

REINER KELLER

GEWÄSSER  
UND  
WASSERHAUSHALT  
DES  
FESTLANDES

II 6

INSTITUT  
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE  
DER TECHN. HOCHSCHULE

HANNOVER · HERRENHAUSER STR. 2

GEWÄSSER

*Mw. S. 22/605*

UND WASSERHAUSHALT  
DES FESTLANDES

EINE EINFÜHRUNG IN DIE HYDROGEOGRAPHIE

von

Professor Dr. rer. nat. REINER KELLER, Bonn

Mit 298 Abbildungen



HAUDE & SPENERSCHER VERLAGSBUCHHANDLUNG · BERLIN

1961

## INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT .....	III
EINLEITUNG .....	I
Die Teilgebiete der Hydrogeographie, Entwicklung und Aufgaben .....	4
<b>A. Der Kreislauf des Wassers</b> .....	9
I. Die Bilanz des Wasserkreislaufes .....	9
II. Die Bedeutung der verschiedenen hydrologischen Zonen der Meere für den Wasserkreislauf.....	15
<b>B. Die Elemente des Wasserhaushaltes</b> .....	21
I. Der Niederschlag.....	21
1. Die Niederschlagsmessung .....	22
2. Die Art und die Intensität der Niederschläge .....	24
3. Das Niederschlagsregime .....	33
4. Die Wahl des Beobachtungszeitraumes und die Klimaschwankungen .....	35
5. Die Ermittlung der Niederschlagsspenden .....	37
II. Die Verdunstung .....	38
1. Die Verdunstung von freien Wasserflächen .....	39
2. Die Verdunstung von den Landflächen.....	41
a) Die Arten der Verdunstung von den Landflächen .....	42
b) Die Messung der Verdunstung .....	46
3. Die potentielle Verdunstung .....	52
a) Die Berechnung der potentiellen Verdunstung nach <i>Thornthwaite, Halstead</i> und <i>Leeper</i> .....	54
b) Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach <i>Penman</i> .....	61
c) Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach <i>Albrecht, Haude</i> und <i>Uhlig</i> .....	62
d) Zur Berechnung der aktuellen Verdunstung aus der potentiellen Verdunstung .....	66
III. Der Abfluß .....	68
1. Die Wasserstands- und Abflußmengenmessung .....	69
a) Die unmittelbare Messung .....	70
b) Die Messung der Fließgeschwindigkeit .....	70
c) Die unmittelbare Messung der mittleren Durchfließgeschwindigkeit .....	71
d) Die Messung von Wasserstandshöhe, Wasserdruck und Wassersättigung .....	72

2. Die Auswertung und Darstellung der Wasserstandsbeobachtungen und Abflußmengenmessungen .....	73
a) Die Wasserstands- und Abflußmengendauerlinie .....	75
b) Die Hauptzahlen des Wasserstandes und Abflusses .....	79
IV. Rücklage und Aufbrauch .....	80
<b>C. Die Gewässer des Festlandes .....</b>	<b>86</b>
I. Schnee, Eis und Gletscher .....	86
1. Zur Geschichte der Gletscherforschung .....	86
2. Die Definition des Gletschers .....	88
3. Die Schneegrenzen .....	89
a) Die verschiedenen Schneegrenzarten .....	89
b) Die Ermittlung der Schneegrenzlage .....	92
c) Die Schneegrenzhöhen in verschiedenen Klimaten .....	93
4. Die Arten und Eigenschaften von Schnee und Eis .....	95
5. Das Gletschergefüge.....	99
a) Die Schichtung .....	100
b) Die Bänderung oder Blätterung .....	101
c) Die Spalten .....	102
6. Die Gletscherbewegung .....	102
a) Theorien zur Gletscherbewegung .....	102
b) Die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung.....	106
c) Die Mächtigkeit des Gletschereises .....	108
7. Die Klassifikation der Gletscher .....	112
a) Die morphologische Klassifikation .....	112
b) Die Normalkurve der Gletscher (nach <i>Ahlmann</i> ) .....	114
c) Die charakteristischen Höhenverteilungskurven verschiedener Gletschertypen .....	116
d) Die dynamische Klassifikation.....	118
e) Die geophysikalische Klassifikation .....	119
8. Die Ablation .....	120
a) Ablationsformen .....	123
b) Die Formenentwicklung des Büßerschnees .....	124
9. Die Gletscherschwankungen .....	127
II. Die Seen .....	133
1. Morphometrie der Seen .....	133
2. Die Entstehung der Seen .....	139
a) Tektonik und Vulkanismus .....	139
b) Bergstürze und Erdbeben .....	146
c) Glaziale Seen .....	148
d) Karstseen .....	160
e) Seen im Formungsbereich der Flüsse und Meeresküsten .....	164
f) Deflationswannen.....	165
g) Grundwasserseen und durch Pflanzenwachstum bedingte Seen .....	165
h) Künstliche Seen .....	165

3. Die Verbreitung der Seen .....	166
a) Die tiefsten Seen der Erde .....	168
b) Die Seen der Trockengebiete der Erde .....	169
Dauernde Seen / Die Trockenseen oder Pfannen (Bolsone, Playas) / Die Vegetation der Pfannen	
4. Die Verlandung der Seen .....	180
a) Die Bodenablagerungen .....	181
b) Die biologischen Seetypen und die Vegetation der Seen .....	182
Die Dichte des Wassers	
c) Die Pflanzengesellschaften der Seen .....	190
5. Die Wassertemperatur und -schichtung der Seen .....	196
a) Die Strahlung .....	196
b) Die Schichtung in den Seen .....	198
Temperatur des Seewassers / Die Dichte des Wassers	
c) Die Zirkulation und Stagnation .....	201
6. Die thermische Klassifikation der Seen .....	206
7. Die Klimatypen der holomiktischen Seen .....	210
8. Die Bedeutung der Zirkulation und Stagnation .....	213
9. Die Wärmebilanz der Seen .....	216
III. Das Wasser im Boden .....	220
1. Die Arten des Bodenwassers .....	220
2. Der Kapillarwasserbereich .....	222
3. Der Porengehalt der Gesteine .....	229
4. Die Bestimmung der Porosität .....	232
5. Das Grundwasser .....	233
6. Zur Hydrologie des Karstes .....	239
7. Die Quellen .....	245
8. Die Wasserbeschaffenheit .....	248
a) Der Chemismus des Grund- und Quellwassers .....	248
b) Die Mineralwässer .....	252
IV. Die Flüsse .....	253
1. Flußgebiete und Niederschlagsgebiete .....	253
a) Wasserscheiden .....	254
b) Haupt- und Nebenfluß .....	256
c) Die Flußdichte .....	257
d) Zur Methode der hydrogeographischen Gliederung .....	259
2. Die Flußtypen .....	263
a) Topographisch-morphologische Typen .....	263
b) Die klimatischen Flußtypen .....	264
c) Die hydrologischen Flußtypen und die Abflußregime .....	266
Die Regimefaktoren .....	266

3. Die Abflußregime nach <i>M. Pardé</i> .....	274
a) Einfache Abflußregime .....	279
Das glaziale Regime / Das ozeanische Regenregime / Das tropische Regenregime / Das nivale Regime des Berglandes / Das nivale Tieflandsregime .....	279
b) Die komplexen Regime 1. Grades .....	283
Der nivale Übergangstyp / Der nivo-pluviale Typ / Der pluvio-nivale Typ / Das äquatoriale Regenregime mit zwei Hochwassern .....	
c) Komplexe Regime 2. Grades .....	286
4. Die Abflußverhältnisse des La-Plata-Systems .....	291
5. Die Hochwasser .....	294
6. Die Niedrigwasser und die Schwankungsbreite der Wasserführung .....	306
7. Die Abflußvorhersage und charakteristische Abflußkurven der Flußgebiete .....	311
a) Der Abfluß nach einzelnen Niederschlägen .....	311
b) Der Unit Hydrograph, eine Standardkurve zur allgemeinen Charakterisierung des Abflußganges in einem Flußgebiet .....	312
8. Der Materialtransport der Flüsse .....	315
<b>D. Der Wasserhaushalt</b> .....	331
I. Die Wasserbilanz .....	331
1. Die allgemeine Wasserbilanzgleichung .....	332
2. Die Jahresbilanz der Flußgebiete im langjährigen Mittel .....	333
3. Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes .....	334
a) Die Gleichungen nach <i>A. Penck</i> und <i>W. Ule</i> .....	334
b) Die Grundgleichungen nach <i>H. Keller</i> .....	336
c) Der Abflußbeiwert .....	340
d) Erweiterte Wasserbilanzgleichungen .....	343
4. Die Wasserbilanz für kurze Zeiträume .....	361
a) Lysimeter .....	361
b) Die Verdunstungsmessung nach <i>W. P. Popow</i> .....	363
c) Ergebnisse der Lysimetermessungen .....	366
d) Die prozentuale Verteilung der Verdunstung auf die einzelnen Monate .....	369
5. Die Wasserbilanz eines Flußgebietes .....	374
6. Statistische Methoden zur Ermittlung der Wasserbilanz einzelner Halbjahre .....	377
7. Die Verdunstungsgleichungen für das Jahr, ermittelt nach der statistischen Methode ..	387
8. Die Änderung des Wasservorrates im Boden und die Grundwasserspiegeländerung ...	389
9. Die Niedrigwasserführung der Flüsse als Maß für die Rücklagen im Boden .....	391
a) Die Trockenwetterkurve .....	391
b) Die A <sup>u</sup> L .....	396
II. Zum Wasserhaushalt einzelner Landschaften .....	397
1. Die Wald- und Agrarlandschaft .....	398
a) Erhöht der Wald den Niederschlag? .....	399
b) Die Interzeption .....	401

c) Der Abfluß aus den Waldgebieten .....	406
Hoch- und Niedrigwasser im Waldland / Der Oberflächenabfluß und die Erosion	
d) Die Wasserbilanz von Wald und offenem Land .....	412
Die Wasserbilanz des Waldes im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Flächen /	
Die Interzeption der Sträucher und Gräser / Das Rückhaltevermögen der Moore	
2. Der Wasserverbrauch der Pflanzen .....	421
a) Die Transpiration der Einzelpflanzen .....	421
b) Der Wasserverbrauch einzelner Pflanzenbestände .....	424
c) Die Transpirationskoeffizienten .....	428
3. Der Trockenheitsgrad der Landschaften — Die Ariditätsindizes .....	431
a) Trockengrenzen und Ariditätsindizes .....	431
b) Die Dauer des ariden Zustandes .....	437
c) Der xerothermische Index nach <i>Gausson</i> und <i>Bagnouls</i> .....	438
4. Hydrologische Probleme im Hochgebirge .....	442
5. Seen und Talsperren im Wasserhaushalt .....	449
6. Siedlung und Wirtschaft im Wasserhaushalt .....	455
a) Die Wasserversorgung .....	457
b) Der Wasserbedarf des Menschen im Wasserhaushalt der Natur .....	469
Anhang .....	476
Tabellen .....	478
Literatur .....	484
Lehr- und Handbücher zur Hydrologie und ihren Randgebieten .....	484
Bibliographien .....	485
Im Text zitierte und ergänzende Literatur zu Teil- und Randgebieten der Hydrologie .....	485
Sachregister .....	503
Ortsregister .....	513