

Zusammenfassung

Die Sanierung und Erneuerung (Rehabilitation) von Anlagen der Technischen Ver- und Entsorgung wird zur Aufgabe des städtischen Rohrleitungs- und Tiefbaus im 21. Jahrhundert. Viele Rohrnetze der Wasser- und Gasversorgung weisen aufgrund ihres Alters und unzureichenden Korrosionsschutzes hohe Schadensraten auf und werden zu einem Sicherheitsrisiko und zu einem Schwachpunkt der städtischen Infrastruktur. Gleichfalls besitzt eine Vielzahl von Rohrleitungen und Bauwerken der Abwasserentsorgung einen erheblichen Schädigungsgrad mit entsprechenden Folgen für die Funktionssicherheit der Entwässerungsnetze selbst sowie Folgen für die Umwelt. Es empfiehlt sich deshalb aus diesen und weiteren Gründen die Darstellung der Probleme und entsprechender Lösungsansätze unter einem einheitlichen Konzept »Sanierung und Erneuerung (Rehabilitation) von Ver- und Entsorgungsnetzen«.

Die Reihe des Weiterbildenden Studiums »Wasser und Umwelt« führt ausgewählte Fachinhalte aus den Bereichen Hydraulik und Wasserbau, Abfallwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft mit den Teilbereichen Abwasser und Wasserversorgung.

Leseprobe

Rehabilitation von Rohrleitungen
Weiterbildendes Studium »Wasser und Umwelt«
Bauhaus-Universität Weimar

Rehabilitation von Rohrleitungen

Sanierung und Erneuerung von
Ver- und Entsorgungsnetzen

Rehabilitation von Rohrleitungen

Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen

Leseprobe

Leseprobe

Impressum:

Rehabilitation von Rohrleitungen
- Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen -

Herausgeber
Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystraße 7
99421 Weimar

2., überarbeitete Auflage
September 2008

Druck: docupoint Magdeburg GmbH

Bezugsmöglichkeiten: Universitätsverlag Weimar
Fax: 03643/581156
E-Mail: verlag@uni-weimar.de

Redaktion und Layout: Satzservice S. Matthies · www.doctype-satz.de

ISBN: 978-3-86068-224-1

Autorenverzeichnis

Kapitel 1 – Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dr.-Ing. H.-C. Sorge, Dr.-Ing. W. Berger, Dr.-Ing. D. Mälzer

Kapitel 2 – Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

Kapitel 3 – Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrnetzen

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Chem.-Ing. J. Ahrens, Dr. rer. nat. S. Rödiger, Dr.-Ing. H.-C. Sorge

Kapitel 4 – Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dipl.-Ing. R. Weigt, Dipl.-Volkswirt H. Zech, Dipl.-Ing. A. Hüttemann

Kapitel 5 – Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen

Dipl.-Ing. B. Diburg, Dr.-Ing. B. Bosseler

Leseprobe

entwickelt im Zuge des
Weiterbildenden Studiums Wasser und Umwelt der
Bauhaus-Universität Weimar

Leseprobe

Vorwort des Herausgebers

Die Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“ bietet ein Fernstudium mit den Schwerpunkten Wasserbau und Hydraulik, Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft an. Das vorliegende Buch enthält den Stoff eines Kurses aus diesem Studium in Schriftform. Es ist der zweite Band einer Serie, die jedes Semester um eine Neuerscheinung aus der aktuellen Reihe der Fernstudienkurse erweitert werden soll. Nun gibt es wirklich genug veröffentlichte Studienskripte. Was war unser Beweggrund, hier noch eine weitere Neuerscheinung vorzustellen?

Dazu möchte ich Ihnen unser Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“ in Weimar vorstellen, das aus einer engen Zusammenarbeit mit der Universität Hannover und den Verbänden ATV-DVWK und DVGW entstand. Es bot zunächst nur Fernstudiengänge im Zertifikatstudium an, wurde aber dann zum Masterstudiengang weiterentwickelt. Die Studieninhalte werden in Kursform angeboten, wobei insgesamt mehr als 25 Kurse zur Auswahl stehen. Einer dieser Kurse umfasst die nachfolgend behandelte „Rehabilitation von Rohrleitungen“.

Dieses Buch wie auch das Studium richtet sich an Hochschulabsolventen/innen, die im Bereich Wasser und Umwelt als Fachkräfte bei Behörden, Unternehmen, Verbänden, Ingenieurbüros, Instituten und anderen Einrichtungen tätig sind oder zukünftig tätig werden. Die Kursteilnehmer des Fernstudiums erhalten über die Schriftform hinaus, die in etwa den Inhalt dieses Buches entspricht, eine fortlaufende Betreuung in Form von Aufgaben, die zu einer abschließenden Prüfung führt. Außerdem sind die Herausforderungen beim Schutz der Umwelt und bei der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser so groß, dass die Lehrinhalte ständig angepasst werden müssen. Hier sehen wir die Chance, diese neuen Inhalte auch als Diskussionspunkte in die Öffentlichkeit zu stellen und allen zugänglich zu machen. Wo es um wichtige Umweltfragen geht wie bei der Sanierung und Erneuerung von Rohrleitungen der Technischen Versorgung, wo manchmal sofortiger Handlungsbedarf bei sicherheitsrelevanten Fragen besteht – ich denke da an die vielen Rohrleitungen der Gas- und Wasserversorgung, die aufgrund ihres Alters und unzureichendem Korrosionsschutz bereits

jetzt hohe Schadensraten aufweisen, sollten stets die neuesten Erkenntnisse hinzugezogen und für die praktische Umsetzung verwendet werden können, so wie wir uns auch bemühen, die aktuellen Ergebnisse aus der Praxis in unsere Sammlung und Auswertung mit einzubeziehen.

Ich danke allen, die an der Bearbeitung der vorliegenden, stark überarbeiteten Ausgabe mitgewirkt haben recht herzlich. Dieser Dank gilt vor allem dem Kursleiter und Autor Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher für die Zusammenstellung, Orientierung und umfassende Darstellung des Wissensgebietes, den Autoren Dr.-Ing. H.-C. Sorge, Chem.-Ing. J. Ahrens, Dr.-Ing. W. Berger, Dr.-Ing. D. Mälzer, Dr.-Ing. B. Bosseler, Dipl.-Ing. B. Diburg und Dipl.-Ing. A. Hüttmann. Darüber hinaus danke ich meinem Teamchef Dr.-Ing. H.-W. Frenzel für die Verwaltung und Organisation der Kurse, aber auch den vielen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Wasser und Umwelt“ der Bauhaus-Universität Weimar sowie Herrn Manies (verantwortlich für Satz und Layout), die die Herausgabe des Kurses in Buchform erst ermöglicht haben und den Kursteilnehmern für ihr Interesse und ihre Rückmeldung.

Ein spezieller Dank gilt dem Thüringer Kultusministerium, das im Rahmen einer mehrjährigen Projektförderung die Bearbeitung und Herausgabe dieser zweiten Auflage erst ermöglichte.

Möge die Fortsetzung dieser Reihe im Wissensgebiet „Wasser und Umwelt“ in der Fachwelt eine freundliche Aufnahme finden und der Aufgabe dienen, unsere Umwelt und die Ressource Wasser einer fachgerechten und nachhaltigen Nutzung zuzuführen.

Weimar, im August 2008

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Hack

Leiter der AG Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“

Bauhaus-Universität Weimar

Vorwort des Autors

Die Rehabilitation der rohrleitungsgebundenen Systeme der Wasser- und Gasversorgung sowie der Abwassernetze, Schächte und Sonderbauwerke erfordert für die Durchführung den Eingriff in den unterirdischen Bauraum und die Straßenkonstruktionen. Die Öffnung und Wiederherstellung der Straßenkonstruktion sollte möglichst ohne Folgeschäden erfolgen. Das begründet auch die notwendige komplexe Betrachtungsweise.

Der Verfasser behandelt im einführenden Kapitel *Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums* die historische Entwicklung der Gas- und Wasserversorgung sowie der Abwasserableitung und weiterer Bereiche der technischen Infrastruktur sowie die Wechselbeziehungen mit der Stadt und den Stadtstraßen.

Nachfolgend werden die *Begriffsbestimmungen der Rehabilitation* erläutert.

Das zentrale Kapitel stellt die Verfahren der *Rehabilitation von Wasserrohrnetzen* vor. Die Sanierung und Erneuerung erfordert umfangreiche Kenntnisse der Rohrmaterialien und ihrer Herstellung über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren. Dabei wird sichtbar, dass eine Vielzahl von Spezifika die Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Rohrleitungen beeinflusst. Da der Zustand der Rohrleitungen entscheidend für das einzusetzende Rehabilitationsverfahren ist, werden Methoden der Zustandsbestimmung in zahlreichen Beispielen vorgestellt.

Das Kapitel *Rehabilitation von Gasrohrnetzen* behandelt die Fragen des Korrosionsschutzes und der Undichtigkeiten von alten Graugussleitungen infolge der Verwendung des „trockenen“ Erdgases anstelle des „nassen“ Stadtgases.

Beschädigte, mangelhafte und hydraulisch überlastete Abwasserleitungen und -kanäle stellen potenzielle Gefahrenquellen bezüglich Überflutungen, Einstürzen sowie Verunreinigungen von Grundwasser, Boden und Gewässer dar. Die Verfahren zur Beseitigung dieser Gefahrenquellen wird im Kapitel *Sanierung von Abwasserableitungen und Bauwerken* behandelt.

Das vorliegende Buch entstand auf der Grundlage der Forschungstätigkeit des Verfassers, des Fachbuches „Sanierung städtischer Wasserversorgungsnetze“ von Roscher u. a., Veröffentlichungen des Rohrleitungsbauverbandes und des Rohrsanierungsverbandes sowie von Fachliteratur auf dem Gebiet der Rehabilitation von Wasser-, Gas- und Abwasserrohrleitungen und -kanälen sowie unter Einbeziehung von Tagungsberichten zu diesem Thema.

Namhafte Firmen auf dem Gebiet der Rohrherstellung und der Rehabilitation tragen mit ihrem Material zur Veranschaulichung der Themen und technischen Lösungen bei:

Buderus Wetzlar, Saint-Gobain (Saarbrücken, Pont a Mousson)
Fuchs-Rohre Siegen
Mannesmann Rohrwerke
Fachgemeinschaft Gussrohre
Pro Aqua Stahlrohre
Kunststoffrohrverband
Cleanpipe GmbH Hamburg
Heckamp Rohrsanierung Bochum
Karl-Weiss-KG Berlin
Eisenwasser AG
Jonasson Castrop-Rauxel
Berliner Wasserbetriebe
Tractotechnik Lennestadt
Fa. Ludwig Pfeiffer Kassel/Leipzig
Preussag Rohrsanierung Berlin
Diringer und Scheidel Mannheim
Fa. Wähler Hamburg

Die Verfasser möchten deshalb an dieser Stelle den o.g. Firmen sowie der FH Erfurt, Fachbereich Bauingenieurwesen, herzlichen Dank für die Unterstützung sagen.

Weimar, im August 2004

Im Namen der Verfasser, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

Vorwort des Autors zur 2. Auflage

Seit fünf Jahren können Studenten des Weiterbildenden Studiums „Wasser und Umwelt“ ihre Kenntnisse im Kurs WW91 „Sanierung und Erneuerung von Rohrleitungen der Technischen Versorgung“ vertiefen und einen Zertifikatsabschluss bzw. den akademischen Abschluss „Master of Science“ erwerben.

Bauunternehmen sowie die Rohrhersteller haben in dieser Zeit Erfahrungen in der Rehabilitation mit bekannten und in der 1. Auflage beschriebenen Verfahren gesammelt, aber auch neue Verfahren, Maschinen sowie Rohrmaterialien für grabenlose Erneuerungsverfahren entwickelt. So wurden das Berliner Hilfsrohrverfahren in der Wasserversorgung und das Gewebeschlauchverfahren in der Gasversorgung weiter entwickelt. Außerdem kamen neue, für grabenlose Verfahren geeignete Rohrmaterialien hinzu.

Es war deshalb erforderlich, diese Erkenntnisse und Erfahrungen der Sanierung und Erneuerung in der 2. Auflage des Kurses WW 91 zu berücksichtigen. Zu nennen sind insbesondere folgende Aspekte:

- Rückläufiger Wasserverbrauch und zugleich geringerer Schmutzwasserabfluss infolge der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung erfordern die konzeptionelle Neugestaltung und Dimensionierung der Rohrnetze.
- Größere Regenwasserabflussmengen infolge der Flächenversiegelung haben den Einbau von Rückhaltebecken und von Kanalentstümmungsmöglichkeiten zur Folge.

- Wachsendes Umweltbewusstsein und eine höhere Sensibilität gegenüber Verkehrs-, Lärm- und Abgasbelastungen sowie weitere externe Faktoren sind bei der Rehabilitation sind zu beachten.
- Unzureichende Rehabilitation von Rohrnetzen, d.h. Rehabilitationsstau und damit Substanzverlust haben Folgen für Versorgungs- und Rohrleitungsbauunternehmen.
- Die Weiterentwicklung der Zustandsermittlung und die Prognose der Lebenserwartung des Alt-Rohrleitungsbestandes sind bei Entscheidungen über die Rehabilitation zu berücksichtigen, ersetzen jedoch nicht die intensive Mitwirkung des qualifizierten, mit dem Rohrnetz vertrauten Fachpersonals.

Neu bearbeitet wurde Kapitel 5 „Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen“, da die Sanierung von Straßennetzen und Hausanschlüssen zukünftig eine wichtige Rolle spielen werden.

Der Verfasser möchte sich bei den Mitautoren und den Mitarbeitern der Bauhaus-Universität des Weiterbildenden Studiums für die sehr gute Zusammenarbeit recht herzlich bedanken.

Weimar, im Juli 2008

Im Namen der Verfasser, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

Leseprobe

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis	I
Vorwort	III
1 Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums	1
1.1 Die technische Versorgung der Städte	1
1.1.1 Aufgaben der technischen Versorgungssysteme	1
1.1.2 Zur historischen Entwicklung der technischen Versorgung	3
1.1.2.1 Stadt und technische Versorgung	3
1.1.2.2 Wasserversorgung, Abwasserableitung und Gasversorgung	3
1.2 Stadtstraßen und Nutzung des unterirdischen Bauraums	6
1.2.1 Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum	6
1.2.2 Ausbildung des Straßenquerschnittes	7
1.2.3 Straßenbefestigung	8
1.2.4 Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen nach GW 125	9
1.2.5 Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich	11
1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugräben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen	15
1.2.6.1 Zur Entstehung von Folgeschäden	15
1.2.6.2 Vermeidung von Folgeschäden im Straßenrohgrab und an der Straßendecke	18
1.2.6.3 Wiederherstellung von Asphaltdecken	21
1.2.6.4 Wiederherstellung von Zementbetondecken	22
1.2.7 Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM)	25
1.2.7.1 Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien zur Vermeidung von Setzungen des Rohrgrabens	25
1.2.7.2 Selbstverdichtende Verfüllmaterialien	28
1.2.7.3 Besonderheiten der Rohrtragfähigkeitsberechnung bei Einsatz von SVM / Bodenmörtel	32
1.3 Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper	40
1.3.1 Lage und Tiefenlage sind entscheidend für die Rehabilitation	40
1.3.2 Einordnung der Leitungen im unterirdischen Bauraum – Entwicklungsetappen	40
1.3.3 Richtlinie für die Einordnung und Behandlung der Gas-, Wasser-, Kabel- und sonstigen Leitungen bei der Planung öffentlicher Straßen – DIN 1998 Ausgabe 10.31	44
1.A Zeittafeln zur historischen Entwicklung	46
2 Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)	53
2.1 Ziele der Rehabilitation	53
2.1.1 Rehabilitation als Daueraufgabe	53
2.1.2 Technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer	54
2.1.3 Ursachen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen	54
2.1.4 Ursachen von Schäden an Gasrohrnetzen	55
2.1.5 Ursachen von Schäden an Abwassernetzen	55
2.1.6 Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt	56
2.1.7 Grabenlose Rehabilitationsverfahren	56
2.2 Begriffsbestimmungen nach DIN 31051	57
2.3 Begriffsbestimmungen	60
2.3.1 Wasserversorgung	60
2.3.2 Gasversorgung	60
2.3.3 Abwasserleitung	61

3	Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrnetzen	63
3.1	Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften)	63
3.1.1	Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik	63
3.1.1.1	Holzrohrleitungen für die mittelalterliche Wasserversorgung	65
3.1.1.2	Gussrohre	67
3.1.1.3	Stahlrohre	70
3.1.1.4	Zementmörtel-Auskleidung von Guss- und Stahlrohren	71
3.1.1.5	Stahlbetonrohre	73
3.1.1.6	Asbestzementrohre	73
3.1.1.7	Kunststoffrohre	74
3.1.1.8	Einteilung der Rohrmaterialien nach Generationen	76
3.1.2	Zum Problem der Korrosion und der Alterung	79
3.1.2.1	Das Phänomen der Korrosion	79
3.1.2.2	Korrosion metallischer Rohrleitungen	79
3.1.2.3	Elektrochemisch bedingte Korrosion	80
3.1.2.4	Korrosionsschutz heute	80
3.1.2.5	Graphitierung bei Graugussleitungen	82
3.1.2.6	Korrosion bei Asbestzement- und Betonrohren	82
3.1.2.7	Zeitstandsfestigkeit und Versprödung von Kunststoffrohren aus PE und PVC	82
3.1.3	Rohrnetzbestand in Deutschland	83
3.2	Schäden und Schadensursachen, Schadenserfassung und Zustandsbewertung	85
3.2.1	Ziele und Kriterien der Schadenserfassung und Zustandsbewertung	85
3.2.2	Die zunehmende Beanspruchung der Rohrleitungen im Straßenraum	86
3.2.3	Wasserverlustmessungen zur Ermittlung von Rohrschäden	88
3.2.3.1	Wasserverluste in Trinkwassernetzen – ein Dauerproblem	88
3.2.3.2	Methoden der Wasserverlustermittlung	89
3.2.3.3	Spezifische reale Wasserverluste q_{VR}	91
3.2.3.4	Verfahren der Wasserverlustmessung	92
3.2.3.5	Ermittlung der Wasserverluste durch Zuflussmessung	92
3.2.3.6	Leckortungsmethoden	92
3.2.3.7	Wasserverluste durch Lochkorrosion bei Längs- und Querrissen	94
3.2.3.8	Moderne Gerätetechnik zur Verlustüberwachung	95
3.2.4	Schadenserfassung und Schadensstatistik	95
3.2.4.1	Ziele und Inhalt der Schadenserfassung	95
3.2.4.2	Schadensstatistik des DVGW	96
3.2.4.3	Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV	97
3.2.4.4	Schadensstatistik als Planungsgrundlage?	97
3.2.4.5	Schadensstatistische Auswertung	99
3.2.4.6	Ergebnisse schadensstatistischer Auswertungen	100
3.2.4.7	Programme zur Bewertung der Leitungsabschnitte	101
3.2.5	Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen	101
3.2.5.1	Vorbemerkungen	101
3.2.5.2	Schadenserkenntnis und Schadensentstehung	101
3.2.5.3	Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen	103
3.2.6	Materialtechnische Untersuchungen im Labor für metallische Rohrleitungen	105
3.3	Planung der Rehabilitation	115
3.3.1	Die strategische Langzeitplanung nach W 401 (Ausgabe 1997)	115
3.3.1.1	Strategische Langzeitplanung	115
3.3.1.2	Kriterien der Rehabilitation	115
3.3.1.3	Planung und Durchführung der Rehabilitation	115
3.3.2	Rehabilitationsplanung nach W 400-3	116
3.3.3	Optimale Rehabilitationsstrategie	118
3.3.3.1	Einführung	118
3.3.3.2	Ziele der Rehabilitation	119
3.3.3.3	Optimale Rehabilitationsstrategie nach Ahrens (OPTNET)	120
3.3.4	Flächenhafte Rehabilitation	120
3.3.4.1	Beispiele flächenhafter Rehabilitation	120
3.3.4.2	Vorteile der flächenhaften Rehabilitation – Untersuchungsergebnisse Erfurt	121
3.3.5	Effektivität von Instandhaltungsmaßnahmen	124
3.4	Rehabilitationsverfahren	125
3.4.1	Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren	125
3.4.2	Reparatur – sofortige Beseitigung von Rohrschäden	127

3.4.3	Vorbereitung der Rehabilitationsmaßnahmen	128
3.4.3.1	Bauablauf	128
3.4.3.2	Sicherung von Baustellen auf öffentlichen Grundstücken	128
3.4.3.3	Ersatzversorgung nach W 394	129
3.4.3.4	Rohrreinigung in Abhängigkeit vom Sanierungsverfahren	131
3.4.3.5	TV-Inspektion und vermessungstechnische Arbeiten	132
3.4.4	Zementmörtelauskleidung	132
3.4.4.1	2006 – 50 Jahre Zementmörtelauskleidung	132
3.4.4.2	Verfahrensbeschreibung	133
3.4.4.3	Zementmörtel und Schichtdicke	133
3.4.4.4	Arbeitsablauf der Sanierung	134
3.4.4.5	Inbetriebnahme	135
3.4.4.6	Verfahrenstechnische Gütesicherung	135
3.4.5	Gewebeschlauch-Relining-Verfahren	136
3.4.5.1	Gewebeschlauch-Relining-Verfahren mit Verklebung des Inliners	136
3.4.5.2	Gewebeschlauch-Relining-Verfahren ohne Verklebung des Inliners	137
3.4.6	Relining mit PE-Rohren	138
3.4.6.1	Verfahrensbeschreibung	138
3.4.6.2	Vorbereitung und Baustelleneinrichtung (für alle Verfahren)	139
3.4.6.3	Rohrreinigung und Inspektion	140
3.4.6.4	Rohreinzug	140
3.4.6.5	Ringraumverfüllung	140
3.4.6.6	Inbetriebnahme	141
3.4.6.7	Herstellen von Abzweigen und Anschlüssen	141
3.4.6.8	Dokumentation	141
3.4.7	Relining mit Stahl- und duktilen Gussrohren	141
3.4.7.1	Verfahrensbeschreibung	141
3.4.7.2	Vorbereitung und Baustelleneinrichtung	142
3.4.7.3	Rohrreinigung und Inspektion	142
3.4.7.4	Rohreinzug	143
3.4.7.5	Zugkräfte	143
3.4.7.6	Verfüllen des Ringraumes	143
3.4.7.7	Inbetriebnahme	144
3.4.7.8	Herstellen von Abzweigen und Anschlüssen	144
3.4.8	Press- und Ziehverfahren für Haupt- und Versorgungsleitungen	144
3.4.8.1	Press-/Ziehverfahren nach GvV 222 (für Gas- und Wasserrohrleitungen!)	144
3.4.8.2	Press-/Ziehverfahren – hydraulisch	146
3.4.9	Hilfsrohrverfahren	152
3.4.9.1	Verfahrensbeschreibung	152
3.4.9.2	Gütesicherung und Anforderungen	153
3.4.10	Berstliningverfahren	154
3.4.10.1	Vorbemerkungen zu den Berstliningverfahren	154
3.4.10.2	Statisches Berstlining mit Berstgestänge	154
3.4.11	Steuerbarer grabenloser Vortrieb für die Erneuerung oder dem Ersatz von Rohrleitungen	159
3.4.12	Herstellung von Hausanschlüssen	161
3.4.12.1	Anbohrarmaturen und Anbohrvorgang nach W 333	161
3.4.12.2	Press-/Ziehverfahren für Hausanschlüsse	161
3.A	Erarbeitung einer Rehabilitationsstrategie für Druckrohrleitungen	164
3.A.1	Einführung	164
3.A.2	Ziele der Rehabilitation	165
3.A.3	Übersicht der notwendigen Bearbeitungsschritte	166
3.A.4	Informationsbasis	166
3.A.4.1	Alterungsverhalten der Druckrohrnetze	166
3.A.4.2	Voraussetzungen bei der Entwicklung und Umsetzung von Rehabilitationsstrategien	168
3.A.4.2.1	Informationsbedarf zur Bewertung der Netze	169
3.A.4.2.2	Hydraulische Rohrnetzberechnung	173
3.A.4.2.3	Betriebswirtschaftliche Informationen	173
3.A.5	Kalibrierungen	175
3.A.5.1	Kalibrierung der Schadensfunktionen	175
3.A.5.2	Kalibrierung der Rehabilitationsaufwendungen	178
3.A.5.3	Kalibrierung der Reparaturkosten	181
3.A.6	Bewertung des Netzes	182
3.A.6.1	Bestimmung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer	182

3.A.6.2	Bestimmung des Abnutzungsvorrates	184
3.A.7	Entwicklung der Rehabilitationsstrategie	186
3.A.7.1	Bestimmung der notwendigen Rehabilitationsrate	186
3.A.7.2	Entwicklung des Abnutzungsvorrates und der Rehabilitationsrate	188
3.A.8	Optimale Gestaltung des Netzes	190
3.A.9	Rang- und Reihenfolge der Maßnahmen	193
3.A.9.1	Erstellung des Maßnahmenplanes	195
3.A.10	Erläuterungen zur Optimierung nach Michalik	196
3.A.10.1	Optimaler Rehabilitationszeitpunkt	197
3.A.10.2	Bewertungsverfahren analog DVGW W401	199
3.A.10.3	Bestimmung der Amortisationsdauer	200
3.A.10.4	Einsatz kostengünstiger Rehabilitationsverfahren	200
3.A.10.5	Flächige Rehabilitation	203
3.A.11	Aufwand und Nutzen der Rehabilitation	203
4	Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen	205
4.1	Zur Entwicklung der Gasversorgung in Deutschland	205
4.1.1	Erdgaseinsatz und Rehabilitation der Gasrohrnetze	205
4.1.2	Rohrmaterialien und Schlauchliner	205
4.1.3	Sonderprogramm Grauguss	206
4.1.4	Sicherheit und Risikobewertung im Gasfach	207
4.1.4.1	Sicherheit im Gasfach	207
4.1.4.2	Zur Definition Schaden	207
4.1.4.3	Zur Definition Risiko	207
4.2	Zustandsbewertung und Schadenserfassung, Schäden und Schadensursachen	208
4.2.1	Zustandsbewertung nach G 401	208
4.2.1.1	Technische Kriterien	209
4.2.1.2	Wirtschaftliche und unternehmensspezifische Kriterien	209
4.2.1.3	Externe Einflüsse	209
4.2.2	Schadenserfassung und Überprüfung nach G 465	210
4.2.2.1	Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar nach G 465/I	210
4.2.2.2	Beurteilung von Leckstellen nach GW 465-1	210
4.2.3	Leckortung	212
4.2.3.1	Die Anfänge der Leckortung	212
4.2.3.2	Heutige Gasspürtechnik	212
4.2.3.3	Austritt größerer Gasmengen unter den Oberflächen	213
4.2.3.4	Gasaustritt bei gestörtem Erdreich und Rissen in der Oberfläche	213
4.3	Planung und Durchführung der Rehabilitationsmaßnahmen nach G 401	213
4.3.1	Unterlagen für die Bewertung des Netzzustandes	213
4.3.2	Bildung von Leitungsgruppen	213
4.3.3	Strategische Langzeitplanung	214
4.4	Rehabilitationsverfahren	215
4.4.1	Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren	215
4.4.1.1	Verfahrensübersicht	215
4.4.1.2	Reparatur	217
4.4.2	Sicheres Arbeiten an Gasleitungen	219
4.4.2.1	Arbeiten an Gasleitungen	219
4.4.2.2	Einsatz von Absperrblasen	220
4.4.3	Gewebeslauchrelining-Verfahren mit Verklebung des Inliners	221
4.4.3.1	Zur Verfahrensentwicklung und zur Gasrohrsanierung in Berlin	221
4.4.3.2	Gewebeslauchrelining-Verfahren nach G 478	222
4.4.3.3	Das Verfahren <i>Process Phoenix</i>	223
4.4.3.4	SANFLEX-Verfahren	225
4.4.3.5	starline-Verfahren	226
4.4.4	Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320/I	229
4.4.4.1	Anforderungen an die Fachunternehmen	229
4.4.4.2	Anforderungen an das Rohrmaterial und das Verfüllmaterial	229
4.4.4.3	Vorbereitende Arbeiten	229
4.4.4.4	Einbau	230
4.4.5	PE-Relining ohne Ringraum – U-Liner-Verfahren	232
4.4.5.1	Zur Verfahrensentwicklung und Anwendung	232
4.4.5.2	Das U-Liner-Verfahren	232

4.4.6	Berstliningverfahren	235
4.4.6.1	Zur Verfahrensentwicklung	235
4.4.6.2	Dynamisches Berstliningverfahren	235
4.4.6.3	Statisches Berstliningverfahren	236
4.4.7	Trennen und Anschluss von Rohrleitungen	239
4.4.7.1	Trennen und Anschluss von Rohrleitungen bei der Rehabilitation nach G 465-2	239
4.4.7.2	Durchführung der Arbeiten	239
4.5	Technische Regeln und Qualifikationskriterien der Rohrleitungsbauunternehmen	240
5	Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen	241
5.1	Anforderungen an die Sanierung	241
5.1.1	Allgemeines	241
5.1.2	Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen	241
5.1.2.1	Abnutzungsvorrat und Qualitätsverlauf	241
5.1.2.2	Ursachen und Folgen baulicher Schäden	243
5.1.2.3	Schadensbeispiel Wurzeleinwuchs	248
5.1.2.4	Praxisbeispiel Zustandsbildkatalog Abwasserschächte	249
5.1.3	Generelle Anforderungen	256
5.1.3.1	Betriebliche Anforderungen	256
5.1.3.2	Hydraulische Anforderungen	256
5.1.3.3	Umweltrelevante Anforderungen	256
5.1.3.4	Bauliche Anforderungen	256
5.1.3.5	Flussgebiets-Management	257
5.1.3.6	Normung, Richtlinien und Zulassungen	258
5.1.4	Praxisbeispiel IKT-Warentest	261
5.2	Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung	262
5.2.1	Zustandserfassung	262
5.2.2	Praktische Umsetzung der Zustandserfassung	263
5.2.2.1	Vorbereitende Maßnahmen	263
5.2.2.2	Durchführung	264
5.2.2.3	Ausrüstung	264
5.2.3	Dokumentation und Beschreibung	265
5.2.3.1	Dokumentation des Zustandes der Kanalisation	265
5.2.3.2	Beschreibung	266
5.2.3.3	Inspektion und Dokumentation des Zustandes von Anschlusskanälen und Schächten	266
5.2.4	Zustandsklassifizierung und -bewertung	266
5.2.5	Praxisbeispiel Schachtinspektion	268
5.2.6	Praxisbeispiel Inspektion von Hausanschlussleitungen	269
5.2.7	Praxisbeispiel: Inspektion teilgefüllter Kanäle	271
5.2.8	Grenzen der optischen Inspektion	273
5.2.9	Perspektiven: Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems	273
5.2.9.1	Veranlassung	273
5.2.9.2	Hintergrund	274
5.2.9.3	Geophysikalische Messverfahren	275
5.2.9.4	Techniken für nicht-begehbare Kanäle	276
5.2.9.5	Bautechnische Alternativen	278
5.2.9.6	Schlussfolgerungen und Fazit	280
5.3	Planung der Sanierung	280
5.3.1	Vorplanung	282
5.3.2	Feststellung und Beurteilung des Istzustandes	282
5.3.2.1	Erfassung und Beurteilung der vorhandenen Informationen	282
5.3.2.2	Aktualisierung des Kanalkatasters	282
5.3.3	Erarbeitung der Lösungen	284
5.3.3.1	Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen	284
5.3.3.2	Beurteilung der Lösungen	284
5.3.3.3	Erstellung des Sanierungsplans	284
5.3.4	Praxisbeispiele: Sanierung privater und öffentlicher Netze	285
5.4	Sanierungsstrategien	290
5.4.1	Substanzwertstrategie	290
5.4.2	Gebietsbezogene Strategie	290
5.4.3	Zustandsstrategie	290
5.4.4	Mehrspartenstrategie	290
5.4.5	Feuerwehrstrategie	290

5.5	Technische Sanierungsansätze	291
5.5.1	Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen	291
5.5.2	Hydraulische Sanierung	291
5.5.3	Umweltrelevante Sanierung	291
5.5.4	Bauliche Sanierung	291
5.6	Reparatur	292
5.6.1	Einteilung der Verfahren	292
5.6.2	Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen	293
5.6.2.1	Verfahrensmöglichkeiten	293
5.6.2.2	Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten	294
5.6.3	Injektionsverfahren – Allgemeines	294
5.6.3.1	Injektionsmittel	295
5.6.3.2	Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser	295
5.6.4	Injektion von Außen	295
5.6.5	Injektion von Innen	296
5.6.5.1	Boden- und/oder Hohlrauminjektion	296
5.6.5.2	Rissinjektion	297
5.6.5.3	Injektion von Rohrverbindungen	297
5.6.6	Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten	299
5.6.7	Praxisbeispiel Sanierung von Anschlussstutzen	299
5.6.7.1	Schäden	299
5.6.7.2	Reparatur	300
5.6.8	Praxisbeispiel: Schachtkopfsanierung mit Mörtelersatz	301
5.6.8.1	Hintergrund	301
5.6.8.2	Einsatz von Schachtkopfmörteln	301
5.6.8.3	Materialeigenschaften	302
5.6.8.4	Entwickeltes Prüfkonzep	302
5.7	Renovierung	304
5.7.1	Beschichtungsverfahren	304
5.7.1.1	Mörtelbeschichtung	304
5.7.1.2	Polyurethanbeschichtung	305
5.7.1.3	Verfahrenstechniken	306
5.7.2	Auskleidung von Kanälen – Verfahren und Anforderungen	308
5.7.2.1	Einteilung der Auskleidungsverfahren – Begriffsdefinition	308
5.7.2.2	Anforderungen	309
5.7.2.3	Auskleidung mit montierten Einzelelementen	310
5.7.2.4	Auskleidung mit Rohren	311
5.7.3	Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren	311
5.7.3.1	Konventionelle Rohrstrangverfahren	312
5.7.3.2	Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren	313
5.7.3.3	Einzelrohr-Lining	316
5.7.4	Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren	317
5.7.5	Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren	318
5.7.6	Praxisbeispiel Sandwich-Beschichtung für Abwasserschächte	322
5.8	Erneuerung	324
5.8.1	Notwendigkeit und Umsetzung der Erneuerung	324
5.8.2	Erneuerung in geschlossener Bauweise	324
5.8.2.1	Überfahren	324
5.8.2.2	Berstverfahren	325
5.8.2.3	Praxisbeispiel Berstlining	326
5.9	Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung	327
5.9.1	Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl	327
5.9.2	Reparatur – Renovierung – Erneuerung	328
5.9.3	Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus	329
Literaturverzeichnis		331
Glossar		349
Gesetze und Richtlinien		373
Abkürzungsverzeichnis		374
Stichwortverzeichnis		375

1 Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dr.-Ing. H.-C. Sorge, Dr.-Ing. W. Berger,
Dr.-Ing. D. Mälzer

1.1 Die technische Versorgung der Städte

1.1.1 Aufgaben der technischen Versorgungssysteme

Die heutigen (stadt-) **technischen Versorgungssysteme** entstanden mit der industriellen Entwicklung im 19. Jahrhundert und wurden im 20. Jahrhundert innerhalb der Städte ausgebaut. Hinzu kamen Fernversorgungssysteme der Wasser- und Gasversorgung.

Sie sind gemeinsam mit dem Verkehrswesen Bestandteile der technischen Infrastruktur der Territorien und gleichzeitig Teilbereiche der Wasserwirtschaft, der Energie- und Brennstoffwirtschaft, des Informationswesens und der Kommunalwirtschaft (Definition technische Infrastruktur siehe [Brockhaus, 1986 - 1994]).

Stadttechnische Versorgungssysteme dienen der technischen Versorgung von Städten und Siedlungen und schaffen die Voraussetzungen für ihre Funktionsfähigkeit und ermöglichen städtisches Leben – daraus abgeleitet wird auch der Begriff Stadttechnik verwendet (vgl. Definition in [Pfeiffer, 1937]).

Die stadttechnischen Systeme der Wasser- und Energieversorgung, der Abwasserableitung und -behandlung, der Informationsübertragung sowie der Müll- und Abfallbeseitigung der Städte und Territorien mit den dazugehörigen Anlagen und Bauwerken bestehen aus:

- Gewinnungs-, Erzeugungs-, Aufbereitungs-, Umform-, und Behandlungsanlagen,
- Rohr- und Kabelnetzen sowie Freileitungen,
- Bauwerken und Stationen.

Sie stellen einerseits in sich geschlossene, selbständige Systeme dar, andererseits ist jedoch aus Wirtschaftlichkeitserwägungen die gemeinsame Verlegung möglichst vieler Versorgungssysteme in gemeinsamen Gräben, z. B. Gas und Wasserrohrleitungen oder Kabeltrassen der Energieversorgung und des Fernmeldewesens (bei annähernd gleicher Tiefenlage) oder in Sammelkanälen (auch als Infrastrukturkanal, Leitungsgang bezeichnet) anzustreben.

Technische Versorgungssysteme (stadttechnische Systeme) befinden sich überwiegend im **unterirdischen Bauraum** der Straßen. Dieser wird jedoch in zunehmendem Maße auch von anderen Nutzern beansprucht – von mehrgeschossigen Anlagen für den fließenden und ruhenden Verkehr, Tiefgeschoss von Kaufhäusern, Banken usw.

Die unterirdischen Straßenräume sind durch die vorangegangene Entwicklung intensiv belegt mit Versorgungsleitungen (nachfolgend wird grundsätzlich von Versorgungsleitungen gesprochen, auch wenn es sich

um Abwasserleitungen, also die Ableitung von gebrauchtem Wasser handelt und dafür z. T. der missverständliche Begriff Entsorgung benutzt wird).

Die stadttechnischen Versorgungssysteme stehen in engem Zusammenhang mit der Stadtstruktur, den zu versorgenden Objekten, den Geländebedingungen und anderen Standortfaktoren. Die Erweiterung der Städte in West- und Ostdeutschland in der Zeit von 1945 bis 1990 durch die zahllosen Ein- und Zweifamilienhaus-siedlungen sowie Gewerbegebiete in Stadtrandlage haben zu einem Rückgang der Bevölkerungszahlen in den Innenstädten und zu einer Erweiterung der Netze der technischen Versorgung geführt (Zunahme der Netzlänge pro Einwohner). Weitere Faktoren wirken auf die technische Versorgung, wie die Zunahme der befestigten Flächen durch den ruhenden Verkehr und die Erhöhung der Regenwasserabflussmengen.

Weiterhin müssen Gesichtspunkte des rückgehenden Wasserverbrauchs und zunehmenden Energieverbrauchs (insbesondere Gas und Elektroenergie) bei der Neudimensionierung von Versorgungsnetzen berücksichtigt werden. Ebenso müssen auch die Sicherung des Löschwasserbedarfs und der Austausch nicht mehr zeitgemäßer Armaturen sowie die Anordnung der Armaturen nach heutigen Gesichtspunkten beachtet werden – d. h., die bestehenden Netzteile können nicht einfach nur ersetzt werden, erforderlich sind **stadttechnische Versorgungssysteme für das 21. Jahrhundert**.

Die Netze der technischen Versorgung sind in den Innenstädten aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte zum Teil mehr als 100 Jahre alt und bestehen zum Teil noch aus Rohrmaterialien und Armaturen, die heute nicht mehr zum Einsatz kommen bzw. aufgrund ihres Zustandes saniert werden müssen.

Daraus resultiert für die Versorgungsunternehmen die Aufgabe der Rehabilitation ihrer Netze, d. h. deren Sanierung oder Erneuerung, so dass zusammenfassend festzustellen ist:

- Das 19. Jahrhundert war das Jahrhundert der Entstehung moderner Infrastruktursysteme.
- Das 20. Jahrhundert war das Jahrhundert des Ausbaus und Wachstums der Infrastruktursysteme der Städte und der Regionalisierung von Infrastruktursystemen (Fernversorgung) der Gas- und Wasser-versorgung, der Elektroenergieversorgung, der Informationsanlagen und von Produktenleitungen unterschiedlicher Art.
- **Das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung) der rohrleitungsgebundenen Infrastruktursysteme** [Roscher, o.J.b].



Abb. 1.1: Etappen der Entwicklung der rohrleitungsgebundenen technischen Versorgung

Die Entwicklung **grabenloser Bauverfahren** in den letzten zwei Jahrzehnten ist für die Sanierung und Erneuerung der Versorgungsnetze von besonderer Bedeutung, da die **Straßen im 21. Jahrhundert nicht noch einmal „aufgegraben“** werden sollten [Roscher, o.J.b].

Grabenlose Bauverfahren schonen das Stadtgrün (siehe Kap. 1.2.4 Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen nach GW 125), dienen dazu, Folgeschäden an Straßen zu vermeiden bzw. zu vermindern (siehe Kap. 1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden

den durch Baugruben bzw. Baugräben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen) und verringern Belästigungen und Erschwernisse für Anwohner und Anlieger (sog. soziale Kosten für Verkehrsleitungen).

Ihre Vorteile lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- neue Trassen sind nicht erforderlich (begrenzter unterirdischer Bauraum),
- Straßenaufbrüche werden minimiert,
- kürzere Bauzeiten und damit Versorgungsausfälle werden erreicht,
- Anwohner und Anlieger werden durch Lärm, Staub, Abgase weniger beeinträchtigt,
- der Straßen- und Anlieferverkehr von Geschäften wird weniger beeinträchtigt,
- Baumbestand und Bepflanzungen werden geschont,
- Transporte von großen Bodenmassen entfallen,
- es treten weniger Folgeschäden, z. B. Bodenabsenkungen auf.

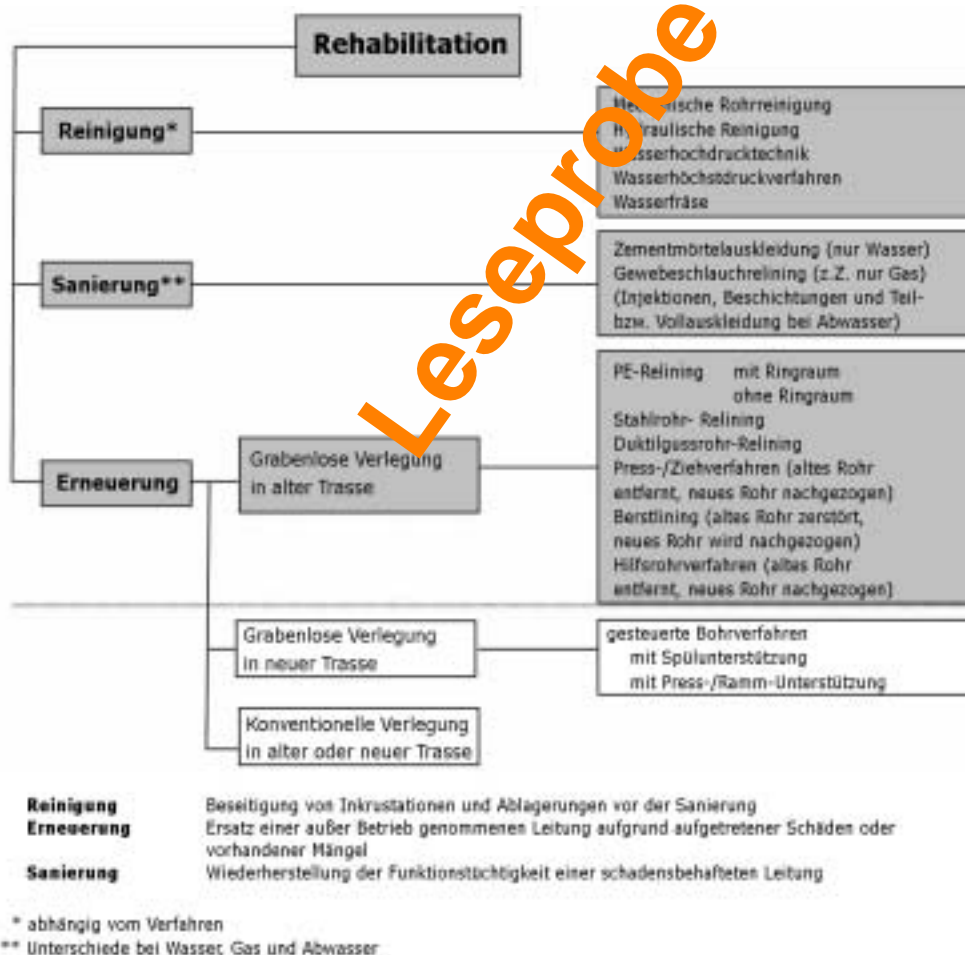


Abb. 1.2: Rehabilitationsmaßnahmen nach W 401 [DVGW, 1997a] und G 401 [DVGW, 1999b] aktualisiert sowie Ergänzungen für Abwasser [Roscher et al., 2000]

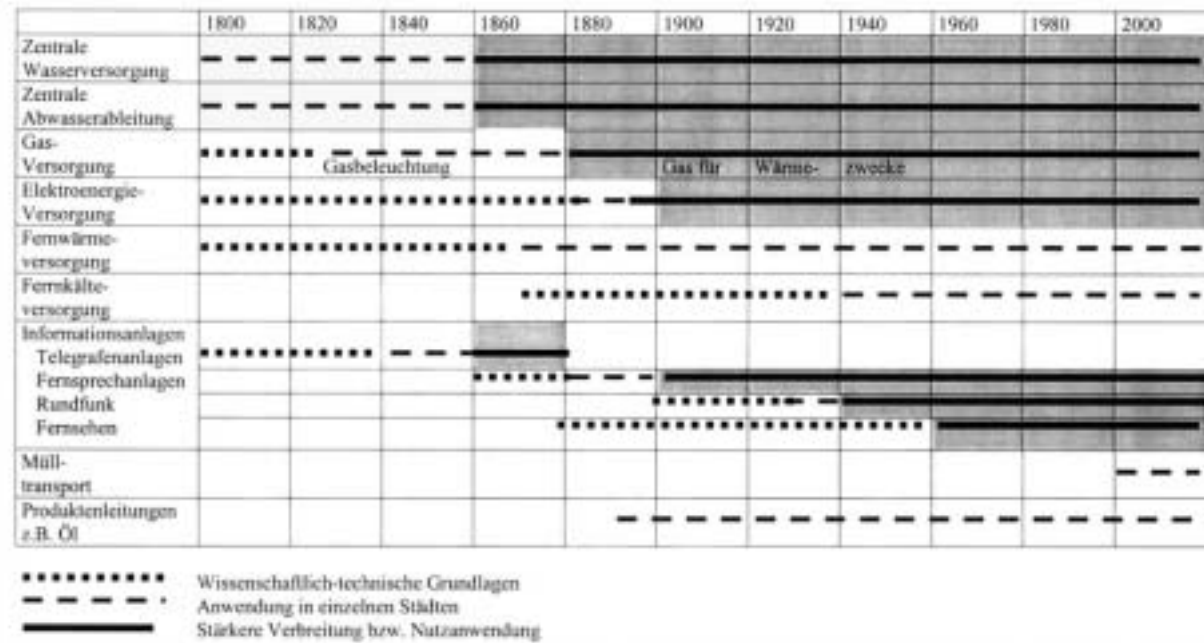


Abb. 1.3: Technische Versorgung

1.1.2 Zur historischen Entwicklung der technischen Versorgung

Als Quellen für den nachfolgenden Abschnitt seien [Roscher et al., o.J.] und [Roscher, 1984 ff.] benannt.

1.1.2.1 Stadt und technische Versorgung

Die Gründung der deutschen Städte erfolgte vom 9. bis 13. Jahrhundert. Im 14. Jahrhundert lebten in Deutschland etwa 13 Millionen Menschen, davon ein Viertel in 400 Städten. Schnelles Wachstum der Produktionskräfte, zunehmende gesellschaftliche Arbeitsteilung zwischen Landwirtschaft und Handwerk, die Bildung von Verwaltungszentren von Kirche und weltlicher Macht waren entscheidende Voraussetzungen für die Entwicklung der mittelalterlichen Städte. Nach der Blütezeit der mittelalterlichen Städte gegen Ende des 15. und zu Beginn des 16. Jahrhunderts durch Handwerk und Kultur gab es für viele von ihnen, mit Ausnahme der Residenzstädte, über 200 Jahre keine bedeutenden Fortschritte.

Die rohrleitungsgebundene „technische Versorgung“ der mittelalterlichen Städte beschränkte sich auf die Wasserversorgung in einzelnen Städten mit Holzrohrleitungen, ggf. auf die Überdeckung von Bachläufen und damit auf Anfänge der Kanalisation.

Von wesentlichem Einfluss auf die Entwicklung der neuzeitlichen stadtechnischen Versorgung waren naturwissenschaftliche Entdeckungen und technische Erfindungen des 19. und 20. Jahrhunderts und die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Produktion, z. B. der Elektroindustrie (in der Zeit der industriellen Revolution) oder der Nachrichtentechnik (in der Zeit der wissenschaftlich-technischen Revolution).

Die heutigen zu rehabilitierenden Wasser-, Gas- und Abwasserleitungen stammen aus der Zeit vor Beginn des 20. Jahrhunderts, aber auch aus der Zeit nach 1945.

Nach dem Ende 2. Weltkrieges bestimmte zunächst der Wiederaufbau der Wirtschaft die Entwicklung der technischen Versorgung, später der Bau neuer Wohngebiete in Stadtrandlage (sowohl mehrgeschossig als auch mit ein- und zweigeschossigen Gebäuden) sowie von Gewerbegebieten ebenso in Stadtrandlage.

Dadurch wuchs die Länge der Wasser-, Gas- und Abwassernetze in beträchtlichem Maße. Nicht immer wurde geeignetes Rohrmaterial eingebaut (z. B. in Ostdeutschland Stahlrohre mit unzureichendem Korrosionsschutz, in Westdeutschland Duktulgussrohre der 1. Generation mit unzureichendem Korrosionsschutz sowie PE-Rohre in ungeeignetem Bettungsmaterial mit spitzen Steinen), so dass auch für „junge Rohrmaterialien“ Rehabilitationsmaßnahmen erforderlich werden.

1.1.2.2 Wasserversorgung, Abwasserableitung und Gasversorgung

Wasserversorgung

Die Wasserversorgung der mittelalterlichen Städte erfolgte vorzugsweise aus öffentlichen Grundwasserbrunnen, deren Zustand in hygienischer und baulicher Hinsicht meist schlecht war und die oftmals von 20 bis 100 Personen genutzt wurden.

Städte und Dörfer mit günstigen hydrogeologischen und topografischen Bedingungen hatten Rohrwasserversorgungen mit Holzleitungen. Die Notwendigkeit einer neuzeitlichen (genannt einheitlichen) Wasserversorgung – **der Druckwasserversorgung** – ergab sich aus der Industrialisierung und der damit verbundenen Ballung von Menschen und Arbeitskräften in großen Städten. Voraussetzung war die Entwicklung der Dampfmaschine für die Wasserförderung und von Rohrmaterialien, welche höheren Drücken standhielten.

1848 wurde in Hamburg nach dem großen Brand die **erste zentrale Wasserversorgung Deutschlands** nach den Vorschlägen *Lindleys* gebaut (1856 folgte Berlin, 1859 Magdeburg). Zur Erzielung eines gleichmäßigen Druckes im Versorgungsgebiet und zum Ausgleich von Verbrauchsschwankungen wurden Ausgleichbehälter möglichst im Schwerpunkt des Versorgungsgebietes vorgesehen. Der erste Wasserturm mit 2350 m³ wurde in Hamburg 1853/55 gebaut, allerdings 1910 abgebrochen [Grahn, 1883 sowie 1898/1902].

An die **Stadtrohrnetze** (Gesamtheit der zur Wasserverteilung in einem Ortsgebiet dienenden, in jede Straße einzulegenden Leitungszüge) stellte man am Anfang des 20. Jahrhunderts folgende Forderungen:

- zulässige Versorgung jeder Netzstelle mit ihrem Maximalbedarf,
- Einhaltung eines stets genügenden, nie zu großen Druckes an jeder Netzstelle,
- Vermeidung zu großer, Stöße bewirkender Wassergeschwindigkeiten im Rohrnetz,
- Dimensionierung unter möglicher Annäherung an ein Minimum der Jahreskosten (Verzinsung usw. des Anlagekapitals plus Betriebskosten).

Nach der **Netzgestaltung** unterschied man zwei Hauptsysteme in Rohrnetzen:

- a) Die Verteilung durch unter sich verbundene Röhren (Ringnetz, Ringsystem, Circulationssystem, Kreislaufsystem).
- b) Die Verteilung durch Röhren, welche sich von einem Stamme aus fächerförmig verästeln (Fächer-Netz, Fächersystem, Verästelungssystem).

Verästelungsnetze – Fächernetze waren zwar für die hydraulische Berechnung übersichtlicher und einfacher zu handhaben, erforderten durch die vielen Endstränge aber häufige Spülungen und verursachten bei Rohrbrüchen auf großen Strecken lange Versorgungsunterbrechungen. Aus Betriebsgründen wurden die Endpunkte miteinander verbunden. Schließlich entstanden Ringnetze, die neben Betriebsgründen (Versorgungszuverlässigkeit, Vermeidung der Stagnation des Wassers in Endsträngen usw.) den Vorteil boten, dass sie besser der Stadtentwicklung, auch unvorhergesehenen Entwicklungen angepasst werden konnten.

Bei der **Netzausbildung** spielte die **Anlage von Stammlösungen** (Ausgangspunkt Hochbehälter oder Gewinnungsart) eine wichtige Rolle, die sich oftmals fächerförmig über die Stadtgebiete ausdehnten und Grundlage für eine Vermaschung des Netzes waren. Diese sind in den Versorgungsnetzen **heute noch erkennbar (älteste Leitungen mit großen Dimensionen)**, da Ringbildungen mit nahezu gleicher Dimension der Hauptleitungen erst später erfolgten (großdimensionierte Leitungen mit geringerem Baulter).

Die neuzeitliche Wasserversorgung (nach [Grahn, 1883 sowie 1898/1902] „einheitliche“ Wasserversorgung) übernahm neben der Trinkwasserversorgung als weitere wichtige Funktion – die **Löschwasserversorgung**. So mussten bei der Bemessung der Rohrnetze die Mindestdurchmesser und der Abstand der Hydranten (Feuerpfosten) untereinander berücksichtigt werden. Die Rohrnetze wurden als Verästelungsnetze berechnet,

aber als vermaschte Netze gebaut (Berechnung mit Druckausgleich an den Endpunkten).

Für die Löschwasserversorgung wurden in Abständen von 60 bis 100 m Hydranten mit mindestens 5 l/s Leistung angeordnet. Der Versorgungsdruck wurde durch Motorspritzen erhöht, nachdem man anfangs über den erforderlichen Leitungsdruck gestritten hatte. Der sogenannte „**Bürgerliche Versorgungsdruck**“ (mind. 20 m über Straßenniveau), der im gesamten Netz vorhanden sein sollte, wurde durch Thiem Ende des 19. Jahrhunderts eingeführt.

Damit waren zu diesem Zeitpunkt die wichtigsten, noch heute geltenden Grundsätze der zentralen Trinkwasserversorgung definiert – Netzgestaltung, Bildung von Druck- bzw. Versorgungszonen, Versorgungsdruck und Löschwasserversorgung.

Die Werkstoffeigenschaften für die zunächst eingesetzten gusseisernen Rohre wurden durch **Herstellungsverfahren** laufend verbessert. **Neue Rohrmaterialien** kamen hinzu wie Stahl- und schmiedeeiserne Rohre, Asbestzement- und Stahlbeton- und Spannbetonrohre und nach 1945 Kunststoffrohre (erstes PVC-Rohr 1935 in Bitterfeld hergestellt, nach 1950 PE-Rohre, nach 1990 PE-Xa). Für Hausanschlüsse kamen Blei, verzinktes Eisenrohr, schmiedeeiserne Rohre und gusseiserne Rohre zum Einsatz.

Für die Rehabilitation der Rohrnetze ist zu untersuchen, ob die Rohrleitungen aufgrund ihres Zustandes noch **saniert** werden können oder ihre **Erneuerung** erforderlich ist.

Seit 1990 ist in Deutschland ein Rückgang des Wasserverbrauchs festzustellen. Der einwohnerbezogene Wasserverbrauch in den Groß- und Mittelstädten hat wieder Werte vom Ende der 80er-Jahre erreicht. In ländlichen Gebieten liegen die Verbrauchswerte durch Brunnen- und Regenwassernutzung größtenteils noch darunter.

Die Ursachen des Rückgangs des einwohnerbezogenen Wasserverbrauchs sind vielfältig [Roscher, 2006], zu nennen sind

- Lebensgewohnheiten (Duschen, Baden und Häufigkeit der Benutzung sanitärer Einrichtungen),
- Entwicklungen im Sanitärbereich und bei der Wäschepflege,
- Haushalt, z. B. Verwendung tiefgefrorener Fertiggerichte, Mikrowellengeräte,
- soziale Faktoren: Einkommensentwicklung, Arbeitslosigkeit bzw. abnehmende Erwerbsbevölkerung,
- Urlaub („Überwintern im Süden“ – z.T. Wegfall von 1 bis 3 Monate des Wasserverbrauchs in Deutschland).

In Ostdeutschland kam neben der demografischen Entwicklung die Verringerung der Verbrauchswerte der Industrie und der Landwirtschaft hinzu. Weiterhin entstanden in den Stadtrandlagen Gewerbegebiete und neue Wohnsiedlungen auf bisher unerschlossenen Flächen. Viele Einwohner zogen aus den Städten in diese Wohnsiedlungen bzw. in Umlandgemeinden. Dadurch sanken in den Städten sowohl die Einwohnerzahlen als auch die flächenbezogene Wasserverbrauchswerte.

In Westdeutschland traten ebenfalls wesentliche Änderungen in der städtebaulichen Struktur ein – die Einwohnerzahlen der Städte stiegen durch die Umsiedlungen aus den neuen Bundesländern bzw. von 1945 bis 1989 aus Ostdeutschland und anderen Ländern. Gewerbegebiete und neue Wohngebiete entstanden in den Stadtrandlagen auf bisher unerschlossenen Flächen. Hinzu kam die Umstrukturierung der Industrie – als Beispiel sei das Ruhrgebiet genannt, in dem sowohl Betrieb der Schwerindustrie als auch des Bergbaus wegfielen.

Dadurch sind in vielen Städten zu groß dimensionierte Hauptleitungen vorhanden (Anlass für die Einführung des Dukttilguss- und Stahlrohreinzugs im Ruhrgebiet). Durch die Inbetriebnahme neuer Wasserwerke und der Fernwasserversorgungssysteme veränderten sich in vielen Städten die Anschlussbedingungen. Bisherige Hauptleitungen hatten keine Bedeutung mehr, neue Grundstrukturen entstanden.

Demografische Entwicklung und wirtschaftlicher Wandel seit 1990 führten zu überdimensionierten Rohrnetzen

Zusammenfassend ergibt sich, dass sich die Wasserverbrauchsentwicklung in vielfältiger Weise auf die Wasserversorgungsnetze ausgewirkt hat und bei zukünftigen Entscheidungen der Rehabilitation der Rohrnetze – z. B. erforderliche Nennweiten bei der Neuverlegung – zu berücksichtigen ist. Die Rohrnetze sind für Anforderungen des 21. Jahrhunderts zu gestalten hydraulisch zu dimensionieren und gleichzeitig Kriterien der Rehabilitation umzusetzen.

Abwasserableitung

Während in einigen mittelalterlichen Städten Wasserläufe überwölbt wurden, besaßen viele nur Sickergruben und in geringer Entfernung wurde in Grundwasserbrunnen „Trinkwasser“ gewonnen. Vielfach erfolgte die Abwasserableitung oberirdisch in offenen Gerinnen; der in vielen Städten anzutreffenden Straßennamen „Steinstraße“ weist auf die ersten gepflasterten Straßen hin, die auch meist ein offenes Gerinne für das Abwasser besaßen.

Erste ausgedehnte Kanalisationsnetze bauten in Deutschland Hamburg 1840, Berlin und Dresden um 1870, weitere folgten meist zu annähernd gleichem Zeitpunkt wie die Wasserversorgung.

Für den Bau von Kanalisationsnetzen waren Erkenntnisse der Städtehygiene sowie die Entwicklung entsprechender Bauverfahren für Abwassersammler in großer Tiefenlage (Verbausysteme; Pumpen für die Grundwasserhaltung usw.) von entscheidender Bedeutung. Steinzeugrohre wurden anfangs aus England importiert und erst ab 1869 in Deutschland produziert. Die Abwasserbehandlung spielte zunächst keine Rolle, da das Selbstreinigungsvermögen der Flüsse ausreichend war, durch die Industrialisierung verschlechterte sich die Flusswasserqualität (Entnahme von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung und Reinigung in Langsandsfiltern – später erforderliche Außerbetriebnahme der Flusswasserwerke – bekanntestes Beispiel Choleraepi-

demie in Hamburg 1892, verursacht durch Flusswasser, welches nur in Absetzbecken „gereinigt“ worden war).

Die Auffassungen über die Vor- und Nachteile des Trenn- und Mischverfahrens in der Stadtentwässerung änderten sich im Verlaufe von 150 Jahren ständig. Erst in den 1990er-Jahren setzte sich die Erkenntnis über die Abhängigkeit von Entwässerungsverfahren und Gewässerbelastung durch und führten zum modifizierten Misch- und Trennverfahren.

Die meisten Städte leiten in den Kernbereichen ihr Abwasser im Mischverfahren ab, in den Neubaugebieten in Stadtrandlage erfolgt die Entwässerung oftmals im Trennverfahren.

Die Anzahl der eingesetzten Rohrmaterialien vergrößerte sich im Verlaufe der Zeit. Neben dem traditionell eingesetzten Steinzeugrohren kamen Betonrohre, später Asbestzement- und Kunststoffrohre zum Einsatz, für große Kanalprofile und Sonderbauwerke Klinkermauerwerk.

Neben dem für kleine Nennweiten angewendeten Kreisprofil wurden Eiprofile und andere eingesetzt. Dementsprechend vielfältig sind auch die Sanierungsverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle.

Analog zur Wasserversorgung wirken sich gegenwärtig bei der Abwasserableitung und -behandlung folgende Faktoren aus:

- der Rückgang des Wasserverbrauchs in der Schmutzwasserableitung,
- die Erhöhung des Anteils befestigter Flächen in den Städten,
- die Versickerung von nicht zu behandelnden Regenwasser.

Für die Rehabilitation von Abwassernetzen können zahlreiche Verfahren der Sanierung (Schlauchlining, Beschichtung, Teil- und Vollauskleidung) und der Erneuerung (Berstlining u.a.) angewendet werden.

Gasversorgung

Im 18. Jahrhundert wurden die bei der Zersetzung der Kohle unter Luftabschluss entstehenden Gasmengen wissenschaftlich erkannt, aber eine Verwendung in der Energieversorgung war nicht beabsichtigt.

1784 gewann Minkelaers (Belgien) Gas bei der Kohleentgasung und verwendete es für die Beleuchtung eines Hörsaales, 1790 beleuchtete Murdock (England) ein Wohnhaus mit Gas und transportierte es in Schweineblasen. 1795 baute er industrielle „Gasretorten“ zur Beleuchtung einer Fabrik. In Deutschland beschäftigten sich Bickel und Lampadius systematisch mit der Verwendung des Steinkohlengases für Beleuchtungszwecke. Bickel beleuchtete 1785 sein Laboratorium mit Gas und Lampadius (1811) in Freiberg vorübergehend eine Straße.

Prechtl baute 1818 in Wien ein kleines Gaswerk zur Straßenbeleuchtung und Blochmann errichtete in Dresden ein kleines Gaswerk zur Beleuchtung seines Institutes und beleuchtete 1825 probeweise einen Raum im königlichen Schloss. 1827 wurde durch Blochmann das erste Gaswerk deutscher Produktion errichtet und 1828

Gas in gusseisernen Röhren transportiert. Weitere Gaswerke entstanden nachfolgend in Leipzig (1837), Aachen und Elberfeld (1839), Köln (1840), Stuttgart (1845), Hamburg (1846), München (1850) und anderen Städten; die öffentliche Gasbeleuchtung wurde in vielen größeren Städten eingeführt. Steinkohlengas wurde bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts nur für Beleuchtungszwecke eingesetzt.

1855 konstruierte Bunsen den nach ihm benannten Bunsenbrenner und ermöglichte durch die Flammentemperatur den Einsatz für die Wärmeerzeugung. Neue Verwendungszwecke im Haushalt, Gewerbe und in der Industrie wurden erschlossen.

1860 gab es 176 Gaswerke, 1868 bereits 557, und die Gaserzeugung stieg von 45 Mill. m³ auf 152 Mill. m³. Gas wurde auch als Antriebsmittel verwendet – so fuhr in den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts in Dessau eine „Gas“-Straßenbahn.

Die städtische Gasversorgung gewann zwischen 1860 und 1880 eine zunehmende Bedeutung. Die Gaserzeugung erfolgte nach verschiedenen Verfahren (feste Brennstoffe – Entgasung und Vergasung, flüssige Brennstoffe und gasförmige Brennstoffe – thermische Spaltverfahren, partielle Verbrennung usw.).

Die entfernte Lage der Kohlevorräte führt bald zum Gedanken der Fernversorgung. Anfang des 20. Jahrhunderts begann die Fortleitung von Überschussgas aus Kokereien im rheinisch-westfälischen Industriegebiet – Essen, Gelsenkirchen, Barmen usw. legten ihre eigenen Gaswerke still. Der Ferngasversorgung über 100 km mit Kokereigas (1911) folgte 1929 der Beginn des Aufbaus der Ferngasversorgung von Magdeburg und 1943 der Zusammenschluss der Ferngasnetze im Ruhrgebiet, Saar- und Rheingebiet, Mitteldeutschland bis Berlin zu einem Gasverbundnetz.

Nach 1945 begann eine unterschiedliche Entwicklung in Ost- und Westdeutschland. In der DDR wurden die Großgasereien Schwarze Pumpe, Böhlen, Lauchhammer und Magdeburg errichtet und versorgten das Gebiet der DDR. 1973 erfolgte der Erdgasanschluss an die Sowjetunion.

In der BRD folgte der schrittweisen Reduzierung der Gaserzeugung im Ruhrgebiet der Aufbau der Ferngasversorgung aus der Nordsee.

Während bei der Verwendung von sog. Stadtgas ein „nasses“ Gas verteilt wurde, wird beim Ferngas ein „trockenes“ Gas verwendet.

Das hatte zur Folge, dass in Programmen Innendichtungsmaßnahmen vor allem bei Rohrleitungen mit Stemm-Muffen durchgeführt werden mussten, um Gasaustritte zu verhindern. Bruchgefährdete Graugussleitungen vor allem kleiner Nennweiten mussten erneuert werden (sog. Graugussprogramm – siehe G 401 [DVGW, 1999b])

Die heutigen Rehabilitationsmaßnahmen umfassen die Sanierung mit dem Gewebeschlauchverfahren und die Erneuerung der Rohrleitungen mit Relining- und Berstliningverfahren.

1.2 Stadtstraßen und Nutzung des unterirdischen Bauraums

Als Quelle für diesen Abschnitt wird [Roscher et al., o.J.] angegeben.

1.2.1 Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum

Die heute anzutreffenden Straßen haben durch die Entwicklung des Kraftfahrzeugs und des Verkehrsaufkommens hinsichtlich der **Nutzung und des konstruktiven Aufbaus** im Verlauf des letzten Jahrhunderts wesentliche Veränderungen erfahren.

Die bei der Neuverlegung von Rohrleitungen und Kabeln in bestehenden Straßen notwendigen umfangreichen Eingriffe in die Straßenkonstruktion führen oftmals zu Folgeschäden an Straßen, da die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nicht möglich ist (siehe *Kap. 1.2.3 Straßenbefestigung* und *Kap. 1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugraben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen*).

Die Kenntnis der Lage der Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum ist auch bei der Rehabilitation der Gas- und Wasserleitungen wichtig, um **Folgeschäden an benachbarten Leitungen zu vermeiden**, insbesondere an denen, welche in annähernd gleicher Tiefenlage und in geringer Entfernung liegen, z. B.

- durch das Eindringen von Scherben beim Berstlining oder
- durch die Verschiebung bzw. Verdrängung bei Durchmesserergrößerung (Press-/Ziehverfahren).

Die Art, Anzahl, Lage und Verteilung, welche sich im Straßenkörper befinden, sind in erster Linie von ortsspezifischen Gegebenheiten (Ortssatzungen) wie Straßenbreite, Entwässerungsverfahren, Anlieger und Bebauung abhängig.

Tab. 1.1: Rohrleitungen, Kabel und Kanäle

Rohrleitungen (bzw. Kanäle)	– Abwasser (Schmutz-, Regen- oder Mischwasser) Wasser Gas Fernwärme (kanallose Verlegung) Fernkälte (kanallose Verlegung) Mülltransport
Kanäle	– Fernwärme (Kanalverlegung) Fernkälte (Kanalverlegung) Fernmeldekabel (Kanalverlegung) Sammelkanäle (Infrastrukturkanäle bzw. Leitungsgang)
Kabel	– Elektroenergie (Mittelspannung, Niederspannung) Fernmeldekabel Signalkabel Weitere Kabel

Die heutige Anordnung der stadttechnischen Versorgungssysteme geht auf den Beginn der „einheitlichen“ stadttechnischen Versorgung der Städte zurück (Beginn mit Gas- und Wasserversorgung).

Als die Städte mit dem Bau von Entwässerungsnetzen begannen, bestanden in den meisten Städten bereits seit einigen Jahren die Gas- und Wasserversorgung, wobei die dafür notwendigen Rohrleitungen nicht nach einheitlichen Gesichtspunkten verlegt worden waren.

Beim Bau der in jedem Fall tiefer liegenden Abwasserkanäle traten deshalb insbesondere in engen Straßen der Altstädte oftmals Schwierigkeiten auf, z. B. sind erste Schäden an Wasserleitungen durch Bodenbewegungen bekannt und führten zu Undichtigkeiten an Rohrverbindungen oder zu Rohrbrüchen der Leitungssysteme. Auch war man teilweise gezwungen, Gas- und Wasserleitungen neu einzuordnen, um Platz für die neu hinzugekommenen Abwasserleitungen zu schaffen.

Bei Straßen geringer Breite und geringer Verkehrsdichte war es um 1890 üblich, den Abwasserkanal in die Mitte der Straße, die Wasserleitung auf die eine und die Gasleitung auf die andere Seite zu legen. Bei breiten Bürgersteigen wurde empfohlen, unter jedem eine Gas- und eine Wasserleitung anzuordnen. Bei größeren Fahrbahnbreiten wurden in der Regel Doppelberohrungen für Gas- und Wasserrohrleitungen vorgesehen.

Allgemein gültige Regeln wurden in Deutschland erst 1931 mit der **DIN 1998** verfasst (siehe *Kap. 1.3 Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper*). **1978** erfolgte die **Neubearbeitung** der Richtlinie aufgrund der Anpassung an die in einem Zeitraum von 30 Jahren geänderten Verhältnisse, insbesondere den Einsatz leitungsgebundener Energieträger in Verbindung mit Forderungen des Umweltschutzes, des steigenden Wohnkomforts, der zunehmenden Anzahl von Versorgungsleitungen und der Entwicklung neuer Kommunikationstechniken.

Der zur Verfügung stehende Raum wurde in nach Breite und Tiefenlage gestaffelte Zonen eingeteilt (StVZO), innerhalb derer die Anordnung der einzelnen Versorgungsleitungen und sonstigen Einbauten dem jeweiligen Versorgungsträger überlassen bleibt. Kreuzungen von Leitungen konnten auch mit der neuen Norm wegen der Vielschichtigkeit und der gegenseitigen Abhängigkeit nur durch allgemeingültige Hinweise erfasst werden.

Im **DDR-Standard TGL 23425** Blatt 1 bis 4 „Einordnung von Versorgungsleitungen in den unterirdischen Bauraum“ wurden außerdem horizontale und vertikale Abstände festgelegt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die relativ späte Normung die Unterbringung der Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen (unterirdischer Bauraum) Abweichungen von der Zonenaufteilung vorkommen; weiterhin bestehen durch nicht fachgerechte Umlegungen von Versorgungsleitungen im Zuge von Baumaßnahmen insbesondere in Altstadtgebieten nicht immer genaue **Kenntnisse über die Einordnung der Leitungen**. Das kann zu Beeinträchtigungen und Baukostensteigerungen insbesondere bei Erneuerungsmaßnahmen führen.

Es ist daher notwendig, mit den vorhandenen Straßen sorgsam umzugehen und bereits bei Planungs- und Vorbereitungsarbeiten der Sanierung und Erneuerung stadt-

technischer Leitungen umfassend den Straßen- und Wegebestand in die Betrachtung einzubeziehen.

Überraschungen sind daher bei Baumaßnahmen nicht ausgeschlossen!

1.2.2 Ausbildung des Straßenquerschnittes

Der motorisierte **Straßenverkehr** hat die Ausbildung des **Straßenquerschnittes** maßgeblich beeinflusst, Straßenbepflanzungen mussten breiteren Fahrspuren weichen, Versorgungsleitungen, die ursprünglich unter Bürgersteigen lagen, befinden sich heute unter der Fahrbahn, Leitungen großer Dimensionen unter von Schwerlastverkehr befahrenen Straßen usw.

Der Ausbildung des Straßenquerschnittes widmete man am Ende des 19. Jahrhunderts große Aufmerksamkeit und berücksichtigte unterschiedliche Anforderungen, so nennt Genzmer folgende Anforderungen an das Längsprofil und Querprofil [Genzmer, 1897] S. 64–113:

1. Längsprofil und Höhenlage der Straßen
 - a) Anforderungen des Verkehrs
 - b) Rücksichten auf die Entwässerung
 - c) Rücksichten auf den Anbau
 - d) Rücksichten auf die äußere Erscheinung
2. Querprofil
 - a) Anforderungen des Verkehrs
 - b) Rücksichten auf den Anbau
 - c) Rücksichten auf die Bepflanzung (einschl. Wechselwirkung Bepflanzung – Versorgungsleitungen!)
 - d) Rücksichten auf die Entwässerung
 - e) Rücksichten auf die äußere Erscheinung

Grundlage für die Festlegung der Mindestbreite war eine Fahrdammbreite, welche für zwei sich begegnende Fuhrwerke ausreicht, nämlich 5 m zuzüglich jeweils 1 m für die beidseitigen Bürgersteige. Als Mindestbreite für eine altstädtische Straße untergeordneter Bedeutung empfahl er 5 m (ein schweres Fuhrwerk im Richtungsverkehr), als günstiger empfahl er Straßenprofile für zweispurige Straßen.

Bei größeren verfügbaren Straßenbreiten empfahl er dreispurige Fahrbahnen. Für Straßen mit Straßenbahn sah er es als zweckmäßig an, die Straßenbahn in Mittel-lage anzuordnen.

Für „großstädtische, mit hervorragenden Gebäuden besetzte Luxusstraßen“ wurden größere Bürgersteigbreiten empfohlen.

Umfassend wurde die Anordnung von Baumreihen in breiten Straßen einschließlich der Lage der Versorgungsleitungen behandelt (in breiten Straßen Doppelberohrung, 3 m Abstand zu Gasleitungen, Dichtung der Rohrverbindungen von Abwasserleitungen mit Gussasphalt, um das Eindringen von Wurzeln zu verhindern).

Die veränderte Funktion der Straßen hatte also gravierende Auswirkungen auf die stadttechnischen Versorgungsnetze.

[Arnold, 1943] differenzierte in „Städtischer Tiefbau“ 1943 bei der Ausbildung des Straßenquerschnittes in Hauptstraßen und Wohnstraßen und gab die Fahrbahn- bzw. Fahrspurbreite mit Abmessungen an, die den heutigen nach StVZO nahekommen.

Gleichzeitig befasste er sich mit der Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper DIN 1998 (Ausgabe 05.41 [DIN, 1941]) und zeigt verschiedene Straßenquerschnitte.

Neuartig gegenüber den oben kurz dargelegten Grundsätzen nach [Genzmer, 1897] sind die veränderte Funktion der Straßen (Hauptstraßen, Wohnstraßen) entsprechend der Verkehrsart und Bedeutung im Stadtstraßennetz, die zurückgedrängte Bedeutung gestalterischer Grundsätze (Bebauung und Bepflanzung), die veränderte konstruktive Gestaltung der Straßenbefestigung (Teer- und Asphalt- sowie Zementbetondecken) und die neu hinzugekommene Funktion der Straße für den ruhenden Verkehr.

Die weitere Zunahme des Motorisierungsgrades sowie der hohe Anteil an Schwerlastverkehr in Hauptnetzstraßen in den letzten Jahrzehnten haben die Situation für die im Straßenkörper liegenden Versorgungsleitungen weiter verschärft. Die Fahrspurbreiten wurden weiter vergrößert und an Verkehrsknotenpunkten weitere Fahrspuren für Rechts- und Linksabbieger angeordnet, so dass Leitungen heute unter Fahrspuren liegen, welche vorher unter Geh-, Radbahnen und Grünstreifen lagen.

Tab. 1.2: Breite der Fahrbahn [Arnold, 1943] und StVZO

Abmessungen nach Arnold		Abmessungen nach StVZO in m	
Fahrzeuge	Breiten in m	Fahrzeubreite (Grundmaß)	Lichtraumbreite
gewöhnliche Fuhrwerke	1,60–1,80	1,75	2,25
Kraftwagen	1,55–2,00	2,10 (Lieferwagen)	
Lastkraftwagen	2,00–2,50	2,50	2,60 (2,50)
Autobusse	2,30–2,50	2,50	3,00 (2,75)
Heu- und Erntewagen	3,00–3,50	2,50	3,00 (2,75)
Straßenbahn	3,00–3,50		

Für die Fahrbahnbreite sind die verkehrenden Fahrzeuge maßgebend

1.2.3 Straßenbefestigung

In der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts ging man dazu über, die städtischen Straßen mit Steinpflaster zu versehen, wobei man möglichst hartes Material einsetzte (z. B. Basalt – später schlechte Erfahrung dadurch, dass die Straßen sehr glatt wurden und Kanten durch Hufschlag sich abrundeten, vielfach erfolgten Erneuerungen). Später verwendete man weichere Sorten wie Granit und Porphyr usw. und erreichte eine gleichmäßigere Abnutzung und Beibehaltung einer gewissen Rauheit. Zur Pflasterung kamen Kopfsteine (unregelmäßige Form) und Reihensteine (guter Verband des Pflasters) zum Einsatz.

In der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts baute man in zunehmendem Maße Stampf- und Gussasphaltbefestigungen. Bei Stampfasphaltstraßen wurde auf einer 15 bis 25 cm starken Betonschicht der 5 cm starke Asphaltbelag aufgebracht.

Gegen Ende des Jahrhunderts machte man auch Versuche mit Zementbetondecken. Bürgersteige erhielten Bekiesung, Ziegelflachsichten, gebrannte Tonplatten, Zementplatten, natürliche Steinplatten, Mosaikpflasterung, Gussasphalt, Stampfasphalt bzw. Asphaltplatten.

Die Entwicklung nach der Jahrhundertwende war dadurch gekennzeichnet, dass Zementbetonstraßen, Asphalt- und Teerstraßen (Asphalt, Bitumen, Teer) in zunehmendem Maße zum Einsatz kamen.

[Arnold, 1943] konnte in „Städtischer Tiefbau“ (1943) folgende Einteilung bei Fahrbahnbefestigungen vornehmen:

- Kies- und Schlackenwege,
- Steinschlagbahnen (alte Schotterbahn und Riesenschotterdecke),
- Steinpflasterbahnen,
- Kunststeinpflaster,
- Holzpflaster,
- Betonstraßen,
- Asphalt- und Teerstraßen.

Folgende Bauweisen und Eigenschaften wurden von ihm angegeben.

Kies- und Schlackenwege eignen sich nur für leichten Verkehr. Grober Kies wird in 1–15 cm Stärke auf feuchtem Untergrund aufgebracht, profilgerecht abgeglichen und abgewalzt. Günstiger sind Kies auf leichter Packlage aus 8–15 cm Stärken Steinen. Schlackenwege werden in 12–15 cm Stärke mit und ohne Unterbettung in 1–2 Schichten hergestellt.

Bei *Steinschlagbahnen* wurde zunächst die Packlage (15–25 cm) hergestellt und mit Steinschlag aus Basalt oder Granit oder anderem harten Gestein die Deckschicht gewalzt (schnelle Zerstörung durch Kraftverkehr); bei der Riesenschotterdecke wird auf festen Unterbau oder einer Packlage eine etwa 7–10 cm starke Splittlage und anschließend Riesenschotter von 9–11 cm aufgebracht und gewalzt.

Steinpflasterbahnen wurden in vielfältigster Form ausgebildet. Nach der Steinform kann unterschieden werden in Rundstein-, Spaltstein- und Kopfsteinpflaster (nur für untergeordnete Straßen und Wege sowie Landstraßenbau), nach der Anordnung der Steine in Reihen-, Schiebe- und Diagonalpflaster und nach der Steingröße in Groß-, Mittel- und Kleinpflaster.

Für *Kleinsteinpflaster* wurden Schlackenstein- und Klinkerpflaster eingesetzt, diese sind aber nur regional aufgrund des örtlich verfügbaren Materials verbreitet.

Der Betonstraßenbau erhielt durch den Autobahnbau kräftige Impulse und wurde als besonders geeignet für den Kraftverkehr erkannt (geräuschlos, blendsicher, sauber und rau, geringe Querneigung von 1–2,5% und Längsneigung = 0,5 %).

Das Merkblatt für den Bau von Betonstraßen von 1940 unterschied in vier Gruppen:

- Gruppe 1 Stark beanspruchte Straßen mit Durchgangsverkehr
- Gruppe 2 Straßen mit mittlerem Verkehr
- Gruppe 3 Wohn- und Siedlungsstraßen ohne Durchgangsverkehr
- Gruppe 4 Parkplätze und Einstellhöfe ohne Lastkraftwagenverkehr.

Die Herstellung erfolgt meist in zwei Lagen, die untere 15–18 cm, die Verschlusschicht in 5–7 cm Stärke.

Bei *Asphalt- und Teerstraßen* wurde je nach Verkehrsbelastung ein 15–25 cm starker Unterbau gewählt und darauf die Decke aufgebracht. Durch die nachfolgende und von Zeit zu Zeit zu wiederholende Oberflächenbehandlung wurde die Lebensdauer verlängert, es handelte sich um einen dünnen Überzug über vorhandene Decken. Sog. Makadamdecken bestehen aus Schichten etwa gleicher Korngröße, die Schichtstärke nimmt mit der Korngröße ab; diese beträgt etwa das 1,5–2fache des gewählten Kornes. Die Zwischenräume enthalten das Bindemittel.

Hohlraumarme Decken sind so aufgebaut, dass zwischen dem Gemisch aus verschiedenen Körnungen (Grobsplitt, Feinsplitt, Sand und Füller) möglichst wenig Hohlraum verbleibt.

Gehbahnen haben aufgrund der geringeren Belastungen und wegen der zu erwartenden Aufbrüche zur Reparatur von Versorgungsleitungen, zur Herstellung der Hausanschlüsse eine andere Befestigung wie:

- Kies- und Schlackenwege,
- Steinpflaster,
- Plattenbelag,
- fugenlose Fußwegdecken (Estriche)

Bei Steinpflaster wurde unterschieden in Großpflaster (würfelförmige Steine von 10–12 cm Kantenlänge), Kleinpflaster, Mosaikpflaster und Klinkerpflaster, wobei je nach Pflasterart eine Sandbettung bis zu 10 cm eingebracht wurde.

Als Plattenbelag kamen Steinplatten (Granit, Kalkstein, fester Sandstein und Basaltlava) und künstliche Platten (Beton, gebrannter Ton, Asphaltplatten) zur Verwendung, ebenfalls in Sand verlegt.

Fugenlose Fußwegdecken wurden als Beton oder Zementestrich bzw. Gussasphalt oder Streichasphalt ausgeführt. Bei Betondecken wurde auf einer 8–10 cm starken Betonschicht eine 2 cm starke Zementmörtelschicht unter Verwendung von scharfen Sand und Hartsteinkplittzusatz aufgebracht (u.U. auf einer 5 cm starken Sauberkeitssandschicht). Bei Guss- oder Streichasphalt wurde auf einer 8–10 cm starken Betonschicht oder 10–15 cm gewalztem Schotter unter Verwendung von etwa 2 cm stark Guss oder Streichasphalt aufgebracht.

Radwege wurden ebenso wie Gehbahnen als Kies- und Schlackenwege, Steinpflaster und Plattenbeläge hergestellt bzw. als Asphalt und Teerdecken (Beton oder Schotterunterbau und Deckschicht), Betonradwege wurden in der Regel einschichtig mit 8–10 cm Beton ausgeführt.

Straßenbefestigungen im Bereich der Straßenbahn (ohne eigenen Bahnkörper) erfolgten unter besonderer Berücksichtigung der Entwässerung. Anstelle von Packlagen wurde auch Betonunterbau verwendet. Bei Verlegung der Straßenbahn auf eigenem Bahnkörper wurde Schotter als Unterbau verwendet. Heute fahren Straßenbahnen auf einem anderen Unterbau, z. B. wie ihn die *Abb. 1.4* zeigt.

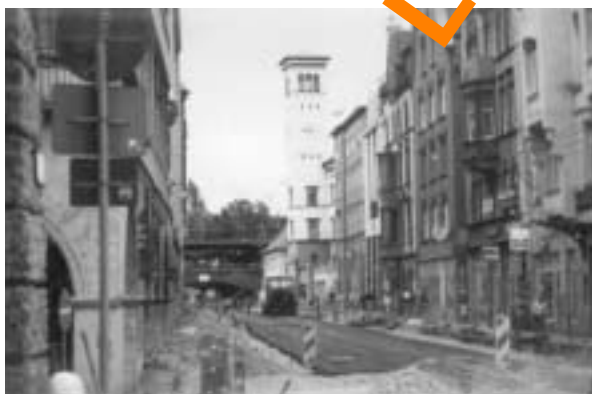


Abb. 1.4: Straßenbahn-Unterbauerneuerung / rechts nach Fertigstellung

1.2.4 Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen nach GW 125

Die Erhaltung des Baumbestandes und die Bepflanzung von Straßen, Wegen und Plätzen gehört zu den wichtigen städtebaulichen und stadthygienischen Aufgaben. Daher sollte der Lebensraum einschließlich des Wurzelbereichs von Bäumen durch den Bau von Versorgungsleitungen nicht eingeschränkt werden.

Versorgungsunternehmen und Grünflächenämter haben nach GW 125 die Pflicht, sich abzustimmen, um die Beeinträchtigung des Baumbestandes so gering wie möglich zu halten. In GW 125 heißt es [DVGW, 1989]:

Die Existenz von Bäumen kann gefährdet werden durch:

- Entfernen von Haltewurzeln, dadurch Umsturzgefahr,
- Entfernen von Feinwurzeln bei zu geringem Ab-

stand zum Stamm, dadurch Absterben als Folge von Unterversorgung,

- Pilzinfektion (kein Gegenmittel) als Folge von Stamm- und Wurzelverletzungen,
- Verfüllen der Baugrube mit pflanzenfeindlichen Stoffen und Materialien,
- Dauerdrainagewirkung beim Verfüllen der Baugrube mit ungeeigneten Materialien,
- längerfristige oder dauernde Grund- oder Schichtenwasserabsenkung,
- Verdichtung des Wurzelraumes durch Belastung der Wurzelfläche mit Materialien, Geräten oder Fahrzeugen,
- Überdeckung bzw. Eindeckung des Stammes durch Auffüllungen,
- Aufheizen des Bodens durch Fernheizungen oder hoch belastete Stromkabel,
- Austrocknung des Wurzelraumes,
- Austreten von leitungstransportierten Stoffen im Lebensbereich der Bäume,
- Beschädigung von Stamm und Krone.

Die Beurteilung der Standsicherheit von Bäumen kann durch nachträglich eingebaute Leitungen erschwert werden. Dies kann zu erhöhten Risiken für Personen und Sachen durch nicht rechtzeitig erkannte Umsturzgefahr führen. Zum Bau von Versorgungsleitungen heißt es:

Die Betriebssicherheit von uVEA (unterirdische Ver- und Entsorgungsanlagen) kann gefährdet werden durch:

- Wurzeln von Bäumen, die sowohl uVEA als auch Kabel- und Rohrumhüllungen, Muffen, Rohrverbindungen und Hydrantenentleerungen verdrängen, beschädigen oder unwirksam machen können,
- Belastungen durch Kippmomente, die von Bäumen ausgehen,
- Entwurzelungen von Bäumen bei Sturm- und Schneebruchschäden,
- Verwendung aggressiver Böden und Materialien bei Pflanzungen,
- Verwendung von Düngemitteln, die den Leitungswerkstoff, dessen Umhüllung oder die Dichtung angreifen,
- Arbeiten an Pflanzgruben oder am Wurzelwerk,
- Entzug von Feuchtigkeit aus dem Erdboden durch Bäume, der zu einer Reduzierung der Strombelastbarkeit und der Lebensdauer von Kabeln führt,
- erschwerte Überwachung des Betriebszustandes,
- erschwerte Schadensbehebung und damit längere Versorgungsunterbrechungen,
- Erhöhung der Blitzgefahr für unterirdische Versorgungsanlagen durch die Ableitfunktion der Bäume.

Während der Bauarbeiten an Versorgungsleitungen und an Straßen sind Bäume im Stammbereich zu schützen und im Wurzelbereich Abstände nach GW 125 [DVGW, 1989] einzuhalten, erforderlichenfalls Handschachtungen vorzunehmen und Leitungen in Schutzrohren zu verlegen.

Bei der Rehabilitation von Versorgungsleitungen in grabenloser Bauweise kommen wesentliche Vorteile hinsichtlich des Baumschutzes bestehender Baumpflanzungen zum Tragen. Der Wurzelbereich der Bäume wird geschont (nur im Bereich von Baugruben bei zu geringem Abstand verletzt) und Versorgungsleitungen werden nicht nachfolgend durch das Entfernen von Haltewurzeln und der Umsturzgefahr beschädigt. Ein außergewöhnliches Beispiel der Neueinordnung einer Wasserleitung im Wurzelbereich einer Baumallee ist in Kap. 3.4.11 *Steuerbarer grabenloser Vortrieb für die Erneuerung oder dem Ersatz von Rohrleitungen* – der Wurzelbereich dürfte dabei kaum geschädigt werden.

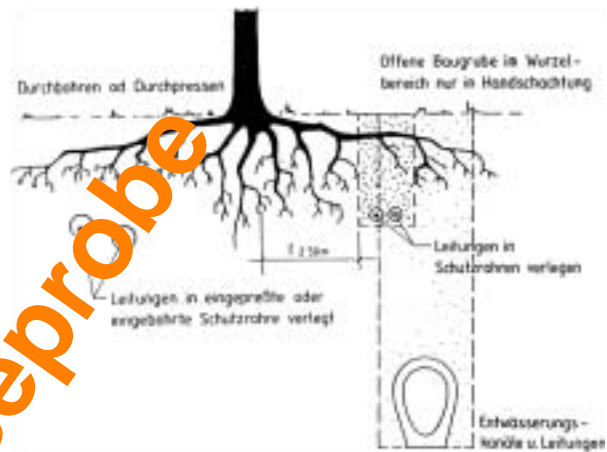


Abb. 1.5: Bau von Versorgungsleitungen im Wurzelbereich vorhandener Bäume (GW 125 [DVGW, 1989])



Abb. 1.6: Straßenerneuerung und Baumschutz



Abb. 1.7: Schädigung des Wurzelbereiches durch „konventionelle“ Neuverlegung



Abb. 1.8: Baumschutz bei Straßenbauarbeiten



Abb. 1.9: Schonung des Baumbestandes durch Neuverlegung mit steuerbarem Vortrieb unter einer Baumreihe (vgl. Kap. 3.4.11 Steuerbarer grabenloser Vortrieb für die Erneuerung oder dem Ersatz von Rohrleitungen)

1.2.5 Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich

In einer Studie des Instituts für Rohrleitungsbau Oldenburg, erarbeitet im Auftrag des Rohrleitungsverbandes, wurde festgestellt, dass die Kostenvorteile grabenloser Bauverfahren gegenüber offenen Bauweisen in Deutschland nicht ausgeschöpft werden. Der Anteil der grabenlosen Bauweisen beträgt nach [Bayer, 2004] ca. 15 % – im Vergleich zu anderen Ländern ein sehr niedriger Wert.

Die heute angewandten Sanierungs- und Erneuerungsverfahren sind ausgereifte und bewährte Alternativen zur offenen Rohrverlegung. An das Rohrmaterial ist die Anforderung zu stellen, dass durch das angewandte

Verfahren keine Schädigungen eintreten. Bei der Verlegung im offenen Graben treten im Verlauf der Liegezeit zusätzliche Belastungen ein; außerdem ist in der Straßendecke durch die Verkehrsbelastungen mit Schäden zu rechnen.

Selbst unter der Voraussetzung, dass bei der Verlegung der Leitungen die jeweilig gültigen Vorschriften und Regelwerke eingehalten werden, ist damit zu rechnen, dass sich die ursprüngliche Struktur und die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllmaterials im Laufe der Zeit durch Nachverdichtung sowie durch den Chemismus des Sickerwassers und durch Wechselwirkungen mit dem ursprünglichen Boden verändern.

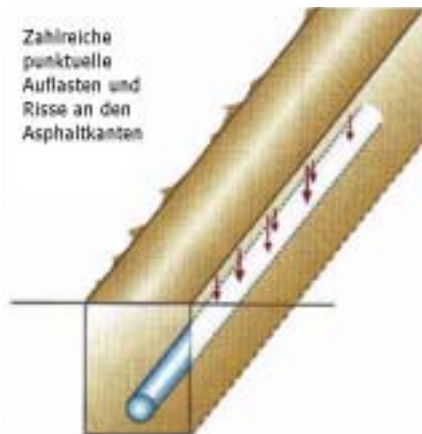


Abb. 1.10a) Offene Bauweise

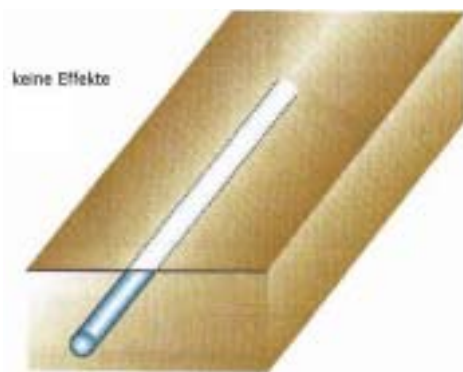


Abb. 1.10b) Grabenlose Bauweise

Abb. 1.10: Verlegewirkungen auf das Rohr nach mehreren Jahren [Rameil und Naujoks, 2006]

Nicht völlig auszuschließen ist der Einbau nicht geeigneten Materials wie Stein, Holz, Papier, Laub usw., auch Hohlräume bei der Verfüllung oder später durch Sickervorgänge und Ausspülen von feinkörnigem Material, wodurch Einsenkungen entstehen können.

Von [Rameil und Naujoks, 2006] und [Bayer, 2004] wurde die Vorteile grabenlosen Bauens dargestellt und folgende Kriterien herangezogen:

- **Geräteinsatz und Transportfahrten** (Mehrausstattung an Baumaschinen bei der offenen Bauweise. Baugruben bei der Berstmaßnahme mit minimalem Geräteinsatz; Mehraufwand der offenen Bauweise bei der Betrachtung der erforderlichen LKW-Fahrten für den Abtransport des Grabenaushubes und den Antransport des Verfüllmaterials)
- **Benötigte Bauzeit** (Beim Bersten können bei guter Vorbereitung weit mehr als 150 m Rohrerneuerung pro Tag erzielt werden; bei der offenen Bauweise ist sicher mindestens der 4- bis 5-fache Zeitaufwand erforderlich)
- **Beanspruchte Verkehrsflächen** (bei der offenen Bauweise mindestens 300 bis 400 m², bei der grabenlosen Bauweise mit dem Berstverfahren fällt nur Platzbedarf für Geräte und Material sowie Arbeitsraum an den Gruben an).
- **Faktor Lärm und Staub** (Faktor Lärm und Staubanfall der offenen Bauweise gegenüber der grabenlosen Bauweise mindestens 10:1; vielfach jedoch deutlich mehr).

- **Benötigte Baustoffmengen** (siehe dazu Tabelle; im Beispiel: Bedarfsmenge von ca. 190 m³ Sand, ca. 880 m³ Vorabsiebung, ca. 215 m³ Asphaltrecyclingmaterial sowie ca. 40 m³ Feinasphalt.; bei der grabenlosen Ausführung: ca. 35 m³ Sand, ca. 155 m³ Vorabsiebung, ca. 38 m³ Asphaltrecyclingmaterial sowie ca. 7 m³ Feinasphalt – insgesamt jeweils eine Ersparnis um ca. 80 bis 85 %)

- **Indirekte Kosten** (Verlege- oder Sanierungsmaßnahme eine Beeinträchtigung der oberirdischen Verkehrssituation dar. Insbesondere in innerstädtischen Bereichen ergeben sich Behinderungen des Verkehrsflusses oder der Geschäftstätigkeit. Hinzu kommen Lärm- und Schadstoffimmissionen. Diese Beeinträchtigungen werden zwar durch die jeweilige Baumaßnahme verursacht, sie werden jedoch dem jeweiligen Auftraggeber bzw. der Baumaßnahme nicht angelastet. Sie verursachen jedoch der Allgemeinheit Kosten oder führen zu besonderen individuellen Belastungen, die erhebliche Größenordnungen erreichen können. Zu den indirekten Kosten sind im Wesentlichen zu rechnen:

Weitere Verursacher von indirekten Kosten können z. B. sein:

- Oberflächennachfolgekosten
- Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigungen
- Kosten durch Schädigungen des Bewuchses
- Kosten durch Beeinflussung des Einzelhandels.

Weitere Verursacher von indirekten Kosten können z. B. sein:

- Lärm-, Abgas- oder Staubemissionen
- Produktivitätsverluste
- Erschütterungen.
- **Gesundheitliche Folgekosten** (Abgas- und Staubemissionen bei der offenen Bauweise führen manchmal zu gesundheitlichen Folgekosten (Gehörschäden, Atemwegserkrankungen, Stressbelastungen u. a.), die von den Krankenkassen und den Patienten getragen werden müssen).

Vergleich Bersten und offene Bauweise

[Rameil und Naujoks, 2006] betrachtete in einem Vergleich die Erneuerung einer Altrohrleitung aus Grauguss und die Neuverlegung mit dem Berstverfahren einer Kunststoffrohrleitung mit Schutzmantel D_a 110 mm und die Verlegung der Kunststoffrohrleitungen im offenen Graben. Er stellte fest, dass Aufbruch und Wiederherstellung der Oberflächen sowie Grabenverbau, Erdarbeiten und die Entsorgung von Aushub 60 bis 80 % der Gesamtkosten des Leitungsbaus bei einer Neuverlegung ausmachen.

Gegenübergestellt wurde eine Leitung im offenen Graben von 1000 m Länge in 10 Teilabschnitten, einer Grabentiefe von 1,40 m und einer Grabenbreite von 0,5 m, dem Berstverfahren. Für das Berstlining wurde vorgesehen: Jede 2. Baugrube für die Berstmaschine mit 2,5 m Länge (Bersten von dort aus in 2 Richtungen) sowie Startbaugruben mit 3,5 m Länge und Zwischenbaugruben für 4 Hausanschlüsse pro Teilstrecke mit 1,5 m Länge. Alle Baugruben sollen eine Breite von 1,5 m haben:

Folgenden Kriterien wurden für den Vergleich herangezogen:

- Geräteinsatz und Transportfahrten
- Benötigte Bauzeit
- Beanspruchte Verkehrsflächen
- Faktor Lärm und Staub
- Benötigte Baustoffmengen

Als indirekte Kosten werden genannt:

- Oberflächenfolgekosten
- Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigung
- Kosten durch Schädigung des Bewuchses
- Kosten durch Beeinflussung des Einzelhandels

Außerdem sind in Betracht zu ziehen

- Lärm-, Abgas- oder Staubemissionen
- Produktivitätsverluste
- Erschütterungen,

welche der Allgemeinheit individuelle Belastungen und Beeinträchtigungen bringen.

Vergleich HDD Bohrspülung und offene Bauweise

Eine ähnliche Betrachtung hatte zuvor [Bayer, 2004] für eine HDD-Bohrspülung im Vergleich zu der offenen Bauweise geführt.

Der Vergleich erfolgte für eine Neurohrleitung mit 1000 m Länge in offener Bauweise einer Grabentief-

von 1m und einer Grabenbreite von 0,5 m sowie 6 Baugruben von jeweils 1m×1m×0,5 m und der HDD Bohrspülung in 5 Teilabschnitt von jeweils 200 m Länge.

Folgenden Kriterien wurden für den Vergleich herangezogen:

- Geräteinsatz und Transportfahrten
- Benötigte Bauzeit
- Beanspruchte Verkehrsflächen
- Faktor Lärm und Staub
- Benötigte Baustoffmengen
- Ressourcenverbrauch
- Deponieraum

Und als indirekte Kosten werden genannt:

- Oberflächenfolgekosten
- Unterschiedliche Lebensdauer der Leitungen

Zu dem zuletzt genannten Faktor stellt er fest, dass ein in Bentonit gelagertes Rohr eine wesentlich bessere Bettung hat als ein im offenen Graben verlegtes Rohr.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen werden in Tab. 1.3. zusammengefasst.

Die mit CO₂-Belastungen einhergehenden Aushub-, Reibbau- und Verfüllarbeiten sowie Transportfahrten sind verfahrensbedingt bei den grabenlosen Bauweisen deutlich geringer als bei der offenen Bauweise. Als Praxiswert sind Reduzierungen auf 25 % bekannt.



Abb. 1.11: Straßenschäden nach Längsverlegung einer Gasleitung in einer stark befahrenen Stadtstraße

Tab. 1.3: Vergleichende Bewertung offene Bauweise und grabenlose Bauweise ([Bayer, 2004]; [Rameil und Naujoks, 2006])

Kriterien	Offener Graben / Horizontalbohrtechnik		Offener Graben / Berstlining	
		PE 110 1000 m Graben 1m tief, 0,5 m breit 6 Baugruben 1m×1m×0,5 m		Altrohr DN 100 Neurohr DN D _a 110 mit Schutz- mantel * 1000 m Graben 1,4 m tief, 0,5 m breit 6 Baugruben 1m×1m×0,5 m
Geräteinsatz und Transportfahrten	1 Großbagger, 1 Minibagger, 1 Kompressor, 1 Aufbruchhammer	50: 1	290 LKW-Fahrten a 9 m ³	50 LKW-Fahrten a 9 m ³
Bauzeit	1000 m 3 Wochen a 5 bis 6 Arbeitstage	200 m 3 Tage Pilotbohrung Aufweiten Leitungseinzug	**	150 m /Tag
			Offener Graben/ Berstlining 4 bis 5 facher Zeitaufwand	
Verkehrsfläche	bei 200 m Länge 700 bis 800 m ²	12 bis 16 m ²	300 bis 400 m ² pro Teilstrecke	ca. 10 m ² plus Fläche zum Auslegen und Ver- binden des Neurohres
Lärm und Staub	mindestens 10:1 vielfach 20 bis 50:1		mindestens 10:1	
Baustoffmengen	Sandbettung 20 cm Asphalt 8 bis 10 cm 100 m ³ Sand 450 m ³ Siebschutt 30 m ³ Recyclingasphalt 10 m ³ Feinasphalt		Sandbettung 20 cm Asphalt 15 cm Bindeschicht 8 cm 190 m ³ Sand 880 m ³ Siebschutt 215 m ³ Recyclingas- phalt 40 m ³ Feinasphalt	35 m ³ Sand 156 m ³ Siebschutt 38 m ³ Recyclingasphalt 7 m ³ Feinasphalt
Recourcenverbrauch	450 bis 500 m ³ Stein- bruchmaterial 100 m ³ Sand 100 m ³ Sand 100 m ³ Sand	Bohrtechnik 2,5 m ³ Bentonit-Ton einschl. Deckgebirgsab- trag 5 m ³		
Deponieraum	500 bis 550 m ³			

* der Fairness halber ist anzumerken, dass bei der offenen Bauweise ein kostengünstigeres konventionelles Kunststoffrohr verwendet worden wäre

** im Beispiel also 20–25 m/Tag

*** im genannten Beispiel wurden konservativ 100 m/Tag angesetzt

1.2.6 Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugräben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen

1.2.6.1 Zur Entstehung von Folgeschäden

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts wurde im städtischen Straßenbau fast ausschließlich Natursteinpflaster eingesetzt, danach kamen bituminös gebundene Straßendecken und Zementbetondecken hinzu.

In den letzten Jahrzehnten wurden gepflasterte Straßen mit Asphaltsschichten „überzogen“, so dass bei Baumaßnahmen an Versorgungsleitungen die vorherige Befestigung wieder sichtbar wird.

Seit Einführung der RStO in Deutschland ist die bewährte Variante des Straßenaufbaus eine Asphaltdeckschicht von 4 cm.

Wie oben bereits dargestellt, ist die Wiederherstellung der Straßenkonstruktion im „Urzustand“, also vor einer Rohrverlegung in offenen Gräben, bei der „konventionellen Verlegung“ bzw. im Bereich von Baugruben bei der Rehabilitation nicht möglich, da:

- Bodenmaterial im Leitungsgraben oder in Baugruben für Hausanschlüsse, Maschinen- oder Einzighruben eingebaut wird, welches nicht dem ursprünglich vorhandenen entspricht und auch trotz

sorgfältigen Einbaus auch nicht entsprechend verdichtet werden kann (zum Teil erfolgt Bodenaustausch – Einbau von Sand anstelle von gewachsenem bindigen Boden),

- Pflasterdecken nicht im alten „Spannungszustand“ wiederhergestellt werden können und Sickerwege im neu gepflasterten Bereich zu Setzungen führen,
- in den Straßendecken unterschiedliches Materialien eingesetzt werden (Unterbau und Deckschichten) und unterschiedliche Wärmedehnungskoeffizienten der nicht aufgebrochenen Straßendecke und der neu eingebauten zu Schäden führen,
- durch Sog von Fahrzeugreifen beim Überfahren neu gepflasterter Straßendecken der Sand aus den Fugen herausgesaugt wird und damit Setzungen eintreten.

Folgeschäden entstehen auch beim Einbau oder Austausch von Armaturen im Baugrubenbereich an den Straßen.

Nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. EN 805 [DIN, 2000] werden Leitungsgräben¹ unterteilt in Hauptverfüllung und Leitungszone – diese wiederum in Bettung (obere und untere Bettungsschicht²), Seitenverfüllung und Abdeckung.

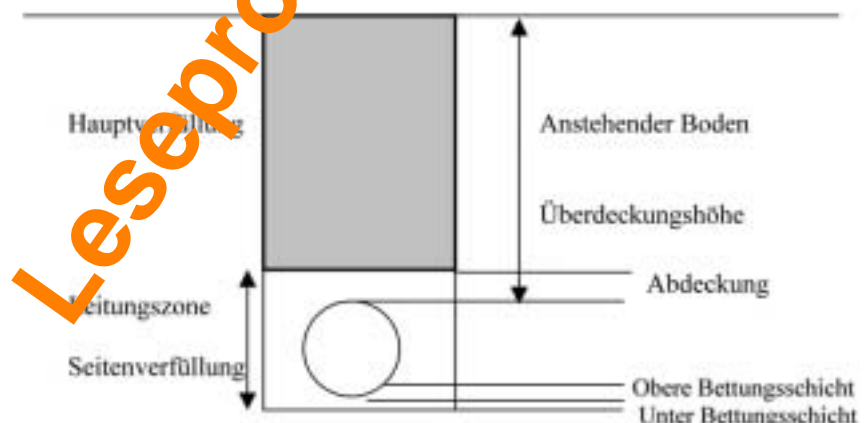


Abb. 1.12: Rohrgraben nach DIN EN 1610 [DIN, 1997b] bzw. EN 805 [DIN, 2000]

Nach DIN 4033 [DIN, 1979] darf im Bereich der Leitungszone nur steinfreier, verdichtungsfähiger Boden verwendet werden, an den gleiche Anforderungen gestellt werden wie an das Auflagermaterial.

In DIN EN 1610 [DIN, 1997b] werden an Baustoffe für die Leitungszone allgemeine Anforderungen gestellt, z. B. müssen Baustoffe eine dauerhafte Stabilität und die Lastaufnahme der Rohrleitung im Boden gewährleisten, Baustoffe dürfen den Rohrwerkstoff und das Grundwasser nicht beeinträchtigen usw.

Selbst unter der Voraussetzung, dass bei der Verlegung der Leitungen die jeweilig gültigen Vorschriften und

Regelwerke eingehalten werden, ist also damit zu rechnen, dass sich die ursprüngliche Struktur und die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllmaterials im Laufe der Zeit durch Nachverdichtung sowie durch den Chemismus des Sickerwassers und durch Wechselwirkungen mit dem ursprünglichen Boden verändern.

Nicht völlig auszuschließen ist der Einbau nicht geeigneten Materials wie Steine, Holz, Papier, Laub usw., auch Hohlräume bei der Verfüllung oder später durch Sickerwege und Ausspülen von feinkörnigem Material, wodurch Einsenkungen entstehen können (Abb. 1.13).

¹ gilt gleichermaßen für Baugruben bei der Rehabilitation von Rohrleitungen

² Bettungsschicht – bei direkter Auflagerung auf gewachsenem Boden ist dieser die untere Bettungsschicht



- a) Unzureichende Sicherung des Pflasters bei offener Grabenverlegung
- b) Unzureichende Sicherung des Pflasters bei offener Grabenverlegung
- c) Gute Sicherung des Pflasters bei grabenloser Leitungserneuerung
- d) Gute Sicherung des Pflasters bei grabenloser Leitungserneuerung
- e) Baugrube bei grabenloser Leitungserneuerung mit Verbaukasten

Abb. 1.13: Baugrubensicherung



Abb. 1.14: Straßenschäden nach kurzer Liegezeit des Pflasters



Abb. 1.15: Straßendeckenaufbau und Verfüllung beim Einbau von Armaturen



Abb. 1.16: Straßen-Neuaufbau nach Armaturenwechsel – Unzureichender Unterbau der alten Straßenkonstruktion

1.2.6.2 Vermeidung von Folgeschäden im Straßenoberbau und an der Straßendecke

Mit der Vermeidung von Schäden musste man sich bereits in den 20er-Jahren des vorigen Jahrhunderts auseinandersetzen. So ist im „Lehrbuch des Tiefbaus“ von 1922 [Esselborn, 1922] zur Unterbringung von Leitungen in Stadtstraßen nachzulesen:

„... die nach und nach im Straßenkörper städtischer Straßen untergebracht werden mussten, haben den Tiefbauämtern größerer Städte schwierige Aufgaben gestellt, die insofern mit der Pflasterfrage innig verbunden waren, als bei jeder notwendig werdenden Legung neuer Leitungen und bei jeder Veränderung bzw. Ausbesserung vorhandener Leitungen die Pflasterdecke aufgerissen werden musste, wobei erhebliche Störungen des Verkehrs entstanden und nach Verlegung bzw.

Ausbesserung der betreffenden Leitungen, sich in dem wiederhergestellten Pflaster Senkungen bildeten, die zu neuen Leitungsbrüchen Veranlassung gaben und wiederholte Ausbesserungen notwendig machten“. ...

Typisch für Pflasterdecken ist die gute Durchlässigkeit im Fugenbereich, besonders bei einer Neupflasterung, so dass im Bereich der verschlossenen Baugruben eine gute Durchsickerung erfolgen kann und feine Bodenteilchen in den Untergrund gespült werden. Dadurch treten zwangsläufig Einsenkungen auf.

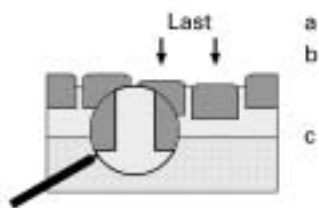
Pflasterdecken wurden im vorigen Jahrhundert vielfach mit einer Asphalt- oder Zementbetondeckschicht „eben“ gemacht. Die Deckschicht besitzt oft eine ungleichmäßige Stärke, so dass es zu Ablösung und Abtragungen kommt.



Abb. 1.17: Aufbau Pflasterdecke nach RStO

Wird im Zuge einer Tiefbaumaßnahme im Straßenbereich die vorhandene Pflasterdecke aufgerissen, geht die durch den Pflasterverband entstehende Verzahnung und Verspannung verloren und kann nicht wiederhergestellt werden. Um daraus resultierende Folgeschäden zu minimieren, ist großer Wert auf die Neuverlegung und Verfüllung des Pflasters zu legen. Die Verzahnung ist notwendig, um Verkehrslasten großflächig über die Pflasterdecke zu verteilen.

Zur Fugenverfüllung kann gebundenes (Zementmörtel, Kunstharze, Gussasphalt) oder ungebundenes Material (Brechsand, Natursand) verwendet werden. Pflasterfugen mit ungebundenem Fugenmaterial besitzen eine gute Durchlässigkeit für Oberflächenwasser. Jedoch ist auch bei gebundenen Fugenverfüllungen ein Durchsickern nicht ausgeschlossen. Besonders bei einer Neupflasterung kann im Bereich der verschlossenen Fugenrinnen eine gute Durchsickerung erfolgen, da feine Bodenteilchen werden in den Straßenoberbau gespült. Dadurch treten zwangsläufig Einsenkungen auf. Das sich in den Senkungen und Spurrillen sammelnde Wasser bildet zusätzlich eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit (Sprühfahnen und Aquaplaning).



- Aussaugen/ Ausspülen des ungebundenen Fugenmaterials
- Lasteintragung direkt in Bettung und Tragschicht
- Einrieseln des Fugenmaterials in die Bettung

Abb. 1.18: Spurrillenbildung (Nach K. Michael/T. Rost; dauerhafte Pflasterflächen-Schäden vermeiden durch optimale Verfüllung, Veröffentlichung im Internet)

Die Pflasterbettung besteht i.d.R. aus einer 3 cm starken Sand- oder Kiesschicht. Ein Verlegen in einem Bettungsmörtel ist ebenfalls möglich. Im Vergleich zu einer Sand- oder Kiesbettung ist der Bettungsmörtel

wasserundurchlässig (da Mörtel der Mörtelgruppe M III verwendet werden sollte).

Die ungebundenen Trag- und Frostschuttschichten (nicht bindig) sind im Regelfall wasserundurchlässig, damit einsickerndes Oberflächenwasser bis zum Planum gelangt und auf diesem seitlich abgeführt werden kann.

Ungebundenes Material aus Pflasterfuge und Bettung (Sand) lockert sich zusammen mit eindringendem Oberflächenwasser in die darunter liegenden, meist ungebundenen nicht bindigen Tragschichten. Auf längere Zeit kommt es so in der Tragschicht zu einer Anreicherung mit Material kleinerer Körnung und somit zu einer Änderung der Sieblinie.

Die Folgen sind eine Änderung der Wasserdurchlässigkeit und Wasseraufnahme. Dadurch kann es zur Verringerung der Tragfähigkeit und damit zu Setzungen und Frostschäden (Hebungen und Senkungen) kommen.

Pflasterdecken, in wasserundurchlässigen Bettungsmörtel gesetzt, sollten Fugenverfüllungen aus ebenfalls wasserundurchlässigem Material (entsprechender Zementmörtel oder Kunstharze) besitzen, da es sonst zu Frostschäden im Bereich der Fugen durch sich ansammelndes Wasser kommt.



Abb. 1.19: Senkungsmulde in Pflasterdecke nach Reparaturarbeiten an Trinkwasserleitungen

Straßenaufbau mit wasserundurchlässiger Fuge, Bettung und Trag- bzw. Frostschuttschicht sollte nur bei Straßen mit geringer Verkehrsbelastung nach Arbeiten an Versorgungsleitungen wieder eingesetzt werden.



Abb. 1.20: Pflaster in Sand- oder Kiesbettung mit Schotter- oder Kiestragschicht und Frostschuttschicht

Ein Verlegen des Pflasters in wasserundurchlässiger Bettung (meist Bettungsmörtel der Mörtelgruppe M III) und die Verfüllung der Fugen mit wasserundurchlässigen

Material (Sand) sollte zur Vermeidung von Frostschäden (Abplatzungen an der Pflasterdecke) vermieden werden.



Abb. 1.21: Pflaster in Bettungsmörtel mit Schotter- oder Kiestragschicht und Frostschuttschicht

Zu empfehlen ist eine Verlegung des Pflasters in einem wasserundurchlässigen Bettungsmörtel sowie die Verfüllung der Fugen mit wasserundurchlässigem Material (Zementmörtel, Kunstharz) → Starrer Verband der Pflasterdecke.

serundurchlässige Schicht (Bodenmörtel, selbstverdichtend, jedoch wieder lösbar) zu ersetzen. Das Problem einer mangelnden Verdichtung wird damit vermieden. Bei der Verwendung von Zementmörtel zur Fugenverfüllung und zur Pflasterbettung ist unbedingt die geforderte Abbindezeit einzuhalten, falls sie nicht mit entsprechenden Erstarrungsbeschleunigern verkürzt wird.

Zusätzlich ist es ratsam, den meist ungebundenen, wasserundurchlässigen Straßenoberbau durch eine was-



Abb. 1.22: Pflaster mit wasserundurchlässigen Fugen auf Bodenmörtel

1.2.6.3 Wiederherstellung von Asphaltdecken

Asphaltdeckschichten verspröden durch UV-Einstrahlung und andere Witterungseinflüsse. Die Haltbarkeit ist weiterhin abhängig vom Verdichtungsgrad und den Anforderungen und der Zusammensetzung von bituminösen Bindemittel und mineralischen Zuschlagstoffen.

Asphaltschichten können thermisch induzierte und vom Verkehr verursachte Spannungen bei sach- und fachgerechtem Einbau problemlos in die darunter liegenden Schichten weiterleiten. Asphaltdeckschichten sind i.d.R. wasserundurchlässig.



Abb. 1.23: Fahrbahnaufbau gemäß Richtlinien für die Standardisierung des Straßenoberbaus (RStO 01)

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungseigenschaften von Asphalt und Zementbeton bzw. Naturpflaster ist ein kombinierter Einbau der Baustoffe zu vermeiden. Typische Schadensbilder sind hierbei sogenannte Reflexionsrisse, welche über den Quer- und Längsdehnungsfugen der hydraulisch gebundenen Schichten in der darüberliegenden Asphaltschicht entsteht.

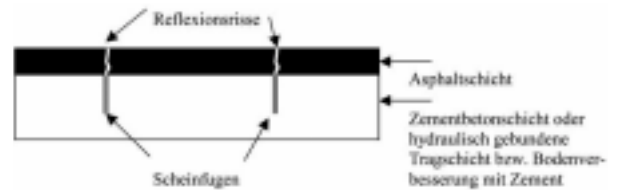


Abb. 1.24: Entstehung von Reflexionsrissen

Ein weiteres Problem bilden die Nahtstellen zwischen alter und neu eingebauter Asphaltschicht beim Wiederherstellen der Straßendecke (siehe *Abb. 1.25*).



Abb. 1.25: Einbau von bituminösem aufschmelzbarem Fugenband zur Wiederherstellung der Straßendecke nach Armaturenwechsel

Um einen wasserundurchlässigen Verbund zwischen alter und neuer Asphaltschicht zu gewährleisten, werden die Fugen mit aufschmelzbarem Fugenband verklebt. Unsachgemäße Ausführung führt zu einer mangelhaften Verklebung der alten und neuen Asphaltschicht. Bei unsachgemäßer Ausführung sind die Fugen wasser-

durchlässig und es besteht die Gefahr von Frostschäden und Tragfähigkeitsverlusten.

Müssen nach Tiefbauarbeiten an Versorgungsleitungen die Kopflöcher wieder verfüllt und mit einer Asphaltdeckschicht versehen werden, so ist es ratsam, statt Walzasphalt selbstverdichtenden und selbstnivellierenden Gussasphalt zu verwenden.

Oftmals werden ältere Pflasterdecken mit einer dünnen Asphaltdeckschicht überzogen, um kleinere Löcher und Unebenheiten auszugleichen. Bei entsprechender Verkehrsbelastung sind Reflexionsrisse und Brüche in der zusätzlich zu dünnen Asphaltdeckschicht vorprogrammiert.

Die Abb. 1.26 zeigt die Entstehung von Folgeschäden infolge undichter Nahtstellen. Durch die unsachgemäße Herstellung der Nahtstellen kommt es durch einsickern des Oberflächenwasser zu Senkungen und zur Verringerung der Tragfähigkeit an der Flickstelle im Straßenoberbau (Abb. 1.27).

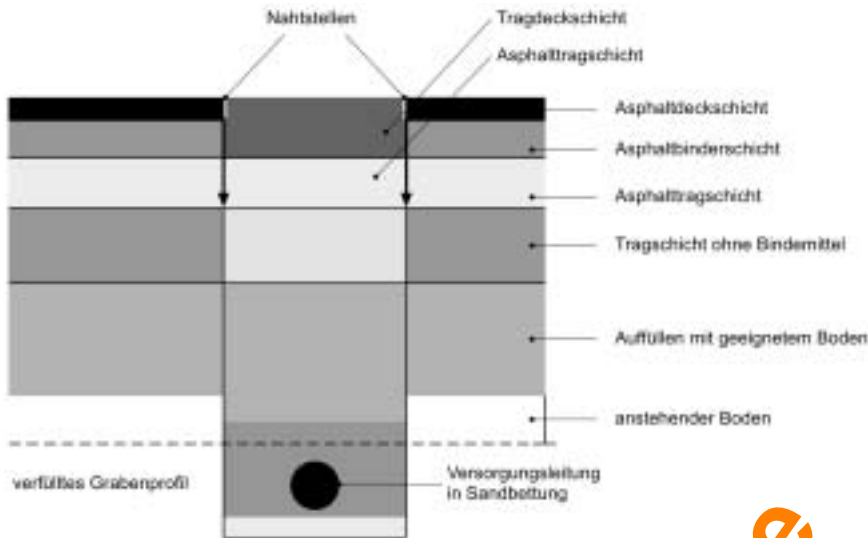


Abb. 1.26: Straßenoberbauprofil in verfülltem Leitungsgraben mit einsickern dem Oberflächenwasser



Abb. 1.27: „Flickstelle“ nach Austausch eines Hydranten

1.2.6. Wiederherstellung von Zementbetondecken

Da Zementbetondecken thermisch induzierte Spannungen nicht schadlos abbauen können, ist es erforderlich, in bestimmten Abständen Quer- und Längsfugen, sogenannte Dehnungsfugen, anzuordnen. Auch bei hydraulisch gebundenen Tragschichten bzw. Bodenverbesserungen oder -verfestigungen sind Dehnungsfugen anzuordnen, um die unkontrollierte Ausbreitung von Spannungsrissen zu vermeiden.

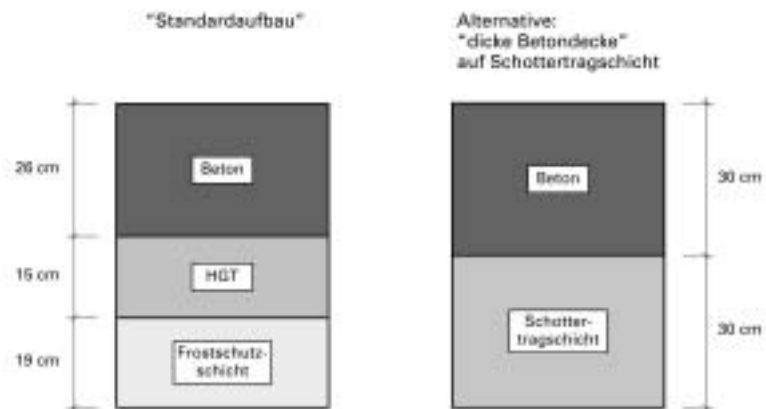


Abb. 1.28: Standardisierte Betonbauweise: Standardaufbau und als Alternative die „dicke Betondecke“ auf Schottertragschicht

Aufgrabungen in Zementbetondecken sind am einfachsten wieder mit Zementbeton fließfähiger Konsistenz zu verfüllen. Zusätzliche Verdichtungsarbeiten werden gespart, gleichzeitig nivelliert sich der Frischbeton von selbst ein. Bei Zugabe von Erstarrungsbeschleunigern kann die geforderte Abbindzeit von 28 Tagen (besonders bei Trasszementen) unterschritten werden und die verfüllten Flächen können entsprechend schneller für den Verkehr freigegeben werden.

Ein Ausfüllen der Aufgrabungen im Deckenbereich mit Asphaltbeton ist nicht ratsam, da hier keine ausreichende Verklebung an den Nahtstellen erreicht werden kann (unterschiedliche Materialeigenschaften und Wärmeausdehnungskoeffizienten).

Setzungsrisse lassen sich vermeiden, indem im Bereich der Wiederauffüllung von Baugruben und -gräben dasselbe anstehende Bodenmaterial wieder verwendet wird (falls entsprechend tragfähig).

Spannungsrisse in Zementbeton- und Asphaltdecken entstehen bei fehlenden Dehnungsfugen – siehe dazu *Abb. 1.30* – verursacht durch Temperaturschwankungen (linkes Bild, Zementbetondecke) und geringer Querschnittsfläche der Straßendecke (rechtes Bild, Asphaltdeckschicht)

Gefordert wird die Schein- bzw. Dehnungsfugenausbildung nach ZTV Beton-StB. Werden Gruben und Gräben in bindiger Umgebung mit nicht bindigem Material verfüllt, so sind ungleichmäßige Hebungen und Setzungen durch die unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit zu erwarten. Da bindiges, aber auch nicht bindiges Material oftmals nicht ausreichend verdichtet werden kann, bietet die Verfüllung mit **Bodenmörtel** eine dauerhaft haltbare Alternative (siehe *Abb. 1.31* und *Abb. 1.32*).

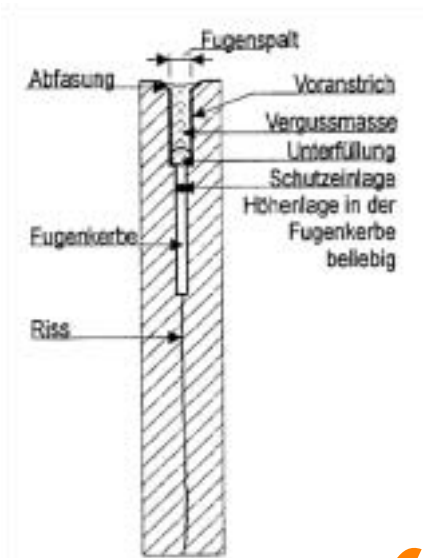


Abb. 1.29: Fugenausbildung



Abb. 1.30: Beispiele schlecht ausgeführter „Straßenreparatur“

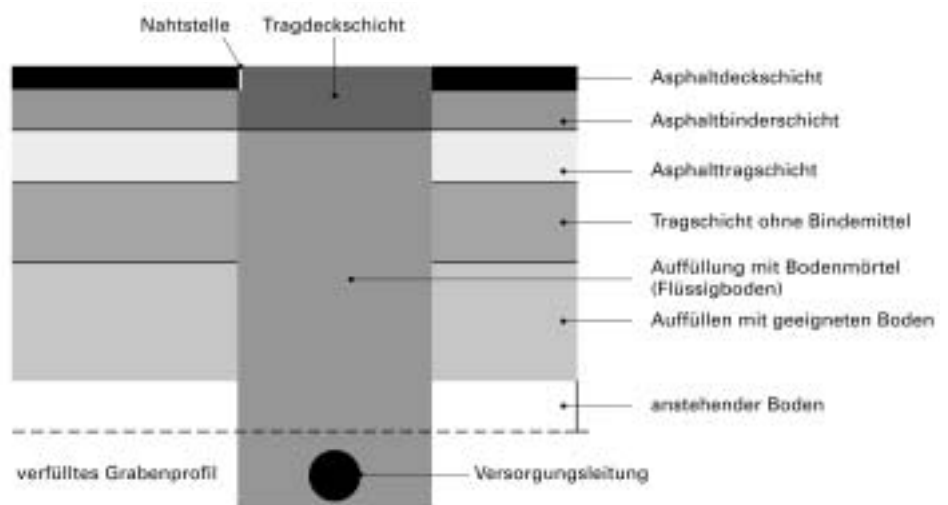


Abb. 1.31: Einbau von Bodenmörtel

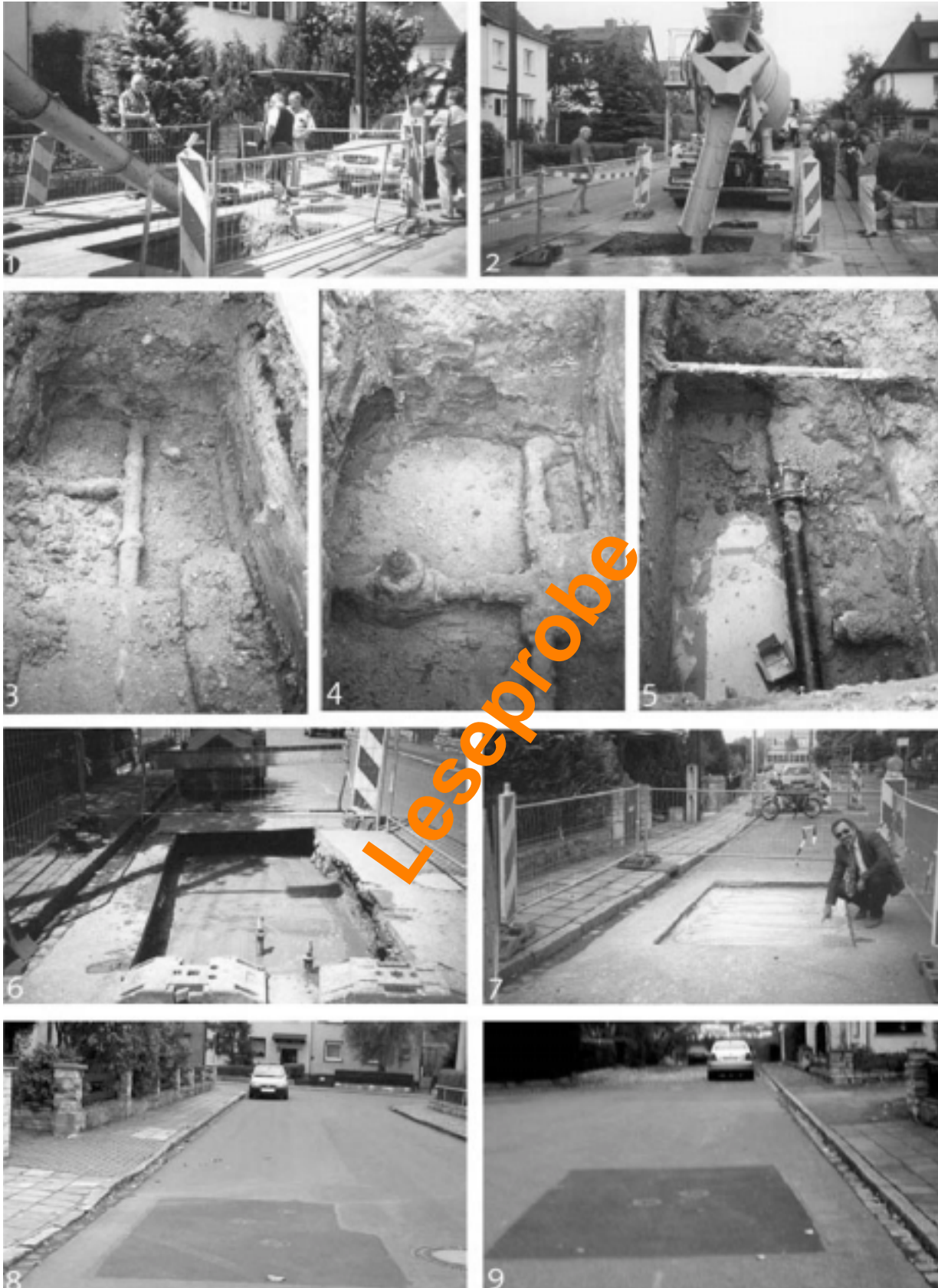


Abb. 1.32: Einbau von Bodenmörtel bei Armaturenwechsel nach Wiederherstellung der Straßendecke

2 Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher

2.1 Ziele der Rehabilitation

2.1.1 Rehabilitation als Daueraufgabe

Nach dem Ausbau der technischen Versorgungssysteme im 20. Jahrhundert müssen sich die Versorgungsunternehmen in diesem Jahrhundert in verstärktem Maße der **Instandhaltung** ihrer Rohrnetze und Bauwerke zuwenden, Rohrleitungen sanieren oder erneuern und aufgetretene funktionale Mängel beseitigen.

Die Rehabilitation der Versorgungsnetze ist eine Daueraufgabe der Versorgungsunternehmen. Durch die Sanierung von Rohrleitungen oder von Rohrnetzen kann der Zeitpunkt der Erneuerung verschoben werden.

Jedes Versorgungsunternehmen steht aufgrund des „Erbes aus der Vergangenheit“ früher oder später vor der **Entscheidung: Sanieren oder Erneuern?**

Wasserversorgung

Die Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrleitungen erfolgt gegenwärtig hauptsächlich nach dem Kriterium Schadenshäufigkeit, welches als von vielen Versorgungsunternehmen als signifikant für den Zustand des Leitungssystems angesehen wird. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Alter einer Leitung kein Kriterium für den Zustand einer Rohrleitung ist, sondern dass bei z. B. metallischen Leitungen Herstellungsvorgang, Korrosionsschutz u.a. Faktoren maßgebend sind und zu Schäden führen. Eingeführt wurden deshalb Zustandsuntersuchungen zur Bestimmung der Restnutzungsdauer älterer Rohrleitungen.

Von zunehmender Bedeutung ist der Faktor Wasserqualität.

Die Mehrheit der Verbraucher beurteilt die **Wassergüte** nach den Kriterien Geschmack, Farbe und Trübung. Der Zustand der Rohrleitungen und Hausanschlüsse hat beträchtliche Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität, vor allem Wassertrübungen werden von Kunden beanstandet.

Trübes oder braunes Wasser ist immer auf den Gehalt an gelösten Eisen- und Manganverbindungen zurückzuführen (ausgehend von der Wassergewinnung oder bei Veränderung der Wassergüteparameter auch Rücklösung oder bei wechselnder Fließrichtung Aufwirbelung von Ablagerungen).

Zu entscheiden ist, ob Netzspülungen noch ausreichend sind oder eine Leitungsstrecke saniert werden kann bzw. erneuert werden muss. Als Verfahren der Spülung werden heute eingesetzt:

- Wasserspülung (Reinigungseffekt beruht auf der Mobilisierung von Ablagerungen infolge der Erhöhung der Fließgeschwindigkeit),
- Saugspülung (Ansaugen von Wasser aus dem Hydranten mit Unterdruck),
- Luft-/Wasserspülung (Wasser und Luft kommen zum Einsatz; über einen Hydranten wird mit Hilfe eines Kompressors Luft in die zu spülende Leitung eingeleitet),
- Luft-/Wasser-Impulsspülung (basiert auf dem Prinzip der Luft-/Wasserspülung; in der Leitung Blasen definierter Abmessung erzeugt werden),
- Eiszügelspülung (Spülung mit Wasser, Luft und Eiszügel, durch Turbulenzen der Eiszügel wird mechanische Reibung erzeugt).

Gas

Gas wird in zunehmenden Maße für die Wohnungsbeheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Allerdings beeinflusst die Nutzung anderer Energieträger bzw. Wärmequellen (Öl, Holz, Geothermie, Solarenergie, Wärmerückgewinnung aus Abwasser, Windkraft usw.) den Gaseinsatz.

Der gravierendste Aspekt war in den 80er- und 90er-Jahren die Umstellung von Stadt- auf Erdgas und erforderte in der 1. Phase die Dichtung alter Graugussleitungen (Graugussprogramm). In der nachfolgenden Phase gewann die Leitungssanierung mit Gewebeschläuchen bzw. die Leitungserneuerung in offener Bauweise (oft gemeinsam mit parallel liegenden Wasserleitungen) oder in geschlossenen Bauweisen die größere Bedeutung

Abwasser

Auf dem Gebiet der Abwasserableitung stand in den letzten Jahren zunächst der Anschluss in städtischen Randgemeinden bzw. ländlichen Gebieten im Vordergrund.

Straßenkanäle und Hausanschlussleitungen weisen jedoch zahlreiche Schäden auf, so dass deren Sanierung bzw. Erneuerung auf der Tagesordnung steht. Für diese steht eine große Anzahl von Verfahren sowohl der Sanierung als auch der Erneuerung zur Verfügung. Hervorgehoben wird bei Schadensbehebungen insbesondere die Gefahr der Versickerung von Abwasser in das Grundwasser.

2.1.2 Technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer

Die technische Nutzungsdauer und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer aller Rohrmaterialien ist begrenzt und von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Sie kann durch rechtzeitige Sanierungsmaßnahmen verlängert werden, z. B. durch Zementmörtelauskleidung.

Einflussfaktoren, welche die **Nutzungsdauer** von Materialien beeinflussen, sind z. B.:

- physische Veränderungen der Materialien aufgrund ihres Alters (Korrosion, Graphitierung Zeitstandsverhalten usw.),
- neue oder veränderte Anforderungen an die Rohrnetze und Bauwerke,
- äußere Einflüsse wie Verkehrsbelastungen, Boden- und Grundwasserverhältnisse,
- neue Entwicklungen von Rohrmaterialien und Auskleidungen bzw. Beschichtungen,
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse (z. B. in der Wasserversorgung Wechselwirkung der Rohrmaterialien mit dem transportierten Wasser oder Verhalten von Rohrmaterialien im Abwassernetz hinsichtlich von Schadstoffen usw.).

Die **Zustandsbeurteilung** von in Betrieb befindlichen Druckrohrleitungen ist in der Regel nur bei Aufgrabungen infolge von Schäden oder bei Arbeiten im unterirdischen Bauraum möglich. Die Quantifizierung der inneren und äußeren Einflüsse, denen die Leitungen unterliegen und die auf Dauer ihren Zustand verschlechtern, ist nur schwer möglich.

In den letzten Jahren wurden Verfahren der Zustandsbeurteilung für metallische Wasserrohrleitungen entwickelt, mit denen anhand von bei Schadensfällen, Arterenaustausch usw. geborgener Rohrstücke der Zustand von Rohrleitungsstrecken beurteilt werden kann [.....].

Eine Kamerabefahrung wie bei Abwasserleitungen ist hygienischen Gründen in der Regel nicht möglich (Ausnahme großdimensionierte stillgelegter Leitungen).

Die Zustandsbeurteilung von Abwasserleitungen ist durch Kamerabefahrung einschließlich von Hausanschlussleitungen möglich. Allerdings ist dazu einschränkend festzustellen, dass zwar Risse, Versätze, Wurzeleinwüchse usw. festgestellt und beurteilt werden können, jedoch keine Aussagen über die „Reststatik“ und das Zusammenwirken von Boden und Rohr möglich sind.

2.1.3 Ursachen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen

Als Ursachen von Schäden von Wasserrohrleitungen sind nach [Roscher et al., 2000] neben den Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen:

- Rohrmaterialalterung und -ermüdung (Graphitierung bei Graugussleitungen, unzureichende Zeitstandsfestigkeit bei älteren Kunststoffrohren),
- Einsatz ungeeigneter Materialien oder solche schlechter Qualität,

- unzureichender Außen- und Innenschutz metallischer Rohrmaterialien gegen Korrosion in der Vergangenheit sowie Korrosionserscheinungen durch Fremd- und Streuströme von elektrischen Bahnen und Stahlbetonfundamenten in heutiger Zeit,
- das Bruchverhalten bei mechanischen Belastungen einschließlich der Kerbwirkung bei Kunststoffrohrleitungen bzw. Beschichtungen bei metallischen Rohrleitungen,
- Wasserqualität und Wasserqualitätsänderungen (Grundwasser – Talsperrenwasser),
- wechselnde Druckverhältnisse in Tag- und Nachtstunden oder Neuuzuordnung von Netzteilen zu Druckzonen,
- Boden- und Grundwasserverhältnisse,
- Verkehrserschütterungen, Bergbaufolgeerscheinungen (Setzungen),
- Beschädigungen durch Dritte (Verkehrsbau und Versorgungsleitungsbau direkt oder indirekt durch Belastungen, Setzungen, Arbeiten an anderen Versorgungssystemen).

Im Sinne der Instandhaltung einer Betrachtungseinheit nach Unterbreiten eines bestimmten (festzulegenden) Grenzwertes des **Abnutzungsvorrats**, der eine im Hinblick auf die Verwendung unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit (siehe Tab. 2.1).

Schäden am Wasserversorgungsnetz nach W 401 (Entscheidungshilfen für die Rehabilitation [DVGW, 1997]) und W 395 (Schadensstatistik [DVGW, 1998]) sind bedingt durch:

- Korrosion (Flächen-, Mulden- und Lochkorrosion)
- Querbrüche,
- Längsrisse,
- Schalenbrüche,
- Schäden an Rohrverbindungen (Muffenaustriebe, Risse),
bedingen
- Inkrustation (Verminderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit).

Die erstgenannten Schadensgruppen führen zu Wasserverlusten, wobei Flächen- und Muldenkorrosion die Vorstufen der Lochkorrosion sind und erst die letztgenannte Stufe zu Wasserverlusten führt.

Typische Rohrschäden metallischer Rohrleitungen sind Korrosionserscheinungen, einschließlich der Graphitierung als besonderer Form der Korrosion sowie Brüche (Längs- und Querrisse sowie Schalenbrüche); **typische Rohrschäden an Kunststoffrohrleitungen** sind Ermüdungserscheinungen und Kerbverhalten bei Kunststoffrohren.

Metallische Rohrleitungen werden deshalb heute werkseitig innen und außen zuverlässig gegen Korrosion geschützt, daher gewinnt der Korrosionsschutz auf der Baustelle zum Erreichen einer langen technischen Nutzungsdauer eine zunehmende Bedeutung. Einzusetzen sind werkseitig und auf der Baustelle Materialien mit einer geringen Permeabilität für Sauerstoff und Wasser und hohem elektrischen Widerstand.

Kunststoffrohre aus der ersten Verlegeperiode hatten eine geringe Zeitstandsfestigkeit und wurden z.T. in steinigem Boden verlegt, wodurch Kerben und Schäden entstanden. Aufgrund vorliegender Erfahrungen werden Kunststoffrohre mit einer hohen Zeitstandsfestigkeit eingesetzt und bei Erfordernis mit zusätzlichem Außenschutz verlegt.

Eine entscheidende Weiterentwicklung bei Kunststoffrohren sind die sog. Mehrschichtrohre (Schutzmantelrohre, Rohre mit innenliegender Alu-Schicht als Diffusionssperre) und Rohre mit integriertem Kupferdraht zur Ortung von auftretenden Schäden.

Die **Wirkungen der Rohrschäden** sind unterschiedlich. Neben den Schäden durch Wasserverluste und Reparaturarbeiten für die Wasserversorgungsunternehmen treten auch Folgeschäden auf, wie Versorgungsausfälle und Behinderungen für die Anlieger, Verkehrsumleitungen, Setzungserscheinungen und mögliche Folgen für benachbarte Leitungen. Diese sogenannten **sozialen Kosten** sind schwer erfassbar, werden nicht von den Wasserversorgungsunternehmen getragen, sondern von Anliegern, Straßenbenutzern – also von der Gesellschaft insgesamt.

Sie führen in jedem Fall zu Imageverlusten der Wasserversorgungsunternehmen.

2.1.4 Ursachen von Schäden an Gasrohrnetzen

Als Ursachen von Schäden an Gasrohrleitungen sind ähnlich wie in der Wasserversorgung die Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Gasrohrleitungen mit einer geringeren Überdeckung (0,8 bis 1,0 m) verlegt wurden als Wasserrohrleitungen (ca. 1,5 m in Abhängigkeit von Frosttiefe) und sind dadurch Belastungen durch den zunehmenden Straßenverkehr mehr ausgesetzt als bei Wasserrohrleitungen.

Der Bau benachbarter Leitungen in größerer Tiefenlage als der Gasleitungen (Wasser- und Abwasserleitungen) kann bei zu kleinem Trassenabstand die Bettungsbedingungen der Gasleitungen negativ beeinflussen.

Weiterhin hat die Umstellung von „nassem“ Stadtgas auf „trockenes“ Erdgas Dichtungsmaßnahmen an den Muffenverbindungen erforderlich gemacht.

Damit kommen zu einigen bereits bei der Wasserversorgung aufgezählten Faktoren folgende hinzu:

- Undichte Muffen (Abdichtungen innen),
- Bruchgefahr von Graugussleitungen kleiner Nennweiten,
- nachträgliche Tiefbaumaßnahmen im Umfeld der Leitungstrasse.

Die Schadensrate wird aus einer möglichst detaillierten Schadensstatistik (G 465/1) leitungsgruppen- und netzbezogen abgeleitet. Die Häufigkeit von Schäden an Leitungen, Armaturen, Hausanschlüssen sollte gemäß werkstoff- und unternehmensspezifischen Richtwerten bewertet werden.

Der Netzzustand ist nach G 401 S. 11/12 wie folgt zu beurteilen [DVGW, 1999b]:

„Der Netzzustand wird durch die Ermittlung von Schäden und Schwachstellen charakterisiert. Er muß durch das Unternehmen auch unter dem Gesichtspunkt der Funktionstüchtigkeit und der Vermeidung der Gefährdung anderer Anlagen bewertet werden. Die Zustandsbeurteilung der Verteilungsanlagen muß insbesondere nachstehende Punkte berücksichtigen:

- Schwachstellen bei Verbindungen (z. B. Stemmuffen)
- Schadhafte Rohrumhüllung
- Außenkorrosion
- Ablagerungen
- Bruchanfälligkei
- Kapazitätsengpässe“

Im Gegensatz zur Wasserversorgung können Rohrschäden am Gasversorgungsnetz außer den Leckageverlusten mit wirtschaftlichen Folgen insbesondere Havarien (Gasunfälle wie Vergiftungen, Explosionen mit Personen- und Sachschäden) nach sich ziehen, sind also in der Regel folgenschwerer als Leckageverluste der Wasserversorgungsnetze.

2.1.5 Ursachen von Schäden an Abwassernetzen

Nach ATV-DVWK-M 143-1 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden“ (August 2004) [ATV-DVWK, 2004a] sind Schäden an Abwassernetzen:

- Undichtigkeiten,
- Abflusshindernisse,
- Lageabweichungen,
- mechanischer Verschleiß,
- Korrosion,
- Verformung,
- Risse, Rohrbruch, Einsturz.

Die Schadensfolgen sind sowohl **Exfiltrationen** als auch **Infiltrationen** aus bzw. in das Kanalnetz. Die erstgenannte Folge führt zu Boden- und Grundwasserkontaminationen, u. U. zu Ausspülungen und Boden-setzungen, die Infiltration in das Kanalnetz führt zu höheren hydraulischen Belastungen des Kanalnetzes als auch der Kläranlagen verbunden mit einer Verminderung der Reinigungsleistung (Der Zufluss von 1 l/s entspricht einer Jahresbelastung von 31560 m³).

Die **Ursachen von Schäden von Abwasserleitungen** sind außer den Eigenschaften der in der Vergangenheit eingesetzten Rohrwerkstoffe, Rohrverbindungen und Umhüllungen zu nennen:

- Undichtigkeiten von Rohren (Risse oder Brüche) und Rohrverbindungen mit der Folge von Exfiltration und damit Schadstoffeintrag ins Grundwasser und in den Boden,
- Abflusshindernisse (Ablagerung, Inkrustation, einragende Hindernisse, Wurzeleinwuchs) und den Schadensfolgen Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, Verstopfungen, höherer Wartungsaufwand,

3 Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrnetzen

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Chem.-Ing. J. Ahrens, Dr. rer. nat. S. Rödiger,
Dr.-Ing. H.-C. Sorge

3.1 Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften)

3.1.1 Zur Entwicklung der Rohrleitungs- technik

Die „Rohrleitungstechnik“ ist mindestens 6000 Jahre alt, wie Funde aus dem Euphratgebiet bezeugen. Genaue Kenntnisse über die Herstellung und Verwendung von Rohren liegen aus der Römerzeit vor, wo man sowohl gegossene Rohre als auch aus Metallblechen ge-

bogene und verlötete Bleirohre verwendete. Die *Abb. 3.1* zeigt Bleirohrleitungen aus Pompeji; innerhalb der Gebäude wurden Bleirohrleitungen auch unter Putz verlegt.



Abb. 3.1: Pompeji – Bleirohre und Castellum aquae an der Porta vesuvio

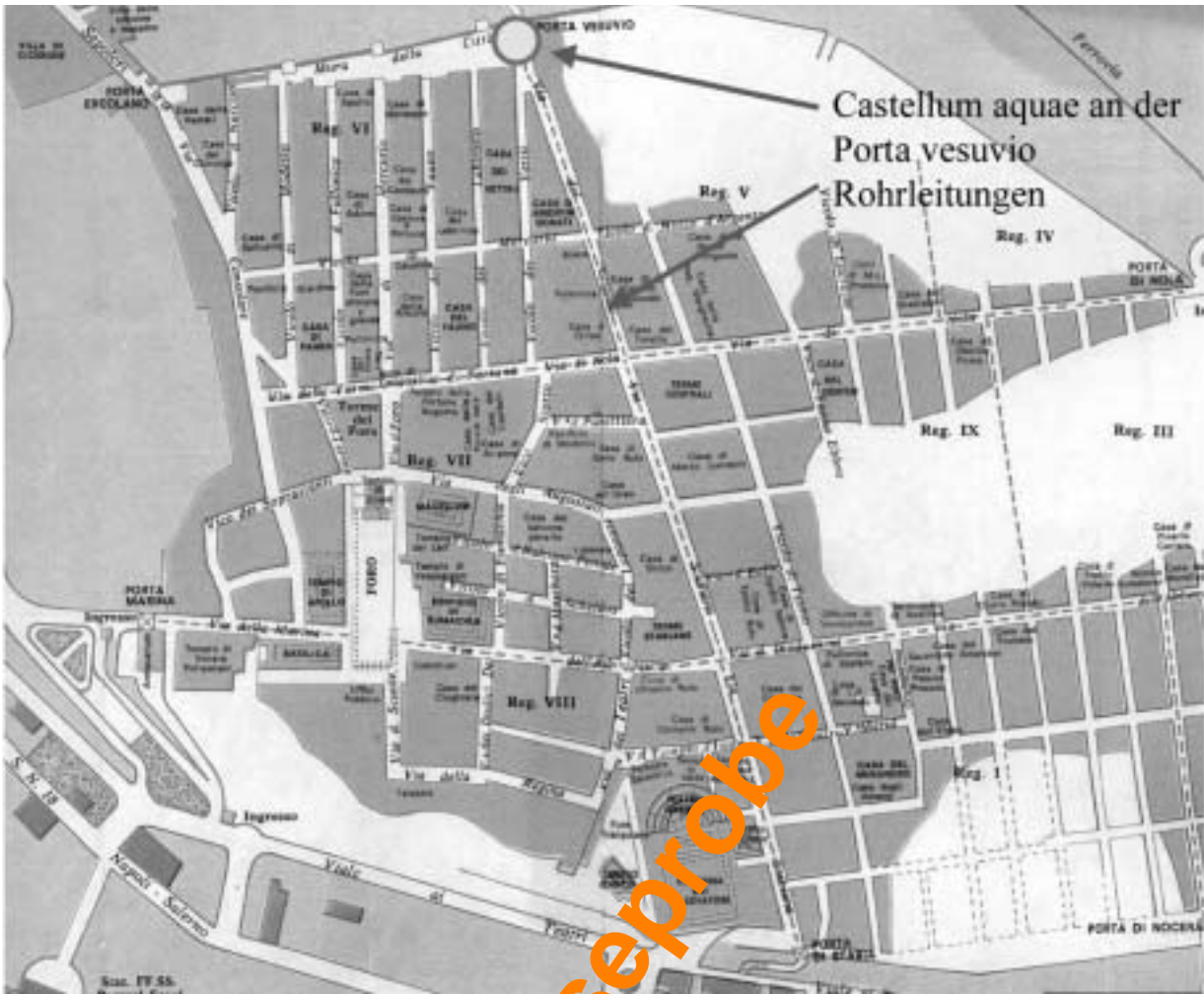


Abb. 3.2: Pompeji – Wasserverteilungssystem [Nappo 1978], Ergänzungen zur Wasserversorgung durch Verfasser

In der Hafenstadt Roms Ostia am heute verlandeten Ufer des Tibers sind die in *Abb. 3.3* gezeigten Toilettenanlagen mit einer Schwemmkanalisation zu finden. In den weiteren *Abb. 3.4* von Rom ist das Stadtmodell mit den Aquädukten und ein instand gesetztes Teilstück eines Aquäduktes zu sehen.

Aquädukte römischer Wasserversorgungen sind in allen Mittelmeerländern, welche von den Römern besetzt waren (Frankreich, Spanien, Portugal, Nordafrika usw.), zu finden, aber auch in Deutschland für die Wasserversorgung von Köln (Colonia) die sogenannte Eifelleitung mit einer Länge von 100 km.



Abb. 3.3: Rom – Ostia: Toilettenanlagen



Abb. 3.4: Rom – Aquädukt a) Stadtmodell b) Reste eines Aquäduktes

3.1.1.1 Holzrohrleitungen für die mittelalterliche Wasserversorgung

(Textauszug aus [Roscher, 1999], Abschnitt 3.1)

Die frühmittelalterlichen Städte entstanden hauptsächlich an Flüssen, also auf wasserführenden Schichten. Bei nicht ausreichendem Wasservorkommen wurde es in künstlich angelegten Wasserläufen in die Städte geleitet und ggf. mittels eines die Straßen durchziehenden Grabensystems auf das Stadtgebiet verteilt.

Die immer dichter werdende Besiedlung innerhalb der Stadtmauern erforderte eine ständig wachsende Anzahl von **Grundwasserbrunnen**, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft von Kloaken befanden. Verheerende Seuchen waren die Folge, denen erst durch medizinische Erkenntnisse am Ende des 19. Jahrhunderts und den Fortschritten der Wasserversorgungstechnik Einhalt geboten werden konnte.

Im 12. und 13. Jahrhundert erfolgten zahlreiche Stadtgründungen und bestehende Städte erweiterten sich. Die Weiterentwicklung der **Wasserversorgungstechnik** ermöglichte Wasserbauvorhaben wie **Wasserhebeanlagen** und **Röhrwasserleitungen** auszuführen. Voraussetzung dafür war ein hochentwickeltes Handwerk, welches in der Lage war, sog. Wasserkünste zu bauen und Holzröhren zu bohren. Erfindungen dieser Zeit wie der Eisenguss (14. Jahrhundert) blieben aufgrund der hohen Herstellungskosten auf einige Schlossanlagen beschränkt.

Die Bedeutung der Röhrwasserversorgung nahm zwar seit dem Mittelalter ständig zu, da sie aber betriebsunsicher war und durch Zerstörungen außerhalb der Stadtmauern unterbrochen werden konnte, wurden die Grundwasserbrunnen nicht beseitigt.

Für die Röhrwasserversorgungen wurden hauptsächlich **gebohrte Holzröhren** verwendet, die jedoch eine begrenzte Lebensdauer besaßen. Stand kein ausreichendes Druckgefälle zur Verfügung, so musste es mittels Wasserkünsten geschaffen werden. Als **Wasserkünste** bezeichnete man verschiedenartige Wasserhebemaschinen einschließlich der Gebäude, in denen sie untergebracht waren (in Thüringen Altenburg, Arnstadt, Nordhausen und Gera).

Technisch sind zwei Grundarten zu unterscheiden, entweder sind an einem Mühlrad, das vom Fluss angetrie-

ben wird, Schöpfgefäße befestigt, die sich selbsttätig in einen Behälter entleeren, oder es wurde mittels einer Pumpe das Wasser auf die erforderliche Höhe gedrückt, ggf. auch mehrfach.

Der Bau der Wasserkünste ist durch den Bergbau stark beeinflusst worden, denn bereits G. Agricola beschrieb die Einrichtungen für das Berg- und Hüttenwesen. Zwei der bekanntesten Wasserkünste sind die „Rote Kunst“ in Leuzing und das „Blausternwerk“ in Nürnberg. Die Künste stangen wurden über waagerechte Kipphebel und lange Gestänge von der Kurbelwelle aus angetrieben; das etwa 1450 gebaute Brunnenwerk „Bei den sieben Kindern“ in Augsburg arbeitete dagegen mit übereinander angeordneten Schrauben.

Druckrohrleitungen wurden aus Nadel- und Laubholz (Kiefern-, Fichten-, Lärchen-, Buchen- und Erlenholz) hergestellt. Das im Winter geschlagene Rohholz wurde entrindet und in 2 bis 4 m lange Rohrstücke zersägt. Die Röhrenherstellung erfolgte an Handbohrstühlen folgendermaßen: „Mit kleinen Handbohrern wurde vorgebohrt, damit der einbohrige Röhrenbohrer fassen konnte. Dieser wurde 5 bis 8 mal herumgedreht, dann zog man den Span heraus. Das musste solange wiederholt werden, bis die Hälfte der Rohrlänge ausgebohrt war. Die fertigen Röhren verstopfte man mit Heu oder Gras, um ein Reißen zu vermeiden“. Nach dem ersten Bohrgang folgten weitere, nach der Anzahl der Bohrgänge wurden die Innendurchmesser als ein- bis fünfbohrig unterschieden.

Innerhalb der Städte wurden die Leitungen im Allgemeinen in nur geringer Tiefenlage im Straßenquerschnitt verlegt, da die Rohrleitungen oft auszuwechseln waren. Die Gebrauchsdauer der Leitungen betrug 10 bis 30 Jahre und wurde neben der Verlegetiefe (Leitungszerstörung durch Frost) insbesondere durch den umgebenden Boden bestimmt (in Sandboden kürzere Lebensdauer). Die Wasserverluste hingen von der Bodenart und Feuchtigkeit, von der Leitungslänge, von der Art der Rohrstöße, vom Alter und der Verschmutzung der Leitungen ab (Begrenzung der Leitungslänge 5–6 km durch Wasserverluste). Die Leitungen mussten oft gereinigt werden, da durch die geringe Fließgeschwindigkeit sich Stoffe ablagerten; hierzu musste man Rohre herausnehmen und reinigte z. T. mit aneinandergebundenen Haselruten und einer Kratzbürste.

Die *Abb. 3.5* und *Abb. 3.6* zeigen einen Ausschnitt aus einer Karte von Weimar (Fotos und Bergungshilfe durch den Verfasser) mit Eintragung von Leitungen und 1999 bei Straßenbauarbeiten in Weimar (Am Graben) freigelegte Holzrohrleitungen.



Weimar, Blaufußplan (Ausschnitt)

Abb. 3.5: Kartenausschnitt mit Trassen der mittelalterlichen Wasserversorgung mit Holzrohrleitungen in Weimar [Roscher, 1999]



Abb. 3.6: Bergung von Holzrohrleitungen in der Innenstadt von Weimar 1999



Abb. 3.7: Bohrwerkzeuge für das Röhrenbohren [Roscher, 1999]

Stichwortverzeichnis

- Abdichtungsverfahren 299
 Abflusswert 349
 Abhorchverfahren 93
 Abminderungsfaktoren 35
 Abnutzung 57, 349
 Abnutzungsvorrat 57, 123, 184, 241, 349
 Abrieb 349
 absoluter Abnutzungsvorrat 185
 Absperrbake 349
 Absperrblasen 220
 Absperrzaun 349
 Abwasser 349
 Abwasserabgabengesetz 349
 Abwasserableitung 349
 Abwasseranfall 349
 Abwasserbehandlung 350
 Abwasserbeseitigungsplan 350
 Abwassereinleitung 350
 Abwasserentsorgung 5, 47
 Abwasserschächte 249
 Abwasserschachtinspektion 268
 Abweichung 57, 350
 Additive 350
 aktiver Korrosionsschutz 79, 350
 allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse 261
 allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen 261
 allgemeine Schadenfunktion 175
 Alterung des Netzes 166
 Alterungsbeständigkeit 351
 Altlast 351
 Amortisationsdauer 200
 analytisches Rechenverfahren 190
 Anbohrgeräte 161
 Anode 351
 Anschleuderverfahren (Beschichtungsverfahren) 134, 306
 Anschluss- und Benutzungszwang 351
 Anschlussdichte 351
 Anschlussstutzen (Sanierung) 299
 Anspritzverfahren 307
 anthropogen 351
 Antistatika 351
 Aquädukt 64, 351
 Arbeitssicherheit 207, 219, 351
 Asbestdruckrohre 73
 Asbestzementrohre 83
 Asphalt 351
 Asphaltdecke 21
 Asphaltstraße 9
 Auflagerwinkel 36
 Aufwandsparameter 173
 Ausfall 57, 351
 Ausfallrate 184
 Ausfallwahrscheinlichkeit 177
 Ausfallzeit 177
 Ausgrabung 41
 Auskleidung mit montierten Einzelelementen 310
 Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren 317
 Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren 318
 Auskleidung mit Rohren 311
 Auskleidung mit vorgefertigten Rohren 311
 Auskleidungsverfahren 308, 351
 Ausladung 36
 Auswechslung von Rohrleitungen 148
 AVBWasserV 373
 AZ 374
 Baulänge 351
 bauliche Sanierung 291, 327
 bauliche Schäden 243
 bauliche Untersuchungen 284
 Baumschutz 9
 Bauverfahren für Abwassersammler 5
 Bauzustand 61
 Belästigung 351
 Bentonitmatte 351
 Bersten 12
 Berstling 103, 120, 126, 154, 216, 235, 325, 351
 Berichtigung 351
 Beschichtungsverfahren 304, 351
 Bestandskarte 97, 128, 213, 352
 Bestandsplan 352
 Betonrohre 83
 Betonstraße 8
 Betriebsdruck 352
 Betriebssicherheit 210
 betriebswirtschaftliche Informationen 173
 betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer 60, 119, 352
 Bettungsmörtel 19
 Bettungsschicht 15
 Bewitterungstest 352
 Bitumen 352
 Blasensetztechnik 221
 Blasverfahren 352
 Blei- und Kunststoffrohr-Auswechselverfahren Berlin (BAB) 162
 Bodenart 352
 Bodengruppen 32
 Bodeninjektion 296
 Bodenmörtel 23
 Boden-Mörtel-Verfahren 30
 Bohrvortriebsverfahren 352
 Brauchwasser 352
 Brunnen 352
 Bürgerinformation 288
 chemische Beständigkeit 352
 Cholera 352
 Close-fit 137, 232, 352
 Co-Extrusion 352
 Compact-Pipe-Verfahren 216
 Dämmer 141, 143
 Daseinsvorsorge 119, 165, 353
 Dichtheitsmessung 92
 Dichtheitsprüfung 353
 Differenzdruckmessung 92
 DIN 374
 Dioctylphtalat 353
 Direkteinleiter 353

- DIN-Normung 353
 DN 374
 Dokumentation (Kanalzustand) 265
 Doppelrohrsystem 353
 Drainage 353
 Dränage 353
 Dränagewasserableitung 287
 Dränmatte 353
 Dränrohr 353
 Dreifach-Injektionspacker 298
 Druckrohr 353
 Druckrohrleitungen aus Holz 65
 Druckschlauch 353
 Druckstufe 353
 Druckverlust 353
 Druckwasserversorgung 3
 Düker 353
 Duktiles Gusseisen (Rohre) 83
 Duktulgussrohre 79, 205, 214
 Duktilität 69
 Durchflussmessung 282
 Durchschlagfestigkeit 353
 Durchsickerung 18
 Duroplast 353
 DVGW 374
 dynamische Berstlining-Verfahren 235

 Einbautiefe 353
 Einfahrverfahren 317
 Einschubverfahren 317
 Eintrittswahrscheinlichkeit 207, 353
 Einzelrohr-Lining 316
 Einziehverfahren 316
 Elastomer 353
 elektrische Isolationseigenschaften 353
 Elektroenergieversorgung 48
 Elektroschweißverbindung 354
 Entscheidungsalgorithmus (Rehabilitationsverfahren) 202
 Entscheidungsprozess (Rehabilitation) 208
 Entsorgung 354
 Entsorgungsunternehmen 354
 Entwässerung 354
 Epidemie 354
 Epoxydharz 205, 354
 Erddruckverhältnis 35
 Erdgas 6, 55, 205, 354
 Erkundungen 171
 Erlaubnis 354
 Erneuerung 1, 60, 125, 149, 205, 214, 324, 354
 Erneuerungsverfahren 216
 Erneuerungszeitpunkt 56
 Europäische Wasserrahmenrichtlinie 354
 EU-WRRRL 373, 374
 Exfiltration 248, 354
 Extruder 354
 Extrudieren 136, 354
 Extrusion 77, 354
 Extrusionsblasen 354

 Fahrdammbreite 7
 Fäkalien 354
 Faulgas 354
 Fehler 57, 354
 Ferngas 6, 55, 354
 Fernkälteanlage 52
 Fernsehen 51
 Fernsprechen 50, 355
 Fernwärmeversorgung 49, 355
 Feuerlöschbedarf 190
 Feuerwehrstrategie (Sanierung) 290
 filmbildende Beschichtungen 305
 Filterrohr 355
 Flächenkorrosion 79, 355
 flächige Rehabilitation 203
 Flanschverbindung 205
 fließfähige Verfüllmaterialien 29
 Flutungsverfahren 296, 297
 Folgeschaden 355
 Folgeschäden 6, 40, 127, 355
 Folien-Relining 206
 Freispiegleitung 355
 Fremdwassersanierung 287
 Frostschäden 19
 Frostschutzschicht 19
 Frosttiefe 88
 Fugenband 21
 Fugenverfüllung 19
 Funktionsfähigkeit 57, 60, 355
 FZ 374

 Gas 355
 Gasaustritt 210
 Gasaustrittsleitung 212
 Gasfernversorgung 6
 Gasrohr 355
 Gasrohrleitungen 55, 103, 205
 Gasrohrnetz 205
 Gasrohrverbindungen 205, 214
 Gasversorgung 5, 46, 144, 355
 Gasverteilungsnetz 60, 355
 Gaswerk 5
 gebietsbezogene Sanierungsstrategie 290
 Gebühr 355
 Gefährdungspotential 120
 Gefährdungspotenzial 355
 gegenwärtiger Abnutzungsvorrat 186
 Gehbahnen 9
 Gemeinwohl 355
 Genehmigung 355
 geophysikalische Messverfahren 275
 Geosynthetics 355
 Geotextilien 355
 Gewässergüte 355
 Gewebemanschetten 294
 Gewebeschlauch-Relining 103, 136, 206, 221, 356
 GFK 374
 GG 374
 GGG 374
 GIS 166, 168, 374
 GIS-Schnittstelle 173
 Glasfaser 356
 Gleitmittel 356
 grabenlose Bauverfahren 2, 11, 215
 grabenlose Verlegetechnik 356
 Graphitierung 82, 356
 Graugussprogramm 6, 206
 Graugussrohre 82, 205, 214
 Grundleitung 356
 Grundschutz (Löschwasserbereitstellung) 356
 Grundwasser 356
 Gütegemeinschaft 356
 Gütesicherung 135, 153, 357

- Haltung 357
 Hausanschluss 85, 357
 Hausanschlussleitungen (Inspektion) 269
 Hausentwässerung 357
 Haushaltsabwasser 357
 HDD-Bohrspülung 13
 HDPE 374
 Heuristik 190
 heuristisches Rechenverfahren 190
 Hilfsrohrverfahren 152
 Hohlrauminjektion 296
 Holzdruckrohrleitungen 65
 Holzrohrleitungen 3, 66
 Hutprofilverfahren 300
 Hydrant 4, 357
 hydraulisch verdichtende Verfüllmaterialien 29
 hydraulische Leitfähigkeit 357
 hydraulische Rohrnetzberechnungen 173
 hydraulische Sanierung 291
 hydraulische Untersuchungen 282
 hydros LEAD-Verfahren 162
 hydros@STEEL-Verfahren 150
 hydros@PLUS-Verfahren 148

 Identifikationsdaten 169
 IKT-Warentest 261
 Inbetriebnahme 57, 357
 Indirekteinleiter 357
 Industrieabwasser 357
 Infiltration 248, 257, 357
 Infrastruktur 1, 357
 Injektion 357
 Injektion von Außen 295
 Injektion von Innen 296, 300
 Injektion von Rohrverbindungen 297
 Injektionsmittel 295
 Injektionsverfahren 294
 Inliner 120, 357
 Inlinerverklebung 136
 Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen 293
 Insitu 358
 Insituform-Verfahren 319
 Inspektion 57, 60, 89, 262, 358
 Inspektionsstrategie 116
 Inspektionszeiträume 89
 Instandhaltung 60, 124, 214, 358
 Instandhaltungsstrategien 116
 Instandsetzung 57, 60, 124, 219, 358
 Istzustand 57, 103, 358
 Istzustandsabweichung 57, 358
 Istzustandserfassung 262, 282
 Istzustandsparameter 103

 Jahresplanung 214
 jährliche Reparaturkosten 183

 Kalibrierung der Rehabilitation 178
 Kalibrierung der Reparaturkosten 181
 Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht 71, 358
 Kalkulationsprogramme 173
 Kanalabdichtung 299
 Kanalisation 5, 358
 Kanalkataster 282
 Kanalnetzüberlastung 256
 Kanalprofil 5
 KA-TE System 293
 Kathode 358

 kathodischer Korrosionsschutz 79, 358
 Katode 358
 Kellerentwässerung 42
 Kiesweg 8
 Kläranlage 358
 Klassifizierungs- und Bewertungsmodelle (Kanalzustand) 266
 Klebemuffe 359
 Kleinsteinpflaster 8
 Kloake 359
 KM-Berstlining 325
 KM-Part-Liner 294
 Kohlendioxid 359
 Kohlenmonoxid 359
 Kohlensäure 359
 Kohlenwasserstoff 359
 Kontamination 359
 konventionelle Rohrstrangverfahren 229, 312
 Korrelationsmessverfahren 93
 Korrosion 79, 85, 359
 Korrosionsschutz 69
 Kostenfunktion der Ersatzleitung 197
 Kostenminimum 198
 Kostenoptimierung 196
 Krankheitserreger 359
 Kriterienkatalog (Rehabilitation) 209
 KTW-Empfehlung 359
 KTW-Richtlinie 373
 Kurzstift 360
 Kunststoffrohre 75, 206, 214
 Kurzrohr 360
 Kurzrohr-Relining 360

 Laboruntersuchungen 171
 Landesbauordnungen 260
 Langrohr-Relining 360
 Längs- und Querrisse 94
 Langzeittest 360
 Laser-Lichtring-Verfahren 276
 Lebensdauer 329
 Lebenskostenfunktion 197
 Lebenszyklus 329
 Leckgröße 211
 Leckklasse 211, 360
 Leckmenge 211
 Leckortung 92, 212
 Leckstelle 60, 210, 360
 Leckstellenhäufigkeit 60, 210, 360
 Leistungsphasen (HOAI) 280
 Leitungsabschnitt 60, 360
 Leitungsalter 60, 213, 360
 Leitungsgaben 15
 Leitungsgruppe 360
 Leitungsgruppen 60, 96, 213
 Leitungszone 360
 Leitungszonen 7, 15, 86
 Lining Techniques 360
 Lochkorrosion 79, 94, 360
 Löschwasserbedarf 360
 Löschwasserversorgung 4

 Mangel 61
 Maßnahmenpriorität 193
 Maßnahmenplan 195
 Mehrspartenstrategie (Sanierung) 290
 Memoryeffekt 139
 Methan 360

- Mindestlangzeitfestigkeit 361
Mindestüberprüfungszeitraum 210
Mindestweite 361
Mischsystem 361
Mischverfahren 5, 42, 361
Mischwasser 361
Mischwasserkanal 361
mittlere Ausfalldauer 177
mittlere Dauer bis zum Ausfall 177
mittlere Nutzungsdauer 60, 361
mittleres Leitungsalter 60, 361
modifiziertes Mischverfahren 5, 361
modifiziertes Trennverfahren 5, 361
Monomer 361
montierte Einzelelemente (Auskleidung mit ~) 310
Mörtelbeschichtung 304
MRS 374
Muffe 361
Muldenkorrosion 79, 361
Mülltransportsystem 52
- nachhaltiges Rehabilitationskonzept 165
nasses Gas 205
Nassspritzverfahren 307
Nenndruck 361
Nennweite 69, 361
Netzabschnitt 169
Netzalterung 166
Netzanalyse 60, 361
Netzgestaltung (Wasserversorgung) 4
Netzspülungen 53
Netzzustand (Gasrohrleitungen) 55
Neulegung von Versorgungsleitungen 149
nicht begehbaren Kanäle (Reparatur) 293
Nichtverfügbarkeit 177
Niederschlag 361
Niederschlagswasser 362
Normung 258, 362
Nutzungsdauer 54, 182, 329
Nutzungsvorrat 57, 362
- Objektschutz (Löschwasserbereitstellung) 362
offene Bauverfahren 11
öffentlich-private Baumaßnahme (Sanierung) 285
optimale Nutzungsdauer 183
optimaler Rehabilitationszeitpunkt 196
optische Inspektion 262
örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten 294
örtlich hergestellte Rohre (Auskleidung mit ~) 317
örtlich hergestellte und erhärtende Rohre (Auskleidung mit ~) 318
Ovameter 279
- passiver Korrosionsschutz 79, 362
PC 374
PE 374
PE-100-Rohre 75
PE-HD 374
PE-HD-Rohre 75, 214
PE-LD 374
PE-LD-Rohre 75
Penetryn-Verfahren 298
PE-RC-Rohre 214
PE-Relining 215, 232
Permeabilität 362
PE-X 374
PEX 374
PE-Xa 374
PE-Xa-Rohre 83, 214, 237
PE-Xb 374
PEX-Rohr 362
PEX-Rohre 67
Pflasterdeckenaufbau 19
Phosphat 362
pH-Wert 362
physiologische Unbedenklichkeit 362
Plankammerdaten 103
Planung 280
Plattenbelag 9
PMMA 374
PN 374
Polyethylen 362
Polyethylen-Rohre 75, 104, 236
Polykondensation 75, 363
Polymer 75, 363
Polymerisation 75, 363
Polyolefin 363
Polyolefinaußenschutz 139
Polypropylen 154, 363
Polyurethan 136, 363
Polyurethanbeschichtung 305
Polyvinylchlorid 363
PP 374
ppm 374
Präventionsstrategie 116
Presurierungsverfahren 144, 216
Privatisierung 166, 186, 204
Process-Phoenix-Verfahren 215, 223
PVC 374
PVC-Rohre 75, 206, 214
PVC-U 374
- qualitative Netzanalyse 60, 364
Qualitätssicherung 145, 364
quantitative Netzanalyse 60, 364
- Radarverfahren 275
Radweg 9
reale Wasserverluste 90
Reduktionsfaktor 35
Reduktionsverfahren (Rohrstrangverfahren) 314
Reflexionsriss 21
Regenentlastungsanlage 364
Regenrückhaltebecken 364
Regenwasser 364
Rehabilitation 4, 53, 60, 364
Rehabilitationsaufwand 173
Rehabilitationskriterien 115
Rehabilitationsplanung 116
Rehabilitationsrate 60, 186, 364
Rehabilitationsstrategie 117, 164
Rehabilitationsverfahren 5, 200, 215
Rehabilitationszeitpunkt 196
Rehabilitationsziele 165
Reibungswinkel 34
relativer Abnutzungsvorrat 185
Relining 364
Renovierung 61, 304, 365
Reparatur 60, 97, 292, 365
Reparaturkosten 174
Reparaturkostenfunktion 196
Reparaturverfahren 217
RIB-LOC-Expanda-Pipe-Verfahren 318

- RIB-LOC-Relining-System 317
 Ringraum 365
 Ringraum (Rohrstrangverfahren mit ~) 312
 Ringraum (Rohrstrangverfahren ohne ~) 313
 Risiko 207, 365
 Rissinjektion 297
 Robotersysteme 293
 Rohr 365
 Rohrbruchgefahren 85
 Rohre mit Schutzmantel 76
 Rohrleitungsabschnitte 169
 Rohrleitungsbeanspruchungen 87
 Rohrmaterialien 4
 Rohrnetzabgabe 90
 Rohrnetzanalyse 213
 Rohrnetzeinspeisung 90
 Rohrpost 52, 365
 Rohrreinigungsverfahren 131
 Rohrrelining 311
 Rohrstrang-Lining 312
 Rohrstrang-Relining 216, 229
 Rohrstrangverfahren (konventionell) 312
 Rohrstrangverfahren (Weiterentwicklungen) 313
 Rohrstrangverfahren mit Ringraum 312
 Rohrstrangverfahren ohne Ringraum 313
 Rohrtragfähigkeitsberechnung 32
 Rohruntersuchung 105
 Rohrverbindungen 67, 73
 Rohrvortrieb 324
 Röhrwasserversorgung 65
 Rohwasser 365
 Rolldown-Verfahren 138, 215, 314
 RSA 373
 RStO 373
- Salz 365
 Sandwich-Beschichtung 322
 SANFLEX-Verfahren 225
 Sanierung 4, 60, 73, 205, 241, 365
 Sanierungsplan 284
 Sanierungsstrategien 290
 Sanierungszeitpunkt 56
 Sanierungsverfahren 216
 Schachtinspektion 268
 Schachtkopfmörtel 301
 Schachtkopfsanierung 301
 Schaden 57, 60, 85, 95, 207, 365
 Schäden 171
 Schadensarten 54, 217
 Schadensbegriffe 208
 Schadensbericht 97
 Schadensbeseitigung 171
 Schadenserfassung 95, 210
 Schadensfunktion 168, 175
 Schadensrate 60, 83, 206, 209, 366
 Schadensstatistik 96
 Schadenstelle 59
 Schadensursachen 54, 85, 102
 Schadstoff 366
 Schallpegelmessung 92
 scheinbare Wasserverluste 90
 Schlackenweg 8
 Schlauchverfahren 318
 Schraubmuffenverbindung 69, 205
 Schutzmantelrohre 214
 Schwachstelle 57, 60, 96, 366
 Schwachstellenanalyse 60, 213, 366
- Schwemmkanalisation 366
 seismische Verfahren 275
 Selbstheilungseffekt 72, 133
 Selbstreinigung 366
 Selbstreinigungskraft 366
 Selbstreinigungsvermögen 366
 selbstverdichtende Verfüllmaterialien 28
 Senkungsmulde 19
 Setzungsriß 23
 Seuche 366
 Sicherheitsbegriff 207
 Sickerrohr 366
 Sickerwasser 366
 SLM-Rohr 374
 Software OPTNET 164
 Software STANET 164
 Sollweite 366
 Sollzustand 57, 124, 366
 Sollzustandabweichung 57, 366
 soziale Kosten 55, 119, 165, 367
 Spannungsriß 22
 Spongiose 79, 82, 367
 Sprüh-Schleuderverfahren 307
 Spurrillenbildung 19
 Stabilisator 367
 stabilisierte Sandmischung 29
 Statik 6, 55, 205, 367
 Statrohrnetz 4
 Statotechnik 1, 367
 Stahlrohre 70, 83, 205, 214
 Stahlrohrverbindungen 70
 Stand der Technik 367
 Standsicherheit von Bäumen 10
 starline-Verfahren 226
 statische Berstlining-Verfahren 236
 Steckmuffe 367
 Steckmuffenverbindung 69
 Steinpflasterbahn 8
 Steinschlagbahn 8
 Stemm-Muffenverbindung 205
 Stickstoff 367
 Stillsetzung 57, 367
 Stopfbuchsenmuffen-Verbindung 69
 Störung 57, 367
 Straßenaufbau 15
 Straßenbahn 9
 Straßenbau 8
 Straßenoberbau 20
 Straßenquerschnitt 7
 strategische Langzeitplanung 115, 214
 StVO 373
 StVZO 373
 Stz 374
 Substanzwertstrategie 290
 Sumpfgas 367
 Suspension 367
 Swagelining-Verfahren 138, 216, 315
 Synergieeffekte 123
- technische Infrastruktur 1, 367
 technische Nutzungsdauer 60, 87, 182, 368
 technische Sicherheit 207, 368
 technische Versorgung 1
 Teer 368
 teilgefüllte Kanäle (Inspektion) 271
 Temperaturbeständigkeit 72, 368
 Temperaturschwankung 23

- Teppichsonde 212
Thermoline-Verfahren 314
Thermoplast 368
Toleranz 368
Tragschicht 19
Trennsystem 368
Trennverfahren 5, 42, 368
Trinkwasser 368
Trinkwassergüte 88, 368
Trinkwasserleitung 368
Trinkwasserqualität 123, 368
Trinkwasserverordnung 125, 368
Trinkwasserversorgung 368
trockenes Gas 205
Trockenwetterabfluss 369
TV-Inspektion 132, 264, 369
- Überfahren 324
Überflutung 256
Überlebensfunktion 184
Überwachung 145, 369
U-Liner 369
U-Liner-Verfahren 120, 216, 232, 315
Ultraschallverfahren 276
Umstülpverfahren 206
Umweltbelastung 369
umweltrelevante Sanierung 291
umweltrelevante Untersuchungen 283
Umweltverträglichkeitsprüfung 369
Undichtigkeiten 248
unterirdischer Bauraum 1
uVEA 374
- VC 374
Verfahrenswahl (Sanierung) 327
Verformungsmodul 34
Verformungsverfahren (Rohrstrangverfahren) 315
Verfüllmaterialien 29
Verlegebedingungen 170
Verlustmonitoring 95
vernetztes Polyethylen (PE-X) 75
Versickerung 369
Versorgungsdruck 4
Versorgungsleitungen 1, 40
Versorgungssicherheit 177, 207, 369
Versorgungsunterbrechungen 129
Versorgungsunternehmen 369
Vinylchlorid 75, 369
Vorfluter 369
vorgefertigte Rohre (Auskleidung mit ~) 311
Vorplanung 282
- Wanddicke 369
Wandreibungswinkel 35
Wärmeleitfähigkeit 370
Wartung 57, 60, 124, 370
Wasser 370
Wasserbedarf 370
Wasserepidemie 370
Wassergewinnung 371
Wassergüte 371
Wasserhaushalt 371
Wasserhaushaltsgesetz 371
Wasserqualität 371
Wasserressource 371
Wasserverbrauchsentwicklung 4
Wasserverlust 371
Wasserverluste 65, 88, 127, 181
Wasserverlustermittlung 89
Wasserverlustmessung 92
Wasserversorger 371
Wasserversorgung 3, 46, 64, 371
Wasserversorgungsanlage 372
Wasserversorgungsleitungen 56
Wasserversorgungsunternehmen 372
Wasserverteilungsanlage 372
Wasserverteilungsanlagen 60
Wasserwirtschaft 372
Weimarer Bodenmörtel (WBM) 29, 30, 34
Werkstoff 372
Werkstoffbeanspruchung 257
WHG 373
Wickelfaserverfahren 317
wirtschaftliche Nutzungsdauer 182
Wirtschaftlichkeit 329
Wohl der Allgemeinheit 372
Wurzelaufwuchs 248
Wurzelschutz 10
- Zeitstandsfestigkeit 82, 372
Zeitstands-Innendruckversuch 75, 372
Zementbetondecke 22
Zementmörtelauskleidung 69, 132, 372
Zertifizierung 372
ZTV Beton-StB 373
zustandsbedingte Netzanalyse 60, 372
Zustandsbeschreibung 171
Zustandsbewertung 54, 61, 169, 199, 208, 265
Zustandsbildkatalog Abwasserschächte 249
Zustandserfassung 61, 262
Zustandsklassifizierung 61, 266
Zustandsstrategie (Sanierung) 290
Zuverlässigkeit 177