

# Inhalt

1	Einleitung.....	1
<b>A</b>	<b>Grundlagen</b>	
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>B</b>	<b>Wasserversorgung</b>	
7	Wasserversorgung.....	107
8	Wasserbeschaffung.....	115
9	Wasseraufbereitung.....	131
10	Wasserspeicherung.....	153
11	Wasserverteilung, Netz.....	161
<b>C</b>	<b>Siedlungsentwässerung</b>	
12	Siedlungsentwässerung.....	199
13	Siedlungshydrologie.....	205
14	Entwässerungsverfahren.....	227
15	Mischwasserbehandlung.....	235
16	Technik der Siedlungsentwässerung.....	245
17	Entwässerungsplanung.....	287
<b>D</b>	<b>Abwasserreinigung</b>	
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
<b>E</b>	<b>Behandlung von Klärschlamm</b>	
24	Entsorgung von Klärschlamm.....	391
25	Verfahren der Schlammbehandlung.....	399
<b>F</b>	<b>Literatur und Sachverzeichnis</b>	
	Literatur.....	421
	Sachverzeichnis.....	427

---

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Systemanalyse und Massenbilanz.....</b>	<b>19</b>
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
<b>3</b>	<b>Charakterisierung von Wasser.....</b>	<b>33</b>
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 <sub>5</sub> .....	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 <sub>2</sub> .....	43
3.6	Phosphor, TP, GP, PO <sub>4</sub> -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
<b>4</b>	<b>Charakterisierung von Klärschlamm .....</b>	<b>65</b>
4.1	Trockensubstanz TS und Trockenrückstand TR .....	65
4.2	Glühverlust und Glührückstand .....	66
4.3	Zusammensetzung von Klärschlamm .....	67
<b>5</b>	<b>Wasserbedarf, Abwasseranfall .....</b>	<b>69</b>
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
<b>6</b>	<b>Schmutzstoffanfall und Temperatur .....</b>	<b>95</b>
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
<b>7</b>	<b>Wasserversorgung.....</b>	<b>107</b>
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
<b>8</b>	<b>Wasserbeschaffung .....</b>	<b>115</b>
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
<b>9</b>	<b>Wasseraufbereitung .....</b>	<b>131</b>
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
<b>10</b>	<b>Wasserspeicherung .....</b>	<b>153</b>
10.1	Aufgabe der Wasserspeicher (Reservoir).....	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
<b>11</b>	<b>Wasserverteilung, Netz.....</b>	<b>161</b>
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
<b>12</b>	<b>Siedlungsentwässerung .....</b>	<b>199</b>
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
<b>13</b>	<b>Siedlungshydrologie .....</b>	<b>205</b>
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 Regenereignisses .....	220
13.5.2	Reduzierte Fläche .....	221
13.5.3	Massgebende Regenintensität .....	221
13.5.4	Fliesszeitverfahren .....	222
<b>14</b>	<b>Entwässerungsverfahren .....</b>	<b>227</b>
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
<b>15</b>	<b>Mischwasserbehandlung .....</b>	<b>235</b>
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
<b>16</b>	<b>Technik der Siedlungsentwässerung .....</b>	<b>245</b>
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
<b>17</b>	<b>Entwässerungsplanung .....</b>	<b>287</b>
17.1	Generelles Kanalisationsprojekt (GKP) .....	287
17.2	Genereller Entwässerungsplan (GEP) .....	288
17.3	Rollenteilung zwischen Politik und Ingenieur .....	289
<b>18</b>	<b>Abwasserreinigung .....</b>	<b>291</b>
18.1	Aufgaben der Abwasserreinigung .....	291
18.2	Einleitbedingungen von Kläranlagen .....	292
18.3	Fliessschema einer Kläranlage .....	296
<b>19</b>	<b>Mechanische Abwasserreinigung .....</b>	<b>301</b>
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
<b>20</b>	<b>Biologische Abwasserreinigung .....</b>	<b>317</b>
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
<b>21</b>	<b>Physikalische Reinigungsverfahren.....</b>	<b>375</b>
21.1	Filtration.....	375
21.1.1	Raumfiltration.....	375
21.1.2	Flächenfiltration .....	378
21.2	Flotation mit gelöster Luft .....	378
<b>22</b>	<b>Umfeld und Kosten der Abwasserreinigung.....</b>	<b>381</b>
22.1	Projektbearbeitung .....	381
22.2	Kosten der Abwasserreinigung .....	383
<b>23</b>	<b>Kleinkläranlagen und alternative Konzepte.....</b>	<b>385</b>
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 Schlammes.....	389
23.9	Dezentrale Entsorgungskonzepte .....	389
<b>24</b>	<b>Entsorgung von Klärschlamm .....</b>	<b>391</b>
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
<b>25</b>	<b>Verfahren der Schlammbehandlung .....</b>	<b>399</b>
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
	<b>Literatur.....</b>	<b>421</b>
	<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>427</b>