

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-