

# **Rehabilitation von Rohrleitungen**

**Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen**

BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

Impressum:

Rehabilitation von Rohrleitungen - Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen  
ISBN: 978-95773-181-4

Herausgeber:

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystr. 7  
99421 Weimar  
Internet: <http://www.uni-weimar.de/wbbau/>

Bezugsmöglichkeiten:

Bauhaus-Universitätsverlag als Imprint von VDG Weimar  
[www.vdg-weimar.de](http://www.vdg-weimar.de)  
T: 03643-83030  
F: 03643-830313

Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystr. 7  
99421 Weimar  
T: 03643-584627  
F: 03643-584637  
[info@bauing.uni-weimar.de](mailto:info@bauing.uni-weimar.de)  
[www.uni-weimar.de/wbbau/](http://www.uni-weimar.de/wbbau/)

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Satz und Layout: Dipl.-Ing. Roy Holzhey

Druck: Schätzl Druck GmbH & Co. KG, Donauwörth

Kromsdorf, 3. Auflage 2015

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

**BAUHAUS**  
UNIVERSITÄTSVERLAG

## Autorenverzeichnis

### **Kapitel 1 – Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums**

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

### **Kapitel 2 – Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)**

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

### **Kapitel 3 – Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften**

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

### **Kapitel 4 – Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen**

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

### **Kapitel 5 – Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen**

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

### **Kapitel 6 – Rehabilitationsstrategien**

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Roscher, Dipl.-Ing. (FH) M. Beck, Dipl.-Ing. I. Kropp

### **Kapitel 7 – Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen**

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

### **Kapitel 8 – Rehabilitation von Fernwärmekanälen und -leitungen**

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

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

BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

## Vorwort

Seit der 1. Auflage des Skriptes „Rehabilitation von Rohrleitungen – Sanierung und Erneuerung von Verteilungs- und Entsorgungsnetzen“ und den Nachauflagen in den Jahren 2008 und 2012 haben weitere interessante Entwicklungen auf diesem Gebiet stattgefunden.

Es ist insbesondere festzustellen, dass der Erneuerungsbedarf in den nächsten Jahren und Jahrzehnten anwachsen wird, da nicht nur überalterte Netzteile und Bauwerke erneuert oder saniert werden müssen. Ebenso müssen Rohrleitungen mit unzureichendem Korrosionsschutz oder in steinigem Rohrgräben verlegte Kunststoffrohrleitungen aus den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg erneuert werden.

Neue Verfahren und Produkte wurden seither durch die Bauunternehmen und Rohrhersteller entwickelt und haben Eingang in die Baupraxis gefunden. Auch in der Produktnormung und in Richtlinien der Fachverbände gab es ständig Weiterentwicklungen und Neufassungen.

Es war wiederum erforderlich, diese Erkenntnisse und Erfahrungen der Sanierung und Erneuerung in die Neuaufgabe aufzunehmen.

Zu nennen sind folgende Aspekte:

- Weiterentwicklung resistenter Rohrmaterialien für grabenlose Bauverfahren – das betrifft sowohl metallische Rohrmaterialien als auch Kunststoffrohrmaterialien
- die Möglichkeit in größerem Umfang Hausanschlussleitungen grabenlos auszuwechseln oder auch neu einzubauen
- neue Verfahrensvarianten für grabenlose Bauverfahren
- Zulassung des Gewebeschlauchverfahrens für Trinkwasserleitungen
- Weiterentwicklung der Sanierungsverfahren von Abwasserleitungen sowie von Schachtsanierungsverfahren usw.

Wesentliche Änderungen werden sich in Zukunft auf dem Gebiet der Gasversorgung ergeben, wobei die Zukunft bereits begonnen hat – Einspeisung von Biogas und anderen Gasen in vorhandene Gasrohrnetze. Regenerative Energiequellen werden bereits vielfach genutzt, allerdings sind es noch Einzelbeispiele. Zu beachten sind dabei vorrangig Sicherheitsaspekte.

Änderungen ergaben sich auch durch die Neufassung auf dem Gebiet des Baumschutzes (GW 125 „Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle“). Grabenlose Leitungserneuerungen eignen sich hervorragend für den Baumschutz.

Dadurch wuchs der Umfang des Manuskriptes und erforderte eine Auswahl in den Textfassungen und dem

verfügbaren Bildmaterial. Neben bereits in den vorangegangenen Auflagen verwendeten Bildmaterials kam neues hinzu.

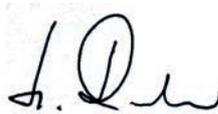
Neu aufgenommen wurde das Gebiet der Fernwärmeversorgung und der Rehabilitation von Kanälen und Schächten. In dieses Kapitel wurde auch die Erneuerung von Rohrleitungen in Sammelkanälen (Wasser- und Fernwärmeleitungen) eingefügt, da diese in den nächsten Jahren ansteht und es dazu bereits erste Projekte realisiert wurden (Beispiele Paris, Frankfurt/Oder und Jena).

Ein eigenständiges Kapitel 6 Rehabilitationsstrategien wurde ebenfalls eingefügt, welches bisher dem Kapitel Wasserversorgung zugeordnet war.

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

Dank gilt auch den beteiligten Bauunternehmen und Firmen

- Duktus Rohrsysteme (Wetzlar)
- Fuchs-Rohre Siegen
- Mannesmann Rohrwerke
- Fachgemeinschaft Gussrohre
- Pro Aqua Stahlrohre
- Kunststoffrohrverband
- Berkel Rohrtechnik GmbH (Gladbeck)
- Pfaffinger Unternehmensgruppe (Berlin)
- Karl Weiss Technologies GmbH (Berlin)
- Gelsenwasser AG
- Diring & Scheidel Rohrreparatur (München, Mannheim)
- Berliner Wasserbetriebe
- TRACTO-TECHNIK GmbH (Lennestadt)
- Fa. Ludwig Pfeiffer Kassel/Leipzig
- IAB Institut für Angewandte Bauforschung Weimar
- Stadtwerke Jena Anlagenservice GmbH (Herr Kirmse)
- Fa. Wähler Hamburg
- Breternitz Bauunternehmen (Jena)



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

Weimar, im Februar 2015

BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

# Inhaltsverzeichnis

|            |  |     |
|------------|--|-----|
|            | <b>Vorwort</b> .....   | III |
| <b>1</b>   | <b>Technische Versorgung und Nutzung des unterirdischen Bauraums</b> .....   | 1   |
| 1.1        | Die Technische Versorgung der Städte [Roscher] .....   | 1   |
| 1.1.1      | Aufgaben der Technischen Versorgungssysteme .....  | 1   |
| 1.1.1.1    | Technische Versorgung als Bestandteil der Technischen Infrastruktur .....  | 1   |
| 1.1.1.2    | Nutzung des unterirdischen Bauraums .....  | 1   |
| 1.1.1.3    | Daueraufgabe Rehabilitation der technischen Versorgung .....   | 2   |
| 1.1.1.4    | Entwicklung grabenloser Bauverfahren .....   | 2   |
| 1.1.2      | Zur historischen Entwicklung der Technischen Versorgung [Roscher] .....  | 3   |
| 1.1.2.1    | Stadt und Technische Versorgung .....  | 3   |
| 1.1.2.2    | Wasserversorgung .....   | 4   |
| 1.1.2.3    | Abwasserableitung .....  | 5   |
| 1.1.2.4    | Gasversorgung .....  | 5   |
| 1.1.2.5    | Fernwärmeversorgung .....  | 6   |
| 1.2        | Stadtstraßen und Nutzung des unterirdischen Bauraums .....   | 7   |
| 1.2.1      | Versorgungsleitungen im unterirdischen Bauraum .....   | 7   |
| 1.2.2      | Ausbildung des Straßenquerschnittes .....  | 8   |
| 1.2.3      | Straßenbefestigung .....   | 9   |
| 1.2.4      | Baumschutzmaßnahmen und Baumpflanzungen im Bereich von Versorgungsleitungen .....  | 10  |
| 1.2.5      | Offene Bauweise und geschlossene Bauweise im Vergleich .....   | 14  |
| 1.2.6      | Wiederherstellung von Straßen und Vermeidung von Folgeschäden durch Baugruben bzw. Baugräben bei konventioneller Verlegung von Rohrleitungen .....                 | 18  |
| 1.2.6.1    | Zur Entstehung von Folgeschäden .....  | 18  |
| 1.2.6.2    | Vermeidung von Folgeschäden im Straßenoberbau und an der Straßendecke .....  | 21  |
| 1.2.6.3    | Wiederherstellung von Asphaltdecken .....  | 22  |
| 1.2.6.4    | Wiederherstellung von Zementbetondecken .....  | 24  |
| 1.2.7      | Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien (SVM) .....   | 26  |
| 1.2.7.1    | Einsatz von selbstverdichtenden Verfüllmaterialien zur Vermeidung von Setzungen des Rohrgrabens .....  | 26  |
| 1.2.7.2    | Selbstverdichtende Verfüllmaterialien .....  | 29  |
| 1.2.7.3    | Besonderheiten der Rohrtragfähigkeitsberechnung bei Einsatz von SVM/ Bodenmörtel .....   | 33  |
| 1.3        | Lage der Versorgungsleitungen im Straßenkörper .....   | 41  |
| 1.3.1      | Lage und Tiefenlage sind entscheidend für die Rehabilitation .....   | 41  |
| 1.3.2      | Einordnung der Leitungen in den unterirdischen Bauraum – Entwicklungs-etappen .....  | 41  |
| 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  |
| <b>1.A</b> | <b>Zeittafeln zur historischen Entwicklung</b> .....   | 46  |
| <b>2</b>   | <b>Begriffsbestimmungen der Rehabilitation (Sanierung und Erneuerung)</b> .....  | 53  |
| 2.1        | Ziele der Rehabilitation .....   | 53  |
| 2.1.1      | Rehabilitation als Daueraufgabe .....  | 53  |
| 2.1.2      | Wasserversorgung .....   | 53  |
| 2.1.3      | Gasversorgung .....  | 53  |
| 2.1.4      | Fernwärmeleitungen und -kanäle .....   | 53  |
| 2.1.5      | Abwasserableitung .....  | 54  |
| 2.2        | Technische und betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer .....   | 54  |
| 2.2.1      | Einflussfaktoren und Zustandsbeurteilung .....   | 54  |
| 2.2.2      | Ursachen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen .....  | 54  |
| 2.2.3      | Ursachen von Schäden an Gasrohrnetzen .....  | 55  |
| 2.2.4      | Ursachen von Schäden Fernwärmeleitungen und -kanälen .....   | 56  |
| 2.2.5      | Ursachen von Schäden an Abwassernetzen .....   | 56  |
| 2.3        | Sanierungs- oder Erneuerungszeitpunkt .....  | 56  |
| 2.3.1      | Wasserversorgung .....   | 56  |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.3.2    | Gasversorgung  | 57        |
| 2.3.3    | Fernwärmeversorgung  | 57        |
| 2.3.4    | Abwasserableitung  | 57        |
| 2.4      | Grabenlose Rehabilitationsverfahren  | 57        |
| 2.5      | Begriffsbestimmungen nach DIN 31051  | 58        |
| 2.5.1    | Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Wasserversorgung                 | 60        |
| 2.5.2    | Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Gasversorgungsnetzen             | 60        |
| 2.5.3    | Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Fernwärmeversorgungsnetzen       | 61        |
| 2.5.4    | Begriffsbestimmungen der Instandhaltung von Abwasserleitungen                | 62        |
| <b>3</b> | <b>Rohrmaterialien und ihre Eigenschaften</b>                                | <b>63</b> |
| 3.1      | Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in 5 Jahrtausenden [Roscher]         | 63        |
| 3.2      | Rohrmaterialien und Herstellung (Produktion und Eigenschaften) [Roscher]     | 65        |
| 3.2.1    | Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Wasserversorgung             | 65        |
| 3.2.1.1  | Holzrohrleitungen für die mittelalterliche Wasserversorgung                  | 68        |
| 3.2.1.2  | Gussrohre  | 69        |
| 3.2.1.3  | Stahlrohre   | 72        |
| 3.2.1.4  | Zementmörtel-Auskleidung von Guss- und Stahlrohren                           | 73        |
| 3.2.1.5  | Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre                              | 75        |
| 3.2.1.6  | Asbestzementrohrleitungen  | 76        |
| 3.2.1.7  | Kunststoffrohre  | 76        |
| 3.2.1.8  | Einteilung der Rohrmaterialien nach Generationen                             | 80        |
| 3.2.2    | Zum Problem der Korrosion und der Alterung                                   | 83        |
| 3.2.2.1  | Das Phänomen der Korrosion   | 83        |
| 3.2.2.2  | Korrosion metallischer Rohrleitungen   | 83        |
| 3.2.2.3  | Elektrochemisch bedingte Korrosion   | 84        |
| 3.2.2.4  | Korrosionsschutz heute   | 84        |
| 3.2.2.5  | Graphitierung bei Graugussleitungen  | 86        |
| 3.2.2.6  | Korrosion bei Asbestzement- und Betonrohren                                  | 86        |
| 3.2.2.7  | Zeitstandsfestigkeit und Versprödung von Kunststoffrohren aus PE und PVC     | 86        |
| 3.3      | Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Gasversorgung [Roscher]      | 87        |
| 3.3.1    | Rohrmaterialien und Schlauchliner  | 87        |
| 3.3.2    | Leitungsgruppen – Rohrgenerationen   | 88        |
| 3.4      | Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik in der Fernwärmeversorgung [Roscher] | 88        |
| 3.5      | Zur Entwicklung der Rohrleitungstechnik für die Abwasserableitung [Roscher]  | 89        |
| 3.5.1    | Steinzeugrohre   | 89        |
| 3.5.2    | Stahlbeton und Spannbetonrohre sowie Betonrohre                              | 90        |
| 3.5.3    | Mauerwerkskanäle   | 90        |
| <b>4</b> | <b>Sanierung und Erneuerung von Wasserversorgungsnetzen</b>                  | <b>91</b> |
| 4.1      | Rohrnetzbestand in Deutschland   | 91        |
| 4.2      | Schäden und Schadensursachen, Schadenserfassung und Zustandsbewertung        | 93        |
| 4.2.1    | Aufgaben der Schadenserfassung und Zustandsbewertung                         | 93        |
| 4.2.2    | Vorbemerkungen zur Schadensforschung   | 93        |
| 4.2.3    | Ergebnisse der Schadensforschung   | 93        |
| 4.2.4    | Alter der Rohrleitungen kein Kriterium für Schäden und Zustand               | 93        |
| 4.3      | Die zunehmende Beanspruchung der Rohrleitungen im Straßenraum                | 94        |
| 4.4      | Schadenserfassung und Schadensstatistik                                      | 96        |
| 4.4.1    | Ziele und Inhalt der Schadenserfassung                                       | 96        |
| 4.4.2    | Schadensstatistik des DVGW   | 97        |
| 4.4.3    | Unternehmensübergreifende Schadensstatistik                                  | 97        |
| 4.4.4    | Instandhaltungsrelevante Daten   | 97        |
| 4.4.5    | Datenerfassung, -zuordnung und -speicherung                                  | 98        |
| 4.4.6    | Statistik der Bestands- und Zustandsdaten (Statistische Auswertung)          | 99        |
| 4.4.7    | Qualitätssicherung bei der Datenerfassung und -auswertung                    | 100       |
| 4.4.8    | Nutzen der DVGW-Schadensstatistik Wasser für die Rehabilitationspraxis       | 100       |
| 4.4.9    | Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV                      | 102       |
| 4.4.9.1  | Schadenserfassung im Unternehmen und Auswertung mit EDV                      | 102       |
| 4.4.9.2  | Schadensstatistik als Planungsgrundlage?                                     | 102       |
| 4.4.9.3  | Schadensstatistische Auswertung  | 104       |
| 4.4.9.4  | Ergebnisse schadensstatistischer Auswertungen                                | 105       |
| 4.5      | Wasserverlustermittlung (W392 derzeitige Fassung, W392 liegt im Entwurf vor) | 106       |
| 4.5.1    | Wasserverluste in Trinkwassernetzen – ein Dauerproblem                       | 106       |
| 4.5.2    | Wasserverluste durch Lochkorrosion bei Längs- und Querrissen                 | 107       |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 4.5.3    | Ziele der Wasserverlustermittlung   | 108 |
| 4.5.4    | Wassermengenbilanz  | 108 |
| 4.5.5    | Bewertung der Wasserverluste  | 109 |
| 4.5.6    | Inspektion und Wartung von Ortsnetzen   | 110 |
| 4.5.7    | Wasserverlustmessung  | 110 |
| 4.5.7.1  | Verfahren der Wasserverlustmessung  | 110 |
| 4.5.7.2  | Ermittlung der Wasserverluste durch Zuflussmessung  | 111 |
| 4.5.7.3  | Leckortungsmethoden   | 111 |
| 4.6      | Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen   | 113 |
| 4.6.1    | Vorbemerkungen  | 113 |
| 4.6.2    | Schadenserkennung und Schadensentstehung  | 113 |
| 4.6.3    | Beurteilung des Zustandes liegender Rohrleitungen   | 114 |
| 4.6.4    | Durchführung materialtechnischer Untersuchungen im Labor für metallische Rohrleitungen                  | 116 |
| 4.6.5    | Ziele der materialtechnischen Zustandsbewertung   | 127 |
| 4.6.5.1  | Zustandsbeurteilung nach Brussig  | 127 |
| 4.6.5.2  | Zustandsbeurteilung nach Böhm   | 127 |
| 4.6.5.3  | Materialtechnische Zustandsbewertung nach Sorge   | 128 |
| 4.7      | Planung der Rehabilitation  | 132 |
| 4.7.1    | Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen  | 132 |
| 4.7.2    | Rehabilitationsstrategie  | 132 |
| 4.7.3    | Ziele der Instandhaltung von Trinkwasserrohrnetzen  | 133 |
| 4.7.3.1  | Planung und Durchführung der Rehabilitation   | 133 |
| 4.7.3.2  | Unterlagen für die Netzanalyse  | 133 |
| 4.7.3.3  | Bildung von Leitungsgruppen   | 133 |
| 4.7.4    | Zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie  | 133 |
| 4.7.5    | Optimale Rehabilitationsstrategie   | 133 |
| 4.7.6    | Flächenhafte Rehabilitation   | 135 |
| 4.7.6.1  | Beispiele flächenhafter Rehabilitation  | 135 |
| 4.7.6.2  | Vorteile der flächenhaften Rehabilitation - Untersuchungsergebnisse Erfurt                              | 135 |
| 4.7.6.3  | Synergieeffekte Flächenhafte Rehabilitation   | 138 |
| 4.7.7    | Effektivität von Instandhaltungsmaßnahmen   | 139 |
| 4.8      | Vorbereitungsarbeiten zur Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen                                     | 140 |
| 4.8.1    | Zur Entwicklung der Rehabilitationsverfahren  | 140 |
| 4.8.2    | Auswahl des geeigneten Verfahrens   | 142 |
| 4.8.3    | Reparatur – sofortige Beseitigung von Rohrschäden   | 142 |
| 4.8.4    | Vorbereitung der Rehabilitationsmaßnahmen   | 144 |
| 4.8.4.1  | Bauablauf   | 144 |
| 4.8.4.2  | Sicherung von Baustellen auf öffentlichen Grundstücken  | 144 |
| 4.8.4.3  | Ersatzversorgung  | 145 |
| 4.8.5    | Rohrreinigung in Abhängigkeit vom Sanierungsverfahren   | 147 |
| 4.8.5.1  | Verfahrensbedingte Anforderungen  | 147 |
| 4.8.5.2  | Verfahren der Rohrreinigung   | 147 |
| 4.8.5.3  | TV-Inspektion und Videoaufzeichnungen   | 148 |
| 4.8.6    | Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit grabenloser Rohrverlegung   | 149 |
| 4.9      | Rehabilitationsverfahren  | 151 |
| 4.9.1    | Zementmörtelauskleidung   | 151 |
| 4.9.1.1  | Merkmale des Verfahrens und Zustand des Altröhres   | 151 |
| 4.9.1.2  | Arbeitsablauf und Anforderungen an das ausführende Fachunternehmen                                      | 151 |
| 4.9.1.3  | Verfahrensdurchführung  | 151 |
| 4.9.1.4  | Anforderungen an die eingesetzten Materialien und den Festmörtel  | 152 |
| 4.9.1.5  | Eignungsprüfung, Güteprüfung, Ausgangsstoffe  | 153 |
| 4.9.1.6  | Beschaffenheit der Auskleidung  | 153 |
| 4.9.1.7  | Wiederinbetriebnahme  | 153 |
| 4.9.1.8  | Schutzwirkung des Zementmörtels   | 154 |
| 4.9.1.9  | Einsatzbereiche der Zementmörtelauskleidung   | 154 |
| 4.9.1.10 | Kontrolle und Gütesicherung   | 156 |
| 4.9.2    | Gewebeslauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohrleitungen mit Verklebung des Inliners | 156 |
| 4.9.2.1  | Merkmale des Verfahrens   | 156 |
| 4.9.2.2  | Verfahrensbeschreibung  | 156 |
| 4.9.2.3  | Materialien und Auskleidung   | 157 |
| 4.9.2.4  | Hausanschlüsse, Inbetriebnahme und Nachweise  | 157 |
| 4.9.2.5  | Verfahrensvarianten (SANFLEX, Process Phoenix, starline)  | 158 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.9.2.6  | Prüfgrundlagen des Gewebeschlauch-Verfahrens bei Wasserrohrleitungen (auszugsweise aus W 330 (P))                                  | 165 |
| 4.9.3    | Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 (Erneuerung von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohreinzug oder Rohreinschub)    | 166 |
| 4.9.3.1  | Merkmale des Verfahrens  | 166 |
| 4.9.3.2  | Rohrstrang-Relining mit PE-Rohren (PE 80, PE 100) bzw. PE-Xa-Rohren  | 167 |
| 4.9.3.3  | Relining mit Stahl- und duktilen Gussrohren  | 171 |
| 4.9.3.4  | Rohrstrang-Relining mit Verformung nach GW 320-2   | 174 |
| 4.9.4    | Grabenlose Auswechslungen von Gas- und Wasserrohrleitungen mit Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren (GW 322-1 und GW 322-2) | 177 |
| 4.9.4.1  | Verfahrensentwicklung aufgrund des Berliner Straßengesetzes  | 177 |
| 4.9.4.2  | Verfahrensbeschreibung   | 177 |
| 4.9.4.3  | Press- und Ziehverfahren für Haupt- und Versorgungsleitungen nach GW 322   | 177 |
| 4.9.4.4  | Anforderungen an die Fachunternehmen   | 178 |
| 4.9.4.5  | Anforderungen an das Rohrmaterial  | 178 |
| 4.9.4.6  | Vorbereitende Arbeiten und Ausführung  | 179 |
| 4.9.4.7  | Press-/Ziehverfahren -hydros   | 180 |
| 4.9.4.8  | Hilfsrohrverfahren Verfahrensbeschreibung  | 184 |
| 4.9.4.9  | Rohre und Rohrverbindungen für Press-/Ziehverfahren und Hilfsrohrverfahren   | 186 |
| 4.9.4.10 | Bodenarten   | 187 |
| 4.9.4.11 | Auswechsellängen   | 187 |
| 4.9.4.12 | Verfahrenstechnische Gütesicherung bei der Durchführung  | 188 |
| 4.9.4.13 | Dokumentation und Rückverfolgbarkeit   | 188 |
| 4.9.5    | Berstliningverfahren   | 189 |
| 4.9.5.1  | Zur Verfahrensentwicklung  | 189 |
| 4.9.5.2  | Dynamisches Berstliningverfahren   | 189 |
| 4.9.5.3  | Statisches Berstlining mit Schnellklinkengestänge  | 189 |
| 4.9.6    | Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten an Wasserrohrleitungen mit asbesthaltigen Bauteilen und Beschichtungen           | 194 |
| 4.9.6.1  | Gefahrenstoffverordnung  | 194 |
| 4.9.6.2  | Meldepflichten und Gefährdungsbeurteilung  | 194 |
| 4.9.6.3  | Leitung und Beaufsichtigung der Arbeiten durch Sachkundige und Durchführung durch fachkundiges Personal                            | 194 |
| 4.9.6.4  | Sicherheitstechnische Maßnahmen (Geprüfte Arbeitsverfahren)  | 194 |
| 4.9.6.5  | Arbeitsmedizinische Vorsorge   | 195 |
| 4.9.6.6  | Gefahrstoffgerechte Entsorgung asbesthaltiger Teile  | 195 |
| 4.9.7    | Steuerbarer grabenloser Vortrieb   | 195 |
| 4.9.8    | Rehabilitationsverfahren Hausanschlussleitungen nach GW 325 und [Rameil und Naujoks, 2006]   | 197 |
| 4.9.8.1  | Zur Lage der Hausanschlussleitungen und den früher eingesetzten Rohrmaterialien  | 197 |
| 4.9.8.2  | Verfahren zur Auswechslung von Hausanschlussleitungen  | 197 |
| 4.9.8.3  | Bestandsaufnahme, Auswahl und Anwendung des Verfahrens (nach GW 325)   | 198 |
| 4.9.8.4  | Produktrohre und Verbindungen  | 198 |
| 4.9.8.5  | Bettung und Überwachung der Zugspannungen  | 198 |
| 4.9.8.6  | Baugruben und Hausein-/Mauerdurchführung, Außerbetriebnahme, Leitungstrennung und -ersatzversorgung                                | 199 |
| 4.9.8.7  | Verfahren nach GW 325  | 199 |
| 4.9.9    | Straßen-Folgeschäden im Bereich der Hausanschlussgruben  | 201 |
| 4.9.10   | Bohrloch-Verfahren (Keyhole-Bohrtechnik) [Roscher et al., 2012]  | 201 |
| 4.10     | Fernwasserversorgungssysteme   | 205 |
| 4.10.1   | Zum Bau von Fernwassersystemen in Deutschland  | 205 |
| 4.10.2   | Zum Einsatz von Rohrmaterialien  | 206 |
| 4.10.2.1 | Kriterien für die Auswahl der Rohrwerkstoffe   | 206 |
| 4.10.2.2 | Zum Einsatz von Grauguss-, Duktulguss- und Stahlrohren   | 206 |
| 4.10.2.3 | Zum Einsatz von Spannbetonrohren und Stollen   | 206 |
| 4.10.2.4 | Inspektion, Wartung und Betriebsüberwachung von Fernwasserverteilungsanlagen [DVGW, 2011a]   | 207 |
| 4.10.3   | Rohrleitungsschäden  | 207 |
| 4.10.4   | Inspektion und Wartung von Rohrleitungen   | 209 |
| 4.10.5   | Wasserqualität   | 209 |
| 4.10.6   | Rehabilitation von Fernwasserleitungen - Beispiele   | 209 |
| 4.10.6.1 | Rehabilitation mit Hilfe von Interimsleitungen [Gernke und Rink, 2009]   | 209 |
| 4.10.6.2 | Zementmörtelauskleidung [Berkel, 2012]   | 210 |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.10.6.3 | Reliningverfahren mit duktilen Gussrohren [Haupt, 2008a], [Haupt, 2008b] . . . . .                                       | 211        |
| 4.10.6.4 | Großrohrsanierung von Trinkwasserleitungen mit Kunststoffrohren bzw.<br>-auskleidungen [Meyer, 2012] . . . . .           | 213        |
| <b>5</b> | <b>Sanierung und Erneuerung von Gasrohrnetzen</b> . . . . .  | <b>215</b> |
| 5.1      | Zur Entwicklung der Gasversorgung in Deutschland . . . . .   | 215        |
| 5.1.1    | Erdgaseinsatz und Rehabilitation der Gasrohrnetze [Cerbe, 1999] . . . . .  | 215        |
| 5.1.2    | Rohrmaterialien und Schlauchliner [Cerbe, 1999], [Hüning und Homann, 1997],<br>[DVGW, 1999a] . . . . .                   | 215        |
| 5.1.3    | Sonderprogramm Grauguss . . . . .  | 216        |
| 5.1.4    | Sicherheit und Risikobewertung im Gasfach . . . . .  | 217        |
| 5.1.4.1  | Sicherheit im Gasfach . . . . .  | 217        |
| 5.1.4.2  | Zur Definition Schaden . . . . .   | 217        |
| 5.1.4.3  | Zur Definition Risiko . . . . .  | 218        |
| 5.2      | Netz- und Schadensstatistik als Grundlage für Instandhaltungsstrategien . . . . .  | 218        |
| 5.2.1    | Die Neufassung des Arbeitsblattes G 402 (A) . . . . .  | 218        |
| 5.2.2    | Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen . . . . .   | 218        |
| 5.2.3    | Grundsätze der Instandhaltung für Gasverteilungsnetze . . . . .  | 219        |
| 5.2.4    | Instandhaltungsrelevante Daten . . . . .   | 219        |
| 5.2.5    | Aufbereitung der Schadens- und Zustandsdaten . . . . .   | 221        |
| 5.2.6    | Leistungsgruppen . . . . .   | 221        |
| 5.3      | Grundsätze der Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen . . . . .   | 222        |
| 5.3.1    | Instandhaltungsstrategien . . . . .  | 222        |
| 5.3.1.1  | Langfristige Instandhaltungsstrategie . . . . .  | 222        |
| 5.3.1.2  | Mittelfristige Instandhaltungsplanung . . . . .  | 222        |
| 5.3.1.3  | Kurzfristige Instandhaltungsmaßnahmen . . . . .  | 223        |
| 5.3.1.4  | Folgen unzureichender Instandhaltung . . . . .   | 223        |
| 5.4      | Schadens Erfassung und Überprüfung nach G 465-1 . . . . .  | 223        |
| 5.4.1    | Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar . . . . .  | 223        |
| 5.4.2    | Beurteilung nach GW 465-2 . . . . .  | 224        |
| 5.4.2.1  | Ursachen von Leckstellen . . . . .   | 224        |
| 5.4.2.2  | Einflussgrößen auf die Gasausbreitung . . . . .  | 224        |
| 5.4.2.3  | Leckgröße, Leckmenge und Leckklassifikation . . . . .  | 225        |
| 5.5      | Leckortung [Hüning und Homann, 1997] . . . . .   | 226        |
| 5.5.1    | Die Anfänge der Leckortung . . . . .   | 226        |
| 5.5.2    | Heutige Gasspürtechnik . . . . .   | 226        |
| 5.5.3    | Austritt größerer Gasmengen unter dichten Oberflächen . . . . .  | 226        |
| 5.5.4    | Gasaustritt bei gestörtem Erdreich und Rissen in der Oberfläche . . . . .  | 227        |
| 5.6      | Rehabilitationsverfahren . . . . .   | 227        |
| 5.6.1    | Zur Entwicklung der Dichtungs- und Rehabilitationsverfahren . . . . .  | 227        |
| 5.6.2    | Dichtungsverfahren . . . . .   | 227        |
| 5.6.3    | Entwicklung der grabenlosen Sanierungs- und Erneuerungsverfahren . . . . .   | 228        |
| 5.6.4    | Reparatur- und Instandsetzungsverfahren . . . . .  | 229        |
| 5.6.5    | Sicheres Arbeiten an Gasleitungen [Stevens et al., 2003], [Woborschil, 2008] . . . . .                                   | 230        |
| 5.6.6    | Einsatz von Absperrblasen . . . . .  | 232        |
| 5.6.7    | Gewebeschlauchrelining-Verfahren nach GW 327 für Gas- und Wasserrohr-<br>leitungen mit Verklebung des Inliners . . . . . | 233        |
| 5.6.8    | PE-Relining . . . . .  | 233        |
| 5.6.9    | Rohrstrang-Relining mit Ringraum nach GW 320-1 . . . . .   | 233        |
| 5.6.9.1  | Anforderungen an die Fachunternehmen . . . . .   | 233        |
| 5.6.9.2  | Anforderungen an das Rohrmaterial und das Verfüllmaterial . . . . .  | 233        |
| 5.6.9.3  | Vorbereitende Arbeiten . . . . .   | 233        |
| 5.6.9.4  | Einbau . . . . .   | 235        |
| 5.6.9.5  | Netzeinbindung, Abzweige, Anschlussleitungen . . . . .   | 236        |
| 5.6.9.6  | Dokumentation und Druckprüfung . . . . .   | 236        |
| 5.6.10   | PE-Relining ohne Ringraum - U-Liner-Verfahren . . . . .  | 236        |
| 5.6.10.1 | Zur Verfahrensentwicklung und Anwendung . . . . .  | 236        |
| 5.6.10.2 | Das U-Liner-Verfahren . . . . .  | 236        |
| 5.6.10.3 | Berstlining . . . . .  | 238        |
| 5.6.11   | Trennen und Anschluss von Rohrleitungen . . . . .  | 240        |
| 5.6.11.1 | Trennen und Anschluss von Rohrleitungen bei der Rehabilitation nach G 465-2 . . . . .                                    | 240        |
| 5.6.11.2 | Durchführung der Arbeiten . . . . .  | 240        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Rehabilitationsstrategien</b> .....   | 241 |
| 6.1      | Risikobasierte Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen für Wasser- und Gasnetze (auszugsweise aus [Kornatz, 2008]) ..... | 241 |
| 6.1.1    | Risikomanagement als Bestandteil der Unternehmensführung .....   | 241 |
| 6.1.1.1  | Risikobasierte Budgetierung .....  | 241 |
| 6.1.1.2  | Water Safety Plans - Trinkwassersicherheitskonzept .....   | 241 |
| 6.2      | Optimierung von Versorgungsnetzen der Wasser- und Gasversorgung .....  | 242 |
| 6.2.1    | Erarbeitung einer Rehabilitationsstrategie für Druckrohrleitungen .....  | 242 |
| 6.2.1.1  | Bewertung von Druckrohrnetzen mit OptNet® [Ahrens, 2008] .....   | 242 |
| 6.2.1.2  | Zielsetzung der Erneuerungsplanung von Wasserversorgungsnetzen (Fichtener Asset Services & Technologies) .....             | 242 |
| 6.2.1.3  | Erhaltung und Erneuerung von Druckrohrnetzen der Wasserversorgung .....  | 243 |
| 6.2.1.4  | Umsetzung der Asset Strategie DVWG W 403/ISO 55000 .....   | 244 |
| 6.2.1.5  | Integriertes Asset Management .....  | 246 |
| 6.2.1.6  | Optimierter Vorschlag für die Erneuerungsstrategie .....   | 248 |
| 6.2.1.7  | Grundlagen .....   | 248 |
| 6.2.1.8  | Informationsbedarf zur Bewertung der Netze .....   | 251 |
| 6.2.1.9  | Hydraulische Rohrnetzberechnung .....  | 255 |
| 6.2.1.10 | Zustand .....  | 257 |
| 6.2.1.11 | Kosten .....   | 261 |
| 6.2.1.12 | Übliche Nutzungsdauern .....   | 262 |
| 6.2.1.13 | Optimale Gestaltung des Netzes .....   | 263 |
| 6.2.1.14 | Durchmesseroptimierung .....   | 264 |
| 6.2.1.15 | Entwicklung der Rehabilitationsstrategie .....   | 266 |
| 6.2.1.16 | Bestimmung der notwendigen Rehabilitationsrate .....   | 266 |
| 6.2.1.17 | Entwicklung des Abnutzungsvorrates und der Schadensrate .....  | 268 |
| 6.2.1.18 | Maßnahmenplanung .....   | 269 |
| 6.2.1.19 | Aufwand und Nutzen der Rehabilitation .....  | 270 |
| 6.3      | EDV-gestützte Rehabilitationsplanung mit KANEW .....   | 271 |
| 6.3.1    | Zielstellung des EDV-Programms KANEW .....   | 271 |
| 6.3.2    | Planungssoftware KANEW .....   | 271 |
| 6.3.3    | Historie und Erstanwendungen .....   | 271 |
| 6.3.4    | Anwendung des EDV-Programms KANEW .....  | 272 |
| 6.3.4.1  | Asset Management Framework .....   | 272 |
| 6.3.4.2  | Strategien der Instandhaltung .....  | 272 |
| 6.3.4.3  | Der KANEW Analyserahmen .....  | 272 |
| 6.3.4.4  | Zustandsanalyse und Bewertung .....  | 273 |
| 6.3.4.5  | Bedarfsprognose und Strategie .....  | 274 |
| 6.3.4.6  | Prioritäten bei der Netzerneuerung .....   | 276 |
| 6.3.4.7  | Controlling mit Hilfe von Kennzahlen .....   | 277 |
| 6.3.4.8  | Datenaustausch .....   | 277 |
| 6.3.4.9  | (Mindest-) Datenanforderungen .....  | 277 |
| <b>7</b> | <b>Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen</b> .....  | 279 |
| 7.1      | Anforderungen an die Sanierung .....   | 279 |
| 7.1.1    | Allgemeines .....  | 279 |
| 7.1.2    | Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen .....  | 279 |
| 7.1.2.1  | Abnutzungsvorrat und Qualitätsverlauf .....  | 279 |
| 7.1.2.2  | Ursachen und Folgen baulicher Schäden .....  | 281 |
| 7.1.2.3  | Schadensbeispiel Wurzeleinwuchs .....  | 282 |
| 7.1.2.4  | Praxisbeispiel Zustandsbildkatalog Abwasserschächte .....  | 282 |
| 7.1.3    | Anforderungen .....  | 283 |
| 7.1.3.1  | Funktionalanforderungen .....  | 283 |
| 7.1.3.2  | Leistungsanforderungen .....   | 283 |
| 7.1.3.3  | Normung, Richtlinien und Zulassungen .....   | 285 |
| 7.1.4    | Praxisbeispiel IKT-Warentest .....   | 287 |
| 7.2      | Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung .....   | 287 |
| 7.2.1    | Zustandserfassung .....  | 288 |
| 7.2.2    | Zustandsklassifizierung und -bewertung .....   | 288 |
| 7.2.3    | Praxisbeispiel: Inspektion teilgefüllter Kanäle .....  | 289 |
| 7.2.4    | Grenzen der optischen Inspektion .....   | 291 |
| 7.2.5    | Perspektiven: Erfassung und Bewertung des Rohr-Boden-Systems .....   | 292 |
| 7.3      | Planung der Sanierung .....  | 292 |
| 7.4      | Technische Sanierungsansätze .....   | 293 |
| 7.4.1    | Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen .....  | 293 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 7.4.2    | Hydraulische Sanierung .....  | 293        |
| 7.4.3    | Umweltrelevante Sanierung .....   | 294        |
| 7.4.4    | Bauliche Lösungen .....   | 294        |
| 7.4.5    | Betriebliche Lösungen .....   | 295        |
| 7.5      | Reparatur .....   | 295        |
| 7.5.1    | Einteilung der Verfahren .....  | 295        |
| 7.5.2    | Innenmanschetten in nicht begehbaren Kanälen .....  | 296        |
| 7.5.2.1  | Verfahrensmöglichkeiten .....   | 296        |
| 7.5.2.2  | Örtlich erhärtende, reaktionsharzgetränkte Gewebemanschetten .....  | 296        |
| 7.5.3    | Injektionsverfahren – Allgemeines .....   | 297        |
| 7.5.3.1  | Injektionsmittel .....  | 297        |
| 7.5.3.2  | Wirkung der Injektionsmittel auf das Grundwasser .....  | 298        |
| 7.5.4    | Injektion von Außen .....   | 298        |
| 7.5.5    | Injektion von Innen .....   | 299        |
| 7.5.5.1  | Boden- und/oder Hohlrauminjektion .....   | 299        |
| 7.5.5.2  | Rissinjektion .....   | 300        |
| 7.5.5.3  | Injektion von Rohrverbindungen .....  | 300        |
| 7.5.6    | Verfahren zur Abdichtung von Kanalabschnitten .....   | 302        |
| 7.5.7    | Praxisbeispiel Sanierung von Anschlussstutzen .....   | 302        |
| 7.5.7.1  | Schäden .....   | 302        |
| 7.5.7.2  | Reparatur .....   | 302        |
| 7.6      | Renovierung .....   | 304        |
| 7.6.1    | Beschichtungsverfahren .....  | 304        |
| 7.6.1.1  | Mörtelbeschichtung .....  | 304        |
| 7.6.1.2  | Polyurethanbeschichtung .....   | 306        |
| 7.6.1.3  | Verfahrenstechniken .....   | 306        |
| 7.6.2    | Auskleidung von Kanälen – Verfahren und Anforderungen .....   | 308        |
| 7.6.2.1  | Einteilung der Auskleidungsverfahren – Begriffsdefinition .....   | 308        |
| 7.6.2.2  | Anforderungen .....   | 309        |
| 7.6.2.3  | Auskleidung mit montierten Einzelelementen .....  | 310        |
| 7.6.2.4  | Auskleidung mit Rohren .....  | 311        |
| 7.6.3    | Rohrrelining – Auskleidung mit vorgefertigten Rohren .....  | 311        |
| 7.6.3.1  | Konventionelle Rohrstrangverfahren .....  | 312        |
| 7.6.3.2  | Weiterentwickelte Rohrstrangverfahren .....   | 313        |
| 7.6.3.3  | Einzelrohr-Lining .....   | 316        |
| 7.6.4    | Wickelrohrverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren .....  | 317        |
| 7.6.5    | Schlauchverfahren – Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren .....  | 318        |
| 7.7      | Erneuerung .....  | 322        |
| 7.7.1    | Notwendigkeit und Umsetzung der Erneuerung .....  | 322        |
| 7.7.2    | Erneuerung in geschlossener Bauweise .....  | 322        |
| 7.7.2.1  | Überfahren .....  | 322        |
| 7.7.2.2  | Berstverfahren .....  | 323        |
| 7.8      | Auswahlkriterien für Verfahren zur baulichen Sanierung .....  | 324        |
| 7.8.1    | Entscheidungsprozess zur Verfahrensauswahl .....  | 324        |
| 7.8.2    | Reparatur – Renovierung – Erneuerung .....  | 325        |
| 7.8.3    | Auswahlkriterien Wirtschaftlichkeit und Lebenszyklus .....  | 326        |
| <b>8</b> | <b>Rehabilitation von Fernwärmekanaln und -leitungen .....</b>  | <b>329</b> |
| 8.1      | Historische Entwicklung der Fernwärmeversorgung [Brockhaus, 1901-1904], [Schiller, o.J.], [Bärthel, 1975c], [Bärthel, 1975b], [Geier, 1978] ..... | 329        |
| 8.2      | Historische Fernwärmekanaln und Bauweisen .....   | 331        |
| 8.3      | Grundlagen der zentralen Wärmeversorgung (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989]) .....   | 332        |
| 8.3.1    | Bestandteile der zentralen Wärmeversorgung .....  | 332        |
| 8.3.2    | Zustandsgrößen und Eigenschaften des Wärmeträgers .....   | 332        |
| 8.3.3    | Wärmeerzeugungsanlagen .....  | 332        |
| 8.3.3.1  | Heizkraftwerke .....  | 332        |
| 8.3.3.2  | Heizwerke .....   | 332        |
| 8.3.3.3  | Industriebetriebe mit Hochtemperaturprozessen (Metallurgie, Chemie u.a.) .....  | 332        |
| 8.3.3.4  | Insel- bzw. Verbundbetrieb, regionaler Betrieb .....  | 332        |
| 8.3.3.5  | Nutzung von Geothermalenergie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung) .....   | 333        |
| 8.3.3.6  | Nutzung der Rücklaufenthalpie (Sonderform - keine Wärmeerzeugung) .....   | 333        |
| 8.3.3.7  | Heißwasserspeicher (Sonderform- keine Wärmeerzeugung) .....   | 333        |

|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 8.4     | Wärmetransportsysteme (Lindner/Roscher in [Roscher, 1989])   | 333        |
| 8.4.1   | Netzformen   | 333        |
| 8.4.2   | Anschlussarten der Abnehmer  | 333        |
| 8.4.2.1 | Wärmeträger Heißwasser   | 333        |
| 8.4.2.2 | Wärmeträger Dampf  | 335        |
| 8.4.2.3 | Transportsysteme und Verlegeverfahren  | 335        |
| 8.4.2.4 | Abzweigstationen   | 336        |
| 8.5     | Bauweisen von Fernwärmeleitungen   | 337        |
| 8.5.1   | Einteilung der Verlegeverfahren  | 337        |
| 8.5.2   | Fernwärmekanäle in Fertigteilbauweise  | 337        |
| 8.5.3   | Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen   | 339        |
| 8.5.4   | Kanalfrei verlegte Fernwärmeleitungen  | 341        |
| 8.5.5   | Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen   | 345        |
| 8.6     | Schadensursachen   | 346        |
| 8.6.1   | Schäden an Fernwärmekanälen und Fernwärmeleitungen   | 346        |
| 8.6.2   | Schäden an kanalfrei verlegten Fernwärmeleitungen  | 346        |
| 8.6.3   | Schäden an Sockel- und Stützenleitungen  | 347        |
| 8.6.4   | Schäden an Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen bzw. Leitungsgängen   | 347        |
| 8.6.5   | Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Kanalstrecken   | 347        |
| 8.6.5.1 | Untersuchung des Kanalzustandes und des Zustandes der Isolierung vom Fernwärmeleitungen mit der Kanalraupe (Teleraupe) | 347        |
| 8.6.5.2 | Schadensuntersuchungen mit Hilfe der Thermographie   | 348        |
| 8.6.5.3 | Leckerkennung in Kanälen   | 349        |
| 8.6.6   | Schadensuntersuchungen an kanalfrei verlegten von Fernwärmeleitungen   | 349        |
| 8.6.7   | Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen                                      | 349        |
| 8.6.8   | Schadensuntersuchungen von Fernwärmeleitungen auf Sockeln und Stützen  | 349        |
| 8.7     | Rehabilitationsstrategie (AGFW FW 114 Entwurf auszugsweise)  | 349        |
| 8.7.1   | Begriffe und Definitionen der Rehabilitation   | 349        |
| 8.7.2   | Abschätzung der technischen Nutzungsdauer  | 350        |
| 8.7.3   | Grundstrategien der Instandhaltung   | 351        |
| 8.7.3.1 | Ereignisorientierte Instandhaltung   | 351        |
| 8.7.3.2 | Zeitorientierte Instandhaltung   | 351        |
| 8.7.3.3 | Zustandsorientierte Instandhaltung   | 351        |
| 8.7.3.4 | Risikoorientierte Instandhaltung   | 351        |
| 8.7.4   | Ermittlung des Erneuerungsbedarfs  | 351        |
| 8.8     | Instandsetzung und Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen   | 352        |
| 8.8.1   | Betriebsstörungen und Schäden  | 352        |
| 8.8.2   | Abschätzung der technischen Nutzungsdauer  | 352        |
| 8.8.3   | Rehabilitationsmaßnahmen von kanalverlegten Strecken   | 352        |
| 8.8.4   | Rehabilitationsmaßnahmen von kanalfrei verlegten Strecken  | 353        |
| 8.8.5   | Rehabilitationsmaßnahmen von Fernwärmeleitungen in Sammelkanälen und Leitungsgängen                                    | 353        |
| 8.9     | Begriffsbestimmung Sammelkanäle  | 354        |
| 8.9.1   | Einbau neuer Gussrohre unter dem Champs-E`lyse`es in Paris [Planel, 2014]  | 354        |
| 8.9.2   | Erneuerung einer Trinkwasserleitung DN 300 in einem Sammelkanal [Schneider und Rau, 2010]                              | 355        |
| 8.9.3   | Neue Duktulgussrohrleitungen im Sammelkanal Frankfurt/Oder [Rau, 2014]   | 356        |
| 8.9.4   | Betoninstandsetzung und Dichtungsarbeiten in Sammelkanälen [Breternitz GmbH, o.J.]                                     | 357        |
|         | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>359</b> |
|         | <b>Glossar</b>   | <b>377</b> |
|         | <b>Gesetze und Richtlinien</b>   | <b>399</b> |
|         | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>   | <b>400</b> |
|         | <b>Stichwortverzeichnis</b>  | <b>401</b> |