

Dietrich Stein, Wilhelm Niederehe

# Instandhaltung von Kanalisationen

2., überarbeitete und erweiterte Auflage



Verlag für Architektur  
und technische Wissenschaften  
Berlin

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	.....	V
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Leitungsspezifische Randbedingungen</b> .....	5
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	5
<b>2.2</b>	<b>Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen</b>	5
<b>2.3</b>	<b>Entwässerungskanäle und -leitungen</b> .....	13
2.3.1	Begriffe .....	13
2.3.2	Querschnittsformen und -abmessungen .....	16
2.3.3	Überdeckungshöhe .....	23
2.3.4	Gefälle .....	25
2.3.5	Bauweise .....	28
2.3.5.1	Allgemeines .....	28
2.3.5.2	Offene Bauweise .....	28
2.3.5.3	Geschlossene Bauweise .....	33
2.3.6	Auflager .....	36
2.3.7	Rohrwerkstoffe und Ausbildung der Rohrverbindungen .....	39
2.3.7.1	Allgemeines .....	39
2.3.7.2	Bruchsteine, Werksteine, Kanalklinker .....	40
2.3.7.3	Steinzeug .....	42
2.3.7.3.1	Allgemeines .....	42
2.3.7.3.2	Formen und Maße .....	42
2.3.7.3.3	Rohrverbindung .....	44
2.3.7.4	Beton, Stahlbeton, Spannbeton .....	48
2.3.7.4.1	Allgemeines .....	48
2.3.7.4.2	Betonrohre .....	51
2.3.7.4.3	Rohre aus Stahlbeton und Spannbeton .....	55
2.3.7.4.4	Rohrverbindung .....	58
2.3.7.5	Ortbeton .....	63
2.3.7.6	Asbestzement .....	64
2.3.7.7	Stahl .....	66
2.3.7.8	Gußeisen .....	67
2.3.7.9	Kunststoffe .....	68
2.3.7.9.1	Allgemeines .....	68
2.3.7.9.2	PVC und PE-HD .....	68
2.3.7.9.3	Kunststoffrohre mit profilierter Wandung .....	70
2.3.7.9.4	Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) .....	70
2.3.7.10	Beton- und Stahlbetonrohre mit Korrosionsschutzauskleidung .....	74
2.3.7.10.1	Allgemeines .....	74
2.3.7.10.2	Beton-/Stahlbeton-Keramik-Rohr (BK-Rohr) .....	75
2.3.7.10.3	Beton-/Stahlbeton-Kunststoff-Rohre .....	75
<b>2.4</b>	<b>Einsteigschächte</b> .....	77
<b>2.5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	80

<b>3</b>	<b>Wartung</b>	87
<b>3.1</b>	<b>Allgemeines</b>	87
<b>3.2</b>	<b>Maßnahmen der Wartung</b>	87
<b>4</b>	<b>Inspektion</b>	89
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines</b>	89
<b>4.2</b>	<b>Inspektionsplanung</b>	89
<b>4.3</b>	<b>Inspektion der Leitungstrasse</b>	95
<b>4.4</b>	<b>Inneninspektion</b>	97
4.4.1	Allgemeines	97
4.4.2	Optische Inneninspektion	97
4.4.2.1	Allgemeines	97
4.4.2.2	Direkte optische Inspektion	99
4.4.2.3	Indirekte optische Inspektion	99
4.4.2.3.1	Kanalspiegelung	99
4.4.2.3.2	Kanalfotografie	100
4.4.2.3.3	Kanalfilmaufnahmen	101
4.4.2.3.4	Kanalfernsehen	101
4.4.2.3.4.1	Allgemeines	101
4.4.2.3.4.2	Kamerasystem	101
4.4.2.3.4.3	Transport- und Führungseinrichtung	105
4.4.2.3.4.4	Beobachtungs- und Steuerstand	109
4.4.2.3.4.5	Anforderungen	110
4.4.2.3.4.6	Dokumentation	112
4.4.3	Meß- und Prüfverfahren zur quantitativen Zustandserfassung	119
4.4.3.1	Allgemeines	119
4.4.3.2	Dichtheitsprüfung	122
4.4.3.2.1	Allgemeines	122
4.4.3.2.2	Druckprüfung mit Wasser als Prüfmedium	122
4.4.3.2.3	Prüfung mit Luft als Prüfmedium	131
4.4.3.2.3.1	Allgemeines	131
4.4.3.2.3.2	Prüfung mit Überdruck	132
4.4.3.2.3.3	Prüfung mit Unterdruck	133
4.4.3.2.4	Rauchtest	134
4.4.3.2.5	Prüfung von Schächten	135
4.4.3.2.6	Infiltrationsmessung	136
4.4.3.2.6.1	Allgemeines	136
4.4.3.2.6.2	Muffenprüfgerät auf der Basis der elektrischen Widerstandsmessung	137
4.4.3.2.6.3	Leckage-Meßgerät	137
4.4.3.2.7	Leckortung	138
4.4.3.3	Lageabweichung	140
4.4.3.3.1	Allgemeines	140
4.4.3.3.2	Inklinometer	140
4.4.3.3.3	Druckmessende Schlauchwaage	141
4.4.3.3.4	Laser	142
4.4.3.4	Querschnittsverformungen und -abmessungen	144
4.4.3.5	Ablagerungen	148

Inhaltsverzeichnis	IX
4.4.3.6	Prüfungen an Beton- und Stahlbetonkanälen . . . . . 150
<b>4.5</b>	<b>Außeninspektion</b> . . . . . 150
<b>4.6</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . . 151
<b>5</b>	<b>Schäden, Schadensursachen, Schadensfolgen</b> . . . . . 153
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b> . . . . . 153
<b>5.2</b>	<b>Undichtigkeiten</b> . . . . . 154
5.2.1	Schadensbilder . . . . . 154
5.2.2	Mögliche Schadensursachen . . . . . 155
5.2.2.1	Allgemeines . . . . . 155
5.2.2.2	Nichtbeachtung einschlägiger Normen, Vorschriften und Regelwerke . . . . . 155
5.2.2.3	Undichtigkeiten infolge anderer Schäden . . . . . 160
5.2.3	Mögliche Schadensfolgen . . . . . 160
5.2.3.1	Allgemeines . . . . . 160
5.2.3.2	Austritt von Abwasser (Exfiltration) . . . . . 160
5.2.3.3	Eindringen von Grundwasser (Infiltration) und Bodenmaterial . 161
<b>5.3</b>	<b>Abflußhindernisse</b> . . . . . 167
5.3.1	Schadensbilder . . . . . 167
5.3.2	Mögliche Schadensursachen . . . . . 167
5.3.2.1	Allgemeines . . . . . 167
5.3.2.2	Ablagerungen . . . . . 167
5.3.2.3	Einragende Abflußhindernisse . . . . . 169
5.3.2.4	Wurzeleinwuchs . . . . . 171
5.3.3	Mögliche Schadensfolgen . . . . . 172
<b>5.4</b>	<b>Lageabweichungen</b> . . . . . 172
5.4.1	Schadensbilder . . . . . 172
5.4.2	Mögliche Schadensursachen . . . . . 174
5.4.3	Mögliche Schadensfolgen . . . . . 175
<b>5.5</b>	<b>Mechanischer Verschleiß</b> . . . . . 175
5.5.1	Schadensbilder . . . . . 175
5.5.2	Mögliche Schadensursachen . . . . . 176
5.5.2.1	Allgemeines . . . . . 176
5.5.2.2	Feststofftransport (Abrieb) . . . . . 176
5.5.2.3	Kavitation . . . . . 176
5.5.2.4	Mechanischer Verschleiß durch ungeeignete Reinigungs- verfahren oder -geräte . . . . . 177
5.5.3	Mögliche Schadensfolgen . . . . . 178
<b>5.6</b>	<b>Korrosion</b> . . . . . 178
5.6.1	Schadensbilder . . . . . 178
5.6.2	Außenkorrosion . . . . . 182
5.6.2.1	Mögliche Schadensursachen . . . . . 182
5.6.2.1.1	Allgemeines . . . . . 182
5.6.2.1.2	Boden- und Grundwasseraggressivität . . . . . 182
5.6.2.1.3	In den Boden oder in das Grundwasser eingeleitete aggressive Substanzen . . . . . 184
5.6.3	Innenkorrosion . . . . . 185

5.6.3.1	Mögliche Schadensursachen . . . . .	185
5.6.3.1.1	Allgemeines . . . . .	185
5.6.3.1.2	Aggressives Abwasser . . . . .	185
5.6.3.1.3	Biogene Schwefelsäure-Korrosion (BSK) . . . . .	186
5.6.3.1.4	Korrosion durch Werkstoffunverträglichkeit . . . . .	188
5.6.4	Mögliche Schadensfolgen . . . . .	188
<b>5.7</b>	<b>Verformung</b> . . . . .	<b>190</b>
5.7.1	Schadensbilder . . . . .	190
5.7.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	193
5.7.3	Mögliche Schadensfolgen . . . . .	193
<b>5.8</b>	<b>Risse, Rohrbruch, Einsturz</b> . . . . .	<b>194</b>
5.8.1	Allgemeines . . . . .	194
5.8.2	Längsrisse . . . . .	194
5.8.2.1	Schadensbilder . . . . .	194
5.8.2.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	195
5.8.3	Querrisse . . . . .	196
5.8.3.1	Schadensbilder . . . . .	196
5.8.3.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	197
5.8.4	Risse von einem Punkt ausgehend und Scherbenbildung . . . . .	197
5.8.4.1	Schadensbilder . . . . .	197
5.8.4.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	198
5.8.5	Rohrbruch . . . . .	198
5.8.5.1	Schadensbilder . . . . .	198
5.8.5.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	200
5.8.6	Einsturz . . . . .	200
5.8.6.1	Schadensbilder . . . . .	200
5.8.6.2	Mögliche Schadensursachen . . . . .	200
5.8.7	Mögliche Schadensfolgen . . . . .	200
<b>5.9</b>	<b>Schadensklassifizierung, Zustandsklassifizierung und Prioritätenliste</b> . . . . .	<b>202</b>
5.9.1	Allgemeines . . . . .	202
5.9.2	Beispiele . . . . .	205
<b>5.10</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>231</b>
<b>6</b>	<b>Reinigung</b> . . . . .	<b>233</b>
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b> . . . . .	<b>233</b>
<b>6.2</b>	<b>Spülverfahren</b> . . . . .	<b>233</b>
6.2.1	Allgemeines . . . . .	233
6.2.2	Schwallspülung . . . . .	234
6.2.3	Stauspülung . . . . .	234
<b>6.3</b>	<b>Hochdruckspülverfahren (HD-Spülverfahren)</b> . . . . .	<b>237</b>
6.3.1	Schäden durch Hochdruckspülverfahren . . . . .	240
<b>6.4</b>	<b>Mechanische Verfahren</b> . . . . .	<b>243</b>
6.4.1	Allgemeines . . . . .	243
6.4.2	Manuelle Reinigung mit Hilfsmitteln . . . . .	243
6.4.3	Reinigung mit Reinigungsgeräten . . . . .	243
6.4.4	Reinigung mit Spezialgeräten . . . . .	247

6.4.4.1	Allgemeines . . . . .	247
6.4.4.2	Schlagende Geräte . . . . .	247
6.4.4.3	Drehend arbeitende Bohr- bzw. Fräsgeräte . . . . .	248
6.4.4.4	Drehend-schlagend arbeitende Bohr- bzw. Fräsgeräte . . . . .	251
6.4.4.5	Schneidgeräte . . . . .	251
6.4.4.6	Sandstrahlgeräte . . . . .	254
6.4.5	Sonstige Verfahren . . . . .	254
6.4.5.1	Allgemeines . . . . .	254
6.4.5.2	Erhöhung der Fließgeschwindigkeit durch Zugabe von Luft oder Polymeren . . . . .	254
6.4.5.3	Chemische Reinigungsverfahren . . . . .	255
6.4.5.4	Chemische Wurzelbeseitigung . . . . .	255
6.4.5.5	Biologisches Reinigungsverfahren . . . . .	256
<b>6.5</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>257</b>
<b>7</b>	<b>Verfahren zur Schadensbehebung . . . . .</b>	<b>259</b>
<b>7.1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	<b>259</b>
<b>7.2</b>	<b>Generelle Anforderungen . . . . .</b>	<b>264</b>
<b>7.3</b>	<b>Instandsetzung . . . . .</b>	<b>269</b>
7.3.1	Allgemeines . . . . .	269
7.3.2	Reparatur . . . . .	269
7.3.2.1	Allgemeines . . . . .	269
7.3.2.2	Reparatur von außen . . . . .	269
7.3.2.3	Reparatur von innen . . . . .	274
7.3.2.3.1	Schächte . . . . .	274
7.3.2.3.1.1	Steighilfen . . . . .	274
7.3.2.3.1.2	Ausbessern von Fehlstellen . . . . .	274
7.3.2.3.2	Begehbare Kanäle aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton . . . . .	275
7.3.2.3.3	Begehbare Kanäle aus Klinkermauerwerk . . . . .	285
7.3.2.3.4	Nichtbegehbare Kanäle . . . . .	288
7.3.2.3.5	Verfahren zur Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit . . . . .	294
7.3.2.3.5.1	Allgemeines . . . . .	294
7.3.2.3.5.2	Spannringe aus Stahl in begehbaren Kanälen . . . . .	295
7.3.2.3.5.3	Innenmanschetten in nichtbegehbaren Kanälen . . . . .	295
7.3.2.3.5.3.1	Allgemeines . . . . .	295
7.3.2.3.5.3.2	Örtlich erhärtende kunstharzgetränkte Gewebemanschetten . . . . .	295
7.3.2.3.5.3.3	Innenrohrmanschetten aus PVC oder Stahl . . . . .	297
7.3.2.3.5.4	Rückverformung deformierter biegeweicher Kunststoffrohre mit dem „Pipe-Rerounder“ . . . . .	299
7.3.3	Injektionsverfahren . . . . .	301
7.3.3.1	Allgemeines . . . . .	301
7.3.3.2	Injektion nach DIN 4093 . . . . .	301
7.3.3.2.1	Allgemeines . . . . .	301
7.3.3.2.2	Injektionsmittel . . . . .	302
7.3.3.2.2.1	Allgemeines . . . . .	302
7.3.3.2.2.2	Anforderungen und Einsatzmöglichkeiten . . . . .	302
7.3.3.2.2.3	Zementmörtel und -pasten . . . . .	310
7.3.3.2.2.4	Suspensionen . . . . .	312
7.3.3.2.2.5	Chemische Lösungen . . . . .	312

7.3.3.2.2.5.1	Allgemeines . . . . .	312
7.3.3.2.2.5.2	Lösungen auf der Basis von Wasserglas . . . . .	312
7.3.3.2.2.5.3	Lösungen auf der Basis von Kunststoffen bzw. Kunstharzen . . . . .	313
7.3.3.2.2.5.3.1	Allgemeines . . . . .	313
7.3.3.2.2.5.3.2	Injektionsmittel auf der Basis von Acrylharz . . . . .	314
7.3.3.2.2.5.3.3	Injektionsmittel auf der Basis von Epoxidharz . . . . .	315
7.3.3.2.2.5.3.4	Injektionsmittel auf der Basis von Polyurethan . . . . .	315
7.3.3.2.2.5.3.5	Injektionsmittel auf der Basis von Organomineralharzen (Silikatharz) . . . . .	319
7.3.3.2.3	Injektion von außen . . . . .	320
7.3.3.2.3.1	Allgemeines . . . . .	320
7.3.3.2.3.2	Injektionstechnik . . . . .	321
7.3.3.2.4	Injektion von innen . . . . .	325
7.3.3.2.4.1	Allgemeines . . . . .	325
7.3.3.2.4.2	Begehbare Querschnitte . . . . .	325
7.3.3.2.4.2.1	Allgemeines . . . . .	325
7.3.3.2.4.2.2	Boden- und/oder Hohlräuminjektion im Bereich der Leitungszone . . . . .	325
7.3.3.2.4.2.3	Füllen von Rissen . . . . .	327
7.3.3.2.4.2.4	Injektion der Rohrverbindungen . . . . .	334
7.3.3.2.4.3	Nichtbegehbare Querschnitte . . . . .	336
7.3.3.2.4.3.1	Allgemeines . . . . .	336
7.3.3.2.4.3.2	Penetryn/Posatryn-Verfahren . . . . .	336
7.3.3.2.4.3.2.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	336
7.3.3.2.4.3.2.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	337
7.3.3.2.4.3.2.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	338
7.3.3.2.4.3.2.4	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	341
7.3.3.2.4.3.2.5	Beurteilung . . . . .	341
7.3.3.2.4.3.3	Injektionsverfahren mit unterschiedlichen Packersystemen . . . . .	342
7.3.3.2.4.3.3.1	Allgemeines . . . . .	342
7.3.3.2.4.3.3.2	Seal-i-Tryn-Verfahren . . . . .	342
7.3.3.2.4.3.3.3	Telegrout-System . . . . .	343
7.3.3.2.4.3.3.4	Cherne-Verfahren . . . . .	344
7.3.3.2.4.3.3.5	Packersysteme für Injektionen in Anschlußkanälen . . . . .	345
7.3.3.2.4.3.3.6	Amkrete Resin Injection Process . . . . .	347
7.3.3.2.4.3.4	Preß-Lining-Verfahren . . . . .	349
7.3.3.2.4.3.5	Partielle Instandsetzung unter Verwendung der Injektions-, Fräs- oder Bersttechnik . . . . .	349
7.3.3.2.4.3.6	Squeeze-Box . . . . .	351
7.3.3.2.4.3.7	Superaqua- bzw. Sanipor-Verfahren . . . . .	352
7.3.3.2.4.3.7.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	352
7.3.3.2.4.3.7.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	352
7.3.3.2.4.3.7.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	353
7.3.3.2.4.3.7.4	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	355
7.3.3.2.4.3.7.5	Beurteilung . . . . .	355
7.3.3.3	Jet-Grouting- und Soil-Fracturing-Verfahren . . . . .	356
7.3.4	Abdichtungsverfahren . . . . .	361
7.3.4.1	Allgemeines . . . . .	361
7.3.4.2	Abdichtung von außen . . . . .	361

7.3.4.2.1	Schrumpfschläuche . . . . .	361
7.3.4.2.2	Außenmanschetten . . . . .	362
7.3.4.3	Abdichtung von innen . . . . .	363
7.3.4.3.1	Abdichtung von Fugen und Rohrverbindungen mit Abdichtungsstoffen . . . . .	363
7.3.4.3.1.1	Allgemeines . . . . .	363
7.3.4.3.1.2	Elastische Dichtmittel . . . . .	364
7.3.4.3.1.3	Plastische Dichtmittel und Fugendichtungsmassen . . . . .	366
7.3.4.3.1.3.1	Allgemeines . . . . .	366
7.3.4.3.1.3.2	Mechanisches Verhalten . . . . .	367
7.3.4.3.1.3.3	Chemische Rohstoffbasis . . . . .	369
7.3.4.3.2	Innenmanschetten (Weco-Seal-Verfahren und Amex-10-System) . . . . .	372
7.3.4.3.2.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	372
7.3.4.3.2.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	373
7.3.4.3.2.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	373
7.3.4.3.2.4	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	375
7.3.4.3.2.5	Beurteilung . . . . .	375
7.3.4.3.3	Abdichtung von Betonflächen durch Oberflächenbehandlung . . . . .	376
<b>7.4</b>	<b>Sanierung . . . . .</b>	<b>379</b>
7.4.1	Allgemeines . . . . .	379
7.4.2	Beschichtungsverfahren . . . . .	379
7.4.2.1	Allgemeines . . . . .	379
7.4.2.2	Stoffe für Mörtelbeschichtungen . . . . .	384
7.4.2.2.1	Allgemeines . . . . .	384
7.4.2.2.2	Mineralische Mörtel . . . . .	384
7.4.2.2.2.1	Allgemeines . . . . .	384
7.4.2.2.2.2	Zementmörtel . . . . .	384
7.4.2.2.2.3	Silikatmörtel . . . . .	387
7.4.2.2.3	Kunststoffmodifizierte Zementmörtel . . . . .	387
7.4.2.2.4	Reaktionsharzmörtel . . . . .	389
7.4.2.2.4.1	Allgemeines . . . . .	389
7.4.2.2.4.2	UP-Harze (ungesättigte Polyesterharze) . . . . .	391
7.4.2.2.4.3	EP-Harze (Epoxidharze) . . . . .	392
7.4.2.2.4.4	PUR-Harze (Polyurethanharze) . . . . .	393
7.4.2.2.4.5	PMMA-Harze (Polymethylmethacrylatharze) . . . . .	393
7.4.2.3	Oberflächenvorbehandlung . . . . .	394
7.4.2.4	Prüfung von Beschichtungen . . . . .	396
7.4.2.5	Auspreßverfahren . . . . .	400
7.4.2.5.1	Allgemeines . . . . .	400
7.4.2.5.2	Auspreßverfahren in begehbaren Kanälen . . . . .	400
7.4.2.5.3	Auspreßverfahren in nichtbegehbaren Kanälen . . . . .	403
7.4.2.6	Verdrängungsverfahren . . . . .	407
7.4.2.7	Aufspritzverfahren . . . . .	408
7.4.2.7.1	Allgemeines . . . . .	408
7.4.2.7.2	Faserrückverankertes Beschichtungssystem . . . . .	415
7.4.2.7.3	Ruswroe-System . . . . .	416
7.4.2.7.4	Mechanisierte Aufspritzverfahren . . . . .	416
7.4.2.8	Anschleuderverfahren . . . . .	419
7.4.2.8.1	Allgemeines . . . . .	419



7.4.2.8.2	Centriline-Verfahren . . . . .	422
7.4.2.8.2.1	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	422
7.4.2.8.2.2	Verfahrensbeschreibung . . . . .	422
7.4.2.8.2.3	Personalbedarf und Spezialausrüstung . . . . .	428
7.4.2.8.2.4	Beurteilung . . . . .	429
7.4.2.8.3	Dynamicrete-Rotary Shotcrete System . . . . .	429
7.4.2.8.4	Anschleudern von Reaktionsharzmörtel . . . . .	429
7.4.2.9	Beurteilung . . . . .	434
7.4.3	Auskleidungsverfahren . . . . .	435
7.4.3.1	Allgemeines, Anforderungen und Prüfungen . . . . .	435
7.4.3.1.1	Werkstoffe – Anforderungen und Prüfungen . . . . .	435
7.4.3.1.2	Anforderungen und Prüfungen bezüglich der Konstruktion von Auskleidungen . . . . .	439
7.4.3.1.2.1	Nichtselbsttragende Auskleidungen . . . . .	439
7.4.3.1.2.2	Selbsttragende Auskleidungen . . . . .	441
7.4.3.1.2.3	Verbindung der Auskleidungselemente . . . . .	441
7.4.3.1.2.4	Auskleidungen im Bereich von Bauteilverbindungen (Fugen, Rohrverbindungen) . . . . .	442
7.4.3.2	Auskleidung mit Rohren . . . . .	442
7.4.3.2.1	Allgemeines . . . . .	442
7.4.3.2.2	Auskleidung mit vorgefertigten Rohren . . . . .	443
7.4.3.2.2.1	Allgemeines . . . . .	443
7.4.3.2.2.2	Rohrstrangverfahren . . . . .	443
7.4.3.2.2.2.1	Allgemeines . . . . .	443
7.4.3.2.2.2.2	Rohrstrangverfahren mit Ringraum . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1	Konventionelles Rohrstrangverfahren . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1.3.1	Vorarbeiten . . . . .	444
7.4.3.2.2.2.2.1.3.2	Arbeitsablauf . . . . .	448
7.4.3.2.2.2.2.1.3.3	Abschlußarbeiten und -prüfungen . . . . .	451
7.4.3.2.2.2.2.1.4	Verfüllen des Ringraumes . . . . .	454
7.4.3.2.2.2.2.1.4.1	Allgemeines . . . . .	454
7.4.3.2.2.2.2.1.4.2	Verfüllstoffe . . . . .	454
7.4.3.2.2.2.2.1.4.3	Verfüllvorgang . . . . .	457
7.4.3.2.2.2.2.1.4.4	Prüfungen . . . . .	459
7.4.3.2.2.2.2.1.5	Wiederherstellung der Einbindungen von Anschlußkanälen . . . . .	459
7.4.3.2.2.2.2.1.5.1	Wiederherstellung von innen . . . . .	459
7.4.3.2.2.2.2.1.5.2	Wiederherstellung von außen . . . . .	460
7.4.3.2.2.2.2.1.6	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	465
7.4.3.2.2.2.2.1.7	Beurteilung . . . . .	465
7.4.3.2.2.2.2.2	Thermoline-Verfahren . . . . .	466
7.4.3.2.2.2.3	Spiralschlauch-Verfahren . . . . .	469
7.4.3.2.2.3	Rohrstrangverfahren ohne Ringraum . . . . .	470
7.4.3.2.2.3.1	Allgemeines . . . . .	470
7.4.3.2.2.3.2	Verformungsverfahren . . . . .	470
7.4.3.2.2.3.2.1	Allgemeines . . . . .	470
7.4.3.2.2.3.2.2	U-Liner-Verfahren . . . . .	470

7.4.3.2.2.2.3.2.3	Nu-Pipe-Verfahren . . . . .	471
7.4.3.2.2.2.3.3	Reduktionsverfahren . . . . .	474
7.4.3.2.2.2.3.3.1	Allgemeines . . . . .	474
7.4.3.2.2.2.3.3.2	Roll-down . . . . .	474
7.4.3.2.2.2.3.3.3	Swagelining . . . . .	476
7.4.3.2.2.2.3.3.4	Beurteilung . . . . .	478
7.4.3.2.2.3	Langrohr- und Kurzrohrverfahren . . . . .	479
7.4.3.2.2.3.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	479
7.4.3.2.2.3.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	479
7.4.3.2.2.3.3	Vorarbeiten . . . . .	479
7.4.3.2.2.3.4	Rohrwerkstoffe und -verbindungen . . . . .	479
7.4.3.2.2.3.5	Einbringen der Rohre bzw. Rohrleitung . . . . .	483
7.4.3.2.2.3.5.1	Allgemeines . . . . .	483
7.4.3.2.2.3.5.2	Einziehverfahren . . . . .	484
7.4.3.2.2.3.5.2.1	Einziehen einer Rohrleitung mit zugkraftschlüssigen Rohrverbindungen . . . . .	484
7.4.3.2.2.3.5.2.2	Einziehen einer Rohrleitung mit nichtzugkraftschlüssigen Rohrverbindungen (ziehend/schiebend) . . . . .	485
7.4.3.2.2.3.5.2.3	Einziehen einzelner Rohre . . . . .	487
7.4.3.2.2.3.5.3	Einschubverfahren . . . . .	489
7.4.3.2.2.3.5.4	Einfahrverfahren . . . . .	490
7.4.3.2.2.3.6	Ausrichten und Fixieren der Rohre . . . . .	492
7.4.3.2.2.3.7	Verfüllen des Ringraumes . . . . .	493
7.4.3.2.2.3.8	Wiederherstellung der Einbindungen von Anschlußkanälen sowie Ausbildung der Stoß- und Endbereiche . . . . .	494
7.4.3.2.2.3.9	Spezialverfahren . . . . .	501
7.4.3.2.2.3.10	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	503
7.4.3.2.2.3.11	Beurteilung . . . . .	503
7.4.3.2.3	Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren . . . . .	503
7.4.3.2.3.1	Allgemeines . . . . .	503
7.4.3.2.3.2	Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren mit Ringraum . . . . .	505
7.4.3.2.3.2.1	Wickelrohrverfahren . . . . .	505
7.4.3.2.3.2.1.1	Allgemeines . . . . .	505
7.4.3.2.3.2.1.2	RIB-LOC-Verfahren . . . . .	506
7.4.3.2.3.2.1.2.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	506
7.4.3.2.3.2.1.2.2	RIB-LOC-Profil . . . . .	506
7.4.3.2.3.2.1.2.3	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	507
7.4.3.2.3.2.1.2.4	Verfahrensbeschreibung . . . . .	507
7.4.3.2.3.2.1.2.5	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	508
7.4.3.2.3.2.1.2.6	Beurteilung . . . . .	509
7.4.3.2.3.2.1.2.7	ERSAG SR-System . . . . .	510
7.4.3.2.3.3	Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren ohne Ringraum . . . . .	510
7.4.3.2.3.3.1	Wickelrohrverfahren . . . . .	510
7.4.3.2.4	Auskleidung mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren . . . . .	512
7.4.3.2.4.1	Allgemeines . . . . .	512
7.4.3.2.4.2	Insituform-Verfahren . . . . .	512
7.4.3.2.3.2.1	Charakterisierung des Verfahrens . . . . .	512
7.4.3.2.4.2.2	Einsatzbereiche und Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens . . . . .	512

7.4.3.2.4.2.3	Verfahrensbeschreibung . . . . .	513
7.4.3.2.4.2.3.1	Vorarbeiten . . . . .	513
7.4.3.2.4.2.3.2	Arbeitsablauf . . . . .	514
7.4.3.2.4.2.3.3	Abschlußarbeiten und -prüfungen . . . . .	517
7.4.3.2.4.2.4	Personalbedarf und Ausrüstung . . . . .	518
7.4.3.2.4.2.5	Beurteilung . . . . .	518
7.4.3.2.4.2.6	Insituform-Lichthärtungsverfahren . . . . .	519
7.4.3.2.4.3	Paltem-Verfahren . . . . .	521
7.4.3.2.4.4	Copeflex-Verfahren . . . . .	522
7.4.3.2.4.5	KM-Inliner-Verfahren . . . . .	524
7.4.3.2.4.6	Softlining . . . . .	526
7.4.3.2.4.7	Phoenix-Verfahren . . . . .	528
7.4.3.2.4.8	Auskleidung von Anschlußkanälen und Wiederherstellung der Einbindung in den Kanal . . . . .	529
7.4.3.2.4.8.1	Auskleidung von Anschlußkanälen . . . . .	529
7.4.3.2.4.8.2	Einbindung von Anschlußkanälen . . . . .	529
7.4.3.3	Auskleidungen aus montierten Einzelementen (Montageverfahren) . . . . .	530
7.4.3.3.1	Allgemeines . . . . .	530
7.4.3.3.2	Oberflächenvorbehandlung . . . . .	531
7.4.3.3.3	Teilauskleidungen . . . . .	532
7.4.3.3.3.1	Allgemeines . . . . .	532
7.4.3.3.3.2	Sohlenauskleidung . . . . .	532
7.4.3.3.3.2.1	Allgemeines . . . . .	532
7.4.3.3.3.2.2	Steinzeug-Schalen und Steinzeug-Platten . . . . .	532
7.4.3.3.3.2.3	Steinzeug-Platten-Elemente . . . . .	538
7.4.3.3.3.2.4	Betonlaminat-Schalen (BLS) . . . . .	538
7.4.3.3.3.2.5	BKU-Sohlenschalen . . . . .	541
7.4.3.3.3.2.6	BKU-GFB-Fertigteile . . . . .	543
7.4.3.3.3.2.7	Spiral-bauku-Sohlenschalen . . . . .	543
7.4.3.3.3.2.8	GFK-Halbschalen . . . . .	544
7.4.3.3.3.2.9	GFA-Betonschutzplatten . . . . .	544
7.4.3.3.3.2.10	Kunststoffbeschichtete Stahlelemente (WH-System) . . . . .	545
7.4.3.3.3.3	Auskleidung des Gasraumes . . . . .	545
7.4.3.3.3.3.1	Allgemeines . . . . .	545
7.4.3.3.3.3.2	Platten aus Kunststoff mit glatter Rückseite . . . . .	546
7.4.3.3.3.3.3	Platten aus Edelstahl . . . . .	548
7.4.3.3.3.3.4	Platten und Bahnen aus Kunststoff mit integrierten Verankerungs- elementen . . . . .	549
7.4.3.3.3.3.4.1	Allgemeines . . . . .	549
7.4.3.3.3.3.4.2	PVC-weich-Stegfolien . . . . .	549
7.4.3.3.3.3.4.3	Schlegel-Platte, System Polygrip . . . . .	550
7.4.3.3.3.3.4.4	PVC-hart-Stegplatten . . . . .	552
7.4.3.3.3.3.4.5	PE-HD-Stegplatten . . . . .	555
7.4.3.3.3.3.4.6	GFA-Betonschutzplatten . . . . .	556
7.4.3.3.3.3.4.7	BKU-GFB-Fertigteile . . . . .	558
7.4.3.3.3.3.4.8	Hohlkammersteckprofile . . . . .	558
7.4.3.3.4	Vollauskleidungen . . . . .	559
7.4.3.3.4.1	Allgemeines . . . . .	559
7.4.3.3.4.2	Bahnen und Platten aus Kunststoff, BKU-GFB-Fertigteile, Hohlkammersteckprofile . . . . .	559

7.4.3.3.4.3	Spritzbetonelemente . . . . .	562
7.4.3.3.4.4	Elemente aus Faserbeton . . . . .	566
7.4.3.3.4.5	Elemente aus Reaktionsharzbeton . . . . .	566
7.4.3.3.4.6	Elemente aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) . . . . .	569
7.4.3.3.4.7	Elemente aus Spezialglas . . . . .	570
7.4.3.3.5	Beurteilung . . . . .	571
7.4.3.4	Auskleidung von Einsteigschächten und Bauwerken der Ortsentwässerung . . . . .	572
7.4.3.4.1	Allgemeines . . . . .	572
7.4.3.4.2	Auskleidung mit vorgefertigten Kurzrohren . . . . .	572
7.4.3.4.3	Auskleidung mit Bahnen und Platten aus Kunststoff mit integrierten Verankerungselementen . . . . .	575
7.4.3.4.4	Auskleidung mit montierten Einzelementen . . . . .	575
7.4.3.4.4.1	Allgemeines . . . . .	575
7.4.3.4.4.2	Schachtauskleidung mit PVC-hart-Stegplatten . . . . .	575
7.4.3.4.4.3	Schachtauskleidung mit GFK-Platten . . . . .	576
7.4.3.4.4.4	Auskleidung mit GFK-Laminat . . . . .	577
7.4.3.5	Statische Berechnung der Auskleidungen . . . . .	578
7.4.3.5.1	Beanspruchung der Rohre während des Einziehens . . . . .	579
7.4.3.5.1.1	Maximal einziehbare Länge . . . . .	579
7.4.3.5.1.2	Zulässige Zugkraft . . . . .	582
7.4.3.5.1.3	Beanspruchung im Bereich des Zugkopfes . . . . .	582
7.4.3.5.2	Beanspruchung der Rohre während der Ringraumverfüllung . . . . .	583
7.4.3.5.2.1	Beanspruchung durch Auftriebskräfte . . . . .	583
7.4.3.5.2.2	Beanspruchung durch hydrostatischen Druck . . . . .	586
7.4.3.5.3	Beanspruchung der Rohre während des Betriebes . . . . .	587
7.4.3.5.3.1	Innendruck bei biegeweichen Rohren . . . . .	588
7.4.3.5.3.2	Hydrostatischer Druck (Lastfall 1, biegeweiches Rohr) . . . . .	590
7.4.3.5.3.3	Erd- und Verkehrslasten (Lastfall 2, biegeweiches Rohr) . . . . .	591
7.4.3.5.3.4	Wärmedehnung . . . . .	591
7.4.3.5.3.5	Biegesteife Rohre . . . . .	592
<b>7.5</b>	<b>Erneuerung . . . . .</b>	<b>593</b>
7.5.1	Allgemeines . . . . .	593
7.5.2	Erneuerung in offener Bauweise . . . . .	594
7.5.3	Erneuerung in geschlossener Bauweise . . . . .	597
7.5.3.1	Allgemeines . . . . .	597
7.5.3.2	Bergmännischer Stollen- oder Tunnelvortrieb mit Getriebezimmerung . . . . .	597
7.5.3.3	Schildvortrieb . . . . .	600
7.5.3.3.1	Allgemeines . . . . .	600
7.5.3.3.2	Mini-Tunnel-System . . . . .	600
7.5.3.3.3	Mini-Messerschild . . . . .	602
7.5.3.4	Rohrvortrieb mit begehbarem Querschnitt . . . . .	604
7.5.3.5	Vortrieb nichtbegehrbarer Vortriebsrohre (Überfahren) . . . . .	607
7.5.3.6	Berstverfahren . . . . .	616
7.5.3.6.1	Allgemeines . . . . .	616
7.5.3.6.2	Dynamisch arbeitende Berstverfahren . . . . .	617
7.5.3.6.3	Statisch arbeitende Berstverfahren . . . . .	621
7.5.3.6.4	Auswirkungen des Berstverfahrens auf die Umgebung . . . . .	624
7.5.3.6.5	Beurteilung . . . . .	629

7.5.3.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung . . . . .	630
7.6	<b>Aufrechterhaltung der Abwasservorflut . . . . .</b>	632
7.7	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	637
<b>8</b>	<b>Kanäle in Wasserschutzgebieten – besondere Anforderungen an die Instandhaltung . . . . .</b>	659
<b>8.1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	659
<b>8.2</b>	<b>Definition Wasserschutzgebiet . . . . .</b>	659
<b>8.3</b>	<b>Wasserschutzzone I (Fassungsbereich) . . . . .</b>	660
<b>8.4</b>	<b>Wasserschutzzone II (engere Schutzzone) . . . . .</b>	660
8.4.1	Anforderungen bezüglich der Abwasserdurchleitung . . . . .	660
8.4.2	Technische Anforderungen bezüglich Neuverlegung und Instandhaltung . . . . .	661
8.4.2.1	Allgemeines . . . . .	661
8.4.2.2	Planung . . . . .	661
8.4.2.3	Ausführung . . . . .	663
8.4.2.4	Inspektion . . . . .	664
<b>8.5</b>	<b>Wasserschutzzone III (weitere Schutzzone) . . . . .</b>	665
8.5.1	Anforderungen bezüglich Abwasserdurchleitung . . . . .	665
8.5.2	Technische Anforderungen bezüglich Neuverlegung und Instandhaltung . . . . .	666
8.5.2.1	Planung und Ausführung . . . . .	666
8.5.2.2	Inspektion . . . . .	666
<b>8.6</b>	<b>Schadensbehebung an Kanälen in den Wasserschutzzonen II und III . . . . .</b>	667
<b>9</b>	<b>Kontamination von Boden und Grundwasser durch exfiltrierendes Abwasser und Möglichkeiten der Dekontamination . . . . .</b>	669
<b>9.1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	669
<b>9.2</b>	<b>Herkunft und Charakterisierung des Abwassers . . . . .</b>	670
9.2.1	Allgemeines . . . . .	670
9.2.2	Häusliche Abwässer . . . . .	670
9.2.3	Kommunale Abwässer . . . . .	671
9.2.4	Oberflächenabfluß . . . . .	673
9.2.5	Stör- und Unfälle . . . . .	674
9.2.6	Charakterisierung des Abwassers . . . . .	674
<b>9.3</b>	<b>Migrationsverhalten und stoffspezifisches Verhalten der Schadstoffe . . . . .</b>	676
9.3.1	Allgemeines . . . . .	676
9.3.2	Migrationsverhalten . . . . .	677
9.3.3	Verhalten relevanter Stoffe im Boden . . . . .	681
<b>9.4</b>	<b>Schadensbeispiele . . . . .</b>	684
<b>9.5</b>	<b>Verfahren zur Dekontamination von Böden . . . . .</b>	691
9.5.1	Allgemeines . . . . .	691
9.5.2	In-situ-Verfahren . . . . .	693

9.5.2.1	Bodenluftabsaugung (Bodengasextraktion) . . . . .	694
9.5.2.2	Hydroschock- und Geoschock-Verfahren . . . . .	697
9.5.2.3	Biologische Verfahren . . . . .	697
9.5.2.4	Extraktionsverfahren . . . . .	702
9.5.2.5	Verfestigung . . . . .	705
9.5.3	On-site-Verfahren . . . . .	705
9.5.3.1	Thermische Bodenbehandlung . . . . .	705
9.5.3.1.1	Direkte thermische Verfahren . . . . .	705
9.5.3.1.2	Indirekte thermische Verfahren . . . . .	708
9.5.3.2	Biologische Verfahren . . . . .	710
9.5.3.3	Extraktionsverfahren . . . . .	714
9.5.3.4	Verfestigung . . . . .	718
9.5.4	Hydraulische Verfahren . . . . .	719
9.5.4.1	Allgemeines . . . . .	719
9.5.4.2	Verfahren der Grundwasserbehandlung . . . . .	720
9.5.4.3	Beispielfall . . . . .	722
9.5.5	Off-site-Verfahren – Umlagerung . . . . .	724
<b>9.6</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>725</b>
<b>10</b>	<b>Neue Kanalisationskonzeptionen . . . . .</b>	<b>727</b>
<b>10.1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	<b>727</b>
<b>10.2</b>	<b>Schaffung der Voraussetzung zur Instandhaltung von Kanalisations . . . . .</b>	<b>727</b>
10.2.1	Allgemeines . . . . .	727
10.2.2	Ersatz von Grundleitungen durch Sammelleitungen . . . . .	728
10.2.3	Systementflechtung (Einbindung von Anschlußkanälen in Schächte) . . . . .	730
10.2.4	Querschnittsvergrößerung der Kanäle . . . . .	737
<b>10.3</b>	<b>Erhöhung der Zuverlässigkeit . . . . .</b>	<b>738</b>
10.3.1	Allgemeines . . . . .	738
10.3.2	Redundante Kanalsysteme . . . . .	739
10.3.2.1	Allgemeines . . . . .	739
10.3.2.2	Kanal mit mineralischer Außenabdichtung . . . . .	739
10.3.2.3	Doppelwandiger Kanal . . . . .	741
10.3.2.4	Doppelkanal . . . . .	741
10.3.3	Leitungsgang . . . . .	742
10.3.3.1	Allgemeines . . . . .	742
10.3.3.2	Historische Entwicklung . . . . .	742
10.3.3.3	Vorteile des Leitungsganges bei der Erneuerung innerstädtischer Ver- und Entsorgungsleitungen . . . . .	745
<b>10.4</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>749</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>751</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>807</b>