

Inhaltsverzeichnis

1	Was ist Hydrologie? (H. LIEBSCHER)	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Stellung der Hydrologie in den Naturwissenschaften	3
1.3	Stellung der Hydrologie in den Ingenieurwissenschaften	4
1.4	Gliederung der Hydrologie	6
2	Geschichte der Hydrologie (G. GARBRECHT)	11
2.1	Allgemeines	11
2.2	Die vorgeschichtliche Zeit	12
2.3	Hydrologische Arbeiten im Zeitalter der Naturmythologie	13
2.3.1	Allgemeines	13
2.3.2	Mesopotamien	14
2.3.3	Ägypten	17
2.3.4	Indus-Tal	20
2.3.5	Kulturen in den Hochländern	21
2.3.6	China	22
2.4	Hydrologie in der Aera der griechischen Naturphilosophen	23
2.4.1	Allgemeines	23
2.4.2	Theorie des Wasseraufstiegs	24
2.4.3	Meteore Theorie	24
2.4.4	Erosion und Geschiebe	25
2.4.5	ARISTOTELES	26
2.4.6	Nacharistotelische Schule	27
2.4.7	Hypothesen über den Nil	27
2.4.8	HERON von Alexandria	28
2.5	Beiträge zur Hydrologie aus römischer Zeit	29
2.5.1	Allgemeines	29
2.5.2	MARCUS VITRUVIUS POLLIO	29
2.5.3	STRABON, PLINIUS SECUNDUS	30
2.5.4	LUCIUS ANNAEUS SENECA	30
2.5.5	Regenmessungen	31
2.6	Das dunkle Jahrtausend	31
2.6.1	Das Mittelalter	31

2.6.2	Der Beginn der Renaissance	32
2.7	Beobachtung und Messung	32
2.7.1	LEONARDO DA VINCI (1452–1519)	32
2.7.2	BERNARD PALISSY (etwa 1510–1590)	33
2.7.3	PIERRE PERRAULT (1611–1680)	34
2.7.4	EDMÉ MARIOTTE (1620–1684)	35
2.7.5	EDMUND HALLEY (1656–1742)	36
2.7.6	Das 18. Jahrhundert	37
2.8	Schaffung der wissenschaftlichen Grundlagen im 19. Jahrhundert	38
2.8.1	Meteorologie	38
2.8.2	Oberflächenhydrologie	39
2.8.3	Grundwasserhydrologie	39
2.9	Die Entwicklung der modernen Hydrologie im 20. Jahrhundert	40
2.9.1	Der Übergang von der empirischen zur rationalen Hydrologie	40
2.9.2	Die Entwicklung der theoretischen Hydrologie	41
3	Wasser als Stoff (A. BAUMGARTNER)	43
3.1	Vorkommen, Name, Bedeutung und Herkunft von Wasser	43
3.1.1	Vorkommen	43
3.1.2	Name des Wassers	44
3.1.3	Bedeutung des Wassers	44
3.1.4	Herkunft des Wassers auf der Erde	45
3.2	Chemische Eigenschaften	46
3.2.1	Das Molekül Wasser	46
3.2.2	Das Kontinuum Wasser	47
3.2.3	Struktur von Eis	48
3.2.4	Dissoziation, Reaktionsstufen	49
3.2.5	Wasserinhaltsstoffe	49
3.2.5.1	Lösungen	50
	Salze im Wasser 50 – Gase im Wasser 51	
3.2.5.2	Suspensionen, Emulsionen	53
3.2.6	Schweres Wasser	53
3.3	Physikalische Eigenschaften	54
3.3.1	Phasenänderungen	55
3.3.1.1	Kondensation	55
3.3.1.2	Verdampfung	55
3.3.1.3	Gefrieren	55
3.3.1.4	Unterkühltes Wasser	56
3.3.1.5	Schmelzen	56
3.3.1.6	Sublimation (= Eisverdampfung)	56
3.3.1.7	Resublimation (= Eisdeposition)	57
3.3.1.8	Sieden	57
3.3.2	Mechanische Eigenschaften	58
3.3.2.1	Spezifisches Volumen, Dichte	58
3.3.2.2	Oberflächenspannung, Kohäsion, Adhäsion, Kapillarität	60
3.3.2.3	Innere Reibung, Viskosität, Schubspannung	61
3.3.2.4	Kompressibilität, Relaxationszeit	62

3.3.2.5	Schallgeschwindigkeit	63
3.3.3	Thermodynamische Eigenschaften	63
3.3.3.1	Spezifische Wärme	63
3.3.3.2	Wärmekapazität, Enthalpie	64
3.3.3.3	Wärmeleitfähigkeit und Wärmeleitzahl	64
3.3.3.4	Thermische Eigenschaften von Eis und Schnee	64
3.3.3.5	Thermodynamische Eigenschaften von Wasserdampf	65
3.3.3.6	Dampfdruck über Wasser und Eis	65
3.3.4	Elektrische Eigenschaften	67
3.3.4.1	Elektrischer Widerstand, Leitfähigkeit	67
3.3.4.2	Dielektrizitätskonstante	67
3.3.4.3	Eindringtiefe elektromagnetischer Wellen	68
3.3.5	Optische Eigenschaften	68
3.3.5.1	Strahlungsreflexion an Wasseroberflächen	69
3.3.5.2	Refraktionsindex	69
3.3.5.3	Strahlungsabsorption, -extinktion und Transmission im Wasser	69
3.3.5.4	Lichtstreuung im Wasser, Trübungsfaktor	71
4	Wasserkreislauf (H. LIEBSCHER)	72
4.1	Der Wasserkreislauf der Erde	72
4.2	Der Prozeß des Wasserkreislaufs	72
4.3	Den Wasserkreislauf beeinflussende Maßnahmen des Menschen	76
4.3.1	Bauliche Veränderungen im Gewässerbett	76
4.3.2	Folgen der Landnutzung im Einzugsgebiet	79
4.3.3	Wasserwirtschaftliche Folgen der Urbanisierung	80
4.3.4	Indirekte Wirkungen menschlichen Handelns	82
5	Die Hydrosphäre der Erde: Wasservorkommen und Wasserumsätze (A. BAUM- GARTNER)	86
5.1	Allgemeine Probleme	86
5.2	Wasservorkommen der Erde	87
5.2.1	Globale Wassermassen und -höhen	87
5.2.2	Die Wasserreservoirs der Erde	88
5.2.2.1	Das Wasser des Weltmeeres	88
5.2.2.2	Eis und Schnee	89
5.2.2.3	Grundwasser	90
5.2.2.4	Oberflächengewässer	90
5.2.2.5	Bodenwasser	91
5.2.2.6	Wasser in der Atmosphäre	91
5.2.2.7	Wasser der Biosphäre	91
5.2.3	Süß- oder Frischwasser	91
5.2.3.1	Süßwasser als Eis und Schnee	92
5.2.3.2	Unterirdisches Süßwasser, Grundwasser	93
5.2.3.3	Bodenwasser	93
5.2.3.4	Süßwasser an der Erdoberfläche, Oberflächengewässer	93
5.2.3.5	Süßwasser in Organismen und Atmosphäre	94
5.2.3.6	Das Süßwasser der Atmosphäre	94

5.3	Hydrologisches Zirkulationssystem der Erde	94
5.4	Wasserumsätze der Erde	97
5.4.1	Der Wasserumsatz durch die Niederschläge	98
5.4.1.1	Globale Verteilung der Niederschlagshöhen	98
5.4.1.2	Gebietsmittel für das Niederschlagsdargebot	99
5.4.2	Wasserumsätze durch Verdunstung	100
5.4.2.1	Globale Verteilung der Verdunstungshöhen	101
5.4.2.2	Gebietsmittel für die Verdunstungshöhen	102
5.4.3	Wasserumsätze durch Abfluß	102
5.4.3.1	Globale Verteilung der Abflußhöhen	103
5.4.3.2	Gebietsmittel der Abflußhöhen	104
5.4.3.3	Die großen Ströme der Erde	105
5.4.3.4	Verfügbarkeit der erneuerten Wasservolumen in den Kontinenten	105
5.4.3.5	Bodenabtrag, Erosion, Sedimente	106
5.5	Wasserbilanzen	107
5.5.1	Bilanzgleichungen	107
5.5.2	Die Wasserbilanz der gesamten Erde	110
5.5.3	Wasserbilanz der Hemisphären	112
5.5.4	Wasserbilanz der Landflächen der Erde	113
5.5.5	Wasserbilanz der Meere	115
5.5.6	Regionale Wasserbilanzen	117
5.5.6.1	Europa	118
5.5.6.2	Alpen	119
5.5.6.3	Bundesrepublik Deutschland	122
5.5.7	Lokale Wasserbilanzen	123
5.6	Veränderung der Wasservorkommen durch Nutzung	129
5.7	Bedeutende Seen und Stauseen der Erde	132
6	Energiehaushalt der Erde (A. BAUMGARTNER)	133
6.1	Energiearten und deren hydrologische Bedeutung	133
6.1.1	Energiearten	133
6.1.2	Hydrologische Bedeutung der Energiearten	133
6.2	Energieübertragung durch Strahlung	135
6.2.1	Elektromagnetische Strahlung	135
6.2.2	Strahlungsemission	137
6.3	Strahlungshaushalt	140
6.3.1	Direkte Sonnenstrahlung	141
6.3.2	Einfluß der Atmosphäre auf die direkte Sonnenstrahlung und diffuse Him- melsstrahlung	142
6.3.3	Die Globalstrahlung an der Erdoberfläche	144
6.3.4	Strahlungsgeometrie, Bestrahlung	147
6.3.5	Absorption und Reflexion der Globalstrahlung	150
6.3.6	Wärmestrahlung von Erdoberfläche und Atmosphäre	154
6.3.6.1	Die Ausstrahlung der Erdoberfläche	154
6.3.6.2	Die Gegenstrahlung der Atmosphäre	155
6.3.6.3	Reflexion der Gegenstrahlung, langwelliger Strahlungssaldo, ef- fektive Ausstrahlung	156

6.3.6.4	Langwellige Strahlungsumsätze in der Atmosphäre	157
6.3.7	Nettostrahlung, Strahlungsbilanz	158
6.4	Wärmehaushalt	161
6.4.1	Wärmeströme, Wärmeumsatz	161
6.4.2	Energiebilanz	162
6.4.3	Molekulare Wärmeleitung	164
6.4.4	Wärme-, Stoff- und Temperatúraustausch an der Grenzschicht Erdoberfläche/Luft	167
6.4.4.1	Wärmeübergang an der Grenzschicht	168
6.4.4.2	Wasserdampfübergang und Strom latenter Wärme an der Grenzschicht	168
6.4.4.3	Impulsübertragung in der Grenzschicht, Wasserwellen	170
6.4.5	Wärme-, Stoff- und Impulsaustausch in der Luft über der Grenzschicht . . .	170
6.4.6	Wärmehaushalt hydrologischer Systeme	176
6.4.6.1	Globale Energiebilanz	176
6.4.6.2	Wärmetransporte durch die Meeresströme	177
6.4.6.3	Wärmehaushalt von Binnengewässern	179
6.4.6.4	Energiehaushalt von Wassereinzugsgebieten, Gletschern und Wäldern	182
6.5	Zusammenhang von Energie- und Wasserbilanz	182
6.6	Hydroklimatologische Klassifikation der Landflächen der Erde	185
6.6.1	Klassifikation nach Wasserbilanzgliedern	185
6.6.2	Hygrothermale Klassifikationen	189
6.6.3	Klimatische Wasserbilanz	192
6.6.4	Energetisch begründete Klassifikationen	194
7	Atmosphärischer Wasserdampftransport (M. HANTEL)	196
7.1	Einführung	196
7.1.1	Wasser als Spurenstoff in der Atmosphäre	196
7.1.2	Wassertransport als Teil der planetarischen Zirkulation	197
7.1.3	Wasser als Energieträger	198
7.2	Die allgemeine Erhaltungsgleichung für den Wasserdampftransport	199
7.2.1	Meßgrößen für den atmosphärischen Wassergehalt	199
7.2.2	Die Erhaltungsgleichung für die Substanz Wasser	201
7.2.3	Speicherung, Advektion und Erzeugung	204
7.2.4	Flußform und Divergenz	206
7.2.5	Transformation auf Druckkoordinaten	206
7.2.6	Einfluß der Meridiankonvergenz	208
7.3	Die Erhaltungsgleichung des turbulenten Wasserdampftransportes	209
7.3.1	Die gemittelte Erhaltungsgleichung	209
7.3.2	Fluß und Transport	211
7.3.3	Turbulenter Feuchtefluß	212
7.3.4	Das Skalenproblem	214
7.3.5	Die Rolle der Eddies	216
7.3.6	Feuchtefluß und Niederschlagsfluß	217
7.4	Der beobachtete atmosphärische Wasserhaushalt	219
7.4.1	Der atmosphärische Zweig des hydrologischen Kreislaufs	219

7.4.2	Das Niederschlagswasser in der Atmosphäre	221
7.4.3	Horizontaler Feuchtetransport	224
7.4.4	Vertikaler Feuchtetransport	226
7.4.5	Der beobachtete Wasserhaushalt	228
7.4.6	Wassertransport als Stromfunktion	232
7.4.7	Regionale Studien	232
7.5	Offene Fragen	235
8	Niederschlag (B. FEDERER & H. SCHIRMER)	237
8.1	Niederschlagsbildung	237
8.1.1	Allgemeines	237
8.1.2	Abkühlung von Luftmassen	238
8.1.3	Phasenübergänge	240
8.1.3.1	Homogene Keimbildung	241
8.1.3.2	Atmosphärische Aerosole	244
8.1.3.3	Wolkenkondensationskerne (cloud condensation nuclei, CCN) und Eisbildungskerne (ice nuclei, IN)	245
8.1.4	Wachstum von Tröpfchen und Eiskristallen	246
8.2	Anthropogene Niederschlagsbeeinflussung	249
8.2.1	Regenvermehrung	250
8.2.2	Hagelabwehr	251
8.2.3	Einfluß der Urbanisierung	252
8.3	Radarreflektivität des Niederschlages	253
8.4	Niederschlagsarten und -formen	255
8.4.1	Fallender Niederschlag	255
8.4.2	Abgesetzter Niederschlag	255
8.4.3	Abgefangener Niederschlag	256
8.5	Weitere Begriffe	257
8.5.1	Punktniederschlag, Gebietsniederschlag	257
8.5.1.1	Punktniederschlag	257
8.5.1.2	Gebietsniederschlag	258
8.5.1.3	Niederschlagsgebiet	258
8.5.2	Landregen, Schauer, Starkregen	259
8.5.3	Niederschlagsintensität	259
8.5.4	Niederschlagsdauer	261
8.5.5	Mittlere jährliche Dauer- und Höhenlinie	262
8.5.6	Niederschlagshäufigkeit, -wahrscheinlichkeit	263
8.5.7	Naß- und Trockenperioden	263
8.6	Zeitliche Variabilität des Niederschlages	264
8.6.1	Tägliche Niederschlagshöhen	265
8.6.2	Monatliche Niederschlagswerte	266
8.6.3	Jährliche Niederschlagswerte	272
8.7	Räumliche Variabilität des Niederschlages	273
9	Schnee und Eis (A. HERRMANN & M. KUHN)	278
9.1	Einführung	278
9.2	Schneehydrologische Begriffe	282

9.3	Thermische und hydraulische Eigenschaften der Schneedecke	283
9.4	Die Verdichtung des Schnees zu Gletschereis (Metamorphose)	285
9.4.1	Die Wirkung des Windes	286
9.4.2	Abbauende (isotherme) Metamorphose	286
9.4.3	Aufbauende Metamorphose bei Temperaturgefälle	287
9.4.4	Schneecarten	288
9.4.5	Verfirnung: Druck- und Regelationsmetamorphose	289
9.4.6	Übergang von Firn zu Eis	293
9.5	Schneedeckenabbau und Schneeschmelzabflüsse	293
9.5.1	Schneeverdunstung	293
9.5.2	Schneeschmelze und Schmelzabflüsse	294
9.6	Strahlungs- und Wärmehaushalt von Schnee- und Eisdecken	297
9.6.1	Strahlungsbilanz	297
9.6.2	Wärmehaushalt	298
9.6.3	Der Gradtagfaktor	300
9.7	Massenhaushalt	300
9.7.1	Grundbegriffe	300
9.7.2	Die Massenbilanz aus der Wasserbilanz	302
9.7.3	Der Massenhaushalt aus topographischen Aufnahmen	302
9.7.4	Der Massenhaushalt aus glaziologischen Aufnahmen	303
9.8	Deformation und Eisbewegung	307
9.8.1	Das Fließgesetz des Eises	308
9.8.2	Die Bewegungsgleichungen	309
9.8.3	Geschwindigkeit der Eisbewegung	310
9.9	Der stationäre Gletscher	312
9.9.1	Die Kinematik des stationären Falls	312
9.9.2	Der Aktivitätsindex des stationären Gletschers	314
9.9.3	Moränen, Verschiebungsflächen und Schichtung (Trajektorien und Isochronen)	314
9.10	Inlandeis und Eisschelfe	316
9.10.1	Morphologie der polaren Eiskörper	316
9.10.2	Das Eis als Klimaarchiv	317
10	Interzeption (H. BRECHTEL)	320
10.1	Einleitung	320
10.2	Allgemeine Definition	320
10.3	Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken	321
10.4	Einflüsse des Standortes und der Bestockung	324
10.5	Ergebnisse von Interzeptionsuntersuchungen	327
10.5.1	Interzeptionsspeicherung	327
10.5.2	Interzeptionsverdunstung	329
10.6	Anwendung von Ergebnissen der Interzeptionsforschung bei hydrologischen Analysen	331
11	Verdunstung (A. BAUMGARTNER)	334
11.1	Definition, Bedeutung	334
11.2	Physik der Verdunstung	335

11.2.1	Energetik	335
11.2.2	Saugkräfte und Widerstände	336
11.2.2.1	Luft	336
11.2.2.2	Boden	337
11.2.2.3	Pflanzen	338
11.3	Begriffe, Terminologie	339
11.4	Methoden zur Bestimmung der Verdunstung	342
11.4.1	Meßgeräte	342
11.4.1.1	Probekörper (Atmometer und Evaporometer)	343
11.4.1.2	Evaporimeter mit offenen Wasserflächen	343
11.4.1.3	Lysimeter, natürliche, feste Erdoberflächen	344
11.4.2	Verdunstung aus der Wasserbilanz	346
11.4.2.1	Verdunstung als Teil der Bodenwasserbilanz	347
11.4.2.2	Verdunstung in Einzugsgebieten, Gebietsverdunstung	348
11.4.2.3	Verdunstungskartierung zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate	351
11.4.3	Verdunstung aus dem Wasserdampftransport	353
11.4.3.1	Gradientenverfahren	353
11.4.3.2	Luftkörperaustausch	356
11.4.4	Berechnung der potentiellen Verdunstung aus der Energiebilanz	357
11.4.4.1	Vollständige Lösung	357
11.4.4.2	Näherungslösungen, Parametrisierung	360
11.4.5	Empirische Formeln	362
11.4.5.1	Strahlung und Temperatur als Bestimmungsgrößen	363
11.4.5.2	Windgeschwindigkeit und Sättigungsdefizit	365
11.5	Verdunstung spezifischer Oberflächen	368
11.5.1	Freie Wasserflächen	368
11.5.2	Verdunstung von vegetativen Bodendecken	369
11.5.2.1	Evaporation vom Erdboden	369
11.5.2.2	Transpiration der Pflanzenorgane	369
11.5.2.3	Interzeptionsverdunstung	371
11.5.2.4	Bestandsverdunstung und Wasserhaushalt von Wäldern	372
11.5.3	Verdunstung im Gebirge, Schnee- und Eisverdunstung	374
11.5.3.1	Höhengradient der Verdunstung	374
11.5.3.2	Schnee- und Eisverdunstung	375
11.6	Beeinflussung der Verdunstung	376
11.6.1	Einfluß direkter Maßnahmen	376
11.6.2	Einfluß indirekter Maßnahmen	377
11.7	Richtwerte und Quellenwerke für Verdunstungshöhen	378
12	Versickerung und Bodenfeuchte (P. BENECKE)	380
12.1	Die Rolle des Bodens als hydrologischer Speicher, Regler und Verteiler	380
12.2	Bodenmatrix, Bodengefüge, Bodenprofil	381
12.2.1	Bodenart	381
12.2.2	Bodengefüge	383
12.2.3	Bodenprofil	384
12.3	Bodenwasserpotentiale, Bodenwassercharakteristik	385

12.3.1	Potentiale	385
12.3.2	Bodenwassercharakteristik (pF-Kurve)	386
12.4	Leitfähigkeit (für Wasser)	390
12.5	Infiltration	395
12.5.1	Mikroporeninfiltration	396
12.5.2	Makroporeninfiltration	398
12.6	Sickerströmungsfälle im Gleichgewicht	400
12.7	Sickerströmungsfälle im Ungleichgewicht	403
12.8	Grundlagen für die Berechnung von Sickerwasserströmen	404
12.9	Bodenwasserhaushalt	409
12.10	Zusammenfassende Diskussion	414
13	Grundwasser (G. EINSELE)	416
13.1	Arten des Grundwassers	416
13.1.1	Wasser im gesättigten und ungesättigten Bereich	416
13.1.2	Oberflächennahes Grundwasser und tiefes Grundwasser	417
13.1.3	Freies und gespanntes Grundwasser	419
13.1.4	Fossiles Grundwasser und Formationswasser	421
13.2	Verschiedene Aquifertypen	422
13.3	Grundwasserneubildung und -anreicherung	423
13.3.1	Allgemeines, Begriffe	423
13.3.2	Räumliche und zeitliche Änderungen der Grundwasserneubildungsrate	424
13.3.3	Lokale Grundwasserneubildung	425
13.3.4	Grundwasseranreicherung	426
13.4	Speicherung von Grundwasser	426
13.4.1	Gesamter und speichernutzbarer Hohlraumanteil	426
13.4.2	Zur Materialabhängigkeit des speichernutzbaren Hohlraumanteils	427
13.4.3	Speicherkoeffizient	430
13.5	Grundwasserströmung	431
13.5.1	Theoretische Grundlagen und das DARCY'sche Gesetz	431
13.5.2	Filtergeschwindigkeit und Abstandsgeschwindigkeit, Gültigkeit des DARCY'schen Gesetzes	434
13.5.3	Permeabilität und hydraulische Leitfähigkeit von Lockergesteinen	437
13.5.4	Hydraulische Leitfähigkeit von Festgesteinen	438
13.5.5	Transmissivität und Refraktion der Grundwasserströmung	441
	13.5.5.1 Transmissivität	441
	13.5.5.2 Refraktion der Grundwasserströmung	441
13.5.6	Das hydraulische Potential	443
13.5.7	Folgerungen aus dem DARCY'schen Gesetz für die Grundwasserströmung und die Grundwasseroberfläche	446
	13.5.7.1 Idealfälle mit Kenntnis des Potential- und Fließliniennetzes einer stationären zweidimensionalen Strömung	446
	13.5.7.2 Zweidimensionale Strömung in freien Aquiferen ohne Grundwasserneubildung	448
	13.5.7.3 Stationäre Grabenanströmung mit freier Oberfläche ohne Grundwasserneubildung	449

13.5.7.4	Stationäre Grabenanströmung mit freier Oberfläche, Grundwasserneubildung und Grundwasserstands-Schwankungen	450
13.5.8	Qualitative Betrachtungen zu den Beziehungen zwischen freier Grundwasseroberfläche, Vorflutern und anderen Einflußfaktoren	452
13.5.9	Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund, Speicher-Durchflußmodelle . .	454
13.6	Spezielle Einflüsse der Gesteinsbildung und Verwitterung auf die Gebirgsdurchlässigkeit und Speicherung in verschiedenen Grundwasser-Landschaften	458
13.6.1	Vorbemerkungen	458
13.6.2	Inhomogenität, Diskontinuität und Anisotropie der Aquifere (ohne Verwitterungserscheinungen)	458
13.6.3	Oberflächennahe Verwitterung und Auflockerung	462
13.6.3.1	Grundwasser in Granit- und Gneisgebieten	462
13.6.3.2	Stark verfestigte, schlecht verwitterbare Sedimentgesteine	462
13.6.3.3	Leicht verwitterbare Ton und- Mergelsteine	463
13.6.3.4	Hanggrundwasser zerfallener und aufgelockerter Sandsteine	463
13.6.4	Karstaquifere	463
13.7	Grundwasserabfluß	466
13.7.1	Allgemeines zu verschiedenen Abflußarten	466
13.7.2	Trockenwetterabfluß und Leerlaufverhalten homogener Aquifere	467
13.7.3	Leerlaufverhalten inhomogener und mehrschichtiger Aquifere	469
13.8	Grundwasserhaushalt	471
13.9	Literaturhinweise	473
14	Abfluß (H. LIEBSCHER)	474
14.1	Allgemeine Definitionen	474
14.2	Flußsystem	476
14.2.1	Entstehung von Flußsystemen	476
14.2.2	Flußgebiet	476
14.2.3	Gewässernetz	479
14.2.4	Flußlauf	484
14.3	Abflußprozeß	487
14.3.1	Allgemein	487
14.3.2	Abflußbildung	488
14.3.3	Abflußkonzentration	490
14.3.3.1	Allgemein	490
14.3.3.2	Landoberflächenabfluß	490
14.3.3.3	Zwischenabfluß	492
14.3.3.4	Grundwasserabfluß	496
14.3.3.5	Direktabfluß und Basisabfluß	497
14.3.4	Fließvorgang im offenen Gerinne	501
14.3.4.1	Allgemein	501
14.3.4.2	Uferspeicherung	501
14.3.4.3	Kontinuitätsgleichung	505
14.3.4.4	Kraftwirkungen in Flüssigkeiten	506
14.3.4.5	Energie-Gleichung	508
14.3.4.6	Arten der Gerinneströmung	511

14.3.4.7	Allgemeines Fließgesetz	513
14.3.4.8	Fließgeschwindigkeit	517
14.3.4.9	Wasserstands-Abfluß-Beziehungen	519
14.4	Der Einfluß geographischer und klimatologischer Verhältnisse auf den Abflußvorgang	521
14.4.1	Allgemein	521
14.4.2	Einfluß der geomorphologischen Verhältnisse	521
14.4.2.1	Größe des Einzugsgebietes	521
14.4.2.2	Form des Einzugsgebietes	524
14.4.2.3	Flußdichte	525
14.4.2.4	Topographische Höhe	526
14.4.2.5	Gefällsverhältnisse	526
14.4.2.6	Landschaftsform	526
14.4.3	Geologie	528
14.4.4	Bodenarten	528
14.4.5	Einfluß der Vegetation	529
14.4.6	Einfluß des Niederschlages	531
14.4.6.1	Allgemein	531
14.4.6.2	Niederschlagshöhe	531
14.4.6.3	Einfluß der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlages	531
14.4.6.4	Niederschlagshäufigkeit	532
14.4.6.5	Niederschlagsintensität	532
14.4.6.6	Niederschlagsdauer	533
14.4.6.7	Zeitliche und flächenhafte Verteilung des Niederschlages	534
14.4.7	Einfluß von Schnee und Eis	535
14.4.8	Einfluß sonstiger Klimaelemente	536
14.5	Einfluß von Seen	539
14.6	Einfluß anthropogener Maßnahmen	539
14.6.1	Allgemein	539
14.6.2	Stauwerke, Flußbegradigungen und Eindeichungen	540
14.6.3	Speicher	541
14.6.4	Wasserüberleitungen, Wasserentnahmen und Wassereinleitungen	544
14.6.5	Wasserentnahmen aus dem Grundwasser	544
14.6.6	Urbanisierung	545
14.6.7	Landwirtschaftliche Maßnahmen	545
14.6.8	Forstliche Maßnahmen	546
14.7	Räumliche und zeitliche Variabilität des Abflusses	548
14.8	Wärmehaushalt von Fließgewässern	550
14.8.1	Allgemein	550
14.8.2	Bildung von Eis auf Fließgewässern	551
15	Seen (M. MICHLER)	554
15.1	Definitionen und Begriffe	554
15.2	Entstehung von Seen	555
15.2.1	Seebeckenbildung durch endogene Vorgänge	556
15.2.2	Seebeckenbildung durch exogene Vorgänge	557
15.3	Verbreitung von Seen	559

15.4	Form der Seebecken	560
15.5	Morphometrische Parameter	561
15.5.1	Längenmaße	561
15.5.2	Flächenmaße	563
15.5.3	Volumenmaße	565
15.6	Wasserhaushalt von Seen	565
15.7	Strahlungsverhältnisse in Seen	568
15.8	Wärmehaushalt und Temperaturverhalten von Seen	570
15.8.1	Wärmehaushalt	571
15.8.2	Temperaturverhältnisse in Seen	574
15.9	Dynamik des Seewassers	578
15.9.1	Fortschreitende Oberflächenwellen	578
15.9.2	Strömungen	579
15.9.3	Stehende Wellen („Seiches“)	581
15.9.4	Stabilität eines Sees	585
16	Küstenhydrologie (H. ROHDE)	586
16.1	Allgemeines	586
16.1.1	Allgemeine Definitionen, Abgrenzungen	586
16.1.2	Gezeiten, Wind, Oberwasser und Salzgehalt	588
16.2	Die Gewässer	591
16.2.1	Das Küstenmeer	591
16.2.2	Die Ästuare und Tideflüsse	593
16.3	Wasserstände	594
16.3.1	Allgemeines	594
16.3.2	Gezeitenbedingte Wasserstände	594
16.3.3	Wasserstände unter Einfluß des Oberwasserzuflusses	597
16.3.4	Wasserstände unter Windeinfluß	599
16.3.4.1	Allgemeines	599
16.3.4.2	Sturmfluten	600
16.3.4.3	Wellen- und Seegang	604
16.3.5	Einfluß des Eises	609
16.3.6	Langzeitige Wasserstandsänderungen	611
16.4	Fließgeschwindigkeiten und Durchflüsse	612
16.4.1	Allgemeines	612
16.4.2	Gezeitenbedingte Strömungen und Durchflüsse	613
16.4.3	Dichteströmungen, Einflüsse von Wind und Eis	619
16.5	Anthropogene Beeinflussungen	622
	Literaturverzeichnis	627
	Sachwortverzeichnis	670