

Inhalt

1	Einleitung	1
A	Grundlagen	
2	Systemanalyse und Massenbilanz	19
3	Charakterisierung von Wasser	33
4	Charakterisierung von Klärschlamm	65
5	Wasserbedarf, Abwasseranfall	69
6	Schmutzstoffanfall und Temperatur	95
B	Wasserversorgung	
7	Wasserversorgung	107
8	Wasserbeschaffung	115
9	Wasseraufbereitung	131
10	Wasserspeicherung	153
11	Wasserverteilung, Netz	161
C	Siedlungsentwässerung	
12	Siedlungsentwässerung	199
13	Siedlungshydrologie	205
14	Entwässerungsverfahren	227
15	Mischwasserbehandlung	235
16	Technik der Siedlungsentwässerung	245
17	Entwässerungsplanung	287
D	Abwasserreinigung	
18	Abwasserreinigung	291
19	Mechanische Abwasserreinigung	301
20	Biologische Abwasserreinigung	317
21	Physikalische Reinigungsverfahren	375
22	Umfeld und Kosten der Abwasserreinigung	381
23	Kleinkläranlagen	385
E	Behandlung von Klärschlamm	
24	Entsorgung von Klärschlamm	391
25	Verfahren der Schlammbehandlung	399
F	Literatur und Sachverzeichnis	
	Literatur	421
	Sachverzeichnis	427

1	Einleitung.....	1
1.1	Umschreibung des Fachgebiets.....	1
1.2	Siedlungswasserwirtschaft.....	1
1.3	Geschichte der Siedlungswasserwirtschaft.....	2
1.4	Wasserkreislauf in Siedlungen.....	5
1.5	Wasserbeschaffung und Wasserversorgung.....	7
1.6	Siedlungsentwässerung.....	10
1.7	Abwasserreinigung.....	11
1.8	Behandlung und Unterbringung von Klärschlamm.....	13
1.9	Gewässerschutz.....	15
1.10	Siedlungswasserwirtschaftliche Planung.....	16
1.11	Wert und Kosten der Siedlungswasserwirtschaft.....	16
1.12	Die Produkte der Siedlungswasserwirtschaft.....	17
1.13	Fazit.....	18
2	Systemanalyse und Massenbilanz.....	19
2.1	Einleitung.....	19
2.2	Systeme und deren Abgrenzung.....	19
2.3	Die Stoffbilanz.....	21
2.4	Ideale Reaktoren.....	23
2.4.1	Der Chargenreaktor.....	23
2.4.2	Der ideale Rührkessel.....	24
2.4.3	Der Röhrenreaktor.....	25
2.5	Anwendung der Bilanzgleichung.....	26
2.5.1	Speicherung.....	27
2.5.2	Speicherung und Transport.....	27
2.5.3	Keine Speicherung: Stationärer Zustand.....	28
2.5.4	Keine Umwandlung: Konservativer Stoff.....	29
3	Charakterisierung von Wasser.....	33
3.1	Vorbemerkungen.....	33
3.2	Summenparameter und Einzelstoffe.....	33
3.3	Filtration, gelöste und partikuläre Stoffe.....	34
3.3.1	Filtration.....	34
3.3.2	Abfiltrierbare Stoffe, TSS.....	34
3.3.3	Glühverlust der abfiltrierbaren Stoffe, VSS.....	35
3.3.4	Glührückstand der abfiltrierbaren Stoffe.....	36
3.4	Organische Stoffe.....	36
3.4.1	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB.....	36
3.4.2	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen, BSB ₅	38
3.4.3	Organisch gebundener Kohlenstoff, TOC, DOC, POC.....	39
3.5	Stickstoff.....	40
3.5.1	Formen von Stickstoff.....	40
3.5.2	Ammonium und Ammoniak.....	41
3.5.3	Organisch gebundener Stickstoff, Kjeldahlstickstoff.....	42
3.5.4	Nitrit und Nitrat.....	43

3.5.5	Totaler Stickstoff, TN, gelöster Stickstoff, GN	43
3.5.6	Elementarer Stickstoff, N ₂	43
3.6	Phosphor, TP, GP, PO ₄ -P	44
3.7	pH-Wert und pH-Puffersystem	45
3.7.1	pH-Wert	45
3.7.2	pH-Puffer	46
3.7.3	Alkalinität, Säurebindungsvermögen, SBV	47
3.8	Wasserhärte	47
3.9	Gelöster Sauerstoff	50
3.10	Physikalische Analysen	51
3.10.1	Leitfähigkeit	51
3.10.2	Trübung	51
3.10.3	Temperatur	52
3.10.4	Dichte	53
3.10.5	Viskosität, Zähigkeit	53
3.10.6	Oberflächenspannung	53
3.10.7	Geruch und Geschmack	54
3.11	Mikrobiologische und hygienische Parameter	54
3.11.1	Escherichia coli	55
3.11.2	Beurteilung von Wasser	56
3.12	Grenzwerte und typische Analysen	58
3.12.1	Flusswasser, Seewasser, Grundwasser	58
3.12.2	Niederschlag und Regenwasser	59
3.12.3	Trinkwasserzusammensetzung	60
3.12.4	Städtisches und kommunales Abwasser	60
3.12.5	Abwasser bei Regenereignissen, Mischwasser	62
3.13	Probenahme	62
4	Charakterisierung von Klärschlamm	65
4.1	Trockensubstanz TS und Trockenrückstand TR	65
4.2	Glühverlust und Glührückstand	66
4.3	Zusammensetzung von Klärschlamm	67
5	Wasserbedarf, Abwasseranfall	69
5.1	Wasserbedarf und Abwasseranfall	69
5.2	Trinkwasserbedarf	71
5.2.1	Nomenklatur	71
5.2.2	Wasserverbrauch	72
5.2.3	Jahresgang des Wasserverbrauchs	75
5.2.4	Tagesgang des Wasserverbrauchs	76
5.2.5	Prognosen des Wasserbedarfs	78
5.2.6	Planungswerte für einzelne Versorgungsgebiete	81
5.3	Löschwasser	82
5.4	Abwasseranfall	83
5.4.1	Herkunft des Abwassers	83
5.4.2	Nomenklatur	84
5.4.3	Betriebserfahrungen	87

5.4.4	Dimensionierungswerte	90
5.5	Zukünftige Entwicklung und Planung.....	92
5.6	Zusammenfassung: Typische Wassermengen.....	93
6	Schmutzstoffanfall und Temperatur	95
6.1	Herkunft der Schmutzstoffe	95
6.2	Anforderungen an die Belastungsangaben	96
6.3	Einwohnergleichwerte (EG).....	96
6.4	Jahresgang der Belastung.....	99
6.5	Tagesgang der Belastung	100
6.6	Wochengang der Belastung.....	103
6.7	Abwassertemperatur.....	104
6.7.1	Jahresgang der Temperatur.....	104
6.7.2	Tagesgang der Temperatur	105
7	Wasserversorgung.....	107
7.1	Ziele der Wasserversorgung.....	107
7.2	Mittel der Wasserversorgung	108
7.2.1	Wasserbeschaffung	110
7.2.2	Schutzzonen.....	111
7.2.3	Wasseraufbereitung	111
7.2.4	Pumpwerke	111
7.2.5	Wasserspeicherung	111
7.2.6	Wasserverteilung.....	111
7.2.7	Hausinstallationen	112
7.2.8	Überwachung.....	112
7.2.9	Administration, Finanzplanung	113
7.2.10	Planung.....	113
8	Wasserbeschaffung	115
8.1	Wasserarten und -vorkommen	115
8.2	Fassung von Quellwasser.....	117
8.3	Fassung von Grundwasser	119
8.4	Berechnungen zum vollkommenen Filterbrunnen	121
8.5	Fassung von Seewasser	125
8.6	Grundwasseranreicherung.....	126
8.7	Schutz von Wasserfassungen (Schutzzonen)	127
9	Wasseraufbereitung.....	131
9.1	Desinfektion.....	132
9.2	Langsamsandfilter.....	135
9.3	Schnellfilter.....	136
9.4	Aktivkohleadsorption.....	139
9.5	Koagulation und Flockung.....	140
9.6	Sedimentation	141
9.7	Mikrosiebe	141
9.8	Vorfiltration	142

9.9	Abtrennung von partikulären Stoffen.....	143
9.10	Entfernung von Eisen und Mangan.....	144
9.11	Entsäuerung.....	144
9.12	Enthärtung.....	145
9.13	Mehrstufige Aufbereitung: Fallbeispiel Seewasser.....	146
9.14	Aufbereitung von Flusswasser	149
9.15	Membrantechnologie	149
10	Wasserspeicherung	153
10.1	Aufgabe der Wasserspeicher (Reservoirs).....	153
10.2	Art der Wasserspeicher	153
	10.2.1 Hochbehälter.....	153
	10.2.2 Tiefbehälter.....	154
10.3	Standort und Höhenlage.....	154
10.4	Speichervolumen.....	154
	10.4.1 Löschreserve.....	156
10.5	Bilanzierung eines Trinkwasserspeichers	156
10.6	Hygienische Anforderungen	157
10.7	Gestaltung eines Trinkwasserspeichers.....	157
10.8	Spezialfälle.....	158
	10.8.1 Wasserturm.....	158
	10.8.2 Löschwasserbehälter.....	159
	10.8.3 Druckwindkessel	159
11	Wasserverteilung, Netz.....	161
11.1	Stationäre Rohrhydraulik	161
	11.1.1 Grundlagen der Rohrhydraulik	162
	11.1.2 Äquivalente Rohrleitungen.....	168
	11.1.3 Typische Fließgeschwindigkeiten	170
11.2	Pumpen	170
	11.2.1 Dimensionierung von Kreiselpumpen	170
	11.2.2 Bedarf an Förderhöhe	171
	11.2.3 Charakterisierung der Pumpenleistung.....	173
	11.2.4 Betriebspunkt einer Kreiselpumpenanlage	176
	11.2.5 Serie- und Parallelbetrieb von Pumpen	176
	11.2.6 Anordnung von Pumpen.....	177
11.3	Wasserverteilung: Netzberechnungen.....	178
	11.3.1 Elemente eines Verteilnetzes.....	178
	11.3.2 Einfache Netzberechnungen	180
	11.3.3 Elektronische Netzberechnung	183
11.4	Gestaltung von Verteilnetzen.....	184
	11.4.1 Druckhaltung	186
	11.4.2 Druckzonen.....	186
11.5	Hydraulische Lastfälle – Ziele der Bemessung.....	188
11.6	Sonderbauwerke.....	189
	11.6.1 Druckreduzierventile	189
	11.6.2 Druckbrecherschacht	189

11.6.3	Zonenpumpwerke	189
11.7	Instationäre Vorgänge: Der Druckstoss	190
11.7.1	Druckstoss nach Joukowsky	190
11.7.2	Massnahmen gegen Druckstösse	193
11.7.3	Der hydraulische Widder	195
11.8	Mess-, Steuer-, Regel- und Fernwirktechnik	196
11.9	Planung der Wasserversorgung	196
11.9.1	Planungshorizont	197
11.10	Kosten der Wasserversorgung	197
12	Siedlungsentwässerung	199
12.1	Aufgaben der Siedlungsentwässerung	199
12.2	Prozesse der Siedlungsentwässerung	200
12.3	Wie sollen Siedlungen entwässert werden?	201
12.4	Elemente der Siedlungsentwässerung	203
13	Siedlungshydrologie	205
13.1	Einführung in die Siedlungshydrologie	205
13.2	Charakterisierung von Regen	208
13.3	Intensität von Starkregen	210
13.4	Abflussbeiwert von Siedlungsgebieten	217
13.5	Maximaler Regenabfluss	219
13.5.1	Jährlichkeit des Regenerignisses	220
13.5.2	Reduzierte Fläche	221
13.5.3	Massgebende Regenintensität	221
13.5.4	Fliesszeitverfahren	222
14	Entwässerungsverfahren	227
14.1	Historische Entwicklung	227
14.2	Grundlagen	227
14.3	Mischsystem	228
14.4	Trennsystem	229
14.5	Qualifiziertes Trennsystem	231
14.6	Reale Systeme	232
14.7	Alternative Systeme	232
14.8	Flankierende Massnahmen	232
15	Mischwasserbehandlung	235
15.1	Problemstellung	235
15.2	Konzept der Mischwasserbehandlung	236
15.3	Auswirkungen der Mischwasserbehandlung	240
15.3.1	Fallbeispiel Regenüberlaufbecken	241
15.3.2	Fallbeispiel Vorklärung	242
15.3.3	Fallbeispiel Ammonium	243
16	Technik der Siedlungsentwässerung	245
16.1	Technische Elemente der Siedlungsentwässerung	245

16.1.1	Liegenschafts- und Strassenentwässerung.....	245
16.1.2	Retention und Drosselung	248
16.1.3	Kanalisationen	248
16.1.4	Kontrollschächte	253
16.1.5	Kanalvereinigungen.....	254
16.1.6	Profilwechsel	254
16.1.7	Absturzbauwerke	255
16.1.8	Düker	256
16.1.9	Entlastungsbauwerke	256
16.1.10	Drosselstrecken.....	259
16.1.11	Regenbecken.....	259
16.1.12	Siebe und Rechen	267
16.1.13	Abwasserpumpwerke.....	267
16.1.14	Drosselorgane	268
16.1.15	Einleitbauwerke	268
16.1.16	Versickerungsanlagen.....	269
16.1.17	Sanierungsleitungen	273
16.2	Hydraulische Berechnungen	274
16.2.1	Grundsätze / Lastfälle	274
16.2.2	Freispiegelleitungen	275
16.2.3	Steilleitungen	280
16.2.4	Gefällswechsel.....	281
16.3	Modelle der Siedlungsentwässerung	282
16.4	Entwurf von Kanalnetzen.....	285
16.5	Abflusssteuerung im Entwässerungsnetz	285
16.6	Messtechnik	286
16.7	Betrieb der Siedlungsentwässerung	286
17	Entwässerungsplanung.....	287
17.1	Generelles Kanalisationsprojekt (GKP)	287
17.2	Genereller Entwässerungsplan (GEP).....	288
17.3	Rollenteilung zwischen Politik und Ingenieur	289
18	Abwasserreinigung.....	291
18.1	Aufgaben der Abwasserreinigung	291
18.2	Einleitbedingungen von Kläranlagen	292
18.3	Fliessschema einer Kläranlage	296
19	Mechanische Abwasserreinigung.....	301
19.1	Mechanische Vorreinigung	301
19.1.1	Rechen	301
19.1.2	Sand- und Fettfang	302
19.2	Dimensionierungsmodell für die Sedimentation	305
19.3	Vorklärung	308
19.3.1	Aufgabe und Leistung der Vorklärung	308
19.3.2	Gestaltung und Dimensionierung des Vorklärbeckens	310
19.3.3	Emscherbrunnen	312

19.4	Chemische Abwasserreinigung	313
20	Biologische Abwasserreinigung	317
20.1	Ziel der biologischen Abwasserreinigung	317
20.2	Mikrobiologische Prozesse	318
20.2.1	Wachstum	318
20.2.2	Zerfall	320
20.2.3	Hydrolyse	320
20.2.4	Abbau organischer Stoffe, heterotrophe Organismen	321
20.2.5	Nitrifikation	321
20.2.6	Denitrifikation	321
20.2.7	Nährstoffbedarf der Mikroorganismen	321
20.3	Unterschiedliche biologische Verfahren	322
20.4	Belebtschlammverfahren	323
20.4.1	Fliessschema des Belebtschlammverfahrens	323
20.4.2	Charakterisierung von Belebtschlamm	325
20.4.3	Dimensionierung des Belebtschlammverfahrens	328
20.4.4	Dynamische Simulation von Belebungsanlagen	333
20.4.5	Gestaltung des Belebungsbeckens, Sauerstoffverbrauch	333
20.4.6	Gestaltung des Nachklärbeckens	336
20.4.7	Elimination von organischen Stoffen	338
20.4.8	Nitrifikation	342
20.4.9	Denitrifikation	349
20.4.10	Chemische Phosphorelimination	354
20.4.11	Biologische Phosphorelimination	359
20.4.12	Biologische Nährstoffelimination: Zusammenfassung	362
20.5	Tropfkörperverfahren	363
20.5.1	Bemessung von Tropfkörpern	364
20.5.2	Phosphorelimination in Tropfkörperverfahren	368
20.5.3	Nachklärung	368
20.6	Tauchkörperverfahren	369
20.7	Neuere biologische Verfahren	371
20.7.1	Biofiltration	371
20.7.2	Membran Bioreaktoren (MBR)	372
21	Physikalische Reinigungsverfahren	375
21.1	Filtration	375
21.1.1	Raumfiltration	375
21.1.2	Flächenfiltration	378
21.2	Flotation mit gelöster Luft	378
22	Umfeld und Kosten der Abwasserreinigung	381
22.1	Projektbearbeitung	381
22.2	Kosten der Abwasserreinigung	383
23	Kleinkläranlagen und alternative Konzepte	385
23.1	Anaerobe Reinigungsverfahren	385

23.2	Verfahren mit Bodenpassage	386
23.3	Abwasserteiche	387
23.4	Pflanzenanlagen	387
23.5	Varianten der konventionellen Verfahren	388
23.6	Speicher, Trockenklosetts, etc.....	388
23.7	Wahl des Verfahrens.....	388
23.8	Entsorgung des anfallenden Schlamms	389
23.9	Dezentrale Entsorgungskonzepte	389
24	Entsorgung von Klärschlamm	391
24.1	Ziel und Aufgabe der Schlammbehandlung	391
24.2	Nutzung und Endlagerung	394
24.3	Verfahrensablauf und Stoffströme	395
24.4	Klärschlammkonzepte.....	396
24.5	Zukunft der Klärschlamm Entsorgung.....	397
25	Verfahren der Schlammbehandlung	399
25.1	Eindickung	399
25.2	Hygienisierung	401
25.2.1	Aerob thermophile Hygienisierung	402
25.2.2	Thermische Hygienisierung / Pasteurisierung	404
25.3	Biologische Schlammstabilisierung	405
25.3.1	Anaerob mesophile Schlammstabilisierung / Faulung	405
25.3.2	Langzeitbelüftung.....	410
25.3.3	Aerobe mesophile Schlammstabilisierung.....	411
25.4	Stapelung	412
25.5	Entwässerung	413
25.5.1	Konditionierung.....	413
25.5.2	Dekanter	413
25.5.3	Filterpressen	413
25.5.4	Bandfilterpressen	415
25.5.5	Trockenbeete	415
25.6	Trocknung	417
25.7	Verbrennung	418
	Literatur.....	421
	Sachverzeichnis.....	427