Skripte zum Unterirdischen Kanal- und Leitungsbau

Prof. Dr.-Ing. habil. Bert Bosseler
Masterstudium im Bauingenieurwesen
Leibniz Universität Hannover und Ruhr-Universität Bochum

Stand 2020-01

Inhaltsübersicht

I Einführung ... 1
IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur ... 1
Unterirdischer Kanal- und Leitungsbau ... 3
Fragestellungen ... 5
Weitere Informationen ... 6
II Offene Bauweise – praktische Handhabung ... 1
Aufgabenstellung ... 1
Historische Entwicklung ... 1
Praktischer Bauablauf ... 3
Punkt 1: Vorbereitende Arbeiten ... 3
Punkt 2: Materialeingangskontrolle, Lagerung und Transport ... 4
Punkt 3: Herstellen und Sichern des Rohrgrabens ... 4
Punkt 4: Einbauen der Rohre ... 6
Punkt 5: Prüfen vor dem Verfüllen ... 7
Punkt 7: Anschlüsse ... 8
Punkt 6: Verfüllen des Rohrgrabens und Ziehen des Verbaus ... 9
Punkt 8: Abnahmeprüfungen ... 9
Punkt 9: Oberfläche wiederherstellen / Baustelle räumen ... 10
Weitere Informationen ... 11
III Standsicherheit von Rohren bei offener Bauweise ... 1
Anforderungen ... 1
Grabenformen ... 1
Modellierung im Querschnitt: Geometrie, Material, Belastungen ... 2
Silotheorie fordert Reibung an der Grabenwand ... 5
Vertikale Lastaufteilung je nach Steifigkeit ... 5
Auflagerbereich: Linienlagerung vermeiden ... 5
Horizontaler Erddruck und Seitenverfüllung ... 5
Kernaspekte auf der Baustelle ... 6
Kreisring-Balken-Statik: Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweis ... 6
Ingenieurbauwerk aus Graben und Rohr-Boden-System ... 6
Planungsentscheidung auf der Baustelle überprüfen ... 7

Statik und Praxis müssen zusammenpassen ... 8
Weitere Informationen ... 8
IV Neubau in grabenloser Bauweise – Überblick ... 1
Störungen vermeiden und auch bei großer Tiefe bauen ... 1
Techniken und Verfahren unterscheiden: Bodenverdrängung, Steuerung, Mannschaft ... 1
Vielfältige Verfahren und Auswahlkriterien ... 3
Weitere Informationen ... 5
V Grabenlose Bauweise – Rohrvortrieb ... 1
Verfahrensablauf und -elemente ... 1
Vortriebskraft hängt von Ortsbrustwiderstand und Reibung ab ... 2
Lange Vortriebe erfordern Zwischenpressstationen ... 3
Kurvenfahrten stellen besondere Anforderungen an die Rohrverbindung ... 4
IKT Forschungsschwerpunkt Rohrvortrieb ... 5
Simulation zeigt Verhalten in Kurvenfahrten ... 6
In Kurvenfahrten liegen die Rohre nicht in idealer Trasse ... 8
Druckübertragungsmittel zeigen große Verformungsunterschiede ... 9
Holz: plastische Verformung ohne Querdehnung; Kunststoff: viskoelastisch ... 10
Praxisbeispiel – Vortriebstrasse mit Kurvenfahrt ... 11
Qualitätssicherung: Messung von Verformungen in den Rohrverbindungen ... 12
Fazit ... 12
Weitere Informationen ... 12
VI Sanierung – Ziele und Aufgaben ... 1
Schäden können bis zur Oberfläche reichen ... 1
Sanierung, ein Begriff, viele Interpretationen ... 2
Anforderungen an die Sanierung wie bei einem neuen System: Standsicherheit, Betriebssicherheit, Dichtheit über die Nutzungsdauer ... 3
Zustandserfassung mit Kameras ... 5
Schadensbewertung: Standsicherheit, Dichtheit, Betriebssicherheit, Nutzungsdauer ... 6
Fazit ... 9
Weitere Informationen ... 9
VII Sanierung – Erneuerung ... 1
Erneuerung: Ersatz der alten Leitung unter Einbeziehung deren Funktion ... 1
Verfahren in offener und geschlossener Bauweise ... 1

Beispiel Berstverfahren ... 2
Berstverfahren erzeugt Rohr-Boden-Scherben-Interaktion ... 3
Erdlast beim Berstverfahren mit Standardverfahren abschätzbar ... 6
Rohre auf Scherbenabrieb prüfen ... 6
Punktbelastungen für Druckrohre kritisch: Zugspannungsüberlagerung ... 7
Fazit ... 7
Weitere Informationen ... 8
VIII Sanierung – Reparatur ... 1
Reparatur ist eine einzelne örtliche Maßnahme ... 1
Typische Schadensbilder für Reparaturverfahren ... 1
Reparaturverfahren im Überblick ... 5
Injektionsverfahren: Hohlräume und Porenraum verfüllen ... 5
Flutungsverfahren: Wechselnde Bodenarten kritisch ... 7
Roboterverfahren: Verspachteln und Verpressen ... 8
Innenmanschetten: Dichtwirkung fordert Widerlager ... 11
Partielle Inliner (Kurzliner): Oberflächenvorbereitung beachten ... 11
Fazit ... 13
Weitere Informationen ... 13
IX Sanierung – Renovierung ... 1
Renovierung: Verbesserung bei Einbeziehung der ursprünglichen Substanz ... 1
Renovierungsverfahren – der Ort der Herstellung unterscheidet sich ... 2
Material/Form im Werk ... 3
Einzelrohr-Relining / Rohrstrangverfahren ... 3
Material im Werk / Form vor Ort ... 4
Close-Fit-Verfahren ... 4
Wickelrohrverfahren ... 6
Montageverfahren ... 7
Material vor Ort / Form vor Ort ... 8
Schlauchlining ... 8
Beschichtungsverfahren ... 9
Noppenschlauchverfahren ... 10
Fazit ... 11
Weitere Informationen ... 12

X Zur Frage der Standsicherheit von Linern 1
Liner in Druckleitungen 1
Kesselformel 2
Liner in Freispiegelleitungen 3
Aufgrabungen bestätigen Standsicherheit 3
Durchschlagen des Liners unter Außenwasserdruck 4
Drei Zustände des Altrohr-Boden-Systems 6
Standsicherheit hängt immer vom Altrohr-Boden-System ab 7
Kritischer Außenwasserdruck / Beuldruck 7
Beuldruck des freien Rohres (unterer Grenzwert) 8
Beuldruck des Rohr im Rohr – Systems (oberer Grenzwert) 9
Näherungsgleichungen berücksichtigen Geometrie- und Materialabweichungen 10
Näherung nach DWA-A 143-2 11
Näherung nach ASTM F 1216 12
Vergleich der Näherungsansätze 13
Qualitätssicherung von Schlauchlinern 14
Literatur 15
Weitere Informationen 16
XI Zur Frage der Verbundwirkung und Oberflächenvorbereitung 1
Oberflächenvorbereitung : Reinigen, Aufrauen, Abtragen 1
Kanaloberfläche ggf. vorfräsen 1
Verbundverhalten unter Außenwasserdruck 2
Verbundwirkung an Rissen und Rohrverbindungen 4
Literatur 5
Weitere Informationen 5
XII Zur Frage der Nutzungsdauer von Kanälen und Leitungen 1
Nutzungsdauer 1
Die Gefahr von Fehlschlüssen 2
Dauerhaftigkeit allein reicht nicht aus 2
Kaufmännische Abschreibungsdauer mit Vorsicht wählen 3
Gebühren bestimmen Generationengerechtigkeit 3
Rohrwerkstoffwahl sollte nicht zur „Zwangsnutzung“ führen 4
Nutzungsdauer als Ziel für Sanierungsverfahren 4

Smart City: Nutzungsdauer im System der Systeme 6
Offene Fragen 7
Literatur 10
Weitere Informationen 10
XIII Zur Frage der Dichtheitsprüfung von Kanälen und Leitungen 1
Dichtheitsprüfung mit Wasser 1
Zulässige Wasserzugabe sind keine zulässigen Wasserverluste 2
Prüffehler: falsch positiv und falsch negativ 3
Vielfältige Fehlerursachen in der Praxis 3
Verständnis für Wahrscheinlichkeiten gefordert 4
Fallbeispiel: Aussagekraft einer Dichtheitsprüfung 5
Prüfverfahren muss eine Größenordnung genauer sein 7
Notwendige Genauigkeit des Prüfverfahrens hängt von der Prüfaufgabe ab 8
Fazit 9
Literatur 9
Weitere Informationen 9
XIV Zur Frage der Wurzelfestigkeit von Kanälen und Leitungen 1
Bäume und Leitungen im Einklang 1
Risiken durch Wurzelwuchs – Umwachsen und Einwachsen 1
Kronenbreite entspricht Wurzelraumbreite 2
Wurzeleinwuchs in Rohrverbindungen 2
Wurzeln suchen Raum 3
Wurzeldruck kann über 10 bar betragen 4
Effizienter Schutz: Relative statt absolute Wurzelfestigkeit 5
Weitere Informationen 6
XV Zur Frage des Umgangs mit Starkregenereignissen 1
Wasserwirtschaftlicher Hintergrund 1
Zweck der Kanalisation: Transport von verunreinigtem Wasser 3
Wenn Starkregen nicht in die Kanalisation gehört, wohin dann? 4
Stadtentwässerung ist mehr als nur Abwasserbeseitigung 5
Kellerschutz durch Rückstausicherung 5
Die Konsequenz: Kommunale Informationsvorsorge 6
Literatur/Verweise 7

Anhang / Verweise 1
Normen und Regelwerke 1
Fachbücher/-artikel 1
Forschungsberichte des IKT 2
Eigene Fachartikel/-vorträge 4
IKT-Warentests 14
eNewsletter / blog 15
IKT Journals: IKT-Ergebnisse / IKT Research and Testing 15

I Einführung

In der folgenden Einführung werden drei Fragen behandelt: Was ist das IKT und welche Schwerpunkte hat das Institut? Was verstehen wir unter dem Themenbereich „Kanal- und Leitungsbau“? Welche Fragestellungen sind von besonderem Interesse - ingenieurtechnisch und wirtschaftlich?

IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur

Das IKT wurde 1994 gegründet, sein Hauptsitz liegt in Gelsenkirchen, eine Niederlassung findet sich in Arnheim (NL) und eine Vertretung in Watlington (UK). Das IKT wird als gemeinnützige Gesellschaft geführt, formale Eigentümer sind zwei Vereine: zu 2/3 der Förderverein der Netzbetreiber e.V., zu 1/3 der Verein der Wirtschaft zur Förderung des IKT e.V.. Über 200 Vereinsmitglieder zeugen von der hohen Praxisorientierung aller IKT-Aktivitäten. Weitere Informationen finden sich unter www.ikt-online.org.

Die IKT-Einrichtungen am Hauptsitz in Gelsenkirchen erlauben es, die Geschehnisse im Untergrund im Maßstab 1:1 nachzuempfinden, sowohl beim Bau als auch bei Betrieb und Instandhaltung von Kanälen und Leitungen. Einzigartig sind die technischen Möglichkeiten, um Wechselwirkungen zwischen dem Boden und den Bauteilen zu simulieren, auch unter Einbeziehung von Grundwasser- und Verkehrslasten.

Im Ergebnis erfahren die Städte und Gemeinden, welche Risiken beim Bau, Betrieb oder bei der Sanierung von Kanälen und Leitungen zu erwarten sind. Sie können dann z.B. zuverlässiger entscheiden, welche Qualität sie für die Rohre und die Bautechnik sinnvoller Weise fordern und auch bezahlen wollen.

In Outdoor-Versuchseinrichtungen testet das IKT z.B. Inspektionstechnik, um den Zustand der Rohre oder auch den Zustand des Bodens im Betrieb festzustellen. Auch das ist wichtig, denn alte Rohre, die nicht mehr standsicher sind, weil sie selbst oder der Boden geschwächt sind, sind natürlich ein großes Risiko für alles was darüber liegt. So manche Straße ist schon eingebrochen, weil darunter die Kanäle undicht waren und der Boden nach und nach ausgespült wurde, z.T. bis zum Einsturz der Kanäle selbst.

Die Praxisfragen der Netzbetreiber stehen im IKT im Vordergrund. Wissenschaft und Versuchstechnik sind das Mittel und der Praxisnutzen ist der Zweck der IKT-Projekte. Die Haupttätigkeitsfelder des IKT finden sich immer dort, wo es um die Qualität in den Netzen geht, denn dort sind die Neutralität und Unabhängigkeit des IKT besonders wichtig. Das betrifft alle Phasen, vom Bau über den Betrieb, bis hin zur Sanierung. In Forschungsprojekten werden Qualitätseinflüsse untersucht und neue Lösungen entdeckt. In Warentests wird die grundsätzliche Qualität der Produkte verglichen und in der Prüfung vor Ort die Qualität auch im Einzelfall ganz genau betrachtet. Das so erlangte Qualitätswissen fließt dann in Bildungsveranstaltungen und die Netzwerke des IKT ein, wie z.B. die bereits genannten IKT-Fördervereine sowie das KomNetAbwasser, ein spezielles Netzwerk der Abwasserbetriebe.

Dabei greift das IKT auf die Kompetenz der Mitarbeiter, die Versuchstechnik und das Know How weiterer Partner zurück. Das IKT ist Teil eines starken Netzwerks in der Wissenschaft. Seit Gründung ist es ein An-Institut der Ruhr-Universität in Bochum, d.h. es besteht eine Kooperationsvereinbarung mit Zugriff auf die Infrastruktur der Universität. Darüber hinaus ist das IKT auch An-Institut der Westfälischen Hochschule und Partner-Institut der Bundeswehrhochschule in München. Und in der Lehre bestehen enge Kooperationen mit weiteren Hochschulen, so z.B. der Leibniz Universität in Hannover, der Bauhaus Universität in Weimar, der Hochschule Ruhr West und der Hochschule Bochum.

IKT-Ergebnisse finden sich fast immer zum kostenfreien Download im Internet. Typische Beispiele sind Warentests, Qualitätsreports und Forschungsergebnisse. Einmal im Jahr verleiht das IKT auch einen Preis für besondere Leistungen der kommunalen Netzbetreiber, den Goldenen Kanaldeckel, insbesondere für innovative und bürgerfreundliche Ideen und Lösungen.

Unterirdischer Kanal- und Leitungsbau

Das Thema dieser Skriptenreihe ist der „Unterirdische Kanal- und Leitungsbau“, d.h. wir schauen in den Untergrund unserer Städte. Fast unsere gesamte Ver- und Entsorgungsinfrastruktur liegt dort, unter Gehwegen und unter Straßen. Auf dem folgenden Bildbeispiel sehen wir eine ganze Sammlung unterirdischer Kanäle und Leitungen. Im Gehweg liegen Gasleitungen, Wasserleitungen, Stromkabel und Telekommunikation. Mitten unter der Straße liegen wiederum in großer Tiefe die großen Regenwassersammler und die Schmutzwasserleitungen; und weitere Hauptleitungen für Trinkwasser und Gas sind dort ebenfalls zu finden. Das Ganze wird dann an den Anschlüssen noch seitlich in die Häuser geführt.

Dieser unterirdische Raum in unseren Städten, mit all seinen Kanälen und Leitungen, ist also unser Thema. Wie können wir eine solche Infrastruktur bauen, wie können wir sie betreiben und natürlich die große Frage: Wie können wir alte Strukturen instand halten oder sogar erneuern? Dabei geht es insbesondere um technische Fragen, z.B. welche Rohre und Bauverfahren gibt es, wie können wir einen Graben ausheben oder wie können wir auch ohne Gräben bauen und sanieren. Aber wir werden auch organisatorische und wirtschaftliche Fragen ansprechen.

Ausgangspunkt ist dabei die Frage: Welche Ziele verfolgen wir eigentlich beim Bau und der Instandhaltung von Kanälen und Leitungen. Oder anders ausgedrückt: Welche technischen Funktionen hat ein unterirdischer Kanal oder eine unterirdische Leitung zu erfüllen? Hier können wir drei Kernfunktionen unterscheiden: die Betriebssicherheit, die Standsicherheit und die Dichtheit. Das gilt für alle Kanäle und Leitungen, unabhängig davon, was eigentlich transportiert wird.

Betriebssicherheit heißt konkret: Die Leitung muss zuverlässig das tun, wofür sie gebaut wurde. In erster Linie bedeutet das, dass das zu transportierende Medium auch problemlos durch die Leitung fließt. Die Leitung darf also nicht verstopft sein, ein Abwasserkanal muss ausreichend Gefälle haben und eine Trinkwasserleitung darf auch nicht verschmutzt oder gar verkeimt sein. Die Leitung muss im Betrieb sicher das leisten, was der Betreiber und der Kunde erwarten. Betriebssicherheit und damit auch Leistungsfähigkeit sind also der eigentliche Zweck der Leitung.

Standsicherheit ist ein weiteres, eigenes Kriterium, denn eine Leitung muss nicht nur aus betrieblicher Sicht standsicher sein. Sie muss auch standsicher sein, weil ein Einsturz die Umgebung stark gefährden kann. Wenn ein großer Kanal mitten in der Straße einstürzt, können sich riesige Löcher in der Straße auftun. Und auch die angrenzenden Gebäude können dann gefährdet sein. Auch wenn eine Trinkwasserleitung bricht, kann das austretende Wasser den gesamten Boden unter einer Straße wegspülen. Und eine geborstene Gasleitung ist nicht minder gefährlich.

Dichtheit bedeutet wiederum, dass das was durch die Leitung fließt sauber von der Umgebung getrennt ist. Ansonsten kann das transportierte Medium aus der Leitung austreten, oder es können Fremdstoffe in die Leitung gelangen. Beispiele sind Keime im Trinkwasser, Abwasser in Boden und Grundwasser und ein entzündliches Luft-/Gasgemisch in der Umgebung. Bei tiefliegenden Kanälen, die undicht sind, kann auch Grundwasser in die Kanäle eindringen und so die Kanäle selbst und die Kläranlage überlasten.

Bei der Erfüllung der technischen Funktionen sind aber stets auch wirtschaftliche Kriterien zu berücksichtigen. Konkret betrifft dies die Nutzungsdauer, die Kosten und die Rechtssicherheit. Jedes Netz sollte in wirtschaftlich sinnvoller Weise für eine bestimmte Nutzungsdauer geplant sein und alle technischen Leistungen, also Betriebssicherheit, Standsicherheit und Dichtheit, müssen über diese Nutzungsdauer erbracht werden. Die Kosten während dieser Nutzungsdauer für Bau, Betrieb und Instandhaltung spielen dann eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit. Schließlich liegen unter der Erde immense Vermögenswerte. Darüber hinaus können auch rechtliche Anforderungen, z.B. an Arbeitssicherheit, Umweltschutz und Finanzierung, einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben.

Fragestellungen

Die unterirdischen Netze, und gerade auch der Kanal- und Leitungsbau, bieten somit spannende Fragestellungen, technisch anspruchsvoll und von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Die Netze müssen standsicher, betriebssicher und dicht sein, und zwar über die gesamte Nutzungsdauer. Und das Ganze bei vertretbaren Kosten, im rechtlichen Rahmen. Das gilt aber nicht nur für das jeweilige Netz; weitere Fragestellungen entstehen durch die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Strukturen.

Da ist zum einen die Wechselwirkung des Gesamtsystems aus Rohren, Boden und Straße. Das Ganze ist ein hochsensibles Ingenieurbauwerk. Nach dem Einbau muss der entstehende Rohr-Boden-Körper nicht nur sich selbst tragen, sondern auch eine gleichmäßige Grundlage für den darüber liegenden Straßenaufbau bieten. Setzungen sind zu vermeiden und gleichzeitig muss das Ganze auch in Zukunft noch leicht lösbar sein, um z.B. Anschlüsse zu setzen oder eine Reparatur an den Leitungen durchzuführen.

Auch die Anschlüsse selbst stellen eine große Herausforderung dar. Wie können wir defekte Anschlüsse reparieren, ohne gleich die ganze Straße aufreißen zu müssen? Und wie sieht es auf dem Grundstück selbst aus? Hier gibt es viele interessante Inspektions- und Bauverfahren, die auch ohne Gräben im Untergrund arbeiten.

Grundwasser kann außerdem eine zusätzliche äußere statische Belastung für tiefliegende Leitungen sein, allein schon aufgrund des Auftriebs. Grundwasser kann aber auch in Kanälen durch Infiltration

zu einer Überlastung von Kanalisation und Kläranlagen führen. Und das Abdichten, z.B. mittels Roboter, ist technisch aufwändig, wenn von außen Wasser zufließt. Zum anderen kann auch das Abdichten wieder neue Probleme aufwerfen, wenn hierdurch der Grundwasserspiegel ansteigt und dies die umliegenden Gebäude und die Vegetation überfordert.

Wechselwirkungen ergeben sich auch im Betrieb. Aus Kanälen können z.B. Gerüche an die Oberfläche dringen, oder bei Verstopfungen sogar das Abwasser. Es stellt sich die Frage nach einer bedarfsgerechten Reinigung zu vertretbaren Kosten. Und auch zwischen Bäumen, Kanälen und Leitungen bestehen vielfältige Wechselwirkungen. Wurzeln suchen Raum im Untergrund und finden diesen gerade im Umfeld der Leitungen. Risiken ergeben sich dann, wenn Wurzeln an Leitungen ziehen, z.B. unter Windlast, oder wenn eine Wurzel in eine Rohrverbindung einwächst und die Leitung verstopft. Hier stellen sich dann Fragen mit Blick auf die Rohr- und Bodenqualität sowie die Möglichkeiten zur Risikoverminderung und Schadensbeseitigung.

Im Gesamtblick wird deutlich, dass das Management des unterirdischen Raums mit allen Kanälen und Leitungen vielfältige Fragestellungen mit sich bringt. Dies betrifft technische und wirtschaftliche Sachverhalte ebenso wie die Zuordnung von Verantwortung zu einzelnen Aufgabenträgern. Hier auch Wege zu einem effizienten „Asset Management“ der unterirdischen Kanal- und Leitungsnetze aufzuzeigen, ist ein weiteres Ziel dieser Skriptenreihe.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

II Offene Bauweise – praktische Handhabung

In diesem Beitrag werden drei Fragen der offenen Bauweise behandelt: Wie sieht die Aufgabenstellung in der Praxis aus? Wie war die geschichtliche Entwicklung? Wie läuft eine Baustelle in der Praxis grundsätzlich ab?

Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für den Kanal- und Leitungsbau in offener Bauweise scheint zunächst sehr übersichtlich zu sein. Offene Bauweise, d.h. wir verlegen eine Leitung in einem Graben, den wir vorher ausgehoben und gesichert haben. Anschließend wird der Graben wieder geschlossen und das Ganze ist damit erledigt. Schauen wir in den Untergrund unserer Städte, wird allerdings recht schnell deutlich, dass der unterirdische Raum knapp ist, und wir sehr sorgfältig arbeiten müssen, damit angrenzende Bauwerke nicht geschädigt werden.

Versorgungsleitungen und Kabel liegen typischerweise in geringer Tiefe im Gehwegbereich. Die größeren Kanäle befinden sich wiederum meist mitten in der Straße, auch in größeren Tiefen. Allerdings sieht es in der Praxis nicht immer so ideal wie auf diesem Bild aus, manchmal liegt auch alles kreuz und quer durcheinander. Bauen in offener Bauweise kann hier mühsam sein und im Extremfall zu schweren Beeinträchtigungen an der Oberfläche führen, mit Verkehrsstörungen, die die gesamte Innenstadt lahmlegen.

Das Bauen im offenen Graben hat aber auch viele Vorteile: Man sieht was man tut, man kann auch den Boden austauschen, und wir sind sehr flexibel im Einsatz von Werkzeugen und Materialien. Und auch die offene Bauweise hat sich über die Zeit stetig fortentwickelt.

Historische Entwicklung

Die ersten Kanäle wurden in Europa bereits Mitte des 19. Jahrhunderts gebaut. Dabei war die offene Bauweise stark durch Handarbeit geprägt, d.h. auch durch hohen Personaleinsatz. Alle

Arbeitsschritte wurden händisch ausgeführt, vom Aushub über das Verlegen der Rohre bis hin zum Verfüllen des Grabens. Zahlreiche Mauerwerkskanäle sind in dieser Frühphase des Kanalbaus entstanden.

Von der Handarbeit ging man dann mehr und mehr zum Maschineneinsatz über. Das betraf das Ausheben und Verfüllen des Grabens ebenso wie das Heben und Verlegen der Rohre. Und gerade die Rohrverlegung mit Maschineneinsatz bot dann auch weitere Chancen zum Einsatz von Fertigteilen. Während große Kanäle zunächst fast ausschließlich aus Mauerwerk gebaut wurden, weil die sog. Kanalklinker auch per Hand auf die Baustelle und in die Baugrube transportiert werden konnten, war es mit einem Baukran möglich, auch große Fertigteil-Rohre zu heben, z.B. aus Beton oder Stahlbeton. Die Produktion im Rohrwerk und der schnelle Einbau beschleunigten die Bauarbeiten vor Ort immens.

Im nächsten Schritt wurde dann auch die Verbautechnik zur Sicherung des Rohrgrabens flexibler. Mit modularen Systemen konnte schnell und sicher gebaut werden. Ein typisches Beispiel ist der Gleitschienenverbau, bei dem die seitlichen Verbauplatten aneinander vorbei gleiten können. Mittlerweile werden Verlege- und Verbauverfahren auch gemeinsam weiterentwickelt, um die Grabenbreiten noch weiter zu verringern und so die Kosten für den Aushub zu senken.

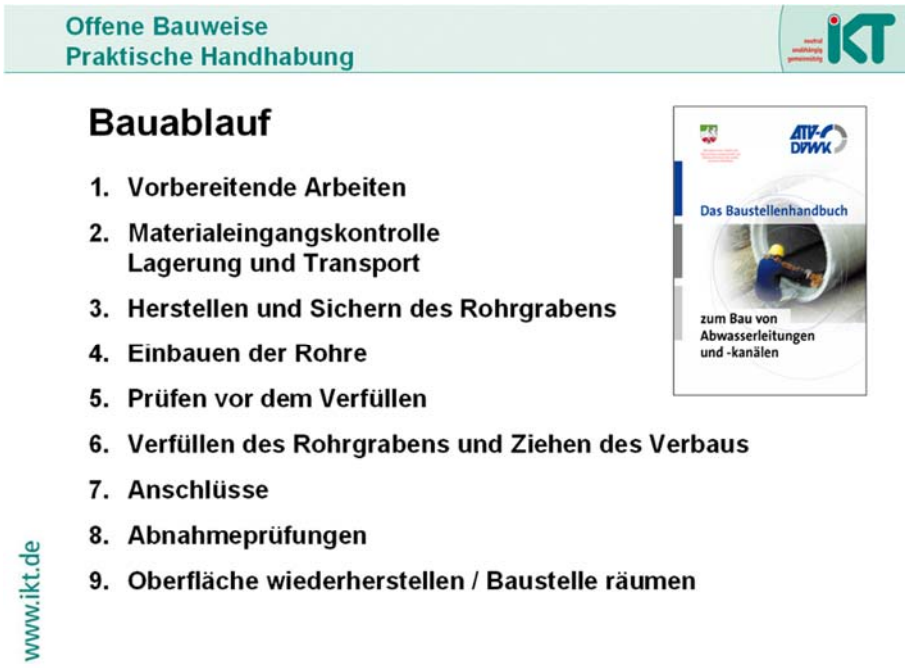
Ein weiterer Schritt auf dem Weg zu geringeren Grabenbreiten ist die Entwicklung von fließfähigen Verfüllstoffen, bei denen der ausgehobene Boden oder auch spezielle Bodengemische mit Wasser, Zement und Tonmineralien angereichert und vermischt werden. Das Material bleibt während des Einbaus noch flüssig, so dass es das Rohr auch in sehr engen Gräben komplett umfließen kann und auch alle weiteren Hohlräume verfüllt. Das Rohr muss während des Einbaus entsprechend gegen Auftrieb gesichert werden. Anschließend härtet das Material aus und bildet so eine stabile Bettung für das Rohr und einen stabilen Untergrund, z.B. für den Straßenbau. Die Nachverfestigung darf allerdings nicht zu groß sein, um den Zugang zur Leitung nicht zu erschweren, z.B. für Reparaturmaßnahmen oder das nachträgliche Setzen von Anschlüssen.

Da es sich um eine vom klassischen Einbau stark abweichende Bauweise handelt, müssen die Baufirmen über spezielles Know-how und sehr viel Erfahrung verfügen, denn Fehler beim Einbau lassen sich kaum korrigieren.

Die offene Bauweise hat also Tradition und entwickelt sich stetig weiter. Mit Blick auf den praktischen Ablauf wollen wir uns nachfolgend zunächst am klassischen Vorgehen orientieren, d.h. dem Einbau mit Schüttgütern als Verfüllstoffen.

Praktischer Bauablauf

Eine sehr praxisnahe Zusammenfassung zu den einzelnen Arbeitsschritten des praktischen Bauablaufs bietet z.B. das sog. Baustellenhandbuch der DWA[1], das bereits im Jahr 2002 veröffentlicht wurde. Dieses Handbuch wurde durch den DWA-Landesverband in Nordrhein-Westfalen gemeinsam mit dem IKT erarbeitet. Und noch heute ist der dort dargestellte grundsätzliche Ablauf sehr aktuell. Er beginnt mit vorbereitenden Arbeiten und geht über den Rohreinbau und die Verfüllung bis hin zum Räumen der Baustelle. Technische Detailanforderungen zum Einbau und zur Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen werden darüber hinaus in der europäischen Norm EN 1610 formuliert.



Schauen wir uns die Schritte nun im Einzelnen an.

Punkt 1: Vorbereitende Arbeiten

Zu den vorbereitenden Arbeiten gehören erstens die **Verkehrssicherung** und deren Genehmigung. Eine Baustelle im Straßenbereich ist immer auch ein Eingriff in die Verkehrsführung. Um die Verkehrsführung zu sichern, können dann z.B. Warnbaken oder Zäune eingesetzt werden. Ist die Baustelle länger, sind ggf. auch Ampeln zu installieren. Zweitens sind die **Leitungspläne** der anderen

[1] DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (früher ATV-DVWK)

Träger einzusehen, um auf möglicherweise kreuzende Leitungen vorbereitet zu sein. An solchen Stellen sollte dann nicht mit Bagger, sondern per Hand ausgeschachtet werden.

Schließlich sollte die **statische Berechnung** des gesamten Bauwerks aus Rohr und Boden auch schon vor Beginn der Baumaßnahme vorliegen. Was dort in der Berechnung angenommen wurde, sollte auf der Baustelle bekannt sein und auch überprüft werden. Werden vor Ort andere Verfüllmaterialien, andere Rohrwerkstoffe oder auch eine andere Verbautechnik eingesetzt als in der statischen Berechnung vorausgesetzt, so ist im Zweifel eine neue Berechnung notwendig und ein neuer Nachweis für diese Bedingungen zu führen.

Punkt 2: Materialeingangskontrolle, Lagerung und Transport

Die Qualität der Rohre ist auf der Baustelle vor dem Einbau zu kontrollieren. Zu diesem Zeitpunkt können die Teile noch ohne großen Aufwand ausgetauscht werden. Bei der Kontrolle kann erkannt werden, ob die Rohre beim Transport beschädigt worden sind, und ob sie den Angaben im Lieferschein und der Bestellung entsprechen. Stichprobenartig sollte auch die Maßhaltigkeit, insbesondere der Rohrverbindungen, kontrolliert werden. Hiervon hängt die Funktionsfähigkeit des Dichtsystems ab, denn die Geometrie von Spitzende und Steckmuffe entscheidet letztlich über die Kompression der Dichtung. Das gilt auch für Schacht- und Hausanschlüsse.

Alle Bauteile, die auf der Baustelle akzeptiert wurden, müssen dann angemessen gelagert werden. Zum einen ist eine Gefährdung durch unbeabsichtigte Bewegung auszuschließen (z.B. durch Rollen). Tragische Unfälle sind bekannt, bei denen spielende Kinder auf die Baustelle gelangten und ungesicherte Rohre so bewegten, dass sie hiervon überrollt wurden und dabei ums Leben kamen. Die Gerichte reagieren hierauf mit empfindlichen Urteilen für die verantwortlichen Bauleiter. In jedem Falle sind Gefahrenbereiche so abzusperren, dass dies auch für Dritte erkennbar ist.

Darüber hinaus dürfen die Rohre auch durch Umwelteinflüsse keine Schäden erleiden. So sind z.B. Steinzeugrohre oder die Zementmörtelauskleidung von Gussrohren besonders schlagempfindlich und Betonrohre empfindlich gegenüber beton-aggressiven Medien. Und Kunststoffe wie Thermoplaste neigen bei höheren Temperaturen zu Verformungen unter Eigengewicht und können empfindlich gegenüber UV-Strahlen der Sonne sein. Bei der Lagerung helfen hier auch Herstelleranweisungen und Produktnormen weiter.

Das Anheben und Transportieren der Rohre vom Lagerplatz in den Rohrgraben ist dann ein eigener Lastfall und die Rohre müssen hierauf auch ausgelegt sein. Passendes Hebezeug ist auf der Baustelle vorzuhalten. Eine besondere statische Betrachtung ist z.B. notwendig, wenn das Rohr beim Transport lediglich an einem einzelnen Punkt gehalten wird. Aufgrund seines Gewichts kommt es zu großen Biegebelastungen und Zugspannungen gerade im Bereich der Transportanker. Hier muss das Rohr auch auf die Transportlasten bemessen und entsprechend versteift werden. Darüber hinaus kann das Rohr beim Einbau auch Erschütterungen und Schlagbeanspruchungen erfahren, z.B. im Kontakt mit den Hebezeugen oder beim Einschwenken und Ablassen in den Rohrgraben.

Punkt 3: Herstellen und Sichern des Rohrgrabens

Der Rohrgraben selbst wird in der Regel schrittweise ausgehoben, in Abhängigkeit des Verlegefortschritts. Aber auch längere Bauabschnitte sind möglich, wenn die Störungen an der Oberfläche unproblematisch sind und die vorhandenen Baugeräte das zulassen. Eine

Handschachtung ist insbesondere dann erforderlich, wenn mit kreuzenden Leitungen zu rechnen ist. Bei größerer Grabentiefe ist immer mittels Verbau zu sichern.

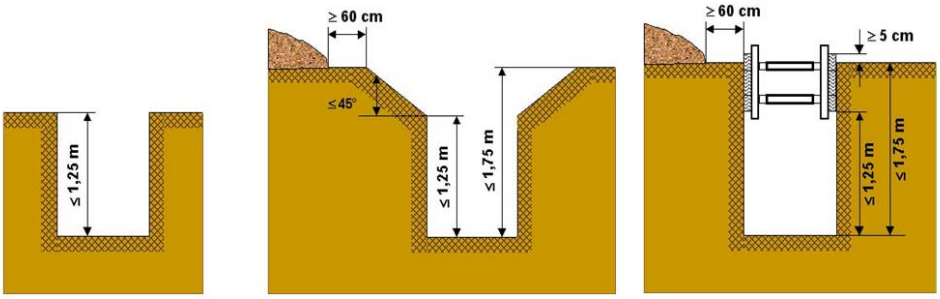
Die Wahl der Verbauart spielt dabei für die Rohrstatik eine große Rolle. Dabei wird generell zwischen waagerechtem und senkrechtem Verbau unterschieden. Bei einem waagerechten Verbau werden z.B. waagerechte Bohlen durch Streben abgestützt. Die Bohlen können dann eine nach der anderen mit dem Aushub eingebaut und in gleicher Weise beim Verfüllen auch wieder ausgebaut werden. In der Folge hat der Verfüllboden stets direkten Kontakt zum anstehenden Boden, so dass auch Reibungskräfte zwischen diesem Boden und dem Verfüllmaterial sicher aktiviert werden können.

Beim sog. senkrechten Verbau werden dagegen z.B. Kanaldielen senkrecht in den Boden gerammt und die Baugrube wird anschließend ausgehoben. In der Regel werden diese Kanaldielen dann auch erst nach Grabenverfüllung wieder gezogen, so dass dort wo vorher der Verbau war anschließend ein Hohlraum oder zumindest eine Störzone bleibt, die sogenannte Verbauspur. Der Verfüllboden kann sich dann nicht mehr an den Grabenwänden über Reibung abstützen und belastet das Rohr stärker.

Die Alternative, ein Verzicht auf Verbau, ist auch möglich, allerdings nur in wenigen Fällen wirtschaftlich sinnvoll und sicher umsetzbar. Grundvoraussetzung ist, dass es sich um einen standfesten Boden und eine nur geringe Grabentiefe handelt. In der Regel sind dann die jeweiligen nationalen Anforderungen, insbesondere zur Arbeitssicherheit, zu beachten. Ein einheitliches europäisches Regelwerk existiert bisher nicht.

Offene Bauweise
Herstellen und Sichern des Rohrgrabens

Baugruben mit geringer Tiefe nach DIN 4124



Bei Baugruben und Gräben bis 1,25 m Tiefe können die Wände senkrecht angelegt werden, **wenn der Boden standfest ist**.

Bei Baugruben und Gräben bis 1,75 m Tiefe in **mindestens steifen, bindigen Böden** kann der über 1,25 m liegende Bereich abgeböscht oder verbaut werden.

www.ikt.de

DIN 4124, Ausgabe:2012-01 Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau

Seitens der deutschen Normung wird die Sicherung von Baugruben und Gräben z.B. in der DIN 4124 behandelt. Dort sind für Standardfälle entsprechende bereits nachgewiesene Vorschläge zur Wahl und Ausführung des Verbaus zusammengestellt. Bei Baugruben, die tiefer sind als 1,25 m, müssen auch in standfesten Böden immer Maßnahmen zur Sicherung getroffen werden. Das kann eine Böschung sein oder auch ein Verbau in diesem Bereich. Spätestens ab 1,75 m Tiefe ist der Graben vollständig zu verbauen, d.h. bis zur Grabensohle. Alle Erleichterungen gelten ausdrücklich nur für standfeste Böden. Und wenn verbaut oder geböscht werden muss, dann ist im oberen Bereich auch ein Schutzstreifen einzurichten, und zwar von mindestens 60 cm Breite, in dem keine Lasten z.B. durch Bagger oder Schüttgüter aufgebracht werden dürfen.

Bei Verbauelementen ist darüber hinaus auf einen Überstand von ungefähr 5-10 cm zu achten, damit z.B. Werkzeug oder andere Gegenstände nicht von der Straße einfach in den Graben reinrutschen oder reinrollen können.

Punkt 4: Einbauen der Rohre

Für die Arbeiten im Rohrgraben zum Einbau der Rohre ist dann ein angemessener Arbeitsraum vorzusehen. Für den Kanalbau gibt hier die europäische Norm EN 1610 z.B. entsprechende Hinweise. Die Mindestgrabenbreite ist demnach je nach Grabentiefe bis zu einen Meter größer als der Rohraußendurchmesser.

Hintergrund ist insbesondere, dass die Rohre gut gebettet sein müssen, d.h. dass der Boden neben und unter dem Rohr gut und gleichmäßig verdichtet ist. Dieser Auflagerbereich ist extrem wichtig für eine gute Rohrstatik, denn davon hängt der sogenannte Auflagerwinkel ab. Und die ausreichende Verdichtung von der Seite mit Handstampfern ist eben nur bei ausreichendem Arbeitsraum überhaupt möglich.

Neben der Bettung der Rohre spielt dann das fachgerechte Zusammenfügen der Rohrverbindungen eine besondere Rolle. Schwere Rohre sollten nicht mit dem Baggerlöffel in ein anderes Rohr hineingeschoben werden, denn das unkontrollierte Einleiten von großen Kräften kann zu extremen Spannungen und Schäden in der Rohrverbindung führen. Stattdessen bietet sich zum kontrollierten Einbau der Rohre z.B. ein Zuggerät an. Dabei wird am Ende des Rohrstrangs das Zuggerät verspannt und zieht das neue Rohr in die Verbindung. Die Lage selbst kann z.B. mittels Laser kontrolliert werden, indem der Laserstrahl die Sollachse vorgibt und die Rohrlage mit einer Zieltafel fortlaufend abgeglichen wird. Stimmt die Lage nicht, sollte diese dann vorsichtig mit der Hand korrigiert werden, und wiederum nicht mit dem Baggerlöffel. Die Norm EN 1610 geht darauf in ihrem Abschnitt 8.6.2. zur Richtung und Höhenlage mit folgendem Hinweis detailliert ein:

„Jede notwendige Nachbesserung der Höhenlage muss durch Auffüllen oder Abtragen der Bettung erfolgen, wobei stets sicherzustellen ist, dass die Rohre letztendlich über ihre gesamte Länge aufgelagert sind. Eine Einbaukorrektur der Höhen- und Seitenlage darf nicht durch örtliches Unterstopfen/Verdichten erfolgen.“

Punkt 5: Prüfen vor dem Verfüllen

Nach der Verlegung, bevor der Graben verfüllt wird, besteht dann letztmalig die Möglichkeit, die Rohre von außen hinsichtlich evtl. Einbauschäden in Augenschein zu nehmen. Auch sind jetzt Reparaturen noch leichter möglich als nach Überschüttung. Liegt ein ganzer Kanalabschnitt zwischen zwei Schächten frei, kann auch eine haltungsweise Dichtheitsprüfung sinnvoll sein. Denn hier ist zum letzten Mal eine optische Kontrolle möglich um festzustellen, ob tatsächlich Wasser bei der Prüfung aus der Leitung heraus fließt. Später liegt dies alles im Dunkeln und man muss allein auf Grenzwerte vertrauen, so dass Prüffehler auch unerkannt bleiben können. Die Dichtheitsprüfung vor dem Verfüllen wurde z.B. in früheren deutschen Normen auch als Standard gefordert.

Punkt 7: Anschlüsse

Im Vorgriff zur Chronologie des DWA-Baustellenhandbuches wollen wir das Thema der Anschlüsse bereits vor dem Verfüllen des Grabens ansprechen und Punkt 7 und 6 hier tauschen. Viele Anschlüsse werden schon im offenen Graben hergestellt, so als Anschlüsse für die Zuleitungskanäle aus den Häusern. Diese Anschlüsse können als Abzweige schon in das Rohr integriert sein, oder sie werden nachträglich hergestellt. Beim Einbau in ein Kanalrohr aus Beton oder Steinzeug wird als erstes mit einer Bohrkrone das Loch gebohrt und anschließend wird dann ein sogenannter Anschlussstutzen passgenau in diese Öffnung eingeschoben oder eingedreht. Hier gibt es eine Vielzahl an Systemen auf dem Markt. Das IKT führt für diese Produkte auch fortlaufend Warentests durch und veröffentlicht die Ergebnisse regelmäßig in Fachzeitschriften bzw. im Internet.

Wie wichtig die technische Qualität des Anschlusses ist, lässt sich schon allein daran ablesen, dass im Kanalnetz ungefähr alle 5 Meter ein Anschluss zu finden ist und fehlerhafte Anschlüsse zu den häufigsten Schadensbildern im Kanalnetz gehören. Das liegt auch daran, dass früher - und zum Teil auch heute noch - nicht mit den hier abgebildeten Anschlusselementen gearbeitet wurde, sondern die Kanäle mit einfachem Werkzeug aufgeschlagen wurden, um dann eine Anschlussleitung direkt hineinzuführen.

Um die Dichtheit der Anschlusselemente vor Ort im offenen Graben zu überprüfen, wurden auch spezielle Prüfgeräte entwickelt, so z.B. doppelte Verschlussteller, deren innere Abdichtscheibe von außen eingeschoben werden kann, bevor das Anschlusselement von außen und innen abgesperrt und mit Wasserdruck geprüft wird. Auch hier erfolgt die eigentliche Prüfung auf Undichtheiten optisch.

Punkt 6: Verfüllen des Rohrgrabens und Ziehen des Verbaus

Wird der Graben anschließend wieder mit Boden verfüllt, ist es wichtig, dass die Rohrleitung in ihrer Lage unverändert liegen bleibt. Sowohl durch Wasser als auch durch den eingefüllten und verdichteten Boden können Auftriebslasten entstehen. Der Rohrstrang ist also entsprechend zu sichern und die Kräfte, die dabei in der Sicherung entstehen, müssen abgeleitet und aufgenommen werden.

Beim Verfüllen kommt der Seitenverfüllung eine besondere Bedeutung zu. Der Boden neben dem Rohr trägt wie das Rohr einen Teil der späteren Auflast und außerdem stützt er das Rohr seitlich. Bei leicht verformbaren Rohren, z.B. aus Kunststoff, können in dieser Stützung noch weitere Bettungsreaktionsdrücke aktiviert werden.

Beim Einbau des Bodens ist grundsätzlich auf eine gleichmäßige Verdichtung zu achten. Das Rohr muss insbesondere in der Sohle und im Zwickelbereich möglichst gleichmäßig gebettet sein. Anschließend folgt die bereits erwähnte Seitenverfüllung, und schließlich wird dann über dem Rohr in einzelnen Lagen die sogenannte Hauptverfüllung eingebaut. Hier kann in der Regel wieder mit schwerem Gerät verdichtet werden, sofern mindestens 30 cm Boden bereits über dem Rohr eingebaut worden sind.

Bei Einsatz eines senkrechten Verbaus wird dieser Verbau in der Regel erst nach Verfüllen des Grabens gezogen. Die dann entstehende Verbauspur führt zu Auflockerungen im Bereich der Grabenwände und stärkeren Rohrbelastungen. Auch hier lohnt sich der Blick in die statische Berechnung, um zu überprüfen, inwieweit der tatsächliche Rückbau des Verbaus mit den Annahmen in der statischen Berechnung übereinstimmt.

Anschließend kann das Bauwerk aus Sicht des Kanal- und Leitungsbaus und auch des Straßenbaus abgenommen werden.

Punkt 8: Abnahmeprüfungen

Eine typische Technik zur Abnahme von Kanälen und Leitungen ist die TV-Inspektion. Es gibt eine große Auswahl an Kameras am Markt. Diese Kameras werden auf Fahrwagen in den Kanal gefahren und können die komplette Rohrwand abschwenken. Sogenannte Satellitenkameras erlauben es darüber hinaus, aus dem Hauptkanal in die Anschlussleitungen hinein zu fahren. Außerdem gibt es Kamerasysteme, die mit sogenannten Kugelscannern arbeiten und damit die Kanaloberfläche aus einer Vielzahl von Perspektiven aufnehmen. Diese Perspektiven stehen dann sämtlich auch später für die Zustandsbewertung zur Verfügung.

Mit Blick auf den anschließenden Straßenbau werden weitere Abnahmeprüfungen durchgeführt. Meist finden diese am Planum statt, d.h. an der Fläche, auf die als nächstes der Straßenaufbau aufsetzt. Übliche Verfahren sind die Rammsondierung sowie dynamische und statische Lastplattendruckversuche zur Bestimmung des Verdichtungsgrades und der Verformungseigenschaft des Bodens.

Punkt 9: Oberfläche wiederherstellen / Baustelle räumen

Bei Wiederherstellung der Oberfläche ist insbesondere zu beachten, dass die Schachtabdeckungen fachgerecht in den Straßenoberbau eingebunden werden. Wurde der Graben in einer Bestandsstraße ausgehoben, ist außerdem wichtig, dass der Straßenoberbau über dem Graben sauber an den alten Straßenoberbau angebunden wird. Das gilt sowohl aus Gründen der Verkehrssicherheit, als auch aus Gründen der Dauerhaftigkeit.

Im Gesamtblick bleibt abschließend festzuhalten, dass die offene Bauweise bei aller Tradition auch neue Entwicklungen zeigt. Sie stellt uns darüber hinaus auch vor Herausforderungen im praktischen Bauablauf. So müssen wir z.B. darauf achten, dass wir die Rohre auf der Baustelle sicher lagern und im Graben genügend Arbeitsraum vorsehen. Die Verdichtung spielt mit Blick auf das Rohr-Boden-System eine besondere Rolle, ebenso wie die Wahl des Verbaus. Schließlich sind bei der Abnahme auch die Belange des Straßenbaus zu berücksichtigen.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

III Standsicherheit von Rohren bei offener Bauweise

Dieser Beitrag behandelt die Standsicherheit unterirdischer Kanäle und Leitungen, die in offener Bauweise, d.h. im Graben, verlegt werden. Drei Fragestellungen werden dabei angesprochen: die Grabenformen, das Standardmodell der Statik und die Schlussfolgerungen für die bautechnische Praxis.

Anforderungen

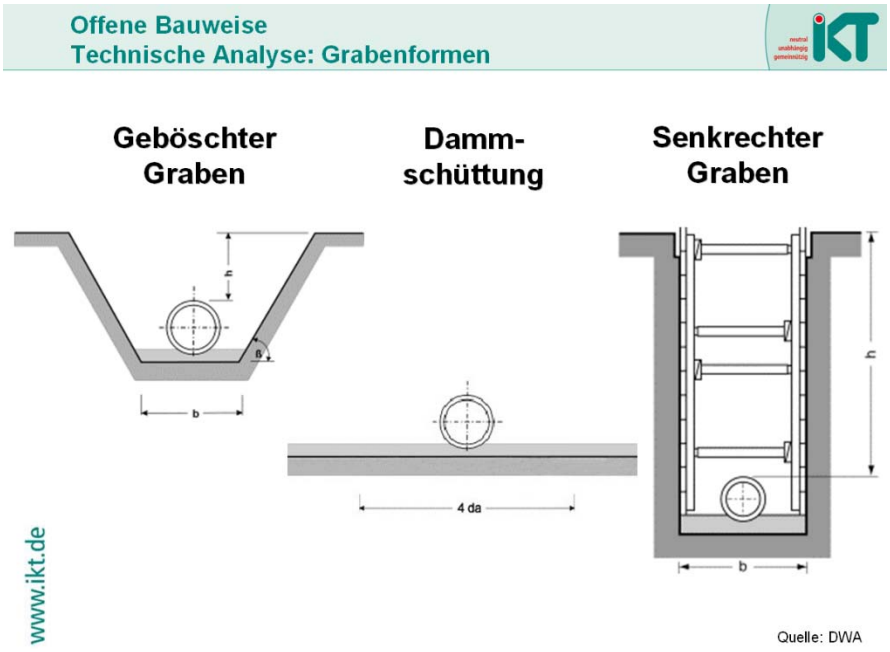
Ob im Gehwegbereich oder unter der Straße, die Rohre unserer Kanäle und Leitungen müssen stets zwei Anforderungen erfüllen:

Erstens muss das Rohr die inneren Lasten aufnehmen, z.B. einen definierten Innendruck, ohne auseinanderzubrechen. Diese Lasten sind völlig unabhängig davon, ob die Leitung über oder unter der Erde liegt. Im Folgenden gehen wir davon aus, dass die Leitung für diese Belastungen bereits ausgelegt ist. Wir greifen diesen Aspekt später beim Thema Sanierung wieder auf.

Zweitens erfährt das Rohr Belastungen dadurch, dass es nach einer Verlegung im Graben unter der Erde liegt. Insbesondere Kanalrohre liegen meist in großer Tiefe mitten unter der Straße, so dass dort auch besondere Belastungen durch den Erdkörper und ggf. Grundwasser sowie den Verkehr an der Oberfläche auftreten. Auch diesen Belastungen muss das Rohr standhalten und hierfür ausgelegt und nachgewiesen sein. Welche Beschreibungsansätze dabei zugrunde gelegt werden, soll in diesem Beitrag in drei Schritten mit Blick auf die Grabenformen, das statische Modell und die Folgen für die Bautechnik erläutert werden.

Grabenformen

In der Statik von Kanälen und Leitungen werden in der Regel drei „Grabenformen“ unterschieden, wobei es sich in einem Fall eigentlich gar nicht um einen Graben, sondern um eine Dammschüttung handelt.



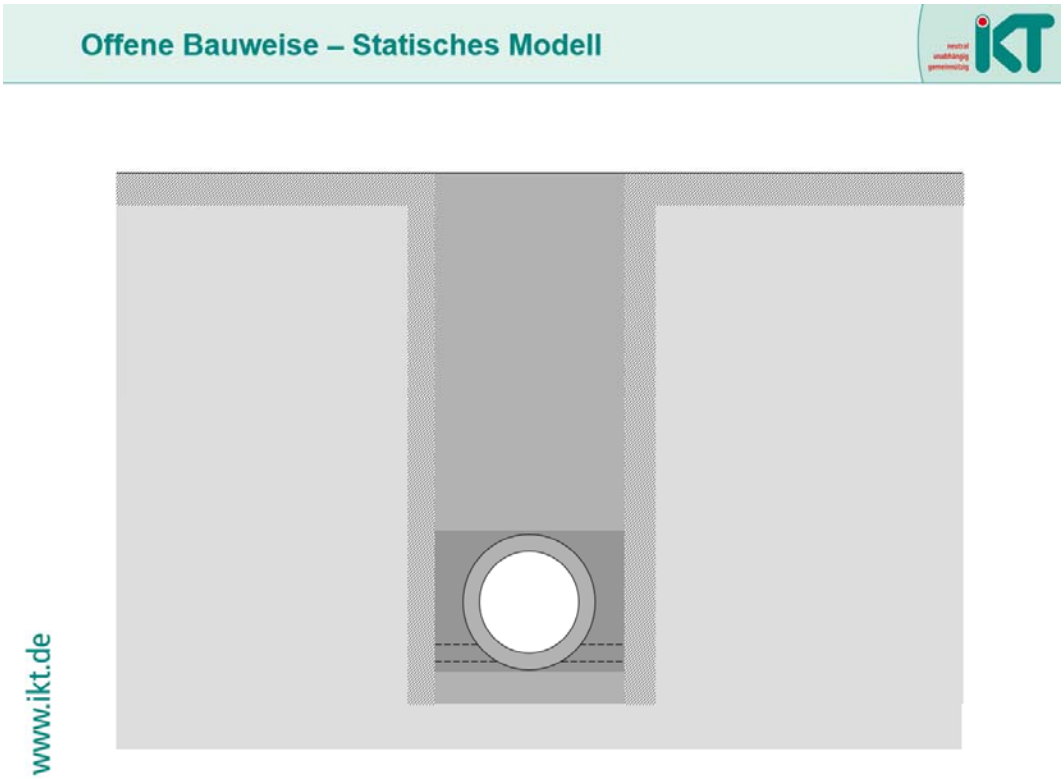
Im ersten Fall sprechen wir vom geböschten Graben. Wir heben den Graben so aus, dass wir einen Böschungswinkel einhalten. Größere Winkel als 45° sind dabei nur möglich, wenn die Bodeneigenschaften bekannt sind, d.h. der innere Reibungswinkel und ggf. die Kohäsion. Ein geböschter Graben braucht zwar grundsätzlich keine weitere Sicherung, allerdings entspricht die Grabenbreite bei einem 45°-Winkel an der Oberfläche bereits der Breite b an der Grabensohle plus der 2-fachen Grabentiefe.

Die zweite Variante ist die Dammschüttung. Das Rohr wird auf den Untergrund aufgelegt und erst nachträglich mit Boden überschüttet. Rein statisch sprechen wir von einer Dammschüttung i.d.R. dann, wenn wir über eine Breite des vierfachen Rohrdurchmessers keine anderen Einflüsse auf das Rohr haben als nur diese Schüttung. Auch innerhalb eines Grabens haben weit entfernte Grabenwände auf die Statik keinen Einfluss mehr und das Ganze kann als Dammschüttung betrachtet werden.

Der klassische senkrechte Graben mit Verbau ist der dritte Fall. Unverbaut und ohne Böschung sollte ein Graben selbst in standfesten Böden nie tiefer als 1,25 m sein. Mit Verbau werden beide Grabenwände z.B. durch Holzbohlen, Kanaldielen oder Verbautafeln abgestützt. Unter Nutzung der Symmetrie des Grabens können beide Seiten über Querstreben gegeneinander abgestützt werden, während ansonsten die Baugrubensicherung üblicherweise im Boden zu verankern wäre.

Modellierung im Querschnitt: Geometrie, Material, Belastungen

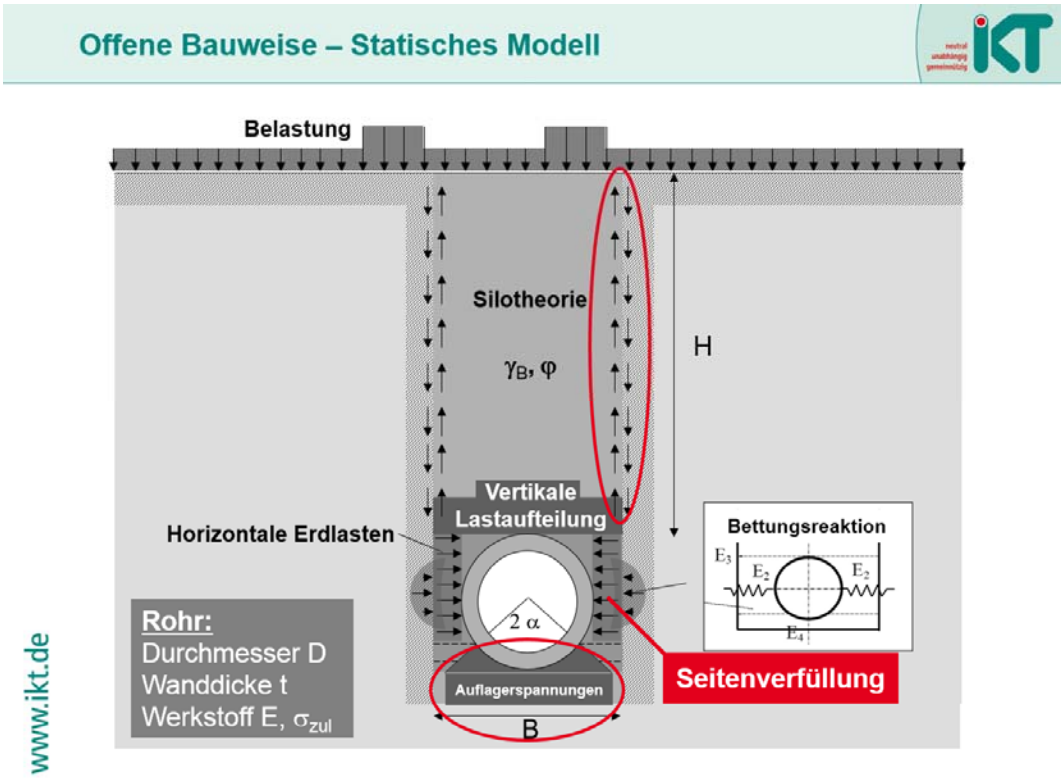
Das statische Modell dient nun dazu, die bautechnische Realität so zu beschreiben, dass sie einer Berechnung zugänglich wird. Dies betrifft die Geometrie, die eingesetzten Materialien und die auftretenden Belastungen. Der Gesamtzusammenhang ist auf dem nachfolgenden, für eine Rohrstatik typischen Bild zusammengefasst. Wir sehen dort einen Rohrgraben mit einem Rohr, das auf der Grabensohle aufgelegt wurde.



Die erste wesentliche Annahme betrifft dann alle drei Charakteristika, also Geometrie, Material und Belastung. Es wird nämlich angenommen, dass diese Eigenschaften über die gesamte Grabenlänge unveränderlich sind. Nur in diesem Fall kann das Rohr-Boden-System ausreichend genau im Querschnitt modelliert werden. Mit anderen Worten: Über die Länge wird immer das gleiche Rohr, im immer gleichen Graben, bei immer gleicher Bettung angenommen. Ein Idealzustand, von dem es in der Realität natürlich Abweichungen gibt. Wichtig ist, dass diese Abweichungen so klein bleiben, dass sie auf die Statik keinen Einfluss haben.

Wenn z.B. ein einzelnes Kabel diesen Graben an einer Stelle kreuzt, ist das sicher nicht entscheidend. Auch Rohrverbindungen sind nicht wesentlich. Wenn aber die Grabenbreite plötzlich abschnittweise doppelt so groß ist, oder an einer Stelle ein großer Damm als Oberflächenlast aufgeschüttet wird, dann stellt dies eine grundlegende Abweichung hinsichtlich Geometrie bzw. Belastungen dar und das System ist möglicherweise sogar dreidimensional zu berechnen. Hier findet das ebene Querschnittsmodell des Grabens dann seine Grenzen.

Ist die Gleichförmigkeit des Systems über die Länge erfüllt, beginnt die weitere Beschreibung im Querschnittsdetail, eine Übersicht findet sich im nachfolgenden Bild.



Für das Rohr müssen wir zunächst die Geometrie definieren, beim Kreisprofil entsprechend den Durchmesser und die Wanddicke. Der Werkstoff wird in der Regel durch mindestens zwei Parameter beschrieben, den Elastizitätsmodul E für die Verformbarkeit und die zulässige Zug- oder Druckspannung für die Bruchfestigkeit.

Der Graben wird ebenfalls mit Blick auf Geometrie und Materialeigenschaften beschrieben. Das betrifft die Tiefe des Grabens, die Überschüttung H des Rohres sowie die Grabenbreite B. Der Boden der Überschüttung hat wiederum besondere Materialeigenschaften, wie z.B. die innere Reibung φ, und Belastungsgrößen, wie die Wichte γ_B.

Auch die Belastungen an der Oberfläche sind im Modell darzustellen. Hier können weitere Flächenlasten aufgelagert sein, z.B. Schüttgüter, oder es wirken Verkehrslasten, die meist als Radlasten modelliert werden. Sämtliche Lasten wirken in der Regel vertikal über Auflastspannungen auf den Untergrund.

Im nächsten Schritt geht es darum zu erklären, wie und auf welchem Wege sich die Belastungen über den Graben auf das Rohr auswirken. Hier gibt es besondere Modellvorstellungen für den Kanal- und Leitungsbau, deren Näherungen durch zwei Argumente gerechtfertigt werden. Zum einen liefern sie Ergebnisse, die bereits durch Messungen als ausreichend genau bestätigt werden konnten. Zum anderen beschreiben sie die Verhältnisse sehr intuitiv und orientieren sich an den typischen Praxiserfahrungen des Ingenieurs[1].

[1] In dieser Skriptenreihe wird zur besseren Lesbarkeit die kürzere männliche Form von Personenbezeichnungen gewählt; sie darf als geschlechterunabhängige Formulierung verstanden werden.

Silotheorie fordert Reibung an der Grabenwand

Die erste Modellvorstellung betrifft die sog. Silotheorie. Dahinter steckt die Idee, dass der Verfüllboden im Graben etwas weicher ist als der anstehende Boden, und das der Verfüllboden daher schon unter seinem Eigengewicht geringfügige Verschiebungen gegenüber der Grabenwand erfährt. Diese Verschiebungen aktivieren dann Reibungskräfte, die sich abmindernd auf die Vertikallast des Verfüllbodens auswirken, ähnlich wie bei Schüttgütern in einem Silo.

Während man normalerweise damit rechnet, dass auf dem Rohr eine Auflast in der Höhe von $\gamma_B \cdot H$ wirkt, kann diese Auflast nun abgemindert werden. Wie hoch diese Abminderung ausfällt, hängt von der Größe der Reibung an den Grabenwänden ab. Die erste Voraussetzung dafür, dass diese Reibung aktiviert werden kann, betrifft den eingebauten Boden selbst. Er muss weicher sein als der anstehende Boden. Darüber hinaus ist Kontakt notwendig und das eingesetzte Material muss unter Verformung auch Reibungswiderstand erzeugen. So ist für den Reibungsbeiwert entscheidend, welchen inneren Reibungswinkel φ die betroffenen Böden überhaupt haben. Dies hängt wiederum vom Verdichtungsgrad ab, und damit auch davon, welche Verbauart gewählt wurde. Wird der Verbau z.B. nachträglich gezogen, entsteht eine Verbauspur mit Auflockerungen, und damit auch eine geringere Reibung im Bereich der ursprünglichen Grabenwand.

Darüber hinaus entsteht Reibung aber auch nur, wenn senkrecht zur Reibfläche eine Kraft wirkt. Der Boden im Graben muss somit neben vertikalen auch horizontale Spannungen erzeugen. Für normale Schüttgüter wird hier der horizontale Erddruck als Ansatz angenommen.

Vertikale Lastaufteilung je nach Steifigkeit

Im nächsten Schritt wird die vertikale Auflast in Rohrscheitelhöhe aufgeteilt, denn die Last wird ja nicht nur vom Rohr, sondern auch vom daneben liegenden Bodenkörper getragen. Wie die Last aufgeteilt wird, hängt sowohl von der Steifigkeit des Rohres als auch von der Steifigkeit der Seitenverfüllung ab. Hohe Steifigkeit bedeutet viel Belastung, wenig Steifigkeit bedeutet wenig Belastung. Ein weiches Rohr, z.B. aus Kunststoff, kann sich auf diese Weise den Lasten entziehen, allerdings nur wenn die Seitenverfüllung auch gut verdichtet ist und diese Lasten dann übernimmt.

Auflagerbereich: Linienlagerung vermeiden

Die auf das Rohr wirkenden vertikalen Belastungen müssen schließlich auch im Bereich unter dem Rohr entsprechend aufgenommen werden, d.h. das Rohr braucht ein Auflager. Für die Qualität des Auflagers ist dabei entscheidend, dass das Rohr gleichmäßig über einen möglichst großen Auflagerwinkel gebettet wird. Die bautechnische Herausforderung liegt dann darin, dass bei gut verdichteter Grabensohle auch der enge Bereich unter dem Rohr sehr gut verdichtet werden muss, um ein gleichmäßiges Auflager herzustellen. Wurde die Grabensohle mit schwerem Gerät stark verdichtet und das Rohr nur locker mit Sand unterfüttert, ist dies ähnlich nachteilig wie ein Linienlager, bei dem das Rohr z.B. auf eine Betonplatte gelegt wird.

Horizontaler Erddruck und Seitenverfüllung

Neben der vertikalen Last sind auch die horizontalen Belastungen auf das Rohr zu betrachten, wobei diese weniger als zusätzliche Beanspruchung wirken, sondern das Rohr vielmehr seitlich abstützen. Dies betrifft zum einen die horizontalen Erdlasten, die jeder normale bindige und nichtbindige Boden aktiviert - je nach Verdichtungsgrad der Seitenverfüllung, meist in Größenordnung des Erdruhedrucks. Zum anderen betrifft dies bei sehr weichen Rohren aber auch noch weitere

Reaktionskräfte, die durch die horizontalen Verformungen seitlich im Boden aktiviert werden, der sogenannte Bettungsreaktionsdruck. Hier trägt das gesamte Rohr-Boden-System auch durch seine Verformungen zum Lastabtrag bei und es werden horizontale Spannungen zwischen Erdruhedruck und passivem Erddruck aktiviert. Dabei ist wiederum entscheidend, dass die Seitenverfüllung ausreichend gut verdichtet worden ist.

Kernaspekte auf der Baustelle

Auf der Baustelle sollte mit Blick auf die o.a. Zusammenhänge damit insbesondere auf die folgenden drei Punkte geachtet werden:

- Inwieweit wurde in der Statik mit **Silotheorie** und Reibung an den Grabenwänden gerechnet und wird diese Annahme auch in der Praxis umgesetzt? Eine Verbauspur führt z.B. zu Auflockerungen und reduziert die Reibung. Und wie dauerhaft ist der Bereich der Grabenwände, z.B. mit Blick auf künftige Baumaßnahmen?
- Ist die **Seitenverfüllung** gut verdichtet? Die Seitenverfüllung übernimmt drei wesentliche Aufgaben: Sie ist vertikale Stütze für die Lastverteilung. Sie ist mitverantwortlich für den Aufbau von horizontalen Erdlasten. Und sie dient für weiche Rohre als Bettungsfeder zum Aufbau eines weiteren horizontalen Bettungsreaktionsdrucks.
- Ist der **Auflagerwinkel** wirklich gleichmäßig ausgeführt? Linienlagerung ist zu vermeiden!

Kreisring-Balken-Statik: Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweis

In der weiteren statischen Berechnung werden aus den Belastungen die Umfangsspannungen am Rohr berechnet. Das Rohr kann als dreifach statisch unbestimmter Kreisring, d.h. als geschlossener gekrümmter Balken, angesehen werden, der von außen durch diese Spannungen belastet wird. Mittels Stabstatik lassen sich dann die Schnittgrößen berechnen, d.h. Momente, Querkräfte und Normalkräfte. Aus den Schnittgrößen ergeben sich bei bekannter Wanddicke die Spannungen im Rohrwerkstoff. Liegen diese unter der zulässigen Spannung des Werkstoffs, ist der Spannungsnachweis erfüllt. Weitere wichtige Nachweise sind bei weichen Rohren der Verformungsnachweis gegenüber maximalen vertikalen Verformungen und der Stabilitätsnachweis gegenüber einem gleichförmigen kritischen Außendruck.

Ingenieurbauwerk aus Graben und Rohr-Boden-System

Bei Ausschreibung und Bauüberwachung ist also mit Blick auf die Statik besonders zu beachten, dass die grundlegenden Annahmen im Modell auch mit der Realität übereinstimmen. Grundsätzlich handelt es sich ja um eine Rohr-Boden-Statik, d.h. das gesamte Rohr-Boden-System trägt mit und wird berechnet und bemessen. Nicht nur das Rohr muss somit die gewünschte Qualität haben, auch der Boden und die Ausführung des Grabens müssen alle Anforderungen erfüllen, die ihnen in der Statik zugewiesen werden. Statik hat somit Folgen für die praktische Bautechnik. Dies findet sich auch im bautechnischen Regelwerk wieder, so formuliert die europäische Norm EN 1610 explizit:

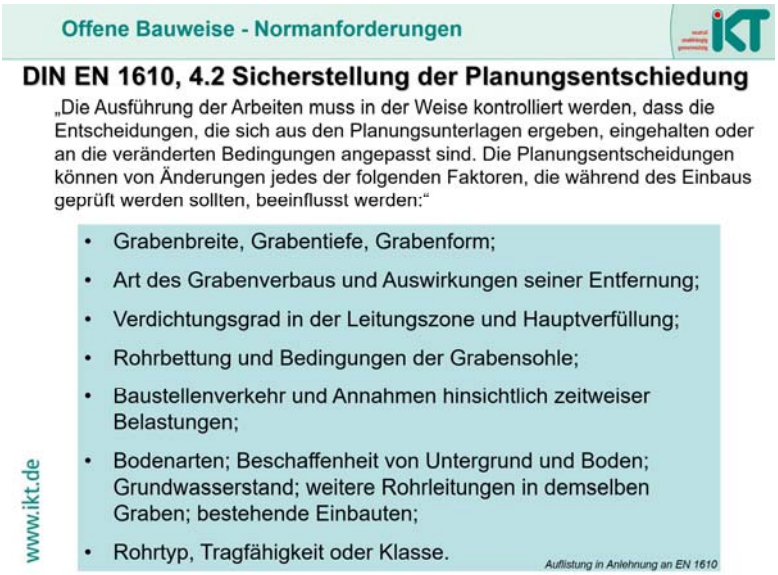
„Rohrleitungen und Schächte sind Ingenieurbauwerke, bei denen das Zusammenwirken von Bauteilen, Leitungszone, Abdeckung und Hauptverfüllung sowie anstehendem Boden die Grundlage für die Stand- und Betriebssicherheit ist.“

und

„Die zugelieferten Teile, wie Rohre, Formstücke und Dichtmittel, zusammen mit der am Ort zu erbringenden Leistung, wie Bettung, Herstellen der Rohrverbindung, Seiten- und Hauptverfüllung, sind jeweils wichtige Faktoren, damit die bestimmungsgemäße Funktion des Bauwerks über die geplante Nutzungsdauer sichergestellt wird."

Planungsentscheidung auf der Baustelle überprüfen

Darüber hinaus gibt die Norm EN 1610 weitere sehr konkrete Hinweise. Sie nennt konkret Beispiele dafür, dass die für die Standsicherheit bedeutsamen Planungsentscheidungen auch auf der Baustelle umgesetzt und überprüft werden müssen.



Die in der Übersicht dargestellten Faktoren stehen dabei in direktem Zusammenhang mit dem statischen Modell und seinen Annahmen:

Eine größere Grabenbreite erhöht die Vertikallast, nicht aber den Siloeffekt. Tiefere Gräben bringen zwar mehr Erdlast, aber bei den Spannungen aus Verkehrslasten kann es genau umgekehrt sein. Und der Verbau stört den Kontakt, insbesondere wenn er nachträglich gezogen wird. Eine schlechte Verdichtung des Bodens führt wiederum zu geringerer Steifigkeit und geringerer innerer Reibung. Und Rohrbettung und Grabensohle sind stets gemeinsam zu betrachten, um ein gleichmäßiges Auflager herzustellen.

Baustellenverkehr kann wiederum zu besonderen Belastungssituationen, z.B. bei flacher Überdeckung der Leitung, führen, so dass auch hierfür eine eigene Statik erforderlich werden kann. Bodenarten und Untergrund definieren wiederum die Materialkennwerte. Grundwasser beeinflusst darüber hinaus die Bodeneigenschaften oder führt zu besonderen Belastungssituationen wie Auftrieb oder zu speziellen Stabilitätsfragen.

Interessant ist, dass der Rohrtyp und seine Tragfähigkeit in EN 1610 erst als letztes Beispiel in einer langen Liste genannt werden. In der Praxis wird aber häufig bei Standsicherheitsbetrachtungen von „Rohrstatik" gesprochen, so dass der Eindruck entstehen könnte, das Rohr wäre der einzig entscheidende Faktor für die Standsicherheit. Dies ist aber gerade nicht der Fall, wie DIN EN 1610 auch mit der o.a. Einführung des Begriffs „Ingenieurbauwerk" unterstreicht.

Statik und Praxis müssen zusammenpassen

Im Gesamtblick bleibt somit festzuhalten, dass das Thema Standsicherheit von Kanälen und Leitungen viele bautechnische Aspekte berührt, von der Grabenform über den Verbau bis hin zur Verdichtung des Verfüllkörpers. Das statische Modell, das wir heute benutzen, ist anspruchsvoll, aber die Grundannahmen sind auch für Praktiker leicht zu verstehen. Daher lohnt es sich in der Praxis, die Annahmen der Statik kritisch zu prüfen. Steht in der Statik nämlich etwas ganz anderes, als vor Ort wirklich gebaut wird, besteht Handlungsbedarf.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

IV Neubau in grabenloser Bauweise – Überblick

Dieser Beitrag gibt einen ersten Überblick über die sogenannte „grabenlose Bauweise“, d.h. die grabenlose Verlegung von Kanälen und Leitungen. Als Einstieg werden drei Fragen angesprochen: Welche typischen Anlässe gibt es für das grabenlose Bauen? Wie sehen typische Anwendungsfälle aus? Wie lassen sich die angebotenen Verfahren unterscheiden?

Störungen vermeiden und auch bei großer Tiefe bauen

In unseren Städten ist es eng und auch der Untergrund wird stark in Anspruch genommen. Im Gehwegbereich liegen Versorgungsleitungen und Kabel, mitten unter der Straße finden sich große Kanäle, viele Bauwerke brauchen tiefe Fundamente und auch unsere Bäume haben weitreichendes Wurzelwerk im Untergrund. Wer hier weitere Leitungen in offener Bauweise verlegen will, stößt beim Grabenaushub und -verbau schnell an Grenzen. Darüber hinaus werden Störungen an der Oberfläche auch nur selten akzeptiert, da i.d.R. der Verkehr beeinträchtigt wird und Anwohner sich durch Lärm und Staub belästigt fühlen können. Störungen im Innenstadtbereich können darüber hinaus zu erheblichen Umsatzeinbußen für den Einzelhandel führen.

Grabenlose Bauweisen gewinnen vor diesem Hintergrund an Bedeutung, denn sie gestatten es, die Straßenoberfläche weitgehend zu erhalten und den direkten Zugang zu Gebäuden und Geschäften zu sichern. Meist beschränken sich die offenen Verfahren dann auf den Bau von sogenannten Start- und Zielbaugruben, zwischen denen die Rohrleitung unterirdisch und nahezu ohne Störung der Oberfläche eingebaut werden kann.

Weitere Anwendungsfälle sind z.B. die Unterquerung eines Flusses oder auch die Verlegung eines Kanals in großer Tiefenlage. Manche Hauptsammler müssen z.B. in Tiefen von 20-50 Metern verlegt werden. Wirtschaftlich sinnvoll kann dies nur ohne tiefe Gräben geschehen, da z.B. ein Graben von 5 Meter Breite und 20 Meter Tiefe bereit nach 10 Metern Grabenlänge auf 1000 Kubikmeter Bodenaushub kommt und auch die Kosten für den Verbau und die Grundwasserhaltung kaum zu tragen wären. Wird hier grabenlos gebaut, z.B. mittels Rohrvortrieb, müssen nur die Start- und die Zielbaugrube auf diese Tiefe abgeteuft werden. Auch dies kann teuer werden, der Gesamtaufwand für die Baumaßnahme ist dann aber deutlich geringer.

Störungen vermeiden und bei großer Tiefe wirtschaftlich bauen, das sind wesentliche Ziele für die grabenlose Bauweise.

Techniken und Verfahren unterscheiden: Bodenverdrängung, Steuerung, Mannschaft

Um Techniken und Verfahren der grabenlosen Bauweise zu unterscheiden, wollen wir uns zunächst zwei Beispiele betrachten und grundsätzliche Entscheidungskriterien herausarbeiten.

Das erste Beispiel ist der Bodenverdrängungshammer. Hersteller bezeichnen dieses Verfahren auch als Erdrakete oder Bodendurchschlagsrakete. Das Besondere ist, dass der Bodenverdrängungshammer ohne gesonderte Krafteinleitung auskommt und sich scheinbar völlig selbstständig seinen Weg durch das Erdreich bahnt. Dabei wird innerhalb des Gerätes mit Pressluft ein Gewicht nach vorne beschleunigt, das zunächst auf den Bohrkopf trifft, der z.B. Steine zertrümmert. Dann wird die verbleibende Energie auf die Gerätekonstruktion selbst übertragen, so dass sich der gesamte Hammer nach vorne schiebt. Das bewegliche Gewicht rutscht wieder zurück,

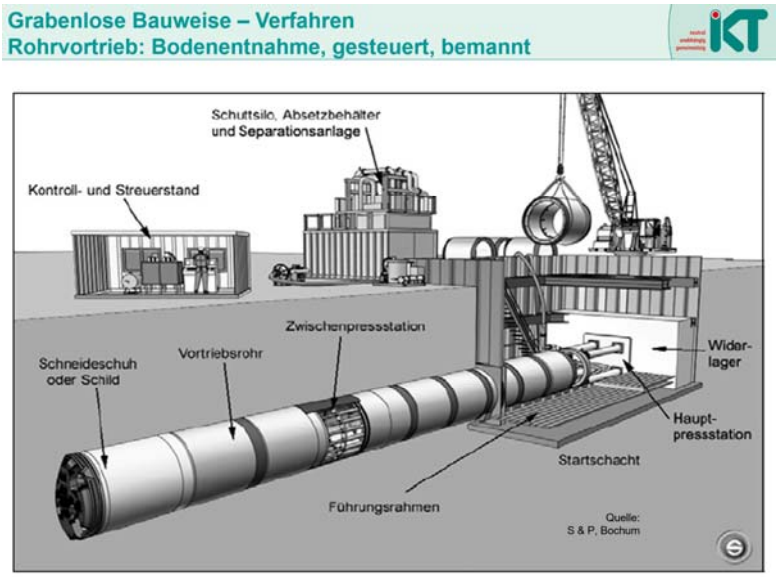
und das Ganze beginnt wieder von vorne. Im Detail gibt es viele Unterschiede und Feinheiten in der Maschinentechnik und entsprechend patentierte Ideen und Lösungen.

Für unseren Einstieg ins Thema sind drei Eigenschaften dieser Technik besonders interessant:

- **Bodenverdrängung:** Der Boden wird vorne am Hammer zu den Seiten verdrängt, d.h. der Boden verdichtet sich im Umfeld der Leitung erheblich.
- **Ungesteuert:** Der Hammer wird ohne besondere Steuerung eingesetzt. Der Maschinenführer setzt das Gerät in der Startbaugrube so ein, dass es auf das anvisierte Ziel zulaufen kann. Die Peilung ist im Bild auf die rot-weiße Latte gerichtet, der eigentliche Bauvorgang jedoch ungesteuert. Wird der Hammer im Boden abgelenkt, wird er auch mit Abweichung am Ziel ankommen. Bei kurzen Strecken ist die Abweichung geringer und meist vertretbar.
- **Unbemannt:** Der Durchmesser ist so klein, dass die Leitung nicht begehbar ist und das Verfahren unbemannt bleibt.

Insgesamt können wir das Verfahren „Bodenverdrängungshammer“ somit wie folgt charakterisieren: *Bodenverdrängung, ungesteuert und unbemannt*.

Das zweite Beispiel geht mit Blick auf diese drei Eigenschaften nun genau in die andere Richtung. Wir betrachten jetzt den sogenannten Rohrvortrieb. Beim Rohrvortrieb werden die Rohre in einer Startbaugrube nach unten gelassen und mit einer Hauptpressstation nach vorne gedrückt. Der Boden wird dann z.B. an der Ortsbrust mechanisch abgebaut, mit einer Lore zur Pressgrube transportiert und dort mit einem Kran an die Oberfläche befördert und entsorgt. Oder es wird eine Vortriebsmaschine eingebaut, die mit einem Schneidwerkzeug am sogenannten Schild den **Boden abbaut**, der dann durch den Rohrstrang in die Startbaugrube transportiert wird. Die Förderung des Bodens erfolgt dann z.B. mit einer Spülflüssigkeit durch eine Transportleitung bis zu einer Separationsanlage über Tage. Die Ortsbrust kann für die **Mannschaft** in beiden Fällen von innen zugänglich sein, z.B. zur Hindernisbeseitigung.



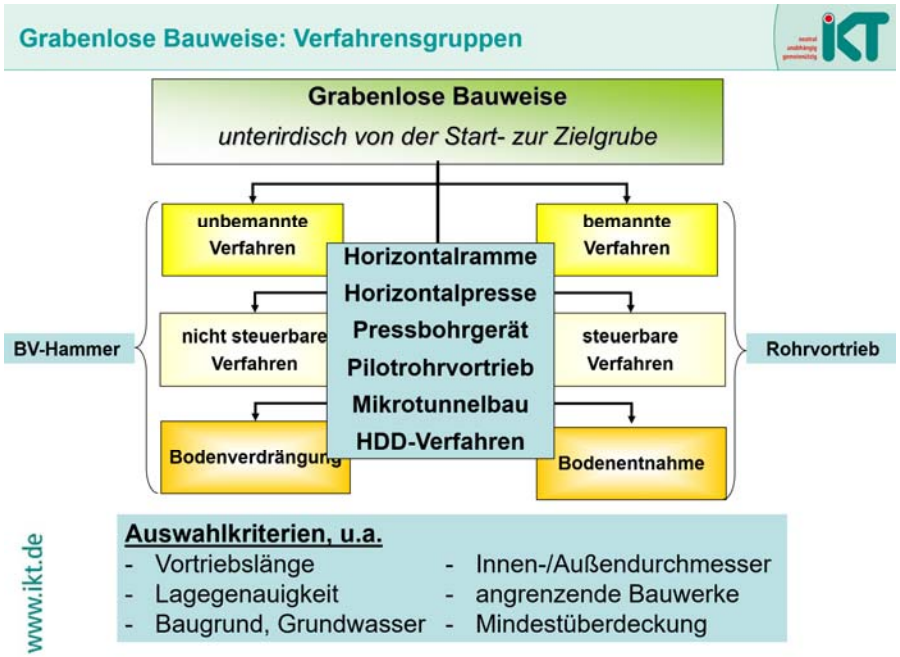
Beim eigentlichen Rohreinbau werden die Rohre eines nach dem anderen von hinten eingebaut und vorgeschoben. Die dabei entstehenden Reibungskräfte und die notwendige Anpresskraft am Vortriebsschild müssen durch die Pressenkräfte überwunden werden. Werden viele Rohre eingebaut, können die notwendigen Kräfte schließlich zu groß für die Hauptpressstation oder die einzubauenden Rohre werden, so dass Zwischenpressstationen in die Leitung eingesetzt werden. Damit wird der Vortrieb stufenweise weitergefahren, also immer im Wechsel zwischen den einzelnen (Zwischen-) Pressstationen, bis mit Abschluss des Vortriebs die Pressstationen ausgebaut und die Rohre zusammengeschoben werden.

Die Vortriebsmaschine selbst wird bei diesem Verfahren meist von einem Steuerstand an oder in der Startbaugrube gefahren, aber auch das **Steuern** an der Vortriebsmaschine ist möglich. Die Richtung des Vortriebs ergibt sich aus der Stellung des Schilds, der über eigene Steuerpressen zur Ausrichtung verfügt. Meist muss je nach Bodenverhältnissen mit erheblichen Abweichungen von der Solllinie gerechnet werden, so dass die Trasse nie ganz gerade ist, sondern jeder Rohrvortrieb einer Steuerung bedarf, selbst wenn keine Kurven explizit geplant worden sind.

Insgesamt gilt für das Verfahren „Rohrvortrieb“ mit Blick auf die oben eingeführten drei Kriterien: *Bodenentnahme, gesteuert, bemannt*.

Vielfältige Verfahren und Auswahlkriterien

Die nachstehende Grafik stellt den Gesamtzusammenhang dar. Dabei gilt, dass auch die grabenlose Bauweise i.d.R. nie vollständig geschlossen ist, sondern üblicherweise von einer Start- zu einer Zielbaugrube arbeitet; diese beiden Baugruben stellen noch immer eine gewisse Störung an der Oberfläche dar.



Unterschieden wird dann erstens in unbemannte und bemannte Verfahren, zweitens in nicht steuerbare und steuerbare Verfahren sowie drittens in Verfahren, die den Boden im Bereich der Leitung nur verdrängen, und solche, bei denen wir den Boden entnehmen und dann die Leitung in den entstandenen Hohlraum vordringt.

Viele weitere Verfahren nutzen eine Kombination aus den dargestellten Kriterien. Zu einigen typischen Verfahren seien als Überblick folgende Informationen zusammengefasst:

- Bei der **Horizontalramme** wird in der Startbaugrube hinter das Rohr eine Ramme angesetzt. Die Ramme wirkt dann ähnlich dynamisch wie beim Bodenverdrängungshammer, dieses Mal nur von hinten auf das letzte Rohr.
- Bei der **Horizontalpresse** wird ein offenes Rohr von hinten in den Boden eingedrückt. Der Boden kann dann nachträglich aus dem Rohr ausgespült werden.
- Beim **Pressbohrgerät** wird z.B. ein langes Stahlrohr vorgedrückt und gleichzeitig der Boden aufgebohrt und mit einer Förderschnecke abgebaut.
- Beim **Pilotrohrvortrieb** wird erst ein Bohrgestänge eingebaut und dann damit das neue, meist auch größere Rohr eingezogen.
- Der **Mikrotunnelbau** ähnelt dem Rohrvortrieb, er ist nur kleiner und unbemannt.
- Beim **HDD-Verfahren**, Horizontal Directional Drilling bzw. Spülbohrverfahren, wird vorne mit einem Spülkopf der Boden gelockert und dann mit der Spülflüssigkeit durch das Bohrloch am Spülgestänge vorbei zur Startbaugrube ausgespült. Die Spülflüssigkeit hat damit drei Aufgaben: sie löst, stützt und transportiert den Boden.

Bei der Auswahl der Verfahren sind insbesondere die folgenden Kriterien von Bedeutung:

- **Vortriebslänge**: Je länger der Vortrieb ist, umso eher erfordert dies ein steuerbares Verfahren, um große Zielabweichungen zu vermeiden.
- **Lagegenauigkeit**: Freispiegelkanäle müssen z.B. ein vorgegebenes Gefälle besitzen. Auch sind i.d.R. Mindestabstände zu anderen Bauwerken einzuhalten.
- **Baugrund und Grundwasser**: Boden und ggf. Grundwasser sind an der Ortsbrust zu stützen. Wasser in schwer durchlässigen Böden kann kaum schlagartig verdrängt werden (keine dynamischen Verfahren) und in manchen Böden ist das Steuern schwierig, wenn der Boden zu nachgiebig ist und als Widerlager zum Richtungswechsel fehlt.
- **Rohrdurchmesser**: Dieser spielt bei Bodenverdrängungsverfahren eine große Rolle, da er die Menge des zu verdrängenden Bodens mitbestimmt.
- **Verdichtbarkeit des Bodens und Mindestüberdeckung**: Bodenverdrängungsverfahren fordern die Verdichtbarkeit des Bodens, und zu geringe Überdeckungen können zu Bodenanhebungen und Schäden an der Oberfläche führen.

Die grabenlose Bauweise ist somit technisch anspruchsvoll und bietet viele Einsatzbereiche. Vieles was im Untergrund geschieht, sehen wir allerdings nicht. Umso wichtiger ist ein gutes Ingenieurverständnis für die zu erwartenden Vorgänge. Und jedes Verfahren hat hier seine eigenen Herausforderungen.

Weitere Informationen

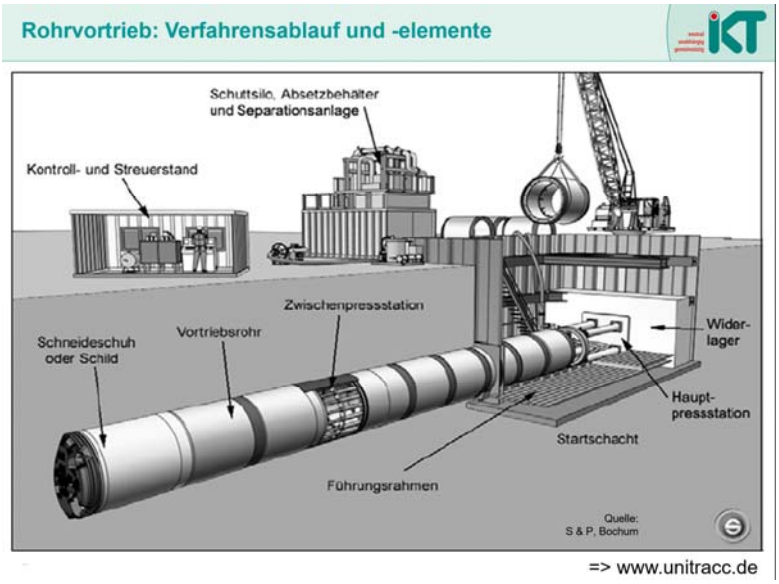
s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

V Grabenlose Bauweise – Rohrvortrieb

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns mit der sogenannten „grabenlosen Bauweise“, und dabei mit dem Rohrvortrieb. Drei Fragestellungen werden anhand von Beispielen behandelt: Wie läuft ein Rohrvortrieb ab? Welche technischen Zusammenhänge zeigen sich in der Forschung? Und worauf müssen wir bei der Qualitätssicherung besonders achten?

Verfahrensablauf und -elemente

Beim Rohrvortrieb werden Rohre in eine Startbaugrube herabgelassen und dann mit einer Hauptpressstation nach vorne gedrückt. Sie folgen einer Vortriebsmaschine, mit deren Schneidwerkzeug am Vortriebsschild der Boden abgebaut werden kann. Der abgebaute Boden wird z.B. mittels Spülflüssigkeit durch den Rohrstrang in die Startbaugrube transportiert. Die Transportleitung endet dann in einer Separationsanlage über Tage, in der der Boden wieder von der Spülflüssigkeit getrennt wird, so dass die Flüssigkeit wiederverwendet werden kann.



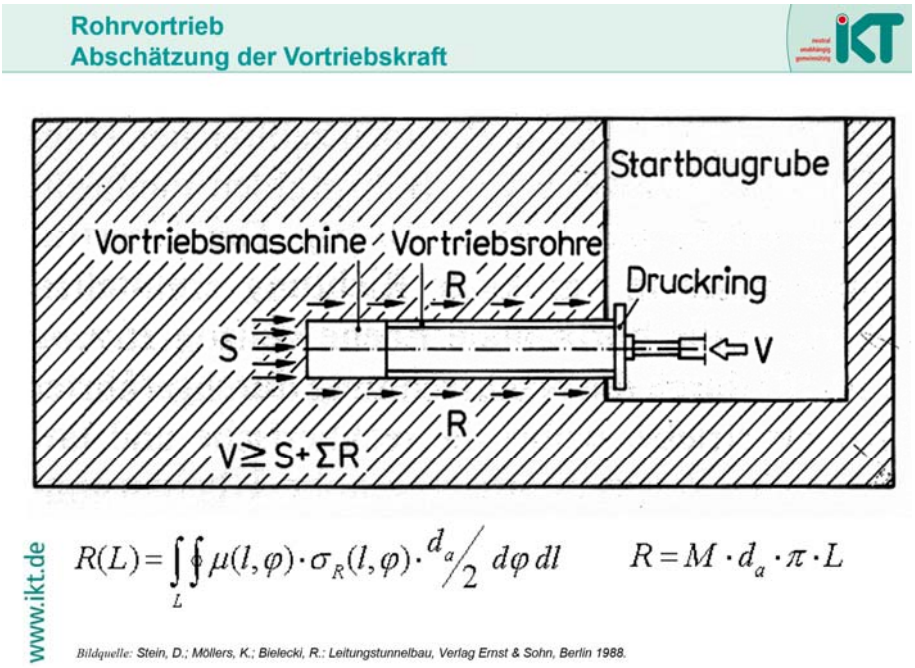
Die Pressstation muss bei diesem Verfahren grundsätzlich zwei Aufgaben erfüllen: Sie muss erstens die notwendige Anpresskraft für den Vortriebsschild aufbringen und zweitens die notwendige Kraft zur Überwindung der Reibung zwischen den Rohren und dem Boden erzeugen. Ist der Rohrstrang sehr lang, so können die hierfür notwendigen Kräfte die maximale Kraft der Hauptpressstation übersteigen oder auch die Rohre überlasten. In diesem Fall werden Zwischenpressstationen in den Rohrstrang eingebaut, mit denen der Vortrieb abschnittsweise gestaffelt erfolgen kann, d.h. im Wechsel zwischen den einzelnen Pressstationen. Nach Erreichen der Zielbaugrube werden die Pressstationen dann ausgebaut und der Rohrstrang komplett zusammengeschoben.

Die Vortriebsmaschine kann i.d.R. von einem Steuerstand an oder in der Startbaugrube oder auch direkt vorne an der Maschine gesteuert werden. Im Schild selbst befinden sich weitere Pressen, mit denen der Schild zur Steuerung positioniert werden kann. Je nach Bodenverhältnissen kommt es in der Regel immer zu kleinen Abweichungen von der geplanten Trasse, so dass auch bei eigentlich geradem Vortrieb stets Rücksteuerungen zur Solllinie notwendig werden. Der *gesteuerte Rohrvortrieb* ist damit die Regel, auch wenn keine besonderen Kurven geplant sind.

Vortriebskraft hängt von Ortsbrustwiderstand und Reibung ab

Nun stellt sich die Frage, mit welchen Kräften zu rechnen ist, die durch die Pressen aufgebracht und von den Rohren ertragen werden müssen.

In untenstehender Grafik sehen wir die Zusammenhänge veranschaulicht. Die Vortriebskraft V wird in der Startbaugrube in den Rohrstrang eingeleitet. Um sie zu erzeugen, brauchen wir Pressen und ein Widerlager. Das Widerlager leitet die Reaktionskräfte an der gegenüberliegenden Seite der Startbaugrube in den Boden ein.



Die Pressenkräfte müssen mindestens so groß sein, dass alle Widerstände am Rohrstrang überwunden werden:

Erstens betrifft dies den **Ortsbrustwiderstand S** vorne vor der Vortriebsmaschine. Der Druck muss hier mindestens so groß sein, dass der Boden nicht einbricht und er mit der Maschine auch gut abgebaut werden kann. Er darf nie größer sein als der sogenannte passive Erddruck, denn sonst bricht der Boden und es kann z.B. zu Hebungen an der Geländeoberfläche kommen. Der Ortsbrustwiderstand S wirkt vom Beginn des Vortriebs an in nahezu konstanter Größe.

Der zweite Widerstand beim Rohrvortrieb ist die **Reibungskraft R**. Alle Rohre werden durch den Boden geschoben, und zwar hintereinander. Damit muss der gesamte äußere Rohrstrangmantel am Boden vorbei gleiten und erzeugt einen entsprechenden Reibungswiderstand. Dieser Reibungswiderstand wird in der Regel durch Einsatz eines Schmiermittels reduziert. Mathematisch lässt sich der Widerstand dadurch beschreiben, dass die Reibungsspannungen über die Mantelfläche als Produkt aus Reibungsbeiwert und Radialspannung integriert werden. Allerdings kennt man i.d.R. nicht an allen Stellen des Rohrmantels die genauen Werte für Reibung und Spannung, daher wird in der Praxis meist aus Erfahrung auf Durchschnittswerte zurückgegriffen, so dass die Berechnung auch mathematisch einfacher zu handhaben ist. Vielfach wird eine empirisch bestimmte, spezifische Mantelreibung M mit der Mantelfläche multipliziert. Empfehlungen für den Wert M werden je nach

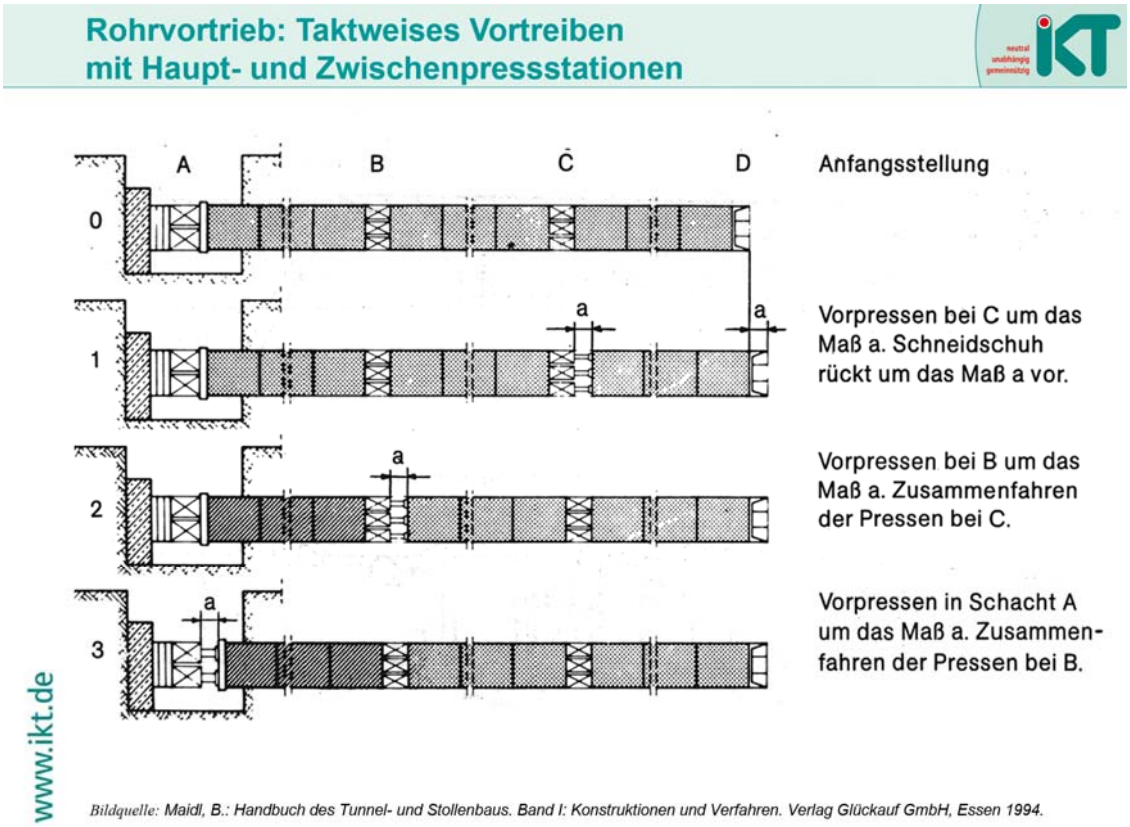
Bodenart, Tiefe und gewählter Schmierung des Rohrstrangs, i.d.R. eine Bentonit-Suspension, formuliert. Die Suspension wird über Schläuche transportiert und in regelmäßigen Abständen von innen durch die Rohrwand nach außen in den sogenannten Ringraum gepresst. Der Ringraum ist ein Spalt zwischen Rohr und Boden, der dadurch entsteht, dass die Vortriebsmaschine etwas größer ist als die Rohre.

Die Betonitsuspension muss allerdings nicht nur die Reibung herabsetzen, sie soll auch den Boden abstützen. Bentonit bietet hier besondere Vorteile, da es aus Tonmineralien und Wasser besteht, thixotrop ist und als typische Stützflüssigkeit im Tiefbau weit verbreitet ist.

Lange Vortriebe erfordern Zwischenpressstationen

Reicht die Pressenkraft ab einer gewissen Vortriebslänge nicht mehr aus, um die vorgenannten Widerstände zu überwinden, oder droht eine Überlastung der zuletzt eingebauten Rohre, so muss der Rohrvortrieb in Abschnitte geteilt werden. Hierzu kann z.B. aus mehreren Gruben hintereinander vorgepresst werden, so dass die Presse von Grube zu Grube „weiterwandert“. Eine weitere Lösung ist die Abschnittsbildung innerhalb des Rohrstrangs durch Einsatz von „Zwischenpressstationen“, wie eingangs bereits erwähnt. Diese Pressen werden zwischen zwei Rohren über den Rohrumfang eingebaut. Sie stützen sich am hinteren Rohr ab und drücken den vorderen Rohrstrang weiter nach vorne.

Der Ablauf eines Vortriebs mit mehreren Zwischenpressstationen ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Diese Lösung scheint zunächst eleganter, da keine weiteren Baugruben erforderlich sind, allerdings verzögert sich der Ablauf, so dass auch hier wirtschaftliche Grenzen erreicht werden.



Bildquelle: Maidl, B.: Handbuch des Tunnel- und Stollenbaus. Band I: Konstruktionen und Verfahren. Verlag Glückauf GmbH, Essen 1994.

Im Schritt 0 sind alle Pressen, also A,B,C, noch nicht ausgefahren. A ist dabei die Hauptpressstation und D ist vorne der Schneidschuh. Im ersten Schritt wird die Zwischenpressstation bei C soweit ausgefahren, dass der vordere Rohrabschnitt um das Maß a nach vorne geschoben wird. Der Schneidschuh muss den Boden entsprechend abbauen. Im zweiten Schritt wird dann die Zwischenpressstation B um a ausgefahren, so dass dabei die Station C wieder zusammengeschoben werden kann. Im Dritten Schritt kommt dann die Hauptpressstation A zum Einsatz. Sie drückt ebenfalls um a nach vorne, so dass alle Zwischenpressstationen wieder eingefahren sind. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis an der Hauptpressstation genügend Raum vorhanden ist, um das nächste Rohr einzubauen. Der Prozess beginnt dann wieder bei 0.

Kurvenfahrten stellen besondere Anforderungen an die Rohrverbindung

Kommen wir nun zu der Frage, welche besonderen technischen Risiken bzw. Aufgaben in diesem Prozess stecken. Das Vorgehen erschien bisher sehr übersichtlich und ingenieurtechnisch auch gut zu bemessen. Allerdings handelte es sich in den Beispielen auch stets um einen geradlinigen Vortrieb, d.h. ohne Baugrunderschwernisse, Hindernisse bzw. geplante Kurvenfahrten.

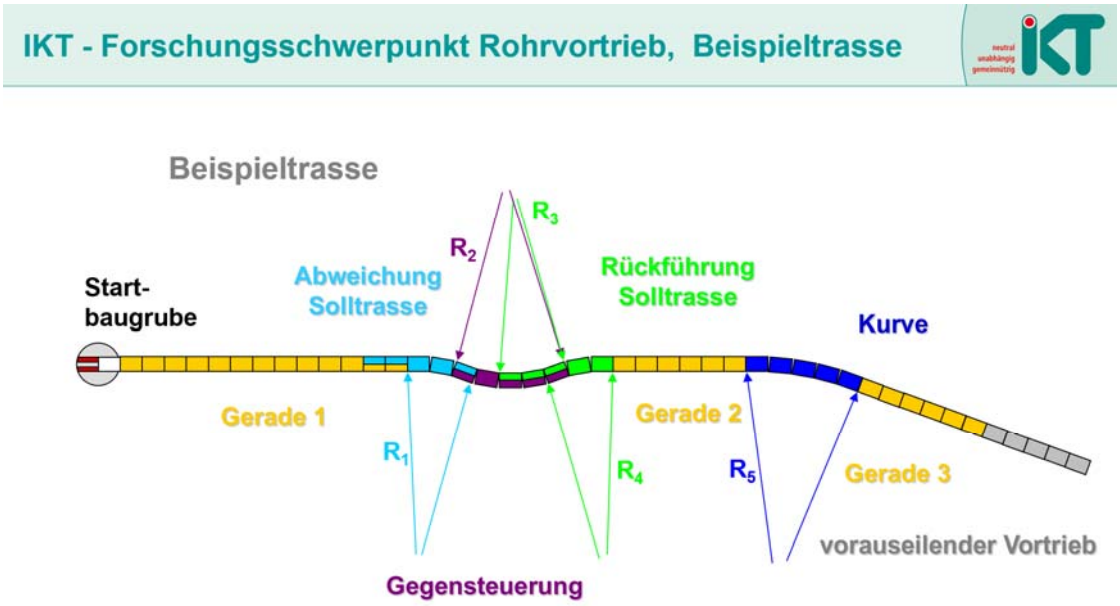
Und gerade bei Kurvenfahrten kommt den Rohrverbindungen eine besondere Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere für die Kraftübertragung zwischen den Rohren. In der Regel wird zur Kraftübertragung zwischen den Rohren auf den Rohrspiegel des vorderen Rohres ein spezielles Druckübertragungsmittel, z.B. aus Holz, montiert, das die Längskraft vom hinteren Rohr auf das vordere Rohr übertragen soll. Dieses Druckübertragungsmittel steht bei Kurvenfahrten unter extremen Belastungen, die sich wiederum auf die Rohrspiegel übertragen.

Auf dem u.a. Bild sehen wir ein Beispiel für einen Vortrieb mit Kurvenfahrt. Häufig wird eine solche Kurve geplant, um zum Beispiel horizontal Hindernissen auszuweichen oder vertikal ein anderes Bauwerk oder Gewässer zu unterqueren. In der Konsequenz müssen dann alle Rohre, die in der Trasse hinter dieser Stelle liegen sollen, auch durch diese Kurve hindurch fahren. Und dies birgt ein Problem: Die Rohre selbst lassen sich nicht um die Kurve biegen, da sie zur Aufnahme der Vortriebskräfte sehr steif ausgebildet sind und z.B. Bauteile aus Stahlbeton von vornherein nicht auf derart große Biegungen dimensioniert werden können. Die Krümmungen des Strangs müssen damit allein durch die Abwinklungen in den Rohrverbindungen realisiert werden. Dies bedeutet, dass die Druckübertragungsmittel in der Rohrverbindung an einer Seite stark zusammengepresst werden müssen, gleichzeitig aber Spannungsspitzen mit z.B. Abplatzungen des Betons zu vermeiden sind.

IKT Forschungsschwerpunkt Rohrvortrieb

Für die Qualitätssicherung stellen sich vor diesem Hintergrund mehrere wichtige Fragen: Wie groß sind die Abwinklungen? Welche Qualität müssen die Rohre haben? Und was für ein Druckübertragungsmittel brauchen wir? Gerade, wenn wir die Rohre auch durch planmäßige Kurven nach vorne pressen wollen. All dies wurde im IKT intensiv in einem eigenen Forschungsschwerpunkt untersucht, der durch den Wasserverband Emschergenossenschaft und das Umweltministerium Nordrhein-Westfalen unterstützt wurde.

Sämtliche Untersuchungen orientierten sich dabei an den Bedingungen der Praxis. Im ersten Schritt wurde eine ganze Reihe von Baumaßnahmen der Emschergenossenschaft analysiert, um typische Vortriebszustände und -szenarien zu bestimmen, für die eine besondere Qualitätssicherung relevant ist. Als ein Ergebnis wurde eine Beispieltrasse ausgewählt, in der alle Zustände möglichst repräsentativ zusammengefasst sind.

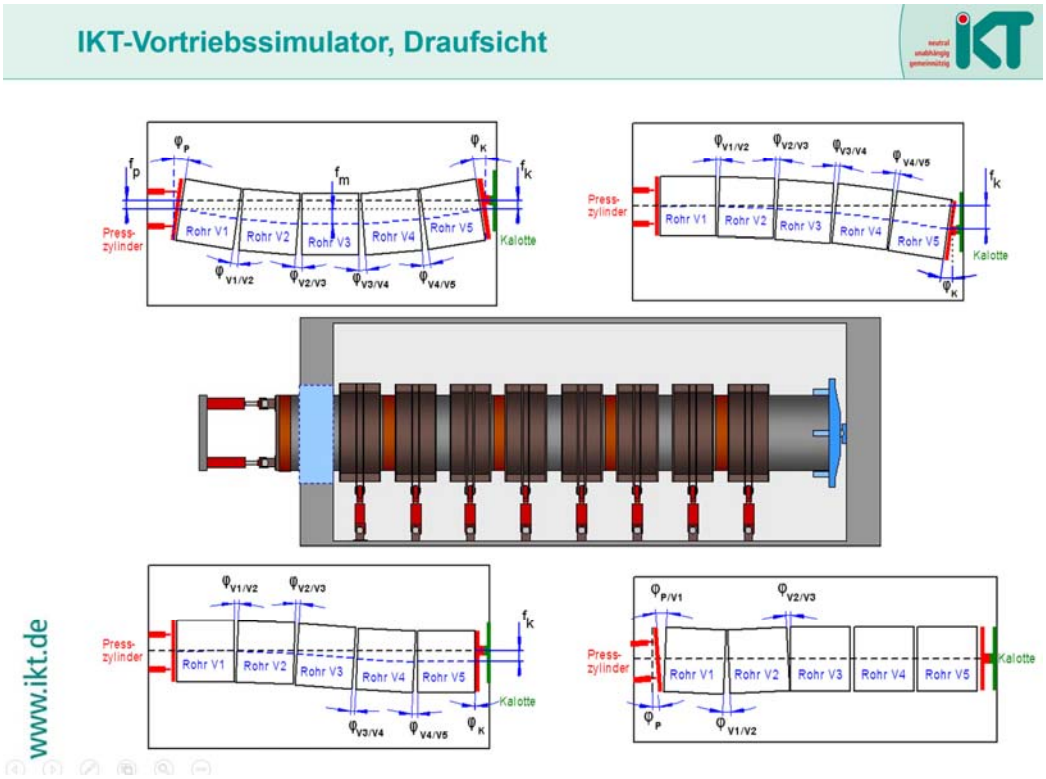


Bei diesem Beispiel werden die Rohre von links aus einer Startbaugrube zyklisch vorgepresst und durchfahren die Trasse in repräsentativen geometrischen Situationen. Zunächst werden die Rohre in einer Gerade belastet, anschließend erfahren sie eine Abweichung von der Solltrasse mit Gegensteuerung und Rückführung. Nach einer zweiten Gerade schließt sich dann eine planmäßige Kurve an, bevor der Vortrieb mit einer Geraden nach ca. 50 bis 100 Metern endet.

Simulation zeigt Verhalten in Kurvenfahrten

Das Durchfahren dieser Beispieltrasse wurde im Rahmen der Forschungsarbeiten im Maßstab 1:1 so simuliert, dass der Ablauf mehrfach wiederholt werden konnte und dabei eine Variation der Rohrstrangeigenschaften, z.B. durch Austausch des Drückübertragungsmittels, und somit ein Vergleich des Systemverhaltens möglich wurde.

Aus der Analyse der Baustellensituationen bzw. der Beispieltrasse war bereits bekannt, dass sich alle Situationen rein geometrisch gut nachempfinden lassen, wenn sie durch mindestens fünf Rohre abgebildet werden. Diese Erkenntnis wurde dann für den 1:1-Versuch entsprechend genutzt. Im Bild sehen wir eine Prinzip-Skizze des Versuchsaufbaus („IKT-Vortriebssimulator“, Draufsicht). Der Versuchsstand ist insgesamt 18 Meter lang und besteht außen aus einem massiven Stahlbehälter. Von links drücken die Vortriebspressen aus einem Widerlage auf den Rohrstrang. Der Versuchskörper selbst besteht aus 5 Vortriebsrohren, jedes Rohr hat einen Durchmesser von ungefähr 2 Metern.

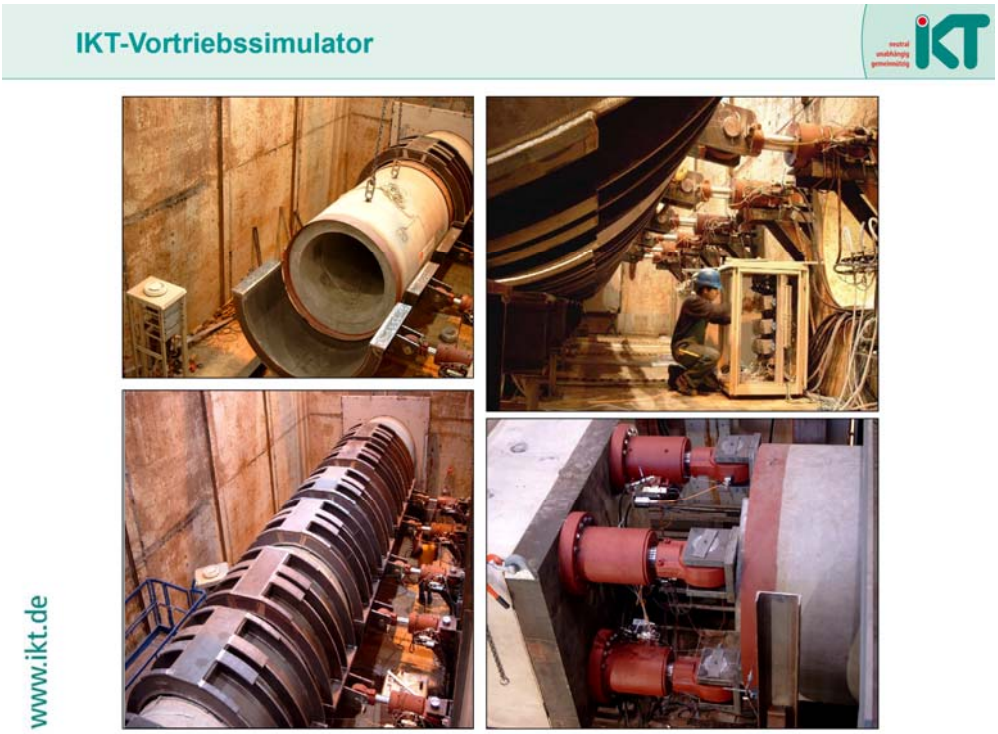


Rechts liegt das letzte Rohr dann in einem gelenkigen Auflager. Das linke Pressenwiderlager ist dabei in einer hier nicht abgebildeten Konstruktion außen so mit der rechten Stirnseite des Versuchsstandes verbunden, dass sich das ganze System unter Belastung verspannt und damit auch die Widerlagerkräfte im Versuchsstand selbst aufgenommen werden.

Neben den Vortriebspressen greifen seitlich acht weitere Pressen am Rohrstrang an. Diese Pressen sind mit Stahlringen verbunden, in denen die Rohre in Hydraulikkissen gelagert und gleichmäßig gehalten werden. Die Ringe selbst liegen auf PTFE-Platten und können mit den Pressen leicht zur Seite verschoben werden. Hierdurch lassen sich die Rohre so positionieren, dass alle wichtigen Vortriebszustände im Versuchsstand im Maßstab 1:1 simuliert werden können.

In der Folge kann auch die o.a. Beispieltrasse im Versuch mehrfach in identischer Weise durchfahren werden, so dass ein Vergleich des Rohrstrangverhaltens bei unterschiedlichen Rohr- und Druckübertragungsmitteleigenschaften möglich wird. Ein derartiger direkter Vergleich ist in der Praxis unmöglich, da dort die Bodenbedingungen und Trassenverläufe von Fall zu Fall voneinander abweichen.

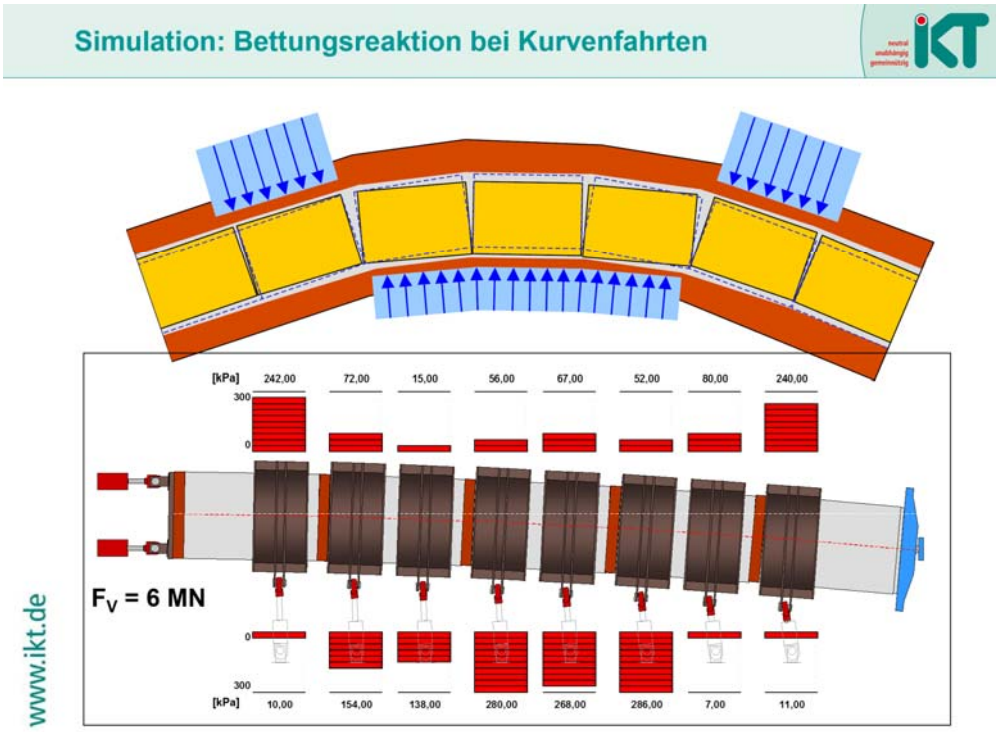
Die nachfolgenden Bilder zeigen die maschinentechnischen Einrichtungen des Versuchsstands. Links oben werden Rohre in die Stahlrahmen gelegt. Unter dem Rohr und an den Seiten sind entsprechende Hydraulikkissen als Bettung eingelegt. Links unten wird gezeigt, wie die Rohre hintereinander liegen und wie sie mit den Horizontalpressen positioniert werden können. Rechts oben ist der Messtechniker zu sehen, wie er direkt unter den Horizontalpressen arbeitet. Rechts unten sind die Hauptpressen und das Widerlager abgebildet, mit denen - durchaus repräsentativ für die Praxis -Vortriebskräfte von bis zu 8 MN aufgebracht werden können.



In Kurvenfahrten liegen die Rohre nicht in idealer Trasse

Nach Abschluss der Simulationen war insbesondere von Interesse, wie sich die Rohre in der planmäßigen Kurve verhalten und welchen Belastungen sie dort ausgesetzt sind. In der Statik gilt dies häufig als der kritische Zustand, auf den das ganze System bemessen wird, d.h. sowohl die Rohre als auch die Druckübertragungsmittel. Üblicherweise wurde dabei angenommen, dass die Rohre gleichmäßig verteilt in der Kurve liegen und an der Außenseite der Kurve eine gleichmäßige Bettungsreaktion erfahren – eine auf den ersten Blick auch logische Annahme, denn die Kraftresultierende der Vorpresskräfte sollte nach außen zeigen und eine gleichmäßige Bettung scheint naheliegend.

Die Versuchsergebnisse zeigten allerdings ein völlig anderes Verhalten des Rohrstrangs, wie das u.a. Bild veranschaulicht. Die Rohre werden am Kurvenanfang und Ende zwar an der Außenseite gehalten, die Rohre in der Mitte liegen allerdings an der Innenseite an und wollen sich offensichtlich gerade ziehen. Aufgrund dieser sehr unterschiedlichen Belastungen sind zwischen den ersten beiden Rohren erhebliche Querkräfte in der Rohrverbindung zu erwarten. Außerdem sind die Rohre nicht mehr gleichmäßig in der Kurve verteilt, so dass auch die Klaffungen und Spannungsspitzen in den Verbindungen ungleichmäßig sind. Die Rohrkinematik weicht damit deutlich von der bis dahin üblichen Idealisierung der Statik ab.

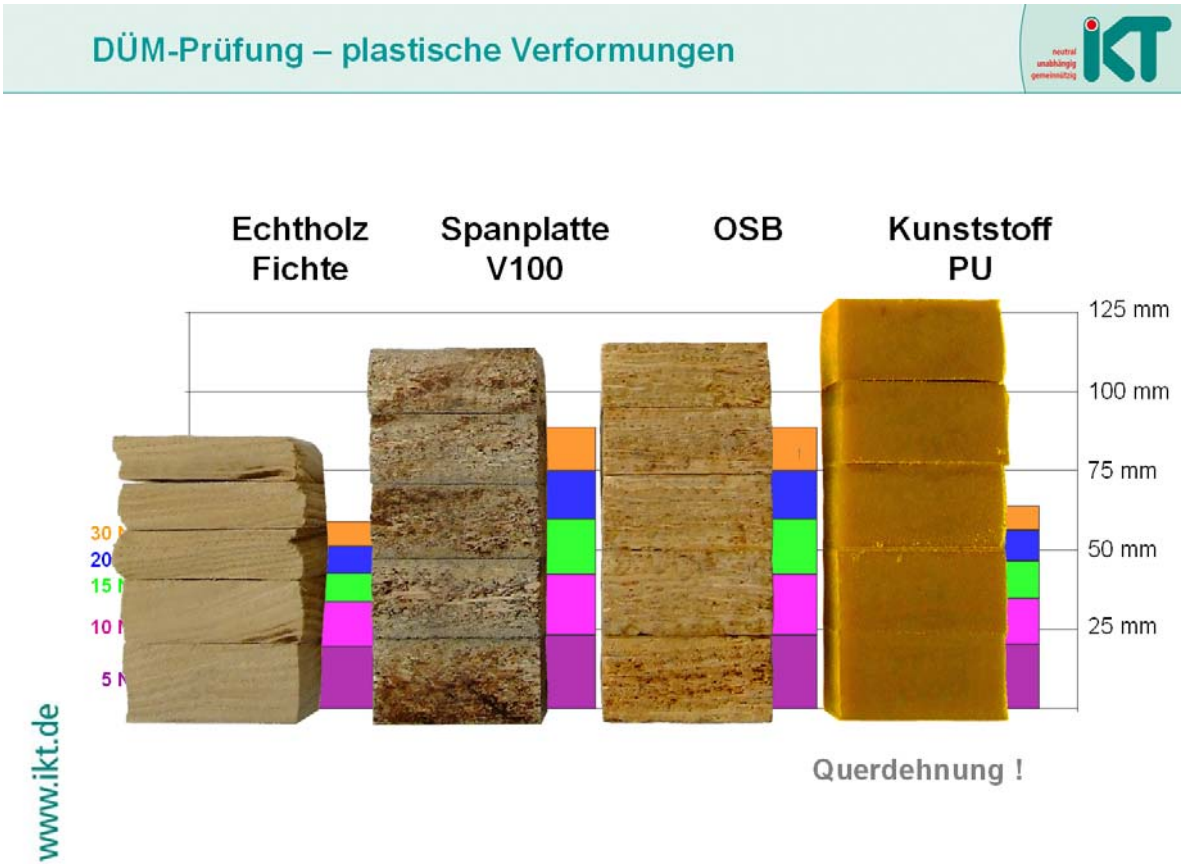


In einigen Rohrverbindungen ist somit mit größeren Klaffungen zu rechnen, und damit auch mit größeren Spannungen an der zusammengepressten Seite. Diese wichtige Erkenntnis hat entsprechend auch Eingang in das Regelwerk[1] und die Sicherheitsüberlegungen der Statiker gefunden.

Druckübertragungsmittel zeigen große Verformungsunterschiede

Ein weiteres Augenmerk gilt den Druckübertragungsmitteln (DÜM), die offensichtlich gerade bei Kurvenfahrten unter extremen Belastungen stehen können. Umfangreiche Untersuchungen der Druckübertragungsmittel zeigten dabei große Unterschiede im plastischen Verformungsverhalten der Probekörper. Für typische Vortriebsbelastungen wurden an Werkstoff-Proben u.a. fünf unterschiedliche Prüfungen durchgeführt. Im Bild sind Probestücke der getesteten Werkstoffe gestapelt abgebildet. Drei Stapel sind dabei aus einem Holzwerkstoff und einer aus einem Kunststoff, nämlich aus PU – also Polyurethan. Die Hölzer bestanden aus sogenanntem Echtholz, also unverarbeitet, sowie aus einer Spanplatte V100 sowie aus einer OSB-Grobspanplatte (OSB-Orientied strand board, „Platte aus ausgerichteten Spänen“).

[1] DWA A 161



Holz: plastische Verformung ohne Querdehnung; Kunststoff: viskoelastisch

Gerade Holz ist ein weitverbreiteter Werkstoff für den Einsatz als Druckübertragungsmittel beim Rohrvortrieb, da sich Holz plastisch verformt und damit gut einer rauen Oberfläche anpassen kann – eine Eigenschaft die insbesondere bei der Druckübertragung zwischen Betonrohren äußerst wichtig ist. Außerdem weist Holz eine geringe Querdehnung auf, so dass der Beton an der Pressfläche nur geringen Spaltzugkräften unterliegt. Kunststoff ist demgegenüber zwar vergleichsweise elastisch, bzw. viskoelastisch, allerdings können die hohen Querdehnungen zu übermäßigen Spaltzugkräften führen, so dass i.d.R. ein Blech zwischen Kunststoff und Beton eingelegt werden muss, damit der Beton nicht auseinander gerissen wird.

Im Versuch wurden sämtliche Proben 20 Mal belastet, die oberste mit 30 N/mm^2, die zweite mit 20 N/mm^2, die dritte mit 15 N/mm^2, die vierte mit 10 N/mm^2 und die fünfte mit 5 N/mm^2. Deutlich ist im oberen Bild zu erkennen, dass insbesondere das Echtholz extrem große bleibende Verformungen erfahren hat; die oberste Probe ist nach der Prüfung nur noch etwa halb so dick wie das schwach belastete Stück Echtholz. Der Kunststoff hat sich dagegen nach Entlastung wieder vollständig zurückverformt.

Die Prüfung bestätigt damit zwei Sachverhalte: Holz ist sehr plastisch, es wird sich bei Unebenheiten der Rohroberfläche gut anpassen und kann dabei auch einem hohen Druck widerstehen. Kunststoff verformt sich sehr elastisch und kann sich nach Entlastung wieder vollständig rückverformen. Allerdings erfordern hohe Querdehnungen auch kostspielige weitere Maßnahmen, wie z.B. den Einsatz einer Blechzwischenlage.

Beide Werkstoffgruppen, Holz und Kunststoff, haben ihre typischen Einsatzfelder. Für einen geraden Vortrieb ist Holz, insbesondere OSB, eine wirtschaftlich-sinnvolle Lösung, während bei wechselnden Kurvenfahrten vor allem Kunststoff seine Vorteile entfalten kann. Dies gilt insbesondere bei extremen Unterschieden in der Belastung der kurven-inneren und kurven-äußeren Seite. Denn wenn Holz in der Kurve innen stark überdrückt wird, entzieht es sich aufgrund seiner Plastizität in der nächsten Geradeausfahrt der Belastung, so dass die Vortriebskräfte allein über die plastisch noch unverformte Seite übertragen werden müssen. Diese Belastungsspitzen können durch den Einsatz eines stärker elastisch wirkenden Kunststoffes weitgehend vermieden werden.

Praxisbeispiel – Vortriebstrasse mit Kurvenfahrt

Im Bild ist beispielhaft eine typische Vortriebstrasse entsprechend der Planung abgebildet. Vom Startschacht soll über 480 Meter eine Trasse zum Zielschacht unten rechts aufgefahren werden. Die Rohre haben die Nennweite DN 1800 und von den 480 Metern sind 350 Meter als gerader Vortrieb geplant. 130 Meter der Trasse werden demgegenüber mit einem Radius von 130 Metern aufgefahren, offensichtlich damit die Trasse dem Straßenverlauf folgen kann.

Da im vorliegenden Fall nur eine einzelne planmäßige Kurve gefahren wurde, kamen auch hier OSB-Platten als Druckübertragungsmittel zum Einsatz, allerdings unter besonderer Beobachtung der Klaffung in den Rohrfugen. Hierzu wurden wie im Bild dargestellt mobile Messgeber zur Fugenspaltmessung eingesetzt. In regelmäßigen zeitlichen Abständen wurden die Fugen kontrolliert, um im Zweifelsfall anhand von Rückstellproben für den beobachteten Belastungsverlauf festzustellen, welche Spannungen tatsächlich in dem Holz und damit auch in dem Rohr herrschen.

Qualitätssicherung: Messung von Verformungen in den Rohrverbindungen

Bei längeren Vortrieben mit wechselnden Kurven kann es auch sinnvoll sein, einen Messgeber dauerhaft einzubauen. Im zweiten Bild sieht man den Einsatz einer Messdose zur Abstandsmessung. Diese wird in die Rohrverbindung an zuvor platzierten Lücken im Druckübertragungsmittel hineingeschoben. Die Messdose wird in diesem Fall oben im Scheitel eingebaut, um auch Kurvenfahrten in der vertikalen Ebene, d.h. Über- oder Unterbögen, zu überwachen.

Fazit

Im Gesamtblick bleibt festzustellen, dass der Rohrvortrieb ein vielseitiges Verfahren der grabenlosen Bauweise darstellt, das viele interessante technische Fragestellungen aufwirft. Dies betrifft die Hauptpressstationen, die Zwischenpressstationen und die Rohre sowie das Gleit- bzw. Stützmittel im Ringraum. Große Kräfte sind zu beherrschen, um den Widerstand an der Ortsbrust und die Reibung sicher zu überwinden. Im Startschacht brauchen wir entsprechende Widerlager und wir müssen mit dem Boden und dem Grundwasser umgehen können. Eine besondere Bedeutung bei der Kraftübertragung kommt dabei der Rohrverbindung zwischen den Rohren und dem Druckübertragungsmittel zu. Qualitätssicherung spielt hier eine große Rolle. Großversuche im Vortriebssimulator zeigen, dass eine Ideal-Kinematik in Kurvenfahrten nicht zu erwarten ist und große Klaffungen auch einen hohen Einfluss auf die Beanspruchung des Druckübertragungsmittels und damit auf die Belastung der Rohre haben.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

VI Sanierung – Ziele und Aufgaben

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns mit der Sanierung unterirdischer Kanäle und Leitungen. Als Einstieg wollen wir dabei fragen: Welche Sanierungsziele lassen sich definieren? Wie wird der Zustand erfasst und bewertet? Was erwartet uns in der Kanalbaupraxis als Sanierungsaufgabe?

Schäden können bis zur Oberfläche reichen

Warum müssen wir überhaupt die Netze sanieren? Im Kern geht es um den Erhalt der Betriebssicherheit, Standsicherheit und Dichtheit, über die geplante Restnutzungsdauer, mit vertretbaren Mitteln und unter Einhaltung rechtlicher Anforderungen.

Insbesondere wollen wir größeren Schäden und Beeinträchtigungen für Umgebung und Umwelt vorbeugen. Der Bedarf ist vielfach sehr augenfällig, denn viele Schäden an unterirdischen Kanälen und Leitungen zeigen bereits Auswirkungen an der Oberfläche. Auch wenn der Kanal noch gar nicht eingestürzt ist, kann durch Undichtheiten bereits Boden in die Leitung eingespült werden, bis an der Oberfläche sogar Löcher in der Straße entstehen. Im Bild unten rechts wird der Zusammenhang besonders deutlich. Offensichtlich ist die Leitung vom Straßeneinlauf zum Hauptkanal undicht und direkt unter dem Loch im Asphalt ist bereits Boden in die Leitung eingespült worden.

Aber nicht nur Kanäle und Leitungen müssen einen guten Zustand haben, dies gilt auch für die Schächte, gerade im Straßenraum. Liegt der Schachtdeckel nicht mehr glatt in der Straße, d.h. er ist abgesunken oder ragt heraus, so entstehen Gefahren z.B. für Zweiradfahrer.

Sanierung, ein Begriff, viele Interpretationen

Wie ist der Begriff „Sanierung“ nun im Normen- und Regelwerk definiert? Hier gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Normen, in der sehr unterschiedlicher Begriffe äußerst unterschiedlich definiert und geordnet werden. Als Beispiele seien hier genannt (mit Zitierung typischer Begriffe):

- DIN EN 13306:2018: „Begriffe der Instandhaltung“
  (Instandhaltung: Strategien – Präventiv / Korrektiv/ Geplant/ …)
- DIN 31051: 2019-06: „Grundlagen der Instandhaltung“
  (Instandhaltung: Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung)
- EN 16323:2014: „Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik“
  (**Sanierung**: Erneuerung, Renovierung, Reparatur)
- ISO 24516-1-3:2016/2017 in Verbindung mit EN 16323:2014:
  „Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems“
  (**rehabilitation**: renovation, repair and replacement)
- DVGW W 403 (2010-04):
  „Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen“ (**Rehabilitation**)
- DVGW G 403 (2013-03):
  „Entscheidungshilfen für die Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen“ (**Rehabilitation**)

Am umfassendsten wird der Begriff „Sanierung“ für die Kanalisation verwendet. Nach EN16323 gilt als Sanierung jede Form der Erneuerung, Renovierung oder Reparatur von Kanälen und Leitungen. Im englischen entspricht dies dem Begriff der rehabilitation mit den Unterformen replacement, renovation und repair. Die Definitionen nach EN16323 werden in ISO 24516-1 auch für Trinkwassernetze übernommen, allerdings handelt es sich hier bisher nur um einen englisch-sprachige Ausgabe. Im deutschsprachigen Raum werden im Trinkwasserbereich meist die Definitionen nach DGVW W 403, und für den Gasbereich nach DVGW G 403 verwendet, dort ist dann auch im Deutschen von Rehabilitation die Rede.

In dieser Skriptenreihe wollen wir uns am internationalen Sprachgebrauch nach EN 16323 orientieren, d.h. englisch: rehabilitation (repair, renovation, replacement) entspricht deutsch: Sanierung (Reparatur, Renovierung, Erneuerung).

Begrifflichkeiten nach EN 16323: 2014-07 (D/E/F)
„Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik "

Sanierung (engl. rehabilitation)
Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen, umfasst Renovierung, Reparatur und Erneuerung

Reparatur (engl. repair)
Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden

Renovierung (engl. renovation)
Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und Abwasserkanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz

Erneuerung (engl. replacement)
Herstellung neuer Abwasserleitungen und Abwasserkanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen

www.ikt.de

Anforderungen an die Sanierung wie bei einem neuen System: Standsicherheit, Betriebssicherheit, Dichtheit über die Nutzungsdauer

Im Einzelnen definiert die Norm EN 16323 den Begriff der Sanierung als

„Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen, umfasst Renovierung, Reparatur, Erneuerung"

Die Norm EN 752 konkretisiert des Weiteren mit Blick auf die Leistung einer Sanierung:

„Prinzipiell müssen die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen."

Und von neuen Systemen wird einiges erwartet. Bereits in der Einführung zu dieser Skriptenreihe haben wir dies diskutiert und drei Kernfunktionen bzw. Kernleistungen für alle Kanäle und Leitungen unterschieden, nämlich die Betriebssicherheit, die Standsicherheit und die Dichtheit - unabhängig davon, was eigentlich transportiert wird.

Betriebssicherheit heißt konkret: Die Leitung muss zuverlässig das tun, wofür sie gebaut wurde. In erster Linie bedeutet das, dass das transportierte Medium problemlos durch die Leitung fließt. Die Leitung darf also nicht verstopft sein, und ein Abwasserkanal muss auch ausreichend Gefälle haben. Die beiden weiteren Kriterien, Standsicherheit und Dichtheit, ergänzen dies und können auch direkten Einfluss auf die Betriebssicherheit haben. Alle drei Kriterien müssen wiederum über die

gesamte geplante (Rest-)Nutzungsdauer des Netzes zu vertretbaren Kosten und unter Erfüllung der rechtlichen Rahmenbedingungen erfüllt werden.

Der Begriff der Nutzungsdauer ist dabei von besonderer Bedeutung: Jedes Netz sollte in wirtschaftlich sinnvoller Weise für eine bestimmte Nutzungsdauer geplant werden, und alle technischen Leistungen werden über diese Nutzungsdauer erbracht. Dies gilt auch für die Nutzungsdauer eines sanierten Kanals oder einer sanierten Leitung. Die Wirtschaftlichkeit hängt dann von den Kosten ab, die während dieser Nutzungsdauer für Bau, Betrieb und Instandhaltung anfallen. Dabei ist zu beachten, dass der einzelne Rohrstrang nicht isoliert zur Betriebssicherheit beiträgt, sondern seine Leistungsfähigkeit stets von der Leistungsfähigkeit des Gesamtnetzes abhängt. Ist ein Kanal hydraulisch zu klein, hilft es wenig, ihn nur an einer Stelle zu vergrößern, wenn sich der Rückstau dadurch im Netz nur verlagert. Die Auslastung und Dimensionierung des gesamten Netzes umfasst Rohre, Pumpen und viele weitere Sonderbauwerke. Die Nutzungsdauer eines Bauteils kann bei veränderter Netzbelastung damit auch vor Ende der baulichen Dauerhaftigkeit in Frage stehen.

Während Betriebssicherheit und Nutzungsdauer also stets mit Blick auf die gesamte Netzentwicklung zu bewerten sind, lassen sich Dichtheit und Standsicherheit in der Regel lokal für die einzelne Kanalhaltung/Leitungstrecke bewerten. Die bautechnischen Anforderungen aus dem Neubau waren und sind dabei hoch:

Die meisten älteren Kanäle und Leitungen, die wir heute sanieren müssen, wurden im offenen Graben, also in offener Bauweise verlegt. Die Rolle des Rohr-Boden-Systems für die Standsicherheit haben wir ausführlich an anderer Stelle besprochen. Das betrifft die Abminderung der Auflast durch die Silowirkung, die hohe Bedeutung der Seitenverfüllung für die vertikale Lastaufteilung und den horizontalen Erddruck sowie die besonderen Bettungsreaktionen bei weichen Rohren und die Bedeutung des Auflagerwinkels. Fehler in diesem System führen zu Schäden und bei der Sanierung stellt sich die Frage, wie z.B. eine verlorene Steifigkeit des Rohr-Boden-Systems wiederhergestellt werden kann.

Mit Blick auf die Dichtheit wissen wir aus dem Neubau, welche hohen Anforderungen an die Wasserdichtheit gestellt werden, und wir kennen die Bedeutung von Prüffehlern für die Interpretation der Ergebnisse. Diese Situation verschärft sich insbesondere bei kleinräumigen (Reparatur-)Maßnahmen, wenn die betrachtete Rohroberfläche und damit auch die zulässigen Wasserzugabewerte nach Norm extrem gering sind. Messfehler liegen dann möglicherweise schon in der Größenordnung des Prüfkriteriums selbst.

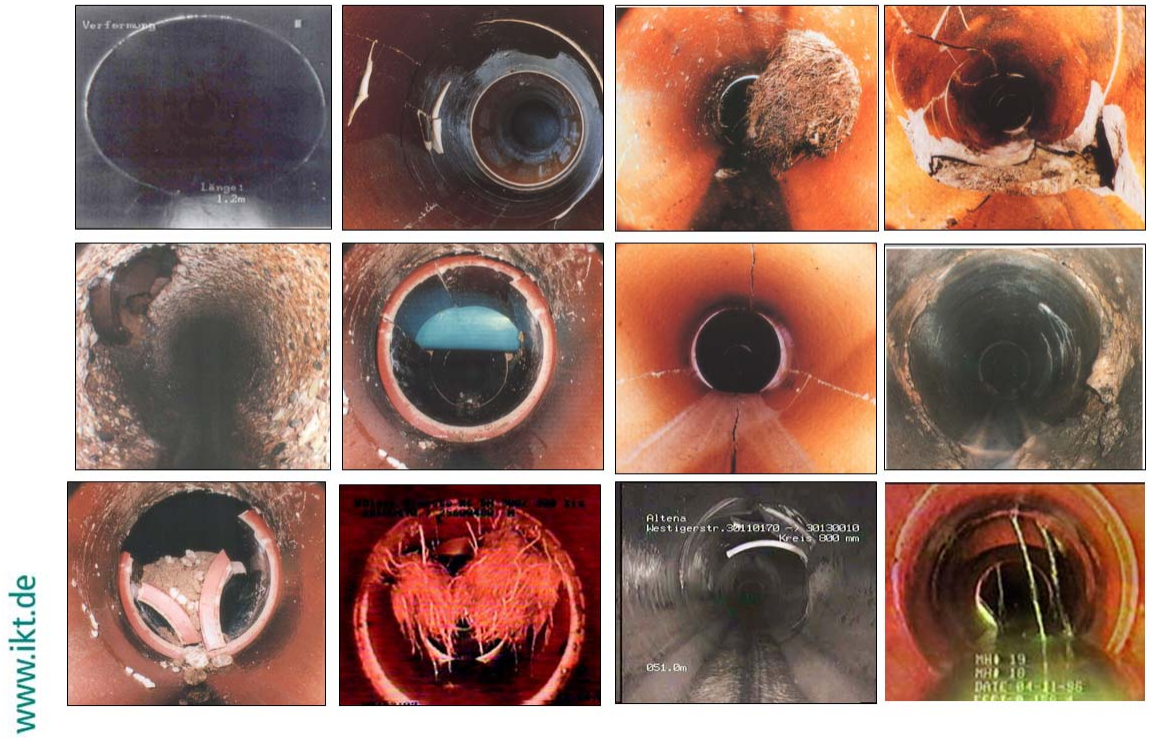
Kanäle und Leitungen müssen also auch nach Sanierung betriebssicher, standsicher und dicht sein. Im Umkehrschluss heißt das: wir müssen uns auch bei der Schadensbewertung fragen, welchen Einfluss ein Schaden auf diese drei Kriterien hat, denn hieraus leitet sich die eigentliche Sanierungsaufgabe ab, und damit auch die Auswahl eines passenden Sanierungsverfahrens, das z.B. die Standsicherheit verbessert oder den Leitungsabschnitt abdichtet oder die Durchgängigkeit der Leitung und damit die betriebliche Leistungsfähigkeit verbessert. Eine solche Schadensbewertung setzt aber zunächst eine entsprechende Erfassung des Zustandes der Kanäle voraus.

Zustandserfassung mit Kameras

Um den Zustand von Kanälen zu erfassen, werden diese Netze regelmäßig mit Kameras inspiziert, die auf Fahrwagen in den Kanal gefahren werden und die komplette Rohrwand abschwenken. Satellitenkameras erlauben es darüber hinaus, aus dem Hauptkanal in die Anschlussleitungen hinein zu fahren. Kamerasysteme mit Kugelscannern gestatten auch die vollständige Visualisierung und Nachbearbeitung am Computer. Ziel der Kamerabefahrung ist es, mögliche Schäden zu erkennen und eine Bewertung des Zustandes und Handlungsbedarfes zu ermöglichen.

Beispiele für Schadensbilder aus unseren Kanälen und Leitungen sehen wir auf nachfolgender Abbildung.

Schadensbilder, Beispiele



Schadensbewertung: Standsicherheit, Dichtheit, Betriebssicherheit, Nutzungsdauer

Mit Blick auf die Sanierungsaufgabe müssen wir uns nun fragen, welchen Einfluss die hier dargestellten Schäden auf unsere Leistungskriterien haben. Hieraus leitet sich dann ab, inwieweit wir ein Sanierungsverfahren benötigen, das z.B. die Standsicherheit verbessert, oder den Leitungsabschnitt nur abdichtet. Möglicherweise kommen wir auch an hydraulische Grenzen und wir müssen uns für unser Netz etwas völlig neues einfallen lassen.

Wie bewerten wir also z.B. die oben im Bild dargestellten Schäden und damit die Sanierungsaufgabe mit Blick auf Betriebssicherheit, Standsicherheit und Dichtheit, und mit Blick auf das Verhalten über eine längere Nutzungsdauer?

Links unten (3/1 - 3.Zeile, 1. Bild) sehen wir sehr deutlich: der Kanal ist eingestürzt. Die Bewertung scheint mit Blick auf alle Bewertungskriterien klar: Hier geht gar nichts mehr. Der Kanal ist nicht betriebssicher, denn der Einsturz bewirkt eine Verstopfung oder zumindest ein großes Hindernis. Der Kanal ist darüber hinaus auch weder standsicher, noch dicht. Es bricht sogar schon Boden ein. Entsprechend muss eine Sanierung beträchtliches leisten, denn sowohl Standsicherheit, Dichtheit und Betriebssicherheit sind wiederherzustellen. Und dabei ist nicht nur das Rohr, sondern das gesamte Rohr-Boden-System betroffen. Eine Aufgrabung und Neuverlegung der Leitung scheint unausweichlich.

Im Bild 1/2 ist ebenfalls ein Steinzeugrohr abgebildet, allerdings offensichtlich mit geringeren Schäden. Scheinbar hat hier etwas von innen oder von außen gegen die Wandung geschlagen. Links liegt die innere Rohrwandung frei und in Längsrichtung sind feine Risse erkennbar, nämlich bei 5 Uhr, bei 7 Uhr und auch bei 10 Uhr. Rechts ist das Weiße innerhalb der Rohrwand ebenfalls erkennbar, offensichtlich ist das Rohr über den gesamten Umfang gerissen und hat sich dabei etwas verschoben.

Am leichtesten ist in diesem Fall die Dichtheit zu bewerten, denn offene Risse führen unmittelbar zu Undichtheiten. Mit Blick auf die Standsicherheit liegen zwar keine großen Verformungen vor, die Risse bergen allerdings Risiken, denn auf Dauer kann Boden einbrechen und Instabilität die Folge sein. Die Betriebssicherheit ist demgegenüber kaum gefährdet. Gefälle und Querschnitt scheinen noch vollständig erhalten, lediglich an den offenen Stellen und Kanten könnten sich Feststoffe verfangen und dann Hindernisse bilden. Hinsichtlich der Sanierung liegt die Priorität damit auf der Abdichtung, auch um das Rohr zu stabilisieren, damit kein Boden eindringt, und um darüber hinaus die Fehlstellen so abzudecken, dass Sie hydraulisch keine Probleme verursachen. Wird eine Auskleidung von innen eingebracht, kann so auf eine Aufgrabung verzichtet werden.

Bild 2/3 zeigt ein typisches Schadensbild im Kanalbau, bei dem offensichtlich die vertikalen Lasten zu hoch für das Rohr-Boden-System waren. Rohre aus spröden Werkstoffen wie Steinzeug oder Beton brechen dann typischerweise mit vier Rissen: der erste Riss tritt in der Sohle auf und dann folgen unmittelbar der Riss im Scheitel oben und die Risse seitlich im sogenannten Kämpfer-Bereich. Die oberen und unteren Risse öffnen sich dabei an der Innenseite sehr stark. An den Seiten, im sogenannten Kämpferbereich, sehen wir demgegenüber nur eine schmale Bruchlinie, da sich das Rohr hier nach außen bewegt und die Risse sich entsprechend nur an der Rohraußenseite öffnen, während sie innen zusammengedrückt werden.

Eine Bewertung zeigt für das Bild 2/3 mit Blick auf die Dichtheit offensichtliche Undichtheiten aufgrund der Risse. Mit Blick auf die Betriebssicherheit bestehen kaum Beeinträchtigungen, es liegen nur geringe Verformungen bei nahezu unverändertem Querschnitt vor. Allerdings ist mit Wasserverlusten zu rechnen, da der größte Riss im Sohlbereich liegt. Die Bewertung der Standsicherheit wirft dann weitere Fragen auf, denn grundsätzlich gilt, dass ein Rohr mit diesen vier typischen Rissen eigentlich nur aus vier großen Scherben besteht und gar kein eigenständiges Rohr mehr ist. Offensichtlich würde das Rohr ohne den seitlich stützenden Boden zusammenfallen. Der Boden ist also ein wesentliches Element des Tragsystems und wirkt dabei wie eine Feder. Drückt die vertikale Auflast von oben auf das Rohr, weichen die Scherben seitlich aus und drücken wiederum in den seitlichen Boden. Der Boden reagiert dort mit Bettungsreaktionskräften und das Ganze wird stabilisiert. Entscheidend ist dabei natürlich, dass der Boden seine Stützwirkung dauerhaft und in ausreichendem Maße entfaltet. Keinesfalls darf also z.B. Boden durch die Risse einbrechen oder Boden neben dem Rohr entnommen werden. Bei Sanierung ist damit das Abdichten und Stabilisieren über die Nutzungsdauer von besonderer Bedeutung. Wiederum kann eine Auskleidung von Innen dabei helfen, allerdings werden dann eine genaue statische Betrachtung und der Nachweis des gesamten Rohr-Boden-Systems notwendig.

Im Bild 1/1 sehen wir ein völlig anderes Schadensbild. Der erkennbare Umriss lässt auf eine beträchtliche Verformung schließen. Konkret handelt es sich um ein Kunststoffrohr aus Polyethylen (PE-HD). Zu erkennen ist dies auch daran, dass die Rohrverbindung als Schweißverbindung hergestellt worden ist, an der das Kameralicht reflektiert (weißer Ring). Schweißen lassen sich insbesondere

Polyolefine, zu denen PE gehört. Viele andere Kunststoffe, wie z.B. PVC, lassen sich kaum oder gar nicht schweißen, so dass hier die Rohrverbindung meist gesteckt oder geklebt wird.

In der Statik werden Verformungen an Kunststoffrohren grundsätzlich erwartet, denn nur so kann die seitlich stützende Bettungsreaktion bewirkt werden. Allerdings rechnet man mit höchsten 6% vertikaler Verformung über die gesamte Nutzungsdauer. Im Bild erkennbar sind demgegenüber Verformungen von ca. 15 bis 20%, die entsprechend als Risiko für die Standsicherheit zu bewerten sind. Eine exakte Berechnung der Spannungen im Rohrwerkstoff ist aufgrund eines einzelnen Bildes aber nicht möglich, denn Kunststoff ist viskoelastisch, so dass die Spannungen nicht nur vom aktuellen Verformungszustand, sondern von der gesamten Verformungsgeschichte abhängen (vgl. Kriechen/Relaxation).

In der Praxis wird dann z.B. durch Wiederholungsinspektionen abgeschätzt, ob sich der Zustand kontinuierlich verschlechtert oder ein Gleichgewicht erreicht hat. Sind allein Einbaufehler ohne weitere Laststeigerung die Ursache für die Verformung, kann in Einzelfällen eine Verkürzung der Inspektionsintervalle und die kritische Beobachtung des weiteren Verformungsverhaltens als Sicherungsmaßnahme ausreichen. Grundlage ist dabei eine Risikoabschätzung mit Betrachtung der eventuellen Konsequenzen bei Versagen. Diese hängen wesentlich von der Umgebung und z.B. der darüber liegenden oder angrenzenden Bebauung ab.

Mit Blick auf die Betriebssicherheit fällt ins Auge, dass starke Verformungen das Querschnittsbild ändern. Allerdings gilt bis ca. 10% vertikaler Verformung, dass sich die Querschnittsfläche insgesamt kaum verringert, da es horizontal auch zu einer ähnlichen Verbreiterung kommt. Kritischer sind bei Freispiegelkanälen die Verformungen mit Blick auf die Lage der Rohre in Längsrichtung und das erforderliche Gefälle zu bewerten. Mängel im Querschnittsbild lassen auf Verdichtungsmängel in der Bettung schließen, und diese Verdichtungsmängel können auch die Lage in Längsrichtung beeinflussen, so dass Unterbögen oder sogar Gegengefälle entstehen. Demgegenüber kann die Dichtheit von Kunststoffrohren unter Verformung als weniger empfindlich als bei spröden Rohrwerkstoffen bewertet werden. Kunststoffrohre müssen geringfügige Verformungen planmäßig ohne Risse ertragen und auch die Rohrverbindungen sind i.d.R. auf geringfügige Verformungen ausgelegt.

Im Gesamtblick bleibt für das hier abgebildete Kunststoffrohr festzuhalten, dass bei übermäßigen Verformungen häufig nur die Risikobetrachtung mit Wiederholungsinspektion als Option bleibt, da eine Sanierung von verformten Rohren kaum möglich ist. Ansätze mit Vibration von Innen können zwar eine Rückverformung im Querschnitt bewirken, helfen aber nicht mit Blick auf die Lage in Längsrichtung und können durch die Erschütterung auch neue Unsicherheiten und Risiken mit sich bringen.

Bild 1/3 zeigt, wie Wurzeln von außen in ein Rohr eingewachsen sind, scheinbar durch einen seitlichen Anschluss. Das Hauptrohr ist zwar höchstwahrscheinlich völlig ungeschädigt, dennoch stellt die Situation eine Gefahr für die Betriebssicherheit dar, denn der Querschnitt ist in weiten Teilen versperrt und an den Wurzeln können sich darüber hinaus Feststoffe verfangen (Verstopfungsrisiko). Die Anschlussleitung selbst ist offensichtlich gar nicht mehr in Betrieb. Eine kurzfristige Abhilfe scheint durch Herausfräsen der Wurzeln mit einem Fräsroboter möglich, allerdings werden die Wurzeln i.d.R. immer wieder nachwachsen, so dass sich dieser Vorgang wiederholt. Eine Sanierung

ist nur möglich, wenn die Anschlussleitung einbezogen wird. Liegt diese bereits auf privatem Grund, stellt sich die Frage nach der Schadensregulierung, da der Schaden dann grundsätzlich von dem Privaten zu beheben bzw. zumindest der Aufwand von ihm zu bezahlen ist.

Bild 3/4 zeigt eine undichte Rohrverbindung, durch die Grundwasser von außen in das Kanalnetz einströmt. Solche unplanmäßigen Einleitungen werden auch als „Fremdwasser“ bezeichnet. Mit Fremdwasserzuflüssen ist grundsätzlich zu rechnen. Weitere typische Quellen sind Fehlanschlüsse sowie Oberflächenwasser, das an einem Kanaldeckel in den Schacht eindringt. Entscheidend für die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der Anlagen ist die zufließende Gesamtmenge. Bereits die hier abgebildeten Wasserstrahlen können viele Kubikmeter Fremdwasser am Tag zuführen und so ein Vielfaches der planmäßigen Zuflussmenge eines einzelnen Hausanschlusses. Liegen viele Schäden vor, steht die Betriebssicherheit in Frage, da Kanalnetz und Kläranlage hydraulisch überlastet werden und es zu Rückstau im Netz und/oder zu einer Beeinträchtigung der Reinigungsleistung von Kläranlagen und Regenbecken kommen kann.

Auch die Standsicherheit kann in Bild 3/4 langfristig gefährdet sein. Selbst wenn die Rohre im vorliegenden Fall noch scheinbar ungeschädigt und rissfrei sind, so kann die Standsicherheit des Rohr-Boden-Systems aufgrund von Bodeneinspülungen sehr wohl beeinträchtigt sein. Werden Bodenpartikel eingespült, kann dies sowohl die Bettung des Rohres schwächen als auch den Erdkörper über dem Rohr, mit in der Folge erheblichen Risiken für die (Fahrbahn-)Oberfläche.

Für die Sanierung stellt gerade der Fremdwasserfall aus Grundwasserzufluss eine besondere technische Herausforderung dar. Die Abdichtung muss gegen Außenwasserdruck erfolgen und das Sanierungsergebnis muss dem Außenwasserdruck auch langfristig unter möglicherweise steigendem Grundwasserspiegel standhalten. Zu diesem Thema werden am IKT regelmäßig Produkttest an Sanierungssystemen unter 1:1-Bedingungen durchgeführt. Denn nur dann, wenn die Abdichtung auch dauerhaft ist, hat eine Fremdwassersanierung tatsächlich Erfolg.

Fazit

Abschließend bleibt festzustellen, dass die Sanierungsziele im Kanal- und Leitungsbau äußerst anspruchsvoll sind. Wir erwarten grundsätzlich von einer Sanierung die gleichen Leistungen wie bei einem Neubau. Und das betrifft sowohl die Standsicherheit, die Dichtheit als auch die Betriebssicherheit des sanierten Bauwerks über die gesamte noch zu bestreitende Nutzungsdauer. Um eine Entscheidung treffen zu können, müssen wir den Zustand der Kanäle und Leitungen zunächst erfassen. Kanäle z.B. werden dazu regelmäßig mit Kameras befahren und die Kameraaufnahmen werden bewertet. Die Sanierungsaufgaben sind dann vielfältig und die eingesetzten Rohrwerkstoffe und Verbindungssysteme sehr unterschiedlich. Stets ist bei der Bewertung von Schäden das gesamte Rohr-Boden-System und auch das Grundwasser im Blick zu halten, und nur bei sachgemäßer Bewertung des Schadensbildes gelingt auch die Auswahl des richtigen Sanierungsverfahrens.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

VII Sanierung – Erneuerung

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns mit der Erneuerung unterirdischer Kanäle und Leitungen und wollen folgende Fragen beantworten: Wie ist unter Erneuerung zu verstehen? Wie lassen sich die Bauverfahren der Erneuerung unterscheiden? Wie funktioniert das Berstverfahren als ein Beispiel für Erneuerungsverfahren?

Erneuerung: Ersatz der alten Leitung unter Einbeziehung deren Funktion

Beginnen wir zunächst mit der Begrifflichkeit. Was versteht man unter Erneuerung? Und wie grenzt sich dies gegen andere Sanierungsverfahren ab? Wir wissen bereits aus früheren Skriptbeiträgen, dass Begrifflichkeiten sehr unterschiedlich definiert werden, je nachdem, ob wir allgemein über die Instandhaltung sprechen oder konkret über Maßnahmen in den Ver- und Entsorgungsnetzen. Sowohl in der Trinkwasserversorgung als auch der Abwasserentsorgung wird gegenwärtig auf die Definitionen nach EN 16323 „Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik“ verwiesen. Demnach wird die Erneuerung neben der Renovierung und Reparatur als Teilbereich der Sanierung angesehen und definiert als

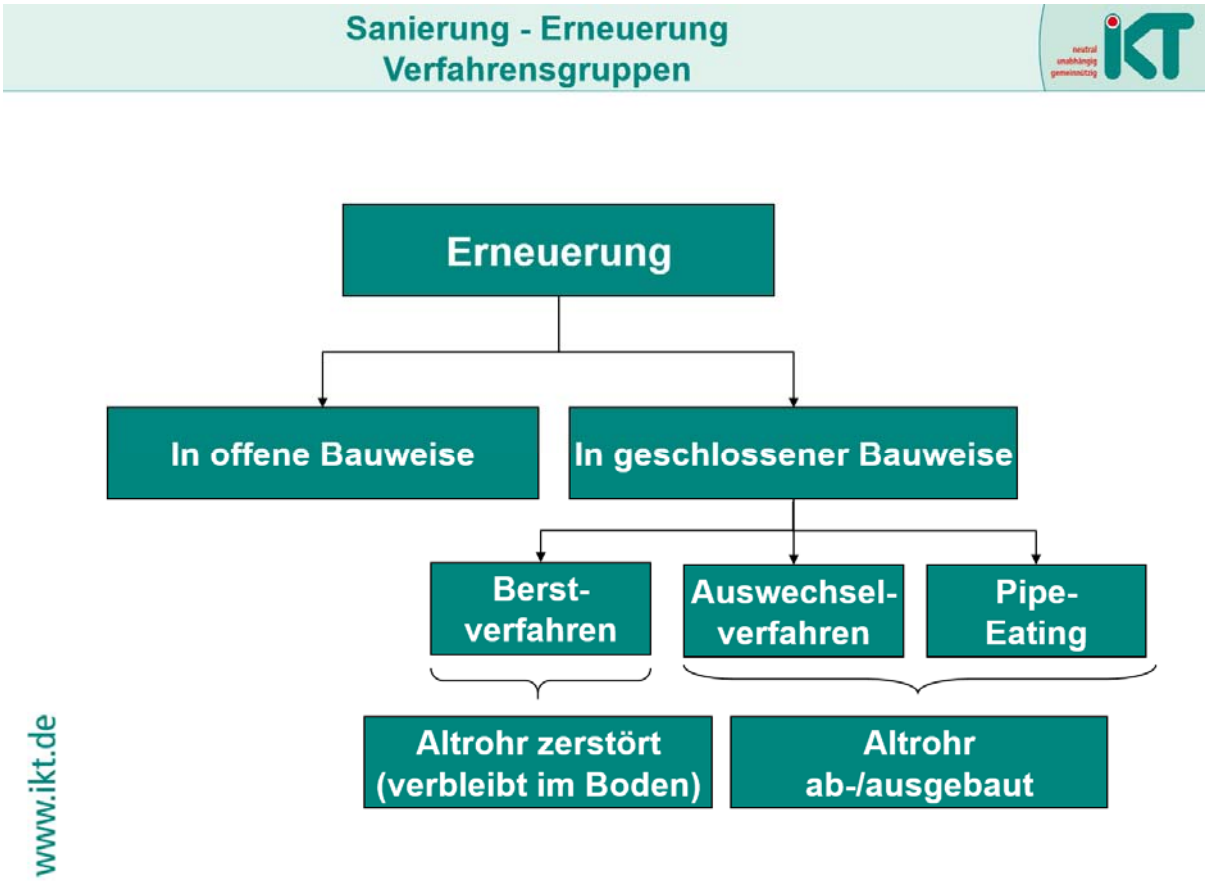
„Herstellung neuer Abwasserleitungen oder Abwasserkanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und Abwasserkanäle einbeziehen“.

Der Wort Ersatz fällt in der deutschen Fassung zwar nicht direkt, ist aber implizit angesprochen, denn die Funktion der ursprünglichen Kanäle bzw. Leitungen wird einbezogen und damit die alte Leitung entsprechend ersetzt. Allerdings soll die neue Leitung nicht nur diese Funktion ausfüllen, sondern auch mehr leisten dürfen. In der englischen Fassung der Norm ist von „replacement“ die Rede, dies entspricht im Wortsinne schon eher dem Sinn „Ersatz“.

Dabei gilt auch als Erneuerung, wenn die neue Leitung an einer völlig anderen Stelle gebaut wird und die Funktion der alten Leitung übernommen wird, denn das Netz leistet in diesem Fall ja nicht etwas vollständig neues, sondern wurde baulich wieder instand gesetzt und ggf. in der Funktion erweitert (z.B. Querschnittsvergrößerung).

Verfahren in offener und geschlossener Bauweise

Wie kann eine Instandsetzung durch Erneuerung nun konkret aussehen? Welche Verfahren sind hier grundsätzlich denkbar? Da es bei der Erneuerung um den Ersatz der alten Leitung geht, sind bautechnisch wie beim Neubau grundsätzlich zwei Varianten möglich: die offene Bauweise und die geschlossene bzw. grabenlose Bauweise.



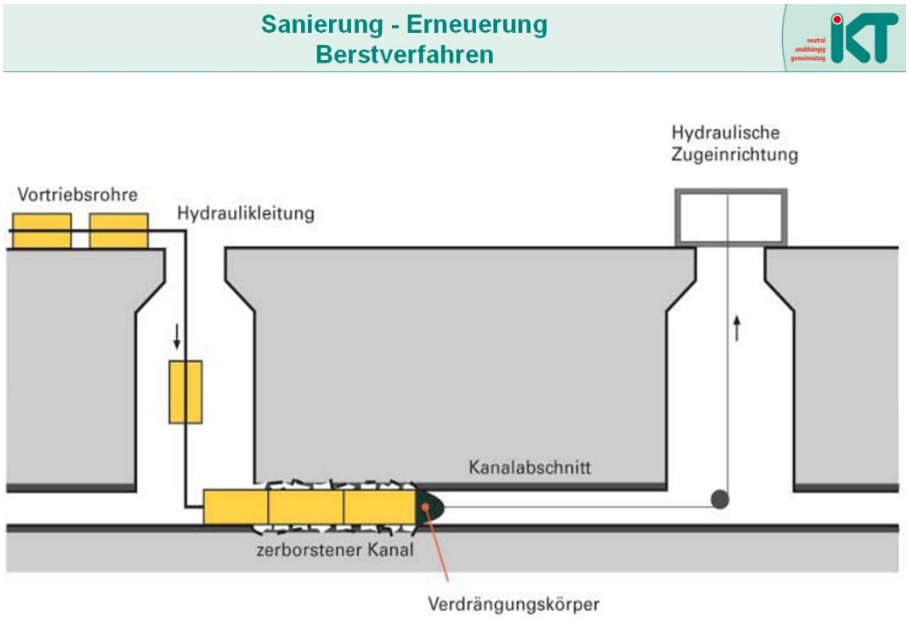
Die offene Bauweise weicht bei Erneuerung technisch zwar nur wenig vom Neubau ab, im Bestand kann es aber trotzdem besondere Herausforderungen geben. Möglicherweise kreuzen Leitungen im Untergrund und eine Abstimmung mit anderen Infrastrukturträgern wird notwendig, auch um die Straße nicht mehrfach aufreißen zu müssen.

Die geschlossene Bauweise ist eine weitere Option, um die Leitungen zu erneuern, und zwar ohne Gräben aufzureißen. Zum einen gibt es hier Verfahren, die sich stark an den Verfahren des Neubaus in geschlossener Bauweise orientieren. Hierzu gehört insbesondere das Pipe-Eating, bei dem das Altrohr durch den Abbau an der Ortsbrust ähnlich wie beim Rohrvortrieb abgebaut wird. Das neue Rohr liegt dann später in der gleichen Trasse, in der vorher das Altrohr lag, nur ist das Altrohr vollständig beseitigt worden. Auch beim Auswechselverfahren wird das alte Rohr ausgebaut. In diesem Fall wird es vor einem Schubkopf herausgeschoben, während gleichzeitig ein neues Rohr eingezogen wird.

Eine besondere Stellung für die Erneuerung in geschlossener Bauweise nimmt das sogenannte Berstverfahren ein. Dabei wird das Altrohr nicht ausgebaut, sondern durch einen Berstkopf zerstört und in den Boden verdrängt. Wie dieses Verfahren im Einzelnen funktioniert, soll nachfolgend erläutert werden.

Beispiel Berstverfahren

Nachfolgend sehen wir eine schematische Darstellung des Berstverfahrens.



Bei diesem Verfahren wird ein Verdrängungskörper durch die alte Rohrleitung gezogen. Die Zugvorrichtung kann dabei im Zielschacht angeordnet sein, oder über Tage in Verbindung mit einer Umlenkrolle im Schacht. Der Verdrängungskörper, oder auch Berstkopf, hat die Aufgabe, die alte Leitung aufzubrechen oder aufzuschneiden. Beispiele sind Steinzeug- oder Betonrohre im Kanalbau oder Graugussleitungen in Versorgungsnetzen.

Die Altrohrscherben werden beim Berstverfahren nach außen gedrückt und der gesamte Hohlraum so aufgeweitet, dass direkt hinter dem Berstkopf das neue Rohr eingezogen werden kann. Wahlweise können geschweißte Leitungen oder auch Kurzrohr-Stränge eingebaut werden. Drei Fragen sind dabei von Bedeutung:

1. Wie stark drückt der verdrängte Boden auf die Scherben? Durch den Verdrängungsvorgang entsteht ein hoher Erddruck.
2. Wie wirken die Scherben während des Einzugsvorgangs (Bauzustand) auf das Rohr? Die Scherben werden durch den Erddruck auf das neue Rohr gepresst, welches durch sein Vorbeiziehen an den Scherben einen erheblichen Abrieb mit Riefenbildung erfahren kann.
3. Wie werden die Rohre im Betriebszustand durch den Scherbendruck beansprucht? Für Druckleitungen, z.B. im Wasser- und Gasbereich, ist insbesondere die Überlagerung der Zugspannungen aus punktuellem Scherbendruck und planmäßigem Innendruck von Bedeutung.

Berstverfahren erzeugt Rohr-Boden-Scherben-Interaktion

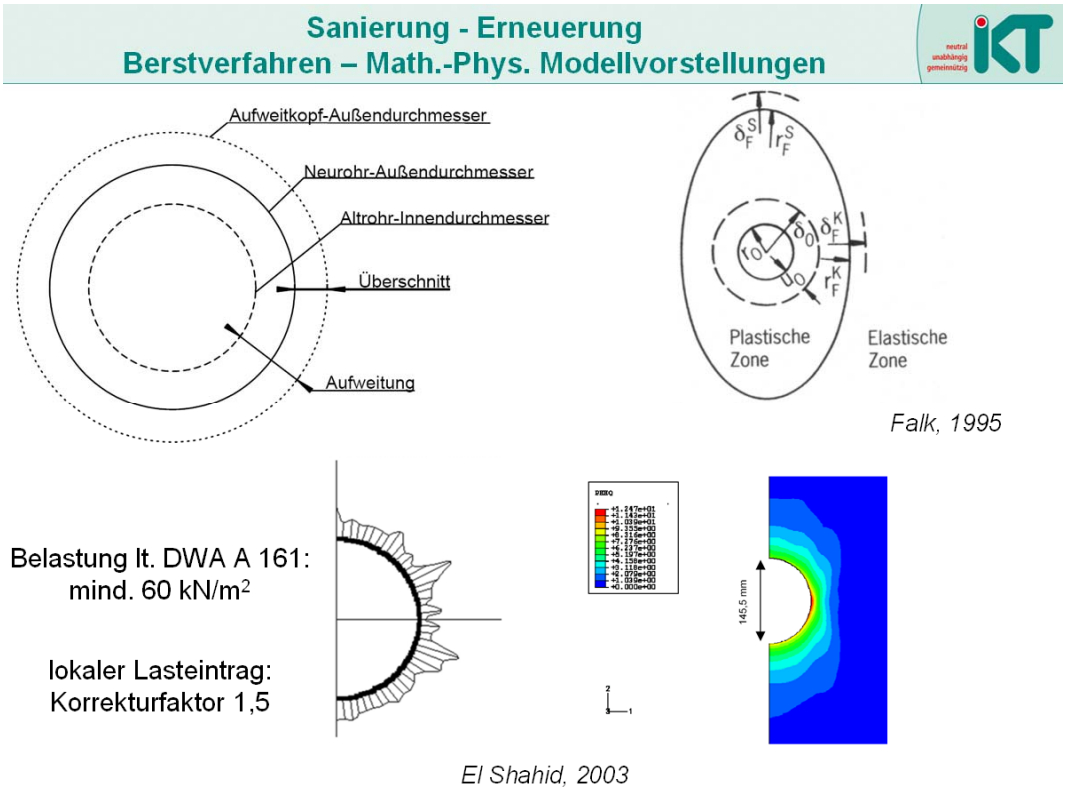
Am IKT wurden zur Rohr-Boden-Scherben-Interaktion beim Berstverfahren umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Auf Baustellen wurde zunächst ermittelt, mit welchen Scherbenbildern grundsätzlich zu rechnen ist. Nachfolgend ist ein typisches Bild für ein mittels Berstverfahren aufgebrochenes Betonrohr dargestellt.

Das Rohr ist in viele einzelne Scherben zerbrochen, die rund um das Rohr liegen. Nicht immer ist das Bild so gleichmäßig, zum Teil werden Scherben auch während des Berstens mitgerissen, so dass sich kleinere Scherbenhaufen bzw. auch scherbenfreie Bereiche ausbilden. In jedem Fall bilden sich aber Kontaktpunkte zwischen Scherben und Rohr, die für die Rohrbeanspruchung von besonderer Bedeutung sind.

An den Kontaktpunkten bilden sich beim Rohreinzug Riefen auf den Neurohren, die eine kritische Größe nicht überschreiten dürfen. Die Rohre werden daher auch mit einem Schutzmantel versehen, wie er oben auf dem Bild für ein Trinkwasserrohr zu sehen ist. Auch hier sind Riefen deutlich erkennbar, sie haben aber nur den Schutzmantel beschädigt und nicht das eigentliche Produktrohr.

Zur Qualitätskontrolle empfiehlt es sich, eine Rohrprobe in der Zielbaugrube zu entnehmen, denn diese Rohre sind bereits durch die komplette Einzugstrecke gelaufen und haben so den maximalen Abrieb erfahren. Sind hier keine Beschädigungen des Produktrohres zu erkennen, so ist höchstwahrscheinlich auch der übrige Rohrstrang ungeschädigt.

Darüber hinaus ist beim Berstverfahren zu hinterfragen, welche Beanspruchungen das Neurohr aus den Punktlasten an den Scherben-Kontaktpunkten erfährt und wie wir die Rohre darauf bemessen und prüfen können. Dies wurde in IKT-Forschungsprojekten umfassend untersucht und die auftretenden mathematisch-physikalischen Phänomene wurden in Modellvorstellungen beschrieben. Ziel war es, den Druck zu bestimmen, der vom Boden auf die Scherbe und über die Scherbe schließlich auch auf das Rohr wirkt. Im nachfolgenden Bild sehen wir dazu oben zwei Skizzen nach Falk, um diese Zusammenhänge zu veranschaulichen.



Links sehen wir geometrische Größen, die über den Umfang beschreiben, in welcher Weise ein Berstkopf durch den Boden dringt, die Scherben verdrängt und ein Rohr im Schutze des Berstkopfs eingezogen werden kann. Innen ist der Altrohr-Innendurchmesser gestrichelt eingezeichnet. Der Aufweitkopf wird in der Regel so gewählt, dass sein Außendurchmesser beträchtlich größer ist als der Innendurchmesser des Altrohres, um einerseits das Rohr aufbrechen zu können und die Scherben nach außen zu drängen, aber auch andererseits, um den Querschnitt im Sinne der Erneuerung vergrößern zu können. Der Außendurchmesser des Aufweitkopfs ist im Bild gepunktet als äußerer Kreis eingezeichnet. Die gesamte Aufweitung entspricht dem Abstand zwischen dem Außendurchmesser des Aufweitkopfes und dem Innendurchmesser des Altrohres, denn die Innenwand des Altrohres wird gerade soweit nach außen geschoben, dass der Aufweitkopf hindurchpasst. Die Aufweitung entspricht also dem Maß, um das eine Scherbe und damit auch der Boden nach außen gedrückt werden.

Das neue Rohr (durchgezogene Linie) wird dann hinter dem Aufweitkopf eingezogen. Sein Außendurchmesser ist i.d.R. etwas kleiner als der aufgefahrene Hohlraum, um Reibung zu mindern. Diese Differenz wird als Überschnitt bezeichnet und sie ist in der Regel kleiner als die Aufweitung. Der Boden wird also zunächst stark um das Maß der Aufweitung nach außen gedrückt, um sich anschließend um das geringere Maß des Überschnitts zurückzuverformen. Für die Modellierung des Erddrucks ist dieser Zusammenhang von elementarer Bedeutung.

Rechts sehen wir, wie die Erddruckentwicklung von Falk beschrieben wurde. Es wird angenommen, dass der Boden beim Aufweiten zunächst elastisch und dann bei größerer Verformung auch plastisch verformt wird. Da sich Spannungen und Verformungen radial nach außen ausbreiten, nimmt die Stauchung des Bodens proportional zum Abstand ab. Entsprechend entsteht unmittelbar im Umfeld

des Rohres durch große Dehnung eine plastische Zone, während mit größerem Abstand und geringeren Dehnungen nur noch elastische Verformungen auftreten.

Dieses elastisch-plastische Verformungsverhalten des Bodens hat zur Folge, dass sich auch bei einer vollständigen Entlastung im Überschnitt lediglich die elastischen Verformungen zurückbilden, der plastische Verformungsanteil aber bestehen bleibt. Entsprechend verformt sich der Boden hinter dem Aufweitkopf zwar in den Überschnitt zurück, das Spannungsniveau ist aber deutlich niedriger als ohne vorherige Aufweitung. Theoretisch könnten die elastischen Rückverformungen im Überschnitt sogar vollständig abgebaut werden, wenn die plastischen Vorverformungen groß genug waren. Dies kann allerdings wiederum zu einem Bruchverhalten im Boden führen (Hebungen, Senkungen) und wird in der Praxis vermieden.

Erdlast beim Berstverfahren mit Standardverfahren abschätzbar

In der unteren Bildreihe der gleichen Folie sehen wir Ergebnisbeispiele aus Berechnungen von El Shahid, die für typische Geometrien und Überschnitte beim Berstverfahren durchgeführt wurden. Im rechten Bild einer FEM-Berechnung ist zu erkennen, wie sich die plastische Zone um das Rohr ausdehnt. Links sehen wir eine hieraus berechnete Erddruckverteilung.

Im Forschungsvorhaben konnten u.a. zwei Dinge nachgewiesen werden:

- Zum einen kann beim Berstverfahren mit dem klassischen Erddruckansatz nach dem Regelwerk für den Rohrvortrieb, z.B. dem Arbeitsblatt A 161, bereits eine sehr gute Näherung erzielt werden.
- Zum anderen sollte aufgrund der Aufweitung immer von einer Mindestspannung von 60 kN/m^2 im Boden ausgegangen werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Erddruck nicht direkt auf das Rohr wirkt, sondern über die Scherben auf das Rohr drückt. Wenn im Boden eine lokale Belastungsspitze herrscht, so wird diese zunächst über eine einzelne Scherbe als große lokale Flächenlast und dann über Punktlasten auf das Rohr wirken. Als Abschätzung zur sicheren Seite wird hier ein Laststeigerungsfaktor von 1,5 für derartige lokale Effekte vorgeschlagen.

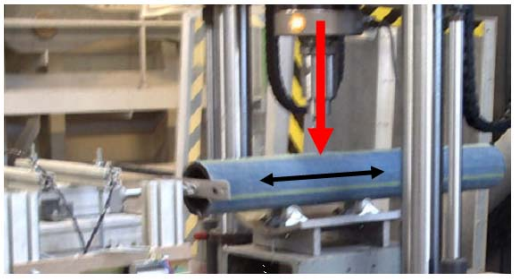
Im Ergebnis kann so die Last ermittelt werden, mit der der Boden auf eine Scherbe wirkt. Können die Scherbengröße und die Anzahl der Kontaktpunkte abgeschätzt werden, lässt sich dann die Größe der Punktlast auf das Rohr ermitteln. Entsprechende Tabellenwerte sind für typische Rohrwerkstoffe, wie Steinzeug, Beton oder Guss, verfügbar. Schlussendlich können auch die Rohre im Vorfeld auf ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Punktbelastungen geprüft werden. Das betrifft sowohl den Widerstand gegen Abrieb beim Einbau als auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber dauerhafter Zugspannung an der Innenwand aus äußerer Punktbelastung.

Rohre auf Scherbenabrieb prüfen

Auf dem nachfolgenden Bild ist oben ein typischer Aufbau für Abriebversuche dargestellt. Das Rohr wird vertikal von oben durch eine Prüfspitze mit der zu erwartenden Punktlast gedrückt. Die Prüfspitze weist dabei eine Geometrie auf, die einem typischen Kontaktpunkt einer Altrohr-Scherbe entspricht. Unterschiedliche Prüfstempel, z.B. für Steinzeug-, Beton- oder Gussrohrscherben, sind verfügbar. Das Rohr wird dann in der Prüfeinrichtung unter dieser Auflast zyklisch mehrmals an der Spitze vorbeibewegt. Die Lastwechselzahl wurde im Vorfeld anhand von Baustellenproben so

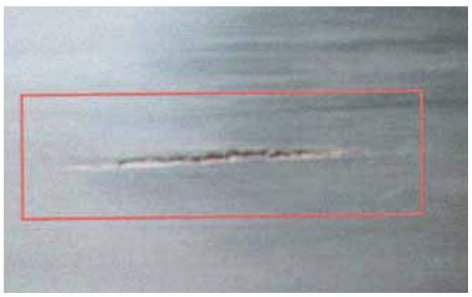
kalibriert, dass dies typischen Baustellenbedingungen entspricht. Im Ergebnis ist dann zu erkennen, ob das gewählte Rohr bzw. der gewählte Schutzmantel wirklich für die rauen Bedingungen des Berstverfahrens geeignet ist.

Prüfung auf Punktbelastung: Abrieb und Spannungsrisse



Abrieb, außen:

- **lokale Belastung (> 1,5 x 60 kN/m² x $A_{\varnothing}$)**
- **stand. Prüfspitze (Altrohr)**
- **kalibrierte Lastwechselzahl**



Spannungsrisse, innen:
(Druckleitungen):

- **Zeitstand-Innendruckversuch**

www.ikt.de

Punktbelastungen für Druckrohre kritisch: Zugspannungsüberlagerung

Die zweite Belastung betrifft das Spannungsbild im Rohr selbst. Wenn wir von außen mit einer Punktlast drücken, dann führt das zu Zugspannungen an der Innenseite des Rohres. Für drucklos als Freispiegelleitung betriebene Kanalrohre stellt diese Beanspruchungen auch langfristig i.d.R. kein besonderes Problem dar. Kritischer ist dies allerdings bei planmäßiger Innendruckbelastung, wie sie z.B. bei Versorgungsleitungen üblich ist. In diesem Fall überlagern sich die Zugspannungen aus Innendruck mit den Zugspannungen aus Punktlast, so dass in der Summe übermäßige Beanspruchungen auftreten können.

Auf dem unteren Bild der gleichen Folie sehen wir einen typischen Spannungsriss, der im Versuch an der Innenseite des Rohres aufgetreten ist. Das Rohr wurde dabei sowohl unter Innendruck gesetzt als auch von außen eine Punktlast aufgebracht. In der Versuchspraxis wird dies als sogenannter „Zeitstand-Innendruckversuch“ umgesetzt. Unter hohen Temperaturen von ca. 80° C kann dabei ein schnelleres Versagen provoziert werden, so dass im Zeitraffer auch Betriebsdauern von z.B. 50 Jahren schon während eines Jahres nachempfunden werden können.

Fazit

Unter dem Begriff Erneuerung verstehen wir grundsätzlich den Ersatz einer alten Leitung durch Verlegung einer neuen Leitung mit gleicher oder erweiterter Funktion. Bauverfahren können zur offenen oder geschlossenen Bauweise gehören. Auch in geschlossener Bauweise kann das Altrohr

ausgebaut werden, oder aber es wird wie beim Berstverfahren zerstört und im Untergrund belassen. Das Berstverfahren bietet dabei die Möglichkeit, neue Rohre mit größeren Durchmessern in geschlossener Bauweise direkt in die Altrohr-Trasse einzuziehen. Die Belastungen durch den Boden auf die Altrohr-Scherben und schließlich auf das Rohr sind im Vorfeld abzuschätzen und die Rohre auch entsprechend für diese Belastungen zu prüfen.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

VIII Sanierung – Reparatur

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns mit der Sanierung unterirdische Kanäle und Leitungen mittels Reparaturverfahren und wollen folgende Fragen beantworten: Wie lässt sich der Begriff der Reparatur definieren? Welche Schadenbilder lassen sich typischerweise mittels Reparatur beheben? Welche Verfahren gibt es und wie wirken sie?

Reparatur ist eine einzelne örtliche Maßnahme

Beginnen wir zunächst mit der Begrifflichkeit. Was versteht man unter Reparatur? Und wie grenzt sich dies gegen andere Sanierungsverfahren ab? Sowohl in der Trinkwasserversorgung als auch der Abwasserentsorgung wird gegenwärtig auf die Definitionen nach EN 16323 „Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik“ verwiesen. Demnach wird die Reparatur neben der Renovierung und Erneuerung als Teilbereich der Sanierung angesehen und definiert als

„Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden“.

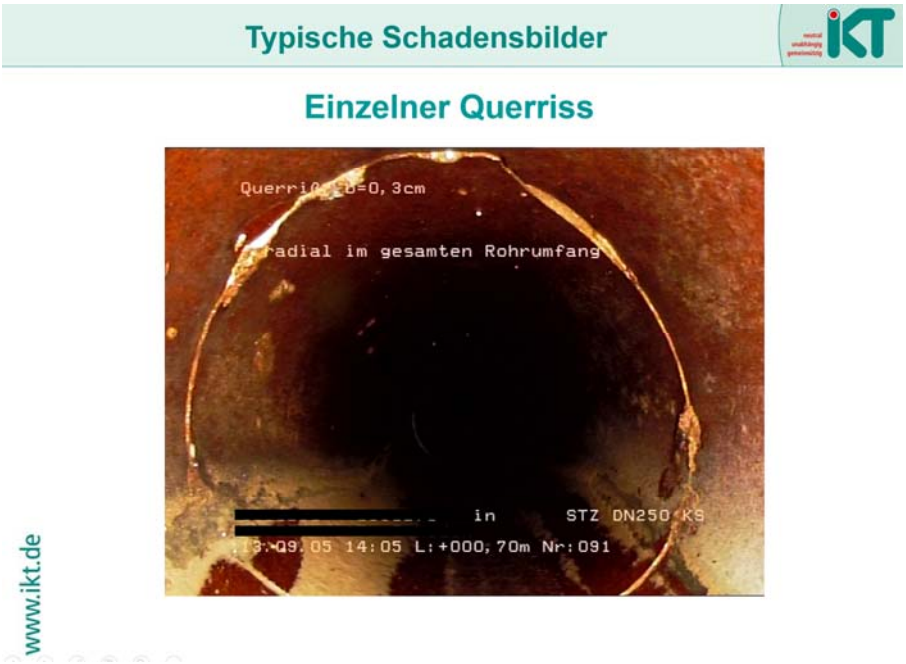
Offensichtlich betrifft eine Reparatur nur einzelne Stellen im Netz und nicht den Austausch oder die Verbesserung ganzer Rohrstränge oder Netzteile. In diesem Sinne ist Reparatur auch nicht als grundlegende Substanzverbesserung anzusehen, sondern als lokale bzw. einzelne Maßnahme zur Aufrechterhaltung eines sicheren Betriebs. Entsprechend wird die Reparatur grundsätzlich dem Betrieb der Anlage zugeordnet und nicht als Investition angesehen.

Technisch gibt es allerdings einen wichtigen Unterschied zwischen Versorgung und Entsorgung. In der Versorgung handelt es sich meist um Druckleitungen, die in geringer Tiefe verlegt werden. Auch wenn hier nur ein einzelner Rohrschaden an einer einzelnen Stelle auftritt, so wird doch grundsätzlich in offener Bauweise repariert. Denn die Anforderungen an Druckrohre sind hoch und in offener Bauweise kann das defekte Rohrstück direkt durch ein intaktes Rohrstück ersetzt werden. Im Trinkwasserbereich spielt darüber hinaus die Hygiene eine wichtige Rolle, auch hier bietet der Austausch Vorteile. Demgegenüber können die Freispiegelkanäle im Abwasserbereich auch in geschlossener Bauweise repariert werden, denn hier sind hohe Innendrücke nur selten zu erwarten, in erster Linie geht es um die Betriebssicherheit, die Stabilisierung des Zustandes und die Abdichtung der Leitung.

Typische Schadensbilder für Reparaturverfahren

Mit Blick auf den Kanalbau und die Möglichkeit zum Einsatz der grabenlosen Bauweise stellt sich nun die Frage: Welche Schadensbilder lassen sich konkret mit Verfahren der grabenlosen Bauweise reparieren? Das Stichwort aus der Definition ist „örtlich begrenzt“.

Auf dem nachfolgenden Bild sehen wir ein typisches Beispiel. Ein Querriss über den gesamten Umfang des Rohres. Dieser gilt als örtlich begrenzt, denn das Rohr ist über die Länge nur an einer Stelle geschädigt und eine solche Schädigung hat statisch keine besonderen Auswirkungen. Im Prinzip liegt hier Rohrende an Rohrende, ähnlich wie bei einer Rohrverbindung, allerdings unplanmäßig und sicherlich undicht. Grundsätzlich genügt es, wenn wir diese lokale Schwachstelle überbrücken, also z.B. auskleiden und/oder abdichten.

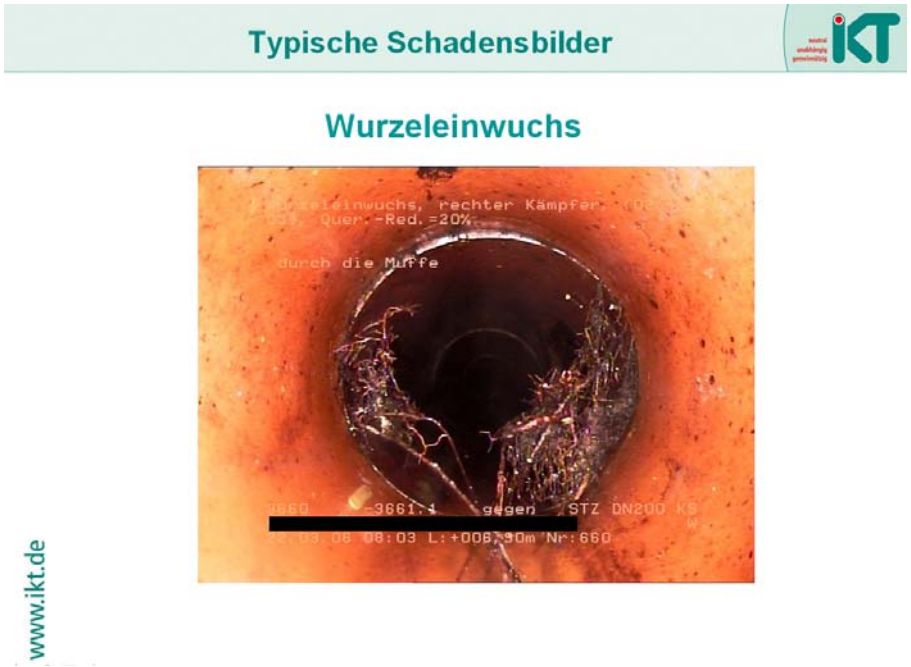


Im nächsten Beispiel sehen wir ein Schadensbild mit Längsrissen. Diese Längsrisse sind mit Blick auf die statische Tragsicherheit immer als kritisch anzusehen. Dennoch sprechen wir hier noch immer von einer lokalen Maßnahme. Denn wenn wir genauer hinschauen, dann sehen wir vorne hell eine Rohrverbindung und weiter hinten nochmals eine Rohrverbindung, und die Längsrisse verlaufen ausschließlich im Bereich zwischen diesen Verbindungen. Offensichtlich ist hier also nur ein einzelnes Rohr geschädigt, so dass sich Möglichkeiten für eine Reparatur ergeben. Entweder graben wir auf und tauschen das Rohr aus, oder wir verstärken diesen Bereich über die betroffene Rohrlänge hinaus, so dass das geschädigte Rohr vollständig überbrückt wird.

Auf dem nächsten Bild sehen wir wieder lokale Schäden, nämlich Ausbrüche und fehlende Wandungsteile; links ist bereits Boden zu sehen. Bei Bodeneinbruch kann auch das gesamte Rohr-Boden-System ein Sanierungsfall sein. Darüber hinaus sind Risse zu erkennen, die sich von dem Hauptschaden aus fortentwickeln. Solche Risse können sich weiter ausbreiten, manchmal sogar während einer Reparaturmaßnahme z.B. durch Packerdruck. Auch hier ist wieder das gesamte geschädigte Rohr so zu überbrücken, dass die Reparaturmaßnahme an ein vollständig intaktes Rohr anbinden kann.

Im folgenden Bild sehen wir, wie Grundwasser durch eine undichte Rohrverbindung in den Kanal dringt. Auch wenn dies zunächst wie ein einfacher Reparaturfall erscheint, lokal und (noch) ohne große Standsicherheitsprobleme, so sind die technischen Anforderungen sehr hoch. Das Rohr ist nämlich gegen Außenwasserdruck abzudichten und dies ist insbesondere bei starkem Wasserzustrom äußerst schwierig. In Gebieten mit wechselnden Grundwasserständen kann es auch sinnvoll sein, mit der Reparatur bis zu einer Periode mit niedrigerem Grundwasserstand zu warten.

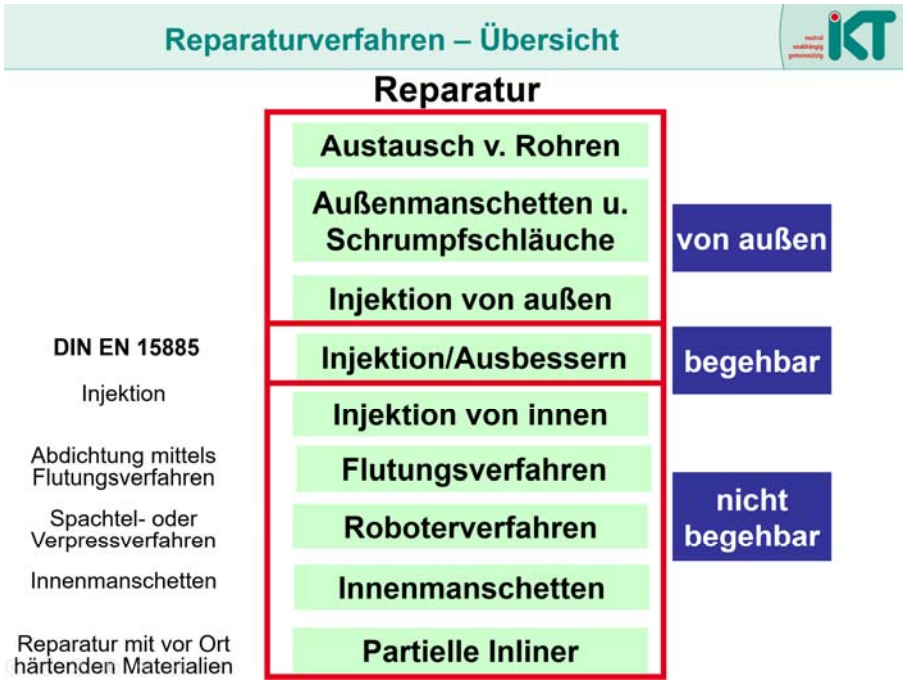
Das letzte Schadensbild zeigt Wurzeln, die durch eine Rohrverbindung eingewachsen sind und den Durchflussquerschnitt verringern. Häufig wird in solchen Fällen der Querschnitt zunächst frei gefräst, allerdings ist dies nur selten eine dauerhafte Lösung, denn die Wurzeln wachsen rasch wieder ein. Aber auch für die Reparatur ist dies eine schwierige Aufgabe, denn Wurzeln drücken meist noch viel stärker von außen in eine Rohrverbindung als z.B. Grundwasser.



Reparaturverfahren im Überblick

Nachfolgend sehen wir nun eine Auflistung von Reparaturverfahren, wie sie im Kanalbau eingesetzt werden. Einige dieser Verfahren werden auch in DIN EN 15885 mit ähnlichen Begriffen angesprochen. Grundsätzlich lassen sich drei Anwendungsfälle unterscheiden:

- Die Sanierung von außen, z.B. durch Aufgraben und Austauschen des Rohres, oder auch Umschließen der Schadstelle mit einer Manschette oder einem Schlauch. Theoretisch könnte auch von der Oberfläche aus mittels Injektionslanzen um die Schadstelle injiziert werden, in der Praxis ist dies aber nicht relevant.
- Die Sanierung von innen im begehbaren Bereich, insbesondere durch Injektion oder Ausbessern mit Mörteln. Als begehbar gelten Einstiegschächte sowie Kanäle ab ungefähr 1,2 m Durchmesser.
- Die Sanierung von innen im nicht begehbaren Bereich; dies betrifft die Injektion, Flutungsverfahren, die sogenannten Roboterverfahren sowie Innenmanschetten und partielle Inliner.



Auf die Verfahren, die von innen eingesetzt werden, d.h. Injektion, Flutungsverfahren, Roboterverfahren, Innenmanschetten und partielle Inliner, wollen wir nun detaillierter eingehen.

Injektionsverfahren: Hohlräume und Porenraum verfüllen

Nachfolgend sehen wir ein typisches Beispiel für die Sanierung im begehbaren Bereich. Der Abwasserschacht wurde im IKT in einem Versuch von innen mit einer Injektion abgedichtet. Das erste Rohr der Hauptleitung ist ebenfalls zu erkennen, offensichtlich ein Steinzeug-Rohr. Bei der Injektion wurde hier von innen ein schwach-viskoses Harz oder ein Mörtel in die Schadstellen injiziert. Dieses Material dringt in den Porenraum und verbindet sich mit den Körnern des Bodens. Im Ergebnis

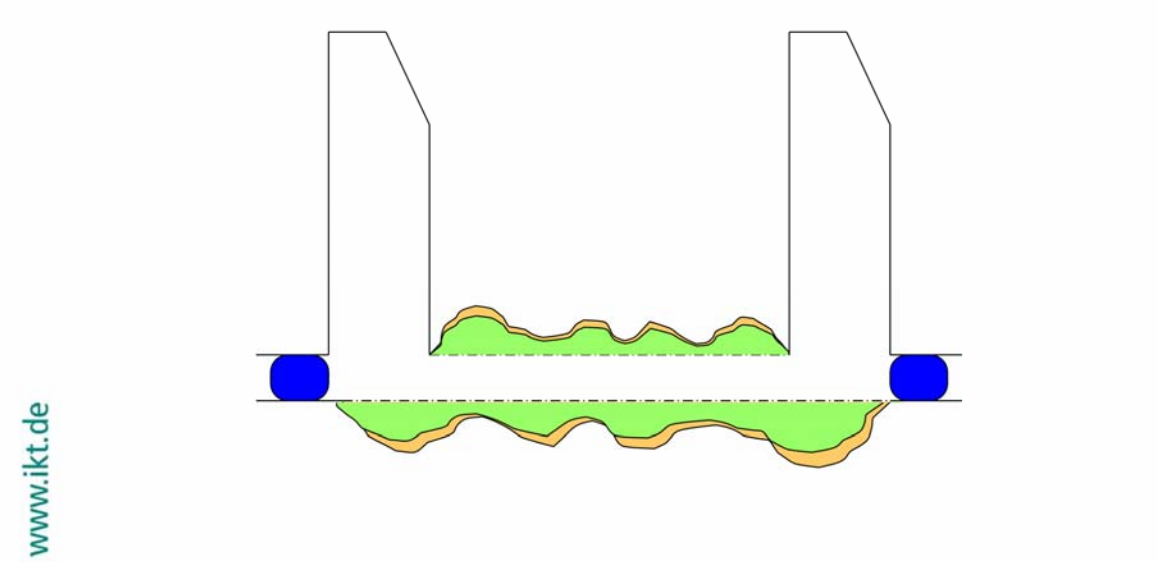
entstehen Injektionskörper, die selbst nach Ausbau des Schachtes noch an der Oberfläche haften und den Schacht nachträglich abdichten.

Das Injizieren ist auch in nichtbegehbaren Kanälen möglich, wie in u.a. Bildern aus einer IKT-Teststrecke für die Nennweiten DN 200 und DN 300 zu erkennen ist. Die Injektionskörper nehmen wieder einen erheblichen Raum ein und haften selbst nach Ausbau des Bodens noch sicher an der Steinzeug-Leitung. Eingebracht wurde das Material hier mit Hilfe eines Sanierungspackers, der über dem Schadensbereich positioniert wird. Dem Packer wurde über Schläuche das Sanierungsharz zugeleitet. Meist sind dies zwei Komponenten, die direkt an der Schadstelle zusammengemischt und dann mit Druck in den Schaden gepumpt werden. Der Packer bleibt schließlich an der Schadstelle bis das Harz ausgehärtet ist. Im Ergebnis entstehen Injektionskörper, wie sie weiter unten als Schnitt abgebildet sind. Das Harz ist in den Porenraum eingedrungen und hat mit den Bodenkörnern einen festen Körper gebildet, fast wie Polymerbeton. In der Muffe ist auch noch das reine Harz zu erkennen, das die Rohrverbindung komplett verschließt.

Flutungsverfahren: Wechselnde Bodenarten kritisch

Flutungsverfahren werden ähnlich wie Injektionsverfahren zur Verfüllung von Hohlräumen im Boden sowie zur Abdichtung von Rissen und anderen Undichtheiten in der Rohrwand eingesetzt. Das Verfahren verläuft in zwei Schritten unter Verwendung eines Zweikomponenten-Acrylgels oder eines Silicatgels ab. Im ersten Schritt wird der betrachtete Leitungsabschnitt vollständig mit einer Komponente des Materials gefüllt. Diese dringt dann in Undichtheiten, Risse und Hohlräume ein. Anschließend wird die erste Komponente wieder aus der Leitung abgepumpt, so dass sie nur im Bereich der Fehlstellen und im Boden verbleibt. In gleicher Weise wird dann im zweiten Schritt die zweite Komponente in die Leitung

gefüllt, so dass auch sie in die Undichtheiten und den Boden eindringen kann. Dort können sich dann beide Komponenten vermischen und zu einem Injektionskörper aushärten, der die Leitung abdichtet.



Mit dem Flutungsverfahren lassen sich auch schwer zugängliche Leitungsnetze sanieren, wie z.B. in der Grundstücksentwässerung. Allerdings ist zu beachten, dass es sehr auf den anstehenden Boden ankommt, wie lange die Leitung zu füllen ist, denn die Sanierungskomponenten müssen zuverlässig in die Schadstellen und den Boden eindringen können. Porenreiche Böden, z.B. Kies oder Sand, nehmen in kurzer Zeit große Materialmengen auf, während bindiger Boden für dieses Verfahren grundsätzlich ungeeignet scheint. Schwierigkeiten ergeben sich insbesondere, wenn in einem einzelnen Netzbereich sehr unterschiedliche Bodenarten und damit unterschiedliche Durchlässigkeiten zu erwarten sind. Kurze Füllzeiten führen dann zu mangelnder Abdichtung in schwachdurchlässigen Bereichen, längere Füllzeiten wiederum zu großen Materialverlusten im durchlässigeren Bodenbereich.

Roboterverfahren: Verspachteln und Verpressen

Bei den Roboterverfahren werden ein maschinentechnisches Werkzeug und eine Kamera auf einem Fahrwagen an die Schadstelle gefahren. Unter Kamerabeobachtung kann dann die Schadstelle mit dem Werkzeug bearbeitet werden. Der Vorgang wird von über Tage durch einen Techniker gesteuert. Auf dem nachfolgenden Bild sehen wir einen Roboter, so wie er auf einer Messe präsentiert wurde. Unten hängt eine Kamera, mit der beobachtet werden kann, wie oben die Fräse den einragenden Stutzen wegfräst.

Auf u.a. Bild sehen wir eine Verpress- und Spachteleinheit. Durch den Schlauch wird das Material am sogenannten Verpressschuh in den Hohlraum eingedrückt. Anschließend kann das Ganze mit dem (gelben) Spachtel abgezogen werden.

Verpressen und Verspachteln können zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen. Nachfolgend sehen wir eine Rissstelle aus einem Laborversuch, die von einem Roboter verspachtelt wurde. Das Material füllt nur die Fehlstelle in der Rohrwand und verschließt diese Stelle. Hohlräume im Boden werden nicht verfüllt.

Auf dem nächsten Bild ist ein Verpresskörper zu sehen. Dieser wurde nach dem Einsatz aufgeschnitten. Der gesamte Hohlraum ist mit Harz gefüllt. Das Harz war beim Einsatz sehr viskos und drang daher nicht in den Porenraum des Bodens ein, der Boden haftet nur an der Grenzfläche am Harz.

Insgesamt bleibt festzuhalten: Verspachteln füllt die Rohrwand, Verpressen den Hohlraum und Injektion auch noch den Porenraum zwischen den Bodenkörnern.

Innenmanschetten: Dichtwirkung fordert Widerlager

Ein weiteres Reparaturverfahren ist der Einsatz von Innenmanschetten aus Edelstahl (s.u.), die auf einem Packer von innen an die Schadstelle gefahren, dort aufgespannt und z.B. mit einer Schlossmechanik dauerhaft verspannt werden. Sobald die Manschette aufgeweitet wird, rastet das Schloss stufenweise an einem Zahnstreifen ein. Voraussetzung für die Verspannung ist allerdings, dass das alte Rohr-Boden-System ausreichend Widerstand bietet. Die Dichtwirkung wird über Dichtnoppen gewährleistet, die vorne und hinten auf dem Elastomermantel aufgebracht sind. Diese Dichtungen wirken über Kompression und bieten einem äußeren Wasserdruck nur dann ausreichend Widerstand, wenn sie auch selbst unter Druck stehen. Entsprechend ist die Dichtwirkung gefährdet, wenn das alte Rohr als Widerlager ausfällt.

Auch die Innenmanschette muss somit am Anfang und am Ende der Reparaturstelle immer in ein intaktes Rohr einbinden. Entsprechend bietet sie sich besonders zur Abdichtung von undichten Muffen an, bei denen die verbundenen Rohre selbst den nötigen Gegendruck aufbringen können. Neben der Edelstahlmanschette mit Elastomerdichtung werden auch Manschetten angeboten, die mit einem sogenannten Kurzliner kombiniert sind und im Altrohr verkleben.

Partielle Inliner (Kurzliner): Oberflächenvorbereitung beachten

Beim Einsatz von Kurzlinern bzw. partiellen Inlinern wird zunächst eine Gewebematte, meist aus GFK, mit einem Harz getränkt und dann auf einen Sanierungspacker aufgewickelt. Der Packer wird zur Schadstelle gefahren und der Kurzliner dort solange gegen die Wandung gepresst, bis das Harz ausgehärtet ist. Ziel ist es, dass der Kurzliner über den gesamten Rohrumfang an der Rohrwand klebt und diese abdichtet.

Typische Sanierungsergebnisse aus IKT-Praxistests sind nachfolgend abgebildet.

Die Kurzliner verkleben gleichmäßig über den gesamten Rohrumfang und kleiden das alte Rohr im schadhaften Bereich vollständig aus. Allerdings muss auch hier der Kurzliner zuverlässig in ungeschädigte Bereiche einbinden. Denn auch bei diesem Verfahren wird das alte Rohr durch Aufdrücken des Packers mit Innendruck belastet, so dass sich feine Längsrisse i.d.R. weiter bis zur nächsten Rohrmuffe ausbreiten können. Da der Kurzliner mit dem Untergrund verkleben soll, kommt der Untergrundvorbereitung eine besondere Bedeutung zu. Vergleichstests haben gezeigt, dass der

Untergrund stets sorgfältig zu reinigen ist und eine glasierte Steinzeugoberfläche grundsätzlich im Vorfeld abgefräst werden sollte.

Fazit

Die Reparatur von Kanälen und Leitungen ist ein wichtiges Element zum Betrieb und zur Instandhaltung der Netze. In den Versorgungsnetzen wird meist aufgegraben, um das defekte Rohr auszutauschen, im Abwasserbereich können auch Techniken der grabenlosen Reparatur eingesetzt werden. Lokale Schadensbilder, wie undichte Muffen, Ausbrüche und Wurzeleinwuchs lassen sich so reparieren. Typische Verfahren sind Injizieren, Fluten, Verpressen, Verspachteln sowie der Einsatz von Manschetten und Kurzlinern.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

IX Sanierung – Renovierung

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns mit der Renovierung unterirdische Kanäle und Leitungen. Dabei wollen wir uns fragen: Was verstehen wir grundsätzlich unter Renovierung? Welche typischen Verfahrensgruppen sind zu unterscheiden? Wie lassen sich diese Unterschiede an Beispielen veranschaulichen?

Renovierung: Verbesserung bei Einbeziehung der ursprünglichen Substanz

Was versteht man unter Renovierung? Und wie grenzt sich dies gegen andere Sanierungsverfahren ab? Sowohl in der Trinkwasserversorgung als auch der Abwasserentsorgung wird gegenwärtig auf die Definitionen nach EN 16323 „Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik“ verwiesen. Demnach wird die Renovierung neben der Reparatur und Erneuerung als Teilbereich der Sanierung angesehen und definiert als

„Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und Abwasserkanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“.

Der Begriff der „Renovierung“ liegt damit in seiner Definition zwischen den Begriffen „Erneuerung“ und „Reparatur“, allerdings ist eine scharfe Abgrenzung kaum möglich. Bei der Erneuerung wird definitionsgemäß eine ganz neue Leitung hergestellt, die die Funktion der alten Leitung übernimmt. Und bei der Reparatur wird lediglich ein örtlich begrenzter Schaden behoben. Die Leitgedanken „neu“ und „örtlich“ sprechen aber völlig unterschiedliche Bewertungsdimensionen an und auch die Definition der „Renovierung“ greift selbst zwei weitere Aspekte auf, nämlich die „Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit“ und die „Einbeziehung der ursprünglichen Substanz“.

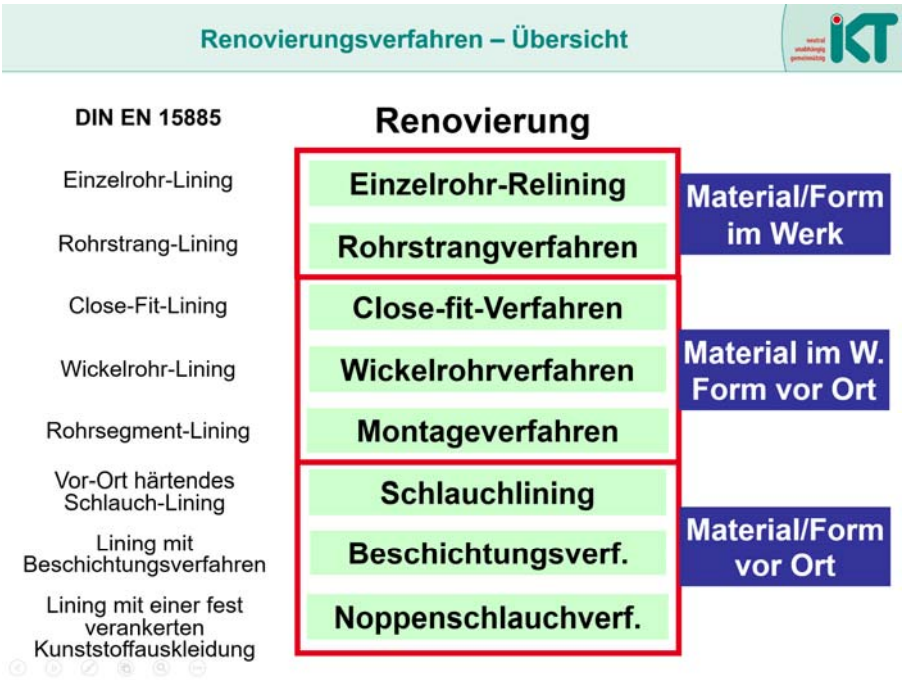
Renovierung soll also die aktuelle Funktionsfähigkeit insgesamt verbessern können, d.h. die Betriebssicherheit, die Standsicherheit und die Dichtheit. Je mehr ein Verfahren hierzu beitragen kann, desto mehr kann es damit als Renovierungsverfahren gelten. Darüber hinaus wird bei der Renovierung die alte Substanz nicht vollständig ersetzt – es ist ja keine Erneuerung. Stattdessen wird neue Substanz eingebracht und auch ursprüngliche Substanz weiter genutzt und einbezogen. Als Fazit gilt damit: Aus alter und neuer Substanz entsteht eine in ihrer Funktion verbesserte Abwasserleitung.

Die Abgrenzung zur „Erneuerung“ scheint damit möglich. Zur „Reparatur“ bleibt die Abgrenzung aber schwierig, denn auch eine „örtliche“ Maßnahme könnte ja unter „Einbeziehung der ursprünglichen Substanz“ zu einer „Verbesserung der Funktionsfähigkeit“ führen und damit streng genommen beide Definitionen, die der Reparatur und die der Renovierung, erfüllen. Schon heute gibt dies Anlass zur Diskussion in der Rechnungslegung von Renovierungs-Maßnahmen. Einerseits wird ja Substanz erzeugt, so dass eine Aktivierung der Maßnahme als Investition naheliegt. Andererseits führt die Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit meist lediglich zur Wahrnehmung der ursprünglichen Funktion, was wiederum als Betriebsmaßnahme anzusehen und als üblicher Aufwand im laufenden Jahr anzurechnen wäre. Vielfach wird daher zusätzlich das Argument der Nutzungsdauer-Verlängerung herangezogen, um eine Aktivierung als Investitionsmaßnahme zu rechtfertigen. Bei einer Renovierung soll in diesen Fällen die Dauerhaftigkeit des Kanals bzw. der Leitung so verbessert werden, dass dieser länger betriebssicher, standsicher und dicht sein kann als ursprünglich geplant.

Es lohnt sich also, die Wirkung der Renovierungsverfahren genauer zu analysieren. Dabei stellt sich zunächst die Frage, welche Renovierungsverfahren es überhaupt gibt, und wie sich diese in Verfahrensgruppen unterteilen lassen.

Renovierungsverfahren – der Ort der Herstellung unterscheidet sich

Zunächst einmal finden wir z.B. in DIN EN 15885 zahlreiche Begriffe für Verfahren, die zur Gruppe Renovierung gehören. Diese Norm beschäftigt sich im Detail mit der Klassifizierung und den Eigenschaften von Techniken, die für die Renovierung und für die Reparatur im Abwasserbereich eingesetzt werden. Eine Auflistung findet sich in der linken Spalte des nachfolgenden Bildes.



Dabei fällt auf, dass nach DIN EN 15885 alle Verfahrensnamen den Begriff „Lining“ enthalten, in Anlehnung an die englische Hauptfassung der Norm. Sprachlich ist hier etwas Vorsicht geboten, denn das Verb „to line“ bedeutet im englischen so viel wie „ausfüttern, ausgießen, auskleiden, ausschlagen“, und damit weitaus mehr als üblicherweise im deutschen technischen Sprachgebrauch unter dem Begriff „Liner“ verstanden wird, nämlich das Einziehen eines neuen Rohres oder Schlauches in die alte Leitung. In der mittleren Spalte sehen wir daher auch weitere übliche Begriffe aus dem deutschen Sprachgebrauch und eine Zusammenfassung in Gruppen, wie sie in der Norm nicht existiert. Diese Gruppenbildung soll uns dabei helfen, die Verfahren und insbesondere auch die Qualitätseinflüsse besser zu verstehen. Unterschieden werden drei Gruppen:

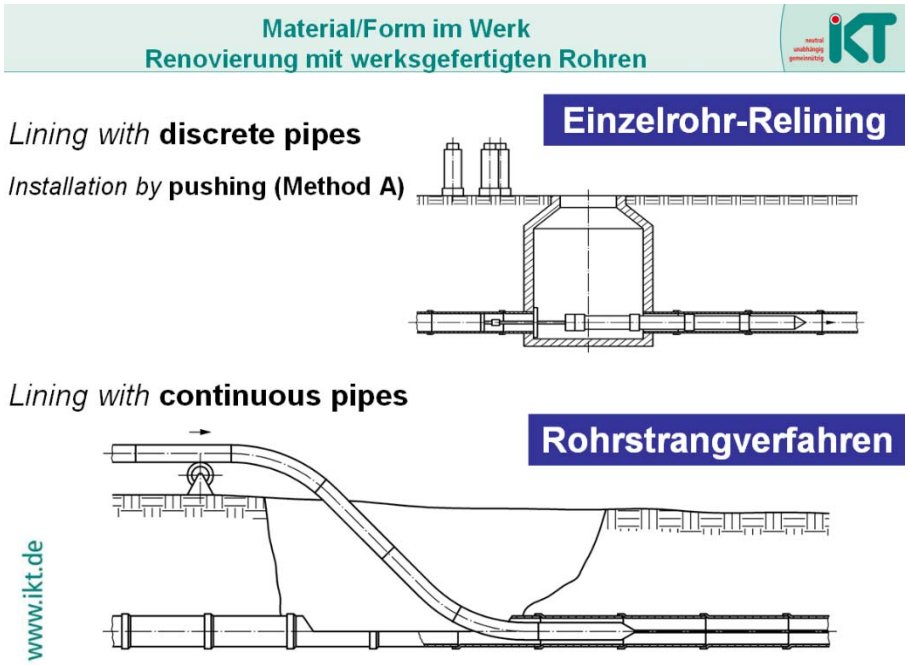
- Bei der ersten Gruppe werden die Rohre vollständig im Werk produziert. Das betrifft sowohl das Material als auch die endgültige Rohrform.
- Bei der zweiten Gruppe wird das Rohrmaterial im Werk hergestellt und dann auf die Baustelle geliefert. Das Rohr wird dann vor Ort aus diesem Material geformt.
- Bei der dritten Gruppe werden Materialkomponenten zur Baustelle geliefert, und diese erst vor Ort zur gewünschten Materialqualität und Rohrform weiterverarbeitet.

Wesentliche Unterschiede zwischen den Verfahren liegen also darin, inwieweit die eigentliche Rohrproduktion eher im Werk oder eher auf der Baustelle stattfindet. An Beispielen soll dies nun veranschaulicht werden. Die Reihenfolge der Beispiele orientiert sich dabei an o.a. Aufstellung, dabei beginnen wir mit Verfahren, bei denen die Rohrproduktion weitgehend im Werk erfolgt und entwickeln uns dann schrittweise weiter zur Produktion von Material und Geometrie auf der Baustelle.

Material/Form im Werk

Einzelrohr-Relining / Rohrstrangverfahren

Zunächst betrachten wir das Einzelrohr-Relining und das Rohrstrangverfahren. In beiden Fällen werden die Rohre vollständig im Werk produziert. Das betrifft sowohl das Material als auch die endgültige Rohrform. Beides kann auch schon im Werk geprüft und vermessen werden. Allerdings kann beides, Material und Rohrform, auf der Baustelle nicht mehr verändert werden.



Im Bild sehen wir die Verfahren skizziert. Einzelrohr-Relining heißt im englischen auch „Lining with discrete pipes“. Hier dargestellt ist die Methode A, d.h. „by pushing“. Die neuen Rohre werden dabei in die alte Leitung vorgeschoben. Die Verbindungstechnik dieser Rohre ähnelt derer von Vortriebsrohren, so dass sich die Steckmuffen nur gering nach außen wölben und der neue Rohrstrang gut durch das alte Rohr gleiten kann. Im Schacht findet sich ein Widerlager für die Presse. Die Presse setzt am letzen Rohr an und schiebt den gesamten Strang nach vorne. Nach Abschluss wird der äußere Ringraum mit einem Dämmer verfüllt, um die Lage des Rohrstrangs zu sichern. Bei Methode B „by pulling“ wird der gesamte Rohrstrang vom Zielschacht aus gezogen. Dabei kann am ersten Rohr gezogen werden, wenn die Rohre zugkraftschlüssig verbunden sind oder es wird an einer Platte gezogen, die das letzte Rohr und damit den gesamten Rohrstrang nach vorne schiebt. Der Rohrstrang erfährt dann ähnliche Belastungen wie beim Pressen.

Insgesamt bleibt für das Einzelrohr-Relining festzuhalten, dass sowohl das Rohr als auch die Rohrverbindungen technisch schon im Werk in Form und Werkstoff vorproduziert werden. Vor Ort wird das System nur noch zusammengesteckt. Entsprechende Rohre mit Steckverbindungen werden aus vielen Werkstoffen angeboten, so aus Kunststoff, Steinzeug oder auch Guss.

Beim Rohrstrangverfahren oder „Lining with continuous pipes“ werden die Rohre ebenfalls im Werk vorproduziert und dann auf die Baustelle geliefert. Die Rohrverbindung wird allerdings bei größeren Rohren erst vor Ort durch Schweißen hergestellt. Entsprechend können auch nur schweißbare Werkstoffe eingesetzt werden, meist sind dies Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP). Da der Schweißvorgang i.d.R. bereits über Tage stattfindet, wird zum Einziehen des Rohrstrangs eine relativ große Baugrube benötigt. Der Ringraum zwischen altem und neuem Rohr wird auch beim Rohrstrangverfahren i.d.R. mit Mörtel bzw. Dämmer verpresst.

Bei beiden Verfahren, d.h. Einzelrohr-Relining und Rohrstrangverfahren, muss das neue Rohr deutlich kleiner sein als das alte Rohr, denn der neue Rohrstrang muss auch an Rohrversätzen, Unebenheiten und durch kleine Kurven durchgeführt werden können. Entsprechend ist Spielraum zwischen dem alten und dem neuen Rohr gefragt. Die Verringerung des Querschnitts führt i.d.R. zu einer Verminderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit.

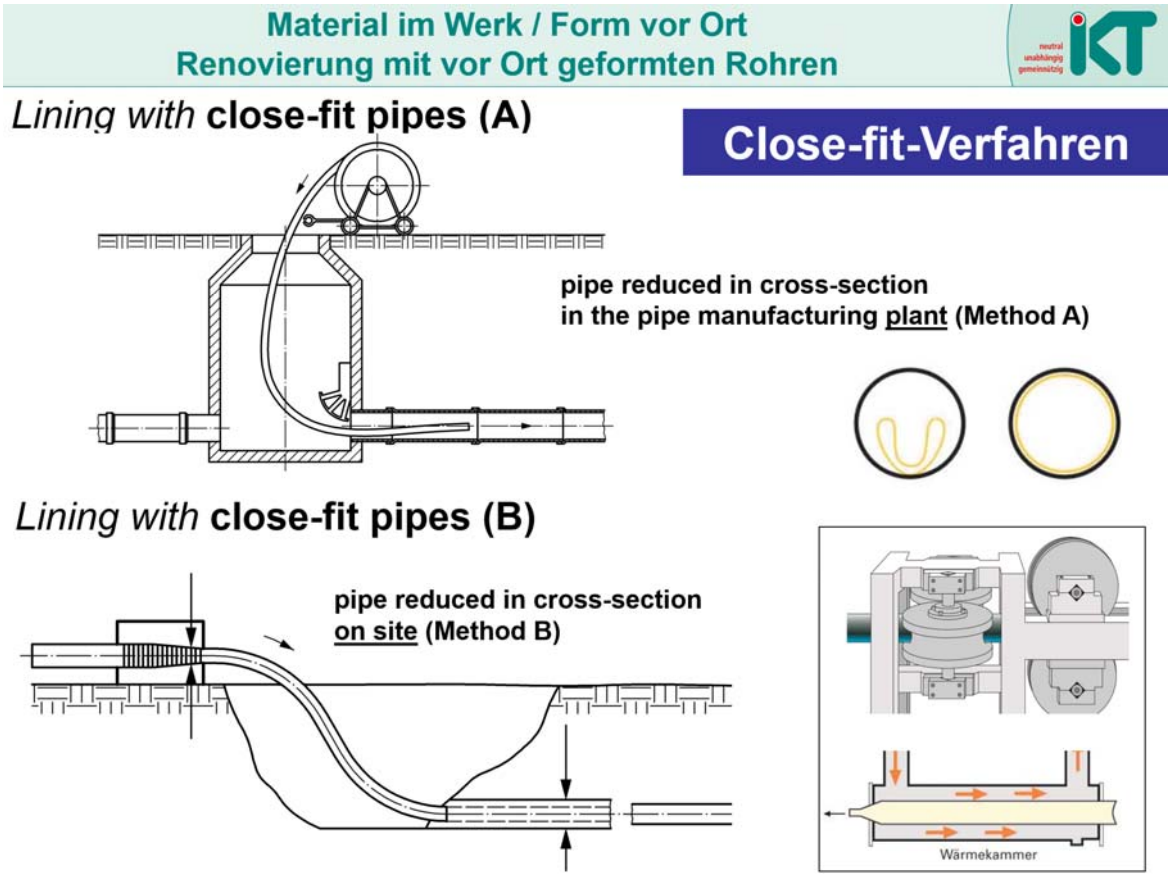
Da die seitlichen Hausanschlüsse bei beiden Verfahren durch den Einbauvorgang verschlossen werden, müssen sie nachträglich wieder geöffnet und auch formschlüssig angebunden werden. Üblicherweise geschieht dies in offener Bauweise durch Graben eines sogenannten Kopflochs, d.h. die Verbindung zwischen Hausanschluss und Hauptleitung wird von außen wiederhergestellt. Der Einsatz der Verfahren ist wirtschaftlich insbesondere dann sinnvoll, wenn die sanierte Strecke nur wenige Hausanschlüsse enthält.

Material im Werk / Form vor Ort

Zu dieser Verfahrensgruppe gehören das Close-Fit-, das Wickelrohr- und das Montageverfahren. Bei diesen Verfahren wird das Rohrmaterial vollständig im Werk hergestellt, d.h. die Zusammensetzung und Verteilung des Materials über die Rohrwanddicke wird bereits im Werk festgelegt. Die Geometrie entsteht dagegen erst vor Ort auf der Baustelle.

Close-Fit-Verfahren

Im Bild sind einige Skizzen zum sogenannten Close-fit-Verfahren, im englischen auch „Lining with close-fit pipes“, dargestellt. Mit diesem Verfahren werden insbesondere zwei Nachteile des Rohrstrangverfahrens verringert: zum einen die großen Baugruben, um das Rohr von der Oberfläche zum Altrohr hinunterzubiegen, zum anderen die starke Verringerung des Querschnitts, um beim Einziehen an allen Hindernissen und Kurven vorbeizukommen. Die Lösung des Close-Fit-Verfahrens lautet hier: Der Querschnitt des Rohrstrangs hat beim Einzug eine andere Form als später im Betrieb.



Oben sehen wir Methode A. Rechts im Bild ist zu sehen, welche Formen das Rohr annimmt. Einmal sehen wir ein zusammengefaltetes Rohr, das wie ein U aussieht. Die Querschnittshöhe ist nur noch etwa halb so hoch, so dass sich das Trägheitsmoment des Gesamtquerschnitts erheblich verringert. Ein solcher zusammengefalteter Querschnitt hat einen bedeutend geringeren Biegewiderstand in Längsrichtung als ein kreisrunder Querschnitt. Daneben sehen wir das neue Rohr im Betriebszustand, es liegt kreisrund eng am Altrohr an. Die Vorteile sind offensichtlich: Beim Einziehen kann der gefaltete Rohrstrang leicht z.B. durch einen Schacht eingebogen werden und auch mit viel Spielraum durch den Rohrstrang gezogen werden. Im Betrieb ist der Querschnitt dann wiederum fast so groß wie der des alten Rohres, mit der entsprechenden hydraulischen Leistungsfähigkeit.

Der eigentliche Formgebungsprozess liegt im Falten und Aufrichten des Rohrquerschnitts. Bereits im Werk werden die Rohre in die U-Form gebracht und dann auf Trommeln zur Baustelle geliefert. Dort werden sie nach dem Einbau mit heißem Wasser in die Kreisform zurückgedrückt. Die höhere Temperatur des Wassers erhöht die Verformungsfähigkeit, der Innendruck führt wiederum zur Kreisform. Die Hersteller sprechen darüber hinaus auch häufig noch von einem sogenannten „Memory-Effekt“. Demnach soll der Werkstoff aufgrund seiner ursprünglich runden Produktionsform diese runde Form auf molekularer Ebene auch bei Rückverformung bevorzugen. In jedem Falle führen aber Temperatureinfluss und Innendruck allein schon zu einer nennenswerten Rückverformung.

Im unteren Bereich derselben Folie sehen wir dann die zweite Methode des Close-Fit-Verfahrens, bezeichnet als Methode B. Dabei wird der Rohrquerschnitt vor dem Einzug durch kreisförmigen

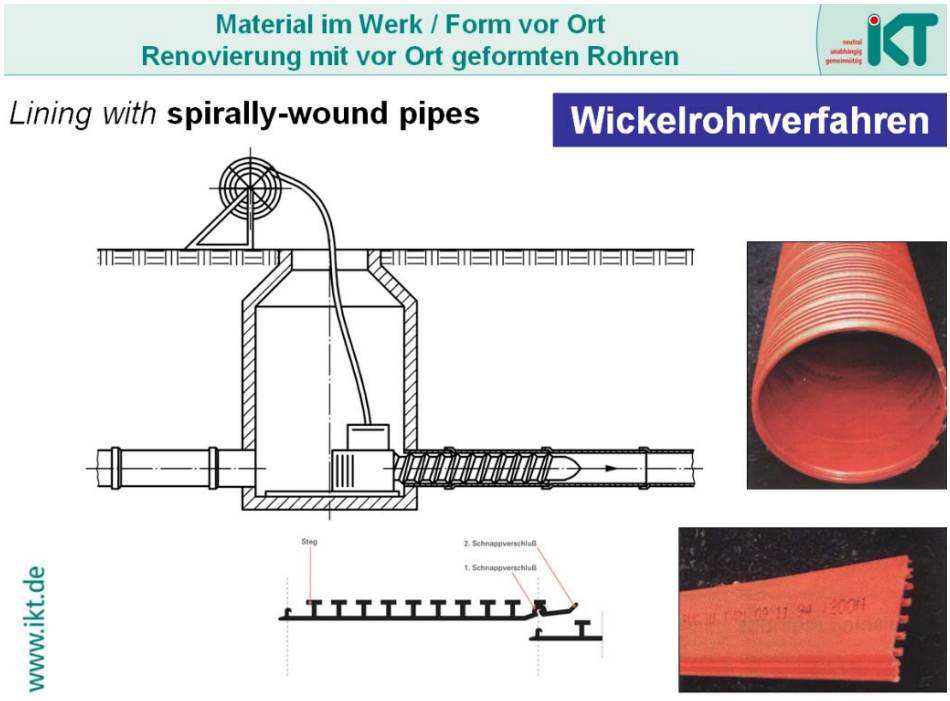
Außendruck und Längszug reduziert. Dies geschieht mit Walzen und in der Regel ebenfalls unter Temperatureinfluss. Die Rohre bleiben während des Einzugs zunächst in der Querschnittsform reduziert und werden nach Einzug durch Innendruck wieder so aufgeweitet, dass sie sich an die alte Rohrwand anpressen.

Bei beiden Methoden, A und B, ist nach Einbauende der Ringraum kaum oder gar nicht mehr vorhanden und die neuen Rohre liegen eng am Altrohr an („close-fit“). Hierdurch ergeben sich für drucklose Anwendungen, d.h. also Freispiegelkanäle, noch weitere Vorteile hinsichtlich der Anbindung von Hausanschlüssen. In geschlossener Bauweise kann das neue Rohr am Hausanschluss von innen aufgefräst und anschließend von innen mit Packern ein sogenanntes Hutprofil eingeschoben und verschweißt werden.

Insgesamt können wir also festhalten: Beim Close-Fit-Verfahren wird die Zusammensetzung der Rohrwandung bereits im Werk vollständig festgelegt. Vor Ort wird der Strang jedoch in seiner Geometrie stark verändert. Möglich wird dies u.a. durch Druck- und Zugbelastungen sowie Temperatureinfluss. Rohrverbindungen müssen anschließend vor Ort nur an den Hausanschlüssen hergestellt werden.

Wickelrohrverfahren

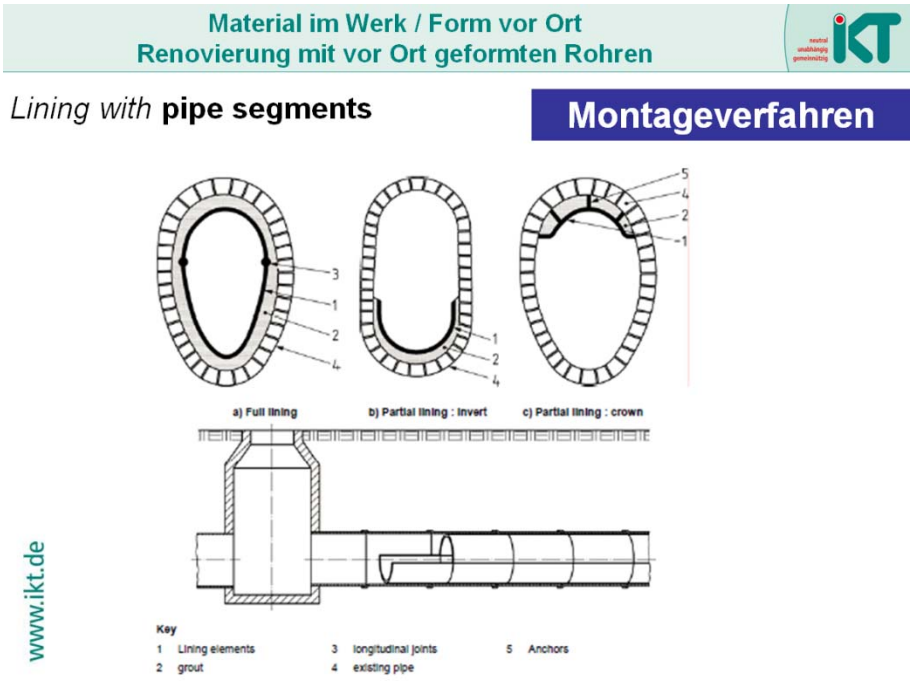
Besonders hohe Anforderungen an die Verbindungstechnik stellt das Wickelrohrverfahren, englisch auch „Lining with spirally-wound pipes“. Hier wird ein im Werk vorproduziertes Kunststoffband von einer Trommel in den Schacht abgelassen und dann untertage zu einem neuen Rohr gewickelt. Dabei fügt sich das Band an der Laufkante in einen Verschluss, der als eine lange Verbindung spiralförmig den gesamten Rohrstrang entlang läuft. Der Ringraum wird in der Regel anschließend mit Dämmer verfüllt. Eine besondere Herausforderung liegt u.a. in der Verschlusstechnik, die über die gesamte Verbindungslänge dauerhaft dicht sein muss. Eingesetzt werden z.B. Schnappverschlüsse oder auch spezielle Schweißtechnik.



Das Wickelrohrverfahren gibt es auch noch in weiteren Varianten. So kann das Rohr bei einigen Verfahren nachträglich aufgeweitet werden, bis es „close-fit“ am Altrohr anliegt. In diesem Fall kann sich das Band an der Laufkante auseinander bewegen, so dass schließlich der Rohrdurchmesser größer wird. Bei einer anderen Variante läuft die Wickelmaschine selbst vorne im Rohr mit, so dass das Band direkt am Zielort angefügt wird. Auch hier kann mit geringem Ringraum gearbeitet werden, und es lassen sich dann auch Rohrformen sanieren, die von einem Kreisprofil abweichen, wie z.B. Rechteck- oder Maulprofile. In Einzelfällen wird der Kunststoffsteg auch durch Metallbänder verstärkt, um die Biegesteifigkeit zu erhöhen.

Montageverfahren

Eine weitere Möglichkeit, um vorgefertigte Elemente erst vor Ort in Kanalrohrform zu bringen, sehen wir auf dem nachfolgenden Bild als Montage-Verfahren, englisch auch „Lining with pipe segments“.



Bei diesen Verfahren werden Einzelelemente bzw. Rohrsegmente so im Kanal montiert, dass daraus eine neue Rohrleitung entsteht. Diese ist dann fest mit dem alten Kanal verbunden. Entscheidend für die Einordnung als Renovierungsverfahren ist dabei, dass die Anwendung über die gesamte Länge erfolgt. Auch eine Teilauskleidung in der Sohle oder im Scheitel wird der Renovierung zugeordnet, wenn so die gesamte Haltung zwischen zwei Schächten verbessert wird. In der Regel dienen beide Auskleidungsvarianten, also in Sohle und im Scheitel, dem Korrosionsschutz. In der Sohle können durch die Auskleidung auch die hydraulischen Eigenschaften verbessert werden.

Eine extrem hohe Bedeutung kommt bei dieser Technik den Verbindungen zwischen den Elementen zu. Diese müssen ebenfalls dauerhaft dicht und korrosionsbeständig sein. Der Ringraum zwischen den Auskleidungselementen und dem Altrohr wird in der Regel verfüllt.

Material vor Ort / Form vor Ort

Bei den bisher dargetellten Verfahren wurde das Material im Werk komplett vorgefertigt und dann auf die Baustelle gebracht. In der dritten Verfahrensgruppe werden die Materialkomponenten einzeln oder vorverarbeitet zur Baustelle geliefert und dann vor Ort zu einer vollständig ausgehärteten Rohrwandung weiterverarbeitet. Zur dieser Gruppe gehören das Schlauchlining, die Beschichtungsverfahren und das Noppenschlauchverfahren.

Schlauchlining

Nachfolgend sehen wir eine schematische Darstellung des Schlauchlining-Verfahrens, englisch auch „Lining with cured-in-place pipes“ oder CIPP. Beim Schlauchlining wird ein weicher Schlauch auf die Baustelle geliefert, in das alte Rohr eingebracht und dann vor Ort zu einem neuen Rohr ausgehärtet. Der Schlauchliner besteht aus einem sogenannten Trägermaterial, das mit Kunstharz getränkt ist. Unter Energieeintrag, z.B. UV-Licht oder Wärme, kann das Kunstharz vor Ort aushärten. Zur Vermeidung einer vorzeitigen Aushärtung wird der Schlauch beim Transport zur Baustelle gekühlt bzw. gegen UV-Einstrahlung geschützt. Als Trägermaterial wird GFK oder Nadelfilz eingesetzt, als Harze in der Regel UP-, VE- oder Epoxid-Harze.

Auf dem Bild sehen wir Verfahrensvariante A, die als Inversions- oder Einstülp-Verfahren bezeichnet wird. Dabei wird der Schlauch mittels Wasserdruck in die alte Leitung eingestülpt und fortlaufend Linermaterial in das Innere des Liners nachgeführt. Durch den Wasserdruck wird der Liner gegen die Rohrwand gedrückt, so dass sich das neue Rohr der Altrohrgeometrie anpassen kann. Die Aushärtung des Harzes erfolgt bei dieser Variante i.d.R. über Wärmeeintrag, indem z.B. abschließend warmes Wasser in den Rohrstrang eingefüllt wird.

Bei Variante B wird der Liner in das Altrohr eingezogen und dann z.B. über Luftdruck aufgestellt. Man spricht hier auch vom „Einzieh-Verfahren“. Die Aushärtung erfolgt meist über UV-Lampen, die durch

den Liner durchgezogen werden. In diesem Fall reagiert das Harz auf die UV-Bestrahlung mit einem Aushärteprozess.

Je nach Verfahrensvariante unterscheiden sich auch die Trägermaterialien. Beim Inversionsverfahren werden in der Regel Nadelfilz- oder Textilgewebe-Liner eingesetzt, da diese Trägermaterialien sehr biegsam sind. Da bei diesem Verfahren beim Einbau keine nennenswerte Reibung zwischen Liner und Altrohrwand entsteht, können so auch große Durchmesser und größere Strecken saniert werden. Beim Einzieh-Verfahren kommen meist GFK-Liner zur Anwendung, d.h. als Trägermaterial werden Glasfasermatten eingesetzt. Da die Glasfasern einen bedeutend höheren E-Modul aufweisen als die eingesetzten Harze, lassen sich so Liner mit vergleichsweise geringer Wanddicke herstellen.

Der Qualitätssicherung vor Ort kommt beim Liner-Verfahren eine besondere Rolle zu, da sowohl der endgültige Rohrwerkstoff als auch die Rohrgeometrie erst auf der Baustelle gefertigt werden. Die Rohre werden nach Einbau stets mit einer Kamera auf Fehlstellen oder geometrische Auffälligkeiten kontrolliert und i.d.R. werden auch Rohrproben z.B. im Schachtbereich entnommen, um die erzielten Werkstoffeigenschaften anschließend im Labor zu prüfen.

Beschichtungsverfahren

Ein weiteres Verfahren, mit dem erst vor Ort das Material und die Geometrie des Sanierungskörpers erstellt werden, ist das Beschichtungsverfahren, englisch auch „Lining with sprayed, trowelled or cast-in-place material“. Diese Verfahren werden sowohl für Rohre, Schächte als auch andere Sonderbauwerke eingesetzt. Bei Rohren dient die Beschichtung meist nur dem Korrosionsschutz. Im Bereich der Schächte und Sonderbauwerke, wie z.B. Regenbecken, soll aber i.d.R. auch die Dichtheit oder sogar die Standsicherheit wiederhergestellt werden. Nachfolgend sehen wir einige Bildbeispiele aus der Schachtsanierung. Oben links wird ein Kunststoff aufgesprüht, oben rechts mit einer automatischen Sprüheinrichtung verteilt. Mörtel kann z.B. automatisch angeschleudert werden (unten links) oder von Hand aufgetragen werden (unten rechts).

Beim Beschichtungsverfahren wird das Material komplett vor Ort verarbeitet. Mörtel werden erst vor Ort mit Wasser angemischt und die Mischungsverhältnisse müssen allen Anforderungen der Hersteller entsprechen.

Bei der Applikation ist insbesondere auf eine gute Oberflächenvorbereitung zu achten. Die Verbundfestigkeit zwischen altem und neuem Material hängt wesentlich von der Festigkeit des alten Materials ab und davon, wie die Oberflächen miteinander verzahnt werden können. Vor der Beschichtung muss die alte Kanalwand immer bis hin zu einem tragfähigen Untergrund abgetragen werden. In der Regel wird die Verbundfestigkeit stichprobenartig über sogenannte Haftzugfestigkeitsprüfungen ermittelt und mit den Sollwerten (z.B. 1,5 N/mm^2 nach DAfStB) verglichen.

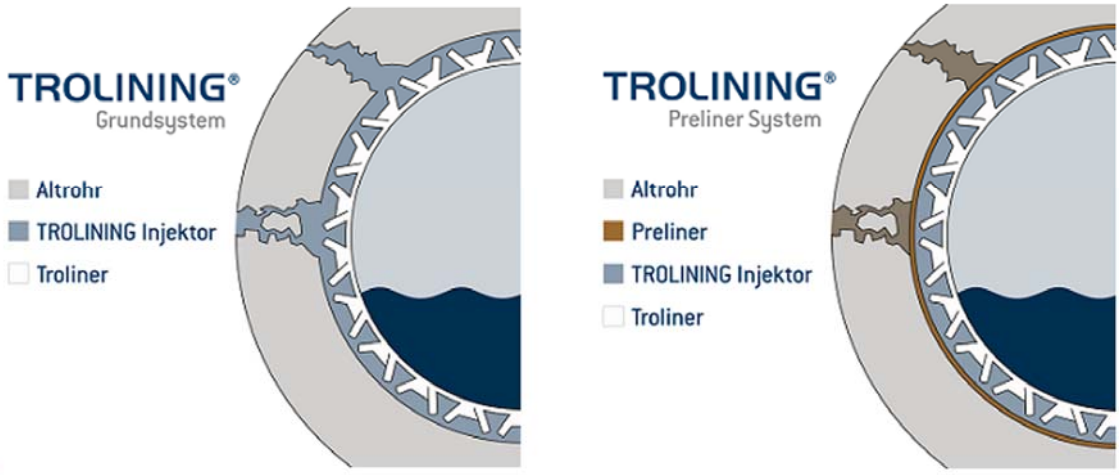
Noppenschlauchverfahren

Beim Noppenschlauchverfahren, englisch auch „Lining with a rigidly anchored plastics inner layer“, handelt es sich um eine Kombination aus einer Kunststoffbahn und Injektionsmörtel. Die Kunststoffbahn aus PE oder PVC besitzt an der Rückseite Noppen, die sowohl als Abstandhalter zur Altrohrwand als auch als rückwärtige Verankerung zum Injektionsmörtel dienen. Ähnlich wie bei einem Rohrstrangrelining wird der Ringraum zwischen Kunststoffbahn und altem Rohr mit Mörtel verpresst. Erst der ausgehärtete äußere Mörtelring bringt aber die Tragfähigkeit. Die Kunststoffbahn dichtet wiederum ab und schützt den Mörtel vor aggressiven Medien im Rohr.

Material vor Ort / Form vor Ort
Renovierung mit vor Ort aushärtenden Rohrmaterialien

Noppenschlauchverfahren

Lining with **a rigidly anchored plastics inner layer**



Beim Mörteleinsatz lassen sich zwei Fälle unterscheiden. Im vorstehenden Bild links kann der Mörtel in Risse oder Hohlräume der Bettung eindringen und stabilisiert auch direkt Altrohr und Bettung. Hier besteht allerdings die Gefahr, dass der Mörtel unkontrolliert in weitere Hohlräume läuft und sich so weiträumig im Untergrund verteilt.

Bei der zweiten Variante, rechts im Bild, wird zunächst ein Preliner eingeblasen, der das Altrohr vom Neurohr trennt und so verhindert, dass Material in Risse oder äußere Hohlräume abwandert. Das Altrohr-Boden-System selbst wird hierbei nicht verbessert. Mit Blick auf die Verfahrensauswahl ist im Einzelfall zu entscheiden, welche Funktionen wichtiger und welche Risiken tolerierbar sind.

In der Qualitätssicherung kommt der Mörtelqualität eine besondere Bedeutung zu. Das gilt für die lokale Festigkeit ebenso wie für die Homogenität der gesamten Mischung. Denn schließlich muss der Mörtel z.T. über große Strecken durch einen sehr geringen Ringraum gepresst werden und sich dabei zwischen den Noppen gleichmäßig verteilen.

Insgesamt scheint das Noppenschlauchverfahren das einzige Verfahren zu sein, bei dem sowohl der Boden als auch das Altrohr in einem Arbeitsgang verbessert werden können und gleichzeitig der Rohrstrang auch noch mit einer inneren Kunststoffbahn abgedichtet wird.

Fazit

Die Renovierung ist für den Abwasserbereich von besonderer Bedeutung und wird definiert über zwei Aspekte, die „Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit“ und die „Einbeziehung der ursprünglichen Substanz“. In der Versorgung findet der Begriff Renovierung selten Anwendung. Die entsprechenden Techniken zielen auch vorwiegend auf den Einsatz in drucklosen Freispiegelkanälen. Große Unterschiede zeigen sich bei den Verfahren, je nachdem ob Material und Form im Werk oder erst auf der Baustelle entstehen.

Die Verfahrensbeispiele unterstreichen, worum es bei der Renovierung geht, nämlich die Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit über die gesamte Haltungslänge, d.h. der Betriebssicherheit, Standsicherheit und Dichtheit, je nach Verfahren in unterschiedlichem Maße. Die Altrohr-Substanz wird dabei regelmäßig mit einbezogen. Eine grundlegende Klassifizierung finden wir in DIN EN 15885. Unterschiede lassen sich mit Blick auf den Ort der Herstellung und damit auch die Qualitätssicherung erkennen. Wir haben drei Gruppen unterschieden:

Zu der ersten Gruppe gehören das Einzelrohr-Relining und das Rohrstrangverfahren. In beiden Fällen werden die Rohre vollständig im Werk produziert. Das betrifft sowohl das Material als auch die endgültige Rohrform. Beides kann auch schon im Werk geprüft und vermessen werden. Beides ist allerdings auf der Baustelle auch nicht mehr veränderbar.

Zu der zweiten Gruppe gehören das Close-Fit-, das Wickelrohr- und das Montageverfahren. Hier wird das Rohrmaterial im Werk hergestellt. Es wird dort in seiner Zusammensetzung und Verteilung über die Rohrwanddicke bereits vollständig festgelegt. Die eigentliche Rohrform wird aber erst vor Ort aus dem gelieferten Strang, dem gelieferten Wandungsband oder den gelieferten Wandungssegmenten gebildet. Die Werkstoffqualität wird somit überwiegend im Werk bestimmt, die einzige Ausnahme sind Fugen oder innere Veränderungen bei hoher Verformungsenergie, so z.B. beim Close-Fit-Liner mit Verformung unter Innendruck und Temperatur.

Zur dritten Gruppe gehören das Schlauchlining, die Beschichtungsverfahren und das Noppenschlauchverfahren. Hier werden zunächst einzelne Materialkomponenten gemeinsam oder getrennt zur Baustelle geliefert. Sie werden vor Ort weiterverarbeitet und erst im Kanal selbst zu einem Rohr in gewünschter Geometrie ausgehärtet. Wesentliche Schritte des Produktionsprozesses finden also innerhalb des alten Kanals statt. Für die Qualitätssicherung vor Ort ist das eine besondere Herausforderung, denn sie betrifft den Produktionsprozess selbst ebenso wie das eigentliche Sanierungsergebnis.

Gelingt die Qualitätssicherung, dann haben die vor Ort arbeitenden Verfahren wesentliche Vorteile: der Platzbedarf beim Einbringen der Materialien in den Kanal ist meist geringer als wenn ein ganzes Rohr eingezogen werden muss. Und das neue Rohr kann vor Ort unmittelbar an die Altrohr-Geometrie angepasst werden.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

X Zur Frage der Standsicherheit von Linern

Wie tragen Liner zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit und Standsicherheit bei? Sind Liner nur Abdichtmaßnahmen oder haben sie auch eine statische Wirkung? Welche Unterschiede gibt es dabei zwischen Druckrohrleitungen und Freispiegelleitungen? Dieser Beitrag fasst einige grundsätzliche Aspekte zusammen.

Linersanierungen können einen weitreichenden Beitrag zur Beibehaltung oder sogar Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Kanälen und Leitungen leisten, als Beispiele sind hier zu nennen:

- **Standsicherheit**: Liner können in gewissem Rahmen innere und äußere Lasten übernehmen, hier insbesondere den inneren und äußeren Wasserdruck.
- **Dichtheit**: Liner dichten die gesamte Haltung ab, es entsteht ein neues Rohr. Die Verbindungen beschränken sich auf die Anbindung an Schächte und Hausanschlüsse.
- **Betriebssicherheit**: Viele Liner werden mit nur geringem Ringraum eingebaut, so dass der hydraulische Querschnitt weitgehend erhalten bleibt.
- **Dauerhaftigkeit**: Der Liner trennt das Abwasser vom Altkanal und schützt diesen vor mechanischen Beanspruchungen z.B. aus Abrieb und HD-Reinigung sowie biologisch-chemischen Beanspruchungen (Korrosionsschutz).

Hinsichtlich der Standsicherheit stellt sich die Frage, welchen Lasten ein Liner widerstehen muss und welchen Beitrag ein Liner zur Standsicherheit des Rohr-Boden-Systems leistet. Zu unterscheiden ist dabei zwischen Druckleitungen und Freispiegelleitungen.

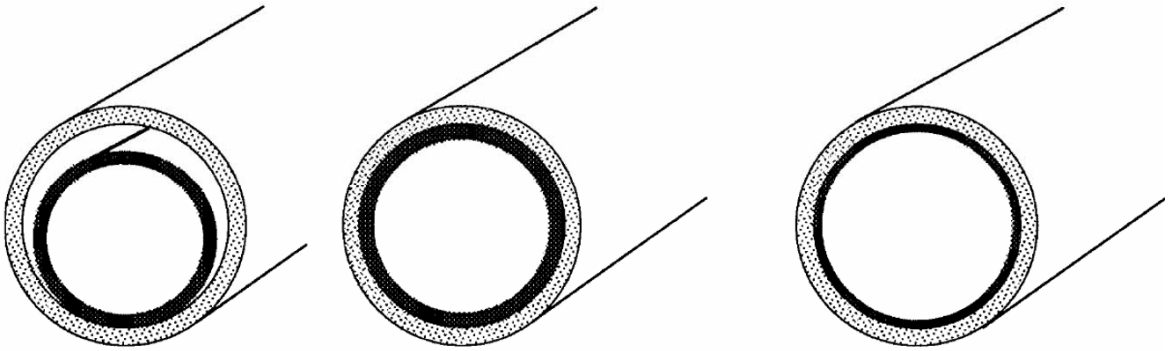
Liner in Druckleitungen

Eine Klassifzierung von Linern zur Sanierung von Druckleitungen fand sich bereits in EN 13689 mit Blick auf die Standsicherheit. Eine weitaus detaillierte Aufgliederung findet sich nun in ISO 11295, welche die EN 13689 abgelöst hat. Die wesentlichen Aspekte der EN 13689 gelten aber unverändert. Es wird dabei unterschieden, ob der Liner unabhängig vom Altrohr den Innendruck übernehmen kann (independent) oder ob er den Innendruck lediglich gemeinsam mit dem Altrohr (interactive) abträgt (s. Bild). Im zweiten Fall wirkt der Liner meist nur als Korrosionsschutz und überbrückt ggf. kleinere Fehlstellen (Abdichtung von z.B. Korrosionslöchern).

Für die Fälle „independent“ ist zu beachten, dass nur im Falle a) loose-fitting wirklich sichergestellt ist, dass der Liner auch die Lasten übernimmt. Hier kann sich der Liner aufgrund des Ringraumes zwischen Altrohr und Liner unter Innendruck soweit dehnen, bis er den Innendruck vollständig alleine trägt. Dies ist im Falle b) close-fitting nicht immer möglich. Hier hat der Liner zwar eine ausreichende Wanddicke um die Lasten theoretisch aufzunehmen, allerdings kann das Altrohr die notwendige Verfomung behindern. In vielen Fällen handelt es sich bei dem Altrohr – insbesondere bei Korrosionsschäden - um sehr steife Systeme, z.B. aus Stahl oder Guss. Ein eng anliegender Liner aus Kunststoff gibt in diesem Fall den Innendruck bereits an das Altrohr ab, bevor er selbst nennenswerte Dehnungen aufbauen kann. Der Liner wird erst dann entsprechend seiner Bemessungslast beansprucht, wenn das Altrohr komplett versagt, d.h. bricht.

Der o.a. Zusammenhang ist insbesondere mit Blick auf Abnahmeprüfungen von Relevanz. Während ein freiliegender Liner nach Einbau mittels Innendruckprüfung auch auf seine Standfestigkeit überprüft werden kann, ist dies im Falle „close-fitting“ dann nicht möglich, wenn das Altrohr noch intakt und deutlich steifer als der Liner ist. Beim „Abdrücken“ der Leitung wird hier nur die Lastübertragung auf das Altrohr und damit die Standsicherheit des Altrohres getestet. Die Reserven, die der Liner bei Altrohr-Versagen bietet, können so nicht überprüft werden. Der Qualitätssicherung der Linerproduktion selbst kommt daher in diesem Fall eine noch höhere Bedeutung zu.

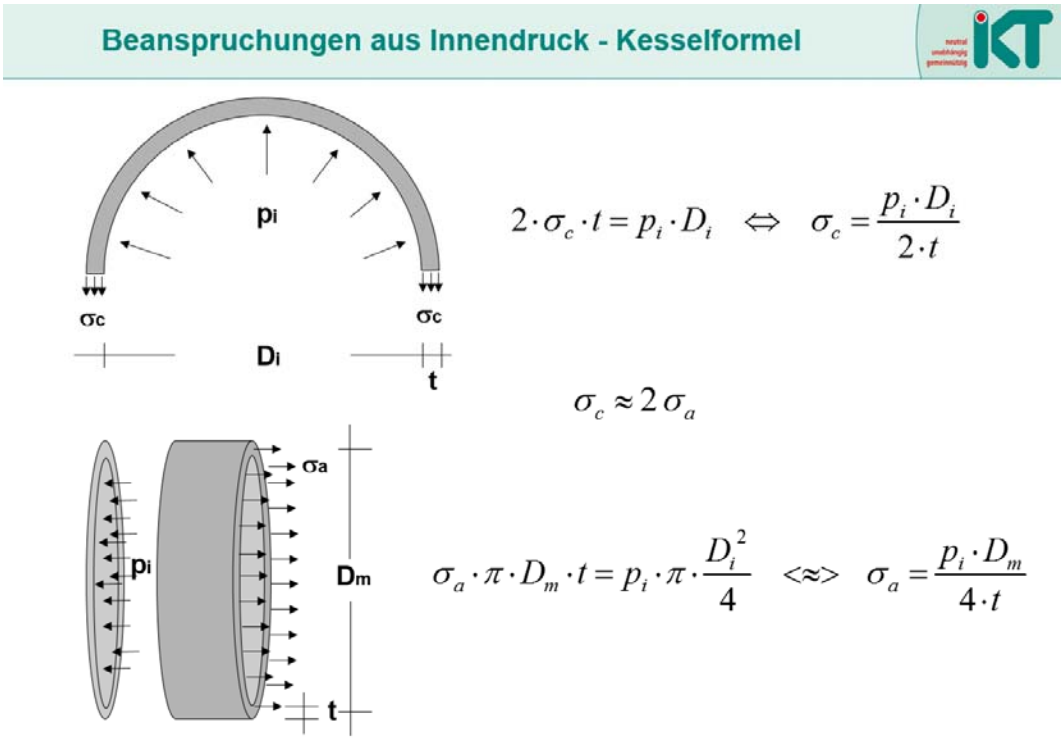
Druckleitungen: Liner – Altrohr - System



EN 13689, replaced by ISO 11295

Kesselformel

Welche Lasten wirken nun aber auf einen Liner, der den Innendruck vollständig übernehmen muss? Zunächst ist hier die klassische Innendruckbelastung zu nennen, die nach der sogenannten Kesselformel berechnet werden kann. Dabei wird in der Modellvorstellung das Rohr gedanklich in zwei Teile geteilt, so dass auf einen Teil sowohl der Innendruck als auch die haltenden Zugkräfte in der Rohrwandung wirken. Zugkräfte und Innendruckkraft müssen dann im Gleichgewicht stehen, so dass hieraus die aus dem Innendruck resultierenden Zugspannungen in Umfangsrichtung errechnet werden können. In ähnlicher Weise müssen auch die Zugkräfte in Rohrlängsrichtung im Gleichgewicht mit den auf die kreisrunden Rohrenden wirkenden Innendruckkräfte stehen. Maßgeblich sind schließlich die Spannungen in Umfangsrichtung, die in freien geraden Rohren stets das Doppelte der Spannungen in Längsrichtung betragen.



$$2 \cdot \sigma_c \cdot t = p_i \cdot D_i \quad \Leftrightarrow \quad \sigma_c = \frac{p_i \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_c \approx 2\,\sigma_a$$

$$\sigma_a \cdot \pi \cdot D_m \cdot t = p_i \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4} \quad <\approx> \quad \sigma_a = \frac{p_i \cdot D_m}{4 \cdot t}$$

Darüber hinaus können sich weitere Belastungen in Druckleitungen ergeben, z.B. in gekrümmten Leitungsabschnitten oder durch Druckstöße, so dass auch weitere konstruktive Maßnahmen erforderlich werden können, wie z.B. der Bau von Widerlagern oder Wasserschlössern.

Ein weiteres Augenmerk ist darauf zu legen, wie sich der Liner im nichtgefüllten, d.h. drucklosen Zustand (kein Innendruck), verhält. Außendruck, z.B. durch anstehendes Grundwasser, kann zu einem Stabilitätsversagen führen, wenn der Liner nicht mit dem Altrohr verklebt ist. Aber auch bei einer Verklebung im Fall „interactive“ ist diese entsprechend nachzuweisen. ISO 11295 gibt hier detaillierte Hinweise.

Das Verhalten von drucklosen Rohren unter Außenwasserdruck (ohne Verklebung zum Altrohr) entspricht weitgehend der statischen Betrachtung von Linern in Freispiegelleitungen.

Liner in Freispiegelleitungen

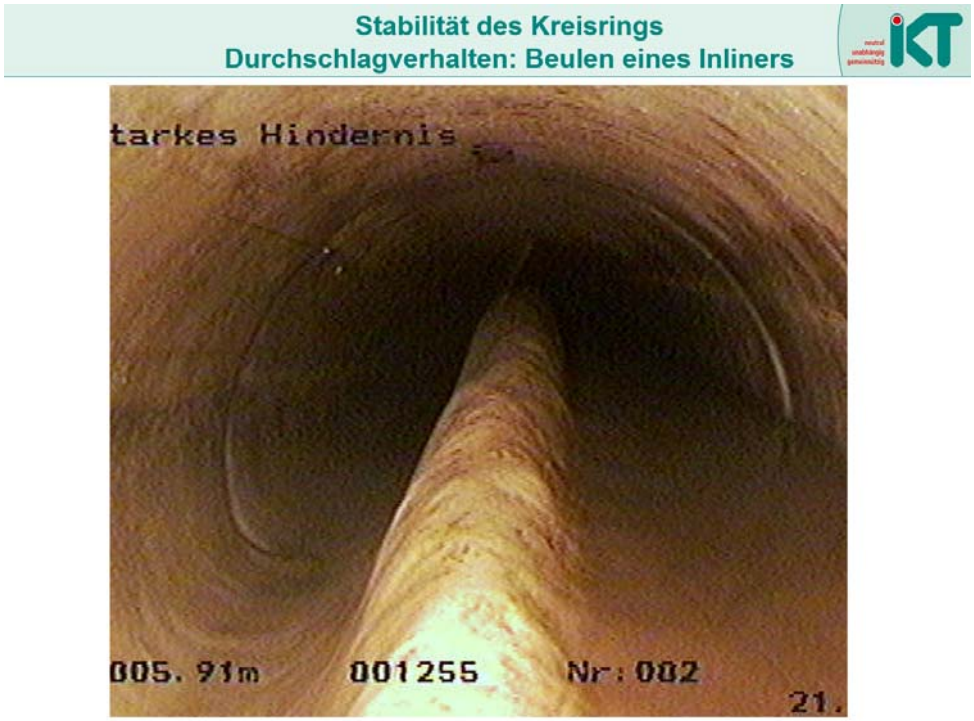
Freispiegelkanäle und -leitungen stehen lediglich im Rückstaufall unter Innendruck. Für Standsicherheitsbetrachtungen ist der drucklose Fall in der Regel maßgeblich. Hier stellt sich insbesondere die Frage, wie die Erd- und Verkehrslasten im Rohr-Boden-System abgetragen werden und welchen Beitrag der Liner zur Systemsteifigkeit leisten kann. Bei anstehendem Grundwasser steht der Liner darüber hinaus unter Außenwasserdruck. Diese Belastung kann zu hohen Druckspannungen im Liner führen, die insbesondere bei nicht kreisrunden Linern zu weiteren Biegespannungen, Verformungen und schließlich sogar Stabilitätsversagen führen können.

Aufgrabungen bestätigen Standsicherheit

Mit einer sachgerechten Bemessung und einem qualitativ hochwertigen Einbau des Liners kann solchen Problemen entgegengetreten werden. Aufgrabungen an älteren Linern zeigen, dass dann ein dauerhaft hoher Widerstand gegenüber äußeren Belastungen erwartet werden darf.

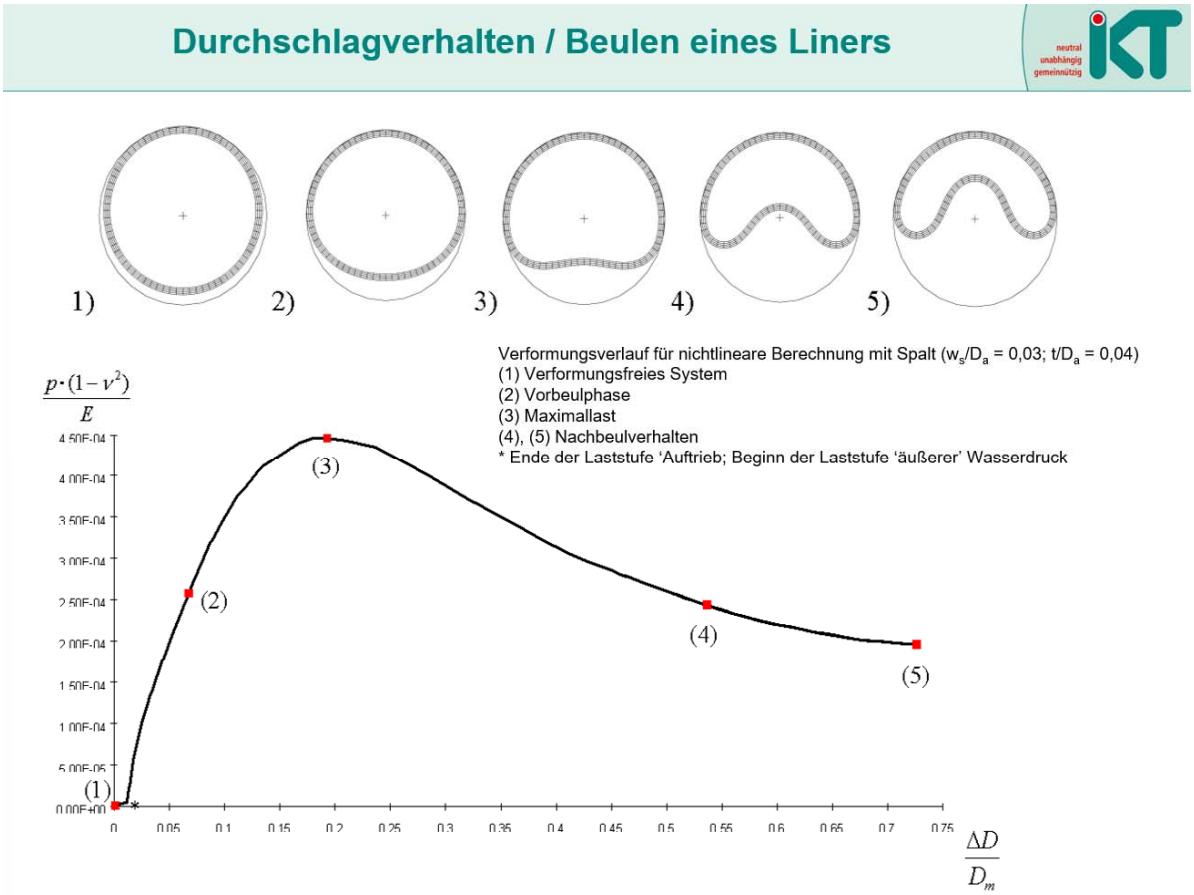
Durchschlagen des Liners unter Außenwasserdruck

Wie sehen nun aber dennoch typische Versagensbilder aus? Im u.a. Bild ist ein Liner zu sehen, der unter Außenwasserdruckbelastung an der Rohrsohle eingebeult ist. Bei wachsendem Außenwasserdruck kam es zu einer beschleunigten Verformung, die schließlich ohne weitere Lasterhöhung zu einem „Durchschlagen“ des Liners nach innen führte. Die großen Verformungen können darüber hinaus auch zur Überschreitung der Bruchfestigkeit des Liners mit entsprechenden Rissen führen.



Das folgende Bild bestätigt dieses Verhalten anhand von Ergebnissen einer FEM-Berechnung. Im Ausgangszustand 1) liegt der kreisrunde Liner in einem ebenfalls kreisrunden Altrohr. Das statisch noch intakte Altrohr ist undicht, so dass von außen Grundwasser eindringen kann. Der Grundwasserdruck wirkt dann auf den Liner, so dass er im Scheitelbereich an der Altrohrwand anliegt und sich mit fortschreitender Druckerhöhung verformt. Im Bild ist der für die Verformung notwendige relative Druck über die relative Durchmesseränderung aufgetragen[1].

Deutlich ist zu erkennen, dass zum Erreichen der Verformungszustände 2) und 3) eine Druckerhöhung notwendig ist. Der Kontaktbereich zum stützenden Altrohr wächst kontinuierlich. Im Verformungszustand 3) wird der Maximaldruck erreicht. Der Liner zeigt hier eine Verformungsfigur mit vollständiger Abflachung des Sohlbereichs. Weitere Verformungen in die Verformungszustände 4) und 5) führen dann zu einer Ablösung des Liners von der stützenden Altrohrwand. Eine Druckerhöhung ist nicht mehr notwendig, die Verformungsbilder 4) und 5) werden sogar mit deutlich geringeren Drücken als dem Maximaldruck erreicht. In der Praxis kommt es daher zu einem schnellen Versagen des Liners bei Überschreiten des Maximaldrucks, dem sogenannten Durchschlagen des Liners. Häufig wird auch vom Beulen oder Stabilitätsversagen des Liners gesprochen.



[1] Druck und Durchmesseränderung wurden in der Darstellung zu dimensionslosen Größen normiert, indem der Druck ins Verhältnis zum E-Modul und der Querdehnzahl des Liners und die Durchmesseränderung ins Verhältnis zum Ausgangsdurchmesser gesetzt wurden. Daher ist hier von relativen Werten die Rede.

Drei Zustände des Altrohr-Boden-Systems

Grundsätzlich lassen sich mit Blick auf den notwendigen Beitrag eines Liners zur Standsicherheit des Gesamtsystems drei Fälle unterscheiden. Dabei liegt der Fokus auf dem Zustand des zu sanierenden Altkanals.

Freispiegelleitungen
Altrohr-Boden-Liner-System, vgl. DWA A 143-2

Zustand I

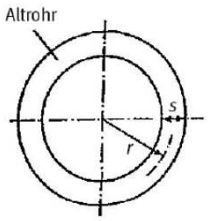
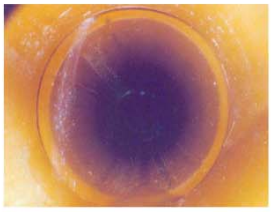


Bild 1: Altrohrzustand I



Zustand II

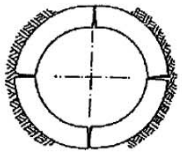
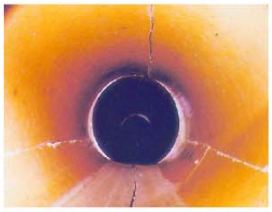


Bild 2: Altrohrzustand II



Zustand III

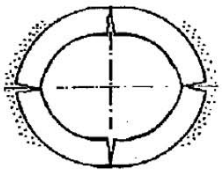


Bild 3: Altrohrzustand III

Quelle: DWA A 143-2

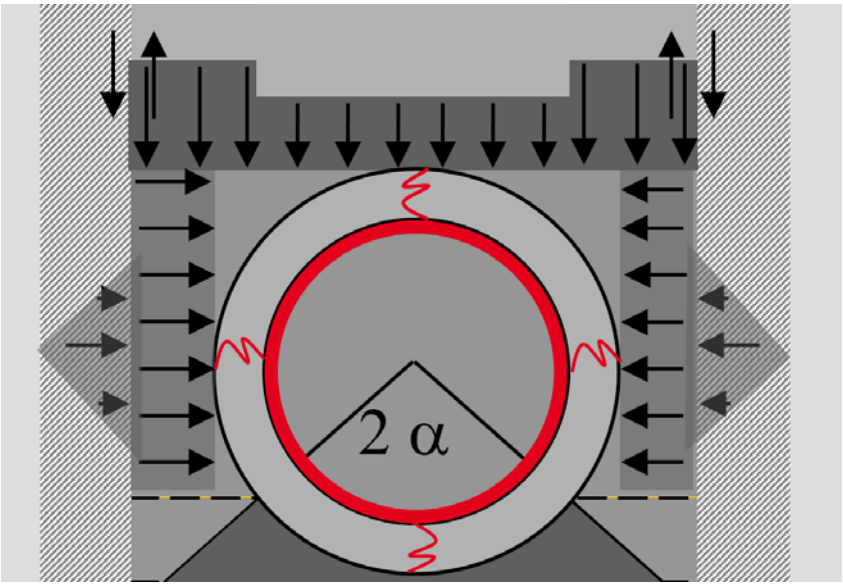
Zustand I: Der Altkanal ist undicht, aber statisch noch vollständig intakt. Sämtliche Erd- und Verkehrslasten werden durch das Altrohr-Boden-System abgetragen. Für Kreisprofile kann von einem weitgehend runden Querschnitt ausgegangen werden. Bei einem solchen Altrohr-Zustand muss der Liner lediglich den äußeren Druck des Grundwassers aufnehmen. Er ist dabei - im Falle der Kreisprofile – in einem nahezu ideal runden äußeren Rohr gebettet.

Zustand II: Der Altkanal ist undicht und gerissen. Sämtliche Erd- und Verkehrslasten werden aber noch vollständig durch das Zusammenwirken von Altrohr und Bettung, dem Altrohr-Boden-System, abgetragen (ähnlich zu biegeweichen Systemen). Entsprechend ist das Altrohr geringfügig verformt, so dass z.B. bei Kreisprofilen von einem leicht ovalisierten Querschnitt ausgegangen werden muss. Bei einem solchen Altrohr-Zustand muss der Liner wie bei Zustand I den äußeren Druck des Grundwassers aufnehmen. Allerdings kann das ovalisierte Altrohr den Liner schon bei Einbau in eine Form zwingen, die vom idealen Kreisprofil und damit den geometrischen Bedingungen von Zustand I abweicht.

Zustand III: Der Altkanal ist undicht, gerissen und bereits stark verformt. Erd- und Verkehrslasten werden zwar durch das Altrohr-Boden-System abgetragen, allerdings nicht mehr mit der notwendigen Sicherheit. Bei einem solchen Altrohr-Zustand muss der Liner zunächst wie bei Zustand II den äußeren Druck des Grundwassers in einer vom Kreisprofil abweichenden Form aufnehmen. Darüber hinaus muss der Liner aber auch einen Beitrag zur Erhöhung der Gesamtsteifigkeit des Altrohr-Boden-Systems leisten. Die Voraussetzung bleibt aber auch hier, dass das Altrohr-Boden-System den wesentlichen Beitrag zur Standsicherheit gegenüber Erd- und Verkehrslasten trägt.

Standsicherheit hängt immer vom Altrohr-Boden-System ab

In allen drei Fällen (Zustand I,II,III) hängt die Standsicherheit wesentlich vom Altrohr-Boden-System ab. In den Zuständen II und III müssen sogar Bettungsreaktionsspannungen aktiviert werden, damit das System standsicher ist, ähnlich wie bei biegeweichen Rohren (vgl. Bild unten, dreieckige Spannungsreaktion). Der Liner trägt in Zustand III zwar zur Steifigkeit des Gesamtsystems bei, entscheidend für die Standsicherheit unter Erd- und Verkehrslasten ist aber auch hier das Last-Verformungsverhalten des Altrohr-Boden-Systems.



Kritischer Außenwasserdruck / Beuldruck

In allen drei Altrohr-Boden-Zuständen muss der Grundwasser-Außendruck stets durch den Liner aufgenommen werden. Der maximale Außenwasserdruck, bis es zum Spannungs-, Verformungs- oder Stabilitätsversagen (Beulen) kommt, wird in der Regel am Kreisringmodell bestimmt. Dies setzt wie in der Rohrstatik für die Grabenverlegung voraus, dass das Rohr über seine Gesamtlänge eine gleichförmige Geometrie, gleichförmige Materialeigenschaften und gleichförmige Belastungen aufweist. Der maximal aufnehmbare Außenwasserdruck (Beuldruck) hängt dann von der Steifigkeit des Liners und der Bettung des Liners ab. Grundsätzlich lassen sich **zwei Grenzfälle** unterscheiden:

- **Freies Rohr/Liner**: Der Liner liegt frei auf und besitzt keine weitere Bettung. Er kann sich unter Außenwasserdruck frei verformen. Der Beuldruck hängt damit allein von der Biegesteifigkeit des Liners ab.
- **Rohr im Rohr (ideal)**: Der Liner liegt nach Einbau eng und ohne Ringspalt in einem äußeren starren Rohr. Erst durch den Außenwasserdruck kann sich ein Ringspalt bilden, dessen Größe

von der Normalkraftsteifigkeit des Liners (in Ringrichtung) abhängt. Dieser Ringspalt lässt dann Biegeverformungen zu, die ein Stabilitätsversagen des Liners ermöglichen. Der Beuldruck hängt damit von der Biege- und Normalkraftsteifigkeit des Liners ab.

Zwischen diesen beiden Grenzfällen sind zahlreiche Formen von Lagerung und Bettung denkbar, die einen mehr oder weniger hohen Beuldruck zulassen. Das Rohr kann z.B. an Fixpunkten in seiner Verformung beschränkt sein (punktuelle Stützung) oder es ist elastisch gelagert (z.B. direkt im Boden). Der Liner kann auch mit Ringspalt in ein starres Rohr eingebaut werden und erst unter Verformung eine Bettung durch das äußere Rohr erfahren (vgl. FEM-Berechnung oben). Zur statischen Berechnung bieten sich dann grundsätzlich zwei Möglichkeiten an:

- Modellierung des jeweiligen Gesamtsystems (Geometrie, Materialeigenschaften, Belastungen) mittels Finite Elemente und Berechnung des Last-Verformungsverhaltens, wie im Bild oben dargestellt.
- Berechnung über Näherungsgleichungen für typische Anwendungsfälle: Diese Näherungsgleichungen basieren entweder auf der analytischen Lösung für den unteren Grenzwert (freies Rohr) oder der analytischen Lösung für den oberen Grenzwert (Rohr im Rohr). Mittels systemabhängiger Vorfaktoren werden diese Werte dann für den jeweiligen Anwendungsfall erhöht bzw. vermindert.[2] Die Vorfaktoren werden im Vorfeld analytisch, empirisch (Versuche) oder numerisch (FEM-Berechnungen) für typische Anwendungsfälle ermittelt.

Vor diesem Hintergrund sollen nun die beiden Grenzwerte näher erläutert werden, d.h. der Beuldruck für das freie Rohr und für das ideale Rohr im Rohr – System. Anschließend werden Beispiele für Näherungsgleichungen aus dem Regelwerk dargestellt.

Beuldruck des freien Rohres (unterer Grenzwert)

Bereits 1961 veröffentlichte Timoshenko in seinem Fachbuch „Theory of elastic stability“ die Herleitung einer Stabilitätsgleichung für Kreisringe, die auch auf Rohre übertragbar ist, wenn Geometrie, Belastung und Materialeigenschaften über die Länge des Rohres konstant sind. Der kritische Beuldruck des freien Rohres p_{kr} hängt dann allein von der Biegesteifigkeit des gekrümmten Balkens (Kreisring) bzw. der gekrümmten Wandung (Rohr) sowie dem mittleren Radius von Kreisring bzw. Rohr ab.

In nachfolgendem Bild sind die typisch elliptische Versagensfigur sowie die entsprechende Beulformel für einen Kreisring mit beliebiger Steifigkeit EI bzw. für ein Vollwandrohr mit Wanddicken-/Durchmesserverhältnis t/D dargestellt. Wird das Vollwandrohr als unendlich lang oder axial unverschieblich angenommen, kann die Steifigkeit aufgrund behinderter Querdehnung noch um den Faktor $1/(1-\nu^2)$ erhöht werden. In der Regel wird auf diese Erhöhung in der Praxis verzichtet, um das Ergebnis zur sicheren Seite abzuschätzen.

Das Versagen des freien Rohres unter Außenwasserdruck ist dadurch begründet, dass schon kleinste geometrische Abweichungen von der kreisrunden Rohrform durch den Außendruck zu Biegemomenten und damit zu weiteren Abweichungen von der Kreisform führen. Bei Werten

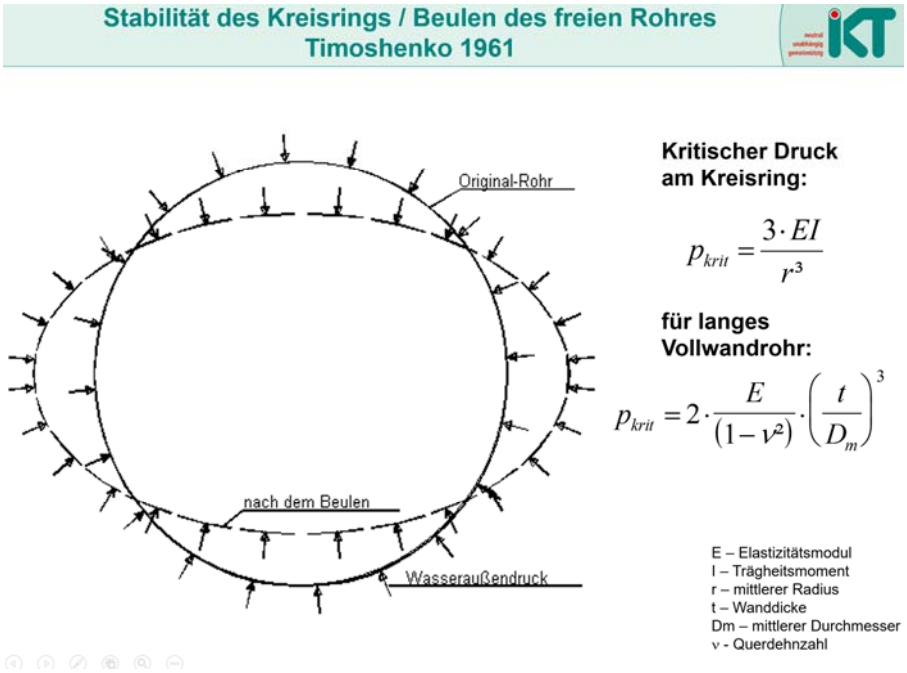
[2] International sind beide Ansätze vertreten, sowohl die Abminderung des oberen Grenzwertes (vgl. DWA A 143-2) als auch die Erhöhung des unteren Grenzwertes (vgl. ASTM 1216)

unterhalb des kritischen Drucks konvergieren die Verformungen gegen einen stabilen Grenzwert, bei Werten oberhalb des kritischen Drucks beschleunigen sich Biegemomente und Verformungen, so dass es zum Stabilitätsversagen kommt. Das Systemverhalten ähnelt dem eines Knickstabes, und die aus der Stabstatik bekannten Euler-Fälle (je nach Lagerung des Stabs) entsprechen dem Verhalten eines Rohres mit unterschiedlichen Bettungen.

Für ein freies Rohr mit einem mittleren Durchmesser von 500 mm, einer Wanddicke von 10 mm und einem E-Modul von 2500 MPa (N/mm²) ergibt sich dann der Druck p_{kr} (ohne Berücksichtigung des Querdehnungsverhaltens) nach u.a. Formeln wie folgt:

$$p_{kr} = 2 \cdot 2500 \cdot \left(\frac{10}{500} \right)^3 = 0{,}04 MPa = 4\ mWs\ .$$

Das Rohr wird also bei einem Außenwasserdruck von 4 Meter Wassersäule ein Stabilitätsversagen aufweisen und 2-wellig (elliptisch) beulen.



Beuldruck des Rohr im Rohr – Systems (oberer Grenzwert)

Der obere Grenzwert ergibt sich für ein kreisrundes Rohr, dass vor der Belastung ohne Ringspalt in einen äußeren starren kreisrunden Rahmen (hier Altrohr) eingefasst wurde. Sobald ein Außendruck auf dieses Rohr wirkt, wird sich sein Durchmesser verkleinern, und zwar entsprechend der Normalsteifigkeit der Rohrwand.[3]

Durch die Durchmesseränderung entsteht ein Ringspalt, der den nötigen Raum für Biegeverformungen bietet. Ähnlich wie beim freien Rohr können dann unter Außendruck geringste Abweichungen von der idealrunden Form zu Biegeverformungen führen. Auch hier gibt es dann einen kritischen Druck p_{kr}, bei dem das Verformungsverhalten nicht mehr konvergiert, sondern sich

[3] In ähnlich Weise würde es sich bei Innendruck vergrößern.

beschleunigt. In der Folge wird ein Versagensablauf eingeleitet, wie er weiter oben (FEM-Simulation) bereits dargestellt wurde.

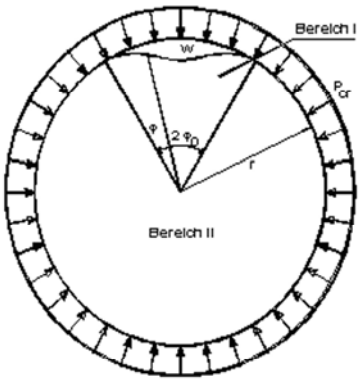
Eine analytische Lösung für diese Problemstellung wurde erstmalig 1977 von Glock in der Zeitschrift „Stahlbau“ veröffentlicht. In nachfolgendem Bild sind die typische Versagensfigur sowie die entsprechende Beulformel für einen Kreisring mit beliebiger Normalkraftsteifigkeit E A und Biegesteifigkeit E I bzw. für ein Vollwandrohr mit Wanddicken-/Durchmesserverhältnis t/D dargestellt. Wird das Vollwandrohr als unendlich lang oder axial unverschieblich angenommen, kann die Steifigkeit auch hier aufgrund behinderter Querdehnung um den Faktor $1/(1-\nu^2)$ erhöht werden. Das Systemverhalten ähnelt auch hier dem eines gelagerten bzw. gebetteten Knickstabes.

Für ein Rohr mit einem mittleren Durchmesser von 500 mm, einer Wanddicke von 10 mm und einem E-Modul von 2500 MPa (N/mm²) ergibt sich dann (ohne Berücksichtigung des Querdehnungsverhaltens) der Druck p_{kr} zu:

$$p_{kr} = 1 \cdot 2500 \cdot \left(\frac{10}{500}\right)^{2,2} = 0{,}46 MPa = 46\ mWs\ .$$

Das Rohr wird somit bei einem Außenwasserdruck von 46 Meter Wassersäule ein Stabilitätsversagen aufweisen und beulen. Der Wert liegt in diesem Fall um das mehr als 10-fache über dem Wert des freien Rohres.

Stabilität des Kreisrings
Rohr-im-Rohr-Modell nach Glock, 1977



Kritischer Druck am Kreisring:

$$p_{krit} = \alpha_{krit} \cdot \frac{EI}{r^3}$$

$$= 0{,}969 \cdot \left(\frac{EA \cdot r^2}{EI}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot \frac{EI}{r^3}$$

für langes Vollwandrohr:

$$p_{krit} = 1{,}0 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{t}{D_m}\right)^{2,2}$$

E – Elastizitätsmodul
I – Trägheitsmoment des gekrümmten Balkens
A – Fläche des gekrümmten Balkens
r – mittlerer Radius
t – Wanddicke
Dm – mittlerer Durchmesser
ν - Querdehnzahl

Näherungsgleichungen berücksichtigen Geometrie- und Materialabweichungen

Wie bereit eingangs erläutert, greifen zahlreiche Bemessungsempfehlungen für Liner auf die o.a. analytischen Lösungen für die Grenzfälle „freies Rohr“ und „Rohr im Rohr“ zurück. Diese Ausgangsgleichungen gelten allerdings nur für **ideale Bedingungen** mit Blick auf:

- Geometrie: kreisrundes Rohr und ggf. kreisrunde Einfassung ohne Ringspalt

- Material: ideal-elastisch
- Belastungen: gleichförmiger radialer Außendruck

In der Praxis der Linersanierung kommt es nun zu nennenswerten Abweichungen von dieser Idealvorstellung:

- **Geometrie:** Der Liner kann aufgrund einer nicht kreisrunden Innenoberfläche des Altrohres schon unmittelbar nach Einbau erhebliche Abweichungen zur idealen Kreisform aufweisen, hierzu gehören z.B. lokale Vorverformungen (z.B. bei mangelnder Reinigung des Altrohrs), eine Ovalisierung des Querschnitts (z.B. bei Rissen im Altrohr mit sogenannter Gelenkringverformung) und Ringspaltbildung, z.B. bei Unterkonfektionierung des Liners. In den Bemessungsempfehlungen werden diese geometrischen Abweichungen dadurch berücksichtigt, dass die ideale Lösung mittels geometrieabhängiger Vorfaktoren korrigiert wird. Die Vorfaktoren selbst wurden i.d.R. über gesonderte analytische Berechnungen, die Auswertung empirischer Daten (Versuche) oder FEM-Berechnungen ermittelt.
- **Material:** Liner werden i.d.R. aus viskoelastischen Kunststoffen, wie Thermoplasten, oder viskoelastischen Verbundwerkstoffen (Harze und Trägermaterialien) gefertigt. Diese Materialien unterliegen einem zeitabhängigen Verformungsverhalten, d.h. bei konstanter Last nehmen die Verformungen über die Zeit zu. Dieser Effekt wird in den Bemessungsempfehlungen dadurch berücksichtigt, dass die Berechnungen i.d.R. mit dem sog. Langzeit-E-Modul[4] E_L der Kunststoffe durchgeführt werden.
- **Belastungen:** Der Liner wird als Rohr im Rohr nicht nur durch Außendruck, sondern auch durch Eigengewicht und Reibung zwischen Neurohr und Altrohr beansprucht. Die Reibung kann in der Regel vernachlässigt werden, da sie tendenziell zu einer stärkeren Bettungswirkung führt.

Als Beispiel sind auf den folgenden Bildern die Berechnungsansätze nach DWA und ASTM aufgeführt. Zu besseren Vergleichbarkeit werden die in diesem Skript bereits eingeführten Bezeichnungen verwendet. Eine Umrechnung in die von DWA und ASTM verwendeten Bezeichnungen und Formeln ist leicht möglich.

Näherung nach DWA-A 143-2

Die Näherung in DWA-A 143-2 geht auf umfassende Analysen und FEM-Berechnungen von Falter zurück. Er schlägt mit Blick auf geometrische Abweichungen die Vorfaktoren κ_v, $\kappa_{GR,v}$ und κ_s zur Abminderung des Maximalwertes nach Glock vor, deren Werte in Nomogrammen abgelesen werden

[4] Der Begriff „Langzeit-E-Modul“ führt häufig zu dem Missverständnis, dass es sich um eine zeitabhängige Änderung der Steifigkeit von Kunststoffen handelt. Dies ist aber gerade nicht der Fall. Ein viskoelastischer Werkstoff verhält sich auch nach längerer Zeit unter neuer Belastung immer noch in gleicher Weise, so auch mit gleicher Steifigkeit. Eine konstant aufgebrachte Belastung führt allerdings über die Zeit zu wachsenden Verformungen. Dieses verzögerte Verfomungsverhalten kann in der Statik berücksichtigt werden, indem als neue Größe der Langzeit-E-Modul definiert wird, der dem Verhältnis aus Langzeitspannung zu Langzeitverformung nach einer vorher definierten Zeitdauer (z.B. 50a) entspricht, also $E_L = \sigma_L/\varepsilon_L$. Bei linear-viskoelastischem Werkstoffverhalten dürfen dann alle Lösungen der Elastostatik als richtige Lösungen für den viskoelastischen Fall aufgefasst werden, wenn die Belastungssituation über die Zeit unverändert bleibt und in den Berechnungen der Wert E_L angesetzt wird. (vgl. Flügge 1975)

können. Für Standardfälle wird ein kombinierter Wert $\kappa_{v,s}$ vorgeschlagen. Die Vorfaktoren werden schließlich mit dem o.a. Grundwert des Rohr im Rohr – Systems nach Glock multipliziert.

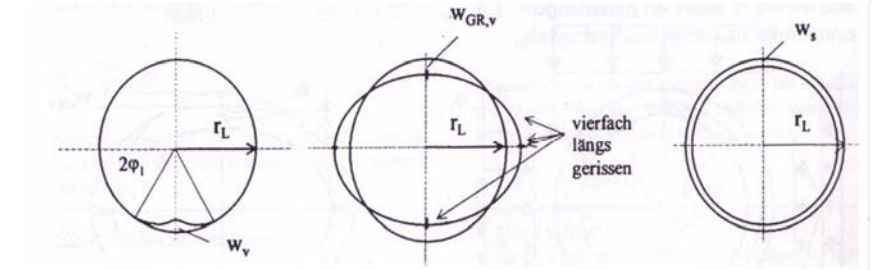
Stabilität des Kreisrings
Näherungsgleichung, DWA-A 143-2, in Anlehnung an Glock

$$p_{krit} = \kappa_{v,s} \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{t}{D_m}\right)^{2,2}$$

Vorfaktor $\kappa_{v,s}$ zur Berücksichtigung von:

$\kappa_{v,s}$ = κ_v ⊗ $\kappa_{GR,v}$ ⊗ κ_s

Örtlich begrenzte Vorverformung W_v	Gelenkringvorverformung Ovalisierung = $W_{GR,v}$	Spaltbildung Ringspalt = W_S



Quelle: Falter, B.

Näherung nach ASTM F 1216

Demgegenüber greift ASTM F 1216 auf die Grundgleichung des freien Rohres nach Timoshenko zurück. Dieser Wert wird dann mit einem Verminderungsfaktor für Ovalität C (nach Guice), einem Bettungsfaktor K und dem Sicherheitsfaktor 1/N multipliziert. Für den Bettungsfaktor K wird ein Mindestwert von 7 empfohlen.

Stabilität des Kreisrings
Näherungsgleichung, ASTM F 1216, Anlehnung an Timoshenko

$$p_{krit} = K \cdot \frac{C}{N} \cdot 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{t}{D_m}\right)^3$$

K - enhancement factor of the soil and existing pipe adjacent to the new pipe (a minimum value of **7.0** is recommended where there is full support of the existing pipe),

C - ovality reduction factor

N - factor of safety

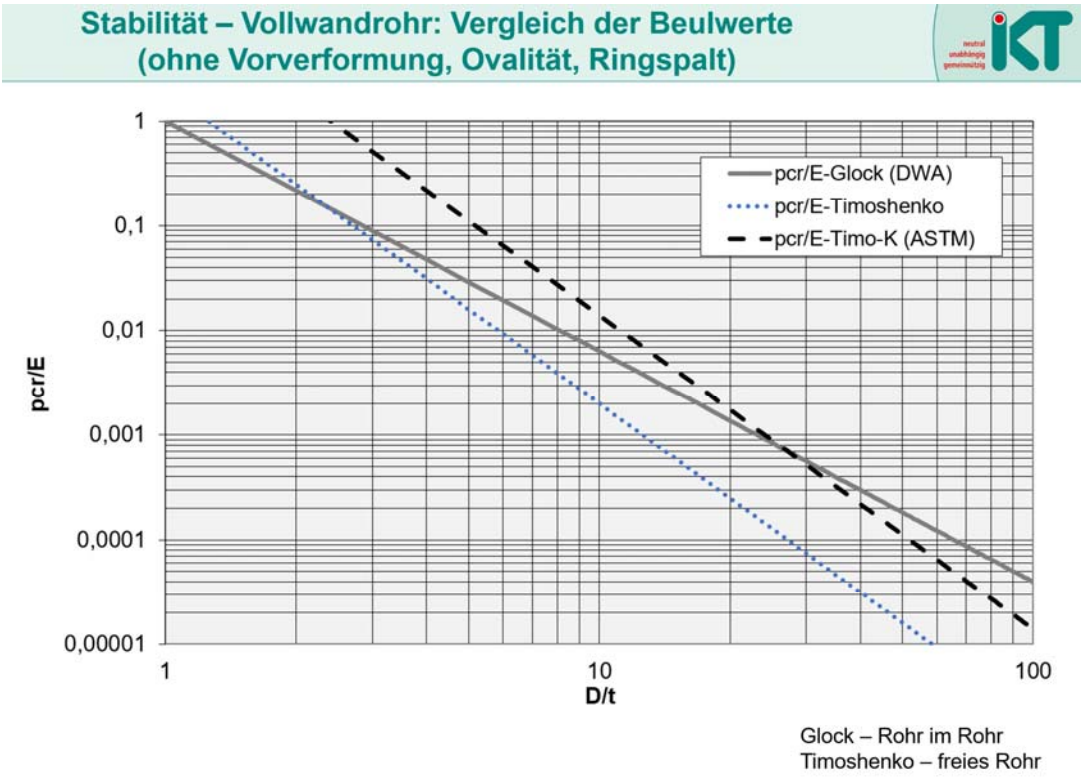
$$C = \left(\frac{1-\frac{\Delta}{100}}{\left(1+\frac{\Delta}{100}\right)^2}\right)^3$$

Δ - percentage ovality of original pipe

Vergleich der Näherungsansätze

Einen Vergleich der Ergebnisse nach Timoshenko (freies Rohr) und Glock/DWA (ohne Vorverformung und Anfangsringspalt) mit der Näherungslösung nach ASTM (ohne Ovalität und mit Bettungsfaktor K = 7) zeigt das folgende Bild. Drei Bereiche sind dabei von Interesse:

- **D/t < 2:** Hier sind die Lösungen nachweislich nicht anwendbar, denn offensichtlich liegt die Timoshenko-Lösung des freien Rohres über der Glock-Lösung für das Rohr im Rohr System. Geometrisch übersteigt die Wanddicke bereits den halben mittleren Rohrdurchmesser, so dass es sich eigentlich um einen fast vollgefüllten Zylinder handelt.
- **2 < D/t < 26:** Es handelt sich um dickwandige Rohre. In diesem Bereich liegen beide Grenzwerte (freies Rohr nach Timoshenko und Rohr im Rohr nach Glock) unter der Näherung nach ASTM (mit Faktor K = 7 multiplizierte Timoshenko-Lösung). Streng genommen liegt der ASTM-Ansatz damit auf der unsicheren Seite. Allerdings sind Wanddickenverhältnisse mit D/t < 26 z.B. für GFK-Liner kaum zu erwarten, dies entspräche einer Wanddicke von fast 4 cm bei 1 Meter Rohrdurchmesser.
- **D/t > 26:** In diesem Bereich liegt der ASTM-Ansatz unter dem Wert für das Rohr im Rohr-System. Grundsätzlich liegt er damit auf der sicheren Seite, allerdings wird in der ASTM-Empfehlung nur Ovalität als geometrische Imperfektion berücksichtigt, nicht aber ein Anfangsringspalt und lokale Vorverformungen. Für diese (hier nicht dargestellten) Fälle bleibt also unklar, ob der Wert nach ASTM über oder unter dem vollständigeren Ansatz nach DWA liegt.



Qualitätssicherung von Schlauchlinern

Bei vielen Lining-Verfahren findet ein großer Teil der eigentlichen Neurohr-Produktion auf der Baustelle statt. Dies gilt insbesondere für das Schlauchlining, bei dem sowohl die Rohrwerkstoffeigenschaften als auch die Rohrgeometrie erst vor Ort festgelegt werden. Ein mit Reaktionsharz getränktes Trägermaterial (meist Nadelfilz oder GFK) wird auf der Baustelle in das Altrohr eingebracht, mit Wasser- oder Luftdruck aufgestellt und unter Energieeinsatz (Wärme, UV-Licht) zu einem neuen Rohr im Rohr ausgehärtet. Damit werden beim Schlauchlining wesentliche Standsicherheitseigenschaften erst vor Ort bestimmt, wie z.B. der E-Modul, die (Biege-)Festigkeit und die Wanddicke sowie Vorverformungen, Ovalitäten und Ringspalt. Der Qualitätssicherung des Produktionsprozesses und Prüfung der vorgenannten Eigenschaften kommt damit eine hohe Bedeutung zu, denn schließlich ist ein Austausch defekter Rohrabschnitte nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand denkbar.

Zur Fremdüberwachung werden meist Rohrproben im Bereich der Schächte entnommen. Dies empfiehlt sich vor allem, wenn mehrere Kanalhaltungen in einem Zuge durch die Schächte durch saniert wurden. Dann kann in den Schächten das Probenmaterial entnommen werden, ohne die eigentliche Kanalhaltung zu schädigen. Der Liner wird dann im Schacht durch eine Stützkonstruktion (Stützschlauch o.ä.) geführt, um die Aufweitung auf das Maß der Kanalhaltung zu beschränken und repräsentative Proben gewinnen zu können. Die Probestücke haben dann meist die Abmessungen eines Briefbogens (ca. 20 cm x 30 cm) und können an ein neutrales und unabhängiges Prüflabor wie das IKT zur Prüfung verschickt werden.

Im Prüflabor werden Dichtheitsprüfungen und mechanische Prüfungen durchgeführt. Im Bild sind eine Scheiteldruckprüfung und ein Drei-Punkt-Biegeversuch dargestellt, mit denen die Steifigkeit und Festigkeit des Materials bestimmt werden können. Darüber hinaus wird die für die Standsicherheit maßgebliche Wanddicke vermessen; dabei sind z.B. Dickenschwankungen sowie Reinharz-Schichten (bei GFK-Linern nicht tragend) in der Messung zu erkennen und zu berücksichtigen.

Wie empfindlich das Tragverhalten eines Liners gegenüber Abweichungen in Geometrie und Materialeigenschaften ist, kann leicht berechnet werden. Im Bild wird dies am Beispiel eines Liners DN 300 mit 6 mm Wanddicke dargestellt. Dieser Liner wurde nach DWA A-143-2 für den Standardfall so bemessen, dass er einem Grundwasserstand von 3 Metern ohne Beulversagen widerstehen kann. Schon scheinbar geringe Abweichungen von den Grundannahmen können dann zu einer Verminderung der Tragsicherheit von 50% führen. Die betrifft den E-Modul (Kurzzeit und Langzeit), wenn dieser um ca. die Hälfte sinkt. Wanddickenunterschreitungen von 1,2 mm (20% der Anforderung) führen ebenfalls zu 50% geringerer Tragsicherheit. Gleiches gilt für lokale Verformungen von 1 cm und einem Anfangsringspalt von 3mm.

Bei der Abnahme des Liners kommt damit der Prüfung und Inspektion eine hohe Bedeutung zu. Falten sind bei der Inspektion direkt zu erkennen und ein durchweg glatter Liner ohne jegliche Abbildung der Altrohr-Kontur weist möglicherweise einen großen Ringspalt auf. E-Modul und Wanddicke können wiederum im Labor zuverlässig überprüft werden. Eine Darstellung des aktuellen Qualitätsniveaus und der Qualitätsentwicklung von Liner-Systemen findet sich im IKT-LinerReport, der seit über 10 Jahren jährlich veröffentlicht wird.

Literatur

Forschungsberichte des IKT
(unter www.ikt.de => Download)

Abnahme von Liningmaßnahmen, März 2009

Qualitätseinflüsse Schlauchliner: Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen, Dezember 2003

Fachbücher

Flügge, W.: Viscoelasticity, Springer, 1975

Timoshenko, S.P; Gere, J.M.: Theory of elastic stability. 2nd edition, McGraw-Hill, 1961.

Normen und Regelwerke

ASTM F1216-09 (2009). Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube. ASTM, Philadelphia, PA, USA.

DWA-A 143-2 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining und Montageverfahren, Juli 2015.

Fachartikel

Glock, D.: Überkritisches Verhalten eines starr ummantelten Kreisrohres bei Wasserdruck von außen und Temperaturdehnung. Der Stahlbau, 07/1977.

10 Jahre IKT Linerreport, http://www.ikt.de/downloads/ikt-linerreport/

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

XI Zur Frage der Verbundwirkung und Oberflächenvorbereitung

Welche Rolle spielen der Verbund und die Oberflächenvorbereitung, insbesondere bei Sanierungsmaßnahmen in Kanälen und Leitungen? Worauf ist zu achten? Welche Versagensmechanismen sind zu erwarten?

Zahlreiche Sanierungsverfahren fordern einen Verbund zwischen dem Untergrund des Altkanals bzw. des Altschachts und dem eingesetzten Sanierungswerkstoff. Beispiele sind die Verklebung von Kurzlinern im Altkanal und die Beschichtung von Schächten mit Mörtel- oder Kunststoffbeschichtungen. Schwächen in der Untergrundvorbereitung und damit im Haftverbund zwischen Sanierungsmaterial und Altsubstanz können insbesondere dann zu Problemen führen, wenn äußere Belastungen wirken, die dieses Verbundsystem lösen können, wie z.B. der Einsatz von Hochdruckstrahlen bei der Kanalreinigung oder Außenwasserdruck bei anstehendem Grundwasser.

Oberflächenvorbereitung : Reinigen, Aufrauen, Abtragen

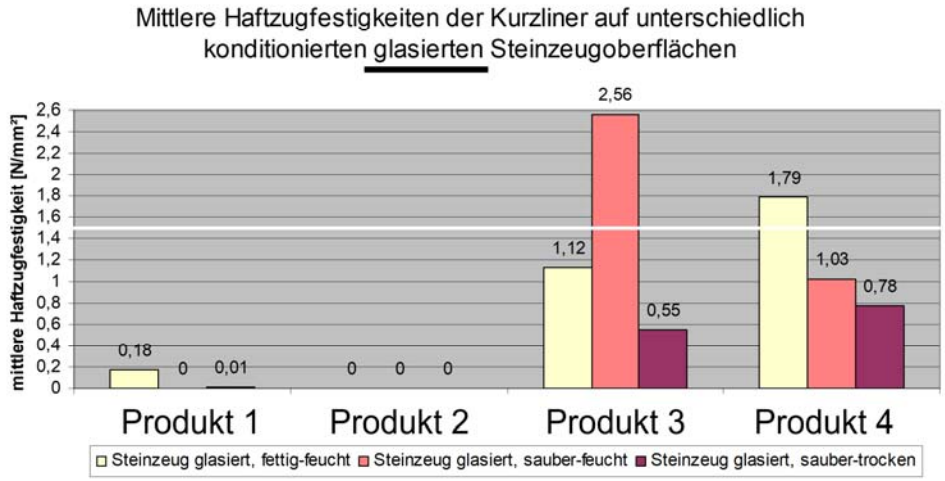
Generell kann eine Oberflächenvorbereitung in dreifacher Hinsicht wirken:

- sie reinigt die Oberfläche von Verschmutzungen (z.B. Fett),
- sie raut die Oberfläche zur Verbesserung des Verbundverhaltens auf und
- sie löst ggf. schadhaftes oder verbundschwächendes Material aus der Oberfläche heraus und trägt dieses ab, damit der Untergrund selbst ausreichend tragfähig ist.

Kanaloberfläche ggf. vorfräsen

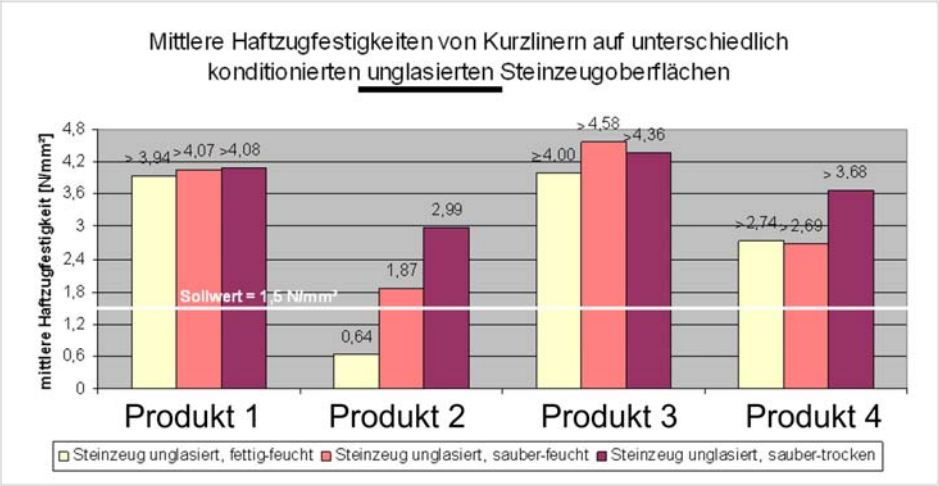
Wie empfindlich der Haftverbund von unterschiedlichen Kurzlinern gegenüber der Qualität der Oberflächenvorbereitung ist, zeigte sich z.B. im Zuge eines IKT-Warentests. Von vier untersuchten Produkten zeigten nur zwei Produkte überhaupt ein messbares Verbundverhalten, wenn das Steinzeug-Altrohr noch über eine glasierte Oberfläche verfügte und nicht vorgefräst war. Die mittleren Haftzugfestigkeiten lagen i.d.R. deutlich unter den geforderten Werten von 1,5 N/mm^2.

IKT – Warentest - Ergänzung: Oberflächenvorbereitung



Auf unglasierten, d.h. vorgefrästen Steinzeugrohren zeigten dagegen nahezu alle Produkte ein gutes Verbundverhalten. Lediglich in einem Fall lagen auf fettig-feuchter Oberfläche die gemessenen Werte unter den Anforderungen. Offensichtlich ist die Oberflächenvorbereitung entscheidend für die Qualität des Sanierungsergebnisses.

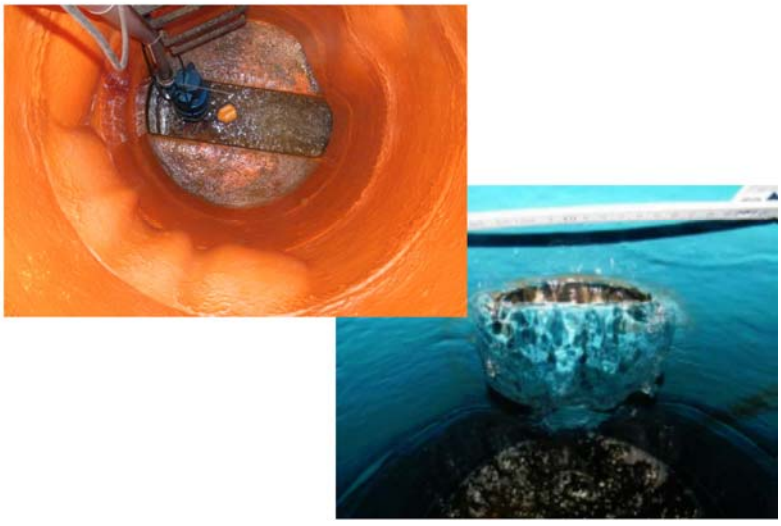
IKT – Warentest - Ergänzung: Oberflächenvorbereitung



Verbundverhalten unter Außenwasserdruck

Eine besondere Rolle spielt das Verbundverhalten für Bauwerke, die unter Außenwasserdruck stehen. Mängel im Verbundverhalten können hier zum Versagen der gesamten Sanierung führen, wenn das Material z.B. aufreißt und so wieder Wasser infiltriert oder wenn sich große Verformungen bilden, die den Betrieb gefährden.

Sanierung von Abwasserschächten
Robustheit bei Vorbereitungsmängeln?



In diesem Zusammenhang sind zwei Versagensmechanismen zu unterscheiden

- **Reißen des Materials**, aufgrund einer Überschreitung der Zugfestigkeit (s. Bild rechts). Dies ist z.B. möglich, wenn sich im Bereich mangelnder Haftzugfestigkeit eine Blase bildet. Der Wasserdruck auf diese Blase muss dann allein durch die Zugfestigkeit des Materials am Rand der Blase abgetragen werden. Da die Haltespannungen am Umfang aber nur linear mit dem Durchmesser der Blase ansteigen, während die wirkende Kraft aus Wasserdruck wie die Fläche quadratisch mit dem Durchmesser wächst, können insbesondere große Blasen zu einer Überlastung des Materials führen.
- **Fortschreitende Verformung** durch Überschreiten der Gleichgewichtsbedingungen zwischen Haltekräften im Randbereich (Zone wirkender Haftzugfestigkeit) und der Kraft aus Wasserdruck (s. Bild links). Die geometrischen Beziehungen, d.h. Kraftanstieg quadratisch mit dem Durchmesser und Haltekräfte nur linear, entsprechen denen beim „Reißen“, allerdings kommt es nicht zu Undichtheiten, sondern zu einem rasanten Anwachsen der Blasengröße.

Ablöseverhalten bei Verbundschwächen

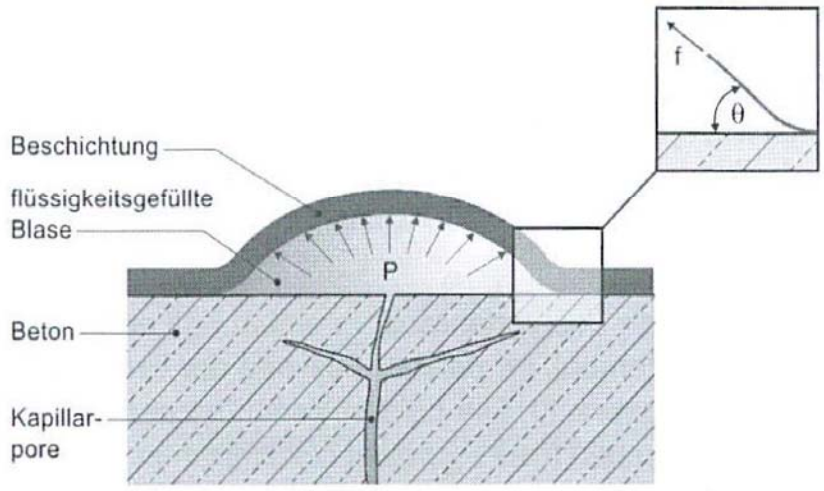


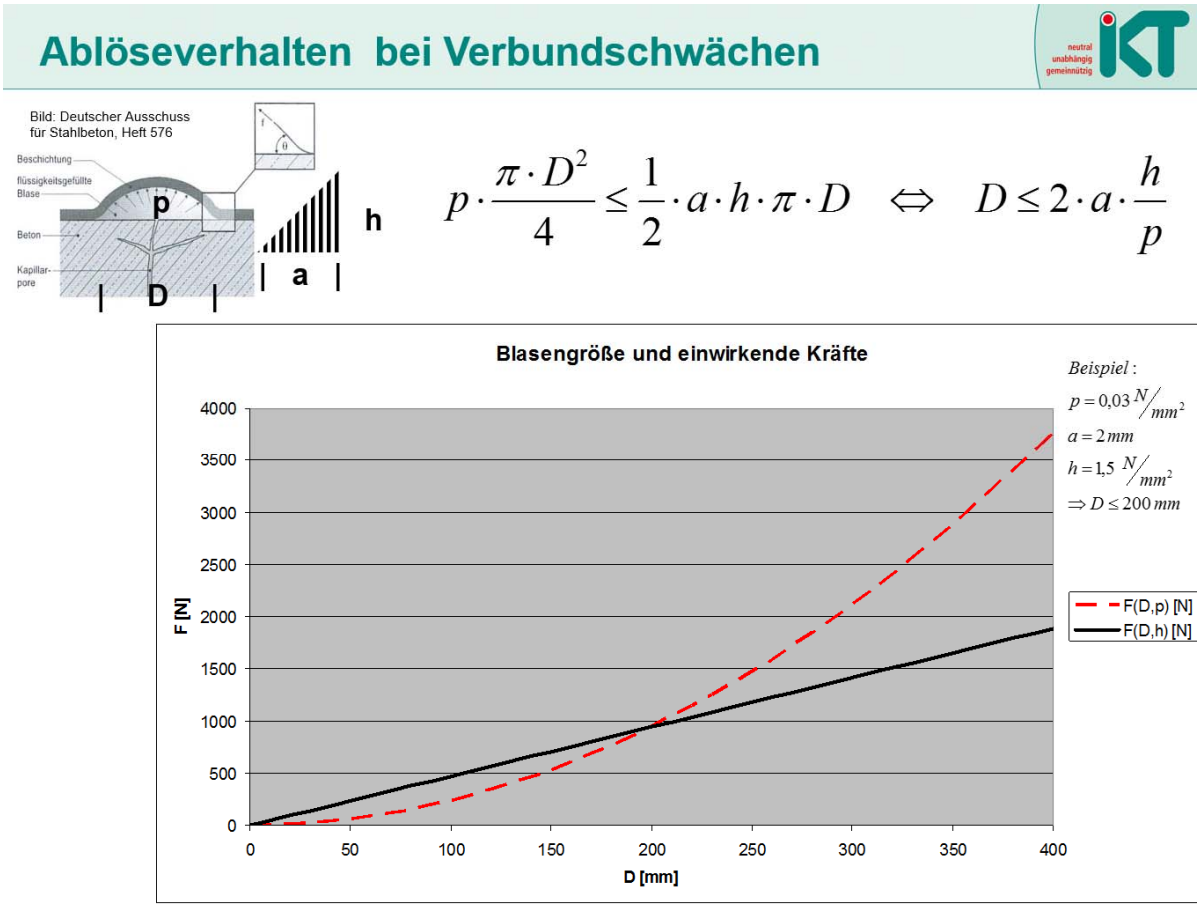
Bild: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 576

Der Mechanismus übermäßiger Verformung lässt sich an folgendem Berechnungsbeispiel erläutern:

Wir nehmen an, dass die Haftzugfestigkeit im Randbereich der Blase die geforderten 1,5/mm^2 aufweist. Diese Haftzugfestigkeit wirkt in unserem Beispiel über eine Breite von 2 mm als Haltekraft, so dass sich die Blase an diesem Randbereich „aufhängen“ kann. Steht nun an dieser Blase ein Grundwasserstand von 3m an, so wirkt auf die Blase ein Wasserdruck von 0,3 bar bzw. 0,03 MPa bzw. 0,03 N/mm^2.

Das u.a. Bild zeigt, welchen Einfluss dann die Blasengröße sowohl auf die Wasserdruckkraft an der Blase (rote gestrichelte Linie) als auch die Haltekraft im Randbereich der Blase (schwarze voll Linie) hat. Die Wasserdruckkraft steigt quadratisch mit dem Durchmesser, während die Haltekraft linear wächst. Bei einer kritischen Blasengröße von 200 mm Durchmesser wird das System instabil, d.h. die

mobilisierbaren Haltekräfte reichen nicht mehr aus, um den Wasserdruck auf die Blase in den Untergrund abzutragen.



Wir sehen also: Stellenweise hohe Haftzugfestigkeit allein reicht nicht aus. Es kommt auf einen möglichst vollflächigen Haftverbund an. Dies gilt insbesondere für Kunststoffbeschichtungen, bei denen große Verformungen zu Zugkräften führen, die eine weitere Vergrößerung von Fehlstellen beschleunigen. Mörtelbeschichtungen sind demgegenüber mit Blick auf Blasenbildung relativ robust. Allerdings können sich auch hier Risse zeigen, wenn das Material z.B. schwindet und dabei größere Fehlstellen mit mangelndem Verbund überbrücken muss.

Verbundwirkung an Rissen und Rohrverbindungen

Eine besondere Beachtung verdienen Risse und Rohrverbindungen des Altrohres. Werden Risse und Freiräume in Rohrverbindungen durch eine Beschichtung oder einen mit der Altrohrwandung verklebten Liner überbrückt, so können anschließend hohe Schubkräfte entstehen, wenn sich nach der Sanierung die Risse oder Altrohrverbindungen unter äußeren Zwängen weiter öffnen. Wird ein Gleiten des Sanierungswerkstoffes auf der Altrohrwand durch den Verbund aber vollständig verhindert, so muss die weitere Rissöffnung allein durch die Dehnung des Sanierungswerkstoffes im Rissbereich überbrückt werden.

Dies führt z.B. bei einer Verdopplung der Rissbreite zu einer entsprechend hohen, ca. 100%igen Dehnung des Sanierungswerkstoffes im Rissbereich und damit regelmäßig zum Versagen der

Sanierungsstelle. In IKT-Warentests wurde dieses Verhalten z.B. an Hausanschluss-Linern beobachtet, die vollständig mit dem Altrohr verklebt waren und unter anschließendem Grundwasseranstieg und Auftrieb an den Rohrverbindungen in Bogenstücken neue Risse zeigten. Vor diesem Hintergrund scheint es sinnvoll, den Verbund so auszulegen, dass dieser im Rissbereich unter hohen Schubspannungen versagt und so das Gleiten des Sanierungswerkstoffes mit in der Folge geringeren Dehnungen möglich macht.

Literatur

Forschungsberichte des IKT
(unter www.ikt.de => Download)

IKT-Warentest „Schachtsanierung“, Vergleichende Produkt und Verfahrensbewertung von Auskleidungs - und Beschichtungssystemen zur Sanierung von Abwasserschächten, März 2016

Untersuchungen zu Hafteigenschaften von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen und Einsatz ausgewählter Reparaturverfahren unter äußerem Wasserdruck, September 2011

Sanierung von Abwasserschächten - Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung, April 2011

IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“, März 2010

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

XII Zur Frage der Nutzungsdauer von Kanälen und Leitungen

Welche Nutzungsdauer für Kanäle und Leitungen ist anzusetzen, damit technische und kaufmännische Anforderungen erfüllt werden? Wie können auch langfristige strategische Fragen der Stadtentwicklung, Generationengerechtigkeit und „Smart City" dabei ausreichend berücksichtigt werden? Wie kann ein Netzbetreiber die richtige Entscheidung treffen?

Offensichtlich gehören hierzu Übersicht und Durchsetzungskraft. Übersicht, um die Zusammenhänge zwischen den vielfältigen Anforderungen zu überblicken, die notwendigen Informationen zu erheben, Netzentwicklung zu betreiben, Nutzungsdauern abzuschätzen und damit Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und Flexibilität des Netzes abzuleiten. Durchsetzungskraft, um die Handlungsalternativen mit Blick auf ihre Generationengerechtigkeit und Freiheitsgrade zu bewerten und dies auch gegenüber der heutigen Generationen zu vertreten. Denn eine faire Risikoverteilung heißt eben auch, dass künftige Generationen nicht nur mit einer „Nutzungspflicht für noch zu finanzierende alte Güter" belastet werden, sondern auch flexible Systeme „erben", mit denen künftige Herausforderungen gemeistert werden können.

All dies ist auch vor dem Hintergrund aktueller politischer Diskussionen zu betrachten:
Die in 2015 vereinbarten UN Nachhaltigkeitsziele (SDG)[1] und das eng damit verbundenen Paris Agreement von Ende 2016[2] zielen sehr aktuell und auch sehr konkret auf die Verbesserung der Nachhaltigkeit kommunaler Infrastruktur (vgl. UN-SDG 6,9 und 11), mit entsprechenden Forderungen nach einer Umsetzung auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene (vgl. Artikel 7, Paris Agreement[2]). Aspekte der Anpassungsfähigkeit spielen dabei eine besondere Rolle (vgl. Artikel 2, Paris Agreement) und die Frage nach der Wahl der „richtigen" Nutzungsdauer gewinnt an Brisanz.

Nutzungsdauer

Im Wortsinne kann „Nutzungsdauer" zunächst als technische Größe aufgefasst werden; es geht um eine planmäßige Beanspruchung des Kanals über einen bestimmten Zeitraum. Diese technische Größe wird in der Wasserwirtschaft (vgl. [KVR]) meist auch als „durchschnittliche Nutzungsdauer" interpretiert, d.h. mit Blick auf die

- **Vergangenheit**, als die Nutzungsdauer von Bauteilen und Bauwerken, für die bereits entsprechende Erfahrungswerte („tatsächliche Nutzungsdauer") vorliegen, so dass hier eine Art Durchschnittswert der bisher üblichen Nutzungsdauern angesetzt wird.
- **Zukunft**, als die üblicherweise in der Planung neuer Bauwerke bzw. Bauteile angesetzte Nutzungsdauer („geschätzte Nutzungsdauer"), d.h. die Zeit, für die das Bauwerk bzw. Bauteil unverändert im Gesamtnetz die geplante Funktion übernehmen soll.

[1] UN: Sustainable Develpoment Goals (SDG) – 17 goals to transform our world. http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/ (eingesehen 29.10.2018)

[2] UN: Adoption of the Paris Agreement. Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties. Twenty-first session. Paris, 30 November to 11 December 2015. https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf (eingesehen 29.10.2018)

Die Nutzungsdauer wird dann für Kostenvergleiche als Bezugsgröße gewählt, um die Summe der während dieser Zeit entstehenden Bau und Betriebskosten für verschiedene Realisierungsvarianten zu vergleichen (s. [KVR]).

Die Gefahr von Fehlschlüssen

Die technische Größe „Nutzungsdauer“ kann einerseits dazu herangezogen werden, um Variantenvergleiche durchzuführen (s. [KVR]) oder Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Bauwerken und Bauteilen festzulegen, sie dient aber anderseits auch als Basis für kaufmännische Kalkulationen, so z.B. für die Festlegung von Abschreibungsdauern und die Gebührenberechnung. In der Diskussion unter Fachleuten lässt sich nun häufig beobachten, dass die genutzten Begriffe untereinander ausgetauscht oder sämtlich mit dem Begriff „Nutzungsdauer“ gleichgesetzt werden, d.h. die Beteiligten sprechen z.B. von „Nutzungsdauer“ und schließen dabei Aspekte der Dauerhaftigkeit, Finanzierung, Abschreibung usw. in ihre Argumentation ein. Missverständnisse und Fehlschlüsse können dann die Folge sein. Ein Beispiel ist der nachstehende, sowohl in den Prämissen als auch in der Folgerung fehlerbehaftete Dreisatz:

~~*Abschreibungsdauer = Nutzungsdauer ∧ Nutzungsdauer = Dauerhaftigkeit*~~
~~=>~~
~~*Abschreibungsdauer = Dauerhaftigkeit.*~~

Dauerhaftigkeit allein reicht nicht aus

Eine ausreichende Dauerhaftigkeit der Bauwerke/-bauteile ist eine notwendige Voraussetzung zum Erreichen der Nutzungsdauer. Entsprechend sollte sie mindestens den Wert der geplanten Nutzungsdauer erreichen, ggf. auch unter Einbeziehung der über die Nutzungsdauer notwendigen Instandhaltungsarbeiten, so dass sich als **Forderung** ergibt:

$$Dauerhaftigkeit \geq Nutzungsdauer \qquad (1)$$

Dauerhaftigkeit allein sichert allerdings noch nicht die Nutzungsdauer, wie wir z.B. bei der Erneuerung der Telekommunikationsinfrastruktur sehen. In diesem Beispiel sind die vorhandenen alten Kupferkabel zwar grundsätzlich noch ausreichend dauerhaft und technisch nutzbar, allerdings haben sich die Nutzungsanforderungen dermaßen verändert, dass die Kupferkabel dennoch durch Glasfaserkabel ersetzt werden müssen. Ähnlich gravierende Änderungen zeichnen sich auch für die Kanalisation ab, z.B. durch die Forderung nach Trennung von Schmutz- und Regenwasser[3] und die wachsende Starkregenproblematik. Nur selten lässt sich die Entwicklung solcher Anforderungen in allgemeiner Form abschätzen; entsprechend breit gestreut sind auch die heute verfügbaren Empfehlungen zur Abschätzung von Nutzungsdauern (vgl. [KVR]), mit Werten für Kanalisationsbauwerke von wenigen Jahrzehnten bis zu über hundert Jahre.

[3] in Deutschland auch als gesetzliche Forderung nach WHG § 55 (2)

Kaufmännische Abschreibungsdauer mit Vorsicht wählen

Bei der Wahl einer rein kaufmännischen Abschreibungsdauer gilt in Deutschland zunächst das Vorsichtsprinzip, d.h. im vorliegenden Fall, dass die Wertverluste maximal auf die durchschnittliche Nutzungsdauer verteilt werden. Denn schließlich können nur in dieser Zeit die Wertverluste durch den Einsatz der Anlage auch erwirtschaftet werden. Das Vorsichtsprinzip unterstellt den „vorsichtigen Kaufmann", der sich bei der Bewertung von Vermögensgegenständen (Vermögen) und Schulden im handelsrechtlichen Jahresabschluss in Zweifelsfällen im Vergleich zu den tatsächlichen Verhältnissen nicht reicher, sondern eher ärmer rechnet[4]. Damit ergibt sich als weitere **Forderung**:

$$\textit{Nutzungsdauer} \geq \textit{Abschreibungsdauer (kfm.)} \qquad (2)$$

Grenzen findet dieses vorsichtige Vorgehen allerdings aus steuerrechtlicher Sicht, da höhere Wertverluste der Anlagen immer auch den kaufmännischen Jahresgewinn schmälern und damit die Steuern im betreffenden Jahr. In diesem Zusammenhang üblich ist in Deutschland eine Orientierung an den Werten der sogenannten AfA-Tabellen des Bundesfinanzministeriums[5]. Für den speziellen Bereich der Abwasserbeseitigung liegen allerdings keine amtlichen AfA-Tabellen vor, denn abwasserbeseitigungspflichtige Kommunen unterliegen nicht der Steuerpflicht. In der Regel werden daher die Erfahrungswerte zur Nutzungsdauer der Länderarbeitsgruppe Wasser/Abwasser (vgl. [KVR]) als Anhaltspunkte für die Abschreibungsdauer herangezogen. Die Übernahme dieser Nutzungsdauer als Abschreibungsdauer kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn sie direkten Eingang in die Gebührenrechnung findet.

Gebühren bestimmen Generationengerechtigkeit

In der Gebührenberechnung entscheidet sich, wer letztlich für das Bauwerk zahlen muss, d.h. welche Generation mit den Kosten für die Investition belastet wird. Grundsätzlich wird hier eine „angemessene Abschreibung"[6] erwartet. Jede Generation[7] soll ihren Anteil an der in Anspruch genommenen Leistungen bezahlen. Entsprechend ist es das Ziel einer Gebührenberechnung, die tatsächlich zu erwartende Nutzungsdauer für das gebührenrelevante Bauwerk/Bauteil möglichst exakt zu treffen, so dass jede Generation nur für die Wertverluste ihrer eigenen Nutzungsperiode aufkommen muss und es so zu einer fairen Kostenverteilung kommt. Für die in der Gebührenberechnung angesetzte Verteilung des Wertverlusts, auch hier häufig als Abschreibung bezeichnet, gilt somit[8]:

$$\textit{Abschreibungsdauer (Gebühren)} \approx \textit{Nutzungsdauer}$$

[4] http://www.wirtschaftslexikon.co/d/vorsichtsprinzip/vorsichtsprinzip.htm (eingesehen 29.10.2018)
[5] Vgl. http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/afa-tabellen.html (eingesehen 08.03.2018)
[6] So z.B. in Baden-Württemberg explizit gesetzlich geregelt in KAG §14 (3), Stand 15.12.2015 (dejure.org)
[7] Der Abstand zwischen zwei Generationen (Generationenabstand) liegt z.B. in Deutschland derzeit bei ca. 30 Jahren. Dabei „nimmt der Umfang der nachwachsenden Generationen deutlich ab – jede Kindergeneration ist etwa um ein Drittel kleiner als ihre Elterngeneration", vgl. Bevölkerungsentwicklung 2013, Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung: http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Broschueren/bevoelkerung_2013.pdf (eingesehen 08.03.2018)
[8] In Nordrhein-Westfalen auch gesetzlich geregelt in NRW KAG §6 (2), Stand 30.07.2016 (recht.nrw.de): „Abschreibungen, die nach der mutmaßlichen Nutzungsdauer oder Leistungsmenge gleichmäßig zu bemessen sind".

Bei diesem Ansatz ist allerdings kritisch anzumerken, dass die Folgen einer langen Kapitalbindung für die künftigen Generationen nicht berücksichtigt werden. Denn die folgenden Generationen müssen die von ihren Vorgängern aufgebauten Strukturen mindestens bis zum Ende der von diesen geplanten Nutzungsdauer weiternutzen, schließlich ist die künftige Generation der einzig wahrscheinliche „Kunde" für diese Netzleistung. Dies unterscheidet Infrastrukturnetze auch von handelbaren Wirtschaftsgütern, die zu ihrem Verkehrswert an andere Interessenten übergeben werden können, so dass der vorherige Eigentümer wieder die Freiheit für Neuanschaffungen erhält. Diese Freiheit ist in unserem Fall nicht mehr gegeben, denn aufgrund der Unverkäuflichkeit einer einzelnen Haltung müsste die Haltung im Erneuerungsfall komplett abgeschrieben und die gesamten Wertverluste innerhalb eines einzelnen Wirtschaftsjahres finanziert werden[9]. Die Freiheit der künftigen Generationen, ihre eigenen Probleme mit eigenen Lösungen in den Griff zu bekommen, wird somit deutlich eingeschränkt, im deutlichen Widerspruch zur Definition von Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit[10].

Rohrwerkstoffwahl sollte nicht zur „Zwangsnutzung" führen

Zum Teil wird der Begriff der „Nutzungsdauer" von Kanälen auch direkt in Verbindung gebracht mit bestimmten Rohrwerkstoffen wie z.B. Steinzeug, Beton, Kunststoff, Guss und vielfältigen Sanierungswerkstoffen. Dabei wird i.d.R. deren Dauerhaftigkeit gemeint und diese meist nach dem o.a. Missverständnis direkt mit der Nutzungsdauer gleichgesetzt. Wie bereits dargestellt, ist es aber eben nicht so, dass allein die Wahl des Rohrwerkstoffes bestimmt, wie lange eine bestimmte Kanalhaltung in der vorgesehenen Weise genutzt werden kann.

Wird dennoch die Rohrwerkstoffauswahl unabhängig von den künftigen Anforderungen an Hydraulik und System (z.B. Abflusstrennung) zur Festlegung der Nutzungsdauer herangezogen, dann unterliegen künftige Generationen quasi einer „Zwangsnutzung" von Rohrprodukten bis zum Ende der Dauerhaftigkeit dieser Produkte. Netzanpassungen nach künftigen Anforderungen, z.B. aufgrund von Klimawandel, demografischer Entwicklung, Bevölkerungswanderung und Stadtentwicklung, werden damit erschwert (vgl. die o.a. Ausführungen zur Nachhaltigkeit/Generationengerechtigkeit).

Nutzungsdauer als Ziel für Sanierungsverfahren

Auch bei der Wahl von Sanierungsverfahren kommt es nicht selten zum Missverständnis Nutzungsdauer = Dauerhaftigkeit. So werden auch die in der Leitlinie [KVR] angeführten Nutzungsdaueransätze für Reparatur, Renovierung und Erneuerung vielfach als Dauerhaftigkeit der Sanierungsergebnisse interpretiert, obwohl es keinen nachgewiesen Zusammenhang zwischen Maßnahmenart (Erneuerung, Renovierung, Reparatur) und der Dauerhaftigkeit der angebotenen Produkte gibt. Wenn überhaupt, dann lässt sich aus der Maßnahmenart nur eine Anforderung an die Dauerhaftigkeit der Produkte ableiten, die dann von den Produktanbietern zu erfüllen ist.

[9] Hier fällt häufig das Stichwort „Sonderabschreibungen" bzw. „außerordentliche Abschreibungen", denn der gesamte kaufmännische Restwert (Anschaffungs-/Herstellkosten minus bisheriger Wertverlust) muss nun komplett im Jahr der Außerbetriebnahme als Wertverlust verbucht werden. Er kann dann gar nicht oder nur innerhalb weniger Jahre auch über Gebühren finanziert werden (vgl. z.B. KAG NRW §6 (2), Kalkulationszeitraum drei Jahre).

[10] Vgl. Brundtlandt-Bericht, UN 1987, http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf (eingesehen 29.10.2018): „Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

Beispielhaft sei eine solche Ableitung von Anforderungen für die Klassifizierung nach [KVR] dargestellt:

Neubau/Erneuerung: Nach [KVR] werden hier 50-80 (100)a als durchschnittliche Nutzungsdauer angeführt. Da es sich um das vollständige (Wieder-)herstellen einer neuen Leitung handelt, können alle Funktionen des Kanals, wie Standsicherheit, Betriebssicherheit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit, auf die aktuellen Netz-Anforderungen ausgelegt werden. Entsprechend hoch können auch die durchschnittlichen Nutzungsdauern gewählt werden. Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Produkte sind dann die Folge dieser Wahl.

Renovierung: Hier gibt [KVR] eine Spanne von 25-40 (50)a als durchschnittliche Nutzungsdauer an. Gerade im Vergleich zum o.a. Wert der Erneuerung lässt sich dies auch leicht begründen: Der Schwerpunkt einer Renovierung liegt i.d.R. auf der vollständigen Abdichtung des geschädigten Kanalabschnitts gegenüber In- und Exfiltration. Dabei zeichnet sich die Renovierung nach [EN752] dadurch aus, dass die bestehende Struktur in die Maßnahme einbezogen wird. Dies bedeutet allerdings auch, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit weitgehend unverändert bleibt. Und nur wenige Renovierungsverfahren sind geeignet, die Standsicherheit des Rohr-Boden-Systems wiederherzustellen oder gar zu verbessern. In der Folge wird der Planungshorizont („geschätzte durchschnittliche Nutzungsdauer“) einer Renovierungsmaßnahme i.d.R. deutlich unter dem einer Erneuerung liegen. Denn das Planungsziel eines alten Kanals (Hydraulik, Standsicherheit) wird unverändert für eine weitere Periode fortgeschrieben. Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Produkte schließen sich daran an.

Reparatur: Nach [KVR] wird hier für die durchschnittliche Nutzungsdauer eine Bandbreite von 2-15a angegeben. Dies ist auch planerisch nachvollziehbar, denn bei einer Reparatur handelt es sich nach [EN752] definitionsgemäß um eine örtliche Maßnahme. Entsprechend wird der überwiegende Teil der Kanalhaltung unverändert in seinem Zustand belassen und bestimmt weiterhin die Restnutzungsdauer der gesamten Kanalhaltung, also auch der reparierten Stelle. Technisches Ziel der Reparatur ist damit im Wesentlichen die Überbrückung von extremen Fehlstellen bis zur planmäßigen Aufgabe, Renovierung oder Erneuerung der Kanalhaltung. Die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein reparaturbedürftiger lokaler Schäden wächst aber mit dem Alter der Kanalhaltung, so dass bei einer Reparatur nur geringe Restlaufzeiten bis zur nächsten Maßnahme zu erwarten sind, hier z.B. abgeschätzt mit 2-15a.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass sich aus dem Netzmanagement und der Netzentwicklung die Auswahl von Maßnahmen (Reparatur, Renovierung, Erneuerung) mit entsprechenden Planungsgrößen für die Nutzungsdauer ergeben, und sich erst hieraus Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Produkte ableiten lassen, und nicht umgekehrt. Dies kann auch bedeuten, dass für ein und dasselbe Produkt unterschiedliche Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zu stellen sind, je nach gewählter Maßnahmenart und durchschnittlicher Nutzungsdauer. Ein Beispiel sind Maßnahmen an Hausanschlüssen:

Hutprofil- oder Injektionsverfahren können sowohl als Einzelmaßnahme zur *Reparatur* eines Anschlussstutzens als auch als Bestandteil einer Linersanierung (*Renovierung*) zur Anbindung an den linersanierten Hauptkanal eingesetzt werden. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, obwohl es sich prinzipiell noch immer um die gleiche Technik / das gleiche

Produkt handelt. In entsprechenden Tests wird dann z.B. hinterfragt, inwieweit einzelne Produkte diese unterschiedlichen Anforderungen auch tatsächlich erfüllen (vgl. [IKTW04], [IKTW14]).

Smart City: Nutzungsdauer im System der Systeme

Auf internationaler Ebene wird intensiv an der Entwicklung von technischen Standards gearbeitet, um die Nachhaltigkeit einschließlich „Smartness" von Kommunen besser zu beschreiben und auch messbar zu machen. Eine besondere Rolle spielen dabei die Entwicklungen im Technical Committee (TC) der Internationalen Standard Organisation ISO, dem ISO TC 268 / SC 1 „Smart Community Infrastructure" (vgl. ISO TC 268[11]), von dem im Jahr 2016 erstmalig ein Grundsatzpapier „Common Framework for Smart Community Infrastructures" veröffentlicht wurde (vgl. ISO TR 37152[12]). Dieser Bericht wurde auch unter starker Beteiligung europäischer Normungsverbände erarbeitet (insbesondere UK, F, D), und aufgrund seiner engen Verknüpfung mit den einleitend dargestellten politischen Vorgaben ist eine hohe Anerkennung zu erwarten.

In ISO TR 37152 werden explizit fünf Felder kommunaler Infrastruktur genannt, die auch im Sinne eines „System der Systeme" ganzheitlich und in Interaktion miteinander zu betrachten sind: Energie, Telekommunikation, Abfall, Transport und Wasser (vgl. Abb. 1). Der Orientierung an den gesellschaftlichen Interessengruppen und dem fortlaufenden Monitoring und Feedback kommen dabei eine besondere Bedeutung zu. Die Nutzungsdauer von Bauteilen, Teilsystemen und Systemen ist flexibel und mit Blick auf das Gesamtsystem zu wählen.

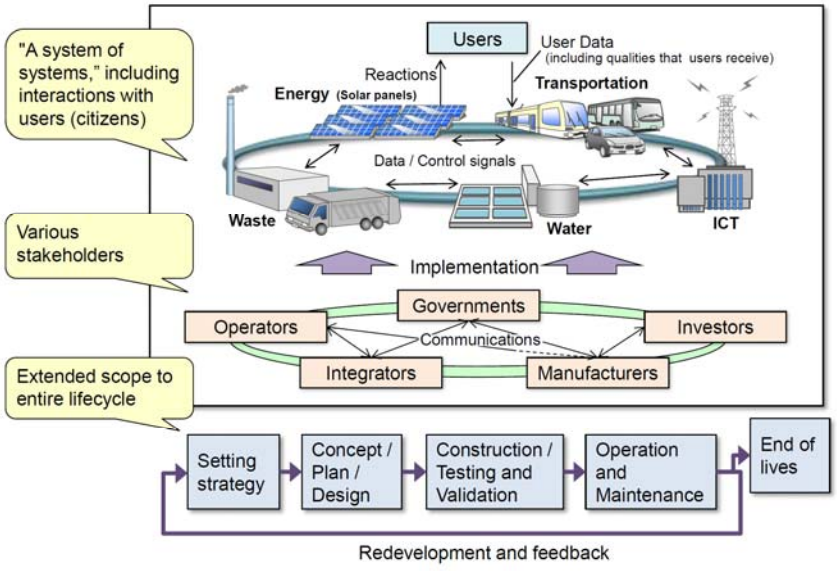


Figure 2 - Characteristics of smart community infrastructures

Abbildung 1: Fig 2 nach ISO TR 37152

[11] ISO: ISO/TC 268 Sustainable cities and communities http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=656906 (eingesehen 29.10.2018)

[12] ISO: ISO/TR 37152 Smart community infrastructures -- Common framework for development and operation http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=66898 (eingesehen 29.10.2018)

Auf drei Ebenen stellen sich dann Herausforderungen für die Wahl der Nutzungsdauer von Kanälen und Leitungen:

System der Systeme: Der Zeitpunkt von Eingriffen in das System und damit auch die Nutzungsdauer der einzelnen Systemkomponenten müssen abgestimmt sein auf die Ziele des Gesamtsystems. Dies betrifft sowohl Synergien bei Neubau und Sanierung als auch die Abstimmung von Betriebsmaßnahmen und das Management von Interaktionen zwischen den Systemen. Schon heute wird dies in den Kommunen in kleinerem Umfang umgesetzt, z.B. im Zuge der regelmäßigen Gespräche zur Tiefbau-Koordinierung. Technisch betrifft dies z.B. die Auswahl der einzusetzenden Verfahren, wie das grabenlose Bauen zur Schonung anderer Infrastrukturen oder die offene Bauweise zur Nutzung von Synergieeffekten.

Bezug zu den Interessengruppen: Die Ausrichtung der Systemleistungen auf die Anforderungen der verschiedenen Interessengruppen, wie Bürger, Investoren, Behörden und Verwaltung, erfordert eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Systembetriebs und der Systemleistung sowohl mit Blick auf quantitative als auch qualitative Veränderungen. Im Kanalbereich betrifft dies z.B. die Erhöhung oder Verringerung von Ableitungsmengen, Änderungen im Abschlagsverhalten von Mischwasserbauwerken, neue Anforderungen an die Arbeitssicherheit, verstärkte Forderungen nach Werterhalt oder auch die Standsicherheitsverbesserung großer Kanäle und höhere Anforderungen an die Funktionsfähigkeit von Hausanschlüssen. Die Nutzungsdauer einer „veralteten“ Systemlösung kann sich damit stark verringern. Modularität, Kompatibilität und Erneuerungsfähigkeit sind gefragt.

Nutzungsdauer-Zyklus: Hier besteht ein starker Bezug zum Asset Management, mit dem Ziel der Optimierung der Gesamteffizienz einer Anlage über die Nutzungsdauer. Die Wahl der Nutzungsdauer richtet sich damit nach dem Gesamtoptimum aus Systemleistung und Bau-, Betriebs- und Instandhaltungsaufwand. Das Vorgehen verändert sich vom passiven „Erleiden“ von Belastungen bis zur maximalen Nutzungsdauer hin zu einem aktiven Management des Nutzungsdauer-Zyklus mit Verifikation der Prozesse und Validierung der Systemleistung durch z.B. Abnahmeprüfungen, Gewährleistungsabnahmen, fortlaufende Zustandserfassung und betriebliche Checks.

Offene Fragen

Die dem IKT verbundenen Netzbetreiber[13] stellen sich vor o.a. Hintergrund z.B. folgende Fragen:

Welche **Datengrundlagen** sind zur Abschätzung der Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Abschreibungsdauer erforderlich und wie lassen sich diese Daten absichern?
Dies betrifft z.B. Fragen der Planung und Wertermittlung sowie damit verbunden die Abnahme von Leistungen und mögliche Gebührenspielräume.

Wie lässt sich die **Rohrwerkstoffauswahl** besser begründen?
Neben der Dauerhaftigkeit und Robustheit beim Einbau und Betrieb gewinnen auch Argumente wie Anpassungsfähigkeit, Modularität und Kompatibilität an Bedeutung.

Wie lassen sich **Entscheidungsprozesse** besser koordinieren?
Aus der Frage der Nutzungsdauer leiten sich vielfältige Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von

[13] Das IKT organisiert das Kommunale Netzwerk der Abwasserbetriebe KomNet (derzeit ca. 50 Mitglieder, www.komnetgew.de) sowie den IKT-Förderverein der Netzbetreiber mit über 130 Mitgliedern (http://www.ikt.de/ueber-uns/ikt-foerderverein-netzbetreiber/ (eingesehen 29.10.2018)).

Kanälen und Leitungen, deren Abschreibungsdauern und die Gebührenberechnung ab, die bereits im Vorfeld abzuschätzen sind. Dabei bestehen starke Wechselwirkungen zu anderen Tiefbau- und Infrastrukturmaßnahmen. Entscheidungsprozesse sind langfristig aufeinander abzustimmen und zu koordinieren.

Begriffe:

Dauerhaftigkeit: Die Dauerhaftigkeit gibt an, über welchen Zeitraum ein Bauwerk oder Bauteil definierte Leistungsziele, wie z.B. Standsicherheit, Betriebssicherheit und Dichtheit, erfüllt (vgl. [BoH]). Dies betrifft vor allem die Widerstandsfähigkeit gegenüber inneren und äußeren Beanspruchungen bzw. Belastungen. Die Dauerhaftigkeit hängt dabei auch stark von der Einbauqualität ab, so dass die entsprechenden Risiken frühzeitig erkannt und vermindert werden sollten (vgl. [VSB]).

Abschreibungsdauer (kfm.): Durch Abschreibung wird der kaufmännische Wert einer Anlage jährlich um einen definierten Betrag vermindert, um so die alters- und betriebsbedingten Wertverluste zu berücksichtigen. Die unternehmenseigene Bilanz weist damit über die Zeit einen immer geringeren Wert der Anlage aus. Diese jährlichen Wertverluste werden als Verluste des laufenden Wirtschaftsjahres erfasst und müssen durch Einkünfte in der gleichen Periode ausgeglichen werden. Kurze Abschreibungsdauern und damit höhere kaufmännische Wertverluste pro Jahr erhöhen also den Druck auf das Unternehmen, die Wertverluste frühzeitig wieder zu erwirtschaften und so ggf. auch die Grundlage für künftige Reinvestitionen zu legen. Längere Abschreibungsdauern verringern den aktuellen Erwirtschaftungsdruck und verlagern diesen dafür in die Zukunft.

Abschreibungsdauer (Gebühren): In der Gebührenkalkulation werden die Wertverluste der Anlage über einen bestimmten Gebührenzeitraum verteilt (Abschreibung) und durch die während dieser Laufzeit erhobenen Gebühren finanziert. Mit Blick auf eine Wiederbeschaffung der Anlage, kann sich diese Abschreibung auch an Wiederbeschaffungskosten orientieren (kalkulatorische Abschreibung). Für die gewählte Abschreibungsdauer gilt dabei, dass eine Anlage bei langen Laufzeiten stärker durch künftige Gebührenzahler bezahlt werden muss als bei kürzeren Laufzeiten.

Finanzierungsdauer: Unter der Finanzierungsdauer versteht man üblicherweise die Tilgungsdauer eines Darlehens (Fremdkapital). Kann ein Vorhaben komplett durch eigenes Kapitel finanziert werden, ist die Finanzierungsdauer entsprechend Null. Die Finanzierungsdauer eines Darlehens lässt sich aber auch verkürzen, indem dieses durch einen anderen Kredit abgelöst wird („Umschuldung“). Die Wahl der Finanzierungsdauer ist also eher eine Frage der finanzwirtschaftlichen Optimierung und hat zum Ziel, möglichst günstig und zum richtigen Zeitpunkt die notwendigen Finanzmittel zur Verfügung zu haben.

Lebensdauer: Dieser Begriff kann aufgrund seiner Mehrdeutigkeit unmittelbar zu Missverständnissen führen. Einerseits bezieht er sich auf die Dauer, die ein Lebewesen, wie Mensch oder Tier, lebt, andererseits wird er im technischen Sprachgebrauch aber auch genutzt, um die Zeitdauer zu beschreiben, die ein Gerät oder eine Anlage einwandfrei funktionieren[14]. Entsprechend ist kritisch zu hinterfragen, wenn Methoden zur Ermittlung von Lebensdauern aus dem einen Bereich (z.B. Lebensversicherungen) auf den anderen Bereich (z.B. Anlagen„alterung“) übertragen werden. Grundsätzlich soll daher hier der Begriff „Lebensdauer“ vermieden und allein der Begriff „Dauerhaftigkeit“ weiterverfolgt werden.

[14] s. http://de.wikipedia.org/wiki/Lebensdauer (eingesehen am 29.10.2018).

Literatur

[KVR] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Juli 2012, 8. überarbeitete Auflage, DWA.

[RUB06] Ruhr-Universität Bochum und IKT: Ausführungsrisiken beim Einsatz von Bettungs- und Verfüllmaterialien im Rohrleitungsbau. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik und IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Bochum Gelsenkirchen, 2006.

[IKT07] IKT: Der IKT-Vortriebssimulator - Entwicklung, Bau, Versuche und Ergebnisse. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW und die Emschergenossenschaft Essen, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2005.

[IKT04] IKT: Kanalreinigung mit dem HD-Verfahren – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2004.

[IKT03c] IKT: Qualitätseinflüsse Schlauchliner - Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen. Endbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch das MUNLV NRW, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2003.

[IKT09] IKT: Gewährleistungsabnahme Schlauchlining. Endbericht zum Untersuchungsvorhaben unter Beteiligung von fünf Netzbetreibern, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2009.

[IKT14] IKT: Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt. Endbericht zum Forschungsvorhaben, im Auftrag des Umweltbundesamtes, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur und weitere Partner, 11/2014.

[BoH] Bosseler, B.: Prüfung und Bewertung von Produkten und Verfahren zum Bau und zur Instandhaltung unterirdischer Kanäle und Leitungen. Habilitationsschrift, Leibniz Universität Hannover, IGBE-Schriftenreihe, Heft 70, 2010.

[VSB] VSB: Empfehlung Nr. 0.6, Risikobewertung Kanalsanierung, Reparaturverfahren, 02/2017.

[EN752] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, 07/2017.

[IKTW04] IKT: IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“. Endbericht, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 06/2004.

[IKTW14] IKT-Warentest Stutzensanierung in Fremdwassergebieten (Stutzen-Einbindung und Stutzen-Reparatur), Endbericht, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 12/2014.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

XIII Zur Frage der Dichtheitsprüfung von Kanälen und Leitungen

Wie wird die Dichtheit von unterirdischen Kanälen und Leitungen überprüft? Welche Fehler können dabei auftreten? Und welche Aussagekraft hat eine Prüfung dann?

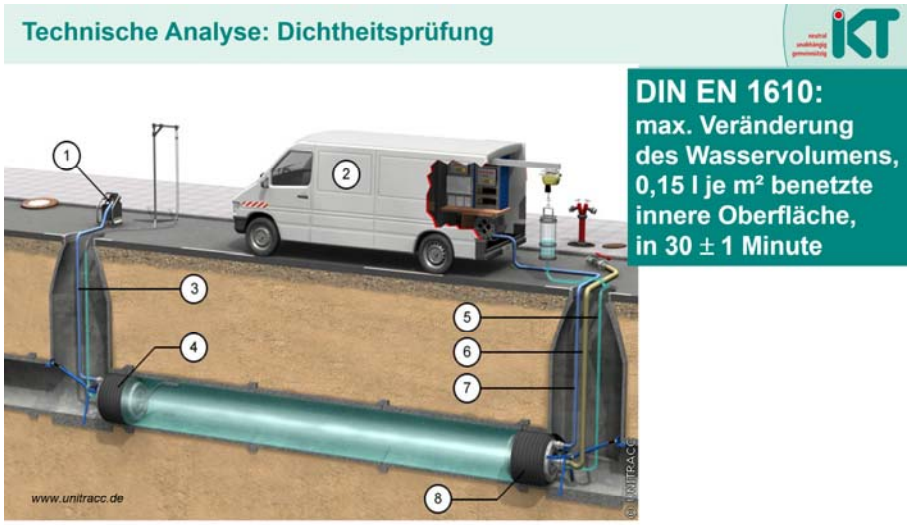
Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich mit einem besonders wichtigen Kriterium für Kanäle und Leitungen, der Dichtheit. Kanäle und Leitungen müssen dicht sein, damit das was durch die Leitung fließt sauber von der Umgebung getrennt ist. Ansonsten kann einerseits das transportierte Medium aus der Leitung austreten, andererseits können aber auch Fremdstoffe in die Leitung gelangen. Die Folge können z.B. Keime im Trinkwasser, Abwasser in Boden und Grundwasser und entzündliche Luft-/Gasgemisch im Untergrund sein. Bei tiefliegenden Kanälen kann darüber hinaus Grundwasser in die Kanäle eindringen und sowohl die Kanäle als auch die Kläranlage überlasten.

Der Überprüfung der Dichtheit der Kanäle und Leitungen kommt damit eine besondere Bedeutung zu; dies stellt die Handelnden aber auch vor spezielle technische Herausforderungen mit entsprechendem Aufwand. Bei Druckleitungen mit besonders gefährlichen Medien scheint zwar auch großer Aufwand gerechtfertigt, gerade im Bereich der Kanalisation wird aber vielfach über den Aufwand und die Aussagekraft der Prüfungen gestritten. Vor diesem Hintergrund soll das Thema Dichtheitsprüfung angesprochen werden mit Blick auf

- das übliche Vorgehen bei einer Dichtheitsprüfung im Kanalbau,
- mögliche Prüffehler,
- die Wahrscheinlichkeit eines aussagekräftigen Ergebnisses,
- ein Fallbeispiel, wie die Genauigkeit von Prüfergebnissen bewertet werden kann.

Dichtheitsprüfung mit Wasser

Das u.a. Bild zeigt eine Druckprüfung, wie sie an einer Kanalhaltung üblicherweise durchgeführt werden kann. Die Haltung wird an beiden Seiten vom Schacht aus abgesperrt und dann vom unten liegenden Bereich mit Wasser gefüllt. Die Luft kann an der oberen Absperrblase über einen Entlüftungsschlauch entweichen, und die gesamte Leitung füllt sich so komplett mit Wasser.



1 Kompressor, 2 Prüffahrzeug mit Kontrollstand, 3 Druckluft Absperrblase, 4 Absperrblase, 5 Wasserdruckkontrolle, 6 Wasserzuführung, 7 Druckluft Prüfblase, 8 Prüfblase

Die eigentliche Prüfung erfolgt, indem ein Druck aufgebaut wird. Hierzu wird ein Schlauch mit dem Prüfraum verbunden, und der Schlauch wiederum mit einem Behälter, der ungefähr in Geländehöhe am Fahrzeug hängt. Die Leitung steht dann genau unter dem Druck der Wassersäule in Schlauch und Behälter. Bei maximal 5 Meter Wassersäule sind dies also z.B. maximal 0,5 bar.

Im Normen- und Regelwerk, wie z.B. der EN 1610, ist nun festgelegt, dass ein leichtes Absinken des Wasserspiegels im Behälter zulässig ist, der Behälter während der Prüfung aber stets soweit nachgefüllt werden soll, dass der Wasserspiegel bei der Prüfung konstant bleibt. Als Prüfkriterium gilt dann, wie viel Wasser maximal zugegeben werden darf.

Zulässige Wasserzugabe sind keine zulässigen Wasserverluste

Zunächst wollen wir die Frage beantworten, warum eine Wasserzugabe während der Prüfung überhaupt als vertretbar gilt. Bei der sog. Wasserzugabe handelt es sich nämlich nicht um einen pauschal tolerierten Wasserverlust aufgrund von Undichtheiten in der Leitung. Der maximale Wasserzugabewert soll vielmehr berücksichtigen, dass einige Rohrwerkstoffe wie z.B. Beton während der Prüfung auch Wasser an der Rohroberfläche aufnehmen, oder andere Materialien wie z.B. Kunststoff sich unter Druck nennenswert über die Zeit weiter ausdehnen. Auch Absperrblasen können sich verformen und so den Prüfraum vergrößern. Vergrößert sich aber der Prüfraum während der Prüfung, so ist auch ohne Undichtheiten eine Wasserzugabe erforderlich, um den Wasserspiegel im Behälter zu halten. Letztlich gehören damit zum Prüfraum auch die Poren im Beton sowie der Raum, um den sich ein Kunststoffrohr unter Innendruck ausdehnt.

Im Umkehrschluss gilt dann aber auch weiterhin: Sehen wir im offenen Graben bei einer Prüfung, wie aus einer Leitung Wasser heraus fließt, können wir diese nicht deshalb „dicht erklären“, weil die Wasserzugabetoleranz erfüllt ist. Undicht bleibt undicht!

Liegt die Leitung schon unter der Erde, ist allerdings unklar, ob tatsächlich Wasser austritt oder nur der Prüfraum größer geworden ist. In diesem Falle bleibt nur das Vertrauen auf die Aussagekraft des Prüfkriteriums.

Die Toleranz ist im Einzelnen in der europäischen Norm EN 1610 geregelt. Sie gilt für den Kanalbau in offener Bauweise und definiert die maximale Veränderung des Wasservolumens in der Prüfung zu 0,15 Liter pro Quadratmeter benetzter innerer Oberfläche bei einer Prüfdauer von 30 Minuten. Der Grenzwert hängt somit für Kreisquerschnitte vom Rohrdurchmesser und von der Leitungslänge ab.

D.h. zum Beispiel: Prüfen wir eine Kanalhaltung von 50 Meter Länge und Nennweite DN 300, entspricht die innere Oberfläche der Kanalhaltung der Mantelfläche eines Zylinders von 50 Meter Länge und ca. 30 cm Durchmesser, also $M = \pi \cdot D \cdot L \approx 50$ qm. Mit dem o.a. Grenzwert ergibt sich dann als Toleranz: $V_{Tol.} = 50 \cdot 0{,}15$ l = 7,5 l, das entspricht einem zu ¾ gefüllten Eimer Wasser.

Prüffehler: falsch positiv und falsch negativ

Neben der Prüfung mit Wasser ist nach EN 1610 zunächst auch eine Prüfung mit Luftdruck möglich, allerdings ist im Zweifelsfall das Ergebnis einer Nachprüfung mit Wasser maßgeblich. Dies wirft allerdings die Frage auf, inwieweit bei einer Prüfung mit Fehlern zu rechnen ist und wie ggf. mit dieser Einschätzung umzugehen ist. Dies gilt umso mehr, da sämtliche Messungen unterirdisch und damit ohne direkte optische Kontrolle auf Wasseraustritte stattfinden.

Grundsätzlich lassen sich bei einer Prüfung unabhängig vom Prüfgegenstand und Prüfverfahren stets zwei Arten von Fehlern unterscheiden: sog. falsch positive und falsch negative Ergebnisse.

Im ersten Fall, d.h. „falsch positiv“, wird durch die Prüfung ein Effekt erkannt, obwohl er tatsächlich gar nicht vorliegt. In unserem Fall heißt dass, die Prüfung zeigt eine undichte Leitung (Hinweis auf Leckagen), obwohl die Leitung gar nicht undicht ist. Das Prüfergebnis lautet also fälschlicherweise „undicht“; diesen Fall könnten wir auch als „falsch undicht“ bezeichnen. Umgekehrt gilt dann als „falsch dicht“ bzw. „falsch negativ“, wenn eine Leitung die Prüfung besteht (kein Hinweis auf Leckagen), obwohl sie gar nicht dicht ist.

Beide Prüffehler haben unangenehme Folgen. Im ersten Fall wird eine Leitung nicht akzeptiert, obwohl sie in Ordnung ist. Das kann unnötig teuer werden, z.B. wenn daraufhin eine eigentlich unnötige Sanierung veranlasst wird. Im zweiten Fall sind zwar zunächst alle Beteiligten mit dem Ergebnis zufrieden, tatsächlich aber liegt ein unerkanntes Risiko vor.

Vielfältige Fehlerursachen in der Praxis

Einige Beispiele für die vielfältigen Fehlerursachen seien hier genannt:

„Falsch undicht“: Der Wasserzugabewert kann bei einer dichten Leitung überschritten werden, wenn die Prüfgeräte selbst oder die Absperrelemente nicht ganz dicht sind. Bei fehlerhafter Entlüftung kann auch Luft im Prüfraum verbleiben, die sich unter Druck zusammenpresst und so weitere Wasserzugaben erforderlich macht. Die Luft kann möglicherweise auch durch wasserundurchlässige Poren entweichen und ebenfalls zur Wasserzugabe zwingen, obwohl auch hier eine eigentlich wasserdichte Leitung vorliegt.

„Falsch dicht“: Dieser Fall ist zwar seltener, aber auch möglich: Sitzt zum Beispiel die Absperrblase direkt auf einer Leckagestelle, so gehört die Leckage nicht zum Prüfraum und die Leitung besteht die

Prüfung, obwohl sie eigentlich undicht ist. Steht Grundwasser an, kann der äußere Wasserdruck dem Ausdringen von Wasser aus der Leckagestelle entgegenwirken.

Verständnis für Wahrscheinlichkeiten gefordert

Damit stellt sich die Frage, inwieweit wir unserem Prüfergebnis wirklich vertrauen können. Die Beantwortung fordert, dass wir uns mit dem Begriff der „Wahrscheinlichkeit“ genauer auseinandersetzen. Denn die Frage, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Prüfergebnis stimmt, ist durchaus einer Berechnung zugänglich und soll nachfolgend beispielhaft geklärt werden.

Der englische Mathematiker Thomas Bayes hat schon im 18. Jahrhundert sein nach ihm benanntes Theorem zur Anwendung bedingter Wahrscheinlichkeiten entwickelt, dass auch in unserem Fall weiterhilft. Damit lässt sich nämlich in mathematischer Hinsicht die folgende Frage stellen und beantworten:

Wie groß ist der Vorhersagewert der Prüfergebnisse „bestanden“ und „nicht bestanden“?

Wir wollen hier den Fall „nicht bestanden“ als Beispiel heranziehen, da gerade dieser Fall in der Praxis bei Vorliegen eines Prüffehlers unmittelbar mit großen, unnötigen Kosten verbunden ist.

Unter Nutzung bedingter Wahrscheinlichkeiten lässt sich nach dem Satz von Bayes berechnen, in wie viel Prozent der Fälle wir mit unserer Vorhersage „nicht bestanden“ richtig liegen, und die Leitung tatsächlich undicht ist.

Wahrscheinlichkeiten

Wie groß ist der Vorhersagewert (%) des Prüfergebnisses „nicht bestanden“?

$$\text{VdP „nicht bestanden“} = P(A_1 \mid C) = \frac{P(A_1)\cdot P(C \mid A_1)}{P(A_0)\cdot P(C \mid A_0) + P(A_1)\cdot P(C \mid A_1)}$$

mit
A_0 – die getestete Leitung bzw. das Produkt ist **dicht**
A_1 – die getestete Leitung bzw. das Produkt ist **undicht**
C – die Prüfung wurde mit dem Ergebnis „undicht“ **nicht bestanden**

www.ikt.de

Die bedingte Wahrscheinlichkeit P(A|C) entspricht dann der Wahrscheinlichkeit eines Eintretens von A unter der Bedingung, dass C bereits eingetreten ist. Eine Rechnung gelingt für den Fall „nicht bestanden“ immer dann, wenn die Wahrscheinlichkeits-Beziehungen zwischen den folgenden drei Sachverhalten bekannt sind oder sinnvoll abgeschätzt werden können: Leitungen sind dicht;

Leitungen sind undicht; Leitungen bestehen die Prüfung nicht. Dies soll an einem Fallbeispiel erläutert werden.

Fallbeispiel: Aussagekraft einer Dichtheitsprüfung

Wir stellen uns die folgende Situation vor. Ein Dritter überreicht uns für ein Bauwerk bzw. einen Leitungsabschnitt das Prüfergebnis „undicht“ und wir wollen abschätzen, in wie weit wir diesem Prüfergebnis tatsächlich vertrauen sollen. Dabei schätzen wir die Situation wie folgt ein:

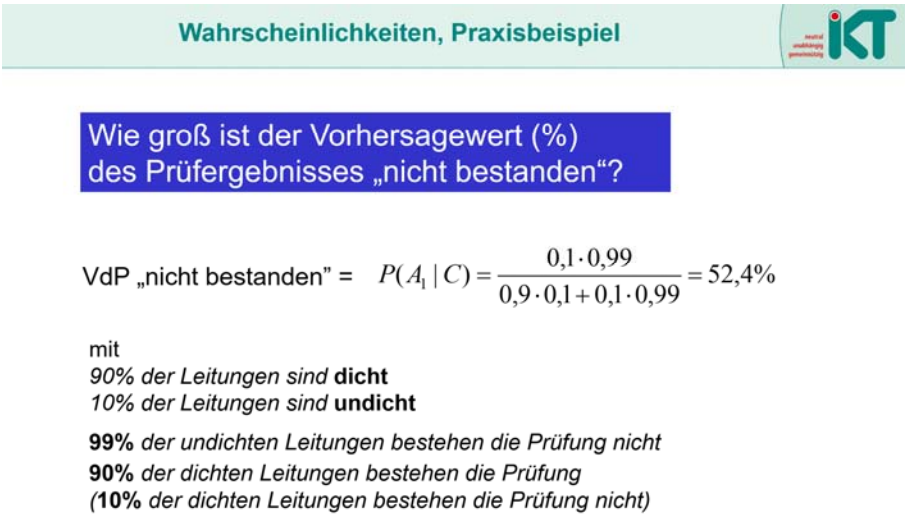
Die Prüfumstände sind als schwierig zu werten, da der Prüfer unter beengten Verhältnissen arbeiten musste und Absperrblasen nur mit hohem Aufwand exakt gesetzt werden konnten. Im Übrigen macht der Prüfer einen wenig routinierten Eindruck und auch seine Sorgfalt mit Blick auf die Entlüftung des Prüfraumes scheint fraglich. Wir schätzen mit gutem Willen: 90% der dichten Leitungen werden die Prüfung wohl bestehen. (=> $P(C|A_0)=0,1$)

Bei den undichten Leitungen sind wir zuversichtlicher, dass der Prüfer diese erkennt, denn eine undichte Leitung wird die Prüfung kaum bestehen, es sei denn z.B. die Absperrblase säße wirklich auf der Leckage. Entsprechend bewerten wir: 99% der undichten Leitungen werden die Prüfung nicht bestehen. (=> $P(C|A_1)=0,99$)

Mit diesen Werten, 90% und 99%, liegen wir übrigens auch in Bereichen, die selbst erfahrene Prüfer durchaus als normal empfinden, z.B. im Bereich der Grundstücksentwässerung.

Beim dritten für die Berechnung erforderlichen Wert geht es um das Prüfobjekt selbst. Bei der im betrachteten Gebiet üblichen Bauqualität gehen wir z.B. davon aus, dass jede 10. Leitung nicht den Anforderungen entspricht und tatsächlich undicht ist. (=> $P(A_1)=0,1$; $P(A_0)=0,9$)

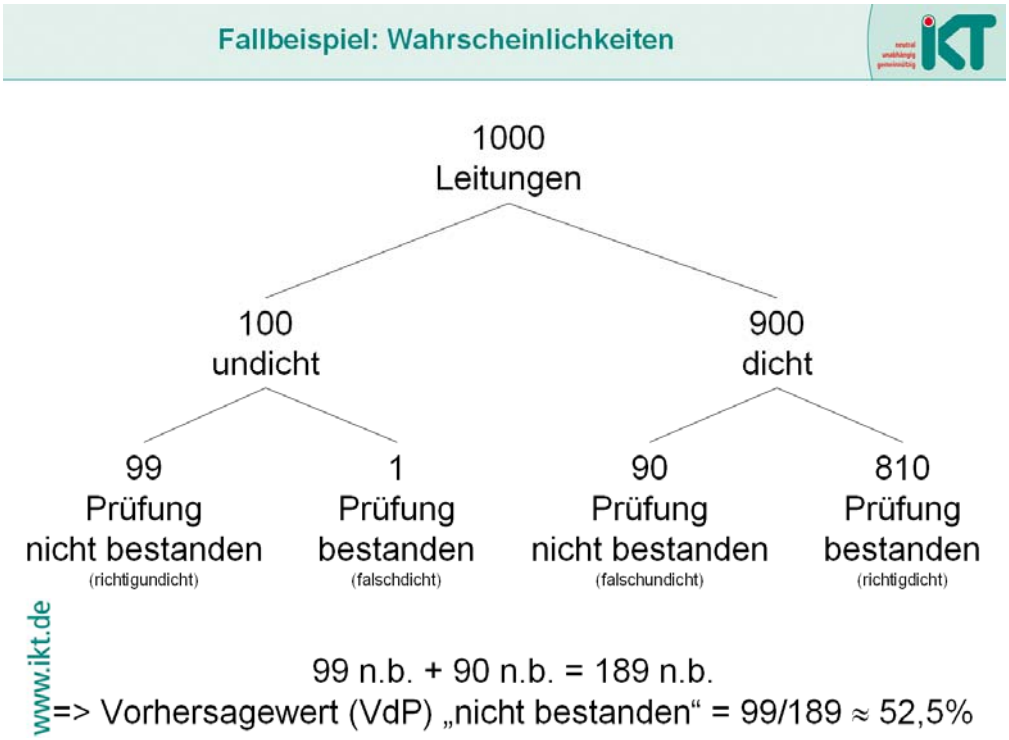
Nach dieser Einschätzung der Situation kommen wir zurück zur Eingangsfrage: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei nicht bestandener Prüfung die geprüfte Leitung auch tatsächlich undicht ist? Eine Frage, die sich beantworten lässt, indem wir mit der Formel von Bayes rechnen.



Das Ergebnis mag überraschen: Nur 52,4% der Prüfergebnisse „nicht bestanden“ werden im vorliegenden Fall an undichten Leitungen festgestellt. Der mathematisch geübte Betrachter erkennt die Ursache an den Beziehungen, die der o.a. Berechnungsterm im Nenner zusammenfasst: der

Prüffehler an dichten Leitungen liegt in gleicher Größenordnung wie der Anteil der tatsächlich undichten Leitungen.

Wir wollen diese Problematik in anschaulicher Weise anhand eines Fehlerbaumes erläutern. Wir gehen dabei davon aus, dass unser Prüfer insgesamt 1000 Leitungen überprüft und jede 10. Leitung wirklich undicht ist, d.h. 100 von den 1000 Leitungen sind tatsächlich undicht und 900 Leitungen sind tatsächlich dicht.



Bei der Prüfung werden nun nach unserer Schätzung 99% aller undichten Leitungen die Prüfung richtigerweise nicht bestehen. Gleichzeitig werden 90% der dichten Leitungen, also 810, richtigerweise die Prüfung bestehen. Allerdings macht dies schon deutlich, dass in 90 Fällen die Prüfung nicht bestanden wird, obwohl die Leitung dicht ist, das Ergebnis lautet dann also fälscherweise „undicht“.

Der entscheidende Punkt in der Berechnung ist die Betrachtung, wie viele Leitungen die Prüfung insgesamt nicht bestanden haben. Das sind 99 richtigerweise als undicht bezeichnete Leitungen und 90 fälschlicherweise als undicht bezeichnete Leitungen, also insgesamt 189 Fälle. In diesen Prüfungen waren allerdings nur 99 Leitungen tatsächlich undicht, so dass die Vorhersage „undicht“ nur in 99 von 189 Fällen stimmt. Anders gesagt: Der Vorhersagewert liegt damit bei 99/189 bzw. ca. 52,5%.

Und dies ist tatsächlich ein für viele Praktiker zunächst äußerst überraschendes Ergebnis, denn es bedeutet ja, dass im vorliegenden Fall die Hälfte aller nicht bestandenen Prüfungen an dichten Leitungen stattgefunden hat. Oder anders ausgedrückt: in der Hälfte der Fälle suchen wir bei nicht bestandenen Prüfungen nach einem Schaden, den es gar nicht gibt. Dies stellt natürlich denn Sinn der Prüfung vollständig in Frage und wirft die Frage nach der Ursache für diese Schwäche auf. Und diese lässt sich eben kurzgefasst wie folgt auf den Punkt bringen:

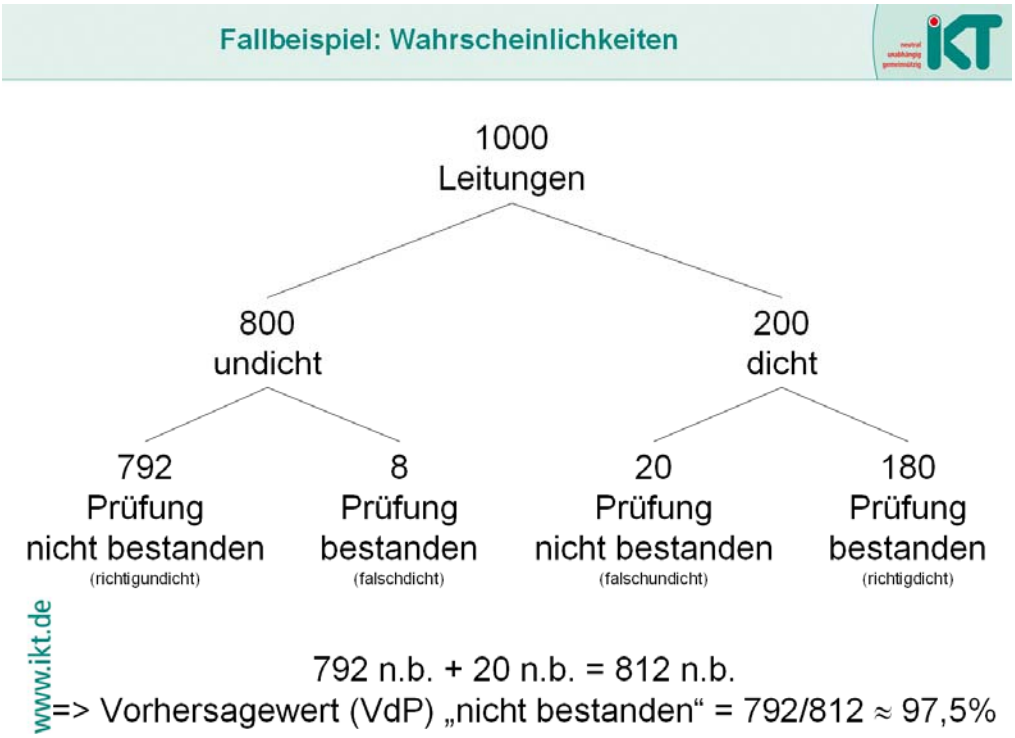
Das Phänomen, das wir im vorliegenden Beispiel mit der Prüfung gesucht haben, war genauso häufig, wie unser Prüffehler.

Konkret bedeutet dies hier, dass einerseits jede 10. Leitung tatsächlich undicht war, aber andererseits auch jede 10. Prüfung an einer dichten Leitungen das Prüfergebnis „nicht bestanden" geliefert hat (Prüffehler 90%). Eine nichtbestandene Prüfung konnte also ebenso gut auf eine undichte Leitung wie auf einen Prüffehler zurückgehen. Ist beides von gleicher Größenordnung, so ist die Aussagekraft der Prüfung naturgemäß sehr gering.

Prüfverfahren muss eine Größenordnung genauer sein

Im Umkehrschluss wird deutlich, dass eine Prüfung dann zuverlässiger ist, wenn das Prüfverfahren um mindestens eine Größenordnung genauer ist, als das untersuchte Phänomen. Dies kann ebenfalls am Beispiel erläutert werden.

Wiederum gehen wir von 1000 Leitungen aus. Der Prüfer ist dabei derselbe, mit dem wir auch im o.a. Beispiel gearbeitet haben, d.h. an seiner Zuverlässigkeit hat sich nichts geändert. Allerdings ist dieses Mal der Anteil der tatsächlich undichten Leitungen deutlich höher und liegt bei 80% aller Leitungen, einem durchaus üblichen Wert z.B. im Bereich der Grundstücksentwässerung.



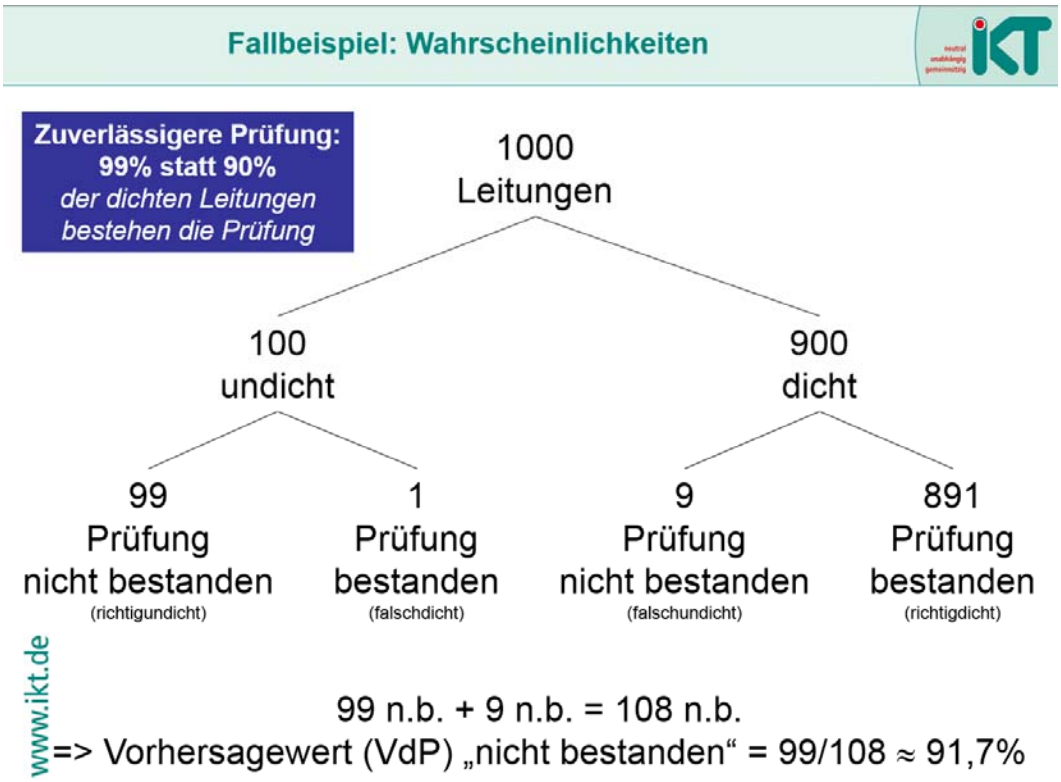
Auch in diesem Beispiel fallen wieder 99% der undichten Leitungen bei der Prüfung durch, dieses Mal 792 Leitungen. Von den tatsächlich dichten Leitungen werden wiederum 10% die Prüfung nicht bestehen, d.h. 20 Leitungen. Die Abschätzung des Vorhersagewertes zeigt in diesem Beispiel allerdings ein deutlich besseres Ergebnis mit 97,5 %, d.h. 97,5 % der Leitungen mit dem Ergebnis „nicht bestanden" sind auch wirklich und tatsächlich undicht. Offensichtlich liegt der 80%-Wert für undichte Leitungen um eine nennenswerte Größenordnung über dem 10%-Wert des Prüffehlers. Die in diesem Beispiel gewählten Werte für die Schadenshäufigkeit (80%) entsprechen übrigens den

Erwartungswerten im Bereich der Grundstücksentwässerung, womit auch klar wird, warum derartig hohe Prüffehler hier von Praktikern noch akzeptiert werden.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass bei kritischer Betrachtung eines Prüfergebnisses stets zu hinterfragen ist, ob unter den angetroffenen Bedingungen der zu erwartende Prüffehler tatsächlich um eine Größenordnung geringer sein kann als die Häufigkeit des gesuchten Phänomens, hier z.B. Undichtheiten. Ist dies nicht zu erwarten, steht die Sinnhaftigkeit der gesamten Prüfung in Frage.

Notwendige Genauigkeit des Prüfverfahrens hängt von der Prüfaufgabe ab

Wie lässt sich dieses Problem nun grundsätzlich beherrschen? Im vorgenannten Beispiel wurde die Anzahl der undichten Leitungen erhöht, dies kann selbstverständlich keine generelle technische Lösung zur Erhöhung der Aussagekraft von Prüfungen sein. In der Praxis ist im Gegenteil darauf zu achten, dass die Zuverlässigkeit der Prüfung selbst hoch genug ist. Wenn wir z.B. in 10% der Fälle mit Undichtheiten rechnen, darf die Prüfung nur in 1 bis max. 2 % der Fälle zu „falsch undichten“ Ergebnissen führen, damit das o.a. Verhältnis der Größenordnungen und damit der notwendige Vorhersagewert gewahrt ist. Wie dies in der Berechnung ausschaut, zeigt nachfolgendes Beispiel, bei dem nur der Prüffehler an dichten Leitungen auf 1% gesenkt wurde.



Die Betrachtung der dargestellten Zusammenhänge gehört z.B. in der Medizin zur ständigen Praxis, denn dort werden i.d.R. sehr seltene Phänomene gesucht, und entsprechend müssen auch die Tests extrem genau sein. Auch wenn sich die Ziele und der Aufwand zwischen Medizin und Bauwesen deutlich unterscheiden, so sind die Prinzipien des Handelns doch dieselben.

Fazit

Im Gesamtblick bleibt also festzustellen: Kanäle und Leitungen müssen dicht sein und auch an die Prüfung sind hohe Anforderungen zu stellen. Das gilt für die eigentliche Durchführung genauso wie für die Bewertung der Prüfergebnisse. Wahrscheinlichkeiten spielen dabei eine große Rolle und an Fallbeispielen lassen sich die Zusammenhänge leicht veranschaulichen und besser verstehen.

Literatur

Forschungsberichte des IKT

Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung - Phase I: Abnahmekriterien und Prüfprogramm -, März 2011

Fachbücher

Kaufmann, O.: Zur Dichtheitsprüfung von Rohren mit Hilfe von Luftüber- und Unterdruck. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Technisch-wissenschaftliche Berichte des IKT - Institut für Kanalisationstechnik, Bericht 97/6, Gelsenkirchen.

Bosseler, B.: Prüfung und Bewertung von Produkten und Verfahren zum Bau und zur Instandhaltung unterirdischer Kanäle und Leitungen, Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE), Leibniz Universität Hannover, Heft 70.

Gigerenzer, G.: Das Einmaleins der Skepsis – Über den richtigen Umgang mit Zahlen und Risiken. BVT Berliner Taschenbuch Verlags GmbH, Berlin, 2004, amerikanisches Original: „Calculated Risk: How to know when Numbers Deceive you”, Simon & Schuster, New York, 2002.

Normen- und Regelwerke

EN 1610:2015 Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Beuth Verlag, Berlin.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

XIV Zur Frage der Wurzelfestigkeit von Kanälen und Leitungen

Der Einwuchs von Wurzeln stellt eines der häufigsten Schadensbilder im Kanalisationsnetz dar. Warum wachsen Wurzeln in Leitungen ein? Wie lässt sich dies verhindern?

Bäume und Leitungen im Einklang

Unter Betriebssicherheit verstehen wir in erster Linie, dass das Medium, wie z.B. Wasser oder Abwasser, zuverlässig durch die Leitung transportiert wird. Die Leitung darf also vor allem nicht verstopfen, gerade der Einwuchs von Wurzeln kann hier aber zu erheblichen Beeinträchtigungen führen. Grundsätzliche sind solche Konflikte zu erwarten, denn im Untergrund ist es eng. In unseren Städten liegen zahlreiche Kanal- und Leitungssysteme unter der Erde und Grünanlagen brauchen Wurzelraum. Hier einen Einklang herbeizuführen, ist ein wesentliches Ziel der Stadtentwicklung, denn sowohl Ver- und Entsorgungsnetze als auch das Grün in unseren Städten tragen wesentlich zur Lebensqualität bei. Ein Verzicht ist weder mit Blick auf das eine noch auf das andere sinnvoll.

Risiken durch Wurzelwuchs – Umwachsen und Einwachsen

Die möglichen Risiken, die durch Wurzelwuchs im Umfeld einer Leitung entstehen können, lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden:

- **Umwachsen:** Die Wurzeln wachsen um die Leitung herum und verankern sich an dieser. Durch Umschlingen der Leitung kann weiteres Dickenwachstum der Wurzel die Leitung deformieren. Unter Windlast können darüber hinaus hohe Zugspannungen auf die Wurzeln

wirken. Neben Rohrbrüchen entstehen so auch Leitungsbewegungen, die in der Folge z.B. zum Abreißen von Hausanschlüssen führen können.

- **Einwachsen:** Die Wurzeln wachsen insbesondere in Steckverbindungen von Kanalrohren ein und behindern im Rohrinneren den Abfluss und führen zu Verstopfungen.

Kronenbreite entspricht Wurzelraumbreite

Bereits in der Planung ist zu bedenken, dass Bäume eben nicht nur an der Oberfläche wachsen, sondern auch im Untergrund ein ungefähr genauso großes Wurzelwerk ausbilden (Faustformel: Kronenbreite entspricht Wurzelraumbreite). Bäume und deren Wurzeln brauchen Platz, wenn sie sich gesund entwickeln sollen. Fehlt dieser Raum in der Planung, so bleiben für die Entwicklung meist nur noch ungeplante Bereiche, so z.B. dort wo auch die Leitungen liegen, mit den entsprechenden Betriebsrisiken für diese Netze durch Wurzelwuchs.

Wurzeleinwuchs in Rohrverbindungen

Ein typisches Beispiel für Wurzeleinwuchs in eine Abwassereinleitung sehen wir auf dem nachfolgenden Bild. Dieses Rohrstück wurde einer Leitung entnommen, die fast vollständig zugewachsen war. Die Wurzeln sind durch die Rohrverbindung, hier eine Steckmuffe, eingewachsen und haben sich im Querschnitt ausgebreitet.

Solche Bilder finden wir sehr häufig in unseren Kanälen. Im Betrieb werden die Wurzeln meist mit Wurzelfräsen entfernt. Allerdings wachsen die Wurzeln dann meist wieder nach, so dass der Vorgang regelmäßig zu wiederholen ist. Darüber hinaus sind die Rohrverbindungen offensichtlich undicht, so dass noch andere Risiken bestehen. Durch die Undichtheiten kann Abwasser nach außen dringen, oder Grundwasser fließt von außen zu und überlastet die Kanäle. Wurzeleinwuchs sollte daher grundsätzlich vermieden werden. Aber wie?

Und damit stellt sich als erste Frage: Warum wachsen Wurzeln in Rohrverbindungen ein? Warum wachsen sie überhaupt in Leitungsgräben?
Lange Zeit war man sich sicher, dass das Wasser und die Nährstoffe im Abwasser den notwendigen Anreiz bieten und entsprechend bereits Undichtheiten im Kanal vorhanden sein müssen, damit Wurzeln hineinwachsen. Die Vielzahl der Schadensfälle ließ hieran allerdings Zweifel aufkommen, die auch im o.a. Bild deutlich werden. Offensichtlich wachsen die Wurzeln hier im oberen Bereich der Leitung ein. Dort, wo der mittlere Wasserstand war, findet sich eine Art Grenzlinie. Über dieser Linie sind die Wurzeln lebendig, unter dieser Linie, im Abwasserbereich, sind die Wurzeln abgestorben. Offensichtlich sind das Abwasser und seine Inhaltsstoffe nicht der maßgebliche Stimulus für den Einwuchs. Bleibt die Frage: Was ist es dann?

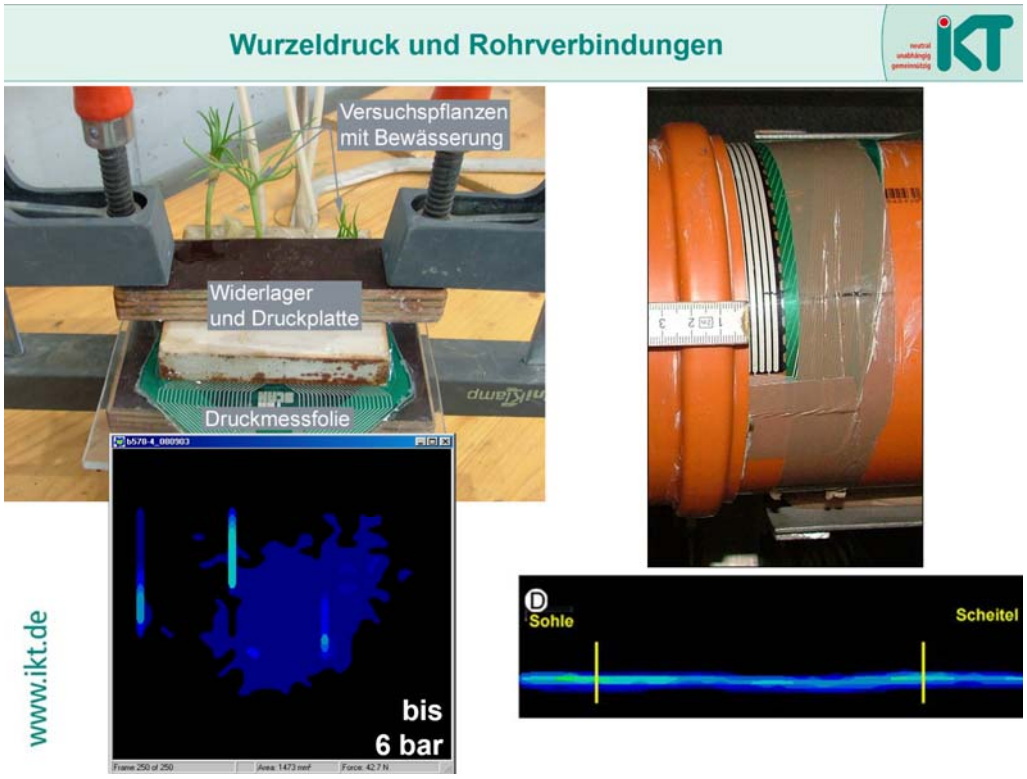
Wurzeln suchen Raum

Aufgrabungen an Schadstellen zeigten, dass die Wurzeln im Graben vorzugsweise in lockere Bodenbereiche einwachsen. Weitere Forschungsergebnisse des IKT in Zusammenarbeit mit Biologen des Botanischen Gartens der Ruhr-Universität Bochum bestätigten schließlich, dass Wurzeln durch die Bodeneigenschaften im Graben regelrecht gelenkt werden. Sie wachsen bevorzugt in lockere, porenreiche Bereiche ein. Dass Wurzeln im Umfeld von Leitungen zu finden sind, ist damit keine Überraschung, denn Leitungsgräben im städtischen Untergrund sind häufig die einzigen Bereiche mit porenreichem Material.

Der Einwuchs in die Leitung lässt sich dann wie folgt erklären: Wurzeln wachsen häufig an den Leitungen entlang, da sie bevorzugt an Grenzflächen zum Boden wachsen, und die Leitungsoberfläche ist eine solche Grenzfläche. Wenn die Wurzel schließlich eine Rohrverbindung erreicht, z.B. eine Steckmuffe, findet sie dort weitere Hohlräume in der Verbindung und wächst ein. In der Rohrverbindung trifft sie dann auf die Dichtung, die den Weg zunächst versperrt, so dass die Wurzel an der Dichtung entlang wächst. Dabei bildet die Wurzel auch Seitenwurzeln, von denen die äußeren aus der Verbindung heraus wachsen und sich frei entwickeln können, während die inneren direkt auf die Dichtung zuwachsen und dort gefangen sind. Diese Seitenwurzeln können nur noch nach vorne unter die Dichtung wachsen, allerdings müssen sie dabei einen erheblichen Druck aufbringen.

Wurzeldruck kann über 10 bar betragen

Vor diesem Hintergrund haben wir uns in der Forschung natürlich gefragt, welche Drücke die Wurzeln üblicherweise und maximal aufbringen können. Dies auch mit Blick darauf, dass Rohrdichtungen für Abwasserleitungen üblicherweise für einen Innendruck von 0,5 bar ausgelegt sind. In einem speziellen Versuch wurden daher die Wurzeln von Versuchspflanzen gegen eine Druckplatte wachsen gelassen und der durch die Wurzeln erzeugte Druck mittels Druckmessfolien gemessen. Im Ergebnis zeigte sich, dass viele Pflanzen einen Wurzeldruck von 6 bar oder mehr aufbringen können, in Extremfällen wurden sogar Drücke bis zu 11 bar gemessen.



Um das Ganze mit der Leistung von typischen Rohrverbindungen zu vergleichen, wurden dann die gleichen Druckmessfolien auch auf das Spitzende von Steckmuffenverbindungen aufgebracht. Anschließend wurden die Rohre zusammengeschoben und der Druck der Dichtung gemessen. Insbesondere unter Scherlast zeigte sich, dass bei den meisten Verbindungsarten nennenswerte Bereiche mit geringem Druck entstehen, durch die auch Wurzeln einwachsen können. Eine weitere Erhöhung des Anpressdrucks der Dichtungen ist allerdings kaum möglich, da Steckmuffenverbindungen dann auf der Baustelle kaum noch händisch zusammengeschoben werden können. Vor diesem Hintergrund scheint auch die Forderung nach absoluter Wurzelfestigkeit von Rohrverbindungen wenig praxisnah. Allenfalls im Werk vorproduzierte Rohrstränge (Trommelware) oder vor Ort geschweißte Verbindungen können hier eine Alternative bieten, aber auch in diesen Fällen hängt der Widerstand gegen Wurzelwuchs letztlich von der Qualität der Schweißverbindungen ab.

Effizienter Schutz: Relative statt absolute Wurzelfestigkeit

Wenn die Rohrverbindungen grundsätzlich anfällig für Wurzeleinwuchs sind, bleibt die Frage nach weiteren effizienteren Lösungen zum Schutz vor Wurzeleinwuchs. Und hier kommt die Qualität des Bodens ins Spiel. Da Wurzeln ja in erster Linie dorthin wachsen, wo der Boden am lockersten und porenreichsten ist, kann ein Ansatz für effizienten Schutz vor Wurzeleinwuchs wie folgt formuliert werden:

Der beste Schutz vor Wurzeleinwuchs ist: die Wurzeln wachsen kräftig und heftig, aber woanders. Das heißt wir geben ihnen genügend Entwicklungsraum an anderer Stelle, so dass sie gar nicht in das Umfeld der Leitungen einwachsen müssen.

Das heißt aber auch, beim Schutz vor Wurzeleinwuchs müssen wir uns stärker mit dem Boden und den Bedürfnissen der Pflanzen beschäftigen. Deutlich wird dies bei Betrachtung des nachfolgenden Bildes. Die Wurzeln wachsen in einem lockeren Substrat und treffen auf eine Verfüllmasse, die offensichtlich nicht durchwachsen wird. Ganz im Gegenteil, die Wurzeln wachsen um diese Verfüllmasse herum. Läge die Rohrverbindung unterhalb dieser Masse, wäre sie gut geschützt. Bei dem Material handelt es sich aber nicht etwa um Beton mit hoher mechanischer Festigkeit, sondern um ein weiches plastisches Bentonit-Gemisch. Entscheidend dafür, dass keine Wurzeln einwachsen, ist die Tatsache, dass Bentonit nahezu keine Poren aufweist und der umliegende Boden dagegen sehr porenreich und deutlich attraktiver für das Wurzelwachstum ist.

Beim Thema Wurzelschutz kann das Bettungsmaterial der Leitungen somit eine entscheidende Rolle spielen. Diese Erkenntnisse haben unter Federführung des IKT auch Eingang in das Regelwerk des Straßenbaus, der Gas- und Wasserversorgung und der Abwassertechnik gefunden. Textgleich wurden in Deutschland von allen drei Fachverbänden entsprechende Empfehlungen veröffentlicht, s. DWA M 162, DVGW GW 125, FGSV Nr. 939.

Weitere Informationen

s. Anhang / Verweise zu dieser Skriptenreihe

XV Zur Frage des Umgangs mit Starkregenereignissen

Kommunen und Abwasserbetriebe stehen unter Druck, denn Überflutungen aus Starkregenereignissen nehmen zu, die Schäden können erheblich sein und viele Bürger erwarten schnelle Lösungen. Häufig mündet dies in Bürgerversammlungen und Gremiensitzungen in der **Forderung:**

Die Stadtentwässerung muss schnellstens größere Kanäle bauen!

Fachleute wissen, dass diese Forderung zu kurz greift. So spiegelt z.B. in Deutschland seit November 2016 das Merkblatt M 119 der DWA [i] die aktuelle Fachdiskussion wider und besagt in seinem Abschnitt 6.3 „Überflutungsvorsorge als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“ deutlich: „Es wird allgemein anerkannt, dass zur Erreichung der Zielvorgabe „angemessener Überflutungsschutz“ die alleinige Vergrößerung unterirdischer Ableitungskapazitäten und zentraler Rückhalteanlagen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht zielführend und auch nicht Intention der DIN EN 752 ist.“

In der kommunalen Praxis zeigt sich allerdings häufig, dass ein bloßer Verweis auf eine „allgemeine Anerkennung“ die Akzeptanz in der Bürgerschaft noch lange nicht erhöht. Für viele Bürger ist schon vom Wortsinne her die Stadtentwässerung für alle städtischen Entwässerungsfragen verantwortlich, und die Kanalisation wird dabei als Hauptinstrument zur Lösung von Entwässerungsproblemen angesehen. Es bleiben also die Fragen: Warum werden keine größeren Kanäle gebaut? Warum soll das Ganze aus technischen und wirtschaftlichen Gründen angeblich nicht zielführend sein? Wer hier fundiert Antwort geben möchte, braucht Fachwissen und Überblick.

Und dieses Fachwissen ist bei den Stadtentwässerungen vorhanden. So sind im Kommunalen Netzwerk Abwasser (KomNetAbwasser) über 50 kommunale Netzbetreiber organisiert, die gemeinsam drängende Probleme der Abwasserbetriebe lösen, und stets für Bürger verständliche Lösungen suchen[1]. Das KomNetAbwasser wird vom IKT moderiert, und die Diskussionsergebnisse werden strukturiert zusammengefasst, so auch zu der hier behandelten Frage „Warum werden die Kanäle nicht vergrößert?“. Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick.

Wasserwirtschaftlicher Hintergrund

Zunächst lohnt sich ein Blick auf die grundsätzlichen wasserwirtschaftlichen Zusammenhänge (vgl. Bild 1). Mit welchen Wasserarten müssen wir uns in der Entwässerung beschäftigen, welche Maßnahmen leiten sich daraus ab und was ist im Regelfall Gegenstand der Abwasserbeseitigung und damit die Aufgabe der Kanalisation?

Beginnen wir mit der wesentlichen Aufgabe der Stadtentwässerung, der Abwasserbeseitigung: Verunreinigtes Wasser soll gesammelt und fortgeleitet werden (vgl. [ii], [iii]). Einerseits kann es sich um stark verunreinigtes, behandlungsbedürftiges Wasser handeln, dieses wird dann einer ausreichend dimensionierten Behandlungsanlage zugeführt; andererseits kann es sich auch um schwach verunreinigtes Wasser handeln, das ohne Behandlung in ein ausreichend leistungsfähiges Gewässer

[1] Ein aktuelles Leitthema ist dabei das Thema „Starkregen“, daneben beschäftigt sich das Netzwerk auch mit weiteren Fragen aus dem Themenspektrum Grundstücke, Entwässerung und Wasserwirtschaft (GEW), vgl. www.komnetgew.de

eingeleitet werden kann[2] (vgl. [iv]). In beiden Fällen handelt es sich aber um den Transport von verunreinigtem Wasser. Nur in begründeten Fällen wird Wasser zur reinen Mengenbeseitigung aufgenommen, wenn z.B. der Bau alternativer Abflusswege unwirtschaftlich ist (z.B. an Unterführungen).

Die Abwasserbeseitigung ist damit in erster Linie eine Qualitätsfrage.

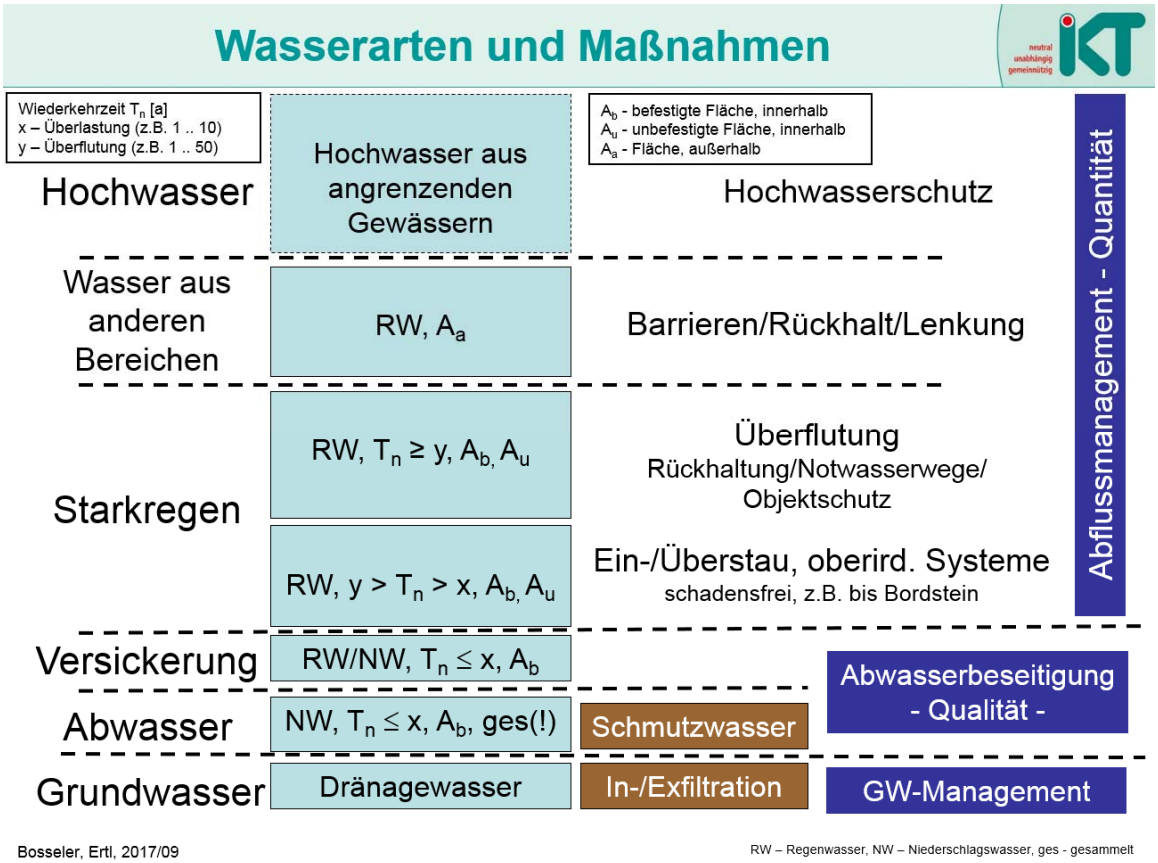


Bild 1: Wasserarten und Maßnahmen

Als Quellen für verunreinigtes Wasser sind Schmutzwasser und Niederschlagswasser zu nennen. In Deutschland hat der Gesetzgeber z.B. den Begriff Abwasser entsprechend definiert (vgl. WHG §54 [v]) als einerseits das durch Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte Wasser (Schmutzwasser)[3] und andererseits das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten und befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser). In beiden Fällen handelt es sich um verunreinigtes Wasser, einmal durch Gebrauch und einmal durch den Abfluss von befestigten Flächen. Mit Blick auf das Niederschlagswasser ist dann noch zu definieren, welche Anteile verunreinigten Wassers auch tatsächlich gesammelt werden sollen und damit der Abwasserbeseitigungspflicht

[2] Wie z.B. Niederschlagsabfluss von Fußwegen, Sport- und Freizeitanlagen sowie einigen Hof- und Dachflächen (vgl. [iv]). Die Reinigung findet dann im Gewässer statt.

[3] Laut WHG §54 [v] kommt hier noch hinzu „das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser". Dies ist insbesondere Fremdwasser aus Grundwasserinfiltration, das hier beim Thema Starkregen aber nicht im Fokus der Betrachtung steht. Im Bild 1 ist dieser Aspekt aber mit aufgeführt.

unterliegen. Dabei steht die Reduzierung der Gesamtemission im Vordergrund (vgl. [vi], [vii]), und damit z.B. sehr häufige Ereignisse auf stark verunreinigten Flächen. Demgegenüber wird z.B. Niederschlagswasser von wenig befahrenen Straßen in Außengebieten auch über das Bankett abgeleitet und versickert (vgl. [viii], [ix], [x]), und auch bei seltenen Regenereignissen, z.B. mit Wiederkehrzeiten größer fünf Jahren, werden die zusätzlichen Wassermengen selbst in Stadtzentren nicht mehr durch die Kanalisation erfasst (vgl. [xi], vgl. Bild 2).

Eine besondere Aufgabe ist dann die Entwässerung von Siedlungsräumen bei **Starkregen**, die selten, z.B. mit Wiederkehrzeiten von 10 Jahren oder noch seltener auftreten. **Hier steht die Quantitätsfrage im Vordergrund**: Große Mengen an Regenwasser sind unschädlich abzuleiten, während nur ein kleiner Anteil des Starkregens dem Abwassersystem zufließt, um den ersten Spülstoß bestimmungsgemäß einer Reinigung zuzuführen (vgl. [xii], [xiii], [xiv]). Die Kanalisation staut also planmäßig ein, bis hin zum Überstau. **Der wesentliche Mengenanteil muss also über oberirdische Systeme gefasst und abgeleitet werden.**

Die oberirdischen Systeme sind für starke Regen einer hohen Wiederkehrzeit von z.B. 30 Jahren bei Straßenunterführungen und 50 Jahren bei kritischer Infrastruktur (vgl. [xi]) auszulegen. Schäden durch Überflutungen sollen hierdurch weitgehend ausgeschlossen werden. Noch seltenere, dafür aber umso heftigere Ereignisse werden als höhere Gewalt betrachtet (vgl. [xv]). Um hier das Schadensausmaß zu begrenzen, helfen nur noch großräumige Rückhaltemaßnahmen, Notwasserwege und gezielter Objektschutz.

Unabhängig von Starkregenereignissen im betrachteten Gebiet können auch weitere Gefahren durch zufließende Wassermassen auftreten (vgl. Bild 1). Hierzu gehört Wasser, das aus ganz anderen Bereichen außerhalb des Kanaleinzugsgebiets sturzflutartig zufließt, z.B. aus Hanglagen, oder auch Wasser, das aus angrenzenden Gewässern über die Ufer tritt und das Siedlungsgebiet überflutet. In diesen Fällen sind Hochwasserschutz, Barrieren, Rückhalt und Lenkung gefragt (s. z.B. [xvi], [xvii]).

Vor dem Hintergrund dieser wasserwirtschaftlichen Zusammenhänge lassen sich nun **praxisnahe Thesen** so formulieren, dass sie eine schlüssige Antwort auf die Fragen geben: Warum bauen wir bei Starkregen nicht einfach größere Kanäle? Und wie gehen wir dann verantwortungsbewusst mit diesem Problem um?

Zweck der Kanalisation: Transport von verunreinigtem Wasser

Kanäle dienen der Abwasserbeseitigungspflicht, das heißt sie dienen in erster Linie dazu, verunreinigtes Wasser (Abwasser) einer Reinigung oder einem hinsichtlich Reinigungskraft und Hydraulik leistungsfähigen Gewässer zuzuführen. „Abwasser“ kann dabei durch Gebrauch in seinen Eigenschaften verändertes Wasser (Schmutzwasser[3]) oder das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser) sein [v].

Diese Aussage ist von zentraler Bedeutung, da sie etwas über das Wesen und den Zweck der Kanalisation aussagt. Kanäle wurden und werden in erster Linie aus hygienischen Gründen gebaut, um verunreinigtes Wasser so zu sammeln und fortzuleiten, dass hiervon keine Gefahren mehr ausgehen (vgl. [xviii], [xix]). Dies betrifft in jedem Falle das Schmutzwasser, aber eben auch das Regenwasser, wenn dies z.B. von befestigten Flächen nennenswerte Mengen an Feinpartikeln, Grobstoffen und anderen Verschmutzungen abspült. Und selbst wenn auch unverschmutztes Regenwasser zur

Verbesserung der Spülwirkung bewusst dem Kanal zugeleitet wird, steht auch hier die Sicherung der Transportfunktion für den eigentlichen Zweck im Vordergrund [xx].

Nur in begründeten Fällen werden durch den Kanal auch größerer Regenwassermengen erfasst, nämlich dann, wenn alternative Abflussmöglichkeiten an der Oberfläche kaum vorhanden sind, so z.B. in Wohngebieten und Stadtzentren (vgl. Bild 2, Tabelle 2 aus [xi]). Allerdings beschränkt sich dies noch immer auf häufig auftretende Regenfälle mit Wiederkehrzeiten von 2 bis 5 Jahren. Nur in lokalen Ausnahmefällen, wie an Unterführungen, werden auch noch seltenere Starkregenereignisse von der Kanalisation aufgenommen. Der eigentliche technische Zweck des gesamten Kanalisationsnetzes bleibt aber auch hier unverändert, es ist der Transport verunreinigten Wassers.

Ort	Bemessungsregenhäufigkeiten[a]	
	Jährlichkeit Jahre	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit je Jahr
Ländliche Gebiete	1	100 %
Wohngebiete	2	50 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	5	20 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	10	10 %

[a] Für das gewählte Bemessungsregenereignis darf das Rohr lediglich vollgefüllt und nicht überlastet sein.

Bild 2: Tabelle 2 aus DIN EN 752:2017

Kapazität der Kanalisation: an regelmäßigen Belastungen orientiert

Die Kapazität der Kanalisation[4] wird also auf regelmäßig auftretende Schmutz- und Niederschlagswassermengen bemessen. Ziel ist es, die üblicherweise auftretenden Schmutzfrachten sicher abzutransportieren. Dabei wird die Kapazität des gesamten Kanalnetzes in der Regel auf ein- bis fünfjährliche Niederschlagsereignisse ausgelegt. Seltenere Ereignisse werden nur in lokalen Sonderfällen (z.B. Unterführungen) erfasst (vgl. Bild 2 aus [xi]).

Für den Kanalbetrieb ist zu beachten, dass die Kanalisation gerade bei Wetterextremen ihre Transportfunktion für die ihr zugewiesenen, verunreinigten Schmutz- und Niederschlagswässer erfüllen muss, um die Situation an der Oberfläche durch vorzeitigen Überstau nicht unnötig zu verschärfen. Der regelmäßigen Inspektion, Wartung und Reinigung der Anlagen, d.h. auch der konsequenten Umsetzung der schon heute geltenden Anforderungen an die Selbstüberwachung und an den Betrieb der Kanalisation (vgl. [xxi], [xxii]), kommen damit eine besondere Bedeutung zu (vgl. [xxiii], z.B. Pumpwerke, Regenbecken, Hochwasserverschlüsse).

Wenn Starkregen nicht in die Kanalisation gehört, wohin dann?

Wenn Kanäle also grundsätzlich nicht zur Aufnahme seltener Starkregenereignisse bestimmt sind, müssen alternative Entwässerungssysteme einen ausreichenden Überflutungsschutz bieten. Geeignete Maßnahmen zum Überflutungsschutz sind u.a. oberirdische Abflusswege, Rückhalteräume und Versickerungsflächen, ggf. ergänzt durch Objektschutz für Gebäude und Anlagen sowie

[4] Insbesondere auch der Straßen- und Hofabläufe

Abkopplungsmaßnahmen auf Grundstücken. Detaillierte Empfehlungen finden sich z.B. in verschiedenen Leitfäden (s. z.B. [xiv], [xvi], [xvii], [xxiv], [xxv], [xxvi]).

Stadtentwässerungen unterstützen hier, Starkregenrisiken im Stadtgebiet zu erkennen und sie helfen der Stadt mit ihren Infrastrukturträgern dabei diese Risiken zu minimieren. Erkennen heißt z.B. Gefahren- und Risikokarten zu erstellen, in denen Gefahren- und Risiko-Bereiche identifiziert werden. Risiken minimieren heißt u. a., hydraulische Systeme (Rückhalt, Fließwege, Barrieren) zu entwickeln, mit denen auch große Wassermassen bewältigt werden können. Der oberirdische Wasserabfluss ist dabei so zu lenken, dass Risiken wirksam minimiert werden, auch für benachbarte Kommunen. Ziel ist es, dass jeder Starkregenkategorie auch eine planerische Lösung, vom Lenken des Wasserabflusses bis hin zum Objektschutz und zur Gefahrenabwehr, gegenübersteht.

Stadtentwässerung ist mehr als nur Abwasserbeseitigung

Stadtentwässerung umfasst somit mehr als nur den Bau und Betrieb der Kanalisation zur Abwasserbeseitigung. Entsprechend unterscheidet auch die DIN EN 752: 2017 [xi] zwischen drei Systemen in aufsteigender Hierarchie: dem System aus Abwasserleitungen und -kanälen, dem kommunalen Entwässerungssystem und dem Wassermanagementsystem. Die Begriffe werden im Abschnitt 5.2.1 der Norm wie folgt verknüpft:

„Systeme aus Abwasserleitungen und -kanälen sind Bestandteil des kommunalen Entwässerungssystems […]. Kommunale Entwässerungssysteme umfassen die gesamte Infrastruktur für das Management von Abwasser und Regenwasser im Siedlungsgebiet. Das Ausmaß und die Rolle eines Systems aus Abwasserleitungen und -kanälen innerhalb eines kommunalen Entwässerungssystems sind abhängig von den lokalen Randbedingungen für jedes System. Kommunale Entwässerungssysteme sind Teil eines weiter umfassenden Wassermanagementsystems […].“

Es ist damit offensichtlich, dass die kommunale Verantwortung weit über die Aufgaben des Abwasserbetriebs hinausgeht. Während der Abwasserbetrieb ein System aus Abwasserleitungen und –kanälen sowie die damit verbundenen Bauwerke betreibt, muss die Kommune darüber hinaus auch eine Infrastruktur für das Management des Oberflächenabflusses in der bebauten Umwelt zur Verfügung stellen[5]. Und dies sind eben insbesondere oberirdische Abflusswege, Rückhalteräume und Versickerungsflächen.

Kellerschutz durch Rückstausicherung

Für viele Bürger bleibt bei aller wasserwirtschaftlicher Argumentation aber meist noch die Frage: **Warum läuft jetzt mein Keller voll und es kommt zu Überflutungen, wenn wir doch früher so gut wie nie Probleme hatten?** Hierin schwingt die Annahme mit, dass es sich bei Rückstau im Kanalnetz um einen Mangel handelt, der zu vermeiden ist. Tatsächlich ist Rückstau aber ein planmäßiger Zustand, der ebenso planmäßig eine Rückstausicherung im privaten Netzbereich verlangt. Nur wenn diese Rückstausicherung fehlt, kommt es zu den beobachteten Risiken eines Kellereinstaus aus dem Abwassernetz.

[5] So definiert DIN EN 752:2017-07 in Abschnitt 3.17 wie folgt: „Kommunales Entwässerungssystem: Infrastruktur für das Management von Abwasser und Oberflächenabfluss in der bebauten Umwelt“.

Sollten Rückstauereignisse in der Vergangenheit seltener aufgetreten sein, kann dies einen einfachen Grund haben: In der Planung wurde und wird für die langen Nutzungszeiträume eines Kanalnetzes stets mit Reserven für künftige Erweiterungen (neue Anschlüsse) und mit Sicherheitsbeiwerten für besondere Belastungen gerechnet (vgl. [xxvii]). Hieraus ergeben sich unmittelbar nach Neubau eines für viele Jahrzehnte geplanten Netzes in der Regel erkennbare Überkapazitäten, die erst im Laufe der Nutzungsdauer nach und nach tatsächlich benötigt werden. Dies betrifft z.B. die spätere Erschließung von Baugebieten und den Anschluss weiterer versiegelter Flächen. Die eingeplanten Sicherheiten werden wiederum erst durch spätere unvorhergesehene Belastungssteigerungen, wie die jetzt beobachteten häufigeren Starkregen, in Anspruch genommen.

Erreicht das Netz aber seinen tatsächlichen Planungszustand, heißt dies bestimmungsgemäß auch Einstau und Überstau, mit den in der Bemessung angesetzten Häufigkeiten. Ein regelmäßig durch Rückstau belasteter Kelleranschluss ist also kein Mangel, sondern ein planmäßig auftretendes Belastungsszenario in einem planmäßig ausgelasteten Netz. Der Einbau einer Rückstausicherung hätte schon bei Anschluss an das Kanalnetz erfolgen müssen, spätestens jedoch wenn der Planungszustand erreicht wird.

Die Konsequenz: Kommunale Informationsvorsorge

Eine frühzeitige Beratung und Aufklärung der Bürger durch den Entwässerungsbetrieb tut not, am besten schon bevor es zu Schadensereignissen kommt. Denn schließlich handelt es sich bei den dargestellten Sachverhalten noch immer um äußerst komplexe Zusammenhänge mit vielschichtiger Argumentation. Offensichtlich sind viele Bürger mit dieser Situation überfordert: Damit stehen Kommune und Stadtentwässerung aber auch in einer besonderen Verantwortung, denn „wer Regeln aufstellt, sollte sie auch erklären können“. Und Stadtentwässerungen haben hier eine lange Tradition als städtischer Infrastruktur-Dienstleister und werden als erfahrene Kompetenzträger wahrgenommen.

Diese besondere Verantwortung wird z.B. in NRW durch eine gesetzliche Beratungspflicht, hier nach § 46 LWG NRW, unterstrichen [xxviii]. In der Beratung werden den Bürgern die drängendsten Handlungsfelder sowie ihre eigene Verantwortung erläutert und bewusst gemacht. Dies betrifft z.B. Fragen des Versicherungsschutzes und des Verhaltens im Notfall ebenso wie generelle Fragen des Regenwassermanagements sowie der Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zur Rückstausicherung und zum Objektschutz bei Überflutung.

Literatur/Verweise

[i] DWA-M 119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef, November 2016:

Abschnitt 6.3:
„[…] Es wird allgemein anerkannt, dass zur Erreichung der Zielvorgabe „angemessener Überflutungsschutz" die alleinige Vergrößerung unterirdischer Ableitungskapazitäten und zentraler Rückhalteanlagen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht zielführend und auch nicht Intention der DIN EN 752 ist. Deshalb kommt – in Ergänzung zu (dezentralen) Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung – der Nutzung der baulichen Gegebenheiten an der Oberfläche zum (temporären) Rückhalt und zur schadensfreien Ableitung von Niederschlagswasser sowie dem gezielten Objektschutz durch baulich-konstruktive Maßnahmen für den Überflutungsschutz zunehmend Bedeutung zu. […]

Für den Belastungsbereich „Bemessungsregen" wird der überstaufreie Betrieb als „Entwässerungskomfort" durch das unterirdische Kanalisationsnetz – im Zusammenwirken mit Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und Rückstausicherungen der Grundstücksentwässerung [DIN 1986] sichergestellt. […]

Überflutungsschutz im Bereich empfohlener Überflutungs-Wiederkehrzeiten kann für den Belastungsbereich „seltene Starkregen" je nach lokalen Erfordernissen auch durch Maßnahmen zum Objektschutz erreicht werden. Dieser Überflutungsschutz besteht auch, wenn aus der Kanalisation austretendes bzw. wegen deren Überlastung nicht eintretendes Wasser sich vorübergehend im Straßenraum ansammelt oder entsprechend dem Straßenlängsgefälle in unkritische Bereiche abfließt, ohne dass es zu tiefgreifenden Verkehrsbeeinträchtigungen oder schädlichem Übertritt des Wassers auf angrenzende Grundstücke kommt. […]"

[ii] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), Fassung vom 31. Juli 2009:

§ 54, Absatz 2: „Abwasserbeseitigung umfasst das Sammeln, Fortleiten, Behandeln, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln von Abwasser […]"

§ 56: „Abwasser ist von den juristischen Personen des öffentlichen Rechts zu beseitigen, die nach Landesrecht hierzu verpflichtet sind (Abwasserbeseitigungspflichtige). Die Länder können bestimmen, unter welchen Voraussetzungen die Abwasserbeseitigung anderen als den in Satz 1 genannten Abwasserbeseitigungspflichtigen obliegt. Die zur Abwasserbeseitigung Verpflichteten können sich zur Erfüllung ihrer Pflichten Dritter bedienen."

[iii] Landeswassergesetz (LWG) NRW vom 08.07.16 mit Gesetz zur Änderung der wasser- und verbandsrechtlichen Vorschriften verkündet am 15.07.16 GV NW S. 559:

§46, Absatz 1: „Die Gemeinden haben das auf ihrem Gebiet anfallende Abwasser gemäß § 56 des Wasserhaushaltsgesetzes zu beseitigen. Die Verpflichtung der Gemeinden zur Abwasserbeseitigung umfasst insbesondere […] 2. das Sammeln und das Fortleiten von Abwasser, das auf einem Grundstück des Gemeindegebietes anfällt […]."

[iv] Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - IV-9 031 001 2104 - vom 26.5.2004 (NRW):

Abschnitt 2.2 Grundsätzliche Behandlungsbedürftigkeit:
„Unbelastetes (= unverschmutztes) Niederschlagswasser (Katergorie I Anlage 1) kann grundsätzlich ohne Vorbehandlung in oberirdische Gewässer eingeleitet werden. […] Eine Versickerung kann gemäß Ziffern 14.1 und 15 des „§ 51a-Erlasses“ durchgeführt werden […]“

Nach Anlage 1: Herkunftsbereiche von Niederschlagswasser Kategorie I:
Fuß-, Rad- und Wohnwege,
Sport- und Freizeitflächen,
Hofflächen (ohne Kfz-Verkehr) in Wohngebieten, wenn Fahrzeugwaschen dort unzulässig,
Dachflächen in Wohn- und Mischgebieten (Keine Metalldächer),
Garagenzufahrten bei Einzelhausbebauung.

[v] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), Fassung vom 31. Juli 2009:
§ 54, Absatz 1: „Abwasser ist:

1. das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändertes Wasser und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie
2. das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser). […]“

[vi] Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. 16. Auflage, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012:

Abschnitt 5.4 Niederschlagswasserbeseitigung:
„Zukünftiges Ziel der Mischwasserbehandlung ist die bestmögliche Reduzierung der Gesamtemission aus Mischwasserentlastungen und Kläranlagen im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Erfordernisse.“

[vii] ATV-A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. ATV-DVWK Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef, April 1992:

Kapitel 2 Zielsetzung der Regenwasserbehandlung:
„Aus wasserwirtschaftlichen und aus Kostengründen ist vorrangige Aufgabe der Planung von Maßnahmen der Abwassersammlung und der Regenwasserbehandlung die Vermeidung des Regenabflusses in die Kanalisation, wo immer dies möglich ist. […]
Aufgabe der Regenwasserbehandlung ist es, den Regenabfluß zur Kläranlage so zu begrenzen, daß dort die angestrebten Ablaufwerte eingehalten werden und gleichzeitig die stoßweisen Belastungen des Gewässers aus Regenwasserentlastungen in vertretbaren Grenzen bleiben. Ziel der Regenwasserbehandlung muß eine bestmögliche Reduzierung der Gesamtemissionen aus Regenentlastungen und Kläranlagen im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Erfordernisse sein.“

[viii] Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - IV-9 031 001 2104 - vom 26.5.2004 (NRW):

„[…] Schwach belastetes (= gering verschmutztes) Niederschlagswasser […] bedarf grundsätzlich einer Behandlung entsprechend den Vorgaben im Kap. 3 […].“

„Von einer zentralen Behandlung des Niederschlagswassers kann im Einzelfall abgesehen werden, wenn aufgrund der Flächennutzung nur mit einer unerheblichen Belastung durch sauerstoffzehrende Substanzen und Nährstoffe und einer geringen Belastung durch Schwermetalle und organische

Schadstoffe gerechnet werden muss oder wenn eine vergleichbare dezentrale Behandlung erfolgt. Dies gilt im Allgemeinen für […]

- zwischengemeindliche Straßen- und Wegeverbindungen mit geringem Verkehrsaufkommen […]."

„Eine Versickerung kann je nach Zuordnung in die o.g. Fallgruppen unter gleichen Voraussetzungen gemäß Ziffer 14.2. in Verbindung mit Ziffer 15 des „§51a-Erlasses" durchgeführt werden.[…]"

[ix] Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51a des Landeswassergesetztes. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft IV B 5 -673/2-29010 / IV B 6 – 031 002 0901 v. 18.5.1998:

Abschnitt 14.2 Beseitigung von gering verschmutztem Niederschlagswasser (außerhalb von Wasserschutzgebieten):
„Für die Beseitigung von gering verschmutztem Niederschlagswasser durch Versickern kommen die nachfolgend aufgeführten Verfahren in Betracht:
- großflächige Versickerung über die belebte Bodenzone ,
- Flächenversickerung bei Straßen, Wegen, Plätzen […]"

[x] Richtlinie für die Anlage von Straßen RAS, Teil: Entwässerung RAS-Ew. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005:

Abschnitt 7.2.1:
„Wenn es die örtlichen Verhältnisse und der Untergrund zulassen, ist das von der Straße abfließende Niederschlagswasser zu versickern, gegebenenfalls nach Vorbehandlung."

[xi] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement; Deutsche Fassung EN 752:2017. Beuth Verlag, Juli 2017

[xii] ATV-Handbuch Planung der Kanalisation. 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1994:

Abschnitt 11.1.2.4 Entlastungen von Niederschlagswasser
„Die Wirkung dieser Speicher, die oft nur 1-2 mm Niederschlag auf die befestigte Einzugsfläche (= 10-20 m^3/ha) fassen, ergibt sich daraus, daß viele kleine Regen dann gar nicht erst zu einer Entlastung durch überlaufen führen, andererseits durch die Klärwirkung im Stauraum – auch wieder bei kleineren Durchflüssen – der vorkommende Überlauf „sauberer" wird als die bodennäher ablaufenden stärker belasteten Abflußanteile und der erste „Schmutzstoß" aus den Abschwemmungen bei Regen von den Oberflächen „gefangen" (Fangbecken) oder im Durchlauf zum Teil geklärt wird (Durchlaufbecken)."

[xiii] Grohmann, A. N.; Jekel, M.; Grohmann, A.; Szewzyk, R; Szewzyk, U.: Wasser – Chemie, Mikrobiologie und Nachhaltige Nutzung. De Gruyter, Berlin, 2011:

Abschnitt 5.5.3 Niederschlagswasser:
„Die Abläufe von Dächern und versiegelten Siedlungsflächen (Parkplätzen, Straßen) können nach Trockenphasen beim ersten stärkeren Regen erheblich stofflich belastet sein (z.B. trockene Deposition, Straßenstaub, Biomasse oder Vegetation, Zink und Kupfer aus Regenwasserrohren). Dieser Spülstoß („first flush") kann daher höhere Stoffkonzentrationen als das häusliche Abwasser aufweisen und sollte behandelt oder gezielt in Schmutzwasserkanäle eingeleitet werden. Nach dem Spülstoß sinken Stoffgehalte schnell ab und lassen eine Ableitung oder Versickerung zu (ausgenommen stark frequentierte Verkehrsflächen)."

[xiv] Wissensdokument: Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung. Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen [ReStra]. Freie und Hansestadt Hamburg.Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, Ausgabe 2015:

Kapitel 3.1 Oberirdische Ableitung:
Notentwässerung bei Starkregen: „Bei einem normalen Regen wird das Regenwasser über die üblichen

Ableitungselemente gezielt den Trummen, den Versickerungs- oder den Behandlungsanlagen zugeführt. Dadurch kann eine Reinigung des oft zu Beginn eines Regenereignisses vermuteten stärker verschmutzten Niederschlagswassers (first flush) gewährleistet werden. Die weniger behandlungsbedürftigen Abflussspitzen werden in seltenen Fällen über die Straße auf eine Grünfläche geleitet oder diffus einem Oberflächengewässer zugeführt."

[xv] Appeler, N.: Rechtliche Würdigung der kommunalen Pflichten zur Starkregenvorsorge. Vortrag, 8. Deutscher Tag der Grundstücksentwässerung, Köln, 22. Juni 2017.

[xvi] Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Berlin, März 2015.

[xvii] Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitze Städte: Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung (BBSR), April 2015

[xviii] Stein, D.; Stein, R.: Instandhaltung von Kanalisationen. 4. Auflage, Band 1. Stein & Partner, Bochum, 2014:

Abschnitt 1.1:
„Seit der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts werden in Deutschland als Folge der industriellen Entwicklungen zu Beginn dieses Jahrhunderts und insbesondere zum Schutz der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit planmäßig Abwasseranlagen errichtet und betrieben."

[xix] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement. Deutsche Fassung EN 752:2017. Beuth Verlag, Juli 2017:

Einleitung:
„[…] Entwässerungssysteme wurden eingerichtet, da ein Bedarf bestand, verschmutztes Wasser zu entfernen, um Krankheiten zu vermeiden."

[xx] ATV-Handbuch Planung der Kanalisation. 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1994:

Abschnitt 1.3.1. Das Prinzip der Nutzung und Spülung:
„[…] Sehr früh schon ist das Prinzip anzutreffen, alle Abwässer und die Fäkalien mit Hilfe des Wassers abzuleiten. Fließend, spülend, natürlich – als Wasserlauf, wenn vorhanden oder/und aus dem Regenabfluß – oder künstlich, dann zugeleitet als „Wasserversorgung" oder durch Spülung im Schwall aus Gefäßen erzeugt."

[xxi] Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen - Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SüwVO Abw des Landes Nordrhein-Westfalen, 17. Oktober 2013.

[xxii] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen. Runderlass des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft – IV B 6 – 031 002 0201 – vom 3.1. 1995.

[xxiii] Kommunaler Hinweis „Starkregen- und Überflutungsvorsorge im Kanalbetrieb – Betriebliche Maßnahmen nach Runderlass NRW mit Beitrag zur Überflutungsvorsorge. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 27. März 20017.

[xxiv] Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, März 2010.

[xxv] Handlungsstrategie für den Umgang mit Starkregenereignissen. Stadt Dortmund - Stadtentwässerung, November 2014.

[xxvi] Wie schütze ich mein Haus vor Starkregenfolgen? Stadt Hamburg, Hamburg Wasser, Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg, 2007.

[xxvii] DIN EN 752:2017: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement. Deutsche Fassung EN 752:2017, Beuth Verlag, Juli 2017:

Abschnitt 5.3.1:
„Um sicherzustellen, dass das System während seiner geplanten Nutzungsdauer die Leistungsanforderungen einhält, sollten Bemessungskriterien festgelegt werden, die üblicherweise über die Leistungsanforderungen hinausgehen. Die Bemessungskriterien sollten unter Berücksichtigung aller vorhersehbaren Veränderungen während der Nutzungsdauer des Systems auf einem Niveau festgelegt werden, das sicherstellt, dass das System die Leistungskriterien dauerhaft erfüllt. Bemessungskriterien müssen zu erwartende Durchflussänderungen über die Nutzungsdauer eines Entwässerungssystems berücksichtigen, wenn diese nicht anderweitig in der Bemessung berücksichtigt sind."

[xxviii] Landeswassergesetz (LWG) NRW vom 08.07.16 mit Gesetz zur Änderung der wasser- und verbandsrechtlichen Vorschriften verkündet am 15.07.16 GV NW S. 559:

§ 46: „[…] Die Gemeinde ist verpflichtet, die Grundstückseigentümer über ihre Pflichten nach den §§ 60 und 61 des Wasserhaushaltsgesetzes zu unterrichten und zu beraten."

Anhang / Verweise

Normen und Regelwerke

DIN EN 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Beuth Verlag, Berlin, 03/2000.

DIN EN 1295-1:2019-08 Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter verschiedenen Belastungsbedingungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.

DIN EN 13306:2018-02: Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN 13306:2017

DIN EN 15885:2019-10: Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung, Reparatur und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Deutsche Fassung EN 15885:2018.

DIN EN 1610:2015 Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.

DIN EN 16323:2014: Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik.

DIN EN 752:2017-07: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement.

ASTM F1216-09 (2009). Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube. ASTM, Philadelphia, PA, USA.

DIN 31051:2019-06: Grundlagen der Instandhaltung.

DIN 4124, Ausgabe:2012-01 Baugruben und Gräben; Böschungen, Arbeitsraumbreiten, Verbau, Beuth Verlag, Berlin.

DVGW G 403 (2013-03): Entscheidungshilfen für die Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen.

DVGW W 403 (2010-04): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen.

DWA-A 125: Rohrvortrieb und verwandte Verfahren (Dezember 2008).

DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining und Montageverfahren, Juli 2015.

ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage; korrigierter Nachdruck, DWA, 4/2008.

DWA-A 161: Statische Berechnung von Vortriebsrohren (März 2014).

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs- Richtlinie), Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung, Teil 4: Prüfverfahren, Beuth Verlag, Berlin, 2001.

Fachbücher/-artikel

Bosseler, B.: Prüfung und Bewertung von Produkten und Verfahren zum Bau und zur Instandhaltung unterirdischer Kanäle und Leitungen, Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE), Leibniz Universität Hannover, Heft 70.

DWA-Landesverband NRW: Das ATV-DVWK Baustellenhandbuch, 2002.

Flügge, W.: Viscoelasticity, Springer, 1975.

Gigerenzer, G.: Das Einmaleins der Skepsis – Über den richtigen Umgang mit Zahlen und Risiken. BVT Berliner Taschenbuch Verlags GmbH, Berlin, 2004, amerikanisches Original: „Calculated Risk: How to know when Numbers Deceive you", Simon & Schuster, New York, 2002.

Glock, D.: Überkritisches Verhalten eines starr ummantelten Kreisrohres bei Wasserdruck von außen und Temperaturdehnung. Der Stahlbau, 07/1977.

Hornung / Kittel: Statik erdüberdeckter Rohre – Structural Analysis of Buried Pipes, Bauverlag 1989.

Kaufmann, O.: Zur Dichtheitsprüfung von Rohren mit Hilfe von Luftüber- und Unterdruck. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Technisch-wissenschaftliche Berichte des IKT - Institut für Kanalisationstechnik, Bericht 97/6, Gelsenkirchen.

Moser, A.P., Folkman, S.: Buried pipe design. Third edition, McGraw-Hill, 2008.

Stein, D.: Grabenloser Leitungsbau, 2003.

Stein, D., Stein, R.: Instandhaltung von Kanalisationen, 4. Auflage, 2014.

Timoshenko, S.P; Gere, J.M.: Theory of elastic stability. 2nd edition, McGraw-Hill, 1961.

Forschungsberichte des IKT

(frei zum Download unter www.ikt.de => Downloads => Forschungsberichte)

Studie zum Stand und zu prioritären Handlungsfeldern der Wasserwirtschaft in NRW, August 2019

Umgang mit Starkregenereignissen im Kanalbetrieb – Starkregen-Check Kanalbetrieb, April 2019

Evaluation of Potential Release of Organic Chemicals in the Steam Exhaust and Other Release Points during Pipe Rehabilitation Using the Trenchless Cured-In-Place Pipe (CIPP) Method, April 2018

Konzeption zur Bürgerinformation und -einbindung zu privaten Hausanschlüssen – Phase II, Juni 2016

Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien – Phase I & II, August 2015

Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung – Phase II: Vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen, Juli 2015

Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern – Phase II: Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten, Juli 2015

Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt, November 2014

Siebanlagen und Rechen an Mischwasserentlastungen – Entscheidungshilfen und Marktübersichten, Oktober 2013

Umgang mit Dränagewasser von privaten Grundstücken - Pragmatische Lösungsansätze und Argumentationshilfen, November 2012

Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses, November 2011

Untersuchungen zu Hafteigenschaften von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen und Einsatz ausgewählter Reparaturverfahren unter äußerem Wasserdruck, September 2011

Sanierung von Abwasserschächten - Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung - , April 2011

Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung - Phase I: Abnahmekriterien und Prüfprogramm -, März 2011

Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und –dükern - Phase I - Februar 2011

Umweltsicherer Kanalbau durch wurzelfeste Bettung der Rohre – Teil 1, Februar 2011

Qualitätssicherung beim Rohrvortrieb durch kontinuierliche Fugenvermessung, Dezember 2009

Abnahme von Liningmaßnahmen, März 2009

Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle (MIBAK), Dezember 2008

Entwicklung eines Prüfverfahrens für Schachtkopfmörtel, September 2007

Untersuchung des Abfluss- und Versickerungsverhaltens wasserdurchlässiger Flächenbeläge, August 2007

EPS-Bettungskissen in der offenen Bauweise, August 2007

Betriebs- und Sanierungsmaßnahmen bei Wurzelschäden in öffentlichen und privaten Abwasserleitungen und –kanälen - Inspektionen –, Juli 2007

Der IKT-Vortriebssimulator – Entwicklung, Bau, Versuche und Ergebnisse, Juli 2007

Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle „ergänzende Feldversuche“, Juni 2007

Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle „Ergänzungsvorhaben“, Juni 2007

Pilotstudie Inspektion teilgefüllter Kanäle, Juni 2007

Kanal- und Baugrunderkundung im nicht begehbaren Bereich, April 2007

Abwasserdruckleitungen – Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung, Dezember 2006

Pilotprojekt der Stadt Billerbeck: Dränagewasser von Privatgrundstücken – Umweltgerecht Sammeln und Ableiten, Juni 2006

Wasserstandsmessungen an Regenbecken und Stauraumkanälen, Mai 2006

Einsatz von Bettungs- und Verfüllmaterialien im Rohrleitungsbau, April 2006

Anschlusskanäle und Grundleitungen - Schäden, Inspektion, Sanierung -, Dezember 2005

Profilierte Großrohre aus Kunststoff, Oktober 2005

"Sandwich-Beschichtung" für Abwasserschächte, Teil I: Werkstoff- und Verfahrensprüfungen sowie Grundlagen der Berechnung, Juni 2005

Einsatz eines neuartigen Verfahrens zur Zustandserfassung von Hausanschluss- und Grundleitungen bei Netzbetreibern in NRW, Mai 2005

Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten, Februar 2005

Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer, Februar 2005

Kanalreinigung – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen, Dezember 2004

Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen, Dezember 2004

Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle, Juli 2004

Einsatz der Ejektortechnik bei der Dükerreinigung und -inspektion, Juni 2004

Neue Methode zur Schwallspülung „Spülsack“ – Vorbereitung für den Praxiseinsatz, Mai 2004

Stahlbetonrohre in offener Bauweise – Rohrprüfungen unter realitätsnahen Beanspruchungen, Februar 2004

Sanierung von Hausanschlussleitungen -Pilotprojekt Stadt Würselen-, Januar 2004

Koordination von Planungs- und Baumaßnahmen zur Fremdwasserverminderung im öffentlichen und privaten Bereich, Dezember 2003

Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW, Dezember 2003

Qualitätseinflüsse Schlauchliner: Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen, Dezember 2003

Erneuerung mit dem Berstverfahren: Bemessung, Prüfung und Qualitätssicherung von Abwasserrohren, November 2003

Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren, September 2003

Zustandserfassung und Dichtheitsprüfung von Hausanschluss- und Grundleitungen, Juli 2003

Umgang mit Asbestzementrohren – Betriebsempfehlungen für Kanalisationen, Dezember 2002

Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen, November 2002

Einsatz mikrobiologischer Produkte in Fettabscheidern, September 2002

Entwicklung eines Elastomerrings zur Sanierung von Schachtabdeckungen, Juli 2002

Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt – Teil , März 2002

Durchflussmesseinrichtungen von Regenentlastungsbauwerken, Juli 2001

Bundesweite Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik - mittels Beschichtungsverfahren, Juli 2001

Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen - am Beispiel der Schlauchverfahren, März 2001

Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen aus Kanalisationsnetzen, Juni 2001

Ökologische Auswirkungen von Wurzeleinwuchs in Abwasserkanälen und -leitungen und ökonomische Maßnahmen zur Schadensvermeidung und Sanierung, März 2001

Infektionsgefahr durch Austrag von Krankheitserregern aus Einsteigschächten von Kanalisationen durch Aerosole, Dezember 2000

Fremdwasser durch Drainageanschlüsse, März 1995

Eigene Fachartikel/-vorträge

(unter www.bosseler.eu => Publications/Veröffentlichungen => freier Download mit Kennung: gast, vorlesung)

Bosseler, B.: Starkregenereignisse – Herausforderungen für kommunale Netzbetreiber, ACO Regenwelten, Dortmund/Köln, 12./21.11.2019.

Bosseler, B., Strache, J.; Bösl, M.: Praxisnahe Diskussion zu Schadensbildern und deren Lösungsmöglichkeiten, 17. Münchner Runde zur Kanalsanierung, Fürstenfeldbruck, 10/2019.

Bosseler, B.: Neubau der neuen Starkregenversuchshalle – was wird die neue Anlage können / Erfahrungen aus laufenden Projekten zur Starkregenprävention beim IKT, 8. Tag der Siedlungsentwässerung des Wupperverbandes, 30. Oktober 2019, Wuppertal, 10/2019.

Bosseler, B.: Das IKT – allgemeine Aufgabe und derzeitige Projekte, 5. September 2019, 6. NWZ Abwasser-Dialog, Wolfsburg, 09/2019.

Bosseler, B.: Guter Grund für gute Untergrundvorbereitung: Verbundverhalten von Schachtbeschichtungen und Kurzlinern, 09/2019, Kommunalwirtschaft, S. 452-455.

Bosseler, B.: 1:1 scale tests of heavy rainfall events and surface flow sewerage interaction, ISO TC224 WG11, 27th June 2019, Copenhagen, 06/2019.

Bosseler, B.: Verbundverhalten von Schachtbeschichtungen und Kurzlinern, Deutscher Reparaturtag (VSB/TAH), 03. April 2019, Troisdorf, 04/2019.

Bosseler, B.: Collaborative research on underground infrastructure, TWENTY65 Annual Conference, 27th March 2019, Manchester, 03/2019.

Bosseler, B.: Konsequenzen aus den Warentests zur Kanalsanierung, 32. Lindauer Seminar, Lindau, 03/2019.

Bosseler, B.: Management of heavy rainfall and sewer systems as a pilot for smart community infrastructures, VLARIODAG, Dinner, Antwerpen, 03/2019.

Bosseler, B.: BIM in der Smart City, Bochumer BIM Congress BIMCo2018, Gelsenkirchen, 11/2018.

Bosseler, B.: Tragverhalten von Abwasserkanälen; in: Taschenbuch der Stadtentwässerung, Herausgeber: Norbert Jardin, 32. Auflage 2018, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 2018.

Bosseler, B.: Die Rolle der Stadtentwässerung in der Starkregenvorsorge, Starkregencongress SRC 2018, Gelsenkirchen, 10/2018.(Download, pdf, 4.2 MB)

Bosseler, B.: Sanierung/Schadensbilder – Diskussionsgrundlage, 16. Münchner Runde zur Kanalsanierung, Fürstenfeldbruck, 10/2018.(Download, pdf, 0.4 MB)

Bosseler, B.: Sind die Abwassergebühren zu niedrig?, 36. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, 09/2018. (Download Presentation, pdf, 2.3 MB) (Download Paper, pdf, 2.3 MB)

Bosseler, B.; Klameth, M.; Liebscher, M.; Falter, B.; Achmus, M.: Experimental Full Scale Tests on Shallow Buried Pipes under Live Load Conditions, ASCE Pipelines 2018, 15-18 July 2018, Toronto. (Download Presentation, pdf, 2.0 MB) (Download Paper, pdf, 0.8 MB)

Bosseler, B.: IKT project overview, Symposium on Buried Pipe Research, 12-13 July 2018, Kington, Ontario. (Download, pdf, 7.0 MB)

Bosseler, B.: Smart City – Welchen Herausforderungen müssen Kommunen und Abwasserbetriebe sich stellen?, THIS Tiefbaukongress 2018, Kassel, 06/2018. (Download, pdf, 1.9 MB)

Bosseler, B.: Starkregenereignisse – Was kommt da auf die Kommunen zu ?, Regionalforum Abwasser Rhein-Erft-Sieg, Wesseling, 06/2018.(Download, pdf, 7.4 MB)

Bosseler, B.: On the topic of service-life of sewers and pipelines, 6th EWA / JSWA / WEF Joint Conference „The Resilience of the Water Sector“, 15-18 May 2018, Munich. (Download Presentation, pdf, 1.0 MB) (Download Paper, pdf, 0.5 MB)

Bosseler, B.: Sind neue Produktentwicklungen erforderlich?, 31. Lindauer Seminar, 09. März 2018. (Download, pdf, 1.0 MB)

Bosseler, B.: Smart Grids, Smart Meter, Smart Cities – Alles Smart oder was?, Wat 2017, Köln, 11/2017. (Download, pdf, 1.2 MB)

Bosseler, B.: Smart Community Infrastructure – Welche Bedeutung hat dies für Kanalnetzbetreiber?, DWA Sanierungstage 2017, Dortmund, 22.11.2017. (Download, pdf, 1.2 MB)

Bosseler, B.: Starkregenereignisse – Was kommt da auf die Kommunen zu?, ACO Regenwelten, Leverkusen, 09.11.2017. (Download, pdf, 5.3 MB)

Bosseler, B.: Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit, Finanzierung – Wie hängt das alles zusammen?, 15. Münchner Runde zur Kanalsanierung, Garching, 10/2017.(Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.: Asset Management – Entwicklungen im (inter-)nationalen Normen- und Regelwerk. Kanalgeipfel 2017, 14.09.2017. Kassel. (Download, pdf, 1.4 MB)

Bosseler, B.: Aktuelle Herausforderungen für den Betrieb von Kanalnetzen. Infoveranstaltung „Kommunale Kanalnetze“, EGLV/RV, 07.07.2017, Saalbau, Essen. (Download, pdf, 1.5 MB)

Bosseler, B.: Der Ruf der Bürger nach großen Kanälen – die Antwort!, 8. Deutscher Tag der Grundstücksentwässerung / 22.06.2017, Köln. (Download, pdf, 0.9 MB)

Bosseler, B.:Zur Frage der Nutzungsdauer von Kanälen und Leitungen, KA Korrespondenz Abwasser, 02/2017. (DWA Shop, pdf)

Bosseler, B., Brüggemann, T.: Sind Dränanlagen nach DIN 4095 noch zeitgemäß oder sogar schadensträchtig?; 43. Aachener Bausachverständigentage, 04/2017. (Download, pdf, 0.6 MB)

Bosseler, B.: Qualitätssicherung und Abnahme von Kanalsanierungsmaßnahmen –, 30. Lindauer Seminar, 10. März 2017. (Download, pdf, 2.8 MB)

Bosseler, B.: Zur Frage der Nutzungsdauer von Kanälen und Leitungen. Abwasser im Gespräch, GELSENWASSER, 12/2016.(Download, pdf, 2.1 MB)

Bosseler, B.: Licht und Schatten beim IKT-Warentest „Schachtsanierung“, 14. Münchner Runde zur Kanalsanierung, Garching, 10/2016.(Download, pdf, 1.6 MB)

Bosseler, B.: Rohre vor Wurzeln schützen und Wurzeln vor Rohren – Empfehlungen nach DWA-FGSV 393 / DWA-M 162 / DVGW GW 125 im Kanal- und Leitungsbau, IKT-Forum „Niederschlagswasser, Vegetation & Infrastruktur 2016“, IKT 4/2016. Download (Paper pdf 0.4 MB, Slides pdf 3.5 MB)

Bosseler, B.: Anforderungen an private Leitungen im öffentlichen Grund –, 29. Lindauer Seminar, 10. März 2016. (Download, pdf, 0.4 MB)

Bosseler, B.; Thépot, O.: Nouveau robot MAC/IKT pour la diagnostic des collecteurs semi-visitables, CERIU – Conférence Infra 2015, Québec 30 Novembre 2015. (Download, pdf, 1.9 MB)

Bosseler, B.: Kanalsanierung im Grundwasserbereich – Erkenntnisse aus Forschung und Warentests, 13. Münchner Runde zur Kanalsanierung, 5. November 2015. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.: Unterirdische Infrastruktur ist das Rückgrat unserer Städte – Qualitativer Ausbau statt Rückbau, JRF-Veranstaltung „Dynamik oder Verfall? Zur Zukunft der urbanen Infrastrukturen in Nordrhein-Westfalen“, 29. Oktober 2015.

Bosseler, B.: Realizing Value by Trenchless Rehabilitation of Sewer Systems, International NO-DIG Istanbul 2015, 09/2015. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.; Brüggemann, T.: Mehr als Dichtheit – Anforderungen an die Grundstücksentwässerung, KA Korrespondenz Abwasser, 09/2015. (DWA Shop, pdf)

Bosseler, B.: Innovationen als Motor der Umweltentwicklung, DWA-Landestagung NRW 2015, 08/2015. (Download, pdf, 0.1 MB)Bosseler, B.; Thépot, O.: Nouveau robot MAC/IKT pour la diagnostic des collecteurs semi-visitables, CERIU – Conférence Infra 2015, Québec 30 Novembre 2015. (Download, pdf, 1.9 MB)

Bosseler, B.: Kanalsanierung im Grundwasserbereich – Erkenntnisse aus Forschung und Warentests, 13. Münchner Runde zur Kanalsanierung, 5. November 2015. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.: Unterirdische Infrastruktur ist das Rückgrat unserer Städte – Qualitativer Ausbau statt Rückbau, JRF-Veranstaltung “Dynamik oder Verfall? Zur Zukunft der urbanen Infrastrukturen in Nordrhein-Westfalen”, 29. Oktober 2015.

Bosseler, B.: Realizing Value by Trenchless Rehabilitation of Sewer Systems, International NO-DIG Istanbul 2015, 09/2015. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.; Brüggemann, T.: Mehr als Dichtheit – Anforderungen an die Grundstücksentwässerung, KA Korrespondenz Abwasser, 09/2015. (DWA Shop, pdf)

Bosseler, B.: Innovationen als Motor der Umweltentwicklung, DWA-Landestagung NRW 2015, 08/2015. (Download, pdf, 0.1 MB)

Bosseler, B.; Thépot, O.: Nouveau robot MAC/IKT pour la diagnostic des collecteurs semi-visitables, 11e Salon Ville Sans Tranchée, French NODIG LIVE, 2 Juin 2015, Chatou, France. (Download, pdf, 1.9 MB)

Bosseler, B.: High-speed electronic communications networks – Sharing and re-use of existing physical infrastructure -, IKT/IRWA Conference Session, Gelsenkirchen/San Diego, 17. Juni 2015. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.: Mehr als Dichtheit - Zustands- und Funktionsprüfung in der Grundstücksentwässerung, 6. Deutscher Tag der Grundstücksentwässerung / 16.06.2015, Köln. (Download, pdf, 0.4 MB)

Bosseler, B.: Wurzeleinwuchs in der Grundstücksentwässerung – Ursachen und Vermeidungsstrategien Merkblatt DWA-M 162, DWA-Seminar, Bau und Sanierung von Grundstücksentwässerungen außerhalb von Gebäuden, Köln, 23. April 2015. (Download, pdf, 3.3 MB)

Bosseler, B.: „to realize value“ – Echte Werte schaffen, Editorial, 3R, 04/05-2015. (Download, pdf, 0.5 MB)

Bosseler, B.; Busch, W.: Managing the crowded underground – a new certification targets a global audience, Right of Way Magazine, 03/04-2015. (Download, pdf, 5.3 MB)

Bosseler, B.: Technische Qualität in der Kanalsanierung – Was gibt Sicherheit ? –, 28. Lindauer Seminar, 6. März 2015. (Download, pdf, 3.6 MB)

Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.; Goerke, M.; Winter, H.: Wurzeleinwuchs in Leitungen und Kanäle – Fatale Begegnung im Untergrund, der gemeinderat 1/2015. (Download, pdf, 0.2 MB)

Bosseler, B.: Riolering en Asset Management, InfraTech 2015, Rotterdam, 22 Januari 2015. (Download, pdf, 4.7 MB)

Bosseler, B.: Wurzeleinwuchs in der Grundstücksentwässerung – Ursachen und Vermeidungsstrategien Merkblatt DWA-M 162, DWA GrundstücksentwässerungsTage, Fulda, 13. Januar 2015. (Download, pdf, 3.2 MB)

Bosseler, B.: Wurzeln und Leitungen – Konfliktpotenziale und Lösungen, DVGW Landesgruppe Nord, Meisterfahrungsaustausch 2014, Lübeck Travemünde, 2nd Dezember 2014. (Download, pdf, 7.3 MB)

Bosseler, B.: IKT Research and Testing – Trends and Challenges -, Seminar on CIPP testing for the UK Water and Sewerage Companies, Wessex Water, Bath, 26th November 2014. (Download, pdf, 4.8 MB)

Bosseler, B.: Asset Management – a new trend and challenge for water and wastewater infrastructure -, 10th EWA Brussels Conference 2014 „Water in the Cities“, 11/2014. (Download, pdf, 4.0 MB)

Bosseler, B.: Sustainable Asset Management of Sewer Infrastructure – a community within Netwerch2O ? -, NETWERC H2O Open Meeting, Barcelona, November 6th, 2014. (Download, pdf, 4.0 MB)

Bosseler, B.: Neue Inspektionsverfahren für Trinkwasserleitungen, iww-Symposium “Neue Inspektionsverfahren für Trinkwasserleitungen”, Darmstadt, 10/2014. (Download, pdf, 2.0 MB)

Bosseler, B.: Wurzeln und Leitungen – Konfliktpotenziale und Lösungen –, wat2014, 09/2014. (Download, pdf, 5.0 MB)

Bosseler, B.: Managing the crowded underground space, Right of Way 09-10/2014. (Download, pdf, 0.9 MB)

Bosseler, B.: Renovierung vs. Reparatur – Widerspruch oder Einklang?, IKT-Forum Praxistage Kanalsanierung und Kanalreparatur, IKT 9/2014. (Download, pdf, 2.7 MB)

Bosseler, B.: Kanalbetrieb – Aufgaben, Anforderungen und Perspektiven -, 2. Deutscher Tag der Kanalreinigung, IKT 7/2014. (Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.: Repair of main drains and sewers – Experience from research and testing, bluefacts 2014/2015. (Download, pdf, 0.4 MB)

Bosseler, B.: Wechselwirkungen im Rohr-Boden-System, 65. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium, 07. – 09. Mai 2014 im Bau-ABC Rostrup / Bad Zwischenahn. (Download, pdf, 0.2 MB)

Bosseler, B.; Goerke, M.: Soil and in-fill material requirements for the underground infrastructure, local land & soil news no.48/49 I/14 21. (Download, pdf, 0.5 MB)

Bosseler, B.: Integrale Sanierungsentscheidungen – gemeinsame Betrachtung der Straße und aller Leitungsträger -, Göttinger Abwassertage, 02/2014. (Download, pdf, 2.4 MB)

Bosseler, B.: Asset Management – Een nieuwe trend?, VLARIO Workshop Asset Management, Antwerpen, 02/2014. (Download, pdf, 5.0 MB)

Bosseler, B.: Freiraum für neue Trassen sichern, InfraTech2014, Essen, 01/2014. (Download, pdf, 0.7 MB)

Bosseler, B.: Managing Utilities in the Crowded Underground – Experience from Germany and Europe -, IRWA Education Conference, Charleston WV, 06/2013. (Download, pdf, 5.0 MB)

Bosseler, B.: „Infiltrationsdichtheit“ von Bauteilen und Werkstoffwechseln bei der Fremdwassersanierung, 1. Dt. Kanalnetzbewirtschaftungstag, 06/2013. (Download, pdf, 3.7 MB)

Bosseler, B.: Bauteilverbindungen und Werkstoffwechsel in der Kanalisation – Bedeutung, Anforderungen und Prüfung -, VSA Kanalisationsforum, WTC World Trade Center, Zürich, 05/2013. (Download, pdf, 2.7 MB)

Bosseler, B.: EIP – European Innovation Partnership on Water Action Group Proposal – Underground Space for Urban Water -, EWA EPC Meeting, Water Berlin, 25th April 2013.

Bosseler, B.: Renovatie van bestaande rioleringssystemen – noodzaak van kwalitatieve aanpak, Vlariodag, 03/2013. (Download, pdf, 2.7 MB)

Bosseler, B.: Verschleißschutz bei grabenlosen Verlegeverfahren – Notwendigkeit, Prüfung, Umsetzung, Geotechnisches Seminar, „Grabenloser Leitungsbau in der Energieversorgung“, AGFW, 02/2013. (Download, pdf, 3.5 MB)

Bosseler, B.: Neue Wege der öffentlichen technischen Infrastruktur, Göttinger Abwassertage, 02/2013. (Download, pdf, 0.2 MB)

Bosseler, B.: Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle – das neue DWA-Merkblatt M 162 -, FLL Fachtagung „Baumpflanzungen in der Stadt“, GBZ Münster-Wolbeck, 12/2012.

Bosseler, B.: Die DWA-Nachbarschaften im Bereich Grundstücksentwässerung: Zielsetzung, Erfahrungsbericht, Aussichten, DWA Kanalisationstage, 12/2012, Dotmund.

Bosseler, B.: Unterirdischer Raum – Nutzungen im Einklang, Unterirdische Infrastruktur, gwf-Reihe Praxiswissen, Band V, 11/2012, Oldenbourg Industrieverlag. (Download, pdf, 0.5 MB)

Bosseler, B.: Reparaturverfahren für Hauptkanäle; Deutscher Reparaturtag 2012, Mainz, 09/2012. (Download, pdf, 0.9 MB)

Bosseler, B., Beck, S.: Vom Schaden zur Sanierung – Bildreferenzkatalog und effiziente Sanierungstechniken für die Grundstücksentwässerung, 30. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, 09/2012. (Download, pdf, 0.2 MB)

Bosseler, B.: Reparaturverfahren für Hauptkanäle; Deutscher Reparaturtag 2012, Mainz, 09/2012. (Download, pdf, 0.9 MB)

Bosseler, B.: Large Sewers – construction, operation and maintenance – experience from research and testing; Trenchless Engineering 2012 Conference, Zawiercie, Poland, 06/2012. (Download, pdf, 2.3 MB)

Bosseler, B.: Erfassung und Bewertung von Schäden an Hausanschluss- und Grundleitungen – Typische Schadensbilder und –ursachen, Inspektionstechniken, Wechselwirkungen; 38. Aachener Bausachverständigentage, 04/2012. (Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.:Kanalsanierung im Wandel der Zeit und Wertvorstellungen; 12. Göttinger Abwassertage, 02/2012. (Download, pdf, < 0.1 MB) Bosseler, B.; Liebscher, M.; Gillar, M.: Sanierung von Abwasserschächten: Großversuche und Insitu-Untersuchungen; 6. Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung, Universität Siegen, 10/2011. (Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.: Bewertung von Kanalnetzen aus ingenieurtechnischer Sicht – Maßstäbe, Risiken und Optionen, 29. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, 09/2011. (Download, pdf, 2.6 MB)

Bosseler, B.: Konkretisierung der Kosteneffizienz beim Erhalt der Infrastruktur – Methodik, Beispiele, Vorgehen; DWA Landesverbandstagung NRW, 06/2011. (Download, pdf, 0.1 MB)

Bosseler, B.; Stützel, T.: Geeignete Baumstandorte für Kanäle und Leitungen; wat + Wasser Berlin International 2011, 05/2011. (Download, pdf, 1.2 MB)

Bosseler, B.; Harting, K.; Redmann, A.: Comparative Product Test “Tube Liners for Lateral Pipes”; 29th International NODIG, Berlin, 05/2011. (Download, pdf, 1.2 MB)

Bosseler, B.; Liebscher, M.; Bersuck, F.: Quality Assurance in Pipe Jacking; 29th International NODIG, Berlin, 05/2011. (Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.: Grundstücksentwässerung – Erfahrungen aus Forschung, Warentests und KomNetGEW; 24. Lindauer Seminar, Lindau, 03/2011. (N 39)

Bosseler, B.: New Requirements for Sewerage & Drainage Pipes facing Stormwater, Vegetation and ground water issues; Sewerage & Drainage Pipe 2011, AMI, Maritim Hotel, Düsseldorf, 02/2011. (Download, pdf, 5.8 MB)

Bosseler, B.: Wechselwirkungen Boden-Wasser-Bauwerk im unterirdischen Kanal- und Leitungsbau; Rohrbau 2010, Weimar, 11/2010. (Download, pdf, 0.3 MB)

Bosseler, B.; Winter, H.: Aktuelle Situation „Grundstücksentwässerung“ – Bedeutung, Trends und Entwicklungen; 5. Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung, Universität Siegen, 10/2010. (Download, pdf, 0.1 MB)

Bosseler, B.: Herausforderung Grundstücksentwässerung; IBAK Seminar Rund ums Rohr 2010, Kiel – Oslo, 06/2010.

Bosseler, B.; Stützel, T.: Bäume, Kanäle und Leitungen: Wechselwirkungen und Schutzmaßnahmen; 7. Kanalbautage, DWA, Celle, 05/2010.

Bosseler, B.: Kanalnetze: Von der Abwasserwärme zur Geothermie; Brokerage Event: Nutzung von Geothermie im Bereich unterirdischer städtischer Infrastrukturen, GCTP – German Construction Technology Platform, BASt, Bergisch Gladbach, 03/2010.

Bosseler, B.: Aktuelle Entwicklungen in der Kanalisationstechnik – Erfahrungen aus Forschung und Prüfung -; 23. Lindauer Seminar, Lindau, 03/2010.

Bosseler, B.: Neue Anforderungen an die Kanalsanierung; 10. Göttinger Abwassertage, TAH-Technische Akademie Hannover, 02/2010.

Bosseler, B.: Quality Control of Pipe Jacking; Promoting Trenchless Technology in the Middle East, Flemming Gulf – ITA-AITES – IKT, Abu Dhabi, 11/2009.

Bosseler, B.: Einbeziehung der Grundstücksentwässerung in die Sanierungsplanung; 8. Sanierungstage, DWA, Dortmund, 11/2009.

Bosseler, B.: Neue Entwicklungen und Innovationen in der Kanalsanierung; Abwasser-Forum 2009 des Entsorgungsverbandes Saar, St. Ingbert, 11/2009.

Bosseler, B.: Innovationen in der Kanalsanierung – Anforderungen im Wandel; 7. Münchner Runde – Expertenforum Kanalsanierung, Garching, 10/2009.

Bosseler, B.; Harting, K.; Färber, D.: Vergleichsprüfungen als Instrument der Qualitätssicherung – Konzept und Beispiele des IKT-Warentests; 4. Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung, Universität Siegen, 09/2009. (Download, pdf, 0.5 MB)

Bosseler, B.: IKT Comparative Product Tests as a basis for asset management investment decisions; International Council for Research and Innovation in Building and Construction: CIB W062 35th International Symposium Water Supply and Drainage for Buildings, Düsseldorf, 09/2009. (Download, pdf, 1.0 MB)

Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.; Liebscher, M.: Bettungs- und Verfüllmaterialien – Perspektiven im Kanal- und Leitungsbau; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 08/2009. (Download, pdf, 1.0 MB)

Bosseler, B.: Integration der Grundstücksentwässerung in die Generalentwässerungsplanung; Seminar Generalentwässerungsplanung, Technische Akademie Hannover e.V., 06/2009.

Bosseler, B.: Herausforderungen für Schlauchliner-Systeme – aktuelle Entwicklungen und Trends; 7. Deutscher Schlauchlinertag, Pforzheim, 04/2009.

Bosseler, B.; Günthert, F.W.; Londong, J.: Weiterbenutzung, Umnutzung oder Rückbau von Abwasseranlagen; Wasser Berlin 2009: 2. Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft „Demografischer Wandel - Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Deutschland“, 03/2009.

Bosseler, B.: Herausforderungen in der Kanalisationstechnik -Aktuelle Entwicklungen und Trends in Wissenschaft und Forschung; 23. Oldenburger Rohrleitungsforum, Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, 02/2009. (N 37)

Bosseler, B.: Herausforderungen in der Kanalsanierung -Aktuelle Entwicklungen und Trends; 83. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, Universität Stuttgart, 10/2008.

Bosseler, B.; Redmann, A.; Sokoll, O.: Bewertung des Rohr-Boden-Systems – Möglichkeiten und Perspektiven in der Kanalinspektion; TIEFBAU, 02/2008.

Bosseler, B.; Falter, F.; Holthoff, F., Liebscher, M.: Numerische Simulation und 1:1-Versuche zum Rohrvortrieb; 22. Oldenburger Rohrleitungsforum, Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, 02/2008. (N 36)

Bosseler, B.; Falter, B.: Simulation of Pipe-Jacking: Computer Models and 1:1 Scale Tests; Enlightened Underground, Amsterdam 01/2008.

Bosseler, B. et al: IKT-Forschungsschwerpunkt Rohrvortrieb. Sequence of 6 articles, bi UmweltBau, 06/2007, 01/2008, 02/2008, 03/2008, 04/2008, 06/2008. (N 35)

Bosseler, B.: Technische und ökonomische Vorteile bei einer gemeinsamen Sanierung von öffentlichen Abwasserkanälen und privaten Grundstücksentwässerungsleitungen; Rehatec- WI 2007, Duisburg, 10/2007. (N 34)

Bosseler, B.; Falter, B.: Simulation of pipe jacking processes -Computer models and 1:1 scale tests; Mediterranean Nodig 2007, Rome, 09/2007. (N 33)

Bosseler, B.; Redmann, A.: Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems; 2. Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung, Universität Siegen, 09/2007. (N 32)

Bosseler, B.; Liebscher, M., Redmann, A.: Symulacja procesu przeciskania rur –Modele komputerowe i testy w skali 1:1; Inzynieria Bezwykopowa lipiec –wrzesien 2007.

Bosseler, B.; Harting, K.: Reinigung von Abwasserdruckleitungen – Verfahren in Tests und Praxiseinsätzen; bi-Umweltbau, 04/2007.

Bosseler, B.: Verformungen von Abwasserkanälen aus Kunststoff; 7. Göttinger Abwassertage, TAH-Technische Akademie Hannover, 02/2007.

Bosseler, B.; Kaltenhäuser, K.: Comparative Product Tests as a basis for investment decisions in asset management, accepted for IWA Leading Edge Asset Management, Lissabon 10/2007. (N 31)

Bosseler, B.; Liebscher, M.; Redmann, A.: Simulation of Pipe Jacking; Nodig India 2007, Indian Society for Trenchless Technology, New Delhi, 03/2007. (N 30)

Bosseler, B.; Liebscher, M.; Redmann, A.: Simulation von Rohrvortrieben im Maßstab 1:1; 3R international, 12/2006. (N 29)

Bosseler, B.: Verfahren zur Sanierung von Hausanschlüssen; 24. Workshop Siedlungswasserwirtschaft – Betrieb und Überwachung von Kanalnetz und Kläranlage, Ruhr-Universität Bochum, 09/2006. (N 28)

Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Anschlusskanäle und Grundleitungen – Schäden, Inspektion, Sanierung; 3R international, 8/2006. (N 27)

Bosseler, B.; Liebscher, M.: New testing techniques for quality assurance of jacking pipes; 23rd International NODIG, Rotterdam, 09/2005. (N 26)

Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Testing Top hat liners and robotic Systems for repair of lateral connections; 23rd International NODIG, Rotterdam, 09/2005. (N 25)

Bosseler, B.: Technische Anforderungen an die Kanalsanierung: Vom Bauteil-zum System- denken; DWA Bundestagung, Potsdam, 09/2005. (N 24)

Bosseler, B.: Großrohre in der Abwassertechnik: Qualitätssicherung und Perspektiven; 6. Kölner Kanal Kolloquium, Köln, 09/2005. (N 23)

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen Teil 1 bis Teil 3; 3R international, 04/2005, 10/2005, 12/2005. (N 22)

Bosseler, B.; Birkner, T.; Rometsch, L.: Umsetzung der SüwV Kan bei den kommunalen Netzbetreibern in NRW; GWF Wasser Abwasser, 12/2004. (N 21)

Bosseler, B.; Stützel, T.; Bennerscheidt, C.: Root Penetration in Sewers: Causes, Tests, and Prevention; 22nd International NODIG, Hamburg, 11/2004. (N 20)

Bosseler, B.; Redmann, A.: Steel-reinforced concrete pipes using open-coverage method – pipe tests under near-realistic stresses; 4th CPI/BWI-Kongress 2004, Bonn, CPI Concrete

Plant International / BWI-Betonwerk international, 10/2004. (N 19)

Bosseler, B.; Redmann, A.: Stahlbetonrohre in offener Bauweise -Rohrprüfungen unter realitätsnahen Beanspruchungen; 3R international, 09/2004. (N 18)

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Qualitätseinflüsse und Bewertung von Sanierungsverfahren; 5. Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, Köln, 06/2004. (N 17)

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Leitungserneuerung mit dem Berstverfahren; bbr, 06/2004. (N 16)

Bosseler, B.; Puhl, R.: Koordinierung der Prüfung und Sanierung von privaten Entwässerungsleitungen -ein Erfahrungsbericht; TIS Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, 06/2004.

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Qualitätseinflüsse bei Schlauchlinern; bbr, 05/2004. (N 15)

Bosseler, B.: Dichtheitsprüfung von Grundstücksentwässerungsanlagen – am Beispiel des „Göttinger Kanalwurms“ -; 17. Lindauer Seminar, Lindau, 03/2004.

Bosseler, B.; Birkner, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwVKan) in NRW; 37. Essener Tagung für Wasser-und Abfallwirtschaft, Essen, 03/2004.

Bosseler, B.; Puhl, R.; Birkner, T.: Reducing extraneous water: detection and condition assessment of leaking private sewers, European Water Association , Pollutec, Paris, 12/2003. (N 14)

Bosseler, B.; Puhl, R.; Birkner, T.: Ermittlung und Erfassung von Undichtigkeiten und Fremdwasserzuflüssen aus Netzen der Grundstücksentwässerung; KA Abwasser Abfall, 10/2003. (N 13)

Bosseler, B.; Puhl, R.: Dichtheitsprüfungen von Hausanschluss-und Grundleitungen, umweltpraxis, 04/2003.

Bosseler, B.; Puhl, R.: Dichtheitsprüfung und Zustandserfassung von Hausanschluss-und Grundleitungen; 36. Essener Tagung für Wasser-und Abfallwirtschaft, Aachen, 03/2003. (N 12)

Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: IKT-Warentest: Beispiel „Hausanschlussstutzen“; 17. Oldenburger Rohrleitungsforum, Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, 02/2003. (N 11)

Bosseler, B.; Puhl, R.: Inspektion und Zustandserfassung von Hausanschluss-und Grundleitungen, 3R international, 01/2003. (N 10)

Bosseler, B.; Puhl, R.: Methods for detection and condition assessment of domestic sewer systems; Workshop DFG research group „Sewer Defect Characterization by Multi-sensor Systems (SAM)“, Karlsruhe, 11/2002.

Bosseler, B.; Birkner, T.: Sewer TV Inspection – a tool to gain more detailed information about sewer infiltration flow from private house connections; 12th European Water Symposium -Europäisches Wasser-, Abwasser-und Abfall-Symposium, IFAT 2002, München, 05/2002. (N 9)

Bosseler, B; Schlüter, M.: Durability of liners, influences, effects and trends; 20th International NODIG, Copenhagen, 05/2002. (/N 8/)

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Lebensdauer von Schlauchlinern, Einflussfaktoren und Tendenzen; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 04/2002. (N 7)

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Lebensdauer von Schlauchlinern, Einflussfaktoren und Tendenzen; 16. Oldenburger Rohrleitungsforum, Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, 02/2002.

Bosseler, B.; Schlüter, M.: Adaptive Cleaning of Sewers; IWA World Water Congress, International Water Association, Berlin, 10/2001.

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Jacking of Rectangular Reinforced Concrete Pipes; IWA World Water Congress, International Water Association, Berlin 2001, 10/2001.

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Jacking of Rectangular Reinforced Concrete Pipes; 19th International NODIG, Prag, 09/2001. (N 6)

Bosseler, B., Redmann, A.: Innovative Methods for Sewer Inspection; 19th International NODIG, Prag, 09/2001.

Bosseler, B., Strauch, J.; Birkner, T.: Erfahrungen mit der Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwVKan) in NRW; Entwicklungen in der Kanalisationstechnik, Köln, 09/2001.

Bosseler, B.; Bennerscheidt, Ch.; Stachowiak, U.: Wurzeleinwuchs in Hausanschlussleitungen – Auswirkungen und Sanierung; GWF Wasser-Abwasser 142 (2001) Nr. 14. (N 5)

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 09/2001. (N 4)

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt; TIS Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, 08/2001.

Bosseler, B.; Liebscher, M.: Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt; bi-Umweltbau, 04/2001.

Bosseler, B.; Körber, S.; Wiese, D.; Teichgräber, B.; Obenaus, F.: Erfahrungen mit betrieblichen Managementsystemen für wasserwirtschaftliche Anlagen bei Emschergenossenschaft und Lippeverband; 34. Essener Tagung für Wasser-und Abfallwirtschaft, Aachen, 03/2001. (N 3)

Bosseler, B.; Stein, D.: Einfluß viskoelastischen Werkstoffverhaltens auf die Bewertung von Verformungen erdverlegter Kunststoffrohre -The effects of visco-elastic material behaviour on evaluation of deformations in buried plastic pipes; 3R international, 09/1998. (N 2)

Bosseler, B.; Stein, D.: Requirements for recording and analysing deflection measurements in buried flexible pipes; Trenchless Technology Research, Vol. 12, No. 5, 1998. (N 1)

Bosseler, B.; Stein, D.: Requirements for recording and analysing deflection measurements in buried flexible pipes; 15th International NODIG, Taipei, Taiwan, 11/1997.

Bosseler, B.: Darstellung, Analyse und Interpretation von Verformungsmeßdaten aus der Inneninspektion biegeweicher Abwasserleitungen; Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 05/1997. (Download, pdf, 1.3 MB)

_____

Winter, H.; Bosseler, B.: Qualität in der Kanalsanierung – Einflüsse und Entwicklungen; in: Wasser ist Leben. Abwasser auch. 30 Jahre VDRK, Verband der Rohr- und Kanal-Technik-Unternehmen e.V., 11/2019.

Liebscher, M.; Klameth, M.; Falter, B.; Bosseler, B.: Use of EPS Bedding Materials in Pipeline Installation, J. Pipeline Syst. Eng. Pract., 2019, 10(1): 04018037. (Download, pdf, 1.6 MB), DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000363

Bedjou, A.; Boudoukha, A.; Bosseler, B.: Assessment of wastewater asset management effectiveness in the case of rare data and low investments; International Journal of Environmental Science and Technology; 9/2018; https://doi.org/10.1007/s13762-018-2005-3

Brandt, S.; Bosseler, B.; Brüggemann, T.: Auswirkungen von Kanalabdichtungen (Teil 6); wwt, 11-12/2016.

Winter, H.; Bosseler, B.: Qualität in der Kanalsanierung – Einflüsse und Entwicklungen; bbr, 09/2016. (Download, pdf, 3.5 MB)

Ulutas, S.; Bosseler, B.; Waniek, R.W.; Winter, H.: Dichter Schacht dank Schicht im Schacht; THIS, 04-05/2016.

Ulutas, S.; Bosseler, B.; Waniek, R.W.; Winter, H.: Ergebnisse des IKT-Warentests „Schachtsanierung“; 3R, 04-05/2016.

Ulutas, S.; Bosseler, B.; Waniek, R.W.; Winter, H.: IKT-Warentest „Schachtsanierung“; bi-Umweltbau, 02/2016.

Kamarianakis, S.; Bosseler, B.: Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen – Ergebnisse aus Forschung und Praxis (Teil 1 und Teil 2, bbr 06-07-2015.

Kamarianakis, S.; Bosseler, B.: Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen – Ergebnisse aus Forschung und Praxis, 3R 07-08/2015.

Ulutas, S.; Bosseler, B., Waniek, R.W.: Stutzensanierung: Große Qualitätsunterschiede im IKT-Warentest, 3R 04-05/2015.

Ulutas, S.; Bosseler, B., Waniek, R.W.: Große Qualitätsunterschiede im IKT-Warentest „Stutzensanierung“, bi umweltbau 1/2015. (bi umweltbau.

Thépot, O.; Bosseler, B.: New Method for Structural Inspection and Assessment of Large Sewers – Experience from France and Germany -, Standpunkte zur Sanierung von Großprofilen – Probleme und Lösungen, 11/2012, Düsseldorf. (Download, pdf, 2.1 MB)

Lange, R.-L.; Wichern, M.; Ulutas, S.; Bosseler, B.: Untersuchung der Ablagerungsdynamik in der Mischwasserkanalisation, 30. Bochumer Workshop Siedlungswasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, 09/2012.

Sokoll, K.; Bosseler, B.: Inspektion von Druckleitungen und Dükern; 3R, 3-4/2012.

Beck, S.; Schlüter, M.; Bosseler, B.: Konzeption zur Bürgerinformation und -einbindung zu §61a LWG NRW; Korrespondenz Abwasser, 02/2012.

Färber, D.; Bosseler, B.: Fremdwassersanierung in der Kanalisation: hohe Anforderungen an Werkstoffwechsel und Übergänge; bbr, 09/2011.

Liebscher, M.; Gillar, M.; Bosseler, B.: Sanierung von Abwasserschächten – Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung, vierteilige Artikelserie; Korrespondenz Abwasser, 08/2011, 09/2011, 11/2011, 12/2011.

Bennerscheidt, C.; Bosseler, B.; Busch, W. L.; Stift, M. T.; Stützel, T.: Root of the problem –

When trees invade pipelines in the right of way; IRWA, Right of Way, 05-06/2011. (IWRA-Journal)

Treunert, E.; Bosseler, B.: Wasserhaushaltsgesetz und Kanalisation – Fakten und Handlungsspielräume; bi-Umweltbau, 07/2010. (Download, pdf, 16 kB)

Geretshauser, G; Raasch, U.; Bosseler, B.; Schlüter, M.: Integrale Wasserwirtschaft beginnt auf dem Grundstück; wwt, 04/2010.

Redmann, A.; Bosseler, B.: IKT-Warentest “Hausanschluss-Liner” – Ergebnisse und Hintergründe, The IKT „biulding-connection liner“ product test – Results and correlations; 3R international, 04/2010.

Lange, R.-L.; Orth, H.; Bosseler, B.; Schlüter, M.; Wichern, M.: Einfluss der Kanalreinigung auf Spülstoßfrachten in Mischwassersystemen; GWF Wasser-Abwasser 151 (2010) Nr. 1.

Bennerscheidt, C.; Bosseler, B.: Lokale Extremwetterereignisse und die zunehmende Bedeutung der Regenwassernutzung für das städtische Grün (Local weather extremes and the increasing significance of rain water usage for urban green spaces). In: Jahrbuch der Baumpflege – Yearbook of Arboriculture 2010, Dirk Dujesiefken (Hrsg.); Haymarket Media GmbH & Co. KG, Braunschweig, 2010.

Harting, K.; Bosseler, B.: Reparaturverfahren für Hauptkanäle – Testergebnisse und Qualitätseinflüsse; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 12/2009.

Harting, K.; Bosseler, B.: Reparaturverfahren für Hauptkanäle – Ergebnisse des IKT-Warentests; 10. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium, Köln, 09/2009.

Diburg, B.; Bosseler, B.; Glombitza, U.: Temperaturmessung bei Kanalsanierungen unter Einsatz von Schlauchlinerverfahren; 7. Dt. Schlauchlinertag, Pforzheim, bi-Umweltbau, Kongress- Sonderausgabe 04/2009.

Streckenbach, M.; Stützel, T.; Bosseler, B.: Schäden durch Wurzeln von Gehölzen; 19. Österreichische Baumpflegetagung, Österreichische Gartenbau Gesellschaft, 11/2008. (Download, pdf, 4.6 MB)

Falter, B.; Wolters, M.; Bosseler, B.; Diburg; B.; Liebscher, M.: Belastungen und Beanspruchungen flach überdeckter Kanäle und Leitungen, 9. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, Band 12, 10/2008.

Stützel, T.; Streckenbach, M.; Bosseler, B.: Ursachen des Wurzeleinwuchses in Kanälen; In:

Aktuelle Fragen der Baumpflege und Stadtböden als Substrat für ein Baumleben : Tagungsband zu den Dresdner StadtBaumtagen / Forstwissenschaftliche Kolloquien, Tharandt und Dresden am 12./13.3.2008 / Roloff, A., Thiel, D. & Weiß, H. (Hrsg.). -Tharandt : Selbstverl. der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden, 03/2008.

Puhl, R.; Bosseler, B.: Beschichtungsverfahren in Schächten; wwt, 02/2008.

Puhl, R.; Bosseler, B.: Beschichtungsverfahren in Abwasserschächten; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 08/2007.

Harting, K.; Bosseler, B.: Reinigung von Abwasserdruckleitungen – Verfahrenstests und Praxiseinsätze; 3R International, 07/2007.

Sokoll, O.; Hengstler, A.; Bosseler, B.: Inspektion teilgefüllter Kanäle – Pilotstudie; 3R International, 07/2007.

Nichler, T.; Bosseler, B., Scholemann, H.: Wasserstandsmessungen an Regenbecken und

Stauraumkanälen – Auswertung von Einstau-und Entlastungsereignissen zur Fremdwasseranalyse; Korrespondenz Abwasser, 05/2007.

Stützel, T.; Bosseler, B.: Ursachen für Wurzeleinwuchs in Kanälen, Osnabrücker Baumpflegetage, 09/2005.

Birkner, T.; Bosseler, B.: Flow measurement -An instrument for monitoring wastewater treatment plants and the maintenance of environmetally relevant requirements; 13th European Water Symposium -Europäisches Wasser-, Abwasser-und Abfall-Symposium, IFAT 2005, München, 04/2005.

Kaltenhäuser, G., Bosseler, B.: Sanierung von Hausanschlüssen und –stutzen – Erfahrungen aus aktuellen IKT-Warentests; 19. Oldenburger Rohrleitungsforum, Schriftenreihe des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, 02/2005.

Kaltenhäuser, G., Bosseler, B.: Reparaturverfahren für Anschlussstutzen -Ergebnisse eines vergleichenden Warentests; gwa – Gas/Wasser/Abwasser, 10/2004.

Puhl, R.; Bosseler, B.: Neue Inspektionstechniken für Grundstücksleitungen; 5. Tagung Entwicklungen in der Kanalisationstechnik, Köln, 06/2004.

Bosseler, B.: Ursachen des Wurzeleinwuchses in Kanälen; 21. Workshop Siedlungswasserwirtschaft – Siedlungswasserwirtschaft im gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Wandel, Ruhr-Universität Bochum, 09/2003.

Birkner, T.; Bosseler, B.: Durchflussmengenmessungen in der Abwassertechnik; 3R international, 08/2003.

Birkner, T.; Bosseler, B.: Durchflussmengenmessungen – Anforderungen, Möglichkeiten und praktische Anwendung; ATV–DVWK Landesverbandstagung NRW, 06/2003.

Schlüter, M.; Bosseler, B.: Hausanschlüsse sanieren; wwt awt -wasserwirtschaft wassertechnik abwassertechnik, 06/2003.

Grohs, B.-M.; Bosseler, B.; Tuschewitzki, G.: Einsatz biologischer Präparate in Fettabscheidern; KA Abwasser Abfall, 05/2003.

Strauch, J.; Birkner, T.; Bosseler, B.: Selbstüberwachung der Kanalisationen in NRW; 36. Essener Tagung für Wasser-und Abfallwirtschaft, Aachen, 03/2003.

Grohs, M.; Bosseler, B.; Tuschewitzki, G.-J.; Redmann, A.: Potentielle Infektionsgefahr durch den Austrag von Krankheitserregern aus Einsteigschächten von Kanalisationen durch Aerosole; Hygiene und Mikrobiologie, 03/2003.

Stützel, T; Bosseler, B.: Kanal voll: Wenn Bäume in Rohren Wurzeln schlagen; Rubin, Wissenschaftsmagazin der Ruhr-Universität Bochum, 13.Jahrgang, 01/2003.

Birkner, T.; Bosseler, B.: Praxisbeispiele zum Umgang mit Fremdwasser; 77. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, Universität Stuttgart, 10/2002.

Liebscher, M.; Bosseler, B.: Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt, bbr Wasser, Kanal-& Rohrleitungsbau, 07/2002.

Schlüter, M.; Türk, R.; Bosseler, B.: Hausanschlusssanierung – Refurbishing of domestic service connections; 3R international, 05/2002.

Birkner, T.; Bosseler, B.: Stand der Durchflussmessung an Regenentlastungsbauwerken; abwasserreport, Abwasserberatung NRW, 02/2002.

Teichgräber, B.; Körber, S.; Obenaus, F.; Bosseler, B.; Wiese, D.: Operations Management System for Water Management Plants; IWA World Water Congress, International Water Association, Melbourne, 04/2002.

Bennerscheidt, C.; Bosseler, B.: Wurzeleinwuchs in Hausanschlussleitungen – Auswirkungen und Sanierung; abwasserreport, Abwasserberatung NRW, 01/2002.

Stein, D.; Bosseler, B.: Beurteilung von Verformungsmessungen an Abwasserkanälen aus biegeweichen Rohren; Korrespondenz Abwasser, 07/1998.

IKT-Warentests

Berichte frei zum Download:

unter www.ikt.de => Downloads => Warentest-Berichte

eNewsletter / blog

s. www.ikt.de => Kanal-Blog

IKT Journals: IKT-Ergebnisse / IKT Research and Testing

Frei zum Download:

unter www.ikt.de => Downloads => Publikationen

at www.ikt-online.org => Downloads => Publications