmer-Straße 1–3
53123 Bonn

Dipl.-Ing. Elke Muthmann
Salzgitter Mannesmann Grobblech GmbH
Sandstraße 140
45473 Mülheim an der Ruhr
Seite 362

Hendrik Neef
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
Halle GmbH
Köthener Straße 33a
06118 Halle (Saale)
Seite 802

Dr. jur. Michael Neupert
KÜMMERLEIN, Simon & Partner
Rechtsanwälte mbB
Messeallee 2
45131 Essen
Seite 330

Raelison Noaves M.Eng. B.Sc.C.E.
Michels Trenchless Inc.
817 Main Street
Brownsville, WI 53006-012
USA
Seite 489

Dipl.-Geogr. Julia Oberdörffer
OOWV Oldenburgisch-Ostfriesischer
Wasserverband
Georgstraße 4
26919 Brake
Seite 120

Dipl.-Ing. (Univ.) Andreas Obermayer
UNITECHNICS KG
Werkstraße 717
19061 Schwerin
Seite 613

Philipp Oliv M.Sc.
Bohlen & Doyen Bau GmbH
Hauptstr. 248
26639 Wiesmoor
Seite 228

Dr.-Ing. habil. Steffen Päßler
ONTRAS Gastransport GmbH
Knoblaucher Chaussee
14669 Ketzin
Seite 676

Marc-Georg Pater M.Sc.
Steinzeug-Keramo GmbH
Europaallee 63
50226 Frechen
Seite 431

Michelle Peeck B.Sc.
SIEBERT + KNIPSCHILD GmbH
Ingenieurbüro für Kunststofftechnik
Bergstücken 25
22113 Oststeinbek
Seite 708

Dipl.-Ing. Christian Pohl
DHI WASY GmbH
Niederlassung Bremen
Knochenhauerstraße 20–25
28195 Bremen
Seite 161

Dipl.-Ing. (FH) Simone Püsch *
Stadtentwässerung Frankfurt am Main
Goldsteinstraße 160
60528 Frankfurt am Main

Dipl.-Ing. (FH) Lars Quernheim
BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG
Heidering 28
16727 Velten
Seite 715

Dipl.-Ing. Daniel Ratke
Mannesmann Großrohr GmbH
Gottfried-Linke-Str. 200
38239 Salzgitter
Seite 362

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

Stefan Roth B.Eng.
SWM Services GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München
Seite 755

Dipl.-Ing. Roland Satlow
Tiroler Rohre GmbH
Innsbrucker Straße 51
6060 Hall in Tirol
Österreich
Seite 724

Dr. Martin Scheu
BTC Business Technology Consulting AG
Escherweg 5
26121 Oldenburg
Seite 574

Henning Schmelzeisen
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Am grauen Stein
51105 Köln
Seite 337

Dr. Timo Schmitt
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Westendstraße 199
80686 München
Seite 724

Marvin Schnabel M.Sc.
Jade Hochschule
Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth
Ofener Straße 16–19
26121 Oldenburg
Seite 581

Dipl.-Ing. (FH) Marc Schnau
x-plan schnau engineering
Baltrumstraße 16
26603 Aurich
Seite 523

Lukas Schrode B.Eng.
MTS Schrode AG
Innovationsweg 1
72534 Hayingen
Seite 460

Dr.-Ing. Jan Schröder
G quadrat GmbH
Adolf-Dembach-Straße 4a
47829 Krefeld
Seite 196

Bernd Schuster
GF Piping Systems Ltd
Ebnatstrasse 111
8201 Schaffhausen
Schweiz
Seite 444

Boris Schütte
SARO GmbH
Am Zunderbaum 15–17
66459 Kirkel
Seite 391

Katarina Seiffert
HAMBURG WASSER
Billhorner Deich 2
20539 Hamburg
Seite 65

Dr. Ricky Selle
Selle Consult GmbH
Shakespearestraße 52
04107 Leipzig
Seite 261

Dr. Anna Alexandra Seuser
Becker Büttner Held – Rechtsanwälte,
Wirtschaftsprüfer, Steuerberater, PartGmbB
Magazinstraße 15–16
10179 Berlin
Seite 78

Dr.-Ing. Torsten Späth
egeplast international GmbH
Robert-Bosch-Straße 7
48268 Greven
Seiten 187, 323

Dipl.-Ing. Carsten Stabenau
Westnetz GmbH
Spezialservice Gas, Projektierung Leitungen
Florianstraße 15–21
44139 Dortmund
Seite 292

Dr.-Ing. Gundula Stadie
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Am Grauen Stein
51105 Köln
Seiten 318, 337

René Stangl
Wasserwerk-Service Hamm
Ostenallee 108
59071 Hamm
Seite 185

Lars-Ole Steffen M.Eng.
OOWV Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband – IWAG
Georgstraße 4
26919 Brake
Seite 120

Katharina Steinmayr DI
DHI Österreich GmbH
Schließmanngasse 17
1130 Wien
Österreich
Seite 161

Dipl.-Wirt.-Ing. Benedikt Stentrup
Sanierungstechnik Dommel GmbH
Erlenfeldstraße 55
59075 Hamm
Seite 700

Dipl.-Ing. Bård Strand
Open Grid Europe GmbH
Kallenbergstraße 5
45141 Essen
Seite 350

Roland Stutzki
HAMBURG WASSER
Billhorner Deich 2
20539 Hamburg
Seite 46

Dipl.-Ing. Michael Tewes *
ROSEN Germany GmbH
Am Seitenkanal 8
49811 Lingen (Ems)

Dipl.-Geol. Thomas Trettel *
PTW GmbH
Alpenstraße 6
88400 Biberach

Dr.-Ing. Hans-Peter Uffmann
Vereidigter Sachverständiger der IHK Aachen für Grabenbau, Rohrvortriebstechnik u. Mikrotunneling
Schlossparkstraße 95
52072 Aachen
Seite 418

Dick Vergoes Houwens
TenneT TSO B.V.
Utrechtseweg 310
6800 AS Arnhem
Niederlande
Seite 528

Dr. rer. nat. Ashokanand Vimalanandan
Open Grid Europe GmbH
Kompetenz Center Korrosionsschutz
Gladbecker Straße 404
45326 Essen
Seite 763

Dr. Dipl.-Volksw. Gerrit Volk
Bundesnetzagentur für Elektrizität Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
Tulpenfeld 4
53113 Bonn
Seite 22

Dr. Alexander Völling
Salzgitter Mannesmann Grobblech GmbH
Sandstraße 140
45473 Mülheim an der Ruhr
Seite 362

Vera Vorholz B.Eng.
G quadrat GmbH
Adolf-Dembach-Straße 4a
47829 Krefeld
Seite 196

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

Dipl.-Ing. (FH) Michael Voß *
Stadtentwässerung Frankfurt am Main
Goldsteinstraße 160
60528 Frankfurt am Main

Dipl.-Ing. Anton Wadenstorfer
SWM Services GmbH
Technischer Service
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München
Seite 755

Dipl.-Ing. Theo Waerder
SWB Regional Ver- und Entsorgung GmbH
Sillerystraße 1–3
53518 Adenau
Seite 97

Dennis Wanninger M.Sc.
DHI Sweden AB
Södergatan 28
21134 Malmö
Schweden
Seite 161

Dr. Elke Wanzenberg
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
Ehinger Straße 200
47259 Duisburg
Seite 362

Dipl.-Ing. Helfried Welsch
KNE Kommunale Netze Eifel AöR
Michelbach 1
54595 Prüm-Niederprüm
Seite 405

Dipl.-Ing. Werner Weßing
Office for Green Gas
Am Galgenberg 15
46325 Borken
Seite 272

Eike Sophie Winkler M.Sc.
Flüssigboden SH
Kortenfohr 18
24782 Büdelsdorf
Seite 204

Dr.-Ing. Martin Wolf *
aquadocs Ingenieurgesellschaft mbH
Kontorhaus 2, Büro 430–431
Schäftlarnstr. 10
81371 München

Anna Wörle
Rohrleitungsbau Fritz Heidel OHG
Mühlstraße 3
89353 Glött
Seite 547

Geogr. M.A. Jens Wurthmann
hanseWasser Bremen GmbH
Birkenfelsstraße 5
28217 Bremen
Seite 150

Dr.-Ing. Fang Yang
Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V.
Max-von-Laue-Straße 23
30966 Hemmingen
Seite 776

* Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor

Moderatorenverzeichnis

Dipl.-Ing. Thomas Beyer
Anton Meyer GmbH & Co. KG
Tel.: 05941 6030
E-Mail:
thomas.beyer@anton-meyer.de
Internet:
www.anton-meyer.de
Vortragsblock Z 5:
Neues aus dem Rohrleitungsbau



Dr. Gunnar Brandin
Open Grid Europe GmbH
Leiter Technische Projekte
Tel.: 0201 3642-18002
E-Mail:
gunnar.brandin@oge.net
Internet:
www.oge.net
Vortragsblock 23:
LNG – Flüssigerdgas erobert die Versorgungswirtschaft



Dr.-Ing. Ulrich Bohle
Steinzeug-Keramo GmbH, Frechen
Tel.: 02234 507-0
E-Mail:
ulrich.bohle@pipelife.com
Internet:
pipelife.de
Vortragsblock 17:
Steinzeugrohre



Prof. Dr. Thomas Brinkhoff
Jade Hochschule, Oldenburg
Tel.: 0441 7708-3320
E-Mail:
thomas.brinkhoff@jade-hs.de
Internet: http://iapg.jade-hs.de/personen/brinkhoff/
Vortragsblock 15:
GIS für Infrastruktur und Versorgung



Apl.-Prof. Dr. Helge Bormann
Jade Hochschule, Oldenburg
Tel.: 0441 7708-3775
E-Mail:
helge.bormann@jade-hs.de
Internet:
www.jade-hs.de
Vortragsblock 26:
Barfuß im Regen – Wohin mit dem Wasser?



Dipl.-Ing. Heiko Fastje
EWE NETZ GmbH, Oldenburg
Tel.: 0441 48082000
E-Mail:
heiko.fastje@ewe-netz.de
Internet:
www.ewe-netz.de
Vortragsblock 03:
Leitungssysteme für Wasserstoff anstelle von Erdgas





Axel Frerichs
Stellv. Geschäftsführer (Technik)
OOWV, Brake
Tel.: 04401 916-233
E-Mail: a.frerichs@oowv.de
Internet: www.oowv.de
Vortragsblock Z 4:
Diskussion im Café: Weniger Gas, weniger Wasser – Verantwortung von Leitungsbetreibern der kritischen Infrastruktur



Dipl.-Ing. Natascha Gaier
GSI-Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, NL SLV Hannover
Tel.: 0511 219620
E-Mail: Gaier@slv-hannover.de
Vortragsblock 30:
Schweißtechnik



Dipl.-Ing.(TU) Thomas Grage
FFI Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V., Hemmingen
Tel.: 0511 94370-0
E-Mail: grage@fernwaerme.de
Internet: www.fernwaerme.de
Vortragsblock 25: Fernwärme



Dipl.-Wirt.-Ing. Andrè Graßmann
Open Grid Europe GmbH, Essen
Tel.: 0201 3642-18173
E-Mail: andre.grassmann@oge.net
Internet: www.oge.net
Vortragsblock 28: Leitungen und Komponenten im Wasserstoffnetz



Dipl.-Ing. Ingo Hannemann
HAMBURG WASSER, Hamburg
Tel.: 040 7888-80001
E-Mail: ingo.hannemann@hamburgwasser.de
Internet: www.hamburgwasser.de
Vortragsblock 06:
Sicherung der Infrastruktur in der Großstadt Hamburg



Frank Harms
Wirtschaftsvereinigung Stahlrohre e.V., Düsseldorf
Tel.: 0211 4564130
E-Mail: frank.harms@wv-stahlrohre.de
Internet: www.wv-stahlrohre.de
Vortragsblock 02:
Stahlrohre für Menschen, Industrie und Umwelt



Dipl.-Ing. Markus Hartmann
Kunststoffrohrverband e.V., Bonn
Tel.: 0228 91477-10
E-Mail: markus.hartmann@krv.de
Internet: www.krv.de
Vortragsblock 22:
Kunststoffrohrsysteme



Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Vorstandsmitglied Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V.
Tel.: 0511 284990
E-Mail: him@veenkergmbh.de
Internet: www.veenkergmbh.de
Vortragsblock 09:
Grabenlose Verlegetechniken II



Dipl.-Ing. Jürgen Höchst
Köster GmbH, Osnabrück
Tel.: 0163 8396453
E-Mail: juergen.hoechst@koester-bau.de
Internet: www.koester-bau.de
Vortragsblock 19: Kabelschutzrohre in Theorie und Praxis



Dipl.-Ing. (FH) Steffen Hommel
Geschäftsführer und Inhaber Ingenieurgesellschaft für Rohrleitungssanierung mbH Sachsen
Tel.: 0351 6556350
E-Mail: hommel@irs-sachsen.de
Internet: www.irs-sachsen.de
Vortragsblock 24: Rohrsanierung: Neuerungen für Hauptkanäle, Grundstücksentwässerungsanlagen, Fernwärmeleitungen



Dipl.-Ing. Andreas Hüttemann
Rohrleitungsbauverband e.V., Köln
Tel.: 0221 37668-68
E-Mail: huettemann@rbv-koeln.de
Internet: www.rohrleitungsbauverband.de
Vortragsblock 05: Digitalisierung und BIM im Leitungsbau



Dr. Michael Janzen
OOWV, Brake
Tel.: 04401 916-3813
E-Mail: m.janzen@oowv.de
Internet: www.oowv.de
Vortragsblock 21: Energiewende als Herausforderung der Wasserversorgung – was gerne vergessen wird!

Prof. Dr.-Ing. Anja Henrike Kleinke
Jade Hochschule,
FB Bauwesen Geoinformation Gesundheitstechnologie, Oldenburg
Tel.: 0441 7708 359
E-Mail: anja.kleinke@jade-hs.de
Vortragsblock Z 1: Intelligent planen, bauen und betreiben – Umwelt im Fokus



Tjark Mehring M.Sc.
TenneT, Hannover
Tel.: 05132 89-2250
E-Mail: tjark.mehring@tennet.eu
Internet: www.tennet.eu
Vortragsblock 14: Innovative Kabelverlegetechnik



Dipl.-Ing. Gregor Mengeringhausen
OOWV, Brake
Tel.: 04401 916-424
E-Mail: mengeringausen@oowv.de
Internet: www.oowv.de
Vortragsblock Z 3: Daten erfassen und auswerten



Dipl.-Ing. (FH) Erich Ohland
Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS),
Edemissen
Tel.: 0173 9007931
E-Mail: erich.ohland@fbsrohre.de
Internet: www.fbsrohre.de
Vortragsblock 27: Betonkanalsysteme – CO_2-arm, nachhaltig und innovativ

Dipl.-Ing. Swen Pfister
hanseWasser Bremen GmbH, Bremen
Tel.: 0421 988-1199
E-Mail: pfister@hansewasser.de
Internet: www.hansewasser.de
Vortragsblock 01:
Operatives Asset-Management: Material im Fokus



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Lukas Romanowski
Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv), Köln
Tel.: 0221 37668-41
E-Mail: romanowski@rbv-koeln.de
Internet: www.rohrleitungsbauverband.de
Vortragsblock 20:
Neue Regeln für die Baupraxis von Wasserleitungen



Prof. Dr.-Ing. Thomas Priesemann
Jade Hochschule, Oldenburg
Tel.: 0162 2162914
E-Mail: priesemann.thomas@gmail.com
Vortragsblock 07:
Moderne Verfüllbaustoffe für diverse Einsatzzwecke



Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmidt
FH Münster, Steinfurt
Tel.: 02551 9-62836
E-Mail: t.schmidt@fh-muenster.de
Internet: www.fh-muenster.de/egu/index.php
Vortragsblock 13:
Carbon Capture and Storage – gibt es eine neue Chance?



Dr.-Ing. Jürgen Rammelsberg
Groß Glienicke
Tel.: 033201 63930
E-Mail: rammelsbergjurgen@gmail.com
Vortragsblock 12:
Gussrohrsysteme



Dr. Michael Steiner
Open Grid Europe, Essen
Tel.: 0201 3642-18290
E-Mail: michael.steiner@oge.net
Internet: www.oge.net
Vortragsblock 08:
Wasserstoff anstelle von Methan: Der Blick ins Detail



Prof. Dr.-Ing. Sebastian Rohjans
Jade Hochschule, Oldenburg
Tel.: 0441 7708-3210
E-Mail: sebastian.rohjans@jade-hs.de
Internet: www.jade-hs.de/bauwesen
Vortragsblock 10:
Digitale Instrumente in praktischer Anwendung



Jorn Stoelinga B. Sc.
LMR Drilling GmbH, Oldenburg
Tel.: 0151 14226295
E-Mail: jorn.stoelinga@lmr-drilling.de
Internet: www.lmr-drilling.de
Vortragsblock 04:
Grabenlose Verlegetechniken I



Prof. Dr.-Ing
Katharina Teuber
Jade Hochschule, Oldenburg
Tel.: 0441 7708-3030
E-Mail:
katharina.teuber@jade-hs.de
Internet: forschung.jade-hs.de/team-info/suche/?user=11109
Vortragsblock 16:
Kritische Infrastrukturen – Belastungen und Katastrophen



Dr. Ashokanand
Vimalanandan
Open Grid Europe GmbH, Essen
Tel.: 0201 3642-18348
E-Mail: ashokanand.vimalanandan@oge.net
Internet:
www.oge.net
Vortragsblock 29:
Neue Entwicklungen auf dem Fachgebiet des KKS



Prof. Dipl.-Ing.
Martin Thieme-Hack
Hochschule Osnabrück
Tel.: 0541 9695177
E-Mail: M.Thieme-Hack@hs-osnabrueck.de
Internet: www.hs-osnabrueck.de/prof-martin-thieme-hack/
Vortragsblock Z 2:
Der ewige Konflikt: Rohrleitungen und Wurzelzone



Prof. Dipl.-Ing.
Thomas Wegener
Institut für Rohrleitungsbau an der FH Oldenburg e.V., Oldenburg
Tel.: 0441 361039-0
E-Mail: wegener@iro-online.de
Internet: www.iro-online.de
Vortragsblock 11:
Wasserversorgung in Krisenzeiten



Dr.-Ing. Manfred Veenker
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Tel.: 0511 28499-0
E-Mail:
vee@veenkergmbh.de
Internet:
www.veenkergmbh.de
Vortragsblock 18:
Gashochdruckleitungen – außergewöhnliche Bauprojekte



Inserentenverzeichnis

Augel GmbH
Windkaulweg 1
56745 Weibern
Internet: www.augel.de . . . . . Seite 19

Georg Fischer GmbH
Daimlerstr. 6
73095 Albershausen
Internet: www.gfps.com/de. . . . . Seite 9

Frank GmbH
Starkenburgstr. 1
64546 Mörfelden-Walldorf
Internet: www.frank-gmbh.de . . . . . Seite 67

G quadrat mbH
Adolf-Dembach-Str. 4a
47829 Krefeld
Internet: www.gquadrat.de . . . . . Seite 11

GEODOC GmbH
Liebigstr. 64
22113 Hamburg
Internet: www.geodoc-gmbh.de . . . . . Seite 629

Güteschutz Kanalbau e.V.
Linzer Str. 21
53604 Bad Honnef
Internet: www.kanalbau.com. . . . . Seite 6

hanseWasser Bremen GmbH
Birkenfelsstr. 5
28217 Bremen
Internet: www.hanseWasser.de . . . . . 2. Umschlagseite

IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG
Wehdenweg 122
24148 Kiel
Internet: www.ibak.de . . . . . 3. Umschlagseite

Kleihues Betonbauteile GmbH & Co. KG
Siemensstr. 21
48488 Emsbüren
Internet: www.kleihues-beton.de . . . . . Seite 481

KMR-Service GmbH
Gewerbepark 3
17039 Trollenhagen
Internet: www.kmr-fernwaerme.de . . . . . Seite 775

KOCKS CONSULT GMBH
Stegemannstr. 32–38
56068 Koblenz
Internet: www.kocks-ing.de . . . . . Seite 269

MEDENUS Gas- Druckregeltechnik GmbH
Im Langen Feld 3
57462 Olpe
Internet: www.medenus.de . . . . . Seite 13

Open Grid Europe GmbH
Kallenbergstr. 5
45141 Essen
Internet: www.oge.net . . . . . Seite 270

Tracto-Technik GmbH & Co. KG
Paul-Schmidt-Str. 2
57368 Lennestadt
Internet: www.TRACTO.com . . . . . Seite 483

IBAK

ArtIST

Für die Zukunft gewappnet – Automatisierte Zustands-erfassung unterstützt durch künstliche Intelligenz



www.ibak.de

ISBN 978-3-8027-3519-6