

Siegfried Dyck, Gerd Peschke

Grundlagen der Hydrologie

A 079667



Verlag für Architektur
und technische Wissenschaften
Berlin

Inhaltsverzeichnis

Teil 1. Übersicht	13
1. Der Gegenstand der Hydrologie	14
2. Wassermengen, Wasserkreislauf und Wasserbilanz der Erde	16
3. Energie- und Stoffhaushalt	22
3.1. Wasserkreislauf und Wasserbeschaffenheit	22
3.2. Energiehaushalt	22
3.3. Stoffhaushalt	24
3.3.1. Allgemeines	24
3.3.2. Sauerstoff-Kohlenstoff-Haushalt	25
3.3.3. Stickstoffkreislauf	26
3.3.4. Phosphorkreislauf	26
3.3.5. Schwefelkreislauf	27
3.3.6. Stoffaustrag aus den Einzugsgebieten	27
3.3.7. Auswirkungen der Verschmutzung und Sanierungsmöglichkeiten bei den Haupttypen der Gewässer	28
3.3.8. Wasserschadstoffe	28
4. Die wichtigsten hydrologischen Prozesse und Systeme	29
4.1. Prozesse, Systeme und Modelle	29
4.2. Das Wasser im Einzugsgebiet	30
4.3. Das Wasser im System Boden—Pflanze—Atmosphäre	34
5. Zur Geschichte der Hydrologie	37
6. Bedeutung der Hydrologie für die Volkswirtschaft und einige Hauptaufgaben der Hydrologie	40
Teil 2. Erfassung und Auswertung hydrologischer Daten	47
7. Hydrometrie	48
7.1. Aufgaben und Inhalt der Hydrometrie	48
7.2. Wasserstand	48
7.2.1. Kriterien für die Standortwahl der Meßstellen	49
7.2.2. Nichtregistrierende Pegel	49
7.2.3. Mechanischer Schwimmerschreibpegel	50
7.2.4. Druckluftpegel	51
7.2.5. Fernpegel	52
7.3. Durchfluß	55
7.3.1. Der Zweck von Durchflußmessungen	55
7.3.2. Messung des Durchflusses mit Hilfe des Flügels	55
7.3.3. Auswertung der Flügelmessung	56
7.3.4. Verdünnungsmessungen	59
7.3.5. Meßwehre	60
7.3.6. Venturikanal	62
7.3.7. Ultraschallmessung	63
7.3.8. Wasserstands-Durchfluß-Beziehung	65

7.4.	Grundwasserbeobachtung	67
7.4.1.	Überblick	67
7.4.2.	Messung des Grundwasserstandes	68
7.4.3.	Quellschüttungsmessungen	70
7.4.4.	Durchfluß- und Beschaffenheitsmessungen	70
8.	Zur Auswertung hydrologischer Daten	72
8.1.	Überblick	72
8.2.	Ganglinie, Summen- und Summendifferenzlinie	72
8.3.	Primärstatistische Auswertung	75
8.3.1.	Häufigkeiten	75
8.3.2.	Summenhäufigkeiten	75
8.3.3.	Statistische Maßzahlen	79
8.3.4.	Gewässerkundliche Hauptzahlen	81
8.4.	Wahrscheinlichkeitsanalysen	83
8.4.1.	Begriffe und grundsätzliche Zusammenhänge	83
8.4.2.	Die Normalverteilung	86
8.4.3.	Aufbau und Nutzung von Wahrscheinlichkeitsnetzen	89
8.4.4.	Die Pearsonverteilung Typ III	90
8.4.5.	Das Wiederkehrintervall	91
8.5.	Korrelationsanalyse	92
8.5.1.	Der Korrelationskoeffizient	92
8.5.2.	Reihenkorrelationskoeffizient	93
Teil 3.	Die Elemente des Wasserhaushalts	95
9.	Der Niederschlag	96
9.1.	Haupttypen und Arten des Niederschlags	96
9.2.	Niederschlagsmessung	97
9.2.1.	Punktuelle Niederschlagsmessung	97
9.2.2.	Messung des Gebietsniederschlags	98
9.3.	Auswertung von Punkt- und Gebietsniederschlagsmessungen	99
9.3.1.	Punktniederschläge	99
9.3.2.	Gebietsniederschläge für Einzugsgebiete	102
9.4.	Stark- und Bemessungsniederschläge	104
9.5.	Zeitliche und räumliche Verteilung des Niederschlags	106
9.6.	Stochastische Analyse und Simulation des Niederschlags	108
9.6.1.	Aufgabe	108
9.6.2.	Modelle mit geringer zeitlicher Auflösung (Monats- und Jahreswerte)	110
9.6.3.	Modelle hoher zeitlicher Auflösung	111
9.7.	Wasserabgabe aus der Schneedecke	111
9.7.1.	Grundbegriffe und Grundlagen	111
9.7.2.	Ermittlung der Wasserabgabe aus der Schneedecke	114
10.	Verdunstung	117
10.1.	Begriffe, Prozesse und Aufgabenstellung	117
10.2.	Messung der Verdunstung	119
10.3.	Berechnung der potentiellen Evapotranspiration	125
10.3.1.	Berechnung langjähriger Mittelwerte von <i>ETP</i>	125
10.3.2.	Berechnung aktueller Einzelwerte von <i>ETP</i>	128
10.4.	Berechnung der realen Verdunstung	129
10.4.1.	Berechnung langjähriger Mittelwerte von <i>ETR</i>	129
10.4.2.	Berechnung aktueller Werte der realen Verdunstung	134
10.4.3.	Berechnung der Gebietsverdunstung aus Klimabeobachtungen	136
10.5.	Verdunstung freier Wasseroberflächen	137
10.5.1.	Allgemeines	137
10.5.2.	Bestimmung der Gewässerverdunstung nach Daten von Floßverdunstungskesseln	138
10.5.3.	Berechnung der Gewässerverdunstung nach der Wärmehaushaltmethode	139
10.5.4.	Aerodynamische Methode	139
10.5.5.	Ermittlung der Gewässerverdunstung aus Klimabeobachtungen	141

11.	Der Abfluß	142
11.1.	Allgemeine Grundlagen	142
11.2.	Stochastische Analyse von Durchflußbeobachtungsreihen	144
11.3.	Langfristige Durchflußschwankungen	146
11.4.	Mathematische Modelle zur stochastischen Simulation des Durchflußprozesses	147
11.4.1.	Grundlagen	147
11.4.2.	Grundtypen stochastischer Modelle	148
11.4.3.	Zur Identifikation des Modelltyps	150
11.5.	Innerjährliche Durchflußschwankungen	151
11.5.1.	Darstellung der innerjährlichen Durchflußschwankungen	151
11.5.2.	Modellierung des Jahresgangs	151
11.6.	Abfluß- und Durchflußänderungen infolge anthropogener Einflüsse	153
12.	Die Speicherung in den Einzugsgebieten	155
12.1.	Übersicht	155
12.2.	Wasserspeicherung in der Schneedecke	155
12.3.	Wasserspeicherung in oberirdischen Gewässern	156
12.4.	Wasserspeicherung in der ungesättigten Bodenzone	157
12.5.	Wasserspeicherung in der Grundwasserzone	157
12.6.	Größenvergleich natürlicher und künstlicher Speicherräume	157
Tell 4.	Die oberirdischen Gewässer	163
13.	Die fließenden oberirdischen Gewässer und ihre Einzugsgebiete	163
13.1.	Übersicht, Begriffe	163
13.2.	Strukturen und Eigenschaften von Flußgebieten	166
13.2.1.	Übersicht	166
13.2.2.	Flußnetze	167
13.2.3.	Flußlängen	168
13.2.4.	Einzugsgebietsflächen	169
13.2.5.	Gefällewerte	170
13.2.6.	Weitere geomorphologische Kennwerte	171
13.3.	Maßverhältnisse der Flußbetten	172
13.3.1.	Flußbettbildung	172
13.3.2.	Der Grundriß der Flüsse	172
13.3.3.	Der Längsschnitt der Flüsse	173
13.3.4.	Der Querschnitt der Flüsse und hydraulische Flußbettgeometrie	173
13.4.	Der Durchfluß der Flüsse	175
13.4.1.	Berechnung des Durchflusses in den Fließgewässern	175
13.4.2.	Durchflußkomponenten und Durchflußbereiche	175
13.4.3.	Flußtypen	176
13.5.	Stoffabtrag und Stofftransport	177
13.5.1.	Übersicht	177
13.5.2.	Bodenerosion durch Wasser	178
13.5.3.	Linienhafter Abtrag durch fließendes Wasser und Feststofftransport	180
13.5.4.	Gelöste Stoffe	186
13.6.	Wärmehaushalt der Fließgewässer	188
13.6.1.	Berechnung der Wassertemperatur in Fließgewässern	188
13.6.2.	Eisbildung in fließenden Gewässern	189
13.7.	Nutzung und Schutz der Fließgewässer	189
13.7.1.	Selbstreinigung der Fließgewässer	190
13.7.2.	Klassifizierung der Wasserbeschaffenheit	191
13.7.3.	Nutzungsmöglichkeiten und Schutzmaßnahmen	193
14.	Die stehenden oberirdischen Gewässer	196
14.1.	Übersicht	196
14.2.	Die Gestalt der Seen und ihre Veränderung	197
14.2.1.	Die wichtigsten morphometrischen Kennwerte	197
14.2.2.	Die Verlandung der Seen	200
14.3.	Hydrologische Seentypen und hydrologische Zusammensetzung des Seewassers	202

14.4.	Wärmehaushalt der Seen	206
14.4.1.	Wärmebilanz und Wärmegehalt der Seen	206
14.4.2.	Thermik der Seen	207
14.5.	Wasserbewegung und Austausch in Seen	208
14.5.1.	Charakter und biologische Bedeutung der Wasserbewegung	208
14.5.2.	Wellenbewegungen	210
14.5.3.	Strömungen in Seen	212
14.5.4.	Numerische Modellierung der Zirkulation in Seen	215
14.6.	Nutzung und Schutz der Standgewässer	216
14.6.1.	Klassifizierung der stehenden Oberflächengewässer	216
14.6.2.	Wassergüte-Bewirtschaftungsstrategien für stehende Oberflächengewässer	218
14.7.	Seerückhalt	219
Teil 5. Das unterirdische Wasser		225
15.	Das Wasser in der Aerationzone	226
15.1.	Die Stellung der Aerationzone im hydrologischen Kreislauf	226
15.2.	Korngrößenverteilung im Boden	226
15.3.	Porosität und Dichte	228
15.4.	Der Wassergehalt des Bodens	230
15.5.	Einteilung des Bodenwassers nach den wirksamen Kräften	231
15.6.	Charakteristische Werte der Wasserbindung	232
15.7.	Potentiale des Bodenwassers	234
15.8.	Die Saugspannungs-Sättigungs-Beziehung	236
16.	Das Grundwasser	238
16.1.	Grundwasser und sein vielfältiges Vorkommen	238
16.2.	Grundwasserleiter	240
16.3.	Wechselbeziehungen zwischen Aeration- und Grundwasserzone	241
16.4.	Unterirdisches Einzugsgebiet, Gefälle und Fließrichtung des Grundwassers	242
16.5.	Grundwasserstandsschwankungen und ihre Ursachen	244
16.6.	Probleme und Aufgaben der Grundwasserbewirtschaftung	246
17.	Die Dynamik des unterirdischen Wassers	247
17.1.	Überblick	247
17.2.	Die dynamische Grundgleichung	247
17.3.	Die Kontinuitätsgleichung	249
17.4.	Differentialgleichungen der Bodenwasserbewegung	250
17.5.	Lösungsmöglichkeiten	252
17.6.	Infiltration	253
17.6.1.	Qualitative Prozeßbeschreibung	253
17.6.2.	Ein anwendungsorientiertes Zweistufenmodell	255
17.6.3.	Die Nutzung empirischer Infiltrationsgleichungen	258
18.	Ermittlung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit	265
18.1.	Zur Bedeutung und Größenordnung des k -Wertes	265
18.2.	Überblick über die Bestimmungsmethoden	266
18.3.	Messungen im Labor	267
18.4.	Berechnungsmethoden	268
18.5.	Auswertung von Pumpversuchen	268
Teil 6. Niederschlag-Abfluß-Beziehungen		275
19.	Gegenstand und Ziel der Niederschlag-Abfluß-Beziehungen und Analyse der Durchflußganglinien	276
19.1.	Gegenstand und Ziel der Niederschlag-Abfluß-Beziehungen	276
19.2.	Ganglinienanalyse und -separation	279
19.2.1.	Übersicht	279
19.2.2.	Charakteristische Zeiten für die Ganglinienanalyse	279
19.2.3.	Rückgangsgesetze und Rückgangskoeffizienten	283

20.	Abflußbildung	288
20.1.	Die an der Abflußbildung beteiligten Prozesse und ihre Wichtung	288
20.2.	Vereinfachte Verfahren zur Beschreibung der Abflußbildung	289
20.3.	Nutzung von Infiltrationsmodellen	290
20.4.	Flächenvariable Abflußbildung	293
21.	Die Abflußkonzentration im Gewässernetz	298
21.1.	Übersicht	298
21.2.	Lineare Systemmodelle	298
21.3.	Berechnung von Ausgabefunktionen durch Faltungsoperation	300
21.3.1.	Faltungsintegral	300
21.3.2.	Ausflußberechnung mit Hilfe von Δt -Impulsantworten	301
21.3.3.	Ermittlung von Impulsantworten	303
21.3.3.1.	Black-Box-Methoden	304
21.3.3.2.	Modellkonzeptionen	305
21.4.	Berechnung von Ausflußfunktionen durch Differenzgleichungen	310
22.	Der Durchflußverlauf in den Wasserläufen	315
22.1.	Übersicht über Aufgaben und Modellierungsmöglichkeiten	315
22.2.	Reduzierte hydrodynamisch begründete Modelle	317
22.2.1.	Diffusionswellenansatz	317
22.2.2.	Kinematische Welle	317
22.3.	Konzeptionelle (systemhydrologische) Verfahren	320
22.3.1.	Grundgleichungen	320
22.3.2.	Einzel Speicher, Verzögerungsglied und ihre Kombinationen	320
22.3.3.	Das Muskingum-Verfahren	321
22.3.4.	Diffusionsanalogieverfahren	322
22.3.5.	Nichtlineares Stufenmodell	322
22.4.	Black-Box-Modelle	322
22.5.	Operative Wasserstands- und Durchflußvorhersagen	323
Teil 7.	Extremwerte des Durchflusses der Flüsse	327
23.	Die Hochwasser und ihre Berechnung	328
23.1.	Gefährdung des Lebensraumes durch Hochwasser	328
23.2.	Arten und Kenngrößen von Hochwassern	328
23.3.	Hochwasserschutz	330
23.4.	Konzeptionen für die Berechnung von Hochwassern	330
23.5.	Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit	332
23.5.1.	Grundlagen und Anforderungen an die Ausgangsdaten	332
23.5.2.	Die Anpassung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	333
24.	Die Niedrigwasser und ihre Berechnung	342
24.1.	Das Problem des Wassermangels	342
24.2.	Aufgabenstellung und Definition	342
24.3.	Charakteristische Niedrigwasserereignisse und ihre Ermittlung	343
24.3.1.	Die wichtigsten Kenngrößen von Niedrigwasserereignissen	343
24.3.2.	Der Niedrigwasserdurchfluß als Variable	345
24.3.2.1.	Wahl des konstanten Zeitintervalls und Jahrestrennung	345
24.3.2.2.	Definition der Variablen	345
24.3.3.	Die Niedrigwasserdauer als Variable	346
24.4.	Ermittlung von Niedrigwasser-Wahrscheinlichkeiten	347
24.4.1.	Voraussetzungen und Extrapolationsbereich	347
24.4.2.	Anpassung einer Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion	347
24.5.	Regionale Niedrigwasseranalysen	354
24.6.	Niedrigwasservorhersage	355
Teil 8.	Berechnung und Simulation des Wasserhaushalts	359
25.	Aufgabenstellung und Grundlagen für Wasserhaushaltsberechnungen	360
25.1.	Aufgabenstellung für Wasserhaushaltsberechnungen	360

25.1.1.	Die Ermittlung der Wasserressourcen	360
25.1.2.	Überwachung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen	361
25.1.3.	Anwendung von Wasserhaushaltsberechnungen für die Pflanzenproduktion	361
25.1.4.	Erforschung des Wasserkreislaufs	361
25.1.5.	Ableitung von klimatologischen und hydrologischen Regionalgliederungen	362
25.1.6.	Kontrolle von Klimamodellen	362
25.2.	Allgemeine Grundlagen und Methoden der Wasserhaushaltsberechnungen	362
25.2.1.	Maßstabsebenen und Methoden	362
25.2.2.	Zeitbezogenheit bei Wasserhaushaltsberechnungen	363
25.2.3.	Raumbezogenheit bei Wasserhaushaltsberechnungen	364
25.3.	Das Übertragungsproblem	366
25.4.	Fehlerrechnung	367
26.	Berechnung mittlerer Wasserbilanzen	368
26.1.	Mittlere Wasserbilanzen im Lockergesteinsbereich	368
26.1.1.	Berechnung mittlerer Jahresbilanzen	368
26.1.2.	Berechnung mittlerer Monatsbilanzen	369
26.2.	Mittlere Wasserbilanzen im Festgesteinsbereich	370
26.2.1.	Berechnung mittlerer Jahresbilanzen	370
26.2.2.	Berechnung mittlerer Monatsbilanzen	372
26.3.	Dokumentation von Wasserhaushaltsdaten	377
27.	Simulation des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten	378
27.1.	Aufgabenstellung und Lösungswege	378
27.2.	Berechnung aktueller Wasserbilanzen	379
27.3.	Komplexe hydrologische Einzugsgebietsmodelle	379
	Sachwörterverzeichnis	382
	Verzeichnis der häufigsten Abkürzungen, Formelzeichen und Symbole	382