

Inhalt

	Vorwort zur 1. deutschen Auflage	21
	Einleitung zur 1. deutschen Auflage	23
1	Geruch und biogene Korrosion in Abwassertransportanlagen – ein globales Problem mit steigender Tendenz	29
1.1	Abwasser – Was ist das?	29
1.2	Die Vielfalt der Abwassertransportwege vom Indirekteinleiter bis in die Abwasserreinigungsanlage	33
1.3	Typische Grundsätze der Entwässerungsnetze	37
1.4	Abwassernetze – Was vor 150 Jahren begann, ist heute nicht mehr wegzudenken	40
1.5	Die Probleme der Menschen mit Abwasser – Entwicklung eines Entwässerungsnetzes am Beispiel der Stadt Berlin	44
1.6	Die Situation in Deutschland	45
1.6.1	Quantität und Qualität der Entwässerung	45
1.6.2	Abwassertechnische Statistikwerte	51
1.6.2.1	Einwohner und Entwässerungsnetz der Bundesländer	51
1.6.2.2	Trinkwasserverbrauch und Schmutzwassermengen	52
1.6.2.3	Entwässerungsnetz und Abwasserreinigungsanlagen	57
1.6.3	Sulfidbasierende Probleme in Deutschland	58
1.7	Die Situation in Europa	59
1.7.1	Quantität und Qualität der Entwässerung	60
1.7.2	Abwassertechnische Statistikwerte	62
1.7.2.1	Einwohnerzahlen und Entwässerungsnetze der Länder	62
1.7.2.2	Trinkwasserverbrauch und Schmutzwassermengen	63
1.7.2.3	Entwässerungsnetz und Abwasserreinigungsanlagen	65
1.7.3	Sulfidbasierende Probleme in Europa	66
1.8	Die Situation auf der Erde	66
1.8.1	Einwohner, Trinkwasserverbrauch und Schmutzwassermengen	66
1.8.2	Situation in außereuropäischen Industrieländern	67
1.8.3	Situation in Entwicklungsländern	68
1.8.4	Situation in aufstrebenden Industrieländern	69

1.9	Umweltschutz und sulfidbegründete Probleme	69
1.9.1	Umweltschutz	69
1.9.2	Sulfidbegründete Probleme	70
1.10	Ausblick in die Zukunft	70
2	Schwefelverbindungen in Abwasseranlagen – die Grundlagen	71
2.1	Schwefel – ein elementarer Stoff mit vielen Erscheinungsformen	71
2.1.1	Wissenswertes über Schwefel	72
2.1.2	Erscheinungsformen von Schwefel	73
2.1.2.1	α -Schwefel	74
2.1.2.2	β -Schwefel	74
2.1.2.3	λ -Schwefel	76
2.1.2.4	π -Schwefel	76
2.1.2.5	μ -Schwefel	76
2.1.2.6	Sn-Schwefel	76
2.2	Oxide des Schwefels	76
2.2.1	Schwefeldioxid	76
2.2.2	Schwefeltrioxid	77
2.2.3	Sauerstoffsäuren des Schwefels	77
2.2.3.1	Schweflige Säure	77
2.2.3.2	Schwefelsäure	77
2.3	Sulfite – Salze der schwefligen Säure	80
2.4	Sulfate – Salze der Schwefelsäure	80
2.5	Sulfide – Salze des Schwefelwasserstoffs	84
2.6	Schwefelwasserstoff	85
2.6.1	Physikalische Eigenschaften von Schwefelwasserstoff	86
2.6.2	Chemische Eigenschaften von Schwefelwasserstoff	88
2.6.3	Analytik des Schwefelwasserstoffs	90
2.6.4	Gefährlichkeit von Schwefelwasserstoff	91
2.6.5	Natürliche Vorkommen von Schwefelwasserstoff	91
2.6.6	Anthropogene Schwefelwasserstoff-Quellen	92
3	Sulfide in Entwässerungsanlagen	93
3.1	Entstehung von Sulfid im Abwasser	94
3.1.1	Abwasserarten, -zusammensetzung und -anfallzeiten	94
3.1.1.1	Abwasserarten und ihre Bestandteile	94
3.1.1.2	Kanalisationsarten	98

3.1.1.3	Abwasser-Anfallregime	99
3.1.1.4	Abwassermengen	101
3.2	Die Sulfidgenese – Sulfidentstehung im Abwasser	101
3.2.1	Voraussetzungen für die Sulfidgenese	102
3.2.2	Die Bedeutung der Desulfurikation	104
3.2.3	Desulfurizierer und ihre Eigenschaften	104
3.2.4	Einflussfaktoren bei der Desulfurikation	106
3.2.4.1	Einfluss der Sielhaut	106
3.2.4.2	Einfluss des Sulfats	110
3.2.4.3	Einfluss der Temperatur	110
3.2.4.4	Einfluss des pH-Wertes	110
3.2.4.5	Einfluss des Drucks	111
3.2.4.6	Einfluss der Fließbedingungen	111
3.2.4.7	Einfluss von Ablagerungen	113
3.2.4.8	Einfluss von Reinigungsmaßnahmen	115
4	Schwefelwasserstoffemission und Schwefelsäurebildung ..	116
4.1	Die Thiobazillen	116
4.1.1	Herkunft der Thiobazillen	118
4.1.2	Fähigkeit der Thiobazillen	118
4.2	Einflussfaktoren bei der Sulfurikation (Schwefeloxidation)	119
4.2.1	Einfluss der Temperatur im Abwasser und im Gasraum	119
4.2.2	Einfluss des pH-Wertes im Abwasser	120
4.2.3	Einfluss der Fließverhältnisse	122
4.2.4	Einfluss der Kanallüftung	123
4.2.4.1	Die Ziele der Kanallüftung	123
4.2.4.2	Wirkung der Kanallüftung bezüglich der Sulfurikation	126
4.2.5	Einfluss der Kondensation	128
4.2.6	Einfluss des pH-Wertes auf die Baustoffoberfläche	130
4.2.7	Einfluss von Reinigungsmaßnahmen	131
5	Auswirkungen von Sulfiden und Schwefelwasserstoff	132
5.1	Auswirkungen auf Menschen	132
5.1.1	Toxizität von H ₂ S	133
5.1.2	Geruch von H ₂ S und Geruchsbelästigung	134
5.1.3	Erste-Hilfe-Maßnahmen bei H ₂ S-Kontakt	135
5.1.4	Erkrankungen durch H ₂ S	141
5.1.4.1	Berufskrankheiten	143
5.1.4.2	Krankheiten mit Kurz- und Langzeitwirkung	144
5.1.4.3	Einwirkungen auf Anwohner	144
5.1.5	MAK- und AGW-Werte von H ₂ S	145

5.1.6	Gefahrenordnung von H ₂ S gemäß GefStoffV	148
5.1.7	H ₂ S und Arbeitssicherheit	149
5.1.8	Berichte zu H ₂ S-Unfällen	150
5.1.8.1	Tod in der Fäkalgrube	151
5.1.8.2	Tod in Kanalanlagen	152
5.1.8.3	Tod in einer Biogasanlage	152
5.1.8.4	Tod durch Schwefelwasserstoffwolke in China	153
5.1.8.5	Tod durch Chemieunfall in einer österreichischen Lederfabrik	154
5.1.8.6	Bemerkungen zu den Unfallberichten	155
5.1.9	Heilende Wirkungen von H ₂ S	155
5.2	Auswirkungen auf Abwasseranlagen	156
5.2.1	Auswirkungen auf Bauteile aus Beton und anderen zementgebundenen Werkstoffen	159
5.2.1.1	Allgemeines zu Beton	159
5.2.1.2	Einsatzbeschreibung und Betonauswahl	160
5.2.1.3	Chemische und physikalische Eigenschaften von Beton	163
5.2.1.4	Herstellen von Betonteilen für Abwassersysteme	166
5.2.1.5	Beständigkeit von Beton gegen Säuren	168
5.2.1.6	Carbonatisierung von Beton	169
5.2.1.7	Auswirkungen der Reaktion von Schwefelwasserstoff mit Beton ...	172
5.2.1.8	Auswirkungen der Reaktion biogener Schwefelsäure mit Beton ...	172
5.2.2	Auswirkungen auf Bauteile aus Metallen	175
5.2.2.1	Auswirkungen auf Bauteile aus Eisen	175
5.2.2.2	Auswirkungen auf Bauteile aus nichtrostendem Stahl	180
5.2.3	Auswirkungen auf Bauteile aus Kunststoffen	182
5.3	Auswirkungen auf Abwasserreinigungsanlagen	184
5.3.1	Störungen der biologischen Abwasserreinigung	185
5.3.2	Störungen der anaeroben Stabilisierung	187
5.3.3	Korrosionserscheinungen bei Anaerobanlagen	189
5.3.4	Auswirkungen auf Becken aus Beton	190
6	Rechtliche Aspekte	191
6.1	Grundsätzliches	191
6.2	Normen, Regelwerke und Satzungen	191
6.2.1	Arten der Abwassereinleitung	193
6.2.2	Festlegung der Einleite-Grenzwerte	195
6.3	Sulfidprobleme in Abwasseranlagen	198
6.3.1	Abwasserableitung	198
6.3.2	Abwasserreinigung	199
6.3.3	Betriebssicherheit	200
6.3.4	Schutz von Personen	200
6.3.5	Arbeitsschutz	201

6.3.6	Umweltschutz	203
6.3.7	Potenziell prüfbare strafrechtliche Tatbestände	203
6.3.8	Geruchsbelästigung	205
6.3.9	Schwefelwasserstoff – ein Gefahrstoff	207
6.3.10	Schutz der Abwasseranlagen als Vermögenswerte	211
6.3.11	Betreiberpflichten	214
6.4	Sulfidprobleme und Belästigungen der Anlieger	216
6.4.1	Belästigung durch Lärm	217
6.4.2	Belästigung durch Geruch	217
6.4.3	Beeinträchtigung gewerblicher Interessen	219
6.4.4	Beeinträchtigung des Tourismus	222
7	Geruchsprobleme, Konflikte und Lösungsstrategien	223
7.1	Begriffe und Zusammenhänge	224
7.2	Vorsorge als wichtigste Maßnahme für alle Bereiche	227
7.3	Betriebsführung und Betriebsüberwachung	228
7.3.1	Problemorientierte Betriebsführung	230
7.3.2	Problemorientierte Betriebsüberwachung	232
7.4	Erste Eingriffsmöglichkeiten bei Sulfidproblemen	233
7.5	Problemmanagement	235
7.6	Konfliktmanagement	237
7.6.1	Konfliktstrategie	237
7.6.2	Situationsanalyse	238
7.6.3	Informationsprozesse	239
8	Zustandserfassung und Situationsanalyse	240
8.1	Untersuchungsstrategie und Gebietseinteilung	240
8.1.1	Einfluss des Existenzstadiums der Abwasseranlage	240
8.1.2	Untersuchungsstrategie	240
8.1.3	Gebietseinteilung	242
8.2	Untersuchungen zur Zustandserfassung	244
8.2.1	Inspektionen	246
8.2.2	Hydraulische Parameter	247
8.2.3	Abwasserparameter	248
8.2.4	Sielhautparameter	250
8.2.5	Kanalluftparameter	250
8.2.6	Werkstoffparameter	250

8.3	Ermittlung der Sulfidquellen	251
8.4	Einfluss von Abfluss- und Belastungsschwankungen	251
8.5	Ermittlung des Tragfähigkeitsverhaltens	252
8.6	Methodik der Auswertung aller Ergebnisse	254
9	Mess- und Analysetechnik	257
9.1	Notwendigkeit einer Messstrategie	257
9.1.1	Falsche Ansätze führen in die falsche Richtung	257
9.1.2	Die Messung	257
9.1.3	Die Messstrategie	258
9.2	Messungen im Abwasser	262
9.2.1	Hydraulische Messungen im Abwasser	262
9.2.1.1	Messmethoden und -einrichtungen für die hydraulische Messung ..	263
9.2.1.2	Messung der Fließgeschwindigkeit	267
9.2.1.3	Mobile Messeinrichtungen	269
9.2.2	Messung der qualitativen und quantitativen Parameter im Abwasser	271
9.2.2.1	Abwasseranalytik	271
9.2.2.2	Messtechnische Bestimmung von Sulfiden im Abwasser	272
9.2.2.3	Bestimmung weiterer Parameter und Werte	276
9.3	Messungen der Sielhaut	276
9.3.1	Biochemische Untersuchung	277
9.3.2	Molekularbiologische Untersuchung	278
9.4	Messungen in der Abwasseratmosphäre	279
9.4.1	Strömungstechnische Messung	279
9.4.2	Qualitative, technische Messungen	280
9.4.2.1	Stichprobenartige Messung von Schwefelwasserstoff	281
9.4.2.2	Kontinuierliche Messung von Schwefelwasserstoff	282
9.4.3	Geruchsmessungen (Olfaktometrische Messung)	282
9.4.3.1	Geruch und menschlicher Geruchssinn	284
9.4.3.2	Geruchsschwelle und Geruchsempfindungen	285
9.4.3.3	Abwasser und Gerüche	287
9.4.3.4	Olfaktometrie	288
9.4.3.5	Technische Geruchsmessung	292
9.5	Ausblick auf zukünftige Mess- und Regelstrategien	295
9.6	Immissions- und Emissionsmessungen	297
9.7	Messung des Geruchsstoff-Emissionspotentials	298

9.8	Werkstoffuntersuchungen	298
9.8.1	Zerstörungstiefe	298
9.8.2	Bohrkernentnahme	299
9.8.3	Kennwerte für Festigkeitsberechnungen	300
9.8.4	Eindringtiefe der Schwefelsäure	300
9.8.5	Angriffsgrad	300
10	Übersicht zu Maßnahmen der Problemverhinderung und -verminderung	302
10.1	Präventiv- und Kurativmaßnahmen	303
10.2	Organisatorisches System zur langfristigen Beherrschung von Sulfidproblemen	303
10.3	Übersicht über Schutzmaßnahmen bei Sulfidproblemen	305
10.3.1	Aktive Schutzmaßnahmen bei Sulfidproblemen	307
10.3.2	Passive Schutzmaßnahmen bei Sulfidproblemen	307
10.4	Grundsätzliche Maßnahmen	308
10.4.1	Verhinderung der Sulfideinleitung	308
10.4.2	Verhinderung der Sulfidentstehung	308
10.4.3	Verhinderung der Schwefelwasserstoffbildung und seiner Ausgasung	309
10.4.4	Abwasserbehandlung zur Sulfid-Problemvermeidung	311
10.4.5	Behandlung sulfidbelasteter Abluft	312
10.4.6	Baustoffschutz bei Säureangriff	313
11	Planung mit Berücksichtigung der Sulfidproblematik	314
11.1	Planungsgrundsätze	314
11.2	Hydraulische Bemessung	315
11.2.1	Freigefällekanäle	315
11.2.2	Druckleitungen	320
11.2.2.1	Wahl der Nennweite	320
11.2.2.2	Wahl der Wandschubspannung	322
11.2.2.3	Druckleitungsverlauf	323
11.2.2.4	Sulfidentwicklung in einer Druckleitung	323
11.2.2.5	Planerische Vorkehrungen	324
11.2.2.6	Druckleitungsausmündung	324
11.3	Vorbehandlung von Indirekteinleitungen	326
11.4	Erstellung von Sulfid-Prognosen	327
11.4.1	Voraussetzungen	327

11.4.2	Sulfid-Erwartung in Freigefällekanälen	328
11.4.2.1	Die Schätzformel von POLDER und MECHELEN	330
11.4.2.2	Die „Z-Formeln“ von POMEROY und THISTLETHWAYTE	330
11.4.2.3	Ansatz von SCHMITT	332
11.4.2.4	Berechnungsmodell von POMEROY	332
11.4.2.5	Berechnungsmodell von THISTLETHWAYTE	334
11.4.2.6	Berechnungsmodell von HVITVED-JACOBSEN	340
11.4.3	Berechnungsbeispiel für einen Freigefällekanal	341
11.4.3.1	Ausgangsverhältnisse	341
11.4.3.2	Beispiel mit Z-Formeln nach POMEROY und THISTLETHWAYTE ..	341
11.4.3.3	Beispiel mit Ansatz von SCHMITT	342
11.4.3.4	Beispiel mit Berechnungsmodell von POMEROY	342
11.4.3.5	Beispiel mit Berechnungsmodell von THISTLETHWAYTE	342
11.4.3.6	Rechenergebnisse im Vergleich	344
11.4.4	Sulfid-Erwartung in Druckleitungen	345
11.4.5	Sulfid-Erwartung in Abwasserreinigungsanlagen	350
11.5	Geruchsprognose und Abluftbehandlung	350
11.5.1	Geruchsemissionspotenzial	351
11.5.2	Entstehung von Geruch und Einflussmöglichkeiten	352
11.5.3	Ursachen von Gerüchen	354
11.5.3.1	Schwefelwasserstoff als Leitparameter in der Geruchsmessung? ..	354
11.5.4	Vermeidung und/oder Verminderung von Geruchsproblemen	355
11.5.5	Erstellung von Geruchsprognosen	356
11.5.6	Ergebnis einer Geruchsprognose	359
11.5.7	Berechnungsmethoden	361
11.6	Entwicklung eines Schutzkonzepts	361
11.7	Anhang – Parameter- und Abkürzungsliste	362
12	Bauwerksgestaltung und technische Ausrüstung	366
12.1	Einfluss der Konstruktion auf Sulfidprobleme	366
12.2	Freispiegelkanäle und Kanalschächte	367
12.2.1	Erfüllung der hydraulischen Anforderungen	367
12.2.2	Ablagerungsfreier Betrieb	367
12.2.3	Rückstaufreier Betrieb	368
12.2.4	Dichtheit	368
12.2.5	Systemgerechte Lüftung	368
12.2.6	Kanalschächte	368
12.2.7	Notwendige Zusatzmaßnahmen	369
12.2.8	Mediengerechte und wirtschaftliche Materialwahl	369
12.3	Pumpwerke	370
12.3.1	Abwassersammelraum	371

12.3.1.1	Zulaufgestaltung	371
12.3.1.2	Einfluss der Schaltpunkteinstellung	375
12.3.1.3	Geometrische Gestaltung	375
12.3.1.4	Oberflächenbehandlung	376
12.3.1.5	Reinigungsmöglichkeiten	376
12.3.1.6	Be- und Entlüftung	378
12.3.1.7	Sauerstoffanreicherung des Abwassers	378
12.3.1.8	Hinweise zur Materialwahl	379
12.3.2	Abwassertransportanlage (Pumpanlage)	379
12.3.2.1	Dimensionierung	379
12.3.2.2	Rohranlagen und Armaturen	380
12.3.2.3	MSR-Technik	381
12.3.2.4	Hinweise zur Materialwahl	383
12.4	Druckleitungen und zugehörige Bauwerke	384
12.4.1	Druckleitungen	384
12.4.2	Druckleitungssoanderschächte	386
12.4.3	Druckleitungsübergabebauwerke	387
12.5	Bauwerke auf Abwasserreinigungsanlagen	389
12.6	Kleinkläranlagen	390
12.7	Sonstige Hinweise	391
12.7.1	Einfluss der konstruktiven Anlagenkonfiguration auf betriebliche Anti-Sulfid-Maßnahmen	391
12.7.2	Planungsvorschriften	394
12.7.3	Bauvorschriften	396
13	Werkstoffe und Werkstoffauswahl	397
13.1	Alternative Ausführungen	397
13.2	Korrosionskriterien zur Werkstoffauswahl	399
13.3	Zementgebundene Werkstoffe	400
13.3.1	Normaler Beton	401
13.3.2	Hochleistungsbeton	402
13.3.3	Stahlbeton	404
13.4	Keramik, Klinker, Schmelzbasalt	404
13.5	Metallische Werkstoffe	406
13.5.1	Stähle	406
13.5.1.1	Lochkorrosion	406
13.5.1.2	Spaltkorrosion	408
13.5.1.3	Spannungsrisskorrosion	409

13.5.1.4	Schwingungsrissskorrosion	409
13.5.1.5	Interkristalline Korrosion	409
13.5.1.6	Bimetallkorrosion	410
13.5.2	Gusseisen	411
13.6	Kunststoffe	411
13.6.1	Einteilung der Kunststoffe	411
13.6.2	Eigenschaften von Kunststoffen	411
13.6.3	Alterung von Kunststoffen	413
13.6.4	Polyethylen	414
13.6.5	Polyvinylchlorid	416
13.6.6	Ungesättigte Polyesterharze/GFK	417
13.6.7	Epoxidharze	420
13.7	Polymerbeton	422
13.8	Dichtungswerkstoffe	423
13.9	Auskleidungen	427
13.9.1	Auskleidungen mit Rohren	428
13.9.2	Auskleidungen mit Elementen	429
13.9.2.1	Auskleidungen mit Keramik-Elementen	430
13.9.2.2	Auskleidungen mit Betonlaminat/Polymerbeton-Elementen	432
13.9.2.3	Auskleidungen mit Kunststoff-Elementen	432
13.9.2.4	Glas-Auskleidungen	433
13.9.2.5	Schmelzbasalt-Auskleidungen	434
13.9.2.6	Stahlauskleidungen	434
13.10	Beschichtungen	434
13.10.1	Beschichtungen von zementgebundenen Werkstoffen	435
13.10.1.1	Beschichtungen mit Tonerdezement	436
13.10.1.2	Beschichtungen mit kunststoffmodifizierten Mörteln	436
13.10.1.3	Beschichtungen mit Kunstharz	437
13.10.2	Beschichtungen von metallischen Werkstoffen	437
13.11	Opferbeton	439
14	Abwasserbehandlung	440
14.1	Verfahrensübersicht	441
14.2	Mechanische Abwasserbehandlung	441
14.2.1	Abwasserverdünnung	441
14.2.2	Auffrischung	444
14.2.3	Ausstrippen	457

14.3	Biologische Abwasserbehandlung	461
14.3.1	Belebter Schlamm	461
14.3.2	Thiobazillen	461
14.3.3	Biopräparate	462
14.4	Chemikaliendosierung	463
14.4.1	Dosierstrategie und Dosiertechnik	463
14.4.1.1	Steuerungs- und Regelungskonzepte	463
14.4.1.2	Messparameter und Probenahme	466
14.4.1.3	Dosierstellen	468
14.4.1.4	Ausstattung einer Dosierstation	470
14.4.1.5	Auswahl geeigneter Dosiermittel	473
14.4.1.6	Ermittlung der effektiven Dosiermenge	474
14.4.1.7	Optimieren von Abwasserbehandlungsmaßnahmen	476
14.4.2	Sauerstoffversorgung und Oxidation	476
14.4.2.1	Luftsauerstoff	477
14.4.2.2	Technischer Sauerstoff	482
14.4.2.3	Wasserstoffperoxid	486
14.4.2.4	Nitrat	489
14.4.2.5	Kaliumpermanganat	494
14.4.3	Sulfid-Fällung	498
14.4.3.1	Eisenverbindungen	498
14.4.3.2	Sonstige Metallsalze	504
14.4.4	Alkalisierung	507
14.4.5	Checkliste zur Verfahrensauswahl unter Betriebsbedingungen	510
14.5	Versuchsbetrieb	513
15	Abluftbehandlung	516
15.1	Verfahrensübersicht	516
15.2	Physikalische Abluftbehandlung	518
15.2.1	Abluftverdünnung	518
15.2.2	Adsorption	526
15.2.3	Abluftwäsche	531
15.3	Biologische Abluftbehandlung	532
15.3.1	Biofilter	532
15.3.1.1	Funktion eines Biofilters	532
15.3.1.2	Filtermaterialien und Leistungsbereitschaft	535
15.3.1.3	Filterbettprobleme	537
15.3.1.4	Einsatz von Biofiltertechniken	538
15.3.2	Biowäscher und Tropfkörperwäscher	544
15.3.2.1	Funktion eines Biowäschers	544
15.3.2.2	Prinzipien der biologischen Washwasserbehandlung	545
15.3.2.3	Einsatz von Biowäschartechniken	546

15.4	Chemische Abluftbehandlung	549
15.4.1	Oxidierende Gaswäsche	550
15.4.2	UV-Behandlung	552
15.4.3	Neutralisation und Maskierung	552
15.4.3.1	Neutralisation	554
15.4.3.2	Maskierung	556
16	Betriebliche Schutzmaßnahmen	560
16.1	Maßnahmenübersicht	560
16.1.1	Die Vielfalt der Entwässerungsanlagen	562
16.2	Möglichkeiten der Einflussnahme	564
16.2.1	Wartungsarbeiten	564
16.2.1.1	Reinigungsstrategie	564
16.2.1.2	Wartungsarbeiten in Kanalanlagen	566
16.2.1.3	Wartungsarbeiten in Druckleitungen	570
16.2.1.4	Wartungsarbeiten in Bauwerken	578
16.2.1.5	Wartungsarbeiten in Pumpwerken	581
16.3	Zustandsanalysen	589
16.4	Betriebsanweisungen	592
16.5	Einflüsse auf betriebliche Maßnahmen	592
17	Problemorientierte bauliche Sanierung	594
17.1	Begriffe und Definitionen	594
17.2	Sanierung – Schwerpunkt der Investitionen im Abwasserbereich ..	594
17.3	Sanierungsstrategien und Sulfidproblematik	598
17.4	Bestandsaufnahme und Bewertung	602
17.4.1	Bestandsaufnahme und Objektanalyse	603
17.4.1.1	Kamerabefahrung	603
17.4.1.2	Vermessung	605
17.4.1.3	Visuelle Bestandsaufnahme	605
17.4.1.4	Manuelle oder automatisierte Messdaten	606
17.4.1.5	Möglichkeiten der Auswertung	606
17.4.2	Bewertung der Bestandsaufnahmen	607
17.5	Ermittlung des Veränderungspotenzials	608
17.5.1	Gegenwärtiges Systemkonzept	608
17.5.1.1	Umfang und Zustand der Abwasseranlagen	608

17.5.1.2	Ergründen der Kausalitäten	609
17.5.2	Zukünftiges Systemkonzept	611
17.5.3	Ermitteltes Veränderungspotenzial im System	611
17.6	Hinweise für Variantenentwicklung und -vergleich	611
17.7	Anlagenteile, Werkstoffe und Probleme	612
17.8	Sanierungsverfahren	615
17.8.1	Verfahren zur Rohr-sanierung	616
17.8.1.1	Verfahren für Druckleitungen	616
17.8.1.2	Verfahren für drucklose Leitungen	619
17.8.2	Verfahren zur Schachtsanierung	622
17.8.2.1	Sulfidbedingte Schäden an Schächten	622
17.8.2.2	Verfahren der Schachtsanierung	623
17.8.3	Verfahren zur Saugraum- und Beckensanierung	628
17.8.4	Sanierung von Pumpwerken und Becken mit technischer Ausrüstung	629
17.8.5	Sanierung der maschinen- und elektrotechnischen Einbauten	630
17.8.6	Sanierungen erfordern komplexe Systemuntersuchungen	631
17.8.6.1	Beispiel: Druckleitungen und Pumpwerke – ein abhängiges System	631
17.9	Sanierung – eine Hauptaufgabe der nächsten 20 Jahre in Deutschland	634
18	Erfolgreiche Projektarbeit in der Praxis	636
18.1	Systematische Projektarbeit	636
18.2	Systematische Gliederung eines Projektgebietes	640
18.3	Die „3-Säulen-Strategie“ bei der Ursachenermittlung	642
18.3.1	Säule 1 – Ermittlung der hydraulisch relevanten Parameter	642
18.3.2	Säule 2 – Ermittlung der analytischen Parameter	645
18.3.3	Säule 3 – Ermittlung der sulfidrelevanten Parameter	646
18.4	Gesamtbewertung des biochemischen Zustandes im System	648
18.5	Auswahl einer Optimallösung	656
18.6	Der Schlüssel zu richtigen Entscheidungen	662
18.6.1	In der Planungsphase – künftige Probleme vermeiden	662
18.6.2	Korrosionsprognose – Baustein der Materialwahl	666
18.6.3	Das Sulfid-Sauerstoff-Verhältnis in Kanälen und Gerinnebauwerken	669
18.6.4	Begrenzte Anwendung des Zp-Wertes im Kanalbereich	672
18.6.5	Sulfid- und Sauerstoffbilanz in Druckleitungssystemen	674
18.6.6	Sulfid- und Sauerstoffbilanz in Abwasserreinigungsanlagen	677

18.7	Grundprinzipien erfolgreicher Planung und Gestaltung	681
18.7.1	Oberster Planungsgrundsatz: Systembetrachtung	681
18.7.2	Oberstes Gestaltungsprinzip: Sulfidprobleme nicht fördern, sondern lösen	684
18.7.2.1	Maßnahmen am Druckleitungsübergabeschacht sind kritisch zu bewerten	685
18.7.2.2	H ₂ S-Absauganlage in einer Kanalstrecke	686
18.7.2.3	Feuchtigkeit und Schwefelsäurebildung stehen in enger Beziehung	687
18.7.2.4	Das Sulfid-Gleichgewicht als Projektgrundlage	689
18.7.2.5	Der Abwasserzustand als Kriterium zur Wahl eines Transportsystems	690
18.7.2.6	Bei Einsatz von Chemikalien sollte Überdosierung verhindert werden	692
18.7.2.7	Lebenszykluskosten als wirtschaftliches Entscheidungskriterium ...	693
18.7.2.8	Maßnahmen zur Geruchsüberdeckung sind keine Universallösungen	693
18.7.2.9	Nur komplexe Systembetrachtungen ergeben exakte Lösungen ...	694
18.7.2.10	Keine Verlagerung von H ₂ S-Problemen auf dem Fließweg	695
18.8	Die Bedeutung und Standortwahl einer Lösung	696
18.8.1	Richtige Auswahl und Bewertung von Lösungen	696
18.8.2	Lösungen für Freispiegelkanäle und Kanalbauwerke	700
19	Ausblick und Thesen zur Diskussion	705
	Literaturverzeichnis	715
	Autorenverzeichnis	723
	Inserentenverzeichnis	731