

Springer Reference Technik

Springer Reference

Hans-Burkhard Horlacher
Ulf Helbig *Hrsg.*

Rohrleitungen 1

Grundlagen, Rohrwerkstoffe,
Komponenten

2. Auflage

VDI



Springer Vieweg

Springer Reference Technik

Springer Reference Technik bietet Ingenieuren – Studierenden, Praktikern und Wissenschaftlern – zielführendes Fachwissen in aktueller, kompakter und verständlicher Form. Während traditionelle Handbücher ihre Inhalte bislang lediglich gebündelt und statisch in einer Printausgabe präsentiert haben, bietet „Springer Reference Technik“ eine um dynamische Komponenten erweiterte Online-Präsenz: Ständige digitale Verfügbarkeit, frühes Erscheinen neuer Beiträge online first und fortlaufende Erweiterung und Aktualisierung der Inhalte.

Die Werke und Beiträge der Reihe repräsentieren den jeweils aktuellen Stand des Wissens des Faches, was z. B. für die Integration von Normen und aktuellen Forschungsprozessen wichtig ist, soweit diese für die Praxis von Relevanz sind. Reviewprozesse sichern die Qualität durch die aktive Mitwirkung von namhaften HerausgeberInnen und ausgesuchten AutorInnen.

Springer Reference Technik wächst kontinuierlich um neue Kapitel und Fachgebiete. Eine Liste aller Reference-Werke bei Springer – auch anderer Fächer – findet sich unter <http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22>.

Hans-Burkhard Horlacher • Ulf Helbig
Herausgeber

Rohrleitungen 1

mit 332 Abbildungen und 58 Tabellen

 Springer Vieweg

Herausgeber
Hans-Burkhard Horlacher
Dresden, Deutschland

Ulf Helbig
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-642-39781-3 ISBN 978-3-642-39782-0 (eBook)
ISBN 978-3-642-39842-1 (Bundle)
DOI 10.1007/978-3-642-39782-0

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Berlin Heidelberg 1967, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

Vorwort zur 2. Auflage

Seit Erscheinen der ersten Auflage des Standardwerks „Rohrleitungen“ von Siegfried Schwaigerer vor knapp 50 Jahren haben sich die Rohrleitungstechnik und der Rohrleitungsbau rasant weiter entwickelt. Das wissenschaftlich-technische Fachwissen, die Vielfalt der modernen Rohrwerkstoffe sowie die Potenziale der Rohrleitungstechnologien haben gegenüber damals deutlich zugenommen und der aktuelle Stand der Technik hat ein hohes Niveau erreicht. Natürlich kann die frühere Ausgabe diesen Entwicklungsstand nicht mehr in vollem Umfang abbilden. Mit einer vollständig neuen 2. Auflage entschloss sich daher der Springer-Verlag, den zahlreichen Nachfragen aus der Fachwelt zu einer grundlegenden Aktualisierung der ersten Auflage aus dem Jahr 1967 und des unveränderten Nachdrucks der ersten Auflage im Jahre 1986 nachzukommen.

Als *Springer Reference*, hier in klassischer gedruckter Form als Buch, aber auch neuerdings in digitaler Version, die ständig aktualisiert werden kann, bietet die Neuauflage des Fachbuchs eine anspruchsvolle, wissenschaftlich fundierte Fakten- und Wissenssammlung, die sich auf den kompletten Bereich der Rohrleitungstechnologie erstreckt. Es soll aus Sicht der Herausgeber eine wertvolle Hilfe zum konstruktiven Verständnis, zur Funktionsweise und zum Betrieb von Rohrleitungen aller Art darstellen. Auch wenn kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird, versteht sich das Buch in erster Linie als umfassendes, fachübergreifendes Nachschlagewerk für die Rohrleitungstechnik, in dem jedoch des Umfangs wegen teilweise auf ausführliche und komplexe Ableitungen sowie tiefgreifendere Erläuterungen verzichtet werden muss. Kompensiert wird dies durch entsprechend gezielte Verweise auf die Fachliteratur und v. a. auf Regelwerke, Richtlinien und Normen.

In Anbetracht der thematischen Fülle entschlossen sich die Herausgeber, diese Neuauflage in 2 Bänden aufzulegen und weitere 22 Fachautoren für die einzelnen Fachgebiete mit einzubeziehen. Insbesondere ihnen ist es durch ihr Fachwissen und ihre anspruchsvolle Autorenarbeit zu verdanken, dass das umfangreiche Werk entstanden ist. Band 1 behandelt neben der Historie sowie den Grundlagen der Rohrleitungstechnik vor allem die verschiedenen Rohrwerkstoffe und wichtige Rohrleitungskomponenten. Der 2. Band konzentriert sich vor allem auf die verschiedenen Einsatzfelder und die unterschiedlichen Verlege- bzw. Einbaubedingungen sowie die Berechnung, Bemessung und Rehabilitation von Rohrleitungen. Die ursprünglichen Kapitel sowie die Gliederung wurden grundlegend überarbeitet und an die heutigen

aktuellen Gegebenheiten bei Materialien, Berechnungs- und Ausführungsmethoden, Regelwerken und Normen angepasst und ergänzt, ohne die immer noch gültigen Grundlagen und Ansätze zu vernachlässigen. Neue Themenblöcke wurden zusätzlich mit aufgenommen und vertieft. Zahlreiche Abbildungen und Diagramme sowie Tabellen und Beispiele runden die theoretischen Ausführungen ab.

Die Autoren sind zuversichtlich, dass dieses Buch ein hilfreiches Werkzeug und Instrument für Studierende und Lehrende des Bauingenieurwesens, der Wasserwirtschaft, der Apparatechnik sowie des Anlagenbaus, aber auch für den praktisch tätigen Ingenieur und für Entscheidungsträger in Unternehmen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, der Gas-, Öl- und Wärmeversorgung sowie der Kraftwerkstechnik sein wird. Anregungen und Hinweise aus der Fachwelt werden gern aufgenommen.

Gedankt wird allen Beteiligten, die als Autor oder Co-Autor wirkten, die Bild- und Informationsmaterial bereit stellten oder die auf Seiten des Springer-Verlages beim Entstehen dieses Fachbuchs involviert waren.

März 2016
Dresden

Für die Herausgeber und die Autoren
Prof. em. Dr.-Ing. habil. Hans-B. Horlacher †
Dr.-Ing. Ulf Helbig



Trinkwasserversorgung – gut zu wissen, auf wen man bauen kann.

Stahlbeton-Fertigteilschächte, die im Herstellerwerk vormontiert werden, sind für Trinkwasserleitungen eine optimal planbare, kosteneffiziente und zeitsparende Lösung. Die langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit von Landeswasserversorgung und Betonbau GmbH & Co. KG hat dies immer wieder bewiesen. Wir freuen uns auf viele weitere gemeinsame Projekte.

Aktuelle Informationen: www.betonbau.com und www.lw-online.de

Inhaltsverzeichnis

Teil I Allgemeine Grundlagen zur Rohrleitungstechnik	1
1 Historische Entwicklung der Rohrleitungstechnik	3
Harald Roscher und Ulf Helbig	
2 Rohrleitungssysteme – Einteilung, Begriffe, Bestandteile	23
Ulf Helbig und Hans-B. Horlacher	
3 Rohrleitungsplanung – Grundsätze, Vorschriften, Regelwerke ...	35
Ulf Helbig und Hans-B. Horlacher	
Teil II Gussrohrleitungen	45
4 Werkstoff Gusseisen für Rohrleitungen	47
Jürgen Rammelsberg	
5 Herstellung von Gussrohren und Formstücken	53
Jürgen Rammelsberg	
6 Gussrohre – Qualitätsmanagement und Nachhaltigkeit	73
Jürgen Rammelsberg	
7 Ausführung und Kennzeichnung von Gussrohren und Formstücken	79
Jürgen Rammelsberg	
8 Steckmuffen-Verbindungen und deren Lagesicherung bei Gussrohrleitungen	87
Jürgen Rammelsberg	
9 Längskraftschlüssige Verbindungen bei Gussrohrleitungen	99
Jürgen Rammelsberg	
10 Umhüllungen und Auskleidungen von Guss-Rohrsystemen	109
Jürgen Rammelsberg	

11 Einsatzgebiete und technische Regelwerke von Gussrohrleitungen	127
Jürgen Rammelsberg	
Teil III Stahlrohrleitungen	139
12 Materialeigenschaften von Stahl	141
Gerd Mühlenbeck	
13 Stähle für Rohrleitungen	153
Gerd Mühlenbeck	
14 Herstellung von Stahlrohren und Formstücken	179
Gerd Mühlenbeck	
15 Flanschverbindungen	203
Gerd Mühlenbeck	
16 Umhüllung und Auskleidung von Stahlrohren	219
Ulf Helbig und Gerd Mühlenbeck	
Teil IV Steinzeugrohrleitungen	241
17 Werkstoff Steinzeug	243
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
18 Herstellung von Rohren, Formstücken und Schächten	251
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
19 Qualitätsmanagement für Steinzeugrohrleitungen	265
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
20 Ausführung und Kennzeichnung von Rohren und Formstücken	271
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
21 Rohrverbindungen, Zubehör und Schächte bei Steinzeugleitungen	289
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
22 Einsatzgebiete und technische Regelwerke bei Steinzeugrohrsystemen	297
Ulrich Bohle und Gabriele Hahn	
Teil V Zementgebundene Rohrwerkstoffe	301
23 Werkstoff Beton für Rohre	303
Karsten Körkemeyer	

24	Herstellung zementgebundener Rohre	313
	Karsten Körkemeyer	
25	Zementgebundene Rohre	337
	Karsten Körkemeyer	
26	Rohrverbindungen bei Beton-, Stahlbeton-, Spannbeton- und Faserzementrohren	347
	Karsten Körkemeyer	
27	Formteile, Zubehör, Korrosionsschutz bei zementgebundenen Rohren	355
	Karsten Körkemeyer	
28	Einsatzgebiete, Altbestand (Asbest, Faserzement) und technische Regelwerke bei zementgebundenen Rohren	367
	Karsten Körkemeyer	
Teil VI	Rohrleitungen aus duroplastischen Kunststoffen (GFK)	375
29	Glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK)	377
	Wilfried Sieweke	
30	Qualitätsmanagement bei GFK-Rohren	391
	Wilfried Sieweke	
31	Rohrverbindungen, Zubehör und Schächte bei GFK-Rohren	407
	Wilfried Sieweke	
32	Einsatzgebiete und Regelwerke bei GFK-Rohren	431
	Wilfried Sieweke	
Teil VII	Rohrleitungen aus Nichteisenmetallen	451
33	Rohrleitungen aus Nichteisenmetallen	453
	Ulf Helbig	
Teil VIII	Mehrschicht-, Verbund- und Mantelrohrsysteme	465
34	Mehrschicht- und Verbundkonstruktionen	467
	Ulf Helbig	
35	Mantelrohrsysteme in der Wärmeverteilung	475
	Ingo Weidlich	
Teil IX	Wichtige Rohrleitungskomponenten	495
36	Erzeuger der Kälte- und Wärmeversorgung	497
	Ulf Helbig	

37	Messeinrichtungen in Rohrleitungssystemen	503
	Ulf Helbig	
38	Rohrleitungskomponenten – Sonderbauteile	529
	Ulf Helbig	
39	Bauteile zur Kompensation von Temperaturdehnungen	537
	Ingo Weidlich	
	Sachverzeichnis	545

Mitarbeiterverzeichnis

Ulrich Bohle Steinzeug-Keramo GmbH, Frechen, Deutschland

Gabriele Hahn Redaktionsbüro Dr. Hahn, Bonn, Deutschland

Ulf Helbig Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

Hans-B. Horlacher Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

Karsten Körkemeyer FB Bauingenieurwesen, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland

Gerd Mühlenbeck Ingenieurbüro Mühlenbeck, Heidelberg, Deutschland

Jürgen Rammelsberg European Association for Ductile Iron Pipe Systems · (EADIPS)/Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR) e.V., Griesheim, Deutschland

Harald Roscher Weimar, Deutschland

Wilfried Sieweke HOBAS Rohre GmbH, Trollenhagen, Deutschland

Ingo Weidlich Hannover, Deutschland

Teil I

**Allgemeine Grundlagen zur
Rohrleitungstechnik**

Harald Roscher und Ulf Helbig

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Rohrleitungstechnik und des Rohrleitungsbaus lässt sich in insgesamt fünf Perioden gliedern. Die Periode 1 reicht bis zu 5000 Jahre in das Altertum zurück. Die 2. Periode bezeichnet ab Mitte des 15. Jahrhunderts bis um 1800 den Beginn der neuzeitlichen Rohrleitungstechnik. Die 3. Periode umfasst die Etablierung der modernen zentralen und einheitlichen Ver- und Entsorgung mit Beginn der industriellen Revolution von Anfang des 19. Jahrhunderts bis ca. 1900. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts begann die 4. Periode, die mit dem massiven Ausbau der städtischen Ver- und Entsorgungsanlagen für Wasser und Abwasser sowie der Kraftwerks- und Prozess- bzw. Chemieanlagen in Europa und den USA einherging. Das ausgehende 20. Jahrhundert ist seit ca. der Mitte der 1970er-Jahre durch die bis dato andauernde 5. Periode geprägt. Das Kapitel unterteilt und beschreibt die historischen Entwicklungsphasen in der Rohrleitungstechnik und im Rohrleitungsbau. Des Weiteren werden die Erfindung und Entwicklung der modernen Rohrwerkstoffe in jeweils kompakten Abrissen erörtert und behandelt.

1 Entwicklungsperioden der Rohrleitungstechnik

Die Geschichte der technischen Versorgung und der Rohrleitungstechnik lässt sich in 5 Perioden einteilen [1–20].

H. Roscher (✉)
Weimar, Deutschland
E-Mail: roscher.h@t-online.de

U. Helbig
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Technische Universität Dresden, Dresden,
Deutschland
E-Mail: Ulf.Helbig@tu-dresden.de

1. Periode Beginn der Wasserversorgung und Abwasserableitung in Rohren bereits vor 5000 Jahren

Bereits vor mehr als 5000 Jahren wurden in den Großstädten des Altertums Kanalisationsanlagen gebaut, da die Anfangsform der Kanalisation, der überdeckte Straßengraben oder auch Senkgruben nicht mehr ausreichten und man deshalb unterirdische Kanäle zur Ableitung des Abwassers anlegte.

Bekannt sind die Kanalisationsanlagen in den Städten Mesopotamiens, den großen Städten Ägyptens sowie des heutigen Indiens. Zu nennen sind insbesondere Sumer (Irak, 3800 v. Chr.), Babylon am Euphrat, Kalach am Tigris, Ninive, Karthago, Mohenjo Daro am Indus, Ur in Chaldäa, aber auch Tringad in Nordafrika. Ebenso besaß Jerusalem Kanalbauwerke. Die Ableitung des Abwassers erfolgte in Teiche und der Bodensatz wurde als Dünger und das Wasser zur Bewässerung verwendet. Es handelt sich demzufolge um die erste Form der Abwasserreinigung.

Der Ausbau der Kanalisation des antiken Roms begann im 5. Jahrhundert v. Chr. in Form eines überwölbten Entwässerungskanals, der Cloaca Maxima, an die später andere städtische Abwasserleitungen angeschlossen wurden. Sie entstand durch die Überwölbung eines ehemaligen Bachlaufs, der mit dem Anwachsen der Stadt überdeckt wurde. Seine Breite betrug 2–3 m, seine Höhe 3 m, am Auslauf 4 m. Das Gefälle wechselte zwischen 3 % und 0,1 %. Die Seitenkanäle bestanden aus kreisförmigen Rohren aus Ton, Blei oder Bronze. In den ersten Jahrhunderten wurden von den Römern für den Bau von Abwasserkanälen große Natursteinquader (Tuff, Kalkstein und für den Boden Lava) verwendet, später Ziegel und vor allem opus caementitium.

Räumkolonnen von Gefangenen verrichteten die unhygienische Arbeit der Instandhaltung. Paläste, Stadtbäder und 144 öffentliche Bedürfnisanstalten hatten das Recht des Anschlusses an diese Großkloake. Für den Bau und die Unterhaltung des Kanalsystems wurden Gebühren erhoben -von diesen stammt der lateinische Ausdruck „non olet“, sinngemäß übersetzt „(Geld) stinkt nicht“.

Auf dem Gebiet der Wasserversorgung sind die bekanntesten Anlagen die Wasserversorgung der Städte des Römischen Reichs. Aquädukte führten Quellwasser, Wasser von Bächen oder Flüssen sowie von Seen in die römischen Städte rund um das Mittelmeer. Rom besaß neun große Zuleitungen (die längste mit 91 km). In Nimes wurde das Castellum Divisorium (Château d'eau Romain; 1884 entdeckt) gebaut, welches das über den Pont du Gard herangeführte Wasser in der Stadt Nimes verteilte. Römische Anlagen in Deutschland sind die Eifelleitung für Köln (Colonia), die Wasserversorgungen von Trier, Xanten und weiteren Städten westlich des Limes.

In Griechenland verlegte man seit dem 5. Jahrhundert v. Chr. unter dem Pflaster von öffentlichen Plätzen Kanäle. Das antike Athen besaß Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen. Interessante Anlagen sind auch in Pergamon (Westtürkei), in Olympia, Agrigent (Südwestküste Siziliens – damals griechische Kolonie), auf Samos (Ostküste der Ägäis) usw. zu finden.

Von Griechen und Römern sind in der West-Türkei zahlreiche Zeugnisse antiker Wasserkunst zu finden. Leider sind viele Städte im Laufe von 2 ½ Jahrtausenden

durch Erdbeben in Mitleidenschaft gezogen worden. Sie wurden oftmals nach diesen Ereignissen von ihren Bewohnern verlassen.

In den Abwasseranlagen von Ephesus und Ostia (damalige Hafenstadt von Rom) wurden unter den Sitzen der Toilettenanlagen die Exkreme mit fließendem Wasser abgeführt. Vor den Sitzen befand sich eine Wasserrinne, in der die Benutzer die Hände waschen konnten.

2. Periode Rohrleitungstechnik im Mittelalter

Die rohrleitungsgebundene „Technische Versorgung“ der mittelalterlichen Städte beschränkte sich auf die Wasserversorgung einzelner Städte mit Holzrohrleitungen, ggf. auf die Überwölbung von Bachläufen und damit auf Anfänge der Kanalisation.

Seit dem 14. Jahrhundert war man in der Lage, gusseiserne Geschützrohre zu gießen. Voraussetzung für die Fertigung von Gussrohren waren neben einem verhüttungsfähigen Eisenerz erhebliche Mengen an Holzkohle und die Fertigkeit, hohe Temperaturen zu erzeugen. Die deutschen Mittelgebirge boten beides – Erz und einen Waldbestand, aus dem man Holzkohle herstellen konnte.

Im 19. Jahrhundert tauschte man in einzelnen Städten Holz- und Bleileitungen gegen gusseiserne aus. Die Verwendung von Buntmetallen (Blei, Kupfer und Bronze) scheiterte an den hohen Kosten, von Ausnahmen abgesehen. Vereinzelt erfolgte auch die Anwendung von Steinrohrleitungen (Dresden in der Mitte des 19. Jahrhunderts: 46 von ca. 200 km).

Die ältesten bekannten Gusseisen-Einzelleitungen in Deutschland sind die 1455 für Schloss Dillenburg (Hessen) und 1562 in Bad Langensalza (Thüringen) für die Versorgung des Jacobi- und Ratsbrunnens verlegten Leitungen. Weitere Einzelleitungen sind für die Schlosswasserversorgung Homburg (1684–330 m), die Wilhelmshöhe Kassel (1713–1000 m), das Schloss Brühl bei Köln (1722–2000 m) und das Schloss Ehrenbreitstein bei Koblenz (1766–6000 m) gebaut worden.

Die im Schlosspark von Versailles 1668 zur Versorgung der Wasserspiele verlegten Gussrohrleitungen mit Flanschverbindungen in den Nennweiten DN 350 bis 500 hatten eine Gesamtlänge von ca. 24 km.

Eine technische Höchstleistung war die 1817 für die Solewasserzuführung von Berchtesgaden nach Reichenhall gebaute erste Hochdruckleitung mit Gussrohren in Ilsank bei Berchtesgaden mit einer Förderhöhe von 358 m.

3. Periode Zentrale (einheitliche) Versorgung von Städten in der Zeit der industriellen Revolution

Erste zentrale Wasserversorgungsnetze entstanden im Zuge der Industrialisierung in Frankreich, England und den USA bereits Anfang des 19. Jahrhunderts. Die Verlegung gusseiserner Rohre für die Wasserversorgung erfolgte in Lyon bereits 1800, in Paris 1802, in London 1808 und Marseille 1813 sowie in Pennsylvania (USA) 1825.

1848 wurde in Hamburg nach dem großen Brand die erste zentrale Wasserversorgung Deutschlands nach den Vorschlägen Lindleys gebaut. 1856 bzw. 1859 folgten Berlin bzw. Magdeburg. Zur Erzielung eines gleichmäßigen Druckes im Versorgungsgebiet und zum Ausgleich von Verbrauchsschwankungen wurden

Ausgleichbehälter möglichst im Schwerpunkt des Versorgungsgebietes vorgesehen. Zentrale Wasserversorgungssysteme und ausgedehnte Kanalisationsnetze entstanden in den meisten deutschen Städten erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Wesentliche Voraussetzung für die zentrale Wasserversorgung waren die Dampfmaschine, die Kolbenpumpe und die Herstellung gusseiserner Rohre.

Für den Bau von Kanalisationsnetzen waren die Erkenntnisse der Städtehygiene sowie die Entwicklung entsprechender Bauverfahren für Abwassersammler in großer Tiefenlage von entscheidender Bedeutung. Die Herstellung von Beton- und Steinzeugrohren in Deutschland begann Mitte des 19. Jahrhunderts. Vorher erfolgte der Import aus England, was auch auf den Abmaßen auf Zoll-Basis zu erkennen ist.

Vorreiter für den Bau von Kanalnetzen in Deutschland war Hamburg im Jahre 1842. Später folgten dann Magdeburg (1856), Leipzig (1860), Rostock (1864) und Erfurt (1875). In Berlin sollte es noch drei Jahrzehnte dauern, bis das Kanalnetz in der Kernstadt realisiert wurde. Am 13.8.1873 wurde der 1. Spatenstich für die umfassende Kanalisierung der damaligen Millionenstadt ausgeführt. Das Abwasser der einzelnen Kanalisationsteilgebiete ist rund um Berlin auf Rieselfelder geleitet und landwirtschaftlich verwertet worden.

Die städtische Gasversorgung gewann erst zwischen 1860 und 1880 eine zunehmende Bedeutung, obwohl Gas für die Straßenbeleuchtung bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts verwendet wurde (1813 Freiberg, 1818 Wien). 1827 wurde durch Blochmann das erste Gaswerk in Dresden errichtet und 1828 Gas in gusseisernen Rohren transportiert. Weitere Gaswerke baute man in Leipzig 1837, Aachen und Elberfeld 1839 und Köln 1840. 1855 gab es in Deutschland 176 Gaswerke, 1868 bereits 608. 1880 kamen Gaskoch- und Heizgeräte auf den Markt. Anstelle der anfänglichen Rohre für die Gasbeleuchtung waren nunmehr größere für die Heiz- und Kochzwecke erforderlich.

Die Anfänge der Fernwärmeversorgung liegen erst am Ende des 19. Jahrhunderts. 1884 erhielten in Berlin die Technische Hochschule und in Dresden der Staatsbahnhof eine Fernwärmeanlage. Erst nach der Jahrhundertwende (1902) wurde die erste europäische Fernwärmeanlage in Betrieb genommen.

Im engen Zusammenhang mit der Entwicklung der technischen Versorgungssysteme stehen der Materialeinsatz sowie die Entwicklung der Bauverfahren und die Einordnung der Leitungs- und Kanalsysteme in den unterirdischen bzw. oberirdischen Bauraum. Gas-, Wasserversorgungs- und Abwasserleitungen wurden erdverlegt ausgeführt. Fernwärmeleitungen sind in nicht begehbaren Kanälen verlegt worden, wobei gemauerte Kanäle und Fertigteilkonstruktionen angewendet wurden.

Die ersten Sammelkanäle wurden in England gebaut, um der Bevölkerung die Unbequemlichkeiten zu ersparen, die durch häufiges Aufgraben der Straßen verursacht werden.

Gussrohre wurden bereits 1827 für die Gasversorgung von Berlin eingesetzt, aber erst Mitte des 19. Jahrhunderts für die Wasserversorgung. Versuche zur Herstellung von Stahlrohren waren zunächst nicht erfolgreich (1886 Patent der Gebrüder Mannesmann für die Herstellung nahtloser Rohre). Die massenhafte Produktion von Stahlrohren begann erst am Anfang des 20. Jahrhunderts.

4. Periode Ausbau der städtischen Versorgung im Verlauf des 20. Jahrhunderts und Bau von Fernleitungssystemen (national und international)

Die ersten Wasser-, Gas- und Fernwärmeversorgungssysteme wurden als Inselanlagen betrieben, später in den Städten und Ballungsgebieten zum Verbundbetrieb zusammengeschlossen und schließlich Fernversorgungssysteme gebaut.

Die heutigen zu rehabilitierenden Versorgungssysteme (Wasser, Gas und Abwasser) wurden vor dem ersten und zwischen dem ersten und zweiten Weltkrieg gebaut. Während der Weltkriege ist eine Stagnation des Ausbaus zu verzeichnen.

Nach dem zweiten Weltkrieg bestimmten zunächst der Wiederaufbau der Städte und damit die Instandsetzung beschädigter oder zerstörter Leitungssysteme die Entwicklung der technischen Versorgung. Danach folgte eine Phase des immensen Zuwachses an Leitungslängen durch den Bau von Wohn- und Gewerbegebieten in Stadtrandlagen. Dadurch wuchs einerseits die Länge der Wasser-, Gas- und Abwassernetze sowie der Fernwärmeleitungen beträchtlich. Andererseits aber vergrößerte sich die spezifische Länge der Leitungen pro Einwohner, so dass die Aufwendungen pro Einwohner zwangsläufig stiegen.

Ebenso nach dem zweiten Weltkrieg erfolgte der Bau von Fernwassersystemen. Für die Gasversorgung sind von wesentlicher Bedeutung der Aufbau von Verbundsystemen und Gasspeichern sowie die Umstellung von Stadt- auf Erdgas. Fernwärmesysteme wurden für neu zu versorgenden Wohn- und Industrieanlagen gebaut. Sie besitzen jedoch nicht den Ausbaugrad von Wasser- und Gasversorgungssystemen.

Der Anschlussgrad an Abwasseranlagen erhöhte sich permanent. Aber auch neue Probleme waren und sind zukünftig zu lösen, wie die zunehmende Versiegelung der Stadtflächen und die damit verbundene Vergrößerung der Regenabflüsse.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der technischen Versorgung ist der Rohrmaterialieinsatz. Zu dem Einsatz von Gussrohren für die Gas- und Wasserversorgung kam im 20. Jahrhundert eine Vielzahl neuer Rohrmaterialien hinzu. Nicht immer jedoch wurde geeignetes Rohrmaterial eingebaut, so z. B. in Ostdeutschland Stahlrohre mit unzureichendem Korrosionsschutz sowie PE-Rohre in ungeeignetem Betonmaterial. In Westdeutschland waren dies Dukttilgussrohre der 1. Generation mit unzureichendem Korrosionsschutz.

5. Periode Rehabilitation der städtischen Versorgungssysteme – Sanieren oder Erneuern

Nach dem Ausbau der Wasserversorgungssysteme im 20. Jahrhundert müssen sich die Versorgungsunternehmen im verstärkten Maße der Instandhaltung ihrer Rohrnetze zuwenden, Rohrleitungen sanieren oder erneuern und aufgetretene funktionale Mängel am Rohrnetz beseitigen (Abb. 1).

Im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts kam als weiterer wichtiger Aspekt für die Rohrnetzrehabilitation der seit 1990 rückläufige Wasserverbrauch im Zusammenhang mit der demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland hinzu.

Die technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer aller Rohrmaterialien, Rohrverbindungen und Armaturen ist begrenzt und von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Durch rechtzeitige Sanierungsmaßnahmen statisch intakter Rohrlei-

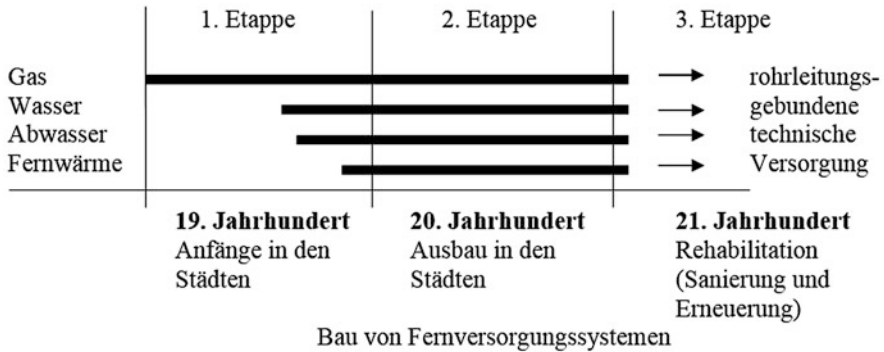


Abb. 1 Etappen der Entwicklung der röhrlitungsgebundenen technischen Infrastruktur

tungen kann die Nutzungsdauer verlängert werden. Voraussetzung für die Sanierung sind die Ergebnisse einer Zustandsbewertung.

Einflussfaktoren, welche bei der Rehabilitation zu beachten wären bzw. welche die Nutzungsdauer von Materialien beeinflussen, sind z. B.:

- physische Veränderungen der Materialien aufgrund ihres Alters (Korrosion, Grafitierung, Zeitstandverhalten usw.),
- äußere Einflüsse wie Verkehrsbelastungen, Boden- und Grundwasserverhältnisse,
- neue Entwicklungen von Rohrmaterialien und -auskleidungen bzw. -beschichtungen,
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse, z. B. Wechselwirkung der Rohrmaterialien mit dem transportierten Wasser oder Verhalten des Rohrnetzes bei Desinfektion und Spülung hinsichtlich des Biofilms in Rohrleitungen oder von Ablagerungen bei Wiederinbetriebnahme der Leitungsstrecken nach Rehabilitationsmaßnahmen,
- neue oder veränderte Anforderungen an die Rohrnetze,
- Einsatz von geeignetem Rohrmaterial,
- Verfahrensentwicklung (z. B. grabenlose Technologien, Bohrlochverfahren für Hausanschlüsse).

2 Entwicklung der Rohrwerkstoffe im 19. und 20. Jahrhundert [16, 18, 21–27]

2.1 Rohrmaterialien gestern und heute

Die heutigen technischen Versorgungs- und Entsorgungssysteme – Gas-, Wasser-, Abwassernetze – entstanden mit der industriellen Entwicklung im 19. Jahrhundert. Im 20. Jahrhundert wurden sie ausgebaut und es erfolgte eine Regionalisierung von

Infrastruktursystemen (Fernversorgung) der Gas- und Wasserversorgung, der Elektroenergieversorgung, der Informationsanlagen und von Produktenleitungen unterschiedlicher Art. In dieser Zeit wurden die klassischen Werkstoffe in ihren Eigenschaften weiter optimiert und neue Werkstoffe kamen auf den Markt. Heute findet man eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien und Systemen in den Leitungsnetzen.

2.2 Von der Einzelfertigung zur industriellen Produktion von Gussrohren

Die ältesten bekannten Gusseisen-Einzelleitungen in Deutschland sind die Rohrleitungen:

- von Schloss Dillenburg (Hessen, 1455),
- Bad Langensalza (Thüringen, 1562),
- Druckwasserleitung zur Versorgung des Schlosses Braunfels an der Lahn (1661),
- Gussrohrleitung Wilhelmshöhe bei Kassel (1701 bis 1713),
- Wasserleitung zur Versorgung der Parkanlagen von Schloss Brühl (1722),
- Metternicher Wasserleitung der Stadt Koblenz (1783 bis 1786) und weitere in
- Hannover Herrenhausen, Weilburg an der Lahn.

Die 1412 in Augsburg gegossenen Gussrohre, die jedoch aufgrund zu geringer Querschnitte und damit zu hohem Druckverlust wieder ausgebaut werden mussten, sind nicht mehr vorhanden, hingegen die in Dillenburg immer noch. In Augsburg wurden die Rohre nach 2 Jahren durch Holzrohre ersetzt [4].

In Deutschland wurden Gussrohre zunächst in der Gasversorgung (nur kleine Querschnitte für die städtische Beleuchtung etwa ab 1820, z. B. 1827 für die Gasbeleuchtung in Berlin) und ab 1850 in der städtischen Wasserversorgung (größere Querschnitte) eingesetzt. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden in der Wasserversorgung ausschließlich Gussrohre verwendet.

Von einer industriellen Fertigung von Gussrohren kann man ab 1885 sprechen (Normung gusseiserner Rohre 1873 durch den Verein deutscher Gas- und Wasserfachmänner zusammen mit dem Verein deutscher Ingenieure). Damalige Tabellen über Rohrleitungen enthalten heute nicht mehr verwendete Nennweiten (DN 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475), die jedoch in Netzteilen heute noch in Betrieb sind.

Das Arbeitsverfahren hat sich im Laufe der Jahrhunderte vom einfachen Guss in liegenden, zweiteiligen Sandformen (sog. Gießladern) bei nur geringer Baulänge bis zur weitgehend mechanisierten Fließfertigung in stehenden, einteiligen Formen entwickelt. Bis 1885 wurden die Rohre liegend gegossen, später einzeln stehend, danach in so genannten Gießkarussellmaschinen. Etwa bis 1915 wurden gerade Rohre ausschließlich in Sandguss mit Hilfe von stehenden, nahtlosen Sandformen, im Allgemeinen ohne mechanische Sandstämpfung hergestellt.

Die bedeutendste Neuerung in der Herstellung von Gussrohren, das Schleudergussverfahren, wurde in Deutschland 1926 eingeführt (Großversuchsanlage 1923).

In wassergekühlten, rotierenden und axial verfahrbaren Dauerformen (Kokillen) mit annähernd waagerechter Rotationsachse wurde über eine feststehende Gießrinne das flüssige Eisen zugeteilt. Im sogenannten *De Lavaud-Verfahren* wird das Eisen auf die ungeschützte Kokille gegossen. Es verteilt sich durch die Fliehkraft mit gleichmäßiger Wanddicke auf der Kokillenoberfläche und erstarrt dort innerhalb weniger Sekunden.

Infolge der hohen Abkühlgeschwindigkeit erfährt das Eisen eine gerichtete Erstarrung, was seinen mechanischen Eigenschaften zugute kommt. So konnte die Festigkeit von sandgeformten Rohren von 120 N/mm^2 beim Schleudergießen auf 200 N/mm^2 gesteigert werden. Erst um 1950 gelang durch metallurgische Maßnahmen die Beeinflussung der Grafitform in Richtung rein kugeliger Ausbildung. Die Grafitkugeln heben die innere Kerbwirkung im Werkstoff weitgehend auf, wodurch E-Modul, Zugfestigkeit und Verformbarkeit (= Duktilität) stark zunehmen (Gusseisen mit Kugelgrafit – duktiles Gusseisen). Nach dem Schleudergießen folgt eine thermische Nachbehandlung, bei welcher der infolge der hohen Abkühlgeschwindigkeit zunächst gebildete Zementit (Fe_3C) in Eisen (Ferrit) und Grafit zerlegt wird. Ferritisches Gusseisen mit Kugelgrafit besitzt eine Zugfestigkeit von mindestens 420 N/mm^2 .

Nach anfänglichen Versuchen mit Kitt als Dichtungsmasse kam im industriellen Zeitalter ab Mitte des 19. Jahrhunderts die Stemmuffenverbindung auf. Sie war bis in die 1930er-Jahre gebräuchlich. Flanschverbindungen (1882 genormt) gehören zu den ältesten Verbindungen und werden vorzugsweise in oberirdischen Leitungen eingesetzt. 1931 wurde die Schraubmuffe „Union“ eingeführt, bei der ein Gummiring in einer konischen Muffe durch Einschrauben eines Schraubringes komprimiert wird. 1936 kam die Stopfbuchsenmuffen-Verbindung auf. 1957 wurde aus den USA die Steckmuffenverbindung TYTON mit der gekammerten Dichtung eingeführt.

Seit 1970 gibt es zugfeste Verbindungen, formschlüssig mit Schweißwulst auf dem Einsteckende und einer vorgegossenen Rückhaltekommer, reibschlüssig mit Krallen, die in die Dichtung einvulkanisiert wurden und sich in der Oberfläche des Einsteckendes einkrallen (TYTON-SIT). 1988 kam die Weiterentwicklung NOVO-SIT auf, bei der die Dichtung und die Zugsicherung in zwei getrennten Kammern des Muffenprofils untergebracht sind. Zugfeste Verbindungen werden bei der Erneuerung von Rohrleitungen nach dem Press-Zieh-Verfahren, dem Berstverfahren und dem Einzugsverfahren eingesetzt.

Der innere Korrosionsschutz mittels Zementmörtelauskleidung wurde etwa ab 1970 eingesetzt, die im Bereich der Wasserleitungen seit etwa Mitte der 1970er-Jahre Standard ist. Zum Schutz gegen Rostbildung verwendete man geschmolzenen Heißasphalt, in den die erwärmten Rohre getaucht wurden. Die Tauchasphaltbeschichtung wurde ab Anfang der 1960er-Jahre von Bitumenlacken als äußerem Korrosionsschutz abgelöst und ab 1965 mit einer metallischen Spritzverzinkung kombiniert. Weitere Entwicklungen der ausgehenden 1970er-Jahre waren die PE- und die Faserzement-Umhüllung sowie Umhüllungen aus faserverstärktem Zementmörtel. Rohre mit Faserzement-Umhüllung können ohne Sandbett in steinigen Böden aller Art eingebaut werden. Durch Wiedereinbau des Grabenaushubs lassen sich somit erhebliche Kosten einsparen.

2.3 Entwicklung von Stahlrohren seit 1900

Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts versuchte man, Stahlrohre aus Blechstreifen zum Rohr zu biegen und die Naht zu schließen. 1817 entwickelte Osborn eine verbesserte Schweißmethode, 1825 gelang dem Schmied Cornelius Whitehouse die Erfindung des StumpfpRESSschweißens. Die Blechstreifen wurden auf Schweißtemperatur erhitzt, anschließend durch ein trichterförmiges Zieheisen gezogen und auf diese Weise zum Rohr geformt. An den Längskanten wurden die Blechstreifen fest zusammengedrückt, wodurch sie miteinander verschweißt wurden. Mitte des 19. Jahrhunderts errichtete Albert Poensgen in Maul/Eifel mit Unterstützung des englischen Werkmeisters Benjamin Smith und auf Anregung des Kölner Röhrenhändlers Leonard Sadee eine Röhrenstraße, die 1845 ihren Betrieb aufnahm (erste Röhrenfertigung für geschweißte Stahlrohre in Deutschland). Das Röhrenwerk wurde 1860 nach Düsseldorf verlegt, da hier günstigere Bezugs- und Absatzmöglichkeiten bestanden.

Die sogenannten Kohlenstoffstähle für die Herstellung von Stahlrohren (legiert und unlegiert) werden heute nach dem basischen Oxygenverfahren hergestellt. Im LD-Konverter werden dabei durch Sauerstoffaufblasen der Kohlenstoffgehalt und die Eisenbegleiter (Si, Mn, P) eingestellt. Des Weiteren werden gleichartige Stähle auch im Elektroofen erschmolzen (teilweise mengenabhängig). In Kohlenstoffstählen sind die Begleitelemente Mangan (Mn), Silizium (Si), Schwefel (S) und Phosphor (P) enthalten. Als legierte Stähle bezeichnet man solche, bei denen die Festigkeitseigenschaften bzw. das Verhalten in der Wärme und gegen chemische Einflüsse durch Zusätze von Mangan, Silizium, Molybdän, Chrom, Titan, Nickel u. a. verbessert werden.

Die Erfindung, nahtlose Stahlrohre durch Schrägwalzen herzustellen, geht auf das Patent der Gebr. Mannesmann (1886) zurück. Die industrielle Verwertung des Verfahrens durch Brüser 1891 führte zu einer kapazitätsmäßig geringen Fertigung in den Jahren 1891 bis 1894 für Durchmesser bis 236 mm. Um 1894 wurde die Produktion wieder eingestellt und erst 1901 in einem Werk in Düsseldorf-Rath (Mannesmann) wieder aufgenommen. Entsprechend der Entwicklung der Produktionsanlagen wurden nahtlose Rohre in folgenden Dimensionen gefertigt: ab 1902 bis 308 mm, ab 1905 bis 404 mm und ab 1923 bis 620 mm.

Rohrleitungen größerer Durchmesser konnten als geschweißte Rohre mit Längsnaht von verschiedenen Firmen hergestellt werden. Einige Städte setzten ab 1905/06 aufgrund des hohen Ausstoßes und gefälliger Preise bei Neuanlagen Stahlrohre ein. Um die Jahrhundertwende hatte sich bereits das Muffenrohr durchgesetzt. Flanschrohre wurden nur vereinzelt verwendet. Die Dichtung erfolgte mit Hanfstrick und Bleiring (Stemmuffe), aber es wurden auch bereits gummidichtende Verbindungen eingesetzt.

Der Korrosionsschutz stand um die Jahrhundertwende noch am Anfang. Besondere Innenschutzmaßnahmen waren erforderlich:

- für aggressive Wässer (weiche und sauerstoffreiche Wässer, saure Wässer, Wässer mit hohem Salzgehalt insbesondere an Chlorid und Sulfat, an Magnesium und Alkalien gebunden, bzw.
- bei ungünstigen Verhältnissen von Kalk und Kohlensäure und Wässern mit gestörtem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

Die Rohre wurden in Bitumen getaucht und anschließend in Rotation versetzt, sodass eine ca. 2 mm dicke Schutzschicht außen und innen entstand. Später wurden die Rohre innen und außen asphaltiert und mit in heißem Asphalt getränkten Jute-streifen bewickelt.

Diese Auskleidungen wurden ab Mitte der 1960er-Jahre durch die Zementmörtel-auskleidung verdrängt. Die frühen Zementmörtel-auskleidungen bereiteten jedoch noch Probleme in der gleichmäßigen Verteilung des Zementmörtels. Mit Einführung des Schleuderverfahrens konnte dieses Problem jedoch gelöst werden. Heute unter-scheidet man:

- das Rotationsschleuderverfahren und
- das Anschleuderverfahren.

Der Außenschutz bestand aus einer durch Tauchen oder Anstrich aufgebrachtten Grundsicht aus bituminöser Masse und der Wickelschicht, bestehend aus Wickel-masse und der zur Aufbringung der Wickelmasse dienenden imprägnierten Woll-filzpappe, die gleichzeitig einen mechanischen Schutz der Wickelmasse darstellt. Bei stark angreifenden Bodenarten und bei besonders schwierigen Verlegever-hältnissen (z. B. Düker) wurde eine doppelte Wicklung mit Rohrschutzmasse und Wollfilzpappe angewendet.

Die ersten PE-Umhüllungen wurden Ende der 1950er-Jahre im sogenannten Sinterverfahren hergestellt. Diese wurde Mitte der 1960er-Jahre durch die Schlauch- und Wickelextrusionsverfahren ersetzt. Seit Mitte der 1980er-Jahre kommen in Deutschland die hochwertigen Dreischichtsysteme zum Einsatz, bestehend aus Kleber, Primer und Polyethylen. Für besondere Anwendungsfälle, wie z. B. den grabenlosen Einbau, werden folgende Umhüllungen eingesetzt:

- PP-Umhüllungen,
- PA-Umhüllungen (PA = Polyamid; relativ neu),
- mit Kunstfasern modifizierter Zementmörtel.

Die heutigen Stahlrohre werden gefertigt nach dem:

- Hochfrequenzwiderstandspress-Schweißverfahren,
- Unterpulver-Schweißverfahren,
- Nahtlos-Verfahren.

Zusammenfassend kann bei Stahlrohren in die:

- 1. Generation ohne Korrosionsschutz bis etwa 1940,
- 2. Generation (mit unzureichendem Korrosionsschutz) und
- 3. Generation mit ausreichendem Korrosionsschutz (etwa ab 1980)

unterschieden werden.

2.4 Asbestzementrohre

1899 gelang es dem Österreicher Ludwig Hatschek, Asbestzementplatten herzustellen. Damit waren die Voraussetzungen für die industrielle Verarbeitung von Asbest gegeben. Das Verfahren zur Herstellung von Druckrohren wurde 1913 von dem Italiener Mazza entwickelt und in die Produktion überführt (ab 1916 in Casale/Monteferrato/Italien eingesetzt). Zu einer umfassenden Anwendung von Asbestzementdruckrohren kam es aber erst ab 1925. Verschiedene Länder bauten Produktionsstätten (in Deutschland 1930).

Asbestzementrohre wurden aus einem Asbestzementgemisch hergestellt, das in dünnen Schichten von etwa 0,1 mm unter hohem Druck auf einem Stahlkern nahtlos aufgewickelt wurde, bis die gewünschte Wanddicke erreicht war. Sie wurden ab DN 50 in Baulängen von 4–5 m produziert und zeichneten sich durch ein geringes Gewicht, gute Verarbeitbarkeit und weitgehende Korrosionsbeständigkeit aus. Korrosionsgefährdung bestand nur durch kalkaggressive Wässer oder Böden, was durch innere und äußere Bitumenüberzüge kompensiert wurde.

Die Verlegung von Asbestzementrohren erforderte jedoch eine einwandfreie Rohrbettung, da sie sehr empfindlich gegen Stoß und Schlag sind und nur eine geringe Biegezugfestigkeit besitzen.

Als Rohrverbindungen wurden Gummigleit-, Gummiroll- und Gummidichtungen verwendet (Kuas-, Simplex-, Gibault-, Magnaniverbindungen u. a.). Die Rohrenden durften nicht vollständig zusammengeschoben werden, um die Rohrenden vor Beschädigungen zu bewahren und eine Abwinklung – bei kleinen Nennweiten bis 6°, bei großen bis 3° – zu gewährleisten.

Als typische Rohrschäden ergeben sich aus den Materialeigenschaften und den Rohrverbindungen Brüche, Korrosion durch aggressive Wässer oder Böden, Blasenbildung sowie Ablösen des Bitumens bei undichten Rohren.

Aufgrund der kanzerogenen Eigenschaften der kurzen Asbestfasern dürfen Rohre aus Asbestzement seit dem 1. Januar 1995 nicht mehr hergestellt und verwendet werden. Bestehende Asbestzementrohrleitungen können jedoch weiter betrieben und repariert werden.

2.5 Beton-, Stahlbeton-, Spannbetonrohre

Druckrohrleitungen aus Stahlbeton, ursprünglich als Ersatzmaterial eingesetzt, wurden bereits in den 1930er-Jahren aus Schleuderbeton hergestellt. Die Rohre erhielten Rundeiseneinlagen, hochwertige Rohre im Innern der Betonrohrwand einen durchgehenden, wasserdicht geschweißten Stahlmantel, an den die Rohrmuffe angeschweißt wurde. Die Dichtung erfolgte mit Hanfstrick und Blei analog zu Guss- und Stahlrohren. Bei aggressiven Böden wurde ein Asphaltbetonaußenschutz aufgebracht.

Die Produktion von Spannbetonrohren hatte in den 1950er-Jahren mit dem Bau großer Fernwasserleitungen einen großen Aufschwung erlebt. Bereits in den

1920er-Jahren wurden auch Stahlmantelschleuderbetonrohre hergestellt, die innen aus Stahlblech und außen aus Stahlbeton bestanden. Diese Rohre sind bis heute weitgehend ohne Schäden in Betrieb. Spannbetonrohre müssen für jeden Anwendungsfall bemessen werden und sind gegenwärtig nicht wettbewerbsfähig.

Die Herstellung von Betonrohren wurde in Deutschland um 1850 unmittelbar nach der Errichtung der ersten Zementfabriken aufgenommen. Ihr eigentlicher großtechnischer Einsatz in der Kanalisation der Städte begann jedoch erst mit dem Aufschwung der deutschen Portland-Zement-Industrie Anfang der 1880er-Jahre. Die Rohrfertigung war damit von kostspieligen Zementimporten unabhängig und konkurrenzfähig zu Steinzeugrohren.

Der verstärkte Einsatz von Betonrohren in der Kanalisation war nicht nur aus Kostengründen sondern auch durch die vielfältigen Möglichkeiten, die sich aus dem Baustoff und der Fertigungstechnik ergaben, möglich. Es bestand keine Beschränkung hinsichtlich der Querschnittsform (Kreis-, Maul-, Ei- und Rechteckprofile) und der Abmessungen, so dass eine bessere Anpassung an die Anforderungen der Entwässerungstechnik möglich wurde. Die ersten bewehrten Rohre aus Beton (damals Zementröhren mit Eiseneinlagen oder Eisenbetonrohre genannt) wurden vor der Jahrhundertwende im Jahre 1889 vorgestellt.

Der heutige Beton wird aus Zement, Gesteinskörnung, Wasser und häufig noch mit Betonzusatzstoffen und -zusatzmitteln hergestellt. Betonzusatzmittel sind chemische Wirkstoffe, die bestimmte Eigenschaften des frischen oder festen Betons beeinflussen, hierzu gehören z. B. Betonverflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner oder Dichtungsmittel.

Eine besondere Variante stellt der sog. Polymerbeton dar. Hierbei kommen Reaktionsharzformstoffe zum Einsatz, Zement und Wasser werden nicht benutzt. Der starke Verbund von Harz und der Gesteinskörnung erlaubt die Aufnahme hoher Druck- und Biegespannungen bei geringen Wanddicken und reduziertem Rohrgewicht.

Je nach Zusammensetzung, Erhärtingsgrad und besonderen Eigenschaften kann Beton eingeteilt werden nach:

- der Rohdichte (Leichtbeton, Normalbeton, Schwerbeton),
- der Konsistenz (steif, plastisch, weich, fließfähig, selbstverdichtend) und
- der Bewehrung (unbewehrt, bewehrt, Stahlbeton, Spannbeton).

In nationalen und internationalen Vorschriften für Beton ist es üblich, Beton nach seiner Druckfestigkeit zu klassifizieren. Die Festigkeitsklasse eines Betons ist zugleich einer der Ausgangswerte für den statischen Nachweis einer Betonkonstruktion. Die Kurzbezeichnung gibt mit der ersten Zahl die charakteristische Druckfestigkeit in N/mm^2 an, gemessen am Zylinder mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Länge von 300 mm. Die zweite Zahl gibt die Druckfestigkeit an, gemessen am Würfel mit 150 mm Kantenlänge (Beispiel: C 40/50).

Am Markt kommen verschiedene Betonprodukte zum Einsatz: Betonrohre mit und ohne Fuß (DN 300–1500), Stahlbetonrohre für besondere statische Belastungen wie z. B. im Bereich von Gleisen, Containerterminals und Autobahnen

(DN 300–4000), Eiprofile (300/450–1200/1800 mm), Sonderprofile wie z. B. Drachenprofile (DN 1200–3000) oder Rohre mit Trockenwetterrinne (DN 800–3600), Rahmenprofile aus Rechteckrohren, Vortriebsrohre (DN 300–3600), Schachtfertigteile und Sonderbauwerke sowie Betonrohre mit Innenauskleidungen für spezielle Anforderungen.

2.6 Steinzeugrohre

Die Serienproduktion von Steinzeugrohren begann in Deutschland im 19. Jahrhundert. 1862 entstand in Frechen bei Köln eine erste Thonröhrenfabrik, in der die Röhren mit von Hand betriebenen Pressen geformt wurden. 1863 begann die Bitterfelder Thonröhrenfabrikation.

Heute erfolgt die Formgebung in vertikal angeordneten Vakuumstrangpressen. Ausgangsmaterial von Steinzeugrohren sind Ton und Schamotte. Nach dem Trocknen der Rohre bei rund 100 °C erfolgt der Brand in Tunnelöfen bei ca. 1250 °C. Dabei entsteht der Werkstoff Steinzeug mit seinen besonderen Eigenschaften (hohe chemische Beständigkeit, nicht rückverformbar, hohe mechanische Festigkeit und Härte).

Die technische Weiterentwicklung erfolgte u. a. mit der Zielsetzung, größere Wanddicken und höhere Festigkeiten zu erreichen. Dadurch konnte der Anwendungsbereich von Steinzeugrohren erweitert werden. So kommen Steinzeugvortriebsrohre heute vielfach zum Einsatz. Steinzeugrohre (DN 100–1400, Baulängen 1,00 bis 2,50 m) und Formstücke für die offene und geschlossene Bauweise sind einschließlich der Rohrverbindungen in DIN EN 295 genormt.

Anhand der Baulängen der Einzelrohre kann das Alter des Steinzeugrohrkanals oftmals abgeschätzt werden. Zu Beginn des Einsatzes von Steinzeugrohren bei der Erstellung von Abwasserkanalisationen wurden Baulängen von 1,00 m eingebaut. Erst seit Mitte der 1960er-Jahre standen Steinzeugrohre mit Baulängen von 1,50 m zur Verfügung. Es folgten Baulängen von 2,00 m und 2,50 m (ab Mitte der 1970er-Jahre).

Die Dichtungen für Steinzeugrohre werden werkseitig hergestellt. Unterschieden werden Verbindungssysteme nach Nennweite (DN) und Tragfähigkeitsklassen (TKL). Eine Grundregel bei der Festlegung von Verbindungsmaßen ist die Austauschbarkeit bei gleichem Verbindungssystem und gleicher Tragfähigkeitsklasse. Generell sind zu unterscheiden:

- Steckmuffenverbindungen mit Lippendichtung (L),
- Steckmuffenverbindung mit Dichtung in der Muffe und am Spitzende (K) sowie
- Steckmuffendichtung mit einer Dichtung am Spitzende (S).

Für die geschlossene Bauweise sind Steinzeugvortriebsrohre (DN 150–DN 1400, Baulängen 0,50 bis 2,00 m) entwickelt worden, die eine hohe Längsdruckfestigkeit, einen schlanken Wandquerschnitt und eine glatte Außenwand besitzen. Sie eignen

sich neben dem Neubau auch für verschiedene Sanierungsverfahren, wie dem Mikro-Tunnelbau (Pipe-Eating) und dem Berstlining.

Ein weiteres Steinzeugprodukt sind keramische Auskleidungen wie Sohlschalen, Platten und Platten-Elemente. Diese werden zum Schutz von Kanälen und Bauwerken gegen besondere Beanspruchungen wie z. B. Korrosion eingesetzt. Platten-Elemente können zur Teil- und Vollauskleidung der Sohle und des Gasraumes eingesetzt werden. Ihre Anwendung erfolgt sowohl im Neubau als auch in der Sanierung.

2.7 Kunststoffwerkstoffe – PVC, PP, PE, duroplastische Harze

Der Bereich der Kunststoffrohre ist sehr vielfältig, eine hinreichende Erläuterung aller Typen und Eigenschaften sprengt den Rahmen dieser Kurzdarstellung. Hier soll lediglich der Versuch unternommen werden, einen Eindruck von den technischen Weiterentwicklungen und der fortschreitenden Einsatzbreite zu geben.

Im Verteilnetz der Gas- und Wasserversorgung ist der Werkstoff Polyethylen (PE) mittlerweile der vorherrschende Werkstoff, im Bereich der Transportleitungen bei höheren Drücken und Durchmessern kommt er ausschließlich im Wasserbereich (bis 16 bar) vor. Transportleitungen im Bereich der Gasversorgung (> 10–100 bar) werden nach wie vor in Stahl ausgeführt, wenngleich es für kleinere Durchmesser mittlerweile auch Alternativen in Kunststoffausführungen gibt. Sie kamen in Deutschland allerdings bislang nur in wenigen Pilotprojekten zum Einsatz. Aber auch im Abwasserbereich der öffentlichen Entsorgung finden Kunststoffe vermehrt Anwendung und bilden im kleineren Durchmesserbereich zunehmend Konkurrenz zu den klassischen Rohrmaterialien wie Steinzeug und Beton. Im Hausanschlussbereich werden heute bei der Neuverlegung überwiegend Kunststoffrohre aus PVC eingesetzt.

Im Folgenden werden die heute am weitesten verbreiteten Kunststoffwerkstoffe im Rohrleitungsbau vorgestellt:

- Polyvinylchlorid (PVC),
- Polyethylen (PE),
- Polypropylen (PP) und
- Duroplastische Harze.

In die letzte Gruppe gehören neben dem glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK) auch die Epoxid-, Polyester- und Metacrylatharze, die im Bereich der Sanierung von Rohrleitungen, z. B. bei Injektionsverfahren, eingesetzt werden.

Polyvinylchlorid (PVC)

Im Jahr 1835 gelang es dem französischen Chemiker Henri Victor Regnault erstmalig Vinylchlorid herzustellen, das unter Einfluss von Sonnenlicht ein weißes Pulver bildete. 1935 begann in Bitterfeld die großtechnische Herstellung von Hart-PVC bei Temperaturen von 160 °C.

Erste Produkte waren Folien und Rohre; letztere wurden 1935 in Bitterfeld und Salzgitter verlegt. PVC ist ein vorwiegend thermoplastischer Werkstoff. Für die Rohrherstellung wird fast ausschließlich PVC aus der Suspensionspolymerisation verwendet, das zur Erzielung der Eigenschaftsprofile mit Zuschlagstoffen (Stabilisatoren, Gleitmittel, Pigmenten usw.) versehen wird. Für die Herstellung von Rohren und Formstücken wird dem Werkstoff kein Weichmacher hinzugefügt, daher spricht man von PVC-U (Unplasticised Plastic). PVC-U besitzt eine hohe Härte und Formstabilität bei gleichzeitig sehr guter chemischer Beständigkeit. Man unterscheidet zwischen kerngeschäumten Rohren und Vollwandrohren. Bei den kerngeschäumten Rohren wird der Zwischenraum mit z. B. Grafit „verfüllt“, während bei Vollwandrohren die komplette Wandung aus einem Material besteht.

„Handelsübliche Kanalgrundrohre“ (KG-Rohre) sind an ihrer orangebraunen Farbe zu erkennen (DN 110–500). Andere Ausführungen an PVC-Rohren werden blau bzw. braun eingefärbt, um bei Trennsystemen eine visuelle Zuordnung zu Regenwasser- oder Schmutzwasserrohren zu gewährleisten. Angeboten werden auch Hochlast-PVC-Rohre ($\approx 12 \text{ kN/mm}^2$) für Einbautiefen von 0,5 bis 6,0 m unter Schwerlastverkehrsflächen bis 60 t (DN 250–800).

PVC-Rohre wurden vereinzelt auch im Trinkwasser- und auch im Gasbereich eingesetzt. Breite Anwendung finden PVC-Rohre beispielsweise im niederländischen Gasverteilnetz, wobei diese Netze mit geringeren Drücken als in Deutschland üblich gefahren werden.

Für das Berstverfahren gibt es spezielle PVC-U-Kurzrohre mit größeren Wanddicken und Steckverbindungen mit großer Einstecktiefe und zwei Lippendichtungen. Die Verbindung von PVC-Rohren erfolgt in der Regel mittels Muffen mit Dichtungen.

Polyethylen (PE)

Die „Geburtsstunde“ des Polyethylens geht auf den 27. März 1933 zurück. Im Laboratorium der ICI in London entstand bei einer Reaktion mit Ethylen und Benzaldehyd bei $170 \text{ }^\circ\text{C}$ und 1400 bar ein weißer, wachsartiger Belag. Im Jahr 1939 begann dann die erste großtechnische Produktion von PE. Durch weitere Verfahrensverbesserungen gelang es, die Polymerisation auch bei niedrigeren Drücken durchzuführen.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahrenstechniken, um Polyethylen herzustellen. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Temperatur, dem Druck und den verwendeten Katalysatoren. Das jeweilige Ethylen differenziert sich in der Länge der Makromoleküle und der Verzweigungen, was zu unterschiedlichen Dichten führt. Heutzutage können die Eigenschaften von PE durch Zugabe von Füll- und Verstärkungsstoffen, von Additiven oder Herstellung von Polymermischungen noch gezielt beeinflusst werden. So besitzen bimodale PE-Typen, die in der Molmassenverteilung zwei Maxima aufweisen, deutlich höhere Langzeiteigenschaften (Zeitstandfestigkeit, Widerstand gegen langsamen und schnellen Rissfortschritt) als Standardtypen. Generell unterscheidet man im Rohrleitungsbau folgende PE-Typen: