

Handbibliothek für Bauingenieure

Ein Hand- und Nachschlagebuch für Studium und Praxis

Herausgegeben von

Dr.-Ing. E. h. Robert Otzen †

weiland Präsident des Staatlichen Materialprüfungsamtes,
Geheimer Regierungsrat und Professor, Technische Hochschule Berlin

- I. Teil: Hilfswissenschaften 5 Bände
II. Teil: Eisenbahnwesen und Städtebau . . 10 Bände
III. Teil: Wasserbau 10 Bände
IV. Teil: Konstruktiver Ingenieurbau 4 Bände

I. Teil: Hilfswissenschaften.

1. Band: Mathematik. Von Prof. Dr. phil. H. E. Timerding, Braunschweig. Mit 192 Textabbildungen. VIII und 242 Seiten. 1922. Gebunden RM 5.76
2. Band: Mechanik. Von Dr.-Ing. Fritz Rabbow, Hannover. Mit 237 Textfiguren. VIII und 204 Seiten. 1922. Gebunden RM 5.76
3. Band: Maschinenkunde. Von Prof. H. Weihe †, Berlin. Zweite, völlig neu bearbeitete und ergänzte Auflage von Prof. Dipl.-Ing. J. Hanner, Berlin. Mit 634 Textabbildungen. VIII und 322 Seiten. 1935. Gebunden RM 17.50
4. Band: Vermessungskunde. Von Geh. Baurat Prof. Dr.-Ing. Martin Näbauer, München. Zweite, umgearbeitete und verbesserte Auflage. Mit 439 Textabbildungen. IX und 401 Seiten. 1932. Gebunden RM 23.50
5. Band: Betriebswissenschaft. Von Dr.-Ing. Max Mayer, Duisburg. Mit 31 Textabbildungen. IX und 219 Seiten. 1926. Gebunden RM 14.85

II. Teil: Eisenbahnwesen und Städtebau.

1. Band: Städtebau. Zweite, umgearbeitete Auflage. Von Prof. Dr.-Ing. Otto Blum, Hannover. Mit 143 Textabbildungen. VIII und 244 Seiten. 1937. Gebunden RM 22.50
2. Band: Linienführung. Von Prof. Dr.-Ing. Erich Giese, Prof. Dr.-Ing. Otto Blum und Prof. Dr.-Ing. Kurt Risch, Hannover. Mit 184 Textabbildungen. XII und 435 Seiten. 1925. Gebunden RM 18.90
3. Band: Unterbau. Von Prof. W. Hoyer, Hannover. Mit 162 Textabbildungen. VIII und 187 Seiten. 1923. Gebunden RM 7.20
4. Band: Oberbau und Gleisverbindungen. Von Dr.-Ing. Adolf Bloß, Dresden. Mit 245 Textabbildungen. VII und 174 Seiten. 1927. Gebunden RM 12.15
5. Band, Erster Teil: Personen- und Güterbahnhöfe. Von Prof. Dr.-Ing. Otto Blum, Hannover. Mit 337 Textabbildungen. VI und 273 Seiten. 1930. Gebunden RM 25.65
5. Band, Zweiter Teil: Rangierbahnhöfe. Von Prof. Dr.-Ing. A. Raab, Karlsruhe, und Reichsbahnoberrat Wagner, Essen. In Vorbereitung.
6. Band: Eisenbahn-Hochbauten. Von Regierungs- und Baurat C. Cornelius, Berlin. Mit 157 Textabbildungen. VIII und 128 Seiten. 1921. Gebunden RM 5.76

7. Band: Sicherungsanlagen im Eisenbahnbetriebe. Auf Grund gemeinsamer Vorarbeit mit Prof. Dr.-Ing. M. Oder † verfaßt von Geh. Baurat Prof. Dr.-Ing. W. Cauer, Berlin. Mit einem Anhang „Fernmeldeanlagen und Schranken“ von Regierungsbaurat Privatdozent Dr.-Ing. F. Gerstenberg, Berlin. Mit 484 Abbildungen im Text und auf 4 Tafeln. XVI und 460 Seiten. 1922. Gebunden RM 13.50
8. Band: Verkehr und Betrieb der Eisenbahnen. Von Prof. Dr.-Ing. Otto Blum, Hannover, Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. G. Jacobi, Erfurt, und Prof. Dr.-Ing. Kurt Risch, Hannover. Mit 86 Textabbildungen. XIII und 418 Seiten. 1925. Gebunden RM 18.90
9. Band: Bergbahnen. Von Prof. Dr.-Ing. O. Ammann, Karlsruhe, und Privatdozent Dr.-Ing. C. v. Gruenewaldt, Karlsruhe. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. VIII und 178 Seiten. 1930. Gebunden RM 25.20
10. Band: Der neuzeitliche Straßenbau. Aufgaben und Technik. Von Prof. Dr.-Ing. E. Neumann, Stuttgart. Zweite, umgearbeitete und verbesserte Auflage. Mit 274 Textabbildungen. XII und 474 Seiten. 1932. Gebunden RM 35.50

III. Teil: Wasserbau.

1. Band: Der Grundbau. Von Prof. O. Franzius, Hannover. Unter Benutzung einer ersten Bearbeitung von Regierungsbaumeister a. D. O. Richter, Frankfurt a. M. Mit 389 Textabbildungen. XIII und 360 Seiten. 1927. Gebunden RM 25.65
2. Band: See- und Seehafenbau. Von Reg.- und Baurat Prof. H. Proetel, Magdeburg. Mit 292 Textabbildungen. X und 221 Seiten. 1921. Gebunden RM 6.75
3. Band: Gewässerkunde und Flußbau. Von Professor Dr.-Ing. H. Wittmann, Karlsruhe. In Vorbereitung.
4. Band: Kanal- und Schleusenbau. Von Regierungs- u. Baurat Friedrich Engelhard, Oppeln. Mit 303 Textabbildungen und einer farbigen Übersichtskarte. VIII und 262 Seiten. 1921. Gebunden RM 7.65
5. Band: Wasserversorgung der Städte und Siedlungen. In Vorbereitung.
6. Band: Kanalisation und Abwasserreinigung. Von Oberbaurat a. D. Professor Wilhelm Geißler, Dresden. Mit 302 Textabbildungen. VIII und 378 Seiten. 1933. Gebunden RM 31.50
7. Band: Landwirtschaftlicher Wasserbau. Von Ministerialrat Dr.-Ing. G. Schroeder, Berlin. Mit 261 Textabbildungen. IX und 397 Seiten. 1937. Gebunden RM 36.—
8. Band: Wasserkraftanlagen. Von Prof. Dr.-Ing. Dr. techn. h. c. Adolf Ludin, Berlin. Erste Hälfte: Planung, Triebwasserleitungen und Kraftwerke. Mit 601 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. XVIII und 516 Seiten. 1934. Gebunden RM 33.50
9. Band: Wasserkraftanlagen. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Dr. techn. h. c. Adolf Ludin VDI, Berlin. Zweite Hälfte, Erster Teil: Talsperren (Staudämme und Staumauern). Bearbeitet von Prof. Dr.-Ing. Friedrich Tölke VDI, Berlin. Mit 1189 Abbildungen im Text. XII und 734 Seiten. Gebunden RM 78.—
10. Band: Wasserkraftanlagen. Von Prof. Dr.-Ing. Dr. techn. h. c. Adolf Ludin, Berlin. Zweite Hälfte, Zweiter Teil: Wehre, Hochwasserentlastungs- und Betriebsanlagen der Talsperren. In Vorbereitung.

IV. Teil: Konstruktiver Ingenieurbau.

1. Band: Statik der Tragwerke. Von Prof. Dr.-Ing. Walther Kaufmann, Hannover. Zweite, ergänzte und verbesserte Auflage. Mit 368 Textabbildungen. VIII und 322 Seiten. 1930. Gebunden RM 17.55
2. Band: Der Holzbau. Von Dr.-Ing. Th. Gesteschi, Berat. Ingenieur in Berlin. Mit 533 Textabbildungen. X und 421 Seiten. 1926. Gebunden RM 40.50
3. Band: Der Massivbau. (Stein-, Beton- und Eisenbetonbau.) Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr.-Ing. E. h. Robert Otzen, Berlin. Mit 497 Textabbildungen. XII und 492 Seiten. 1926. Gebunden RM 33.75
4. Band: Der Eisenbau. Erster Teil: Grundlagen der Konstruktion, feste Brücken. Von Prof. Martin Grüning, Hannover. Mit 360 Textabbildungen. VIII und 441 Seiten. 1929. Gebunden RM 24.—

Handbibliothek für Bauingenieure

Ein Hand- und Nachschlagebuch
für Studium und Praxis

Herausgegeben

von

Dr.-Ing. E. h. Robert Otzen †

weiland Präsident des Staatlichen Materialprüfungsamtes,
Geh. Reg.-Rat und Professor, Technische Hochschule Berlin

III. Teil. Wasserbau. 7. Band:

Landwirtschaftlicher Wasserbau

Von

G. Schroeder



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1937

Landwirtschaftlicher Wasserbau

Von

Dr.-Ing. Gerhard Schroeder

Ministerialrat im Reichs- und Preußischen Ministerium
für Ernährung und Landwirtschaft

Mit 261 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1937

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**
Copyright 1937 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1937
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1937

ISBN 978-3-662-05465-9 ISBN 978-3-662-05510-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-05510-6

Vorwort.

Das vorliegende Buch sollte ursprünglich als 2. Auflage des bekannten Kulturtechnischen Wasserbaues von Krüger erscheinen. Es ergab sich jedoch die Notwendigkeit einer völligen Neubearbeitung. Aus dem Buch von Krüger sind aber einige Ausführungen, namentlich für die Teile IV, VII und VIII, sowie ein Teil der Abbildungen entnommen.

Ich habe mich bemüht, das Wesentliche aus dem immer mehr anwachsenden Stoff des landwirtschaftlichen Wasserbaues so zu bringen, daß das Buch sowohl für den Lernenden als Lehrbuch wie auch für den Geübten als Nachschlagebuch dienen kann. Auf eine ausreichende Berücksichtigung der Boden- und Pflanzenkunde wurde Wert gelegt, da sie als Hilfswissenschaften für den landwirtschaftlichen Wasserbau unentbehrlich sind. Die Regelung der größeren Wasserläufe mußte aus Raumangel auf das Grundsätzliche beschränkt werden, zumal sie in der gleichen Handbücherei besonders behandelt worden ist. Neu hinzugekommen ist eine kurze Darstellung der Landgewinnung.

Fremdwörter wurden nach Möglichkeit vermieden. Bei der Neuartigkeit mancher deutschen Ausdrücke mußten die bisher üblichen Fremdzeichnungen bisweilen in Klammern hinzugefügt werden.

In den letzten Jahren hat sich in weiten Kreisen immer mehr die Erkenntnis durchgesetzt, daß dem landwirtschaftlichen Wasserbau im Rahmen der gesamten deutschen Wasserwirtschaft eine bevorzugte Stellung zukommt und daß er für die deutsche Landwirtschaft, damit auch für die ganze deutsche Volkswirtschaft von größter Bedeutung ist. Denn die Wasserregelung der deutschen Böden ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Steigerung unserer Ernten. Möge auch dieses Buch gerade jetzt zu Beginn des Vierjahresplanes mithelfen, das große Ziel unserer wirtschaftlichen Selbständigkeit soweit wie möglich zu erreichen.

Berlin-Schlachtensee, April 1937.

Dr. Schroeder.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Boden- und Pflanzenkunde	1
A. Der Zustand des Bodens (Physik)	1
1. Der Boden als Gemenge fester, flüssiger und gasförmiger Teile	1
2. Die festen Bodenteile	1
3. Die Bodenbenetzung und die Benetzungswärme	3
4. Stoff- und Raumgewicht	5
5. Der Porenraum	6
6. Das Grund- und Saugwasser	8
7. Das Haft- und Sickerwasser	11
8. Wasser- und Luftgehalt, Wasserhaltevermögen	12
9. Quellstoffe, Quellung und Krümelbildung	15
10. Die Durchlässigkeit des Bodens	17
11. Der Einfluß der Basen auf den Wasserhaushalt des Bodens	20
12. Der Wärmehaushalt des Bodens	22
B. Der Stoff des Bodens (Chemie)	23
1. Die wichtigsten Gesteine und ihre mineralische Zusammensetzung	23
2. Die wichtigsten Minerale und ihre stoffliche Zusammensetzung	25
3. Basen und Säuren	27
C. Das Leben im Boden (Biologie)	28
1. Allgemeines	28
2. Die Lebensbedingungen der Kleinlebewesen	29
3. Der Abbau der organischen Stoffe. Bildung von Humus und Kohlensäure	30
4. Der Stickstoffumsatz im Boden	31
5. Die Bindung des Luftstickstoffes	32
6. Die Umsetzung der Mineralstoffe	32
D. Die Bodenarten	33
1. Allgemeines. Zahlenwerte des Bodenzustandes	33
2. Die Sandböden	35
3. Die Tonböden	37
4. Die Lößböden	39
5. Die Lehm Böden	39
6. Die Kalk- und Mergelböden	41
7. Die Humusböden	41
8. Schädliche Bodenarten	47
E. Bodenuntersuchungen	49
1. Allgemeines	49
2. Die Beurteilung des Bodens im Felde	51
3. Die Untersuchung des Bodenzustandes in der Versuchsanstalt	53
F. Die Wachstumsbedingungen der Pflanze	54
1. Das Licht	54
2. Die Wärme	55
3. Das Wasser	56
4. Die Luft	66
5. Die Nährstoffe	68
G. Leitpflanzen	69
II. Gewässer- und Wetterkunde. Bewegung des Wassers	81
A. Die Niederschläge	81
1. Die Entstehung der Niederschläge	81
2. Die Messung der Niederschläge	83
3. Größe und Verteilung der Niederschläge	85

	Seite
B. Die Verdunstung	93
1. Die Verdunstungsbedingungen	93
2. Die Verdunstungsmessungen	94
3. Größe und Verteilung der Verdunstung	95
C. Das Grundwasser	97
1. Grundwasserbeobachtungen	98
2. Die Grundwasserstände	99
3. Die Bewegung des Grundwassers. Pumpversuche.	100
4. Die Beschaffenheit des Grundwassers	106
D. Der oberirdische Abfluß	107
1. Wasserstände und Abflußmengen	107
2. Abflußmessungen	115
3. Abflußberechnungen	118
4. Die Größe des Abflusses	129
5. Die Sinkstoffe	135
E. Die Winde	136
1. Messung der Windgeschwindigkeiten.	136
2. Die Stärke der Winde	137
III. Die Entwässerung durch kleine Wasserläufe (Bäche und Gräben)	138
A. Die schädliche Bodennässe	138
1. Entstehung und Umfang der schädlichen Bodennässe	138
2. Anzeichen für schädliche Nässe	140
3. Die Nachteile zu großer Bodennässe	140
B. Die Ziele der Entwässerung	142
1. Die Senkung des Grundwasserstandes	142
2. Die Beseitigung von Überschwemmungen	144
C. Die Wasserläufe	144
1. Allgemeines	144
2. Instandsetzung vorhandener Wasserläufe.	150
3. Herstellung neuer Gräben	151
D. Bauwerke	153
E. Die Bearbeitung der Entwürfe	158
1. Vorarbeiten	158
2. Die Form der Entwürfe	160
F. Die Unterhaltung	161
IV. Die Regelung der größeren Wasserläufe. Flußdeiche	163
A. Die Regelung der größeren Wasserläufe	163
1. Allgemeines	163
2. Vorarbeiten	166
3. Die fachlichen Maßnahmen.	168
a) Allgemeines S. 168. — b) Die Linienführung S. 170. — c) Die Quer- und Längsschnitte S. 172. — d) Abflußberechnungen S. 176.	
4. Die Unterhaltung	178
B. Die Flußdeiche	179
1. Allgemeines	179
2. Die Wirkung der Eindeichungen	179
3. Linienführung und Querschnitt der Deiche	181
4. Bauwerke	182
5. Die Ausführung	183
6. Unterhaltung und Deichverteidigung	184
V. Die Dränung	186
A. Allgemeines	186
1. Die Wirkung der Dränungen	186
2. Die Bestandteile der Dränungen	189
a) Die Dränarten S. 189. — b) Die übrigen Bauteile S. 194.	
3. Vorflutanlagen	197
4. Die Berechnung der Rohrweiten	198
5. Kosten, Mehrerträge und Wirtschaftlichkeit	202
B. Die Dränung der Mineralböden	205
1. Feldaufnahmen	205
2. Umfang der Dränung	207
3. Die Dränabteilungen	208

	Seite
4. Die Sammler	209
5. Die Sauger	210
6. Die Form der Entwürfe	216
7. Bauausführung	218
8. Überwindung besonderer Schwierigkeiten	223
a) Triebtsand S. 223. — b) Eisenoocker S. 224. — c) Verwachsungen S. 224. — d) Verschiedenes S. 225.	
9. Die Dränung der Marschböden	226
10. Die Maulwurfdränung	227
11. Unterhaltung	229
C. Die Dränung der Moorböden	230
1. Verschiedenes	230
2. Gefälle, Tiefe und Abstand der Dräne	232
3. Bauausführung	233
VI. Schöpfwerke	234
A. Die Anlage im allgemeinen	234
B. Die Schöpfwerkmaschinen	238
1. Kraftmaschinen	238
2. Wasserhebemaschinen	243
3. Gesamtanordnung	252
C. Die Schöpfwerkgebäude und Nebenanlagen	255
1. Die Bauweisen	255
2. Das Maschinenhaus	257
3. Nebenanlagen	259
D. Die Wahl der Schöpfwerkmaschinen	263
1. Allgemeine Gesichtspunkte	263
2. Die Leistung der Maschinen	267
E. Die Jahreskosten	275
F. Der Schöpfwerkbetrieb	278
VII. Die Bodenbewässerung	280
A. Allgemeines	280
B. Die Wirkung der Bewässerung	281
C. Die Beschaffenheit des Wassers	283
1. Allgemeine Gesichtspunkte	283
2. Der Düngwert des Wassers	284
a) Fluß- und Seewasser S. 284. — b) Grund- und Quellwasser S. 285. — c) Abwasser S. 285.	
D. Die Wassergewinnung	286
1. Die Wasserentnahme	287
2. Der Hauptzuleiter	289
E. Die Zu- und Ableiter	290
1. Die Zuleiter	291
2. Die Ableiter	292
F. Die Wasserverluste	292
1. Verluste in den Zuleitern	292
2. Verluste auf der Bewässerungsfläche	294
G. Die Stau- und Rieselfverfahren	297
1. Der oberirdische Einstau	297
a) Der Grabeneinstau S. 297. — b) Die Furchenbewässerung S. 297.	
2. Die Überstauung	299
a) Die einfache Überstauung S. 299. — b) Die Stauberieselung S. 302. — c) Das Fluten eingedeichter Niederungen S. 304.	
3. Die Rieselung	304
a) Die wilde Rieselung S. 304. — b) Der natürliche Hangbau S. 306. — c) Der künstliche Hangbau S. 309. — d) Der Rückenbau S. 310.	
4. Der unterirdische Einstau (Dränbewässerung)	312
5. Bewässerungszeiten und Bewässerungsbetrieb	314
H. Die künstliche Beregnung	318
1. Die Bestandteile einer Regenanlage	318
2. Der Betrieb	321
3. Die Wirkung der künstlichen Beregnung	323

	Seite
4. Wasserbedarf und Wasserbeschaffung	325
5. Berechnungen	326
6. Vorzüge, Kosten und Mehrerträge	329
I. Die Bewässerung mit Abwasser	333
1. Allgemeines	333
2. Die Bewässerungsverfahren	337
a) Die Furchenbewässerung S. 337. — b) Die Überstauung S. 337. —	
c) Die Rieselung S. 339. — d) Die Beregnung S. 339. — e) Die Drän-	
bewässerung S. 340.	
3. Betrieb und Verteilung des Abwassers	340
4. Wirtschaftlicher Erfolg	345
VIII. Die Moorerschließung	348
A. Die Entwässerung der Moore	348
1. Allgemeines	348
2. Die Beschaffung der Vorflut	349
3. Die Gräben	351
B. Die Erschließung der Niederungsmoore	354
1. Allgemeines	354
2. Die Ackerwirtschaft	356
a) Das Schwarzverfahren S. 356. — b) Das Deckverfahren S. 357. —	
c) Das Mischverfahren S. 359.	
3. Die Grünlandwirtschaft	359
a) Das gewöhnliche Grünlandverfahren S. 359. — b) Das Deckverfahren	
S. 363.	
C. Die Erschließung der Hochmoore	363
1. Allgemeines	363
a) Die Verfehnung S. 363. — b) Das deutsche Hochmoorverfahren	
S. 364.	
2. Die Ackerwirtschaft	366
a) Das Brennverfahren S. 366. — b) Das deutsche Hochmoorverfahren	
S. 367.	
3. Die Grünlandwirtschaft (als deutsches Hochmoorverfahren)	368
D. Bauten im Moor	370
1. Wegebauten	370
2. Brücken und Durchlässe	372
3. Hausbauten	373
IX. Die Landgewinnung	375
A. Die gestaltenden Kräfte	376
B. Die fachlichen Maßnahmen	378
1. Allgemeine Gesichtspunkte	378
a) Die Landerhaltung S. 378. — b) Die Landgewinnung S. 379. —	
c) Die Nutzung des Neulandes S. 380.	
2. Fachliche Einzelheiten	381
a) Deiche S. 381. — b) Dämme S. 383. — c) Uferschutzwerke S. 384.	
Schriftenverzeichnis	385
Sachverzeichnis	391

Berichtigung zu Seite 19.

Die beiden Gleichungen müssen lauten:

$$Q = v' \cdot F \cdot \frac{p''}{100} = k \cdot J \cdot F.$$

$$k = \frac{v' \cdot p''}{100 \cdot J}. \quad (21)$$

Handbibliothek III. 7.

I. Boden- und Pflanzenkunde.

A. Der Zustand des Bodens (Physik).

1. Der Boden als Gemenge fester, flüssiger und gasförmiger Teile.

Der Standort der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist der gewachsene Boden. Er besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Teilen. Die festen Teile sind entweder mineralischer oder organischer Art (Humusstoffe), als flüssiger Teil erscheint das Wasser und als gasförmiger in der Hauptsache die Luft und die Kohlensäure.

Diese drei Zustände des Bodens sind nun nicht durch scharfe Grenzflächen voneinander getrennt. „Was bei etwa millionenfacher Vergrößerung dem Auge des Beschauers sich bieten würde, würde nicht mehr ein Gemisch von festen Teilchen, Wasser und Luft sein, sondern ein völlig unentwirrbares Durcheinander in rasender Bewegung umherwirbelnder Massenpunkte im leeren Raum, in welchem jede Möglichkeit, fest, flüssig und gasförmig zu unterscheiden, zunächst verschwunden wäre“ (212, 21)¹. So müssen wir uns vorstellen, daß die einzelnen Zustände der Masse nicht plötzlich aufeinanderfolgen, daß vielmehr Übergänge vorhanden sind und daß ständig ein Austausch von Molekeln zwischen den einzelnen Zuständen stattfindet. Diese Betrachtungsweise läßt gleichzeitig erkennen, daß eine scharfe Trennung zwischen zuständlichen und stofflichen Vorgängen keineswegs immer durchzuführen ist.

Trotz dieser Verhältnisse arbeitet die Bodenkunde zum Teil mit grobsinnlichen Begriffen, die zwar mit der Zusammensetzung des Stoffes aus Molekeln nicht immer im Einklang stehen, aber doch in vielen Fällen für die Nutzanwendung brauchbare Ergebnisse geliefert haben. Es gibt Böden, bei denen eine solche grobsinnliche Betrachtungsweise auch ohne weiteres verständlich ist, wie beispielsweise die Sandböden mit ihren dem bloßen Auge als scharf begrenzte Teilchen erkennbaren Quarzkörnern. Es gibt aber auch bodenkundliche Fragen, deren Lösung ohne Beachtung der vorstehend dargelegten Verhältnisse nicht möglich ist.

2. Die festen Bodenteile.

Die festen Teile des Bodens haben eine sehr verschiedene Form und Größe. Von der Kugel bis zum flachen Scheibchen sind alle Zwischenstufen vertreten. Regelmäßige und unregelmäßige Formen wechseln miteinander ab. Das einzelne Bodenteilchen kann eine mehr oder weniger abgerundete Form besitzen oder zahlreiche Ecken und Kanten aufweisen. Das alles gilt in gleicher Weise für große und winzig kleine Bodenteile.

Wenn man trotz der verschiedenen Formen der Bodenkörner von bestimmten Korngrößen spricht, so wird diese Bezeichnung aus der Bestimmungsart der Korngrößen verständlich. Wenn z. B. Boden durch das 2 mm-Sieb hindurchgeht,

¹ Die zwischen runden Klammern stehenden, schräg gedruckten Zahlen beziehen sich auf das Schriftenverzeichnis am Schluß des Buches. Es bedeutet also (212, 21) die Nr. 212 des Schriftenverzeichnisses und S. 21 der dort angegebenen Quelle.

sagt man, seine Korngröße sei kleiner als 2 mm. Nach dem Vorschlag von Atterberg teilt man die Böden nach ihren Korngrößen in folgende Gruppen:

- a) Grobboden. Kies, Größ 20 bis 2 mm
- b) Feinboden. Grobsand 2 bis 0,2 mm
- Feinsand (Körner noch erkenn- oder fühlbar) 0,2 bis 0,02 mm
- Staubsand (Schluff) 0,02 bis 0,002 mm
- Rohton (Kolloidton) < 0,002 mm

Der Gehalt eines Bodens an Teilchen < 0,002 mm wird auch als sein Tongehalt schlechthin (absoluter Tongehalt) bezeichnet ohne Rücksicht darauf, daß diese kleinen Teilchen nicht immer restlos aus dem Mineral Ton bestehen. Die feinsten, sog. quellstofflichen (kolloidalen) Bodenteilchen sind bodenkundlich von besonderer Bedeutung (S. 15).

Für das zuständige (physikalische) Verhalten des Bodens ist auch die stoffliche Beschaffenheit der festen Bodenteilchen nicht gleichgültig. Sie kann sogar von wesentlichem Einfluß auf den Wasserhaushalt des Bodens sein (S. 20).

Betrachtet man die Quarkörner eines reinen Sandbodens, so leuchtet ein, daß jedes einzelne Bodenteilchen eine Oberfläche besitzen muß und daß man für eine bestimmte Bodenmenge die Summe aller Teilchenoberflächen bilden kann. Man nennt diese Summe die Bodenoberfläche der betreffenden

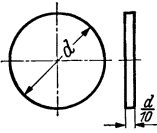


Abb. 1.
Scheibenförmiges
Bodenteilchen.

Bodenmenge, genauer auch wohl die äußere Bodenoberfläche zur Unterscheidung von der inneren. Man muß sich nämlich die mineralischen Bodenteilchen als von zahlreichen winzigen Hohlräumen durchsetzte Schwämmchen vorstellen, als porige Körper, deren Porenwänden man als innere Oberfläche bezeichnet hat. Auch die Molekeln selbst sind ja stark porig. Die im Boden befindlichen Pflanzenreste enthalten geschlossene Gefäßzellen. Sieht man die äußere Bodenoberfläche als Begrenzung des für die Wasser- und Luftbewegung im Boden zur Verfügung stehenden Porenraumes an (S. 6), so empfiehlt es sich, die inneren Wänden der Gefäßzellen nicht der äußeren Bodenoberfläche zuzurechnen. Die innere Bodenoberfläche ist ihrer Größe nach zahlenmäßig auch nicht annähernd erfassbar. Aber auch die äußere Bodenoberfläche, die bodenkundlich von Bedeutung ist, läßt sich schon deshalb oft nicht berechnen, weil sie wesentlich von der Form der einzelnen Bodenteilchen abhängig und diese in vielen Fällen nicht feststellbar ist. Die Angaben über die wirkliche Bodenoberfläche eines Bodens sind daher in der Regel höchstens als rohe Schätzwerte anzusehen und sogar als solche noch recht unsicher. Wenn die Bodenteilchen zweier Böden dasselbe Stoffgewicht haben und in dem einen Fall Kugeln, im anderen kreisrunde flache Scheibchen sind (Abb. 1), also dieselbe Korngröße besitzen, so hat der aus Scheibchen bestehende Boden je 100 g trockener Bodenmasse eine 4mal so große Bodenoberfläche wie der andere. Obschon solche Grenzfälle in der Natur nicht vorkommen, kennzeichnet dieses Beispiel trotzdem die Schwierigkeit der Frage.

Wenn nun auch eine einigermaßen sichere Berechnung der wirklichen Bodenoberfläche in den meisten Fällen nicht möglich ist, so läßt sich doch das Verhältnis der Bodenoberflächen verschiedener Böden mit größerer Sicherheit feststellen, und dieses Verhältnis gestattet wertvolle bodenkundliche Schlüsse. Die Bodenoberfläche ist nämlich im allgemeinen um so größer, je kleiner die Korngröße der festen Bodenteilchen ist. Denkt man sich zwei gleich große Würfel einmal mit 8 und das andere Mal mit 125 Kugeln in gleicher Lagerung gefüllt (Abb. 2), so läßt sich leicht nachweisen, daß zwar in beiden Fällen der Rauminhalt aller Kugeln der gleiche ist, daß aber die 125 kleineren Kugeln eine 2,5mal so große Gesamtoberfläche besitzen wie die 8 größeren.

Die Bedeutung der Bodenoberfläche besteht ferner darin, daß alle im Boden stattfindenden zuständige und stoffliche Veränderungen nur an den Grenz-

flächen durch die dort auftretenden Grenzflächenkräfte ausgelöst werden. Diese entstehen dadurch, daß sich im Inneren eines festen Körpers oder einer Flüssigkeit die vorhandenen Kräfte der Molekeln in gegenseitiger Anziehung absättigen, während an der Oberfläche Anziehungskräfte freibleiben, die man Grenzflächenkräfte (freie Oberflächenenergie) nennt. Je größer nun die Bodenoberfläche ist, um so größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, daß solche Grenzflächenkräfte zur Wirkung kommen. Es ist die Auffassung vertreten worden, daß die Größe der Bodenoberfläche ein unmittelbarer Maßstab für das Auftreten der wichtigen Grenzflächenkräfte sei und daß daher der landwirtschaftliche Wert eines Bodens im unmittelbaren Verhältnis zur Größe seiner Oberfläche stehe. Diese Auffassung überschätzt jedoch die Bedeutung der Bodenoberfläche, deren Flächeneinheit sehr verschiedene viele wirksame Punkte enthalten kann, an denen die Grenzflächenkräfte wirksam sind (212, 26).

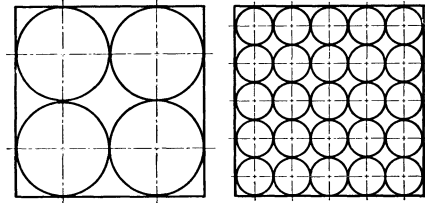


Abb. 2. Raumfüllung durch Bodenkörner.

Zunker hat den Begriff der Vergleichsbodenoberfläche (spezifischen) eingeführt (241). Sie ist diejenige Zahl, die angibt, wievielfach so groß die Oberfläche aller auf eine bestimmte Gewichtsmenge bezogener Bodenteilchen ist wie die Oberfläche derselben Gewichtsmenge eines Bodens, dessen Teilchen die gleiche Form und das gleiche Stoffgewicht wie jene Bodenteilchen, aber die Korngröße 1 cm haben (nach der ursprünglichen Begriffbestimmung 1 mm). Auch die Vergleichsbodenoberfläche gestattet nicht die Berechnung der wirklichen (S. 35).

3. Die Bodenbenetzung und die Benetzungswärme.

Die an der Oberfläche der festen Bodenteilchen wirkenden Anziehungskräfte der Molekeln haben zur Folge, daß sich die Bodenteilchen mit Wasser benetzen, dem Benetzungswasser (hygroskopischen Wasser). Seine Menge ist von mancherlei Umständen abhängig. So ist die Wärme des Wassers von Einfluß. Ferner nimmt die Dicke der Wasserschicht im allgemeinen mit der Korngröße ab. Natriumgehalt der Bodenteilchen wirkt stark wasseranziehend, Kalzium meistens entgegengesetzt (S. 21).

Die Kräfte, durch die das Benetzungswasser von den festen Bodenteilchen angezogen wird, sind außerordentlich groß (z. B. 40000 kg/cm²). Die Folge ist eine Verdichtung des Wassers, die unmittelbar an der Oberfläche der Bodenteilchen am größten ist und nach außen hin kleiner wird. Ist eine d cm starke unverdichtete Wasserschicht auf 0,9 d verdichtet, so nennt man das Verhältnis der Dickenabnahme zur ursprünglichen Dicke (0,1 $d : d = 0,1$) die Verdichtung des Wassers (ε). Der Wert ε kann für kieselsäurereiche Mineralböden mittels der Gl. (4) und (5) berechnet werden, sobald die Bodenbenetzung w_h (s. unten) und das scheinbare Stoffgewicht s (S. 5) ermittelt sind. Wenn man einen völlig wasserfreien Boden allmählich mit Wasser benetzt, so wird dieses Wasser gebunden und verdichtet, gleichzeitig wird Wärme frei, die sog. Benetzungswärme. Sobald alles Wasser, das der Boden durch Benetzung festhalten kann, gebunden ist, hört auch die Wärmeentwicklung auf. Man nennt diejenige Wassermenge in Gewichtshundertteilen des trockenen Bodens, die der Boden enthält, wenn bei seiner weiteren Benetzung keine Wärme mehr frei wird, seine Bodenbenetzung (Hygroskopizität, Hygroskopizitätsziffer, w_h).

Ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Bodenbenetzung ist von Rodewald-Mitscherlich angegeben. Es beruht darauf, daß man in einem luftverdünnten Gefäß über 10%iger Schwefelsäure eine Benetzung des trockenen Bodens herbeiführt und das Gewicht des Bodens einschließlich des

Benetzungswassers feststellt; es möge in einem Beispiel 1487 g betragen. Als dann wird das Benetzungswasser durch Trocknen des Bodens wieder ausgetrieben, und das Gewicht des trockenen Bodens ermittelt (z. B. 1423 g), so daß $1487 - 1423 = 64$ g Benetzungswasser von 1423 g trockenem Boden gebunden sind, d. s. 4,50%. Daher ist $w_h = 4,50$.

Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Trocknung keineswegs alles Benetzungswasser austreibt und daß auch die Art des Trocknungsverfahrens von Einfluß auf das Ergebnis ist. Man wird also, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, stets das gleiche Verfahren anwenden müssen.

Die Bodenbenetzung spielt in der Bodenkunde zur Kennzeichnung der Böden eine große Rolle. Je feinkörniger ein Boden ist, um so größer ist im allgemeinen seine Bodenbenetzung. Sie ist auch ein Hilfsmittel, um die Menge des für die Pflanzen nicht aufnehmbaren Bodenwassers zu ermitteln (S. 59). Abgesehen von der Bodenkrume sind unsere Böden fast stets mit Benetzungswasser gesättigt, weil die Bodenluft in der Regel eine anteilige Feuchtigkeit (S. 82) von 100% besitzt.

Die Benetzungswärme wird mit einem besonderen Wärmemesser (Kalorimeter) gemessen. Die genauesten Ergebnisse liefert der Eis-Wärmemesser, die Messungen mit ihm sind jedoch sehr umständlich. Weniger genau, aber wesentlich schneller arbeitet der Wasser-Wärmemesser. Man drückt die Benetzungswärme in der Regel in Wärmeeinheiten (cal) je g trockenen Bodens aus. Auch die Ermittlung der Benetzungswärme ist ebenso wie die der Bodenbenetzung mit mancherlei Fehlerquellen behaftet, und die Anwendung verschiedener Untersuchungsverfahren führt zu stark voneinander abweichenden Werten.

Man hat geglaubt, aus der Bodenbenetzung oder Benetzungswärme die Bodenoberfläche berechnen zu können. Man müßte zu diesem Zweck zunächst die Annahme machen, daß das Benetzungswasser nur die äußere Oberfläche der Bodenteilchen benetzt und nicht auch in deren Poren eindringt; letzteres ist aber durchaus möglich. Man müßte ferner wissen, wie dick die benetzende Wasserschicht bei den verschiedenen Korngrößen ist. Schließlich bleibt auch noch die Frage völlig offen, ob nicht die Dicke der Wasserschicht an den verschiedenen Stellen eines sehr unregelmäßig geformten Bodenteilchens eine sehr verschiedene ist. Unter diesen Umständen ist die Berechnung der Bodenoberfläche aus der Bodenbenetzung oder Benetzungswärme ein aussichtsloses Unternehmen. Es ist aber auch gar nicht nötig, die Bodenbenetzung in Bodenoberfläche umzurechnen, da sie bereits an sich wichtige Schlüsse bodenkundlicher Art gestattet.

Die nach dem Verfahren von Mitscherlich berechnete Bodenbenetzung liegt von den Sanden bis zu den schweren Tönen etwa zwischen den Grenzwerten 0,1 und 20%. Bodenbenetzung (w_h) und Benetzungswärme (w_b) stehen, wie nicht anders zu erwarten ist, in Beziehung zueinander, die jedoch noch nicht ausreichend geklärt ist. So ist im Mittel nach

Zunker-Janert	$w_b = 0,50 w_h$ (0,34 bis 0,68 w_h)	}	cal/g.
Mirtsch	$w_b = 0,80 w_h$ (0,60 bis 0,92 w_h)		
Vageler-Alten	$w_b = 0,65 w_h$		

Die Unterschiede sind zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Versuchsanordnungen nicht völlig gleich gewesen sind. Im übrigen ist es auch noch zweifelhaft, ob die Beziehung überhaupt die einfache Formel $w_b = k \cdot w_h$ ergibt.

Als durchschnittliche Beziehung zwischen Bodenbenetzung und Vergleichsflächenoberfläche (U) gibt Zunker die Gleichung

$$U = 1600 w_h (1 + 0,0016 \cdot w_h^3). \quad (1)$$

Sie gilt nach Zunker für humusfreie Mineralböden mit mittlerem Alkaligehalt und $w_h \geq 1$.

Die Bodenbenetzung w_h stellt Gewichthundertteile dar. Bezeichnet man mit w_{hr} den Raum, den das Benetzungswasser einnimmt, in Raumhundertteilen

des gewachsenen Bodens, so läßt sich leicht nachweisen, daß

$$w_{hr} = w_h \cdot r (1 - \varepsilon) \quad (2)$$

ist. Wegen der Bedeutung von r siehe unten.

4. Stoff- und Raumgewicht.

Das Stoffgewicht (spezifisches Gewicht, s_0) eines Bodens gibt an, wievielmals so schwer die trockenen Bodenteile sind wie ein gleicher Raum Wasser vom Stoffgewicht 1. Bei der Ermittlung des Wertes s_0 ist nun aber die Feststellung der durch die Bodenteilchen verdrängten Wassermenge in cm^3 (s. unten) nicht ohne weiteres möglich, weil 1 cm^3 Benetzungswasser mehr als 1 g wiegt. Man pflegt daher zunächst von der vereinfachenden Annahme auszugehen, daß die Verdichtung (ε) des Benetzungswassers gleich Null sei, und nennt das auf Grund dieser Voraussetzung berechnete Stoffgewicht des Bodens sein scheinbares Stoffgewicht (s). Für die vorkommenden Rechnungen kann man fast stets unbedenklich $s = s_0$ setzen. Im folgenden sollen jedoch die rechnerisch genaueren Begriffe verwendet werden, um das Grundsätzliche nicht zu verwischen.

Das Trockenraumgewicht (Volumengewicht, Litergewicht, r) gibt an, wievielmals so schwer der völlig trockene gewachsene Boden (Bodenteile und Hohlräume) ist, wie ein gleicher Raum Wasser vom Stoffgewicht 1.

Die vorstehenden Gewichte können z. B. wie folgt ermittelt werden: Man entnimmt mittels einer Stechröhre von 1000 cm^3 Inhalt eine Probe des zu untersuchenden Bodens in gewachsenem Zustande, sättigt sie mit Wasser und wiegt sie unter Wasser. Sie möge dabei nach Abzug des Unterwassergewichtes der Stechröhre und des Drahtes, an dem diese aufgehängt ist, 902 g wiegen, also über Wasser wegen des fortfallenden Auftriebes 1902 g. Nach dem Trocknen bei 105° C wird das Gewicht der Bodenprobe zu 1423 g ermittelt. Sie enthielt sonach $1902 - 1423 = 479$ g Wasser und bei der vereinfachenden Annahme, daß 1 cm^3 Wasser 1 g wiegt, 479 cm^3 . Daher nehmen 1423 g trockenen Bodens einen Raum von 521 cm^3 ein, so daß

$$s = \frac{1423}{521} = 2,731$$

ist. Das Raumgewicht berechnet sich zu

$$r = \frac{1423}{1000} = 1,423.$$

Gefäße, mit denen man durch Ermittlung der Wasserverdrängung der festen Bodenteilchen den Wert s berechnet, werden Dichtemesser (Pyknometer) genannt.

Zunker hat für etwa 40 kieselsäurehaltige Mineralböden die Beziehung ermittelt (236, 76)

$$s = 2,652 + 0,01167 \cdot w_h \quad (3)$$

und nimmt an, daß für diese Bodenarten das Glied 2,652 unmittelbar den Wert s_0 darstellt. Gl. (3) ist dadurch entstanden, daß die Werte w_h als Waagerechte und die Werte s als Senkrechte in ein rechtwinkliges Achsenkreuz eingetragen wurden und daß alsdann eine Gerade gesucht wurde, die den allgemeinen Verlauf der streuenden Punktschar möglichst gut wiedergibt. Es ist aber durchaus wahrscheinlich, daß die Beziehung zwischen w_h und s durch ein Band dargestellt werden muß. Dafür spricht, daß das Stoffgewicht s_0 der Mineralböden kein Festwert sein kann, da die verschiedenen die Böden zusammensetzenden Minerale recht verschiedene Stoffgewichte besitzen, z. B.:

Zeolithe	1,9 bis 2,5	Glimmer	2,7 bis 3,2
Gips	2,3	Hornblende	2,9 bis 3,4
Leuzit	2,5	Augit	3,1 bis 3,6
Feldspate	2,56 bis 2,76	Apatit	3,2
Nephelin	2,6	Brauneisenstein	3,5 bis 4,0
Quarz	2,65	Magnetit	4,9 bis 5,2
Kalkspat	2,7		

Ersetzt man die Zunkersche Gerade der Gl. (3) durch ein Band, so kann man schreiben

$$s_0 = s - 0,01167 \cdot w_h. \quad (4)$$

In unserem Beispiel würde man erhalten

$$s_0 = 2,731 - 0,01167 \cdot 4,50 = 2,678.$$

Bezeichnet man allgemein mit V den Rauminhalt der festen Bodenteile und mit G ihr Gewicht, mit ΔV den Raum, um den das Benetzungswasser verdichtet ist, so bestehen folgende Beziehungen:

$$s_0 = \frac{G}{V}, \quad s = \frac{G}{V - \Delta V}, \quad \Delta V = G \frac{w_h}{100} \varepsilon$$

und daraus

$$\varepsilon = \frac{100}{w_h} \left(\frac{1}{s_0} - \frac{1}{s} \right) \quad (5)$$

in unserem Beispiel

$$\varepsilon = \frac{100}{4,50} \left(\frac{1}{2,678} - \frac{1}{2,731} \right) = 0,161.$$

5. Der Porenraum.

Die zwischen den einzelnen Bodenteilchen vorhandenen Hohlräume bilden in ihrer Gesamtheit den Porenraum (Porenvolumen, Hohlraumvolumen, p_0). Man drückt den Porenraum in Raumbundertteilen des gewachsenen Bodens aus. Wenn beispielsweise 100 cm³ gewachsenen Bodens 54 cm³ Bodenteile enthalten, so ist sein Porenraum $p_0 = 46\%$.

Der Porenraum des gewachsenen Bodens pflegt mit der Tiefe der Bodenschicht abzunehmen, da die tieferen Bodenschichten durch die oberen belastet und daher dichter gelagert sind als diese. Versuche haben ergeben, daß der Porenraum in 85 cm Tiefe nur etwa 75 bis 98% der Werte betrug, die in 45 cm Tiefe festgestellt wurden.

Die meistens mit Wasser gefüllten Gefäßzellen der Humusmasse werden zweckmäßig nicht zum Porenraum p_0 des Bodens gerechnet. Nicht zum Porenraum gehören ferner die bereits erwähnten Poren innerhalb der einzelnen Bodenteilchen (S. 2).

Der Porenraum ein und derselben Bodenschicht kann auch zeitlichen Schwankungen unterliegen, die sich aus der Quellung des Bodens ergeben (S. 16). Man kann annehmen, daß solche Quellungen in größerer Tiefe als etwa 1,5 m infolge des Druckes der oberen Bodenschichten nicht mehr auftreten. Der Porenraum, der ohne Quellung vorhanden ist, wird auch kleinster Porenraum genannt (p_m).

Bei gleicher Form der Bodenteilchen und gleicher Art ihrer Lagerung ist der Porenraum stets derselbe, auch wenn in dem einen Boden alle Teilchen n mal so groß sind wie in einem anderen (S. 2). Unter diesen Voraussetzungen müßten also grob- und feinkörnige Böden den gleichen Porenraum besitzen. Da aber die Bodenbenetzung im allgemeinen um so größer ist, je feinkörniger der Boden ist, und da die benetzenden Wasserhüllen die Bodenteilchen auseinanderdrängen, so ist zu vermuten, daß im großen Durchschnitt feinkörnige Böden einen größeren Porenraum haben als grobkörnige. Nimmt man zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse an, daß alle Bodenteilchen gleich große Kugeln sind, die sich in dichtester Lagerung befinden, dann läßt sich leicht nachweisen, daß eine solche Kugelmasse einen Porenraum (p_0) von 24,51% besitzt. Ein Sandboden mit 1 mm Korndurchmesser, dessen Bodenbenetzung etwa gleich Null ist, würde dann also einen Porenraum von 24,5% haben. Anders ein Tonboden mit 0,001 mm Korndurchmesser und 15% Bodenbenetzung. Unter der

Voraussetzung, daß sich das Benetzungswasser in gleicher Schichtdicke um alle Bodenkörner legt ($\varepsilon = 0,16$) und daß die benetzenden Wasserschichten an den Berührungspunkten der Bodenkörner nicht abgeplattet werden, läßt sich rechnerisch zeigen, daß p_0 in diesem gedachten Falle = 43,4% wird. Tatsächlich haben auch Versuche Zunkers (236, 83 und 240, 533) und Fausers (39, 465) eine Beziehung zwischen dem Porenraum des erdfeuchten gewachsenen Bodens und der Bodenbenetzung ergeben. Zunker ermittelte aus einer Punktschar folgende mittlere Beziehung:

$w_h = 0$	5	10	15
$p_0 = 24$	34	42	48

Diese Zahlen dürfen aber nicht dazu dienen, um aus der Bodenbenetzung eines Bodens seinen Porenraum zu berechnen, da dieser auch noch von anderen Umständen abhängig ist (s. unten).

Bezeichnet man mit V_1 den Rauminhalt der trockenen festen Bodenteilchen, mit G ihr Gewicht und mit V_2 den zugehörigen Rauminhalt des gewachsenen Bodens, so ist

$$p_0 = \frac{V_2 - V_1}{V_2} \cdot 100\%, \quad s_0 = \frac{G}{V_1}, \quad r = \frac{G}{V_2}$$

$$p_0 = \left(1 - \frac{r}{s_0}\right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Die Begrenzungsfläche des Porenraumes p_0 ist gleich der Bodenoberfläche. Seine Größe hängt außer von der Bodenbenetzung von der Größe, Form und Lagerung der einzelnen Bodenteilchen ab. So werden in einem Gemenge von Kies und Sand die Hohlräume des Kiesel zum Teil durch die kleineren Sandkörner ausgefüllt, was gegenüber dem reinen Kiesboden zu einer Verkleinerung des Porenraumes führen muß.

Wenn man in Gl. (6) statt des wirklichen Stoffgewichtes s_0 das scheinbare s einsetzt, erhält man für den Porenraum einen rein rechnerischen Wert p , der scheinbarer Porenraum genannt wird:

$$p = \left(1 - \frac{r}{s}\right) \cdot 100\%. \quad (7)$$

Da im allgemeinen $s_0 < s$ ist [Gl.(4)], so ist p_0 in der Regel kleiner als p .

Um die Größe des kleinsten Porenraumes p_m zu ermitteln, bringt man einen Teil des zu untersuchenden Bodens durch Wasserzusatz in einen knetbaren Zustand und drückt ihn fest in ein rundes flaches Schälchen mit ebenem Boden und senkrechten Wänden, wobei die Oberfläche der Bodenmasse sorgfältig zu glätten ist. Nach Trocknen des Bodens bei 105° C läßt sich dann der Durchmesser der geschrumpften Bodenscheibe messen und dadurch ihr Rauminhalt berechnen. Dieser bildet nunmehr den Ausgangspunkt für die übliche Bestimmung der Werte s und r , damit auch des Porenraumes p_0 , der nach dieser Vorbehandlung des Bodens sein kleinster Porenraum p_m (ohne Quellung) ist.

Nicht der gesamte Porenraum p_0 steht für die Wasser- und Luftbewegung im Boden zur Verfügung, weil zum mindesten das Benetzungswasser durch die Bodenteilchen stark festgehalten wird. Bezeichnet man denjenigen Teil des Porenraumes, der nicht mit Benetzungswasser gefüllt ist, als spannungsfreien Porenraum (p'), so ist mit Rücksicht auf Gl. (2):

$$p' = p_0 - w_h \cdot r (1 - \varepsilon). \quad (8)$$

Vorstehende Gleichung läßt sich mit Hilfe der Gl. (5) bis (7) auch wie folgt umwandeln:

$$p' = p - w_h \cdot r \quad (9)$$

$$p_0 = p - w_h \cdot r \cdot \varepsilon. \quad (10)$$

Bei einer kleinen Bodenbenetzung ist genau genug $p_0 = p$.

Nach Vageler beginnt das Bodenwasser bereits dann sehr träge zu werden, wenn der Boden etwa die doppelte Menge des Benetzungswassers enthält (212, 123). Man nennt den Wassergehalt des Bodens, bei dem diese Trägheit eintritt, den Trägheitspunkt (lentokapillaren Punkt). Berechnet man nach diesem Gesichtspunkt den spannungsfreien Porenraum p'' , so findet man

$$p'' = p_0 - w_h \cdot r (2 - \varepsilon). \quad (11)$$

Gl. (11) führt zu dem Ergebnis, daß die Wasser- und damit auch die Luftbewegung in Tonböden unter folgenden Voraussetzungen aufhört:

$$\begin{aligned} w_h = 10\% \text{ und } p_0 &\leq 33\% \\ w_h = 15\% \text{ ,, } p_0 &\leq 42\% \\ w_h = 20\% \text{ ,, } p_0 &\leq 49\% \end{aligned}$$

Dabei sind $s_0 = 2,65$ und $\varepsilon = 0,16$ gesetzt. Die Zahlen lassen erkennen, daß das Ziel jeder Verbesserung schwerer Tonböden darin zu bestehen hat, den spannungsfreien Porenraum im Untergrunde zu vergrößern (S. 21). Doch sind die Auffassungen über die Größe des spannungsfreien Porenraumes, wie aus den Gl. (8) und (11) hervorgeht, nicht einheitlich. Es wird auch nicht möglich sein, im Einzelfall eine scharfe Grenze für ihn anzugeben.

In dem durchgerechneten Beispiel ist:

$$\text{nach Gl. (6): } p_0 = \left(1 - \frac{1,423}{2,678}\right) \cdot 100 = 46,86\%,$$

$$\text{nach Gl. (7): } p = \left(1 - \frac{1,423}{2,731}\right) \cdot 100 = 47,89\%,$$

$$\text{nach Gl. (9): } p' = 47,89 - 4,50 \cdot 1,423 = 41,49\%,$$

$$\text{nach Gl. (11): } p'' = 46,86 - 4,50 \cdot 1,423 (2 - 0,161) = 35,08\%.$$

6. Das Grund- und Saugwasser.

Wenn man einen leicht durchlässigen Boden tief genug ausschachtet, bildet sich am Grunde des Schachtes ein ruhender Wasserspiegel, den man als freien Grundwasserspiegel (Grundwasseroberfläche) bezeichnet. Er ist die obere Grenze des Grundwassers. Im Bereiche des Grundwassers ist fast der ganze Porenraum des Bodens mit Wasser gefüllt (Grundwasserschicht). Die sich im Schrifttum findenden Begriffbestimmungen des Grundwassers weichen zum Teil erheblich voneinander ab. Nach Zunker ist das Grundwasser unterirdisches Wasser, das die spannungsfreien Boden- und Gesteinhohlräume zusammenhängend ausfüllt und nur dem Ruhedruck des Wassers folgt (236, 142). An der Grundwasseroberfläche besteht ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Ruhedruck des Grundwassers einerseits und der Spannung der Grundluft oder dem Druck auflagernder Wasserschichten andererseits.

Befindet sich das Grundwasser unter einer schwer durchlässigen Bodenschicht und wird es von unten gegen sie gepreßt, so steigt es nach Durchbrechung dieser Schicht im Bohrloch in die Höhe. Man spricht in solchen Fällen von einem gespannten Grundwasserspiegel, der die Ursache der bekannten artesischen Brunnen ist (nach der Grafschaft Artois in Nordfrankreich).

Wenn durchlässige und undurchlässige Bodenschichten in senkrechter Richtung miteinander abwechseln, können sich mehrere voneinander getrennte Grundwasserstockwerke bilden. Ruhende Grundwasseransammlungen nennt man Grundwasserseen oder Grundwasserbecken. Befinden sich über dem durchgehenden Grundwasserspiegel muldenförmige, schwer durchlässige Bodenschichten, über denen sich Wasser sammelt, so spricht man von schwebendem Grundwasser.

Wegen der Bewegung des Grundwassers vgl. S. 17.

Nach oben geht das Grundwasser in der Regel ohne sichtbar scharfe Trennung in das Saugwasser (Kapillarwasser) über. Grundwasser und Saugwasser

treten stets zusammen auf. Die Bezeichnung Kapillarwasser ist der bekannten Erscheinung des Wasseraufstieges in engen Röhren, sog. Haarröhrchen oder Kapillaren, entnommen (Capillum = Haar). Rohrsaugkraft (Kapillarität) nennt man die Eigenschaft benetzbarer Körper, durch Massenanziehung Wasser über dessen freie Oberfläche zu heben. Die Flüssigkeitsäule h (Abb. 3) wird durch ihre mit der Luft in Berührung stehende Endfläche (Meniskus) getragen. Ursache der Rohrsaugkraft sind Grenzflächenkräfte (S. 3). Man ist davon ausgegangen, daß auch die eng aneinander liegenden Bodenkörner Haarröhrchen bilden, in denen das Grundwasser emporsteigt, und man hat auf Grund dieser Auffassung Formeln entwickelt, die den Verlauf des Wasseraufstieges erfassen sollen. Die Formeln haben aber für die Nutzanwendung bisher keine brauchbaren Ergebnisse geliefert. Das ist erklärlich, soweit sie nicht aus Versuchen am gewachsenen Boden abgeleitet sind. Es ist aber auch höchst zweifelhaft, ob die meist vollständig regellosen Bodenporen überhaupt mit den bekannten Haarröhrchen verglichen und ob die Saugkrafterscheinungen selbst in den gleichmäßigst zusammengesetzten Böden durch Rechnung erfaßt werden können (212, 117). Die erwähnten Formeln liefern Steighöhen, z. B. bei Tonen von 300 m und mehr, wie sie in der Natur noch niemals beobachtet sind. Gerade die schwersten Tone zeigen im gewachsenen Boden fast keine Saugkrafterscheinungen, weil sie fast undurchlässig für Wasser sind.

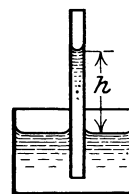


Abb. 3.
Rohrsaugkraft.

In sehr gleichporigen Böden besitzt das Saugwasser meistens eine ziemlich gleichmäßige Höhe. Wenn das Grundwasser in solchen Fällen keinen Zufluß hat und den oberen Schichten des Saugwassers durch die Pflanzenwurzeln oder durch Verdunstung Wasser entzogen wird, müssen Grundwasserspiegel und Saugwasser sinken, so daß der den Wurzeln zur Verfügung stehende Saugwasservorrat ständig geringer wird, soweit sie dem absinkenden Wasser nicht nachwachsen.

Man unterscheidet bisweilen das geschlossene und das offene Saugwasser und versteht unter ersterem die untere Schicht des Saugwassers, in der die meisten Poren des Bodens mit Wasser gefüllt sind und sich keine nennenswerten zusammenhängenden Luft einschlüsse befinden. Diese Bodenschicht wird auch Saugsaum (Kapillarsaum) genannt. Er steigt und fällt mit dem Grundwasserspiegel. Über dem geschlossenen liegt das offene Saugwasser, das nach oben meistens stark gezackt ist.

Unter der Steighöhe (kapillare Saug- oder Steighöhe, Kapillarziffer) versteht man die größte Höhe über dem Grundwasserspiegel, auf die das Wasser noch durch Rohrsaugkräfte gehoben wird. Alle darüber liegenden Bodenschichten erhalten also kein Wasser durch Aufstieg. Die Steighöhe ist in Sandböden sehr gering, nimmt in Leimböden mit wachsendem Tongehalt zunächst zu, um jedoch im Bereich der schwersten Tone, die keinen oder fast keinen spannungsfreien Porenraum besitzen, fast auf Null zu sinken. Vageler und Alten fanden folgende Werte (212, 133):

Die Krümelbildung (S. 16) wirkt infolge der mit ihr verbundenen Vergrößerung der Bodenporen in der Regel verringern auf die Steighöhe. In sehr schweren Böden kann aber auch die entgegengesetzte Wirkung eintreten.

Beim Aufstieg des Wassers wird Kraft (Druckhöhe) verbraucht, was eine Verkürzung der Steighöhe zur Folge hat, solange das Wasser steigt. Dieser Druckhöhenverlust ist um so größer, je größer der Reibungswiderstand des Bodens und die Wassergeschwindigkeit sind.

Zahlentafel I.

Tongehalt %	Steig- höhe mm	Ton- gehalt %	Steig- höhe mm
0,0 (Seesand)	128	52,1	833
4,2	256	55,0	500
10,1	526	64,2	74
39,4	500	68,0	27

Die Geschwindigkeit, mit der das Saugwasser gehoben wird, heißt Steiggeschwindigkeit. Sie ist stark von der Korngröße abhängig und kann als Maß für die Beweglichkeit des Bodenwassers angesehen werden. Atterberg beobachtete an künstlich zusammengestellten Korngruppen eiszeitlicher Böden folgende Steighöhen nach den ersten 24 h (236, 107):

Zahlentafel 2.

Korngröße mm	Steig- höhe mm	Korngröße mm	Steig- höhe mm
5 —2	22	0,05 —0,02	1153
2 —1	54	0,02 —0,01	485
1 —0,5	115	0,01 —0,005	285
0,5 —0,2	214	0,005 —0,002	143
0,2 —0,1	376	0,002 —0,001	55
0,1 —0,05	530		

Der Porenraum der einzelnen Korngruppen war nicht sehr verschieden (40,1 bis 41,7%). Die größte Steiggeschwindigkeit hatte also der sehr feine Sand (0,05 bis 0,02 mm), während bemerkenswerterweise Grobsand (2 bis 1 mm) und Ton (0,002 bis 0,001 mm) die gleichen geringen Steiggeschwindigkeiten ergaben. Auch Wollny kam bei seinen Versuchen zu dem Ergebnis, daß die Steiggeschwindigkeit in den feinen

Sandböden am größten ist. Nach Versuchen von Ridgway (126, 195) wurden in einem gewachsenen feinsandigtonigen Boden ohne Pflanzenwuchs von Mai bis September durchschnittlich in 24 h folgende Wassermengen verdunstet:

Zahlentafel 3.

Tiefe des Grundwasserstandes cm	Verdunstung mm
15	5,3
30	3,9
45	2,5
55	2,0

Die mittlere tägliche Regenmenge betrug nur 0,96 mm. Es sind also erhebliche Wassermengen aus dem Grundwasser bis zur Oberfläche gehoben worden. Die Zahlen zeigen die Abhängigkeit der gehobenen Wassermengen von der Tiefe des Grundwasserstandes. Sie dürfen nicht verallgemeinert werden, da die Menge des durch Rohrsaugkräfte gehobenen Grundwassers ganz von der jeweiligen Bodenart und den Witterungsverhältnissen abhängt.

Geringe Wärme und Bodensalze verringern die Steiggeschwindigkeit. Besonders ist diese Wirkung bei Natriumsalzen festgestellt worden (S. 21). Die Steiggeschwindigkeit scheint auch von der mineralischen Zusammensetzung des Bodens beeinflusst zu werden, indem z. B. eckige Kalkteilchen gegenüber rundlichen Quarzsandkörnern verzögernd wirken (Reibungswiderstand). Die Steiggeschwindigkeit ist ferner in feuchten Böden anfänglich größer als in trockenen, weil in diesen Benetzungswiderstände auftreten und eine größere Wassermenge nötig ist, um den wasserfreien Teil des Porenraumes zu füllen. Schon schwache Schichten aus Ton oder Grobsand pflegen auch in Böden mit sonst guter Saugkraft außerordentlich hindernd zu wirken.

Der Aufstieg des Saugwassers kann Veranlassung zu einer Art Heberwirkung geben, indem das Saugwasser einen wasserundurchlässigen Sattel gleichsam überklettert. Solche Erscheinungen können an Dämmen auftreten, die durch einen Tonkern gedichtet sind, wenn das Saugwasser in dem durchlässigen Dammboden über den Scheitel der Tondichtung hinaussteigt.

Das Bodenwasser des Saugsaumes befindet sich in fortschreitender Bewegung, wenn das darunter befindliche Grundwasser fließt. Die Wassergeschwindigkeit im Saugsaum ist um so geringer als die des Grundwassers, je höher die Saugwasserteilchen über dem Grundwasserspiegel liegen (217, 148).

Die Bedeutung des Saugwassers für die Pflanzen ist auf S. 59 noch kurz besprochen.

Wenn auch die festen Bodenteilchen in der Regel für Wasser benetzbar sind und die Böden daher Saugkrafterscheinungen zeigen, so kommt doch bisweilen auch der Fall der Unbenetzbarkeit der Bodenteilchen vor. Der Unterschied zwischen der Benetzbarkeit und Unbenetzbarkeit besteht darin, daß die elektrischen Kraftfelder zwischen den festen Bodenteilchen und dem Bodenwasser entweder entgegengesetzt sind und daher eine Anziehung bewirken (Benetz-

barkeit), oder daß sie die gleiche elektrische Ladung besitzen und daher eine Abstoßung herbeiführen (Unbenetzbarkeit). Die Frage, ob die Anlagerung von Luftteilchen an den Grenzflächen der Bodenteilchen deren Benetzbarkeit zum mindesten vorübergehend erschwert, wie manche Forscher annehmen, ist noch nicht befriedigend geklärt (S. 16).

7. Das Haft- und Sickerwasser.

Ebenso wie das Benetzungswasser und Saugwasser verdankt auch das sog. Haftwasser seine Entstehung im wesentlichen den Anziehungskräften der Grenzflächen. Im Gegensatz zum Saugwasser steht es nicht mit dem Grundwasser in Verbindung. Vom Benetzungswasser unterscheidet es sich dadurch, daß es keine oder doch keine nennenswerte Verdichtung besitzt. Während das Sickerwasser (Senkwasser) sich in merkbarer lotrechter oder schräger Abwärtsbewegung befindet, bleibt das Haftwasser, wie schon der Name sagt, im Boden haften, ohne allerdings völlig jede Bewegung einzubüßen. Es pflegt daher als Wasservorrat für die Pflanzen von außerordentlicher Bedeutung zu sein.

Das Haftwasser haftet, über dem Benetzungswasser liegend, an den Bodenkörnern (Häutchen- oder Filmwasser), füllt feine Poren des Bodens aus (feinkapillares Haftwasser) und sitzt namentlich in den Winkeln zwischen den einzelnen Bodenkörnern (Porenwinkelwasser). Es entstammt entweder dem von oben in den Boden eindringenden Niederschlagwasser, das durch die Anziehung der Molekeln oder durch Aufsitzen auf Gruppen von Bodenkörnern am weiteren Versickern verhindert wird, oder dem Saugwasser, das bei sinkendem Grundwasser zum Teil in den feinen Bodenporen zurückbleibt.

Die Menge des Sickerwassers ist naturgemäß stark von den jeweiligen Niederschlägen abhängig. Niemals gelangt aber das Sickerwasser von der Erdoberfläche ohne Unterbrechung bis zum Grundwasser. Vielmehr verwandelt es sich zum Teil in Haftwasser, es verdrängt bisheriges Haftwasser, das nun seinerseits Sickerwasser wird, es wird von den Pflanzenwurzeln verbraucht oder entweicht wieder durch Verdunstung, und es tritt schließlich in den Saugsaum ein, wo es selbst zum Saugwasser wird, dabei unter Umständen die untersten Teile des bisherigen Saugwassers in Grundwasser verwandelnd.

Ob die im Boden befindliche Luft, die Grundluft, der Abwärtsbewegung des Sickerwassers einen merkbaren Widerstand entgegenzusetzen kann, ist noch eine umstrittene Frage. Ein solcher Widerstand müßte mit einer Spannung der Grundluft Hand in Hand gehen, die jedoch höchstens in sehr gleichförmigen, für Luft schwer durchlässigen Böden denkbar ist. In allen anderen Böden wird die Ungleichförmigkeit der Bodenbeschaffenheit und die dadurch bedingte ganz regellose Art der Versickerung hinreichend Möglichkeiten für ein Entweichen der Grundluft bieten.

Die Sickergeschwindigkeit in sonst durchlässigen Böden wird durch eingelagerte schwer durchlässige Schichten, auch wenn diese nur dünn sind, erheblich herabgesetzt. Bodenbänder (S. 52) wirken daher sehr verzögernd.

Die Bewegung des Sickerwassers wird auch durch Wärme (S. 18) und Luftdruck beeinflusst. Im allgemeinen wird sie durch zunehmende Wärme und abnehmenden Luftdruck verstärkt (236, 190). Dränungen liefern infolgedessen tags mehr Wasser als nachts, bei fallendem Luftdruck mehr als bei steigendem. Je größer die Durchlässigkeit des Bodens und je geringer Bodenverdunstung und Wasserverbrauch der Pflanzen sind, um so größer ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Menge des Sickerwassers.

Bei tiefliegendem Grundwasser können viele Monate vergehen, bevor das Sickerwasser eines Regens eine Hebung des Grundwasserspiegels bewirkt. Wenn dagegen hängende Haftwasserschichten ihre größtmögliche Höhe

besitzen, werden sie bisweilen schon durch den Druck geringer neu einfallender Sickerwassermengen mitgerissen und dadurch selbst in Sickerwasser verwandelt, so daß in solchen Fällen der Grundwasserspiegel weit stärker gehoben wird, als es den neu gefallenen Regenmengen entsprechen würde.

Ständig fließendes Sickerwasser entsteht unter Wasserläufen, Seen oder Talsperren, deren Sohle nicht ausreichend durch natürliche Schlammablagerungen oder künstlich gedichtet ist.

Die Wasserdurchlässigkeit der verschiedenen Bodenarten ist auf S. 17 behandelt.

8. Wasser- und Luftgehalt, Wasserhaltevermögen.

Unter dem Wassergehalt eines Bodens versteht man die jeweils in ihm vorhandene Wassermenge, die starken zeitlichen Schwankungen unterliegt. Dasselbe gilt für den Luftgehalt. Wasser- und Luftgehalt in Raumhundertteilen des gewachsenen Bodens ergeben zusammen den Porenraum (p_0). Man drückt den Wassergehalt in Gewichtshundertteilen des trockenen Bodens (w_g) oder in Raumhundertteilen des gewachsenen Bodens (w_r) aus. Auch für den Wassergehalt gilt Gl. (12), wenn man statt des Wasserhaltevermögens den Wassergehalt setzt, also statt w_{kr} w_r und statt w_{kg} w_g . Man kann den Wassergehalt des Bodens dadurch feststellen, daß mit einer Stechröhre ein Bodenstück von bestimmtem Rauminhalt ausgestochen und untersucht wird. Ein anderes Verfahren besteht darin, daß ein Bodenstück vom gewachsenen Boden abgebrochen und zunächst in Paraffin getaucht wird, um dann gewogen und durch Wasserverdrängung räumlich gemessen zu werden.

Wir haben bereits gesehen, daß jeder Boden gewisse Wassermengen festhält, das Benetzungs-, Saug- und Haftwasser. Diese Eigenschaft der Böden, Wasser in ihrem Porenraum festzuhalten, nennt man ihr Wasserhaltevermögen (Wasserkapazität). Je feinkörniger ein Boden ist, um so größer ist im allgemeinen sein Wasserhaltevermögen. Wollny fand für Quarzsande folgende Werte für das kleinste Wasserhaltevermögen (s. unten) in Gewichtshundertteilen des trockenen Bodens:

Korngröße mm	Kleinstes Wasser- halte- vermögen %
2 —1	2,33
1 —0,5	2,68
0,5 —0,25	2,94
0,25 —0,171	3,47
0,171—0,114	4,25
0,114—0,071	24,67
0,071—0,01	27,23

Durch Steingehalt des Bodens wird das Wasserhaltevermögen vermindert, da die Steine den Porenraum des Gesamtbodens verkleinern. Bei durchlässigen Böden läßt sich das Wasserhaltevermögen häufig durch Verdichtung (Walzen) vergrößern. Ein für das Pflanzenwachstum besonders günstiges Wasserhaltevermögen pflegen solche Mineralböden zu besitzen, in denen dünne lehmige Schichten mit sandigen wechseln, weil in so geschichteten Böden das Wasserhaltevermögen weder zu groß ist, was Luftmangel im Boden zur Folge haben würde, noch zu klein, wodurch leicht Wassermangel eintreten würde. Das Wasserhaltevermögen krümeliger Böden ist in der Hauptsache von dem Wasserhaltevermögen der Bodenkrümel abhängig. In humushaltigen Böden, namentlich in allen Moorböden, wird ein Teil des Wassers, das Zellwasser (osmotische Wasser), in den geschlossenen Gefäßzellen der Humusmasse zurückgehalten, also außerhalb des Porenraumes (S. 6). Da die Pflanzenwurzeln das Zellwasser im allgemeinen nicht ansaugen können, so müßte man im Hinblick auf das Pflanzenwachstum das Wasserhaltevermögen der Moorböden ohne Berücksichtigung des Zellwassers verstehen. Die Messung des Zellwassers ist aber bisher nicht möglich gewesen.

Für manche Zwecke empfiehlt es sich, das Wasserhaltevermögen nach Raumhundertteilen des gewachsenen Bodens anzugeben, weil diese Angabe am anschaulichsten ist. Da das Wasserhaltevermögen bei den Bodenuntersuchungen (S. 13) zunächst in Gewichtshundertteilen des trockenen Bodens

berechnet wird (w_{kg}), so muß es in Raumbunderteile des gewachsenen Bodens umgerechnet werden (w_{kr}). Es setzt sich zusammen aus dem verdichteten Benetzungswasser [Gl. (2) in Raumbunderteilen] und dem nichtverdichteten Haftwasser ($w_{kg} - w_h$ in Gewichthunderteilen). Es ist daher

$$\begin{aligned}w_{kr} &= w_h \cdot r (1 - \varepsilon) + r (w_{kg} - w_h) \\w_{kr} &= r (w_{kg} - \varepsilon \cdot w_h).\end{aligned}\quad (12)$$

Das Wasser nimmt also unter Berücksichtigung seiner teilweisen Verdichtung den Raum w_{kr} in Raumbunderteilen des gewachsenen Bodens ein. In 100 cm³ gewachsenem Boden befinden sich $r \cdot w_{kg}$ g Wasser.

Man bezeichnet das Wasserhaltevermögen in denjenigen Bodenschichten, die oberhalb des Saugwassers liegen, als kleinstes (absolutes). Es umfaßt also das Benetzungs- und das Haftwasser. Das kleinste Wasserhaltevermögen ist aber für ein und denselben Boden keine völlig feststehende Größe. King hat 2¹/₂ Jahre lang die Abflußmengen aus 2,44 m hohen Bodensäulen beobachtet und festgestellt, daß die Bodensäulen sogar nach 2¹/₂ Jahren noch Wasser abgaben. Man kann daraus schließen, daß sich dauernd Haftwasser in Sickerwasser verwandelt, und man muß daher, wenn man vergleichsfähige Werte des Wasserhaltevermögens verschiedener Böden erhalten will, dieses stets nach demselben Verfahren ermitteln.

Zur Bestimmung des kleinsten Wasserhaltevermögens des Bodens läßt man die mit Wasser gesättigte Bodenprobe eine bestimmte Zeit lang abtropfen, schleudert sie nach bestimmten Vorschriften aus (Schleuderverfahren) oder unterzieht sie einer Saugwirkung (Absaugverfahren) in der Annahme, daß dann nur das zum Wasserhaltevermögen zu rechnende Wasser zurückbleibt. Da alle Verfahren Willkürlichkeiten enthalten, bleibt nur übrig, das kleinste Wasserhaltevermögen als diejenige Wassermenge zu bezeichnen, die nach einer bestimmten Behandlung der Bodenprobe, wobei auch die Art des Trocknens vorzuschreiben ist, in ihr zurückbleibt.

Der Unterschied des Porenraumes (p_0) und des kleinsten Wasserhaltevermögens (w_{kr}) ist das Lufthaltevermögen (Porosität, L_r) in Raumbunderteilen des gewachsenen Bodens:

$$L_r = p_0 - w_{kr} = p - r \cdot w_{kg}.\quad (13)$$

Wenn die bereits oben behandelte Bodenprobe unmittelbar nach der Entnahme gewogen wird (1612 g), und wenn sie nach der Trocknung 1423 g wiegt, so ist

$$w_g = \frac{1612 - 1423}{1423} \cdot 100 = 13,28\%$$

und nach Gl. (12), die auch für w_r und w_g gilt:

$$w_r = 1,423 (13,28 - 0,161 \cdot 4,50) = 17,87\% ,$$

d. h. 179 cm³ der Bodenprobe (1000 cm³) sind mit Wasser gefüllt.

Wenn man die mit Wasser gesättigte Probe 2 h lang abtropfen läßt (Verfahren Mitscherlich), dann wiegt (1679 g) und durch Trocknen ihr Trockengewicht (1423 g) ermittelt, so ist

$$w_{kg} = \frac{1679 - 1423}{1423} \cdot 100 = 17,99\%$$

und nach Gl. (12)

$$w_{kr} = 1,423 (17,99 - 0,161 \cdot 4,50) = 24,57\% ,$$

d. h. 246 cm³ der Bodenprobe (1000 cm³) sind mit Wasser gefüllt.

Nach S. 8 ist der Porenraum $p_0 = 46,86\%$, daher der Luftgehalt der Bodenprobe $46,86 - 17,87 = 29,0\%$ und das Lufthaltevermögen $L_r = 46,86 - 24,57 = 22,3\%$.

Rothe hat durch Untersuchung der Marschböden im niederelbischen Obstbauggebiet das kleinste Wasserhaltevermögen w_{kg} in Beziehung zur Benetzungswärme w_b gebracht und die Formel aufgestellt (174, 618)

$$w_{kg} = 14 + 5,3 \cdot w_b. \quad (14)$$

Nicht gleichbedeutend mit dem bisher behandelten kleinsten Wasserhaltevermögen ist der von Vageler (212, 111) wie folgt gekennzeichnete Begriff des kleinsten Wasserhaltevermögens (minimale Wasserkapazität, C): „diejenige Wassermenge, die von der Bodenmasse als solcher durch ihre elektrischen Feldkräfte unabhängig von der Lagerung und den dadurch sich bildenden Menisken mit ihren Zufälligkeiten festgehalten wird, die also vom zugeführten Wasser als Kleinstmenge im Boden verbleibt, wenn keine Kräfte außer der Schwerkraft auf das Bodenwasser einwirken“. Auch der Wert C wird in Gewichthundertteilen der trockenen Bodenmasse ausgedrückt. Nach Vageler ist auf Grund rechnerischer Ableitung und als Mittelwert aus etwa 250 Untersuchungen

$$C = 4,5 w_h. \quad (15)$$

Nun kann bei kleinem Porenraum und großem Wasserhaltevermögen eines Bodens der Fall eintreten, daß die vorhandene wasserhaltende Kraft der Bodenmasse nicht voll zur Wirkung kommt, weil der Boden an sich mehr Wasser festhalten könnte, als sein Porenraum fassen kann, wenn er nicht etwa gelockert wird. In solchen Fällen muß aber das Quellungsvermögen der schweren Böden berücksichtigt werden, das zu einer Vergrößerung des Porenraumes führt (S. 16). Sonst würde man unter Umständen zu völlig falschen Werten für die Wassermenge kommen, die ein Boden im Höchsthalle tatsächlich festhält. Um diese Zusammenhänge rechnerisch wenigstens annähernd zu erfassen, geht Vageler (212, 273) davon aus, daß bei mineralischen Böden in 1,5 m Tiefe stets der kleinste Porenraum p_m vorhanden ist und in dieser Tiefe auch durch Quellung nicht vergrößert wird, weil der starke Druck der auflagernden Bodenschichten es verhindert. An der Erdoberfläche dagegen, wo die Bodenteilchen ausweichen können, wird durch Quellung der Porenraum geschaffen, der zur Erreichung des Wasserhaltevermögens C erforderlich ist. In den dazwischen liegenden Bodenschichten wird ein Übergang von dem einen zum anderen Grenzwert stattfinden. Die dafür von Vageler aufgestellte Beziehung lautet:

$$w_q = w_{pm} + \left(1 - \frac{t}{150}\right)^2 \cdot (4,5 w_h - w_{pm}). \quad (16)$$

Darin bedeuten ($\varepsilon = 0$):

w_{pm} die Wassermenge in g je 100 g trockenen Bodens bei voller Sättigung des kleinsten Porenraumes p_m (S. 6).

w_h die Bodenbenetzung in g je 100 g.

t die Tiefe der Bodenschicht unter Gelände in cm.

w_q die Wassermenge in g oder cm^3 je 100 g, die der Boden in t cm Tiefe festhält, wenn sein Porenraum daselbst zunächst kleiner als w_q ist und erst durch Quellung auf den Wert w_q gebracht wird.

Einer Erläuterung bedarf noch der Begriff des größten Wasserhaltevermögens, obwohl ihm keine nennenswerte Bedeutung zukommt. Im Saugsaum der leichteren Böden ist die wasserhaltende Kraft des Bodens größer als in den darüberliegenden Bodenschichten, da außer dem Benetzungswasser noch das Saugwasser vom Boden festgehalten wird, und zwar in größerem Umfange als in den oberen Schichten das Haftwasser. Namentlich dicht über dem Grundwasserspiegel pflegt das Saugwasser zusammen mit dem Benetzungswasser fast den gesamten Porenraum auszufüllen, so daß hier in leichteren Böden das größte Wasserhaltevermögen auftritt. Es ist etwa ebenso groß wie der Porenraum des Bodens daselbst. Das Wasserhaltevermögen der leichteren Böden

geht oberhalb des geschlossenen Saugwassers allmählich in das kleinste über. Abb. 4 gibt ein grobes Bild dieser Verhältnisse.

Unter dem Regenhaltevermögen (Regenkapazität) eines Bodens versteht man diejenige Regenmenge, die der Boden in einer für die Pflanzen aufnehmbaren Form festhalten kann. Ist der Porenraum so groß, daß das Wasserhaltevermögen des Bodens voll ausgenutzt wird, so ist das Regenhaltevermögen gleich dem Unterschied zwischen dem Wasserhaltevermögen (w_{kg}) und dem Grenzwassergehalt, bei dem die Pflanzen nicht mehr genügend mit Wasser versorgt werden. Nimmt man diesen zu einem Vielfachen n der Bodenbenetzung w_h an, so ist das Regenhaltevermögen in Gewichthundertteilen des trockenen Bodens

$$R_k = w_{kg} - n \cdot w_h. \quad (17)$$

Wegen des Wertes n vgl. S. 59. Das Regenhaltevermögen kann in Verbindung mit der Wurzelausbreitung der Pflanzen dazu dienen, um den nutzbaren Wasservorrat im Boden zu berechnen. Für $n = 2$ ist in dem durchgerechneten Zahlenbeispiel

$$R_k = 17,99 - 2 \cdot 4,50 = 8,99\%.$$

Bei einem Raumgewicht $r = 1,423$ beträgt daher das Regenhaltevermögen in Raumhundertteilen des gewachsenen Bodens $8,99 \cdot 1,423 = 12,79\%$, so daß 1 m^3 gewachsener Boden 128 l ausnutzbares Wasser festzuhalten vermag. Wenn also die Wurzeln einer Pflanzenart den Wasservorrat beispielsweise bis $1,2 \text{ m}$ Tiefe ausnutzen können, dann würde das Regenhaltevermögen des Bodens einer Wasserhöhe von $128 \cdot 1,2 = 153 \text{ mm}$ entsprechen.

Ist der Porenraum für eine volle Ausnutzung des Wasserhaltevermögens zu klein und treten in schweren Böden auch noch Quellungen ein, so ist Gl. (17) nicht anwendbar. Man kann alsdann das Regenhaltevermögen mittels der Gl. (16) ermitteln.

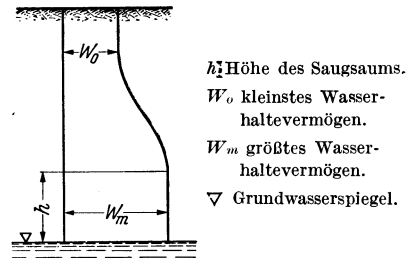


Abb. 4. Wasserhaltevermögen.

9. Quellstoffe, Quellung und Krümelbildung.

Die zuständlichen, aber auch die stofflichen Eigenschaften der Böden werden in hohem Maße durch die Quellstoffe (Kolloide) beeinflusst (colla = Leim). Der quellstoffliche (kolloidale) Zustand ist eine Mittelstellung zwischen der größeren Aufschwemmung und der echten Lösung, bei der die Zerteilung des Stoffes bis zum Molekel oder Ion geht. Ein im Quellstoffzustand befindlicher Stoff besitzt eine außerordentlich kleine Korngröße, die so gering sein kann, daß man die Anwesenheit des Stoffes im Wasser nur noch an einer Trübung der Flüssigkeit erkennt. Die obere Korngrößengrenze, bei der dieser Zustand beginnt, liegt nicht eindeutig fest ($0,002$ bis $0,00025 \text{ mm}$). Die im Wasser aufgeschlämmten quellstofflichen Bodenteilchen werden im Wasser durch die Schwerkraft nicht mehr zum Absitzen gebracht. Man bezeichnet die Quellstofflösungen als Sole. Durch stoffliche und elektrische Vorgänge können die einzelnen Quellstoffteilchen sich zu größeren Einheiten zusammenlagern. Sie flocken aus, d. h. sie bilden eine gallertartige Masse, das sog. Gel. Insbesondere treten Ton und Humus in Quellstoffform auf; auch Kieselsäure, Eisenoxyd und viele andere Verbindungen können den Quellstoffzustand annehmen.

Die Quellstoffe besitzen infolge ihrer großen Oberflächenentwicklung sehr viele Grenzflächenkräfte (S. 3), so daß sie Gase und Flüssigkeiten mit den in ihnen gelösten Stoffen stark zu binden vermögen. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Bindungsvermögen (Sorptionsvermögen). Eine scharfe Grenze zwischen zuständlicher (physikalischer) und stofflicher (chemischer) Bindung läßt sich nicht ziehen. Die Bindung gelöster Stoffe oder Gase (Ammoniak)

ist für das Pflanzenwachstum von großer Bedeutung, da sonst große Nährstoffmengen durch die Sickerwässer fortgeführt oder als Gas entweichen würden.

Flüssigkeiten und Gase können an den Grenzflächen der Quellstoffteilchen, auch wohl an ihrer inneren Oberfläche angelagert werden. Dadurch wird entweder die Schichtstärke des Benetzungswassers dicker, oder die Wasserteilchen drängen sich in die inneren Hohlräume des Bodenteilchens ein und vergrößern dadurch dessen Raum. Diese Vorgänge werden als Ursache des Quellens (Schwellens) quellstoffhaltiger Böden angesehen. Die Bodenteilchen werden somit durch den Quellungsdruck an ihren Berührungstellen auseinandergetrieben, was eine Lockerung des Bodens, also einen größeren Porenraum zur Folge hat. Dem Quellen der Böden sind jedoch dadurch Schranken gesetzt, daß der Druck der auflagernden Bodenschichten in größerer Tiefe eine Quellung verhindert. Das Freiwerden angelagerter Wasserteilchen (z. B. durch Verdunstung) führt umgekehrt zum Schrumpfen (Schwinden) der Böden, wie es sich im Ton durch die bekannte Rißbildung deutlich zeigt. Zunker hat die räumliche Schwindung (ε_q) des gewachsenen Bodens von seinem feuchten Zustand in 0,5 bis 1 m Tiefe bis zur Lufttrockenheit als groben Mittelwert zahlreicher Untersuchungen wie folgt ermittelt (236, 85):

$$\varepsilon_q = 1,78 \cdot w_h \% , \quad (18)$$

darin ist

$$\varepsilon_q = \frac{V_0 - V_1}{V_1} .$$

V_0 = Bodenraum zu Beginn } des Schwindungs-
 V_1 = „ am Ende } vorganges.

Das Quellen der Böden kann Böschungsrutschungen nach sich ziehen, weil es eine Verringerung der Anziehung der festen Bodenteilchen zur Folge hat. Denn die gegenseitige Anziehung eines Bodenteilchens auf das andere ist um so kleiner, je größer ihr Abstand ist. Die Gefahr der Rutschung wird noch vergrößert, wenn durch Steigen des Grundwassers der Druck der auflagernden Bodenschichten infolge des Auftriebes des Grundwassers vermindert und dadurch die Quellung noch gefördert wird.

Bei starker Wasserentziehung kann der Fall eintreten, daß die Gele nicht wieder aufquellen und sich auch nicht wieder lösen. Man nennt Quellstoffe dieser Art nichtrückquellbar (irreversibel). Die Quellstoffteilchen sind dann unbenetzbar geworden. Der nichtrückquellbare Zustand der Humusquellstoffe ist die Ursache für das Puffigwerden der Moorböden (S. 46). Quellstoffe, die auch nach starker Wasserentziehung wieder aufquellen oder in Lösung gehen, wenn ihnen Wasser zugeführt wird, nennt man rückquellbar (reversibel).

Die Bodenquellstoffe sind erforderlich, um das für die Bodengare wichtige Krümelgefüge (Krümelstruktur) zu erzeugen. Man versteht darunter den Zustand, daß Gruppen kleinster Bodenteilchen miteinander zu sog. Bodenkümmeln verkittet sind. Bei dem Einzelkorngefüge (Einzelkornstruktur) dagegen liegt jedes einzelne Bodenteilchen für sich neben den benachbarten. Ein Beispiel dafür sind die Dünensande.

Die Krümel erreichen meistens eine Größe von etwa 0,01 bis 0,03 mm, das ist die Korngröße sehr feiner Sande. Zwischen den Krümmeln bilden sich größere Poren, als sie dem nichtgekrümelten Boden eigen sind, was eine Vergrößerung des Porenraumes und damit eine Lockerung des Bodens bewirkt. In krümeligen Böden enthalten die Krümel einen großen Teil des Bodenwassers. Die Krümelung ist auf Vorgänge zurückzuführen, die zum Teil recht verwickelter Natur sind. So wirkt der Schleim der Kleinlebewesen verkittend auf die Bodenteilchen. Stofflich sind es namentlich die Salze mehrwertiger Grundstoffe (Ca, Al, Mg), die die Einzelteilchen aneinander klammern. So ist ja die

krümelbildende Wirkung des kohlensauren Kalkes bekannt, während Natrium die Krümelbildung erschwert (S. 21). Die Krümelung ist ein wichtiges Ziel der Bodenbearbeitung.

Zwischen dem Quellstoffgehalt eines Bodens und seiner Bodenbenetzung besteht insofern eine Beziehung, als die Bodenbenetzung in der Hauptsache vom Quellstoffgehalt abhängig ist. Denn je kleiner die Bodenteilchen sind, um so größer ist im Verhältnis zu ihrem Eigengewicht die angelagerte Menge des Benetzungswassers.

10. Die Durchlässigkeit des Bodens.

Für viele Maßnahmen ist die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens von großer Bedeutung. Im Jahre 1856 hat Darcy das nach ihm benannte Filtergesetz für die Bewegung des Grundwassers abgeleitet. Es lautet mit den Bezeichnungen der Abb. 5

$$Q = k \cdot \frac{h}{l} \cdot F = k \cdot J \cdot F \text{ cm}^3/\text{s}. \quad (19)$$

Der Wert k wird Durchlässigkeitsziffer, Durchlässigkeitswert oder kurz Durchlässigkeit genannt und von Darcy für einen bestimmten Boden als Festwert betrachtet. Bei wachsender Geschwindigkeit scheint jedoch k zunächst etwas zuzunehmen, und wenn die Geschwindigkeit bei weiterem Steigen wirbelnd wird (S. 119), wieder kleiner zu werden. Der Wert k ist außerdem von der Zähigkeit des Bodenwassers abhängig (S. 18). Für viele Fälle kann jedoch k genau genug als Festwert angesehen werden, jedenfalls für kleine und mittlere Gefälle mit Ausnahme sehr durchlässiger Kiesböden. Meistens wird k in cm/s angegeben. F ist der volle, rechtwinklig zur Fließrichtung liegende Bodenquerschnitt in cm², der vom Wasser durchflossen wird, ohne Abzug der in ihm vorhandenen Querschnitte der festen Bodenteilchen. J ist im Felde das Spiegelgefälle (relatives Gefälle, Spiegelneigung) des Grundwassers. Man kann auch F in m² und k in m/s in die Gl. (19) einsetzen und erhält dann Q in m³/s. Entsprechend der allgemeinen Formel $Q = F \cdot v$ nennt man

$$v = k \cdot J \text{ cm/s} \quad (20)$$

die scheinbare Geschwindigkeit des Bodenwassers, scheinbar deshalb, weil das einzelne Wasserteilchen sich nicht geradlinig, sondern in gewundener Bahn um die Bodenteilchen herum bewegt, und weil der wasserführende Querschnitt kleiner als F ist, die wirkliche Geschwindigkeit daher entsprechend größer als $k \cdot J$ sein muß. Für $J = 1$ ist $v = k$ cm/s.

Die Anwendung der Darcyschen Formel setzt einen im Bereiche der Untersuchung gleichmäßigen Boden voraus. Wir haben es aber in der Natur oft mit Böden zu tun, bei denen leichter und schwerer durchlässige Bodenmassen bunt durcheinander liegen, und in denen alle rein rechnerischen bodenkundlichen Untersuchungen versagen, weil die Beschaffenheit des Bodens so stark wechselt, daß sie sich einer ausreichenden Feststellung entzieht. Schon dünne schwer durchlässige Schichten in sonst durchlässigen Böden vermögen den Wasserdurchfluß maßgebend zu beeinflussen. In schwerdurchlässigen Böden dagegen können Wurzel- und Wurmlöcher, Risse und Sandadern die Durchlässigkeit erheblich vermehren.

Über die Größe der Werte k bei verschiedenen Bodenarten sind zahlreiche Untersuchungen angestellt worden, meistens mit Böden, die sich nicht mehr in natürlicher Lagerung befanden. Es ist fraglich, wieweit man das Ergebnis

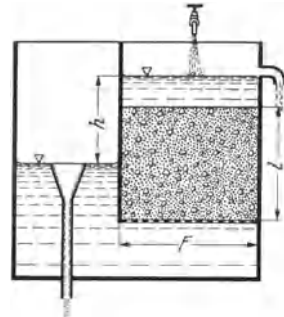


Abb. 5. Filterversuch von Darcy. (Nach Zunker.)

solcher Untersuchungen überhaupt auf die gewachsenen Böden im Felde übertragen darf. Jedenfalls sind die im Schrifttum genannten k -Werte nur für ganz überschlägliche Rechnungen brauchbar. Wie sehr sie voneinander abweichen, zeigt folgende Zusammenstellung der Werte 1000 k (k in cm/s):

Anstaltsversuche nach Thiem (33, 40):		
Feiner Sand	2	Mittelsand 10 bis 30
Grober Sand	30 bis 50	Feiner Kies 40 „ 160
Anstaltsversuche nach Hugentobler (93, 132):		
Reiner Sand		150 bis 310
Gemisch von Sand und Kies		100 „ 500
Nach Kyrieleis (93, 132):		
Sand bei Berlin im Mittel		140
Feiner Sand bei Emden		20
Nach Joachim Schulze (93, 132):		
Kies bei Leipzig		530
Scharfer Sand		280
Sehr feiner Sand mit Schlamm- und Kilaigehalt in Holland		10 bis 20
Nach Zunker (236, 163):		
Gelber sandfreier grober Rheinkies		190 bis 210
Grober Rheinkies		35 „ 40
Grober Rheinkies		19 „ 33
Rheinkies		32 „ 34
Rheinkies mit Schutt		18 „ 19
Ziemlich gleichkörniger reiner Rheinsand		14 „ 15
Zunker gibt außerdem folgenden Überblick über die Werte 1000 k (k in cm/s) bei durchschnittlichem Porenraum (236, 173):		
Kiese		> 100
Kiessande und Sande		100 bis 0,5
Schief-, lehmige und eisenschüssige Sande		0,5 „ 0,002
Sandige Lehme und Tone		0,002 „ 0,00001
Schwere Lehme und Tone		< 0,00001

Die durch den Wert k gekennzeichnete Durchlässigkeit eines Bodens ist nicht etwa nur von der Größe seines Porenraumes abhängig, wie man zunächst vermuten könnte. Denn die als durchlässig bekannten Sandböden haben oft sogar einen kleineren Porenraum als die schwerdurchlässigen Tonböden. Ein Teil des Porenraumes scheidet schon deshalb für den Wasserdurchfluß aus, weil er von dem durch die Bodenteilchen festgehaltenen Benetzungswasser ausgefüllt wird. Dieses nimmt aber bei den Tonböden einen wesentlich größeren Raum ein als bei den Sandböden. Für den Durchfluß des Bodenwassers steht also nur der spannungsfreie Porenraum (S. 7) zur Verfügung, und auch dieser nur insoweit, als er nicht schwer verdrängbare Luft enthält. Von Bedeutung ist ferner der Umstand, daß die einzelnen Poren eines Bodens um so kleiner sind und daher dem Durchgang des Wassers einen um so größeren Widerstand entgegensetzen, je feinkörniger der Boden ist. Aus den vorstehenden Gründen können die sehr feinkörnigen strengen Tonböden fast völlig undurchlässig für Wasser sein. Auch wenn ein schwerer Tonboden noch einen spannungsfreien Porenraum besitzt, so können sich doch die Wasserhüllen des Benetzungswassers so weitgehend berühren und zum Teil ineinander fließen, daß sie eine für den Durchfluß fast undurchdringliche Sperre bilden.

Die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens steigt mit der abnehmenden Zähigkeit des Bodenwassers (S. 11). Man versteht unter der Zähigkeit (Viskosität) den Widerstand, den eine Flüssigkeit der Verschiebung ihrer Teile gegeneinander entgegensetzt. Die vergleichsweise Zähigkeit des Wassers beträgt

bei 0° C	100	bei 20° C	56
„ 10° C	73	„ 30° C	45

Am wertvollsten zur Erlangung einigermaßen zuverlässiger k -Werte für den Einzelfall sind die Untersuchungen des Bodens im gewachsenen Zustande, sei es in einer Versuchsanstalt mit Hilfe von Bodenproben in natürlicher Lagerung,

sei es im Felde am gewachsenen Boden selbst. Ein häufig angewandtes Verfahren ist der Pumpversuch, wegen seiner rechnerischen Behandlung wird auf S. 100 verwiesen.

Zunker hat darauf aufmerksam gemacht, daß in der Nähe von Brunnen bei der Wasserentnahme Gasbläschen aus dem Wasser ausgeschieden werden, die nach längerem Pumpbetrieb zu einer Verstopfung der Bodenporen Anlaß geben können (236, 176).

Ein sehr rohes Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens besteht darin, daß man die in gerader Richtung gemessene Geschwindigkeit v' des Grundwassers, sein Gefälle J und am besten den spannungsfreien Porenraum p'' des Bodens (S. 8) ermittelt, letzteren auch schätzungsweise. Man beachte, daß v' ein anderer Wert ist als die scheinbare Geschwindigkeit v der Gl. (20). Es ist dann

$$Q = v' \cdot F \sqrt[3]{\left(\frac{p''}{100}\right)^2} = k \cdot J \cdot F.$$

F ist ebenso wie in Gl. (19) der volle Querschnitt des Bodens. Aus der vorstehenden Gleichung folgt

$$k = \frac{v' \cdot (p'')^{2/3}}{21,5 \cdot J}. \quad (21)$$

Durch Grundwasserstandbeobachtungen ermittelt man zunächst Richtung und Größe des Grundwassergefälles. An den Punkten 1, 2, 3 (Abb. 6) senkt man Röhren ab und bestimmt den Grundwasserstand. Auf zwei Seiten, z. B. 1—2 und 1—3, findet man durch Einschaltung der Punkte gleicher Grundwasserhöhe die Linie $a-b$, die senkrecht zur Stromrichtung verläuft. Sodann senkt man in der Stromrichtung zwei eiserne, unten durchlochte Röhren I und II bis in den Grundwasserstrom. und zwar in 5 bis 20 m Abstand. Aus diesem und der Höhe der Grundwasserspiegel ergibt sich das Spiegelgefälle J . Nun wird Röhre I mit einem Farbstoff (Fluoreszin) beschickt, und man beobachtet die Zeit, in der es in II erscheint. In humusreichen Böden versagen die Farbstoffe, weil der Farbstoff vom Humus gebunden wird. Man verwendet dann Kochsalz. Der Salzgehalt im Rohr II wird fortlaufend durch Messen mit Silberlösung festgestellt. Maßgebend für v' ist der Zeitpunkt, in dem der größte Salzgehalt bei II auftritt.

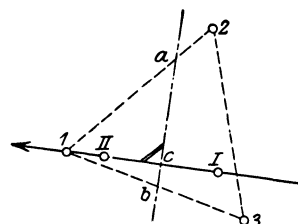


Abb. 6. Bestimmung des Grundwassergefälles. (Nach Krüger.)

Zuerst in Amerika wurde auch ein elektrisches Verfahren angewandt. Dabei ist I ein gewöhnliches Rohr, wie oben beschrieben. In II ist eine unten durch Kautschuk abgedämmte (isolierte) Kupferstange eingelassen. Beide Rohre erhalten etwa 2 m Abstand. Solange Rohr II in reinem Wasser steht, ist das so gebildete galvanische Element ohne Strom. Dieser entsteht erst, sobald das in I gegebene Salz (Chlorammonium) bis II vorgedrungen ist. Der Strom wird durch einen in den Stromkreis zwischen Kupfer und Eisen eingeschalteten Strommesser gemessen, an dessen Ausschlag man den für v' maßgebenden Zeitpunkt erkennen kann, wenn der Größtwert des Salzes bei II auftritt.

Auch Wärmemessungen lassen Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit der Grundwasserbewegung zu, wenn starken Wärmeschwankungen ausgesetztes Oberflächenwasser in das Grundwasser übertritt. Denn dieses ist an sich ziemlich gleichmäßig warm, ändert aber seine Wärme durch die Vermischung mit dem Oberflächenwasser. Der zeitliche Abstand der Wärmewellen im Oberflächen- und Grundwasser läßt sich auf diese Weise ermitteln, und damit die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers.

Die Durchlässigkeit eines Bodens wird auch durch die Zeit ausgedrückt, in der eine bestimmte Wassermenge eine bestimmte Bodenschicht unter dem

Einfluß der Schwerkraft senkrecht durchfließt. Man nennt derartige Versuche Sickerzeitbestimmungen. Oder man mißt die Wassermenge, die in einer bestimmten Zeit hindurchgeht. In beiden Fällen muß der gesamte Porenraum des Bodens mit Wasser gefüllt sein. Vageler gibt das folgende Ergebnis von Versuchen an, bei denen das Wasser eine Bodenschicht von 1 cm Stärke bei 500 mm Unterdruck durchfließen mußte, bezogen auf 1 cm² Fläche (212, 133):

Zahlentafel 5.

Tongehalt %	Durchlässigkeit cm ³ /h	Steighöhe mm	C %
—	5143,0	128	6,0
4,2	400,0	256	9,6
10,1	105,0	526	17,4
39,4	30,0	500	22,5
52,1	18,0	833	50,7
55,0	62,0	500	42,5
64,2	8,0	74	62,1
66,3	30,0	122	53,5
68,0	2,6	27	77,5
70,6	5,0	43	68,2

Beim Absenken des Grundwassers, z. B. durch Pumpen, ist die aus 1 m³ gewachsenen Boden freiwerdende Wassermenge je nach der Bodenart sehr verschieden. Man nennt sie, ausgedrückt in Raumhundertteilen des gewachsenen Bodens, die anteilige (spezifische) Wasserlieferung. Sie ist um so größer, je durchlässiger ein Boden ist, und etwa dem Lufthaltevermögen gleichzusetzen [Gl. (13)]. Man kann die anteilige Wasserlieferung des gewachsenen Bodens dadurch ermitteln, daß man mittels Wasserspiegelmessungen den Raum berechnet, den beim Abpumpen des Grundwassers der Senkungs-

trichter des Brunnens in einem bestimmten Zeitpunkt einnimmt, und diesen Raum mit der geförderten Wassermenge vergleicht.

Neben der Wasserdurchlässigkeit ist auch die Luftdurchlässigkeit der Böden wichtig. Sie wird dadurch ermittelt, daß mit Hilfe eines bestimmten Unterdruckes Luft durch eine Bodensäule gesaugt wird. Man kann für die Luftdurchlässigkeit eine ganz ähnliche Gleichung verwenden wie Gl. (19):

$$Q_l = k_l \cdot J \cdot F. \quad (22)$$

Q_l ist die Luftmenge in cm³/s, die den vollen Bodenquerschnitt F (cm²) durchströmt, wenn J den Druckabfall der Luft in cm Wassersäule je cm Bodensäulenlänge bedeutet. Der Wert k_l heißt Durchlässigkeitsziffer für Luft. Wollny fand folgende Verhältniszahlen (s. nebenstehende Zahlentafel).

Korngröße mm	Luftmenge cm ³ /s
2—1	100
1—0,5	23,7
0,114—0,071	1,17
0,071—0,01	0,06

Die Zahlen zeigen, daß die Luftdurchlässigkeit eines Bodens um so kleiner ist, je kleiner seine einzelnen Poren sind. Sie ist daher auch größer in krümeligen Böden als in gleichen Böden mit Einzelkorngefüge, größer in Sand- als in Tonböden. Je mehr der Porenraum mit Wasser gefüllt ist, um so schwieriger wird naturgemäß der Durchgang der Luft. Sehr wichtig ist der im Boden

sich vollziehende Luftwechsel, der verschiedene Gründe haben kann. Das in den Boden eindringende Niederschlagwasser verdrängt die alte Bodenluft, die Verdunstung saugt neue nach. Auch das Steigen und Fallen des Grundwassers hat eine Luftbewegung im Boden zur Folge. Schließlich bewirken auch Schwankungen der Wärme und des Luftdruckes einen Wechsel der Bodenluft.

11. Der Einfluß der Basen auf den Wasserhaushalt des Bodens.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine scharfe Trennung zwischen den zuständlichen (physikalischen) und stofflichen (chemischen) Vorgängen im Boden nicht möglich ist. Das zeigt sich auch darin, daß die stofflichen Verschiedenheiten der Bodenmasse die zuständlichen Eigenschaften des Bodens, z. B. seinen Wasserhaushalt, weitgehend zu beeinflussen vermögen.

Insbesondere ist es die Bodenbenetzung, die stark vom Basengehalt des Bodens abhängig ist. Die Anzahl der angelagerten Wassermolekeln wird nämlich von der Zahl und Art der zum Quellstoffteilchen gehörenden Ionen beeinflusst.

Das sind elektrisch geladene Atome oder Molekeln. Als solche spielen namentlich Na, K, Mg, Ca und NH_4 eine Rolle, die verschiedene Benetzungsgrößen besitzen, d. h. eine verschiedene Anzahl von Wassermolekeln anzulagern imstande sind. So sind z. B. die Na-Ionen stark, die K- und Ca-Ionen dagegen schwach benetzbar.

Aus dieser Verschiedenheit der Benetzbarkeit ergeben sich wesentliche Unterschiede im Wasserhaushalt der Böden. Starker Natriumgehalt kann die Wasserdurchlässigkeit eines Tonbodens auf Null herabsetzen, weil die Na-Ionen so viel Wasser anlagern, daß der gesamte Porenraum damit ausgefüllt wird und für freibewegliches Wasser (spannungsfreier Porenraum) kein Platz mehr bleibt. Die große Benetzbarkeit des Na hat auch ein starkes Quellen und Schwinden natriumhaltiger Quellstoffteilchen zur Folge. Natriumhaltiger Ton enthält wenig Bodenluft. So ist der Wasserhaushalt neu eingedeichter Seepolder nach der Eindeichung häufig ein sehr schlechter, pflegt sich aber mit der Auswaschung des Salzes (NaCl) allmählich zu bessern.

Starker Natriumgehalt des Tones verhindert auch die wichtige Krümelbildung des Bodens, weil den einwertigen Na-Ionen die sog. Klammerwirkung mehrwertiger Ionen fehlt (s. unten).

Ganz anders als das Natrium verhält sich im allgemeinen das Kalzium. Es ist seit langem bekannt, daß der Kalk in erster Linie den Bodenzustand verbessert. Da Ca eine geringere Benetzbarkeit als z. B. Na und K besitzt, so wird eine durch Kalkung eintretende Verdrängung der Na- oder K-Ionen aus den Quellstoffteilchen durch Ca-Ionen eine Verringerung der angelagerten Wassermolekeln, also der Bodenbenetzung, nach sich ziehen. Kalkhaltige Tonböden pflegen daher auch weniger zu quellen und zu schwinden als natriumhaltige.

Die zweiwertigen Ca-Ionen besitzen außerdem die sog. Klammerwirkung, d. h. ein Ca-Atom kann sich gleichzeitig mit einem zu dem Bodenteilchen *a* gehörigen Atom und mit einem zum Bodenteilchen *b* gehörigen verbinden, so daß auf diese Weise die beiden Teilchen *a* und *b* gleichsam zusammengeklammert werden. Den einwertigen Ionen des Na und K fehlt natürlich diese Fähigkeit. Werden sie also nach einer Kalkung durch Ca-Ionen verdrängt, so tritt die klammernde Wirkung ein, wodurch die Krümelbildung begünstigt wird.

Eine ähnliche Wirkung wie das Ca-Ion hat das gleichfalls zweiwertige Mg-Ion.

Kalzium- und Magnesium-Ionen können jedoch auch eine Vermehrung des Benetzungswassers und eine Verringerung der Krümelbildung bewirken, wenn sie im Boden dreiwertige Ionen (Al, Fe) aus den Quellstoffteilchen verdrängen. Denn die dreiwertigen Ionen wirken weit stärker klammernd und schwächer benetzend als die zweiwertigen. Ihre starke Klammerwirkung ergibt sich daraus, daß sie nicht nur über zwei, sondern über drei freie elektrische Ladungen verfügen. So hat Kappen festgestellt, daß sehr saure Böden, in deren Quellstoffsalzen das dreiwertige Al als ungesättigter Anteil besonders vertreten war, durch Ca- oder Mg-Zufuhr undurchlässiger wurden.

Das K-Ion ist wesentlich weniger benetzbar als das gleichfalls einwertige Na-Ion. Wenn daher natriumtonhaltige Böden eine Kalidüngung erhalten, wird eine Verdrängung der Na-Ionen aus den Quellstoffteilchen durch K-Ionen die Wasserdurchlässigkeit des Bodens vergrößern.

Die vorstehenden Hinweise lassen erkennen, daß eine dauernde Verbesserung des Untergrundes sehr schwerer Böden unter Umständen nur dadurch möglich ist, daß man dem Boden wenig benetzbare Ionen zuführt, die durch Verdrängung der in den Quellstoffteilchen vorhandenen stark benetzbaren Ionen (z. B. Na) den spannungsfreien Porenraum vergrößern. Ohne ein solches Vorgehen würde auch eine Dränung in derartigen Böden keinen dauernden Erfolg haben. Daher die oftmals große Wirkung einer gleichzeitigen Kalkung bei der Dränung schwerer Tonböden.

Auf einem Austausch von Ionen scheint auch die Verfestigung weicher Tonböden zu beruhen, die neuerdings auf elektrisch-stofflichem Wege versucht wird (30). Ferner sind zwischen der Rutschneigung der Tonböden, die durch das Verhalten des Bodens zum Wasser bedingt ist, und ihrem stofflichen Aufbau Zusammenhänge festgestellt worden (157).

12. Der Wärmehaushalt des Bodens.

Sehr wichtig für das Pflanzenwachstum ist die Wärme des Bodens (S. 55). Ein Boden wird durch zugeführte Wärme um so stärker erwärmt, je kleiner seine Stoffwärme (spezifische Wärme) ist. Man versteht darunter diejenige Wärmemenge c in Wärmeeinheiten (cal), die erforderlich ist, um 1 g gewachsenen Boden um 1°C zu erwärmen. Eine cal ist die Stoffwärme von 1 g Wasser bei 15°C . Wärmefassungsvermögen (Wärmekapazität) ist die Wärmemenge, die ein Körper bei der Erwärmung um 1° aufnimmt. Wiegt er g g, so ist also sein Wärmefassungsvermögen $= c \cdot g$.

Die Stoffwärme des gewachsenen Bodens setzt sich zusammen aus derjenigen der festen Bodenteilchen sowie der im Boden vorhandenen Wasser- und Luftmengen. Es ist:

$c = 1$ für Wasser von 15°C .

$c = 0,24$ für Luft. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Luft sich bei der Erwärmung ausdehnen kann.

$c = 0,20$ bis $0,25$ für die festen Bodenteilchen.

Bezeichnet man mit c' diejenige Wärmemenge in Wärmeeinheiten, die nötig ist, um 1 cm^3 um 1° zu erwärmen, so ist $c' = c \cdot s_0$ ($s_0 =$ Stoffgewicht). Man findet daher folgende Werte c' :

Wasser	$s_0 = 1$	$c' = 1$
Luft (760 mm; 10°)	$s_0 = 0,00125$	$c' = 0,0003$
Feste Bodenteilchen in kiesel- säurereichen Böden	$s_0 = 2,65$	$c' = 0,50$ bis $0,65$

Man sieht aus diesen Zahlen, daß ein stark lufthaltiger Boden eine geringe Stoffwärme besitzt und sich daher schnell erwärmt, während starker Wassergehalt die Erwärmung erschwert. Die zur Erwärmung eines Bodens zur Verfügung stehende Wärme stammt fast ausschließlich von der Sonne, indem die Schwingungskraft der Lichtstrahlen Wärmeschwingungen auslöst. Dunkle Böden verwandeln mehr Licht in Wärme als helle, da sie mehr Lichtstrahlen verschlucken als diese.

Nasse Böden leiten die Wärme schneller weiter als trockene. Das liegt daran, daß Luft im Vergleich zu den festen Bodenteilchen und zum Bodenwasser ein sehr schlechter Wärmeleiter ist. Unter der inneren Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes versteht man diejenige Wärmemenge in cal, die durch 1 cm^2 einer 1 cm starken Schicht dieses Stoffes in 1 s hindurchgeht, wenn die Wärme auf der einen Seite der Schicht um 1° größer ist als auf der anderen. Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers beträgt 0,00124, der Luft 0,00005, der festen Bodenteilchen 0,001 bis 0,006 cal (S. 35). Die große Wärmeleitfähigkeit der nassen Böden hat gleichfalls zur Folge, daß sich die obere Bodenschicht im Frühjahr nur langsam erwärmt, weil ein Teil der zugeführten Wärme schnell in tiefere Schichten weitergeleitet wird.

Die Bodenwärme wird auch durch die sog. Wärmeausstrahlung (Wärmeemission) des Bodens beeinflußt. Je größer die Wärme des Bodens als die der Luft ist, um so stärker ist die Ausstrahlung (S. 55). Sie kann so stark werden, daß die Wärme der obersten Bodenschicht kleiner wird als die der Luft, so daß sich Tau oder Reif bildet (S. 83). In nassen Böden, z. B. in Mooren, spielt die Verdunstungskälte eine große Rolle. Sie entsteht dadurch, daß das Wasser bei seinem Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand Wärme verbraucht, die es dem Boden entzieht. Der umgekehrte Vorgang tritt bei der

Taubildung ein, da die Verdichtung des Wasserdampfes der Luft zu Wasser Wärme freigibt, die sog. Verdichtungswärme (Kondensationswärme).

B. Der Stoff des Bodens (Chemie).

Die Pflanze bedarf zu ihrer Ernährung einer Anzahl von Grundstoffen (Elementen), von denen Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Schwefel (S), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Eisen (Fe) die wichtigsten sind. Auch das Kalzium (Ca) ist zum mindesten mittelbar für das Pflanzenwachstum von wesentlicher Bedeutung. Man findet außerdem in der Pflanzenasche Natrium (Na), Silizium (Si), Chlor (Cl), Aluminium (Al), Mangan (Mn), Fluor (F), Brom (Br) und Jod (J).

Den Kohlenstoff entnimmt die Pflanze der in der Luft vorhandenen Kohlen-säure (CO₂), Wasserstoff und Sauerstoff stehen im Wasser (H₂O) reichlich zur Verfügung, letzterer wird zum Teil auch durch Atmung aus der Luft aufgenommen. Die Hauptquelle des Stickstoffes sind die im Boden vorhandenen oder ihm künstlich zugeführten organischen Lebensreste. Bezüglich der übrigen Grundstoffe ist die Pflanze auf die Gesteine angewiesen, die in mehr oder weniger verwittertem Zustande den Boden bilden.

1. Die wichtigsten Gesteine und ihre mineralische Zusammensetzung.

Man unterscheidet die beiden großen Gruppen der Erstarrungs- (Eruptiv-) Gesteine und der Schicht- (Sediment-) Gesteine. Die Erstarrungsgesteine trennt man wieder in die Gruppe der Tiefen- (plutonischen) und der Erguß- (vulkanischen) Gesteine. Die Tiefengesteine sind abgekühlt, bevor sie die Erdoberfläche erreichten. Sie besitzen daher ein körnig-kristallartiges Gefüge im Gegensatz zu den Ergußgesteinen, die ein porphyrisches, auch schlackiges oder glasiges Aussehen zeigen. Die Schichtgesteine sind aus zerstörten Erstarrungsgesteinen unter dem Einfluß der verschiedenen gesteinebildenden Kräfte durch Ablagerung entstanden und allmählich in den harten Gesteinzustand übergegangen. Eine Mittelstellung zwischen den Erstarrungs- und Schichtgesteinen nehmen die kristallinen (kristallinen) Schiefer ein, die sich aus diesen beiden Gruppen gebildet haben. Man nennt sie auch umgebildete (metamorphe) Gesteine.

Nachfolgend ist die Hauptzusammensetzung der wichtigsten Gesteine angegeben. Man spricht von den wesentlichen und den zusätzlichen Bestandteilen eines Gesteines. Die ersteren sind immer vorhanden und bestimmen daher die Gesteinart, während die zusätzlichen Bestandteile zwar meistens zu finden sind, aber in der Regel nur vereinzelt auftreten. Doch kann auch ein zusätzlicher Bestandteil stärker hervortreten und einen wesentlichen Bestandteil in die Rolle eines zusätzlichen zurückdrängen. Die Natur hat auch hier zahlreiche Übergangsformen entstehen lassen. Die wichtigsten zusätzlichen Bestandteile sind im folgenden in eckigen Klammern angegeben.

I. Tiefengesteine.

1. Granit. Feldspat (Orthoklas, Oligoklas), Quarz, Glimmer (Biotit, Muskowit) [Hornblende, Augit, Apatit, Magneteisen, Titanit].

2. Syenit. Feldspat (Orthoklas, Oligoklas), Hornblende, Glimmer (Biotit) [Augit, Leuzit, Nephelin, Titanit, Magneteisen, Quarz]. Abarten: Leuzit- und Nephelinsyenit, in denen Leuzit und Nephelin stärker hervortreten.

3. Diorit. Feldspat (Oligoklas, Anorthit, Labradorit), Hornblende [Biotit, Augit, Quarz, Apatit].

4. Gabbro. Feldspat (Labradorit), Diallag [Olivin, Apatit, Biotit, Magneteisen, Augit].

5. Peridotit. Olivin [Hornblende, Chromeisen].

II. Ergußgesteine.

1. Quarzporphyr, dem Granit entsprechend. Feldspat (Orthoklas), Quarz [Plagioklasse, Augit, Biotit, Hornblende, Magneteisen].

2. Feldspatporphyr und Trachyt, dem Syenit entsprechend. Feldspat (Orthoklas) [Plagioklas, Biotit, Augit, Hornblende, Quarz].

3. Phonolith, dem Nephelinsyenit entsprechend. Feldspat (Orthoklas), Nephelin [Augit, Leuzit, Hornblende, Biotit, Magneteisen].

4. Porphyrit, dem Diorit entsprechend. Feldspat (Plagioklas), Hornblende [Augit, Biotit].

5. Diabas (Grünstein) und Melaphyr, dem Gabbro entsprechend. Feldspat (Plagioklas), Augit, oft auch Olivin als Hauptgemengteil [Magneteisen, Apatit, Olivin].

6. Basalt, als jüngerer Gestein gleichfalls dem Gabbro entsprechend. Feldspat (Plagioklas), Augit, Magneteisen, oft auch Nephelin, Leuzit und Olivin als Hauptgemengteile [Hornblende, Biotit, Titanit, Apatit]. Abarten: Nephelin- und Leuzitbasalt.

Einen Überblick über die stoffliche Zusammensetzung einiger Erstarrungsgesteine gibt die folgende Zusammenstellung (nach R. Lang):

Zahlentafel 7.

Gesteine	Kiesel- säure	Tonerde	Eisen- oxyd	Eisen- oxydul	Kalk	Magnesia	Kali	Natron	Wasser
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Granit	67,70	16,08	5,26	—	1,65	0,95	5,78	3,22	—
Syenit	59,37	17,92	6,77	2,02	4,16	1,83	6,68	1,24	0,38
Diorit	52,97	22,56	5,47	4,03	7,51	2,13	0,44	2,31	2,24
Gabbro	49,14	15,90	5,88	9,49	10,50	6,64	0,28	2,26	0,52
Peridotit	41,44	6,63	13,87	6,30	7,20	18,42	0,93	0,24	5,60
Quarzporphyr	70,85	14,12	4,72	—	1,62	—	3,57	5,23	0,65
Trachyt	63,61	16,34	4,30	2,08	1,47	0,37	5,54	6,21	0,77
Augitporphyrit	63,08	14,19	7,98	—	4,20	1,23	2,09	3,47	3,45
Diabas	47,36	16,79	1,53	7,93	0,08	6,53	0,84	2,85	3,05
Basalt	48,81	15,03	3,76	1,65	7,85	8,09	1,12	3,42	2,12

III. Kristallische Schiefer.

1. Gneis. Feldspat (Orthoklas), Quarz, Glimmer (Biotit, Muskowit) [Plagioklas, Magneteisen, Graphit, Hornblende, Granat].

2. Glimmerschiefer. Quarz, Glimmer [Magneteisen, Granat, Chlorit].

3. Phyllit (Urtonschiefer). Quarz und Glimmer in sehr kleinen Teilchen [Feldspat, Chlorit, Hornblende, Magneteisen].

IV. Schichtgesteine.

1. Tongesteine. Sie bestehen in der Hauptsache aus Tonerdesilikat, dem Zersetzungsergebnis feldspathaltiger Gesteine, und enthalten außerdem Glimmer- und Quarzteilechen sowie Eisen. Kaolin ist ein Gemenge von Tonerde und Kieselsäure. Sandiger, durch Eisen gelb gefärbter Ton heißt Lehm. Kalkhaltigen Ton oder Lehm nennt man Mergel. Die Tonschiefer sind aus Tonen entstanden und durch Gebirgsdruck geschiefert.

2. Sandgesteine. Sie enthalten im wesentlichen Kieselsäure in der Form des Quarzes, daneben die verschiedensten Bestandteile wie Feldspat, Kalk, Glimmer, Magneteisen. Sehr feiner Sand heißt Schluff. Der Löß ist ein überaus feinkörniger, kalkhaltiger Quarzstaub. Quarzite sind sehr feste Sandsteine mit kieseligem Bindemittel. Die Grauwacke ist ein fein- bis grobkörniger fester grauer Sandstein.

3. Kalkgesteine. Sie bestehen in der Hauptsache aus kohlenurem Kalk. Meereskalke haben sich aus den Schalen der Meeresbewohner gebildet (Korallenriffe). Im Süßwasser können auf dem Boden von Seen Süßwasserkalke entstehen (Reste von Muschelschalen, Aussonderungen von Pflanzen). Derartige Kalke findet man häufig am Grunde von Flachmooren (Kalkmudde). Ein wichtiges Kalkgestein ist der Geschiebemergel. Ferner gehören hierher der Kalkspat, der Marmor, ein sehr reines Kalkgestein, und der Dolomit.

4. Kieselgesteine. Aus den Schalen der Kieselalgen (Diatomeen) ist die Kieselgur entstanden. Zu den Kieselgesteinen gehören außerdem die Kieselschiefer und der Feuerstein.

5. Kohlengesteine. Man rechnet zu ihnen die Moore, die Braunkohle, Steinkohle und den Anthrazit. Faulschlamme, auch Sapropelite genannt (vom griechischen pelos = Schlamm und sapos = faul), sind aus öl- und fetthaltigen Algen und aus tierischen Stoffen (Kot, Leichen) entstanden. Man findet sie häufig unter Flachmooren, wo sie sich auf dem Grunde der früheren Seen gebildet haben (Mudden; S. 47).

Auch das Erdpech (Bitumen) ist sehr wahrscheinlich aus tierischen oder pflanzlichen Ölen und Fetten unter Luftabschluß entstanden. Erdpech ist ein Sammelname für feste und flüssige Kohlenwasserstoffverbindungen der Erdrinde, die besonders reich an Wasserstoff

sind. Zu den Erdpechen gehören das Erdöl (Petroleum) und der Asphalt. Letzterer gilt als eine Umwandlung des entgasten Erdöls durch Sauerstoff.

6. Ausscheidungsgesteine. Diese Gruppe umfaßt die verschiedenen Salze (Steinsalz, Kainit, Carnallit usw.), ferner Soda, Anhydrit, Gips, Chilisalpeter.

Den Gesteinen, die durch Verwitterung bereits Bodenform angenommen haben, ist ein besonderer Abschnitt gewidmet (S. 33).

2. Die wichtigsten Minerale und ihre stoffliche Zusammensetzung.

Die vorstehend genannten wichtigsten Bestandteile der Gesteine, die sog. Minerale, sind im folgenden nach ihrer stofflichen Zusammensetzung aufgeführt. Der besseren Übersichtlichkeit halber sind weitgehendst Sauerstoffformeln (Oxydformeln) verwendet.

I. Grundstoffe (Elemente).

Graphit = reiner Kohlenstoff (C).

II. Einfache Sauerstoffverbindungen (Oxyde).

Quarz = Siliziumdioxid oder Kieselsäureanhydrid, meist kurz Kieselsäure genannt (SiO_2).

Kieselgur = wasserhaltige Kieselsäure (Opal) ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Kieselschiefer, Feuerstein = dichter Quarz mit Opalresten.

Kaolin = Tonerde, Kieselsäure und gebundenes Wasser ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Titansäure = Titandioxyd (TiO_2).

Die wichtigsten Sauerstoffverbindungen des Eisens sind folgende:

Roteisenstein = hauptsächlich Eisenoxyd (Fe_2O_3).

Brauneisenstein (Limonit) = Eisenoxyd und gebundenes Wasser (z. B. $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Eine Abart ist das in Mooren und Sümpfen abgesetzte Raseneisenerz (Wiesen-, Sumpf-, See-Erz). Auch der Rost ist im wesentlichen wasserhaltiges Eisenoxyd (Eisenoxydhydrat).

Magneteisen (Magnetit) = Eisenoxydul und Eisenoxyd ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$).

Spateisenstein = kohlen-saures Eisenoxydul (FeCO_3).

Chrom-eisen = Eisenoxydul und Chromoxyd ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$).

An Sauerstoffverbindungen, die in der Bodenkunde Bedeutung haben, sind noch folgende zu nennen:

Tonerde = Aluminiumoxyd (Al_2O_3). Aus Tonerde mit gebundenem Wasser besteht der Bauxit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Kali = Kaliumoxyd (K_2O).

Natron = Natriumoxyd (Na_2O).

Kalk = Kalziumoxyd (CaO).

Magnesia = Magnesiumoxyd (MgO).

Phosphorsäure in der Anhydridform = Phosphor-pentoxyd (P_2O_5).

Schwefelsäure in der Anhydridform = Schwefel-trioxyd (SO_3).

III. Kieselsaure Salze (Silikate).

1. Feldspat-Gruppe.

Orthoklas (Kalifeldspat) = Kalium-(Natrium-)Aluminium-Silikat ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Übergang zum Albit ($[\text{KNa}]_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Eine glasige Abart ist der Sanidin.

Die folgenden 4 Feldspate werden unter dem Sammelnamen Plagioklase (Natron-Kalk-Feldspate) zusammengefaßt:

Albit (Natronfeldspat) = Natrium-Aluminium-Silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

Anorthit (Kalkfeldspat) = Kalzium-Aluminium-Silikat ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Oligoklas (Natronkalkfeldspat) = Mischung von Albit und Anorthit mit vorherrschendem Natrongehalt.

Labradorit (Kalknatronfeldspat) = wie vor mit vorherrschendem Kalkgehalt.

Zeolithe (Siedesteine) = Kalzium- oder Natrium-Aluminium-Silikate mit gebundenem Wasser. Stofflich leicht angreifbar, beim Erhitzen schäumen sie auf. Die folgenden Formeln geben mittlere Zusammensetzungen an:

Analzim ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Natrolith ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Skolezith ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 3$ bis $4\text{H}_2\text{O}$) und andere.

Ferner die beiden Feldspatvertreter:

Leuzit = Kalium-Aluminium-Silikat ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$).

Nephelin = Natrium-Kalium-Aluminium-Silikat ($[\text{KNa}]_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

2. Glimmer-Gruppe.

Biotit (Eisenmagnesiaglimmer) = Aluminium-Silikat mit Eisen und Magnesia, auch mit Kali, Kalk, Natron. Stark wechselnde Zusammensetzung. Häufig Muskowitmolekeln mit Olivinmolekeln in verschiedenem Verhältnis.

Muskowit (Kaliglimmer) enthält Tonerde, Kieselsäure, Kali und Wasser. Häufig: ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Die Zusammensetzung ist der des Kalifeldspates sehr ähnlich.

Chlorit = basisches, wasserhaltiges Tonerdesilikat des Magnesiums. Etwa: $(3 \text{ MgO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O})$. Zum Teil Mg und Al auch durch Fe ersetzt.

3. Pyroxen-Amphibol-Gruppe.

Augit (Pyroxen) und Diallag = Kalk-Magnesia-Silikat mit Eisen und Tonerde. Häufig: $(\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{ SiO}_2)$ in verschiedenen Mischungen. Statt Mg und Al auch Fe.

Hornblende (Amphibol) = Tonerde-Alkali-Kalk-Magnesia-Eisen-Silikat. Die Molekeln sind zum Teil dieselben wie die des Augits. Außerdem: $(\text{CaO} \cdot 3 \text{ MgO} \cdot 4 \text{ SiO}_2)$. Statt Mg auch Fe.

Olivin = Magnesium-Eisen-Silikat $(2 \text{ MgO} \cdot \text{SiO}_2 + 2 \text{ FeO} \cdot \text{SiO}_2)$.

Zu den kiesel-sauren Salzen gehören noch:

Titanit = kiesel-saures und titans-aures Kalzium $(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2)$.

Granat = Kalzium-Aluminium-Silikat mit Magnesia und Eisen, auch Chrom $(3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{ SiO}_2)$. Statt Ca auch Mg oder Fe, statt Al auch Cr oder Fe.

IV. Phosphorsaure Salze (Phosphate).

Apatit = phosphorsaures Kalzium mit Chlor und Fluor. Chlorapatit: $3 [\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2]$ + CaCl_2 . Fluorapatit: $3 [\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2] + \text{CaF}_2$. In verschiedenen Mischungen.

Vivianit (Bläuisenerde) = phosphorsaures Eisenoxydul mit gebundenem Wasser $(\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O})$.

V. Kohlensaure Salze (Karbonate).

Kalkspat, Marmor = kohlensaures Kalzium (CaCO_3) .

Magnesit = kohlensaures Magnesium (MgCO_3) .

Dolomit $(\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3)$.

Soda = kohlensaures Natrium mit gebundenem Wasser $(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O})$.

VI. Schwefelsaure Salze (Sulfate).

Pyrit (Eisenkies, Schwefelkies) und Markasit (Strahlkies) = Schwefeleisen (FeS_2) .

Anhydrit = schwefelsaures Kalzium (CaSO_4) .

Gips = schwefelsaures Kalzium mit gebundenem Wasser $(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O})$.

VII. Salpetersaure Salze (Nitate).

Kalialpeter = salpetersaures Kalium (KNO_3) .

Natronalpeter = salpetersaures Natrium (NaNO_3) . Hauptbestandteil des Chili-salpeters.

VIII. Steinsalz und Abraumsalze.

Steinsalz = Chlornatrium (NaCl) .

Sylvin = Chlorkalium (KCl) .

Kainit = Chlorkalium und schwefelsaures Magnesium mit gebundenem Wasser $(\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O})$.

Carnallit = Chlorkalium und Chlormagnesium mit gebundenem Wasser $(\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O})$.

Kieserit = schwefelsaures Magnesium mit gebundenem Wasser $(\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})$ und andere.

Die Verschiedenheit in der stofflichen Zusammensetzung der Bodenarten ist aus der folgenden Zusammenstellung zu ersehen (193, 143):

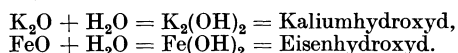
Zahlentafel 8.

	Sandboden	Lehmboden	Tonboden (mergelig)	Tonboden (schwarz- erdig)	Kalk- boden
Stickstoff (N)	0,13	0,18	0,26	0,78	0,25
Kali (K_2O)	0,04	1,06	2,60	1,96	0,85
Kalk (CaO)	0,17	0,96	5,97	1,91	29,96
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,03	0,18	0,20	0,20	0,22
Natron (Na_2O)	0,03	0,37	1,17	1,16	0,22
Magnesia (MgO)	0,14	0,88	2,22	1,71	0,48
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,74	5,20	4,60	4,11	1,16
Tonerde (Al_2O_3)	1,06	7,04	15,12	15,20	6,82
Kieselsäure (SiO_2)	92,50	76,14	54,53	52,23	25,44
Schwefelsäure (SO_3)	0,01	0,01	0,17	0,01	0,10
Kohlensäure (CO_2)	Spur	Spur	4,63	0,03	23,54
Chlor (Cl)	Spur	Spur	0,11	Spur	Spur
Organische Stoffe	3,04	4,63	8,54	21,40	12,06
Mineralstoffe	96,96	95,37	91,46	78,60	87,94

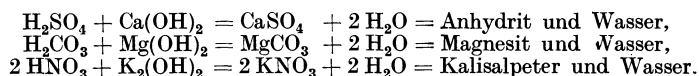
Die Zahlen sind Gewichtshundertteile des trockenen Bodens und beziehen sich auf die Oberkrume.

3. Basen und Säuren.

Für das Wachstum unserer Nutzpflanzen ist ein ausreichender Gehalt des Bodens an Basen von Wichtigkeit. Basen nennt man alle Verbindungen, die mit Säuren Salze zu bilden vermögen. Sie entstehen aus den Sauerstoffverbindungen durch Wasseraufnahme:



Die Säuren haben ihre Bezeichnung nach ihrem sauren Geschmack erhalten. Wenn sie gelöst sind, spalten sich ihre Molekeln zum Teil in positiv elektrisch geladene Wasserstoffatome (Wasserstoffionen) und in den Restteil, der negativ geladen ist (Dissoziation). Bei der Salzbildung werden die Wasserstoffionen der Säure durch die Metallionen der Base ersetzt:



Das Bindungsvermögen der Böden (S. 15) wird durch die sog. Bodenzeolithe stark gefördert. Diese dürfen nicht mit den kristallischen Zeolithen (Siedesteinen) verwechselt werden. Man versteht unter Bodenzeolithen wasserhaltige Doppelsilikate des Kalziums und Natriums, die neben Aluminium verschiedene Basen enthalten, die gegen andere Basen leicht ausgetauscht werden. Wenn ein Boden z. B. mit Kali- oder Ammoniaksalzen gedüngt wird, treten das Kalium oder Ammonium (NH_4) des Düngers an die Stelle des Kalziums oder Natriums der Bodenzeolithe und werden so durch stoffliche Bindung (Absorption) vor dem Auswaschen bewahrt. Man nennt diesen Vorgang Basenaustausch. An ihm sind namentlich Na, K, NH_4 , Mg und Ca beteiligt.

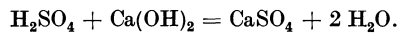
Die Verwitterung, die Pflanzen und die sauren künstlichen Dünger entziehen dem Boden im Laufe der Zeit immer größere Mengen an kohlenurem Kalk und Basen der Silikate, so daß eine fortschreitende Verarmung an Basen die Folge ist und schließlich eine allgemeine Bodenversäuerung eintreten kann. Die Bodensäure tritt in verschiedenen Formen (Aziditätsformen) auf. Ihre Bestimmung ist für landwirtschaftliche Zwecke von Bedeutung. Ob ein Boden einen Säure- oder einen Basenüberschuß besitzt, hängt von dem Umfang ab, in dem die Wassermolekeln gespalten sind. Wir sprechen daher von der Wasserspaltung des Bodens (Bodenreaktion), die alkalisch, neutral oder sauer ist.

Bei ihrer Ermittlung spielt die Wasserstoffionendichte, der sog. p_H -Wert eine Rolle (130). Jedes Wasser enthält außer den Wassermolekeln (H_2O) noch kleine Mengen gespaltenen Molekeln, sog. freie Ionen von Wasserstoff (H^+) und Hydroxyl (OH^-). In reinen, neutral gespaltenen Wassers enthält nun stets ganz bestimmte Gewichtsmengen H-Ionen und OH-Ionen, die nur von der Wärme des Wassers abhängig sind. Sie betragen bei 22°C 10^{-7} g H-Ionen und die gleiche Gewichtsmenge OH-Ionen. Säuren sind dadurch gekennzeichnet, daß sie in einer wässrigen Lösung H-Ionen abspalten, während Basen OH-Ionen liefern. Der Zutritt einer Säure zum neutral gespaltenen Wasser hat daher zur Folge, daß die Dichte der H-Ionen im Wasser größer wird. Gleichzeitig wird die Dichte der OH-Ionen kleiner, da nach dem sog. Massenwirkungsgesetz das Vielfache aus der Gewichtsmenge H-Ionen und der Gewichtsmenge OH-Ionen in 1 l Wasser bei derselben Wärme stets einen ganz bestimmten Wert hat. Umgekehrt bewirkt eine ins Wasser gebrachte Base eine Vermehrung der OH-Ionen und eine entsprechende Verminderung der H-Ionen. Der Gewichtgehalt des Wassers an H-Ionen gibt somit einen Maßstab für seine Spaltung. Sobald nämlich die in 1 l Wasser enthaltene Menge der Wasserstoffionen größer als 10^{-7} g wird, etwa gleich 10^{-6} , geht der neutrale Zustand in den sauren über. Umgekehrt ist eine Verringerung der Wasserstoffionenmenge (z. B. 10^{-8}) gleichbedeutend mit einer alkalischen Spaltung des Wassers. Man nennt das Grammgewicht der Wasserstoffionen im Liter die Wasserstoffionendichte und die

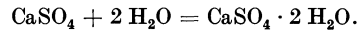
Hochzahlen (Exponenten) die Wasserstoffzahlen (p_H). Die vorstehend für Wasser angestellten Betrachtungen gelten auch für wässrige Bodenauszüge. Die Wasserspaltung eines Bodens ist daher neutral, wenn der p_H -Wert seiner wässrigen Lösung gleich 7 ist; wird p_H kleiner als 7, so ist die Wasserspaltung sauer, während ein p_H -Wert, der größer als 7 ist, eine alkalische Wasserspaltung anzeigt. Die p_H -Zahlen der Bodenlösungen schwanken zwischen den Grenzwerten 3 und 11.

Der p_H -Wert eines Bodens wird durch Zuführung von Säuren oder Basen mehr oder weniger schnell geändert. Der Widerstand, den die einzelnen Böden einer solchen Änderung ihrer Wasserspaltung entgegensetzen, ist ein sehr verschiedener. Man nennt dieses Festhalten des Bodens an seiner Wasserspaltung die Pufferung des Bodens.

Besonderer Erwärnung bedarf noch die zerstörende Wirkung der im Boden vorkommenden Säuren auf Betonbauwerke und Zementrohre. Ausgangspunkt der Zerstörungen ist namentlich die Schwefelsäure (S. 48). Sie bildet mit Kalk den Anhydrit

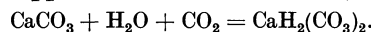


Unter Aufnahme von Wasser geht der Anhydrit unter bedeutender Raumvergrößerung in Gips über, es entsteht das sog. Gipstreiben, das den Beton lockert



Trifft CaSO_4 mit tonerdehaltigen Wasserbindemitteln (hydraulischen Bindemitteln) zusammen, so bildet sich unter Aufnahme von Wasser Kalktonerdesulfat, der gefürchtete „Zementbazillus“ ($3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 30 \text{H}_2\text{O}$), der auf den Zement stark zersetzend und infolge bedeutender Wasseraufnahme sprengend wirkt.

Auch freie Kohlensäure kann den Zement und Beton angreifen. Ihre Wirkung besteht darin, daß sie den schwer löslichen kohlensauren Kalk (CaCO_3) in die lösliche Form des doppeltkohlensauren Kalkes (Bikarbonats) überführt:



Als betongefährlich ist schließlich noch die Humussäure zu nennen. Über ihre stoffliche Natur sind die Forschungen noch nicht abgeschlossen. Odén (142, 102) bezeichnet sie als eine vierbasische, mittelstarke Säure, die im Wasser sehr schwer löslich ist, aber leicht quellstoffliche (kolloide) Lösungen gibt. Sie ist eine Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff.

C. Das Leben im Boden (Biologie).

1. Allgemeines.

Im Boden herrscht reges Leben (Edaphon). Bakterien, Pilze, niedere Tiere und Algen entfalten hier eine starke Tätigkeit, ohne die weder das Wachstum der Pflanzen noch der Abbau der toten Pflanzenreste, also die Bildung des wichtigen Humus, möglich sein würde.

Die Zahl der im Boden befindlichen Kleinlebewesen ist außerordentlich groß. Im Mittel kann man im Ackerboden etwa 10 bis 100 Millionen Bakterien und Pilze je Gramm Boden annehmen, im Ödland (Moor und Heide) wesentlich weniger. Die Anzahl der Kleinlebewesen pflegt in 10 bis 20 cm Tiefe unter der Erdoberfläche am größten zu sein und nimmt dann mit weiterer Tiefe schnell ab.

In den meisten Böden überwiegen die Bakterien und Pilze. Unter den Bodenpilzen spielen die Schimmelpilze eine besondere Rolle. Von den niederen Tieren trifft man die Urtierchen (Protozoen) wie Amöben und Geißeltierchen, deren Nahrung hauptsächlich in Bakterien besteht und die als Wassertierchen feuchte Böden (z. B. Moore) bevorzugen. Würmer und Larven wirken

lockernd auf den Boden und erleichtern die abbauende Tätigkeit der Kleinlebewesen dadurch, daß sie gröbere organische Reste zerkleinern. In diesem Sinne ist auch die Tätigkeit der Regenwürmer von Bedeutung.

2. Die Lebensbedingungen der Kleinlebewesen.

Die Kleinlebewesen können im Boden nur dann eine rege Tätigkeit entfalten, wenn sie ihnen zusagende Lebensbedingungen vorfinden. Während unter besonders ungünstigen Verhältnissen jede Lebenstätigkeit eingestellt wird und eine Art Scheintod eintritt, lösen günstige Umstände einen außerordentlich regen Stoffwechsel aus, der das Hundert- bis Tausendfache des eigenen Körpergewichtes an einem Tage umsetzt.

Auch die Kleinlebewesen des Bodens brauchen wie andere Lebewesen Nahrung, Wasser, Wärme und zum Atmen Sauerstoff. Da sie etwa 80 bis 90% Wasser enthalten, können sie sich nur bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit lebhaft entwickeln und vermehren. Nach Löh nis gedeihen die landwirtschaftlich nützlichen Kleinlebewesen am besten, wenn das kleinste Wasserhaltevermögen des Bodens zu etwa 50 bis 75% gesättigt ist. Es gibt aber auch Kleinlebewesen, die wesentlich größere Wassermengen im Boden bevorzugen und daher gerade an sumpfigen Stellen besonders gut gedeihen. Zu ihnen gehören die Schwefelwasserstoff-, Buttersäure- und Sumpfgas- (Methan-) Bildner. Bei starker Austrocknung des Bodens wird die Lebenstätigkeit schwächer und kann schließlich vorübergehend ganz eingestellt werden (Trockenstarre), um später bei zunehmender Feuchtigkeit sofort wieder einzusetzen. Vielfach werden von den niederen Lebewesen auch Dauerformen (Sporen oder Zysten) gebildet, die eine besonders große Widerstandsfähigkeit gegen lebensfeindliche Einflüsse der Umwelt besitzen.

Ein übermäßiger Wassergehalt des Bodens ist für die landwirtschaftlich nützlichen Kleinlebewesen namentlich deshalb schädlich, weil er die Luft aus dem Boden verdrängt, die von den Luftbrauchenden (Aeroben) zum Atmen benötigt wird. Während die Pflanze Kohlensäure und Wasser unter Abgabe von Sauerstoff zum Aufbau ihrer Masse verwendet, wird im Boden dieselbe tote Masse unter Bindung von Sauerstoff und unter Abgabe von Kohlensäure und Wasser wieder abgebaut. Nur dann, wenn der Boden infolge übermäßiger Nässe zu wenig Luft und damit zu wenig freien Sauerstoff enthält, wie es z. B. in den Mooren der Fall ist, wird der Abbau der toten Pflanzenreste verhindert, der aber nach der Entwässerung des Moores sofort beginnt. Auch die Zersetzung der organischen Dünger im Acker ist von einem ausreichenden Luftzutritt abhängig. Es gibt im Boden aber auch Lebewesen, die ohne Luft atmen können, weil sie imstande sind, den für die Atmung erforderlichen Sauerstoff den sauerstoffreichen Verbindungen des Bodens zu entziehen. Man nennt sie die Luftentbehrenden (Anaeroben) und ihre Tätigkeit eine zurückführende (reduzierende). Sie haben für den Abbau der Lebensreste keine Bedeutung.

Neben Wasser und Sauerstoff ist auch eine gewisse Wärmemenge für die Lebenstätigkeit der Kleinlebewesen erforderlich, die im allgemeinen bei etwa 20° am stärksten zu sein scheint. Bei Frost wird zwar der Stoffwechsel unterbunden, es tritt aber die sog. Kältestarre ein, die auch in langen und starken Frostzeiten das Leben erhält. Höhere Wärmegrade als 40 bis 50° können viele unserer heimischen Kleinlebewesen nicht ertragen, während die bereits erwähnten Dauerformen der Bakterien und Pilze auch gegen sehr hohe Wärmegrade fast unempfindlich sind.

Die meisten Kleinlebewesen des Bodens ernähren sich von den Lebensresten der verschiedensten Art. Seltener dienen ihnen mineralische Stoffe zur Nahrung.

Die Tätigkeit der Kleinlebewesen wird ebenso wie die der höheren Pflanzen auch durch die Wasserspaltung (Reaktion) des Bodens beeinflusst. Die für unsere Nutzpflanzen vorteilhaften Bodenbakterien bevorzugen im allgemeinen eine neutrale oder schwach alkalische Wasserspaltung des Bodens, während die meisten Bodenpilze saure Böden lieben.

3. Der Abbau der organischen Stoffe. Bildung von Humus und Kohlensäure.

Die Hauptaufgabe, die die Kleinlebewesen des Bodens im Haushalt der Natur zu erfüllen haben, besteht in dem Abbau der im Boden vorhandenen organischen Stoffe (Pflanzenreste, Stalldünger, Kompost). Die weitaus meisten Lebensreste des Bodens sind kohlenstoffhaltige Verbindungen, die bei ausreichendem Luftzutritt durch luftbrauchende Lebewesen zu Kohlensäure und Wasser abgebaut werden. Auch der wichtige Abbau der Holzfaser ist hier zu nennen. Bei völligem Luftabschluß in nicht entwässerten Mooren und in Sümpfen ist jedoch die Zersetzung durch luftentbehrende Bakterien nur eine unvollständige, wie man ja in den Mooren deutlich erkennt. Sie geht über die Bildung organischer Säuren nicht hinaus. Daneben entstehen Sumpfgas (Methan, CH_4), Kohlenoxyd (CO) und Wasserstoff (H), die bei Zutritt von Luft gleichfalls durch Bakterien in Kohlensäure und Wasser zersetzt werden. Diese Tätigkeit der luftentbehrenden Bakterien ist in mehr oder minder ausgeprägter Form überall dort zu beobachten, wo infolge übermäßigen Wassergehaltes des Bodens die im Boden befindlichen Lebensreste nur ungenügend zersetzt werden. So kann man häufig auf Wiesen, die seit längerer Zeit überschwemmt sind, die Bildung von Sumpfgas feststellen. Man nennt die bei reichlicher Sauerstoffmenge vor sich gehende Zersetzung der Lebensreste Verwesung, die Zersetzung bei Sauerstoffmangel dagegen Fäulnis.

Ein wichtiges Ergebnis der bei Luftzutritt vor sich gehenden Zersetzung ist die Humusbildung. Schon Thaer hatte die Bedeutung des Humus für die Landwirtschaft erkannt und sah in ihm den fruchtbringenden Bestandteil des Bodens. Man hat dann den Humus zugunsten der künstlichen Dünger lange Zeit vernachlässigt, um ihm jetzt wieder größere Bedeutung zukommen zu lassen (S. 47).

Die Tätigkeit der luftbrauchenden Kleinlebewesen hat ferner die Bildung der Kohlensäure zur Folge. Je lebhafter diese Tätigkeit ist, um so größer ist die Menge der entstehenden Kohlensäure. Ausreichende Feuchtigkeit, Wärme und gute Durchlüftung des Bodens sind die Vorbedingungen für eine möglichst umfangreiche Bildung des wichtigen Gases, das bekanntlich für die Pflanzen unentbehrlich ist. Bei ruhiger Luft kann die aus dem Boden entweichende Kohlensäure auch unmittelbar an Ort und Stelle in dichten Pflanzenbeständen festgehalten und verwertet werden, da sie schwerer als Luft ist.

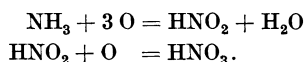
Ein Teil der Kohlensäure wird im Bodenwasser gelöst, und dieses kohlenstoffhaltige Wasser besitzt die Fähigkeit, die im Boden vorhandenen Mineralstoffe weit stärker aufzuschließen als gewöhnliches Wasser. So vorteilhaft das einerseits für die Pflanzen ist, für deren Ernährung die aufgeschlossenen Mineralstoffe unentbehrlich sind, so bringt die Kohlensäure doch andererseits auch den Nachteil mit sich, daß sie den kohlenstoffreichen Kalk stark löst, der dann durch das Sickerwasser fortgeführt wird (S. 28).

Die im Boden gebildete Kohlensäure wird zu einem allerdings nur kleinen Teil dadurch wieder verbraucht, daß Kleinlebewesen sie in gleicher Weise wie die höheren Pflanzen verbrauchen. Man spricht daher von einem Kohlensäureverbrauch (Kohlensäure-Assimilation) im Boden, der namentlich von den Salpeterbakterien verursacht wird.

4. Der Stickstoffumsatz im Boden.

Von besonderer Bedeutung ist der Stickstoffumsatz im Boden. Zunächst werden die dem Boden zugeführten Eiweiß- und Amidstoffe, die z. B. im Stall- und Gründünger enthalten sind, von zahlreichen Kleinlebewesen zu Ammoniak (NH_3) abgebaut. Dieser Abbau vollzieht sich in allen Böden unter den verschiedensten Verhältnissen, ohne etwa von ausreichender Luftzufuhr oder anderen Voraussetzungen abhängig zu sein. Das so gebildete Ammoniak wirkt einer Versäuerung des Bodens entgegen, es wird namentlich vom Humus gebunden und kann von den Pflanzen aufgenommen werden. Allerdings ist auch mit Stickstoffverlusten zu rechnen, weil ein Teil des Ammoniaks durch Verdunstung verloren gehen kann.

Das Ammoniak erfährt aber zum Teil eine weitere Umbildung, indem es von den Salpeterbakterien zu Salpeter verarbeitet wird:



Weiter bilden sich Nitrite (KNO_2 und NaNO_2) und Nitrate (KNO_3 und NaNO_3), die eine unmittelbare Stickstoffnahrung der Pflanzen sind. Da bei diesem Vorgang salpetrige Säure (HNO_2) und Salpetersäure (HNO_3) entstehen, die sofort unschädlich gemacht werden müssen, da sie sonst die Bakterien töten würden, und da der Umbau des Ammoniaks zu Salpeter die Gegenwart von Sauerstoff voraussetzt, so kann Salpeter nur dann gebildet werden, wenn sich ausreichend Luft und Basen im Boden befinden. In Sümpfen und nassen Mooren findet daher keine Salpeterbildung statt. Die Salpeterbakterien sind bei weitem nicht so zahlreich wie die Ammoniakbildner und wesentlich anspruchsvoller als diese hinsichtlich der Wasserspaltung (Reaktion) und des Luftgehaltes des Bodens.

Wenn vorübergehend Luftmangel im Boden eintritt, entziehen viele Kleinlebewesen, die bei ausreichendem Luftgehalt das Ammoniak in Salpeter verwandeln, umgekehrt dem Salpeter wieder den Sauerstoff, den sie zur Atmung brauchen, und bewirken so zeitweise eine Zurückführung des Salpeters zu Ammoniak (Reduktion).

Findet eine starke Vermehrung der Kleinlebewesen im Boden statt, so muß neues Körperprotein aufgebaut werden, so daß eine sog. Eiweißbildung im Boden die Folge ist. Das ist der Fall, wenn die Kleinlebewesen unter auch sonst günstigen Umständen reichliche Kohlenstoffnahrung im Boden vorfinden, wie es z. B. beim Unterpflügen unzersetzten Stallmistes oder einer frischen Gründüngung eintreten kann. Die dann einsetzende Eiweißbildung entzieht den Pflanzenwurzeln den Stickstoff. Das ist der Grund, weshalb Stallmist und Gründüngung dem Boden in verrottetem Zustande zugeführt werden sollen, der den Kleinlebewesen weniger verwertbare Kohlenstoffnahrung liefert und daher ihre übermäßige Vermehrung verhindert.

Es gibt auch zahlreiche Bakterien, die den Salpeter zersetzen (denitrifizieren), ein Vorgang, der jedoch nur bei Luftmangel im Boden eintritt, und wenn leicht zersetzliche Kohlenstoffverbindungen in reichlicher Menge vorhanden sind. Die Salpeterzersetzung kann auch im lagernden Stalldünger stattfinden. Bei guter Pflege des Stallmistes ist jedoch die Salpeterbildung so gering, daß die salpeterzersetzenden Bakterien keine erhebliche Zersetzungsarbeit leisten können.

Neuerdings glaubt Zunker festgestellt zu haben, daß der Abbau der Eiweißstoffe auch ohne Bakterien, nur durch die Wirkung von H- und OH-Ionen erfolgen kann.

5. Die Bindung des Luftstickstoffes.

Sehr wichtig für die Stickstoffversorgung der Pflanzen und des Bodens ist die Nutzbarmachung des Luftstickstoffes, die durch Bodenbakterien bewirkt wird. Diese leben entweder in kleinen Knöllchen an den Pflanzenwurzeln verschiedener Schmetterlingblütler (Leguminosen) und heißen daher Knöllchenbakterien, oder sie befinden sich frei im Boden. Die Lebensgemeinschaft zwischen den Knöllchenbakterien und ihrer Wirtspflanze beruht darauf, daß die Pflanze den Bakterien Kohlehydrate zur Verfügung stellt und diese den Luftstickstoff binden. Dabei handelt es sich vermutlich um recht erhebliche Mengen. Nolte nimmt etwa 120 kg Stickstoff je ha an (141). Im Herbst verlassen die Bakterien die Knöllchen und kehren in den Boden zurück. Die verschiedenen Pflanzengattungen haben ihre besonderen Knöllchenbakterien und können nur mit diesen zusammen leben. Löhnis unterscheidet folgende Gruppen:

1. Luzerne (*Medicago*) und Steinklee (*Melilotus*).
2. Klee (*Trifolium*).
3. Erbse (*Pisum*) und Wicke (*Vicia*).
4. Bohne (*Phaseolus*).
5. Lupine (*Lupinus*) und Serradella (*Ornithopus*).

Eine starke Stickstoffdüngung vermag die Bindung des Luftstickstoffes durch die Knöllchenbakterien merkbar zu verringern, weil sich diese dann offenbar des leichter zugänglichen Bodenstickstoffes bedienen.

Eine Bindung des Luftstickstoffes findet auch dann statt, wenn keine Schmetterlingblütler angebaut werden, und zwar durch frei im Boden lebende Bakterien. Man schätzt den dadurch jährlich in den deutschen Böden gewonnenen Luftstickstoff etwa ebenso hoch wie die Stickstoffzufuhr der Knöllchenbakterien. Die Bindung des Stickstoffes im Boden setzt voraus, daß den Bakterien eine reichliche kohlenstoffhaltige Nahrung zur Verfügung steht.

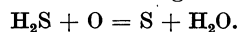
6. Die Umsetzung der Mineralstoffe.

Neben dem Kohlenstoff- und Stickstoffumsatz besteht eine weitere Tätigkeit der Kleinlebewesen darin, daß sie bei der Aufschließung der für die Pflanzen erforderlichen Mineralstoffe mitwirken. Der Abbau der Lebensreste führt die in ihnen enthaltenen Mengen an Kalk, Kali, Phosphor, Schwefel, Eisen u. a. in den mineralischen Zustand zurück, so daß sie erneut von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden können. Die durch Atmung der Kleinlebewesen erzeugte Kohlensäure wird zum Teil vom Bodenwasser gelöst, das dann die Mineralvorräte des Bodens aufschließt. Auch die im Boden befindliche Salpeter- und Schwefelsäure verdanken ihre Entstehung zum Teil der Tätigkeit der Bodenbakterien und helfen mit, die Gesteintrümmer des Bodens aufzulösen. Die Umsetzung der Eisenverbindungen ist zum Teil auf die Tätigkeit von Kleinlebewesen zurückzuführen. Die Eisenbakterien verwandeln die gelösten Eisenoxydulverbindungen des Wassers in Eisenoxydhydrat und schlagen sie in dieser Form auf ihrem Körper nieder, z. B. nach folgender Gleichung:



Das sichtbare Ergebnis dieses Vorganges sind dünne, in den Regenbogenfarben schillernde Häutchen auf der Wasseroberfläche und braune, flockige Ausscheidungen, die sich im Laufe der Zeit zu Raseneisenerz verdichten können (S. 25).

Bei der Entwässerung der Moore treten häufig weißflockige Ausscheidungen auf, sog. Schwefelalgen, die von der Tätigkeit der Schwefelbakterien herrühren. Diese verarbeiten den Schwefelwasserstoff (H_2S) zu Schwefel, den sie als weißes Pulver in ihren Zellen ablagern:



D. Die Bodenarten.

1. Allgemeines. Zahlenwerte des Bodenzustandes.

Die Böden sind durch Verwitterung der Gesteine entstanden. Das Verwitterungsergebnis bleibt entweder am Orte der Verwitterung oder wird häufig durch Wasser, seltener durch Wind fortgeführt (Absatz- oder Schichtgesteine). Ein Gestein kann sehr verschiedene Böden liefern, die z. B. je nach dem Alter der Verwitterung grusig, sandig oder lehmig sind. Verschiedene Arten desselben Gesteines, z. B. des Granits, führen häufig zu ganz verschiedenen Bodenbildungen. Die letzten Verwitterungserzeugnisse sind namentlich Quarzkörner (Sand), Tonerdesilikate (Ton) und Eisenoxydhydrat, das die gelbe oder braune Verwitterungsfarbe liefert. Zwischen den Sand- und Tonböden gibt es alle möglichen lehmigen Zwischenstufen. Die meisten deutschen Tonböden sind Absatzgesteine, durch Ausschlämmung der feinen Verwitterungsgebilde entstanden.

Die Bodenkunde unterscheidet bei unseren Witterungsverhältnissen drei große Gruppen von Böden:

1. Die Schwarzerden (Tschernosiom) entstehen bei regenreichem Frühjahr mit reichlichem Graswuchs, trockenem Sommer und strengem Winter. Mineralkräftige Erde ist mit reichlich Humus gemischt, die Auswaschung der Nährstoffe ist gering. Die Schwarzerde bleibt ohne Eingriffe und Zutaten fruchtbar, die Umsetzungen im Boden stehen im Gleichgewicht, Verluste an Nährstoffen werden durch Aufschließung neuer wieder ausgeglichen (Nachschaffende Kraft des Bodens). Es gibt Schwarzerden aus Löß, Ton, Kalkstein, Gneis u. a.

2. Die Auswaschböden (Podsolböden) bilden sich in feucht-kühler Witterung und sind namentlich durch Auswaschung des Kalkes gekennzeichnet. Es entstehen saurer Humus, Bleicherde, Ortstein (S. 47).

3. Die Braunerden gehören den warmen und mäßig feuchten Gebieten an mit mildem Winter und feuchtem Spätsommer. Die Auswaschung ist geringer als bei den Auswaschböden. Meist besteht Mangel an mildem Humus (S. 47). Die Lebensreste werden zu schnell zersetzt, es bildet sich reichlich Kohlensäure. Daher starke Kohlensäure-Verwitterung der Gesteine. Das Ergebnis sind humushaltige Lehm- und Tonböden.

In Deutschland überwiegen bei weitem die Braunerden vor den Schwarzerden und Auswaschböden.

Bei der Reichsbodenschätzung (166) werden in bezug auf die Bodengemengteile neun Bodengruppen unterschieden: Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand, starklehmiger Sand, sandiger Lehm, Lehm, schwerer Lehm, Ton und Moor. Die acht mineralischen Bodengruppen werden in 7 Zustufen unterteilt, die sowohl Entwicklungs- wie Alterungsstufen sind. Man stellt also den gesamten Werdegang eines Bodens von der geringsten Entwicklung (Stufe 7) über den günstigsten Zustand (Stufe 1) bis zur stärksten Entartung (Stufe 7) durch die Stufenreihe 7, 6 2, 1, 2 6, 7 dar. Man hat nämlich festgestellt, daß die Entwicklungsstufen den Alterungsstufen wertmäßig weitgehend entsprechen. So durchläuft also ein Boden von seiner Entstehung ab eine ganze Reihe von Stufen und erreicht zu irgendeiner Zeit seinen landwirtschaftlichen Höchstwert, um alsdann in den Alterungsstufen insbesondere durch Auswaschung immer mehr zu verarmen. In Stufe 1 fallen namentlich die Schwarzerden, in Stufe 7 die Auswaschböden schärfster Ausprägung. Nach ihrer Entstehungsart werden ferner bei der Bodenschätzung 4 Gruppen unterschieden: Diluvialböden (Eis), Schwemmlandböden (Wasser), Wind- oder Lößböden (Wind) sowie Verwitterungsböden (Verwitterung an Ort und Stelle). Die wirkenden Kräfte sind in Klammern beigegefügt.

Die folgende Zahlentafel gibt einige Zahlen über die Korngrößen, Bodenbenetzung, Benetzungswärme und kleinstes Wasserhaltevermögen der verschiedenen Bodenarten:

Zahlentafel 9.

		Sand	Lehmiger Sand	Sandiger Lehm	Gewöhnlicher Lehm	Schwerer Lehm	Gewöhnlicher Ton	Schwerer Ton
Korngrößenanteile in Gewichthundertteilen des trockenen Bodens (nach dem Vorschlag des deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen)	< 0,02 mm	< 10	10—25	25—40	40—50	50—60	60—75	75—100
	< 0,002 mm (Tongehalt schlechthin)	< 4	4—9	9—15	15—20	20—25	25—36	36—100
Bodenbenetzung w_b nach Mitscherlich (nach dem Vorschlag des deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen)		< 1,8	1,8—4,5	4,5—7,1	7,1—9,0	9,0—10,7	10,7—13,4	13,4—20
Benetzungswärme w_b in cal/g, wenn $w_b = 0,50 w_h$ (S. 4)		< 0,9	0,9—2,3	2,3—3,6	3,6—4,5	4,5—5,4	5,4—6,7	6,7—10
Kleinstes Wasserhaltevermögen w_{kg} nach Rothe [Gl. (14)]		< 19	19—26	26—33	33—38	38—42	42—49	49—67
Kleinstes Wasserhaltevermögen C nach Vageler [Gl. (15)]		< 8	8—20	20—32	32—40	40—48	48—60	60—90

Bei überschläglichen Untersuchungen kann man sich der vorstehenden Zahlen bedienen.

Nicht einfach ist die Einschätzung des Porenraumes p_0 , der auch innerhalb derselben Bodenart zwischen ziemlich weiten Grenzen schwankt. Je fester der Boden gelagert ist, um so kleiner ist sein Porenraum. Daher besitzen tiefere Bodenschichten meistens einen kleineren Porenraum als flachere. In sehr gleichkörnigen Böden ist der Porenraum größer als in ungleichkörnigen (S. 7). Schwere Böden haben im allgemeinen einen größeren Porenraum als leichte, namentlich in geringer Tiefe, in der die Quellung zur Wirkung kommen kann (S. 16). Bei überschläglichen Rechnungen kann man im großen Durchschnitt mit etwa folgenden p_0 -Werten rechnen:

Stark ungleichkörniger reiner Kies	25 bis 30 %
Ungleichkörniger reiner Sand und lehmiger Sand	30 „ 35 %
Sehr gleichkörniger reiner Sand, sandiger Lehm und gewöhnlicher Lehm	35 „ 45 %
Schwerer Lehm und Ton	45 „ 60 %

Das Stoffgewicht s_0 kann in humusarmen Mineralböden überschläglich mit 2,65 angenommen werden, für die Verdichtung ε des Benetzungswassers ist etwa 0,16 zu setzen.

Über die Steighöhe des Grundwassers im gewachsenen Boden liegen nur wenige Beobachtungen vor.

Nach Grebe beträgt die Steighöhe

in größerem Diluvialsand höchstens	0,35 m
in feinkörnigen Sanden höchstens	0,50 m
nach Keen in grobem Sand etwa	0,35 m
in feinem Sand etwa	0,70 m
nach Schucht im Löß etwa	0,70 bis 1,0 m
nach Vageler (212, 129) auf Grund zweier Untersuchungen:	
in lehmigem Sand	0,53 m
in schwerem Lehm	0,72 m

Man vergleiche auch die Ausführungen auf den S. 9 und 10.

Für die Vergleichsbodenoberfläche gibt Zunker folgende Zahlen:

Kiessande und Sande	10 bis 200
Schlief-, lehmige und eisenhaltige Sande	200 „ 3000
Sandige und gewöhnliche Lehme	3000 „ 40000
Schwere Lehme und Tone	>40000

Nach Mitscherlich (135, 31) betrug die Stoffwärme c' eines untersuchten Sand-, Humus- und Tonbodens, wenn der Porenraum zu 0%, 50% oder 100% mit Wasser gefüllt war:

Der Wert c' ist auf 1 cm³ bezogen (S. 22). Danach erwärmt sich der Humusboden im trockenen Zustande schneller, im nassen langsamer als die übrigen.

Karsten (85, 524) fand für die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Bodenarten folgende Werte in cal:

Die größte Wärmeleitfähigkeit besaß demnach der Sandboden, die kleinste die Torferde. Im wassergesättigten Zustande war die Wärmeleitfähigkeit 4- bis 8mal so groß wie im trockenen.

Zah lentafel 10.

	0%	50%	100%
Sand	0,302	0,510	0,717
Humus	0,148	0,525	0,902
Ton	0,240	0,532	0,823

Zah lentafel 11.

	Trocken	Wasser- gesättigt
Feiner Sand	0,00046	0,0039
Grober Sand	0,00047	0,0041
Lehm	0,00033	0,0021
Sandhaltiger Lehm	0,00045	0,0032
Torferde	0,00027	0,0011

2. Die Sandböden.

Man unterscheidet die reinen und die lehmigen Sandböden. Nach Gagel hatten märkische Sande in der humushaltigen Oberkrume etwa folgende mittlere Zusammensetzung (193, 312):

Zah lentafel 12.

		Obere Diluvial- sande %	Talsande %	Dünen- sande %	Fluß- sande %
Korngrößen in mm	< 0,01	3,95	3,11	2,0	6,0
	0,01—0,05	3,18	2,01	1,5	2,2
	0,05—2	81,6	88,86	96,45	90,8
	> 2	11,27	6,02	0,05	1,0

und folgenden Gehalt an Pflanzennährstoffen. Vgl. auch Zah lentafel 8 (193, 312):

Zah lentafel 13.

		Obere Diluvialsande %	Talsande %	Dünensande %	Flußsande %
Pflanzen- nährstoffe	N	0,02—0,10	0,02—0,05	0,01—0,02	0,08—1,14
	CaO	0,04—0,17	0,03—0,17	0,02—0,04	0,17—0,68
	K ₂ O	0,03—0,05	0,03—0,05	0,02—0,03	0,02—0,04
	P ₂ O ₅	0,03—0,07	0,03—0,10	0,03—0,06	0,03—0,10

Die Sandböden weisen je nach den Gesteintrümmern, aus denen sie entstanden sind, und nach dem Grade der Verwitterung eine sehr verschiedene Beschaffenheit auf. Arme Sandböden können aus Quarzit entstehen, aber auch aus Graniten, Gneisen, feinkörnigen Dioriten oder aus der Umlagerung des Geschiebemergels. Es gibt Quarzsandböden, die so geringe Mengen an Pflanzennährstoffen enthalten, daß ihre landwirtschaftliche Nutzung nicht in Frage kommt. Sie können allenfalls für anspruchslose Forstpflanzungen verwendet werden,

namentlich dann, wenn in einer für die Wurzeln der Bäume noch erreichbaren Tiefe nährstoffreichere Bodenschichten vorhanden sind. Je mehr jedoch der Quarz durch andere Gemengteile (z. B. Feldspat, Augit, Hornblende, Glimmer) ersetzt wird, um so größer wird der Gehalt des Bodens an Nährstoffen. So enthalten die diluvialen Sande (Spatsande) der norddeutschen Tiefebene größere Mengen Feldspat. Allgemein sind aber die Sandböden als nährstoffarme und daher wenig fruchtbare Böden anzusehen.

Die Beschaffenheit der reinen Sandböden ist dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Bodenkörner im Vergleich zu den Tonböden verhältnismäßig groß sind und meistens locker nebeneinander liegen. Die Pflanzenwurzeln können leicht eindringen. Die Neigung zur Krümelbildung ist gering. Nach der Korngröße spricht man von grob-, mittel- und feinkörnigen Sandböden. Ihre Trockenmasse besteht zu mindestens 90 Gewichthundertteilen aus Korngrößen über 0,02 mm. Alle Sandböden sind wegen ihrer geringen Bindigkeit leicht zu bearbeiten. Daher werden sowohl die reinen als auch die lehmigen Sandböden als „leichte“ Böden bezeichnet.

Die Bodenbenetzung der Sandböden und ihre Bodenoberfläche sind nur klein. Ebenso die wasserhaltende Kraft, die um so geringer ist, je grobkörniger der Boden. Daraus ergibt sich der Nachteil, daß die Niederschläge sehr schnell in das Grundwasser absinken, und daß nur wenig Haftwasser für die Pflanzenwurzeln zurückgehalten wird. Die erhebliche Wasserdurchlässigkeit hat auch Verluste an Pflanzennährstoffen durch Auswaschung zur Folge. Andererseits kann das kleinste Wasserhaltevermögen in sehr feinkörnigen Sandböden schon bei geringem Humus- oder Tongehalt erheblich größere Werte erreichen als sich aus der Zahlentafel 9 ergibt.

Die grob- und mittelkörnigen Sandböden zeigen eine nur sehr geringe Steighöhe, während das Grundwasser in sehr feinen Sanden höher steigt und namentlich wesentlich schneller als in schweren Lehm- und Tonböden. Daher pflegt der feine Sandboden, zu dem in dieser Hinsicht auch der quarzreiche Löß zu rechnen ist, infolge seiner größeren Steiggeschwindigkeit den Pflanzenwurzeln in derselben Zeit größere Saugwassermengen zuzuführen als alle anderen Bodenarten. Der Aufstieg des Saugwassers in Sandböden wird jedoch häufig dadurch beeinträchtigt, daß Sandkörner durch Eisen, Ton, Kalk und andere Beimengungen mehr oder weniger stark verkittet sind. Es bilden sich dünne Eisen- und Tonleisten, oder es kommt gar zur Ortsteinbildung (S. 47). Da derartige Bildungen von nachteiligem Einfluß auf die Wasser- und Luftbewegung im Boden sind, ist ihrem Vorkommen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Das Lufthaltevermögen der Sandböden ist im allgemeinen groß. Ihre starke Durchlüftung fördert die Tätigkeit der Bodenbakterien und bewirkt somit eine schnelle Zersetzung der Lebensreste. Die Sandböden zählen daher zu den „hitzigen“ Böden. Eine zu schnelle Zersetzung der organischen Bodenteile, z. B. auch des Stallungs und der Gründüngung, ist aber deshalb besonders schädlich, weil die Sandböden den Humus zu ihrer Verbesserung dringend brauchen. Sand besitzt nur eine geringe Bindungsfähigkeit für Pflanzennährstoffe.

Der meist große Luftgehalt der Sandböden und die geringe Stoffwärme des Quarzes haben ein kleines Wärmefassungsvermögen der gewachsenen Böden zur Folge, so daß Sandböden, die ausreichend entwässert sind, sich im Frühjahr schnell erwärmen und einen zeitigen Beginn des Pflanzenwachstums aufweisen. Je nasser jedoch der Boden ist, um so größer ist sein Wärmefassungsvermögen. Nasse Sandböden werden daher im Frühjahr viel langsamer erwärmt als entwässerte. Die große Wärmeleitfähigkeit nasser Sandböden verzögert die Erwärmung der oberen Bodenschichten noch dadurch, daß ein Teil der zugeführten Wärmemenge verhältnismäßig schnell an untere Bodenschichten abgegeben wird (S. 22).

Der schnellen Erwärmung entwässerter Sandböden im Frühjahr entspricht ihre schnelle Abkühlung (Wärmeausstrahlung) bei Spätfrösten, wodurch die jungen zarten Pflanzenteile leicht Schaden leiden können. Wärmeverluste treten auch durch die Verdunstungskälte ein, die in nassen Sandböden (z. B. bei hochstehendem Grundwasserspiegel) wesentlich größer ist als in gut entwässerten. Andererseits findet in nassen Böden ein schnellerer Wärmenachschub aus tieferen Schichten statt als in trockenen.

Da die Sandböden bei nicht zu hohem Grundwasserstand ein Zuviel an Bodenwasser schnell verlieren, sind Säureerscheinungen infolge Bodenässe in solchen Fällen nicht zu befürchten. Anders liegen die Verhältnisse bei hohem Grundwasserstand. Denn Sandböden besitzen eine sehr schwache Pufferung (S. 28).

Die lehmigen Sandböden bilden den Übergang von den reinen Sandböden zu den sandigen Lehmböden, so daß sie eine entsprechende Zwischenstellung einnehmen. Wenn auch ihr Gehalt an Pflanzennährstoffen ein größerer ist als der der reinen Sandböden, so gehören sie trotzdem noch zu den nährstoffärmeren Bodenarten.

Bemerkenswert sind die tonigen Feinsande (Schlicksande der Marschen), die sich durch einen großen Gehalt an Feinsand (0,2 bis 0,02 mm) auszeichnen. Untersuchungen ergaben nebenstehende Zusammensetzung (193).

Zahlentafel 14.

Korngröße mm	Boden A	Boden B
	%	%
< 0,01	22,0	9,2
0,01—0,05	11,2	5,2
0,05—0,2	64,0	83,6
0,2 —1	2,8	2,0

3. Die Tonböden.

Zur Gruppe der Tonböden gehören die gewöhnlichen und die schweren Tonböden. Der Gehalt einiger Tonböden an Korngrößen geht aus der folgenden Zusammenstellung hervor (193, 336):

Diese vier Tonböden enthielten folgende Pflanzennährstoffe, deren Menge durch einstündiges Kochen in Salzsäure festgestellt wurde (193, 334) [s. Zahlentafel 16]. Vgl. auch Zahlentafel 8:

Stofflich-mineralisch ist Ton durch die Formel $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ gekennzeichnet, erdichtlich enthalten aber die Tonböden außer den vorherrschenden Tonerdossilikaten, dem Zersetzungsergebnis der feldspathaltigen Gesteine, noch viele andere Bestandteile. Syenit, Feldspatporphyr, Trachyt, Gabbro, Melaphyr, Basalt, Tonschiefer, auch Granit, Gneis und andere können die Ursprungsgesteine der Tonböden sein, in denen sich Reste von Feldspat, Glimmer, Quarz, Hornblende und anderen Mineralen finden. Ihr Eisengehalt färbt die Tone gelb, rot oder braun, Beimengungen von Humus geben ihnen eine graue bis schwarze Farbe (S. 51). Die tonhaltigen Ablagerungen des Meeres und der Flüsse werden Schlick genannt. Unter Letten versteht man meistens quellstoffarme (kolloidarme) Tonböden, die zähe, seifig und mit feinsten Quarzteilchen durchsetzt

Zahlentafel 15.

		Verschiedene Schlicktone der Marschen			
		1	2	3	4
		%	%	%	%
Korngrößen in mm	< 0,01	43,2	30,8	59,6	42,4
	0,01—0,05	29,6	34,0	25,6	40,0
	0,05—2	27,2	35,2	14,8	17,6
	> 2	—	—	—	—

Zahlentafel 16.

		Verschiedene Schlicktone der Marschen			
		1	2	3	4
		%	%	%	%
Pflanzen- nährstoffe	N	0,56	0,87	—	0,15
	CaO	0,28	0,55	0,13	0,26
	K ₂ O	0,81	0,95	0,26	0,57
	P ₂ O ₅	0,12	0,46	0,03	0,10

sind. Kalkhaltige Tone heißen Tonmergel oder Mergelton. Die Tonböden sind als nährstoffreiche Böden anzusprechen.

Der Seeschlick wird an der Nordseeküste zur Bodenverbesserung benutzt. Nach Untersuchungen der Moorversuchsanstalt Bremen enthielt 1 m³ lufttrockener Schlick etwa 3,6 kg Stickstoff, 2,8 kg Phosphorsäure, 7,5 kg Kali und 57 kg kohlensaurer Kalk. Der Kalkgehalt ist sehr verschieden. In Gewichthundertteilen des lufttrockenen Bodens wurden bei zahlreichen Untersuchungen etwa 1 bis 15%, im Mittel 5 bis 8% CaCO₃ gefunden, ferner an Stickstoff 0,25 bis 0,68%, Phosphorsäure 0,15 bis 0,25% und Kali 0,56 bis 0,68%. Auf Sandböden wirkt der Schlick auch in zuständlicher (physikalischer) Hinsicht günstig, indem er die wasserhaltende Kraft des Bodens vergrößert.

Für alle Tonböden ist kennzeichnend, daß der größte Teil ihrer Bodenteilchen eine sehr geringe Korngröße besitzt. Die kleinsten Teilchen befinden sich im Quellstoffzustande.

Die Tonböden treten im Einzelkorn- oder im Krümelgefüge auf. Besonders in ersterem Zustande sind sie wegen ihrer großen Bindigkeit sehr schwer zu bearbeiten. Sie gehören daher zu den sog. „schweren“ Böden. Trockene Tonböden pflegen überaus hart zu werden. Für die Bearbeitung ist daher ein mittlerer Feuchtigkeitsgehalt wichtig. Tonböden im Einzelkorngefüge setzen dem Tiefenwachstum der Pflanzenwurzeln einen erheblichen Widerstand entgegen.

Im Gegensatz zu den Sandböden besitzen die Tonböden eine große wasserhaltende Kraft. Diese Eigenschaft beruht auf ihrer großen Bodenoberfläche, die viel Benetzungswasser anlagert, und auf der außerordentlichen Kleinheit ihrer Bodenporen, die ein hohes Wasserhaltevermögen zur Folge hat. Namentlich die nicht gekrümelten Tonböden halten daher das eingedrungene Wasser so stark fest, daß der Boden naß und kalt wird und in diesem Zustande für landwirtschaftliche Nutzpflanzen ungeeignet ist. Es kann vorkommen, daß ein spannungsfreier Porenraum überhaupt nicht vorhanden ist (S. 7). Andererseits kann die wasserhaltende Kraft des Tones auch von großem Nutzen für die Wasserversorgung der Pflanzenwurzeln sein, wenn es gelingt, die schädlichen Eigenschaften eines Tonbodens, z. B. durch Krümelung, zu beseitigen, oder wenn der Boden einen ausreichenden Sandgehalt besitzt (milder Tonboden).

Es gibt schwere Tonböden, die fast wasserundurchlässig sind (S. 18).

Wegen der Steighöhe des Wassers vgl. auch S. 9. Die Steiggeschwindigkeit kann in Tonböden infolge der außerordentlich kleinen Bodenporen und des verhältnismäßig kleinen wirksamen (spannungsfreien) Porenraumes so gering werden, daß ein nennenswerter Nachschub aus dem Grundwasser nicht möglich ist.

Das hohe Wasserhaltevermögen der Tonböden bedingt ein geringes Lufthaltevermögen, also eine meist nur mangelhafte Durchlüftung. Der Luftmangel verzögert die Zersetzung der Lebensreste, die Humusbildung geht nur langsam vor sich. Namentlich in kalkarmen Tonböden treten Versäuerungen ein. Da also die für das Pflanzenwachstum nötigen Umsetzungen in den untätigen Tonböden nur sehr langsam verlaufen, kann der reichliche Nährstoffgehalt nicht voll ausgenutzt werden. Um die Tonböden tätiger zu machen, brauchen sie Kalk und Humus, die lockernd wirken und das gerade im Tonboden besonders wichtige Krümelgefüge erzeugen. Das Bindungsvermögen der Tonböden für Pflanzennährstoffe ist ein sehr großes (S. 15). Die Phosphorsäure wird oft so fest gebunden, daß sie von den Pflanzenwurzeln nicht aufgenommen werden kann.

Die Tonböden besitzen infolge ihres meist hohen Wassergehaltes ein großes Wärmefassungsvermögen. Sie erwärmen sich im Frühjahr nur langsam, so daß der Beginn des Pflanzenwachstums sich verzögert. Man rechnet daher die Tonböden zu den sog. „kalten“ Böden. Es gilt in dieser Hinsicht auch für die Tonböden, was auf S. 36 für nasse Sandböden ausgeführt wurde.

Trocknet ein Tonboden aus, so schwinden seine Quellstoffe (Kolloide), und es kommt zur Bildung von Rissen. Diese Erscheinung läßt sich besonders gut an den Schlickablagerungen der Flüsse beobachten, die nach einem Hochwasser auf den Vorländern zurückbleiben. Die Rissebildung der Tonböden kann Beschädigungen der Pflanzenwurzeln bewirken.

4. Die Lößböden.

Eine besondere Stellung nehmen die Lößböden ein, die sich in Deutschland in breitem Streifen von Schlesien über Magdeburg (Böhrde) und Thüringen nach Westen bis zum Niederrhein ziehen und auch in Süddeutschland weit verbreitet sind. Der Löß verdankt seine Ablagerung der Tätigkeit des Windes. Der unverwitterte Lößmergel ist ein sehr quarzreicher, kalkhaltiger und tonarmer Mineralstaub von gelber Farbe, der u. a. Feldspat- und Glimmerteilchen enthält. Er besteht in der Hauptsache aus Korngrößen unter 0,05 mm. Sein Kalkgehalt schwankt im allgemeinen zwischen 10 und 25%. Den entkalkten, meist bräunlichen Löß nennt man Lößlehm.

Die Lößmergelböden zeichnen sich sowohl durch hohen Nährstoffgehalt als auch durch sehr günstige zuständige (physikalische) Eigenschaften aus und gehören daher zu den besten landwirtschaftlichen Böden. Sie sind locker und bei einem Porenraum von über 40% gut wasserdurchlässig. Sie besitzen ferner eine gute wasserhaltende Kraft und sind imstande, in trockenen Zeiten durch Ansaugen des Grundwassers, wenn dieses nicht zu tief liegt, eine zu weitgehende Austrocknung der oberen Bodenschichten zu verhindern (S. 34). Das Lufthaltevermögen der Lößböden ist günstig.

Der Lößlehm besitzt infolge seines Kalkmangels weniger günstige Eigenschaften als der Lößmergel. Er ist undurchlässiger und wegen seiner Härte schwerer zu bearbeiten. Durch Kalkung lassen sich jedoch diese Nachteile verhältnismäßig leicht beseitigen.

Die obere Schicht der Lößböden erscheint häufig als Schwarzerde. Die Löß-Schwarzerde ist ein Gemenge von basenreichem (kalkhaltigem) Mineralboden mit reichlichem Gehalt an mildem Humus, mit vorzüglicher Krümelung und gutem Wasserhaltevermögen. Sie ist gleichfalls eine für die landwirtschaftliche Nutzung vorzügliche Bodenart, weniger infolge hohen Nährstoffgehaltes als vielmehr wegen ihrer außerordentlich günstigen zuständigen Eigenschaften.

Die mittlere Kornzusammensetzung eines Lößmergels (aus 4 m Tiefe) und mehrerer Lößschwarzerden wurde wie folgt ermittelt (193, 317 und 318) [s. nebenstehende Zahlentafel]. Der Salzsäure-Aufschluß einer Schwarzerde auf Löß (Oberkrume) ergab (193, 143):

$$\begin{array}{ll} \text{N} = 0,27\% & \text{K}_2\text{O} = 0,41\% \\ \text{CaO} = 1,16\% & \text{P}_2\text{O}_5 = 0,10\% \end{array}$$

Zahlentafel 17.

Korngrößen in mm	Löß- mergel %	Löß- schwarz- erden %
< 0,01	15,08	29,5
0,01—0,05	71,28	53,4
0,05—2	13,64	16,0
> 2	0,0	1,1

5. Die Lehmböden.

Zwischen den Sand- und Tonböden gibt es eine große Anzahl von Zwischenstufen, die sog. Lehmböden. Sie unterscheiden sich mineralisch durch ihren mehr oder weniger großen Gehalt an sandigen und tonigen Bestandteilen. Unter Lehm versteht man ein Gemenge von Ton und Sand. Der Lehm pflegt infolge seines Eisengehaltes eine gelbe, braune oder rötliche Farbe zu haben. An seiner Bildung sind im wesentlichen dieselben Gesteine beteiligt wie an der Bildung der Tonböden.

Der Gehalt einiger Lehm Böden an Korngrößen ist aus der folgenden Zusammenstellung zu entnehmen (193, 308 und 336):

Zahlentafel 18.

		Lehm Böden der Marschen		Oberer Geschiebemergel		
		1	2	Ackerkrume	Untergrund	Tieferer Untergrund
		%	%			
Korngrößen in mm	< 0,01	4,0	16,4	7,8—30,8	21,0—49,9	17,4—38,8
	0,01—0,05	38,0	24,8	4,8—15,6	6,4—14,6	6,0—17,9
	0,05—2	57,6	58,8	Rest	Rest	Rest
	> 2	0,4	—	0,7— 9,6	0,6— 5,0	0,0— 6,9

Die Untersuchung ergab folgenden Gehalt an Pflanzennährstoffen. Die beiden Lehm Böden der Marschen sind durch einstündiges Kochen in Salzsäure untersucht (193, 309 und 334). Vgl. auch Zahlentafel 8:

Zahlentafel 19.

		Lehm Böden der Marschen		Oberer Geschiebemergel		
		1	2	Ackerkrume	Untergrund (Lehm)	Tieferer Untergrund (Mergel)
		%	%			
Pflanzen-nährstoffe	N	0,28	0,14	0,05—0,35	0,01—0,06	0,01—0,02
	CaO	0,59	0,18	0,11—0,71	0,22—0,51	5,36—8,10
	K ₂ O	0,31	0,19	0,05—0,33	0,29—0,46	0,08—0,39
	P ₂ O ₅	0,15	0,15	0,02—0,10	0,03—0,12	0,04—0,10

Entsprechend ihrer Mittelstellung zwischen den Ton- und Sandböden liegen auch die Eigenschaften der Lehm Böden zwischen diesen beiden Grenzen. Ihr Gehalt an Pflanzennährstoffen ist im allgemeinen befriedigend. Sie werden, namentlich bei gutem Kalkgehalt, leicht krümelig und behalten im Gegensatz zu den Tonböden auch bei stärkerem Wassergehalt ihr Krümelgefüge. Je schwerer allerdings der Lehm ist, um so mehr gleicht er dem Ton. Abgesehen von den schweren Lehm Böden macht ihre Bearbeitung keine Schwierigkeiten. Auch die sonstigen Eigenschaften der milden (gewöhnlichen und sandigen) Lehm Böden, ihr Wasserhaltevermögen, Lufthaltevermögen, Durchlässigkeit, Wärmeverhältnisse und Bindungsvermögen sind für unsere Nutzpflanzen günstig, so daß diese Böden zu unseren besten Böden zu rechnen sind. Schädliche Bodennässe, die in schweren und gewöhnlichen Lehm Böden auch bei tiefem Grundwasserstand auftreten kann, läßt sich leichter beseitigen als in den Tonböden. Das Tiefenwachstum der Wurzeln ist im allgemeinen ausreichend.

Besonderer Erwähnung bedarf noch der Geschiebemergel, der Grundschutt des diluvialen Inlandeises. Seine Verwitterungsböden sind im norddeutschen Flachlande weit verbreitet. Der Geschiebemergel enthält alle Korngrößen vom kleinsten Staubteilchen bis zum riesigen Findling, er zeigt in unverwittertem Zustande tonige Beschaffenheit und besitzt erheblichen Kalkgehalt, der meistens etwa zwischen 4 und 15% liegt. Die oberen Schichten dieser Böden sind jedoch in der Regel entkalkt und in sandige Lehme oder lehmige Sande verwittert. Diese heben sich durch rotbraune Färbung meistens deutlich von dem unverwitterten bläulichgrauen Geschiebemergel ab. Der Geschiebemergel mit seinen Verwitterungsergebnissen zeichnet sich häufig durch eine außerordentlich stark wechselnde Bodenbeschaffenheit aus, so daß man schwere und leichte Bodenarten bunt gewürfelt dicht neben- und übereinander antrifft.

6. Die Kalk- und Mergelböden.

Die Kalkböden sind durch Verwitterung kalkhaltiger Gesteine entstanden und besitzen daher einen hohen Gehalt an Kalk (CaCO_3). Mit Thaer bezeichnet man als Kalkböden diejenigen, die mehr als 20% kohlen-sauren Kalk enthalten, während man bei 5 bis 20% Kalk von Mergelböden spricht.

Die strengen Kalkböden haben eine helle, meist grauweiße Farbe. Sie leiden ebenso wie die Sandböden leicht unter Wassermangel und besitzen außer dem Kalk nur wenig andere Pflanzennährstoffe. Alle Lebensreste (Stalldünger, Humus) werden in den „hitzigen“ Kalkböden sehr schnell zersetzt. Strenge Kalkböden sind aus diesen Gründen für die Landwirtschaft wenig geeignet. Häufig findet man den Kalkboden nur im Untergrunde, weil die oberen Schichten im Laufe der Zeit ausgelaugt und dadurch in Lehm oder Ton verwandelt sind.

Unter Niederungsmooren liegt bisweilen der sog. Wiesenkalk (Alm), eine Kalkmudde (S. 24).

Im Gegensatz zu den strengen Kalkböden sind die Mergelböden im allgemeinen von großem landwirtschaftlichen Wert. Infolge ihres geringeren Kalkgehaltes besitzen sie nicht die schädlichen Eigenschaften der strengen Kalkböden, dagegen die Vorteile, die der Kalk in mannigfacher Hinsicht bietet. Man unterscheidet je nach dem wichtigsten Gemengteil Sand-, Lehm-, Schluff- und Tonmergel, von denen die Lehmmergel in mäßig feuchten Lagen zu den reichsten Bodenarten gehören. Der Schluffmergel heißt auch Mergelsand. Der Geschiebemergel wurde bereits im Abschnitt 5 behandelt.

7. Die Humusböden.

Die reinen Humusböden sind unter der Bezeichnung Moorböden bekannt und spielen in der Bodenverbesserung eine wichtige Rolle. Moore bilden sich nur dann, wenn die abgestorbenen Pflanzenteile infolge Mangels an Sauerstoff einer nur langsamen Zersetzung unterliegen und sich infolgedessen anhäufen. Die Moorbildung (Vertorfung) ist besonders auf den Luftabschluß durch Wasser zurückzuführen. Man unterscheidet Niederungsmoore (Flachmoore), Übergangsmoore und Hochmoore.

Die Flachmoore sind durch Verlandung stehender oder langsam fließender Gewässer entstanden. Da der Nährstoffgehalt der Seen und Tümpel ein verhältnismäßig hoher war, so haben sich anspruchsvollere Pflanzen angesiedelt (S. 69). Entsprechend dem Wasser, in dem diese Pflanzen gewachsen sind, sind die Flachmoore reich an Kalk (und Stickstoff), dagegen arm an Kali und Phosphorsäure. Oft enthalten sie Brauneisenstein, Vivianit und Schwefeleisen. Die nicht erschlossenen Flachmoore zeigen Grünlandbestände, in denen die Sauergräser vorzuherrschen pflegen, sowie Laubwald und Sträucher. Der Untergrund der Flachmoore besteht häufig aus sog. Muddeablagerungen (S. 24).

Mit der Bildung des Flachmoores, das bis zum Wasserspiegel des verlandeten Sees reicht, hat aber das Wachstum der Pflanzen nicht aufgehört. Je höher das Moor jetzt über den ursprünglichen Wasserspiegel hinauswächst, um so mehr gewinnen anspruchslose Pflanzen, die nicht auf nährstoffreiches Grundwasser angewiesen, sondern mit den Niederschlägen zufrieden sind, die Oberhand. In dieser Zeit entsteht über dem Flachmoor das meistens nur wenige dm mächtige Übergangsmoor, in dem zunächst Föhren und Birken, dann Wollgräser (*Eriophorum*) und schließlich die Torfmoose (*Sphagnum*) erscheinen, die dann den weitaus größten Anteil der Pflanzen stellen. Die Übergangsmoore enthalten schon weniger Kalk (und Stickstoff) als die Flachmoore. Kennzeichnende Pflanzen für unsere heutigen Übergangsmoore siehe S. 69.

In feuchter, kühler Witterung wachsen nun auf dem Übergangsmoor die außerordentlich anspruchslosen Torfmoose weiter. Daneben finden sich viele andere Pflanzenarten ein, die aber der Zahl nach hinter den Torfmoosen stark zurücktreten (S. 69). Man nennt diese Moorschichten, deren Pflanzenbestand nur mit den nährstoffarmen Niederschlägen aufgewachsen ist, Hochmoore. Da das für ein üppiges Wachstum der Torfmoose wichtige Regenwasser an den Rändern des Moores leichter abfließt als in der Mitte, so sind die Hochmoore in der Regel uhrglasförmig gewölbt. Ihre Entstehung ist durch eine Zeit trockener Witterung, in der sich die Grenzschiebt (der Grenzhorizont) bildete, unterbrochen worden. Sie besteht aus dem Grenztorf (namentlich Wollgras und Heide). Später setzte dann wieder eine kühle, feuchtere Witterung ein und veranlaßte die Torfmoose zu neuem Wachstum. Der unter der Grenzschiebt liegende Torf heißt der ältere, der darüber liegende der jüngere Moostorf. Alle Hochmoore sind außerordentlich nährstoffarm und enthalten nur wenig Kalk und Stickstoff.

Nicht immer zeigen die Moore die vorstehend dargestellte Schichtenfolge. Beispielsweise können Hochmoore unmittelbar auf Mineralböden wachsen. Entscheidend für die Art des sich bildenden Moores ist stets der Nährstoffgehalt des dabei mitwirkenden Wassers.

Nach den Ermittlungen der Moorversuchsanstalt Bremen enthalten die Moore im großen Durchschnitt etwa folgende Pflanzennährstoffe in Gewicht-

Zahlentafel 20.

	N	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Hochmoor { obere Schicht . . (angereichert)	1,2	0,35	0,05	0,1
{ tiefere Schicht . .	0,8	0,25	0,03	0,05
Übergangsmoor	2,0	1,0	0,1	0,2
Flachmoor	2,5	4,0	0,1	0,25

Zahlentafel 21.

	N	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Hochmoor { obere Schicht . .	1,44	0,42	0,06	0,12
{ tiefere Schicht . .	0,72	0,22	0,03	0,05
Übergangsmoor	3,6	1,8	0,18	0,36
Flachmoor	6,25	10,0	0,25	0,62

hundertteilen der Trockenmasse (206, 52) [siehe Zahlentafel 20].

Bei Zugrundelegung der weiter unten angegebenen mittleren Raumgewichte (*r*) des gewachsenen Moorbodens ergibt sich folgender Nährstoffgehalt in kg/m³ (s. Zahlentafel 21).

Die Flachmoore zeichnen sich also durch einen besonders hohen Gehalt an Stickstoff und Kalk aus. Hinzu

kommt, daß sie stets besser zersetzt sind als die übrigen Moore und daß daher auch die Nährstoffe besser aufgeschlossen und für die Pflanzen aufnehmbar sind. Das Flachmoor gelangt weit schneller zu einer gleichförmig-erdigen Beschaffenheit als das Hochmoor, dessen Humussäure erhaltend auf die tote Pflanzenfaser wirkt. Während die Hochmoore überaus aschenarm sind und selten mehr als 5 Gewichtshundertteile der trockenen Masse an mineralischen Beimengungen besitzen, werden den Flachmooren durch Überschwemmungen häufig größere Mengen mineralischer Bestandteile zugeführt.

Die 3 großen Gruppen der Moore enthalten nach Tacke folgende Torfarten:

1. Flachmoore (eutrophe Torfarten).
 - a) Schilftorf, Phragmitestorf. Hauptbestandteil Schilf (*Phragmites communis*). Auch der Darg der Marschböden ist Schilftorf.
 - b) Schneidentorf, Cladiumtorf. In der Hauptsache aus den Resten der Sumpfschneide (*Cladium Mariscus*) bestehend.
 - c) Seggentorf, Carextorf. Besteht namentlich aus Hochseggen, häufig mit den kleinen Samen des Bitterklee (Menyanthes trifoliata).
 - d) Astmoostorf, Hypnumtorf, Braunmoostorf. Vorherrschend Astmoose (*Hypneen*).
 - e) Bruchwaldtorf, Übergangswaldtorf. Mit Resten von Schwarzerlen, Weiden und anderen Baumarten. Eine besondere Art ist der Auwaldtorf, der meistens auch Eichenreste enthält.

2. Übergangsmoore (mesotrophe Torfarten).
 a) Föhrenwaldtorf. Vorherrschend die Föhre (Kiefer), häufig auch die Weißbirke.
 b) Widertonmoostorf, Polytrichumtorf. Ist aus den so benannten Moosen entstanden.
 3. Hochmoore (oligotrophe Torfarten).
 a) Binsentorf, Scheuchzeriatorf. Mit den Resten der Sumpfbirse (*Scheuchzeria palustris*).
 b) Wollgrastorf, Erióphorumtorf. Besteht namentlich aus den faserigen Blattscheiden des scheidigen Wollgrases (*Erióphorum vaginátum*).
 c) Bleichmoostorf, Sphagnumtorf. Enthält besonders Sphagnumarten.

Die jüngeren Torfschichten haben im nassen Zustande eine mittelbraune, getrocknet eine hellbraune Farbe, sind von schwammiger Beschaffenheit und lassen bis zum Alter von einigen Jahrhunderten die Formen der schwer vergänglichen Moose noch deutlich erkennen. Die unteren, älteren Schichten sind dunkelbraun bis schwarz, auch in getrocknetem Zustande.

Von besonderer Wichtigkeit sind die zuständlichen Eigenschaften der Moore, die im folgenden zunächst zahlenmäßig zusammengestellt sind:

Raumgewicht (r) nach Fleischer im großen Durchschnitt:

Gut zersetztes Hochmoor . . .	0,12
Mäßig zersetztes Hochmoor . . .	0,09
Übergangsmoor	0,18
Flachmoor	0,25

Der Rauminhalt (1000 cm^3) ist so gefunden, daß das Moor in naturfrischem Zustande sorgfältig gemischt und mit der Hand in einen hohlen Eisenwürfel von 10 cm lichter Kantenlänge so dicht eingepreßt wurde, wie es ohne Anwendung übermäßiger Kraft möglich war.

Stoffgewicht (s_0) nach Tacke:

Hochmoor	1,60 bis 1,65
Flachmoor	1,50 „ 1,75
Flachmoor mit starkem Mineralgehalt . . .	„ 2,50

Porenraum und Rauminhalt der Zellen nach Gl. (6) (vgl. S. 12):

Hochmoor	92 bis 95%
Flachmoor	83 „ 86%

Bodenbenetzung (w_h) nach Mitscherlich 10 bis 37%

Kleinstes Wasserhaltevermögen (w_{kr}) einschließlich

des Zellwassers nach Wollny 55 bis 70%

Lufthaltevermögen (L_r) (83 bis 95%)— (55 bis 70%)

Wollny fand bei Versuchen 29%.

Stoffwärme, bezogen auf 1 cm^3 (S. 22) siehe S. 35.

Wärmeleitfähigkeit siehe S. 35.

Grubenfeuchter Torf enthält meistens etwa 80 bis 95 Raumbunderteile Wasser und wiegt im gewachsenen Zustande durchschnittlich rund 1000 kg je m^3 . Auch entwässerte Moore besitzen noch einen sehr hohen Wassergehalt. Ein großer Teil des Wassers ist jedoch für die Pflanzenwurzeln nicht aufnehmbar, weil er als Zellwasser und durch Benetzung festgehalten wird. So ist es zu erklären, daß die Pflanzen auf Hochmoorböden schon zu welken beginnen, wenn der Wassergehalt des Moores unter 50 bis 60 Raumbunderteile sinkt. Vergleicht man diese Zahlen mit dem kleinsten Wasserhaltevermögen (55 bis 70%), so erkennt man, daß im Moor die Gefahr eines Wassermangels der Pflanzen besonders groß ist, wenn nicht ein Nachschub aus dem Grundwasser stattfindet.

Die Moorböden zeigen bei Wasserentziehung eine starke Schrumpfung. Nach Untersuchungen von Fleischer nahm 1 dm^3 mit Wasser vollgesaugter Torfmasse nach dem Austrocknen folgenden Raum ein:

Unzersetzter Moostorf	$484 \text{ cm}^3 = (7,85 \text{ cm})^3$
Wenig zersetzter Wollgrastorf	$227 \text{ cm}^3 = (6,10 \text{ cm})^3$
Zersetzter Wollgras-Heidetorf	$174 \text{ cm}^3 = (5,58 \text{ cm})^3$

Das durch Entwässerung eintretende Sacken des Moores ist von einer ganzen Reihe von Umständen abhängig, namentlich von der Moortiefe, der Tiefe

der Entwässerung, der pflanzlichen Zusammensetzung, dem Gehalt an mineralischen Stoffen, dem Zersetzungsgrad und dem Wassergehalt. Die Wasserentziehung vermindert den Auftrieb und vergrößert dadurch den Druck der oberen Moorschichten auf die unteren. Auch die spätere landwirtschaftliche Nutzung (Walzen, Besandung, Beweiden) bewirkt eine solche Druckverstärkung. So erklärt sich die Tatsache, daß nicht nur die entwässerten, sondern auch die darunter liegenden unentwässerten Schichten des Moores zu sacken pflegen, so daß die Mooroberfläche um so stärker sackt, je tiefer das Moor ist.

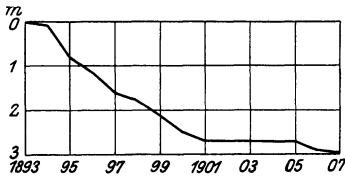


Abb. 7. Sackung im Kehdinger Moor. (Nach Krüger).

Im Verhältnis zur Schichtstärke schrumpfen jedoch die entwässerten Schichten stärker als die unentwässerten, da in ersteren die Wasserentziehung und die allmählich eintretende Vererdung zur unmittelbaren Wirkung kommen und eine entwässerte, vererdete Moorschicht einen kleineren Raum einnimmt als eine unentwässerte, wenig zersetzte. Die Sackung eines entwässerten Moores ist unter sonst gleichen Verhältnissen um so größer, je weniger zersetzt das Moor ist. Hochmoor, besonders jüngerer Moostorf, sackt mehr als Niedermoor. Im Laufe der Zeit wird die jährliche Sackung einer entwässerten Moorfläche naturgemäß immer geringer.

Über das Sackmaß der Moore liegen nur vereinzelte zuverlässige Messungen vor. Krüger stellte im Kehdinger Moor (108, 179), einem auf größere Tiefe aus fast völlig unzersetztem jüngerem Moostorf bestehenden Hochmoor mit großem Wassergehalt, eine Sackung fest, wie sie in Abb. 7 dargestellt ist. Die Moortiefe betrug etwa 10 m. Die Sackung trat auf einem nicht allzu breiten Streifen zu beiden Seiten des Hauptgrabens ein und wurde mit zunehmender Entfernung vom Graben geringer.

Krüger schätzt nach diesen und anderen Erfahrungen das Sackmaß der Hochmoore auf 10 bis 25% der ursprünglichen Tiefe.

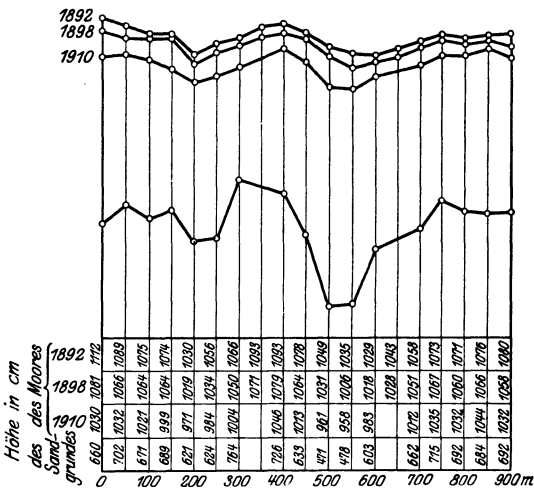


Abb. 8. Sackung bei Marcardsmoor. (Nach Krüger.)

Weitere Beobachtungen wurden im Maibuscher Moor bei Hude (Oldenburg) gemacht. Es handelt sich um ein Hochmoor, das an der fraglichen Stelle 3,5 bis 4,5 m tief ist und vorwiegend aus jüngerem

Moostorf besteht. Das Moor wurde etwa 1860 durch 0,75 bis 1,00 m tiefe Hauptgräben und 0,4 bis 0,5 m tiefe Gruppen entwässert, die Entwässerung wurde 1895 etwas ergänzt, nach 1900 wurden die Flächen zum Teil gedränt und häufig mit schweren Walzen gewalzt. Die Messungen ergaben Sackungen von 0,80 m und teilweise noch stärkere in den 15 Jahren 1895—1910 (207, 42).

Abb. 8 gibt die Sackung eines 4 m tiefen Hochmoores bei Marcardsmoor in etwa 800 m Abstand vom Ems-Jade-Kanal wieder, der etwa um 1885 gebaut wurde.

Im Burtanger Moor, einem Hochmoor von 4,50 m Tiefe, wurden nach Anlage einer Schiffahrtstraße folgende Sackungen der Mooroberfläche von 1885—1894 beobachtet:

	0,55	0,43	0,00 m
in	250	500	1000 m

Abstand von der Achse der Schiffahrtstraße. Diese war 1885 noch nicht bis in den Sand gebracht (180, 191).

Im Königsmoor (Hochmoor) wurden folgende Sackungen gedränkter Flächen festgestellt (19): Die in 1,10 m Tiefe liegenden Dräne sind von 1911 bis 1920 um 14—15 cm gesackt (235, 48).

Einen Anhalt für die Einschätzung der Sackung können auch die von Gerhardt gegebenen Zahlen liefern (59, 514). Sie beziehen sich auf Flachmoore, die auf 1 m Tiefe entwässert und 10 cm übersandet sind. Die Sackmaße sollen für einen Zeitraum von 60 bis 80 Jahren gelten:

Zahlentafel 22.

	Fläche B	Fläche C	Fläche D
Ursprüngliche Moortiefe . . .	2,00 m	2,20 m	1,65 m
Sackung 1911—1920 . . .	47 cm	41 cm	32 cm
„ 1920—1932 . . .	10 cm	14 cm	11 cm
Gesamte Sackung . . .	28 %	25 %	26 %

Zahlentafel 23.

Beschaffenheit des Moores	Sackung des Moores in m bei 1 bis 8 m Moorstärke							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Dicht	0,15	0,24	—	—	—	—	—	—
Ziemlich dicht . . .	0,20	0,32	0,42	0,51	—	—	—	—
Ziemlich locker . . .	0,26	0,42	0,56	0,68	0,78	0,87	—	—
Locker	0,35	0,59	0,75	0,92	1,07	1,20	1,30	—
Fast schwimmend . .	—	0,80	1,04	1,26	1,46	1,65	1,83	2,00
Schwimmend	—	—	1,65	2,10	2,50	2,85	3,15	3,40

Beispiel: 0 bis 1 m ziemlich dicht: Sackung = 0,20 m
 1 bis 3 m ziemlich locker: „ = 0,56 — 0,26 = 0,30 m
 3 bis 5 m locker: „ = 1,07 — 0,75 = 0,32 m
 0,82 m

Durch die Sandschicht tritt eine Hebung von 0,10 m ein, so daß die Oberfläche um etwa 0,70 m niedriger wird.

Einen wirklich zuverlässigen Maßstab zum Vorausbestimmen der Moorsackungen gibt es noch nicht. Diese lassen sich vielmehr unter Berücksichtigung der jeweiligen Umstände nur roh einschätzen.

Besonders starke Sackungen können in Niederungsmooren oder auf dem Grunde abgelassener Seen eintreten, wenn Muddebildungen (S. 24 u. 47) vorhanden sind, die bei Wasserentziehung sehr starken Schrumpfungen unterliegen. Dasselbe gilt für die „schwimmenden“ Moore, die als Verlandungsmoore teilweise noch auf einem unterirdischen See schwimmen.

Die Wasserdurchlässigkeit der Moorböden ist im allgemeinen sehr gering. Daher wird in tiefgründigen Mooren, in denen die Gräben den Sanduntergrund nicht anschnitten, der Grundwasserspiegel nur in nächster Nähe der Entwässerungsgräben merkbar gesenkt, so daß die Reichweite der Gräben nur klein ist. Sie wirken besonders dadurch, daß sie starke Niederschläge durch oberirdischen Abfluß schnell beseitigen. Indes nimmt die Durchlässigkeit mit voranschreitender Zersetzung (Vererdung) des Moores zu. Die stärker zersetzten Flachmoore sind leichter zu entwässern als die weniger zersetzten Hochmoore. Vielleicht spielt die bei der Vererdung eintretende Zerstörung der Pflanzenzellen und die dadurch bedingte Verringerung des Zellwassers dabei eine Rolle. Vgl. auch S. 353.

Abb. 9 zeigt den Verlauf des Grundwasserspiegels in einem entwässerten Hochmoor. Untersuchungen, die Krüger im Kehdinger Hochmoor anstellte (109, 239), ergaben auf 5 m Abstand von einem Entwässerungsgraben einen sehr steilen Anstieg des Grundwassers von 50 bis 90 cm, also ein Gefälle von 10 bis 18%.

Hinsichtlich der Saugkraft ähneln die Moorböden den Tonböden (S. 38). Ein ausreichender Wassernachschub ist daher nur aus einem verhältnismäßig hochliegenden Grundwasser möglich.

Die Verdunstung der Moorböden ist größer als bei anderen Böden, wie die von Eser ermittelten Vergleichszahlen zeigen (s. Zahlentafel 24). Dabei ist eine feuchte Oberflächenschicht der Böden vorausgesetzt. Trocknet diese aus, so sinkt die Verdunstung stark. Umgekehrt fördert das Walzen zu lockerer Moore das Wasserhaltevermögen sowie den Aufstieg des Saugwassers und damit auch die Verdunstung.

Die Verdunstung der Moore ändert sich wesentlich, wenn die

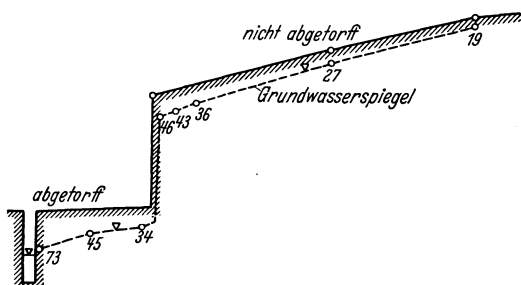


Abb. 9. Grundwasserspiegel im Hochmoor. (Nach Krüger.)

Zahlentafel 24.

	Quarzsand	Ton	Torf
5. Juni bis 6. Juli	100	118	159
11. Sept. bis 17. Okt.	100	125	133

oberen Moorschichten mit Sand vermischt oder bedeckt werden (S. 357). Nach Versuchen der Moorversuchsanstalt Bremen verhielt sich die Verdunstung beim reinen, sandgemischten und sandbedeckten Moor etwa wie 100 : 66 : 33.

Das Lufthaltevermögen der entwässerten Moorböden ist im allgemeinen für das Wachstum unserer Nutzpflanzen günstig. Der Luftwechsel wird natürlich um so mehr erschwert, je wasserhaltiger das Moor ist. Versuche in Neu-Hammerstein (171) haben ergeben, daß das Lufthaltevermögen einer stark zersetzten Niedermoorwiese bei hohem Grundwasserstand durch schweres Walzen leicht zu klein werden kann.

Die Moorböden sind kalte Böden, da sie sich infolge ihres hohen Wassergehaltes nur langsam erwärmen, und da ihre starke Verdunstung viel Wärme verbraucht. Ihre dunkle Farbe fördert dagegen die Erwärmung (S. 22). Die Bodenwärme der oberen Moorschichten ist im allgemeinen im Sommer niedriger und im Winter höher als die der Mineralböden. Nach Versuchen der Moorversuchsanstalt Bremen betrug die mittlere Jahreswärme und die mittlere Wärme der Wachstumszeit in 11 cm Tiefe:

Zahlentafel 25.

	Jahr	Wachstumszeit
Reines Moor	7,92°	11,9°
Sandgemischtes Moor .	8,41°	13,8°
Sandbedecktes Moor .	9,01°	14,7°

Eine besondere Gefahr ist das Puffigwerden der oberen Moorschichten (S. 16). Die Oberfläche des Moores verwandelt sich in einen leicht verwehenden, als Pflanzenstandort völlig unge-

eigneten Mull. Dieser Vorgang ist namentlich auf gut veredeten, beackerten Mooren zu beobachten, deren Grundwasserstand durch die Entwässerung zu stark gesenkt wurde.

Eine weitere Gefahr auf den Moorböden sind die Nachtfrost. Sie pflegen nicht bei feuchter, sondern bei trockener Beschaffenheit der Mooroberfläche aufzutreten, da die trockene Oberschicht infolge ihres geringen Wärmeverrates und ihrer schlechten Wärmeleitung die vorhandene Wärme durch Ausstrahlung schnell verliert, ohne rechtzeitig aus tieferen Schichten Ersatz zu erhalten. Der Frost kann in Moorböden auch dadurch schädlich wirken, daß das Moor infolge seines hohen Wassergehaltes „auffriert“, wodurch Pflanzenwurzeln zerrissen werden. Denn da das Wasser bei seiner Erstarrung zu Eis seinen Raum um etwa 9% vergrößert, werden die einzelnen Bodenteilchen gegeneinander verschoben, und es können sogar ganze Bodenschollen hochgehoben werden.

Moorböden mit größeren Beimengungen mineralischer Bestandteile (Sand, Ton) bezeichnet man als Moorerde oder anmoorigen Boden. Vielfach wird ein Gehalt an unverbrennlichen Stoffen von 40% der trockenen Masse als Grenze zwischen Moorböden und Moorerde angenommen. Die landwirtschaftliche Nutzung der anmoorigen Böden ist etwa die gleiche wie die der eigentlichen Moorböden. Zu den anmoorigen Böden wird auch der Heidetorf gerechnet, der hauptsächlich aus den Resten der gewöhnlichen Heide (*Callúna vulgáris*) besteht und sich in meist dünnen Schichten auf den mineralischen Heideböden bildet.

Man unterscheidet Torfmudden, Sandmudden, Tonmudden, Kalkmudden, Kieseludden (mit starkem Torf-, Sand-, Ton-, Kalk- oder Kieselgehalt) und Lebermudden. Letztere sind gallertartige, leberartige Mudde- torfe, die beim Trocknen stark schrumpfen und blättrig werden (S. 24).

Schließlich findet sich der Humus auch als mehr oder weniger umfangreiche Beimengung der Mineralböden. Man trifft folgende Unterscheidungen nach dem Humusgehalt in Gewichthundertteilen des lufttrockenen Bodens (193, 61):

Der Humus tritt als milder und saurer Humus auf. Im milden Humus sind die Säuren durch Kalk oder andere Basen gebunden, während der saure Humus freie Humussäuren enthält. In Flachmooren findet man

Zahlentafel 26.

	Bei Sandböden	Bei schweren Böden
Schwach humushaltig	< 1% Humus	< 2% Humus
Humushaltig	1—2%	2— 5%
Stark humushaltig	2—4%	5—10%
Humusreich	4—8%	10—15%

keine oder doch nur sehr geringe Mengen freier Humussäuren, was auf ihren hohen Kalkgehalt zurückzuführen ist. Dagegen zeigen Hoch- und Übergangsmoore im unerschlossenen Zustande (ohne Kalkdüngung) stets eine saure Wasserspaltung (Reaktion).

Der Humus besitzt ein sehr erhebliches Bindungsvermögen für Pflanzennährstoffe, das noch wesentlich größer ist als das des Tones. Ein weiterer Vorteil des Humus für die Pflanzen besteht darin, daß er die Basen viel lockerer bindet, als es mineralische Bodenteilchen tun, so daß es für die Pflanzenwurzeln erheblich leichter ist, dem Humus die gebundenen Nährstoffe wieder zu entziehen als den Tonteilchen. Die Humusquellstoffe halten das Wasser fest, was den leichten Böden zugute kommt, sie fördern die Krümelbildung und machen dadurch die schweren Böden lockerer, sie erhöhen ferner die Pufferung (S. 28).

8. Schädliche Bodenarten.

Unter dem Einfluß bestimmter Pflanzengemeinschaften bildet sich der Rohhumus. Vorherrschend sind dabei die Glockenheide (*Erica Tetrálix*), das gemeine Heidekraut (*Callúna vulgáris*), die Heidelbeere (*Vaccínium Myrtillus*), die Preiselbeere (*Vaccínium Vitis idaéa*) und verschiedene Moose. In der Streudecke dieser Pflanzen entstehen Humussäuren. Sie verwandeln die Streuschicht in Rohhumus und gelangen mit dem Sickerwasser in die Tiefe. Ihre Wirkung auf den Boden besteht darin, daß sie den oberen Bodenschichten den Kalk und die Pflanzennährstoffe, auch das Eisen, entziehen, den Boden dadurch ausbleichen und so die Bleicherde erzeugen. Man nennt diesen Vorgang auch Auswaschung (Podsolierung) und die so entstandenen Böden Auswaschböden (Podsolböden, von dem russischen Wort podsol = Asche, die ja oft eine grauweiße Farbe hat). Die Bleicherdeschicht pflegt etwa 10 bis 50 cm stark zu sein. Beim weiteren Abwärts wandern der Humussäuren tritt dann häufig eine Ausfällung der Humusquellstoffe ein, was zur Bildung des Ortsteins führt. Er besteht in der Hauptsache aus Sandkörnern, die durch

Humusstoffe und Eisen miteinander verkittet sind, und besitzt eine dunkelbraune, auch rote bis schwarze Farbe (daher auch Branderde oder Fuchserde genannt). Bei größerer Ablagerung von Eisen entstehen Übergänge zum Eisenortstein. Ortsteinschichten können die Wasser- und Luftbewegung im Boden stark beeinträchtigen, sie müssen daher durch tiefes Pflügen oder durch Untergrundlockerer aufgerissen werden. An der Luft zerfällt der Ortstein ziemlich schnell, da die Humusstoffe sich bei Luftzutritt rasch zersetzen. Der Ortstein kann sehr hart werden. Die stoffliche Zusammensetzung der Bleicherde

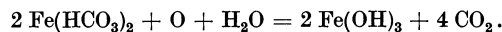
Zahlentafel 27.

	Bleicherde %	Ortstein %	Unverwitterter Sand des Untergrundes %
Humus	2,8	12,02	2,59
Eisenoxyd (Fe ₂ O ₃) . .	0,182	3,72	1,462
Kalk (CaO)	0,007	0,096	0,039
Tonerde (Al ₂ O ₃) . . .	0,265	0,170	1,695
Magnesia (MgO)	0,005	0,032	0,040
Kali (K ₂ O)	0,017	0,073	0,084
Natron (Na ₂ O)	0,005	0,037	0,021
Phosphorsäure (P ₂ O ₅)	0,011	0,038	0,031

und des Ortsteins ist aus der nebenstehenden Zahlentafel zu erkennen (193, 65).

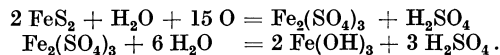
Das im Boden fast überall vorhandene Eisen kommt, oft in Verbindung mit anderen Grundstoffen, in dreifacher Form vor, als Eisenoxydul, Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat (S. 25), das häufig zu schädlichen Ablagerungen führt (Eisenocker). Die Bildung des Eisenoockers geht auch so

vor sich, daß das im Wasser gelöste doppeltkohlensaure Eisenoxydul bei Luftzutritt Sauerstoff und Wasser aufnimmt (vgl. auch S. 32).

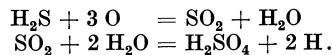


Der Knick der Marschböden, eine erhärtete Bodenschicht, ist von zahlreichen Eisenadern durchzogen. Sandböden werden häufig durch Eisenablagerungen verkittet. Es kommt dann zur Bildung von Eisenleisten und Raseneisenstein, wodurch die Wasser- und Luftbewegung im Boden erheblich beeinträchtigt werden kann.

Auch der im Boden vorhandene Schwefel (S. 26) kann für das Pflanzenwachstum verhängnisvoll werden. Er zersetzt sich bei Einwirkung von Wasser und Sauerstoff nach folgenden Gleichungen:



Schwefeleisen (FeS₂) und Einfach-Schwefeleisen (FeS) finden sich häufig im Darg der Marschen, im Untergrundschlick und in den tieferen Schichten der Flachmoore. Der Untergrundschlick heißt dann Pulvererde (Gifterde, Maibolt). Auch der in den organischen Stoffen enthaltene Schwefel kann Ausgangspunkt der Schwefelsäure sein. Er verwandelt sich unter Luftabschluß in Schwefelwasserstoff (H₂S), und dieser bei Zutritt von Luft und Wasser in Schwefelsäure, die ein starkes Pflanzengift ist:



Giftig für die Pflanzenwurzeln ist auch das schwefelsaure Eisenoxydul oder Eisenvitriol, das sich gelegentlich im Boden findet (FeSO₄ · 7 H₂O).

Sehr ungünstig für das Pflanzenwachstum sind die sog. Molken- oder Missenböden. Es sind tonige oder schluffige Gebirgböden mit Eisenoxydulverbindungen, meist arm an Nährstoffen, besonders an Kali und Kalk. Sie sind das Verwitterungsergebnis der Buntsandsteine. Bezeichnend ist ihre starke Vernässung auch bei tiefem Grundwasserstand und die damit im Zusammenhang stehende Luftarmut.

Bei allen Entwässerungsmaßnahmen ist das Vorkommen des sog. Schliefsandes recht ungünstig. Unter Schliefsand versteht man einen sehr feinkörnigen

Sand ohne wesentliche Bindemittel. Im durchtränkten Zustande ähnelt er beim Zerreiben zwischen den Fingern aufgeschwemmtem Ton, im trockenen Zustande fühlt er sich wie Mehl an. Während er trocken zu ziemlich harten Brocken zusammenklebt, ist er durchweicht völlig ohne Zusammenhang. Man nennt ihn daher in diesem Zustande Trieb-, Fließ- oder Schwemmsand. Besonders günstig sind die Verhältnisse für Trieb- und Fließsandbildung, wenn infolge Überdruckes ein Wasserstrom von unten nach oben durch den Sand dringt, wie es in Baugruben oder Gräben der Fall sein kann.

E. Bodenuntersuchungen.

1. Allgemeines.

Bodenuntersuchungen sind für die Durchführung bodenverbessernder Maßnahmen unerlässlich (S. 205). Man stellt ihr Ergebnis häufig in Bodenkarten zusammen, für deren Ausführung jedoch noch keine einheitlichen Vorschriften bestehen (125). Wenn auf dem Felde bereits Bodenaufschlüsse (Sand- oder Mergelgruben, Steilhänge) vorhanden sind, sollen sie für die Bodenuntersuchung ausgenutzt werden. Auch erdkundliche Karten können viel Wissenswertes vermitteln. Daneben sind aber Bohrungen und Schürfgruben nicht zu entbehren. Letztere sind zweckmäßig nach Abb. 10 mit einigen Stufen zu versehen. Die Bohrungen werden mit einem Handbohrer ausgeführt. Für Zwecke der Bodenverbesserung genügt im allgemeinen eine Bohrtiefe von 1,5 m. Die gebräuchlichsten Bohrer (Abb. 11) sind der Schlagbohrer, Stockbohrer (a), Tellerbohrer (b) und Wendel- (Spiral-) Hohlbohrer (c). Der Schlagbohrer ist eine runde, 20 bis 25 mm starke, unten

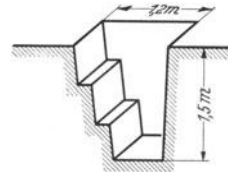


Abb. 10. Schürfgrube.

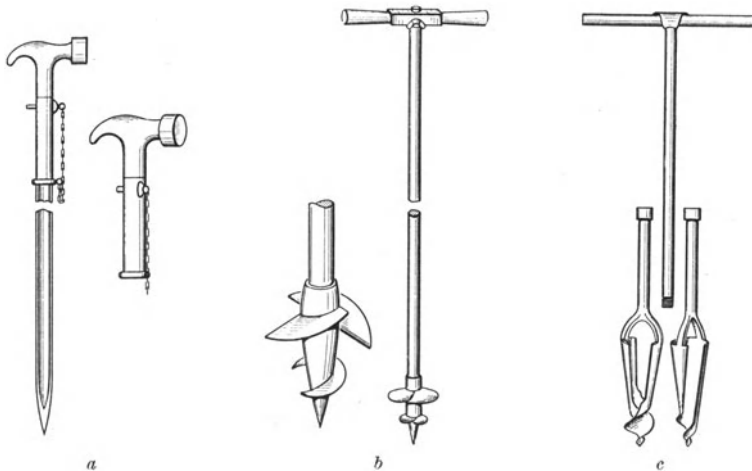


Abb. 11. Erdbohrer.

zugespitzte Stahlstange von 1 bis 2 m Länge mit dm-Teilung. Er besitzt im unteren Teil bis zur 5 dm-Marke eine Rille von 7 bis 8 mm Tiefe und Breite. Man schlägt den Bohrer mit einem Holzschlegel entsprechend der Rilllänge in Stufen von je 50 cm in den Boden und dreht ihn einige Male, damit die Rille sich mit Boden füllt. Der Stockbohrer unterscheidet sich vom Schlagbohrer nur dadurch, daß er kürzer ist als dieser (etwa 0,9 m lang) und oben einen Handgriff hat, so daß er als Spazierstock geführt werden kann. Der Handgriff hat die Form eines kleinen Hammers und läßt sich abschrauben, um ihn zum Einschlagen des Bohrers verwenden zu können.

Um größere Bodenproben zu gewinnen, bedient man sich des Tellerbohrers, der an seinem unteren Teil mehrere mit Schneiden versehene Schraubenflächen besitzt, zwischen denen der Boden gefaßt wird. Mit dem Tellerbohrer werden nacheinander Bodenwalzen von 15 bis 20 cm Höhe herausgeholt. Man erhält dadurch Bodenproben aus allen Tiefen. In gleicher Weise ist der Wendelhohlbohrer zu verwenden (11, 487). Janert hat einen Raumbohrer (Volumenbohrer) vorgeschlagen, der es ermöglicht, eine Probe zu entnehmen, deren ursprünglicher Rauminhalt an gewachsenem Boden bekannt ist (82, 427). Der Raumbohrer besitzt eine waagerechte Schneide, die innerhalb eines 32 mm weiten, nach innen angeschärften Rohres arbeitet. Für Bohrungen unter dem Grundwasserspiegel oder auf dem Boden von Flüssen und Seen dient der Kammerbohrer. Er besteht aus einer inneren runden Kammer mit Längsschlitz und einer darüber liegenden runden Hülse, die gleichfalls einen Schlitz besitzt. Beim Eintreiben des Bohrers ist der Schlitz der Kammer durch die Hülse verschlossen. Beim Drehen des Bohrers verschiebt sich die Hülse, so daß der Kammerschlitz freigegeben wird (Schlitz auf Schlitz). Dann wird durch eine an der Hülse angebrachte Lippe Boden in die Kammer gedrückt. Beim Drehen des Bohrers in umgekehrter Richtung wird der Schlitz der Kammer wieder geschlossen, und der Bohrer kann herausgezogen werden.

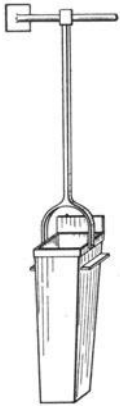


Abb. 12.
Probenstecher.
(Nach
Schucht.)

Eine Bohrung von 1,5 m Tiefe beansprucht im mittelschweren Boden bei Verwendung des Schlagbohrers etwa 5 bis 10 min, bei Verwendung des Tellerbohrers oder Wendelhohlbohrers etwa 15 min. In steinigem und hartem Böden wird man den Schlagbohrer nicht verwenden. Proben aus Moorböden werden mit besonderen Probenstechern (Abb. 12) entnommen, wenn ihr Rauminhalt genau bestimmt werden soll. Sonst nimmt man einfach den Spaten.

Zur Untersuchung des Untergrundes tiefgründiger Moore verwendet man eine unten zugespitzte und oben mit einem Handgriff versehene eiserne Peilstange, die in etwa 2 m lange Stücke zerlegbar ist (Gasröhren mit Schraubengewinde). Unten muß die Stange eine Rille haben, in der sich beim Drehen Teile des Untergrundes festsetzen.

Die Zahl der im Mineralboden je ha erforderlichen Bodenuntersuchungen richtet sich ganz nach dem Zweck der Untersuchung und nach der mehr oder weniger einheitlichen Bodenbeschaffenheit. Da oft schon schwache Bodenhebungen eine andere Bodenbeschaffenheit aufweisen als die dazwischen liegenden Senken, so ist bei der Auswahl der Untersuchungsstellen auf diese Oberflächengestaltung Rücksicht zu nehmen, damit sowohl die Bodenwellen als auch die Senken und die Übergangsflächen erfaßt werden. Auch verschiedener Pflanzenwuchs nach Art und Üppigkeit verdient Beachtung.

Die richtige Auswahl der Entnahmestellen für Bodenproben ist keineswegs einfach und darf daher nur geübten Personen überlassen werden. Über die Frage, ob Einzel- oder Sammelproben zu untersuchen sind, herrscht keine einheitliche Auffassung. Wer in der Beurteilung der Böden nicht sehr bewandert ist, sollte nur Einzelproben entnehmen und das Mischen mehrerer Proben unterlassen. Sammelproben dürfen nur aus Proben gleicher Tiefe und gleichartiger Bodenbeschaffenheit zusammengestellt werden, wozu große Erfahrung gehört. Sie haben dann gegenüber Einzelproben aber auch den Vorteil, daß die unvermeidbaren Zufälligkeiten in der Beschaffenheit einer Einzelprobe besser ausgeschaltet werden, und man so bei der gleichen Anzahl der Untersuchungen ein besseres Durchschnittsbild des Bodens erhält.

2. Die Beurteilung des Bodens im Felde.

Für die Beurteilung des Bodens im Felde ist zunächst seine Korngröße von Bedeutung. Man untersucht sie durch Zerreiben und Formen des Bodens zwischen den Fingern, wobei die Bindigkeit der Bodenteilehen auf den Gehalt an tonigen Bestandteilen schließen läßt. Auch das Vergrößerungsglas dient zur Feststellung kleiner Korngrößen. Die richtige gefühlmäßige Einschätzung eines Bodens in die Gruppen der Sand-, Lehm- und Tonböden mit ihren verschiedenen Zwischenstufen setzt große Übung voraus. So kann Trockenheit des Bodens dazu verleiten, seinen Gehalt an bindigen Bestandteilen zu unterschätzen, während große Feuchtigkeit leicht den entgegengesetzten Fehler bewirkt. Man kann die gefühlmäßige Einschätzung des Bodens durch ein einfaches Absetzverfahren unterstützen, das für die vorkommenden Zwecke vielfach ausreicht (S. 53). Es findet dabei eine, wenn auch nur rohe Trennung der verschiedenen Korngrößen statt, die sich gleichsam filterförmig übereinander lagern, so daß man die Anteile der einzelnen Korngrößen, nötigenfalls mit dem Vergrößerungsglas, leichter erkennen kann, als wenn sie im Boden vermengt sind. Ein Gerät dieser Art, das auch im Felde verwendbar ist, ist die Schlämmflasche von Bennigsen (Abb. 13).

Namentlich für Dränungen ist es besonders wichtig, das Vorkommen von Schliefsand (S. 48) und von Eisen festzustellen. Der Eisengehalt ist häufig schon an der Farbe zu erkennen. Die Eisenverbindungen des Bodens haben bei Luftmangel meistens olivgrüne oder bläuliche bis schwarze Färbungen, während sie bei genügender Durchlüftung oft eine sehr lebhaft ockergelbe bis rotbraune oder blutrote Farbe annehmen. In Sandböden führt bereits ein geringer Eisengehalt zu einer lebhaften rötlichen oder braunen Färbung. Auf der Wasseroberfläche der Gräben zeigen sich vielfarbige wie dünne Ölschichten schillernde Überzüge und rostfarbene Flockenbildungen (Eisenoxydhydrat, S. 25). Das Eisenphosphat des Vivianits ist bei Luftabschluß weiß und wird an der Luft schnell blau. Insbesondere rühren meistens her:

Rote Färbungen von Eisenoxyd (Roteisenstein).

Rötlichbraune bis schwärzlichbraune Farbtöne von Eisenoxydhydrat (Brauneisenstein).

Bläulichschwarze Farben von fein verteiltem Schwefeleisen.

Grünliche Färbungen von eisenhaltigen Silikaten wie Olivin, Chlorit u. a.

Der Humusgehalt der Mineralböden läßt sich nach dem Grad ihrer Färbung (grau bis schwarz) beurteilen. Je dunkler der Boden aussieht, um so mehr Humus enthält er. Feuchte Böden erscheinen bei gleichem Humusgehalt dunkler als trockene, sandige dunkler als lehmige und tonige. Feuchter Sandboden zeigt folgende Farbtöne:

bei 0,2 bis 0,5 Gewichthundertteilen Humus . . . deutlich grau
 bei 2 bis 4% Humus tiefgrau
 bei mehr als 8% Humus schwarz

Starker Kalkgehalt kann eine hellgraue, weißliche Farbe des Bodens hervorrufen. Man stellt den Kalkgehalt durch Betropfen mit verdünnter Salzsäure fest, wobei man aus der Stärke des Aufbrausens auf den Gehalt an Kalk schließen kann:

Kein Aufbrausen <1% CaCO₃ Deutliches Aufbrausen 3 bis 4%
 Schwaches Aufbrausen . . . 1 bis 2% Stark anhaltendes Brausen . . . >5%

Bei gleichem Kalkgehalt brausen leichtere Böden stärker auf als schwerere, da die Salzsäure in letztere langsamer eindringt. Der stoffliche Vorgang des Aufbrausens wird durch folgende Gleichung dargestellt:

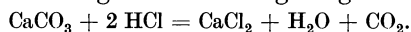


Abb. 13.
Schlamm-
flasche von
Bennig-
sen. (Nach
Schucht.)

Ein weiteres Kennzeichen ist der Geruch der Böden. Sand- und Kalkböden sind geruchlos, Tonböden erkennt man an ihrem besonderen arteigenen Tongeruch. Nasse, torfige Böden riechen moderig, während humusreiche einen erdigen Geruch haben.

Hinsichtlich des Feuchtigkeitsgrades unterscheidet man trockene (w_0), frische (w_1), feuchte (w_2), nasse (w_3) und im Grundwasser liegende (w_4) Bodenschichten. Zur Abkürzung dienen die in Klammern beigefügten Bezeichnungen.

Die folgenden Ermittlungen sind nur in Schürfgruben oder natürlichen Bodenaufschlüssen durchführbar. Die Lagerungsdichte eines Bodens kann sehr dicht, z. B. ortsteinähnlich (p_1), dicht (p_2), mäßig porig, löcherig (p_3) oder sehr locker, krümelig (p_4) sein. Sie läßt sich durch Eintreiben eines Messers feststellen, wobei jedoch der jeweilige Feuchtigkeitsgrad des Bodens zu beachten ist. Zum Beispiel erscheint ein trockener Tonboden wesentlich dichter als ein feuchter. Auch das Abklopfen der Bodenwand mit einem hölzernen Gegenstand läßt bei einiger Übung Rückschlüsse aus der Tonhöhe und Tondauer zu. Bisweilen findet man in Pflugtiefe eine verdichtete Pflugsohle, die für das Wachstum der Pflanzenwurzeln recht hinderlich ist. Auch das Vorkommen von Bodenrissen, Wurmlöchern und Pflanzenwurzeln ist von Bedeutung. Die Bodenrisse durchziehen den Boden in der Regel etwa in lotrechter Richtung und sind entweder offen oder mit sehr feiner Bodenmasse (Schluff) ausgefüllt. Wurmlöcher erhöhen die Durchlässigkeit des Bodens. Die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln läßt gleichfalls auf die Durchlässigkeit schließen. Es ist daher darauf zu achten, ob Wurzeln nur vereinzelt vorkommen oder in größerer Menge, ob nur in der oberen Bodenschicht oder auch im Untergrunde. Wenn sie vorzugsweise in Bodenrissen liegen, pflegt der Boden zwischen den Rissen ziemlich dicht zu sein. Eine deutliche Hemmung des Wurzelwachstums und die damit meist verbundene Verdichtung der Wurzelmasse pflegt ein Hinweis dafür zu sein, daß sich unmittelbar unterhalb der Hemmung eine verdichtete Bodenschicht befindet. Man unterscheidet starke (d_1) und mäßige (d_2) Durchwurzelung sowie vereinzelt Wurzeln (d_3).

In den Schürfgruben ist auch auf die Schichtung des Bodens zu achten. Man spricht von Schichten, Gängen oder Adern, Nestern und buntgewürfeltem Boden. Die Schichten haben eine große Breite und Länge, Gänge und Adern sind schmal und lang, während Nester in keiner Richtung weit ausgedehnt sind. Besonders wichtig ist das Vorkommen sandiger oder kiesiger wasserführender Schichten.

Sickerwasser und Grundwasser rufen in vielen Böden deutlich sichtbare Veränderungen hervor, die Bodenbänder (Bodenhorizonte) genannt werden. Ihre Feststellung ist deshalb erwünscht, weil sie Rückschlüsse auf die Ursache der schädlichen Bodennässe, auf die Durchlässigkeit des Bodens und auf Pflanzennährstoffe gestatten. Die Auswaschung (S. 47) ist besonders in den Geländemulden zu beobachten, weil hier die Versickerungsmengen größer sind als auf den Geländekuppen. Man nennt die ausgewaschene obere Schicht das A-Band, (den A-Horizont). Darunter liegt das verdichtete B-Band (B-Horizont), das in ausgeprägten Fällen als Ortstein erscheinen kann. Das B-Band findet sich am häufigsten in Kies- und Sandböden, seltener in Lehmböden und nur ausnahmsweise in Tonböden. In letzteren treten dann mehr Flecken, Adern oder Streifen von dichterem Boden auf. Ein stärkeres B-Band ist nachteilig für das Tiefenwachstum der Wurzeln und behindert die Wasser- und Luftbewegung im Boden oft erheblich. Man erkennt das B-Band an seiner Färbung und seiner Lagerungsdichte.

Während A- und B-Band ihre Entstehung dem Sickerwasser verdanken, ist das G-Band (G-Horizont) durch Ablagerungen aus andrängendem Grundwasser entstanden. Man spricht daher auch von einem Gleihorizont (Gleih ist russisch und heißt Grundwasserablagerung). Es bilden sich fleckige, streifige

oder schalige, gelbbraune bis rote Ablagerungen von Eisenrost, wenn eisenhaltiges Grundwasser an seinem Spiegel mit der Bodenluft in Verbindung kommt. In ausgeprägten Fällen entstehen Bänke von Raseneisenstein, Vivianit u. dgl. Wenn das Grundwasser tonige Teilchen führt, können auch tonige Bänder auftreten, die sich durch ihre graue, schwarze, blaue oder grüne Farbe verraten und die anstehenden Sandschichten in tonige Sande oder sogar in sandige Tone verwandeln. Aus der Tiefenlage der Bänder kann man bisweilen Rückschlüsse auf die häufigste Lage des Grundwasserspiegels ziehen.

3. Die Untersuchung des Bodenzustandes in der Versuchsanstalt.

Nicht immer genügt die gefühlmäßige Beurteilung des Bodens im Felde, bisweilen wird es erwünscht oder gar erforderlich sein, Bodenproben an eine bodenkundliche Untersuchungsstelle zu schicken (S. 206). Vorschriften für die Entnahme und Versendung der Bodenproben sind von den Untersuchungsstellen anzufordern. Bei gleichartigen Mineralböden empfiehlt es sich, die Proben aus 0,0 bis 0,2, 0,4 bis 0,6 und 0,8 bis 1,0 m Tiefe zu entnehmen. Ist der Boden nicht gleichartig, dann müssen die aus einer Schürfgrube zu entnehmenden Bodenproben so verteilt werden, daß die Beschaffenheit des Bodens mit möglichst wenig Proben erfaßt wird. Für jede Bodenprobe ist die Entnahmetiefe anzugeben. Bei steinhaltigen Böden ist der Hundertsatz der Steine am Gesamtboden abzuschätzen.

Die Einzelproben sind möglichst als Bodenschollen aus der Grubenwand herauszubereiten. Im allgemeinen ist etwa 1 kg mineralischer Boden je Probe erwünscht. Damit die natürliche Lagerung des Bodens nicht völlig zerstört wird, sollen die Einzelproben nicht geknetet werden.

Zur Aufnahme der Proben sind nur solche Gefäße oder Beutel aus Leinen oder wasserdichtem Papier zu benutzen, die jede Verunreinigung ausschließen. Jede Probe soll durch Aufschrift oder Anhänger gekennzeichnet werden. Anzugeben sind: Ort und Zeitpunkt, Name des Unternehmens, Nummer der Entnahmestelle, Entnahmetiefe und angebaute Pflanzen. Zur Beschriftung soll kein Tintenstift verwendet werden. In das Gefäß oder den Beutel ist ein Zettel mit den gleichen Angaben zu legen.

Wegen der Entnahme von Moorproben vergleiche die Nummern 15 und 156 des Schriftenverzeichnisses.

Der Gewichtanteil der in einem Mineralboden enthaltenen verschiedenen Korngrößen wird durch Sieben und Schlämmen ermittelt. Zunächst werden die größeren Bodenteile durch Siebe verschiedener Lochweite ausgesiebt und gewogen. Man legt der Bodenuntersuchung den lufttrockenen Boden zugrunde. Der Feinboden (< 2 mm) wird durch das Absetz- (Sedimentier-) oder durch das Spülverfahren weiter behandelt. Das erstere beruht darauf, daß die verschiedenen Bodenteilchen in ruhendem Wasser im großen Durchschnitt um so langsamer nach unten sinken, je kleiner sie sind. Zunker mißt in seinem Absetzgerät durch Druckhöhenmesser die sich beim Absinken der Bodenteilchen ständig ändernde Dichte der Bodenaufschwemmung. Das Spülverfahren

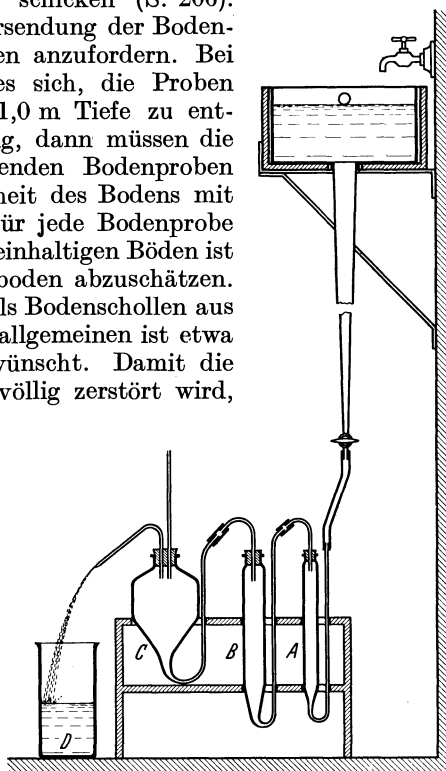


Abb. 14. Schlämmergerät von Kopecky.
(Nach Fauser.)

benutzt einen von unten nach oben gehenden Wasserstrom, der um so größere Korngrößen mitreißt, je stärker er ist. Sehr anschaulich ist die Wirkung des Schlämmgerätes von Kopecky (Abb. 14), bei dem der Spülstrom nacheinander die verschieden weiten Glasröhren *A*, *B* und *C* durchfließt, so daß sich in dem Rohr *A*, in dem sich die größte Wassergeschwindigkeit entwickelt, nur die gröberen Bodenteile ablagern, während in *C* schon wesentlich feinere zurückbleiben und die abschlämmbaren in das Gefäß *D* gelangen. Die abschlämmbaren Teile (< 0,01 mm) werden häufig aus Ton bestehen, können aber auch Quarzstaub enthalten.

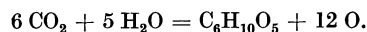
Auch im Abschnitt A (S. 1) ist die Ermittlung verschiedener zuständlicher Bodenwerte kurz behandelt.

F. Die Wachstumsbedingungen der Pflanze.

Alle Wachstumsbedingungen der Pflanze (Licht, Wärme, Wasser, Luft, Nährstoffe) müssen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Nach dem „Liebig'schen Gesetz vom Minimum“ richtet sich der Pflanzenertrag in der Hauptsache nach derjenigen Wachstumsbedingung, die am spärlichsten vertreten ist, auch wenn alle übrigen in größerem Umfange gegeben sind. Wie freilich die verschiedenen Wachstumsbedingungen das verwickelte und noch keineswegs geklärte Leben der Pflanze im einzelnen beeinflussen, bedarf noch weiterer Forschungen.

1. Das Licht.

Unter dem Einfluß des Sonnenlichtes vollzieht sich in der Pflanze der als Kohlenstoffeinbau (Assimilation, Photosynthese) bezeichnete Vorgang, bei dem aus der Kohlensäure der Luft und dem Wasser organische Stoffe, Kohlehydrate, aufgebaut werden. Der Kohlenstoff ist neben dem Wasser mengenmäßig der wichtigste Bestandteil des Pflanzenkörpers. Der Kohlenstoffeinbau findet nur in den grünen Pflanzenteilen statt, in denen sich ein grüner Farbstoff, das Blattgrün (Chlorophyll), befindet. Die Kohlensäure (CO₂) der Luft gelangt durch die Spaltöffnungen, die sich in großer Zahl namentlich auf der Unterseite der Blätter befinden, in die blattgrünhaltigen Zellen. Hier wird sie zunächst von der Zelle durch Bindung aufgenommen. Mit steigender Wärme wird die Fähigkeit des in der Zelle vorhandenen Wassers zur Kohlensäureaufnahme geringer, so daß zu große Wärme unter Umständen eine Verringerung des Kohlenstoffeinbaues zur Folge haben kann, weil es an der nötigen Kohlensäure fehlt. Dagegen wird die Kohlensäureaufnahme des Zellwassers größer, wenn dieses kohlensäurebindende Salze enthält. Auch ein reichlicher Gehalt der Luft an Kohlensäure und der Pflanzenzellen an Wasser ist nötig, um eine für ein üppiges Pflanzenwachstum ausreichende Kohlensäurebindung und einen genügenden Kohlenstoffeinbau zu gewährleisten. In den Zellen wird nun aus Kohlensäure und Wasser unter der Einwirkung des Lichtes und der Wärme Stärke (C₆H₁₀O₅) gebildet. Der freiwerdende Sauerstoff wird durch die Spaltöffnungen wieder ausgeschieden:



Dabei wird Kraft (Wärme) verbraucht. Die erzeugte Stärke wird dauernd durch einen gärstoffartig wirkenden Körper (Diastase) in löslichen Zucker verwandelt:



Die Zuckerlösung wandert von einer Zelle zur anderen, und zwar um so schneller, je höher der Wassergehalt der Zellen ist. Der Zucker wird dann in den Vorratkammern der Pflanze, z. B. in den Knollen der Kartoffeln, in Stärke zurückverwandelt. Diese ist nicht wanderungsfähig. Da die Wanderung des Zuckers

zu den Stellen seines Verbrauches auch nachts stattfindet, so wächst die Pflanze auch nachts trotz des dann fehlenden Kohlenstoffeinbaues.

Der Bedarf der einzelnen Pflanzenarten an Licht ist ein sehr verschiedener. Man spricht daher von Licht- und Schattenpflanzen. So hat beispielsweise nach den Untersuchungen Wießmanns der Weizen ein größeres Lichtbedürfnis als der Hafer (221, 155). Manche Waldkräuter, z. B. der Sauerklee (*Oxalis*), vermögen mit erstaunlich geringen Lichtmengen auszukommen. Übrigens scheint das zerstreute Licht für den Kohlenstoffeinbau günstiger zu sein als grelles Sonnenlicht.

2. Die Wärme.

Die Wärme ist für das Erwachen des Pflanzenlebens im Frühjahr die entscheidende Wachstumsbedingung (S. 22). Nach Homén wird die Sonnenwärme wie folgt verwendet:

In humushaltigen Böden mit lebhafter Bakterientätigkeit entsteht außerdem eine wenn auch nur geringe Atmungswärme der Kleinlebewesen. Warme Frühjahrsregen oder warmes Bewässerungswasser erhöhen gleichfalls die Wärme des Bodens. Eine weitere Wärmequelle ist die Verdichtungswärme des Taus (S. 23). Auch bei gleichstarken Wärmequellen ist die Erwärmung der verschiedenen Böden durchaus nicht gleich. So ist z. B. die Farbe der Böden von Einfluß auf den Grad ihrer Erwärmung (S. 22). Da die Erwärmung des Bodens durch starken Wassergehalt sehr verzögert wird, ist eine rechtzeitige Entwässerung im Frühjahr besonders wichtig. Nach Wollny betrug im Mittel von 13 Versuchen der Wärmeunterschied zwischen einem nassen und trockenen Boden im Frühjahr durchschnittlich etwa 7° C.

Die Wärme des Bodens unterliegt täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen, die bei einem unbewachsenen Boden am größten sind. Eine geschlossene Pflanzendecke, namentlich Wald, wirkt stark mildernd auf die Wärmeschwankungen. Diese sind an der Bodenoberfläche am größten und nehmen mit der Tiefe schnell ab. In 60 cm Tiefe sind Schwankungen innerhalb desselben Tages (24 h) kaum noch zu spüren. Schubert ermittelte folgende Wärmeaufnahme (+) und Abgabe (—) in Wärmeeinheiten (cal) je cm² Bodenfläche:

Zahlentafel 28.

	Abgabe an die Luft	Zur Ver- dunstung	Aufspei- cherung im Boden
	%	%	%
Granitfels . .	47	—	53
Sandheide . .	48	26	26
Moorboden . .	36	53	11

Zahlentafel 29.

Monat	Feld cal	Wald		Monat	Feld cal	Wald	
		cal	% des Feldes			cal	% des Feldes
April	+353	+169	48	Oktober . . .	—386	—232	60
Mai	+498	+294	59	November . .	—425	—298	70
Juni	+469	+356	76	Dezember . . .	—393	—302	77
Juli	+345	+277	80	Januar	—300	—232	77
August	+147	+165	112	Februar	—166	—140	84
September . .	—133	—16	12	März	—9	—41	455

Die Wärmeabgabe wird auch durch tote Bodendecken (Reisig, Laub, Schnee) und durch Nebel verringert.

Warme und kalte Winde, Süd- und Nordlage sind auf die Bodenwärme von erheblichem Einfluß.

Die Wachstumszeit der Pflanzen ist im wesentlichen durch diejenige Zeit bestimmt, in der vom Frühjahr bis zum Herbst eine ausreichende

Wärmemenge zur Verfügung steht. Der Wärmebedarf der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ist aber sehr verschieden. Nach Krafft (102) braucht beispielsweise der Sommerweizen von der Saat bis zur Ernte fast 2mal soviel Wärme zu seiner vollen Entwicklung wie der Buchweizen. Dieser Unterschied des Wärmebedarfes kommt auch in der Länge der Wachstumszeit zum Ausdruck, die beim Sommerweizen etwa 120 bis 140 und beim Buchweizen nur 70 bis 90 Tage beträgt. Unter bestimmten Wärmeverhältnissen gezüchtetes Saatgut kann bei kälteren Witterungsverhältnissen zu Mißerfolgen führen. So kann Saatgut von mineralischem Boden auf Moorböden versagen, weil es deren besonderen Wärmeverhältnissen (Verdunstungskälte, Spätfröste) nicht angepaßt ist.

Der Kohlenstoffeinbau unserer Nutzpflanzen beginnt bei etwa 0 bis 4°. Ihre Keimwärme ist sehr verschieden. Während Roggen bereits bei 1 bis 2° keimt, braucht Weizen 3 bis 4°, Hafer 4 bis 5° und Tabak sogar 13 bis 14° C. Es gibt bei uns Pflanzen und Pflanzenteile, die schon bei einer geringen Unterschreitung des Nullpunktes erfrieren, während andere bis zu 10° Kälte ohne Schaden ertragen können. Die Frostgefahr wird durch die Wärmezufuhr aus tieferen Bodenschichten (S. 46) und durch eine schützende Schneedecke stark gemildert. Auch das Vorhandensein löslicher Düngesalze im Boden scheint einen gewissen Schutz vor dem Erfrieren junger Pflanzen zu gewähren. Die günstigste Wärme für das Wachstum unserer Nutzpflanzen liegt bei etwa 25°. Zu hohe Bodenwärme kann Schädigungen des Wachstums hervorrufen. Neuere Versuche haben gezeigt, daß die Wurzelwärme das Wachstum der Pflanzen stark beeinflusst. Es scheint so, daß jede Pflanzenart einen bestimmten günstigsten Wärmegrad der Wurzeln und der oberirdischen Teile besitzt. So wurde festgestellt, daß der Lein sich am besten bei einer Wurzelwärme von 10° C und bei einer Wärme der oberen Teile von 22° entwickelte. Vgl. auch den Einfluß zu hoher Wärmegrade auf den Kohlenstoffeinbau (S. 54).

Unter Muldenfrost versteht man die Erscheinung, daß kalte Luftmassen, die schwerer sind als warme, in Geländemulden fließen, wo sie bei Windstille verbleiben und die Frostgefahr vergrößern.

Wegen der Wärmeverhältnisse der einzelnen Gegenden wird auf den Hellmannschen Klimaatlas von Deutschland verwiesen (73).

3. Das Wasser.

Das Wasser hat als Wachstumsbedingung unserer Nutzpflanzen deshalb eine ganz besondere Bedeutung, weil es in unserer Witterungslage für die Erzeugung von Höchsterten häufig im Kleinstmaß vorhanden ist. Es hat außer seiner Mitwirkung bei dem Kohlenstoffeinbau die Aufgabe, die in ihm gelösten Nährsalze den einzelnen Pflanzenteilen zuzuführen. In der Wachstumszeit steigt ein ständiger Wasserstrom von den Wurzeln in der Pflanze nach oben. Die Verdunstung des Wassers in den Blättern hat eine saugende Kraft zur Folge, die Wasser aus den rückwärts liegenden Zellen nachzieht. Das verdunstende Wasser entweicht durch die Spaltöffnungen, zum Teil auch durch die mehr oder weniger wasserdurchlässige Außenschicht (Kutikula) der Blätter. Manche Pflanzen besitzen noch besondere Wasserspalten, die sich ebenso wie die Spaltöffnungen an den Blättern befinden und den Zweck haben, überschüssiges Wasser zu entfernen. Der Verdunstungsvorgang wird Blattverdunstung (Transpiration) genannt. Er wird durch Rohrsaugkräfte und Säfteaustausch unterstützt. Die Zellen der Pflanze bilden zum Teil sehr enge Röhren, die als Haarröhren wirken (S. 9). Der Säfteaustausch (die Osmose) äußert sich dahin, daß eine mit einer Nährsalzlösung gefüllte Zelle durch die Zellhaut Wasser und Nährsalze ansaugt, wenn sich auf der Außenseite ihrer Zellhaut eine weniger starke Lösung befindet (Endosmose).

Da das Wasser beim Säfteaustausch stets nach der stärkeren Lösung hin wandert, so wird der Wassereintritt aus dem Boden in die Wurzelzellen erschwert, wenn die Bodenlösung zu stark wird. Alsdann kann sogar ein Säfteaustausch in umgekehrter Richtung stattfinden (Exosmose). Blattverdunstung und Säfteaustausch nach außen müssen also ein Welken der Pflanze zur Folge haben, auch wenn genügend Feuchtigkeit im Boden vorhanden ist. Daraus folgt, daß der Boden um so reicher mit Wasser versorgt werden muß, je größer sein Gehalt an löslichen Nährsalzen ist.

Allerdings besitzt die Pflanze die Fähigkeit, sowohl die Blattverdunstung wie auch den Säfteaustausch ihrer Zellen und die Durchlässigkeit ihrer Zellhäute den Bedürfnissen des Lebens weitgehend anzupassen. So vermindert sie die Blattverdunstung bei Wassermangel durch Schließen ihrer Spaltöffnungen. Der Säfteaustausch der Zellen wird bei Bedarf durch die Rückbildung von Stärke in Zucker vergrößert. Die Zellhaut ist imstande, bald Wasser und Nährsalze durchzulassen, bald den Durchtritt der Nährsalze fast ganz zu unterbinden und nur Wasser anzusaugen (halbdurchlässig, semipermeabel).

Unsere Nutzpflanzen entwickeln beim Säfteaustausch Wurzeldrucke von etwa 5 bis 30 kg/cm² (212, 268). Ihre Größe ist auch bei derselben Pflanzenart verschieden. Zum Beispiel bewirkt Kalzium in der Bodenlösung eine Erhöhung des Wurzeldruckes, wodurch der Anteil des von der Pflanze aufnehmbaren Bodenwassers vermehrt wird.

Durch den Wurzeldruck wird die Straffheit der Zelle (der Turgor) bewirkt. Sie ist eine wesentliche Voraussetzung für hohe Ernten, da ohne sie kein starker Kohlenstoffeinbau stattfindet.

Der Einfluß der Blattverdunstung auf das Wachstum ist noch nicht restlos geklärt. Eine starke Blattverdunstung scheint in ihrer Gesamtwirkung für ein üppiges Wachstum der Pflanzen durchaus nicht günstig zu sein. Wir müssen annehmen, daß die Pflanzen die erforderlichen Nährsalze und das Wasser aus dem Boden auch bei geringer Blattverdunstung aufzunehmen vermögen, indem sie sich des überschüssigen Wassers nötigenfalls durch tropfenförmige Ausscheidung an den Blättern, sog. Austropfung (Guttation) entledigen und daß eine starke Blattverdunstung der Pflanze unter Umständen sogar Wasser entzieht, das sie für ihren Kohlenstoffeinbau dringend nötig hätte. Da die Spaltöffnungen sowohl die Wasserdampfströmung der Blattverdunstung nach außen wie auch die Kohlensäure nach innen zu leiten haben, so muß eine starke nach außen gerichtete Wasserdampfströmung das Eindringen der Kohlensäure in die Spaltöffnungen erschweren. Versuche Wollnys (2, 2) haben auch den Nachweis erbracht, daß die Erntemasse bei trockener Luft, also bei starker Blattverdunstung, unter sonst gleichen Verhältnissen zurückgeht. So ergab ein Versuch mit Weizen in feuchter, mittelfeuchter und trockener Luft (anteilige Feuchtigkeit = 69, 37 und 23%) folgende Verhältniszahlen:

Zahlentafel 30.

Luft	Verdunstung	Erntemasse
Feucht. . . .	100	100
Mittelfeucht .	196	77
Trocken . . .	247	41

Neue Untersuchungen haben gezeigt, daß ein großer Teil der aus dem Boden entnommenen mineralischen Bestandteile nicht in der Pflanze bleibt, sondern durch Regen aus den Blättern wieder ausgewaschen wird. Offenbar verhindert die Pflanze dadurch, daß sich zu viele Aschen-

bestandteile in ihren Blättern ansammeln. Vielleicht ist auch diese Erscheinung ein Grund dafür, daß Regen günstiger auf das Pflanzenwachstum wirkt als bloße Bodenbewässerung.

Die der Wasser- und Nährstoffaufnahme dienenden Wurzeln weisen eine sehr unterschiedliche Länge auf. Man spricht demgemäß von Flach- und Tiefwurzeln. Unsere Wiesengräser besitzen eine weitgehende Anpassungsfähigkeit an die Wasserverhältnisse des Bodens. Man hat vielfach die Meinung

vertreten, daß sie ausgesprochene Flachwurzler seien, weil in den meisten Fällen der weitaus größte Teil ihrer Wurzeln in einer Tiefe bis zu 20 cm angetroffen wird. In zahlreichen Fällen konnte aber auch die Beobachtung gemacht werden, daß die Wurzeln der Wiesengräser bei tieferem Grundwasserstand teilweise bis auf große Tiefen hinabreichten. So fand Witte (225) in mittelschwerem Lehm Boden, dessen Gefüge in einer Tiefe von 50 bis 110 cm sehr fest war, darunter aber lockerer wurde, nach 18monatlichem Freilandwachstum folgenden größten Wurzeltiefgang:

Rohrglanzgras, französisches Raygras	280 bis 290 cm
Wehrlose Trespe	220 cm
Quecke, wolliges Honiggras, Rasenschmiele	130 „ 160 cm
Rotschwingel, Fioringras, Knaulgras, Wiesenfuchschwanz, Wiesenrispengras, gemeines Ruchgras, englisches Raygras, Wiesenschwingel	100 „ 120 cm
Timothe, Schafschwingel, Goldhafer, Kammgras	50 „ 90 cm

Könekamp hat in 260 cm tiefen Kästen, die mit lehmigem Sand gefüllt waren, Versuche über das Wurzelwachstum von Gräsern und Kleearten angestellt (95). Er fand nach 80 Tagen Wurzeltiefen verschiedener Gräser von 70 bis 250 cm.

Als ausgesprochene Tiefwurzler, die für Dränungen gefährlich werden können, sind unter anderen anzusehen: Schachtelhalm, Schilf, Sauerampfer, Wiesenknopf, Huflattich, Zuckerrübe, Esparsette, Luzerne, Hopfen, Wein.

Eingehende Untersuchungen über die Wurzelentwicklung der wichtigsten Kulturpflanzen stammen von Schulze (194). Er fand in lockeren Böden folgende größte Tiefen in cm als Mittelwerte mehrerer Versuche:

Zahlentafel 31.

	Junge Pflanze	In der Be- stockung	Beim Schossen	Ende der Blüte	Milch- reife	Vollreife
Winterroggen	54	102	199		178	194
Winterweizen	53	134	277		235	186
Hafer	67	80	284		234	247
Gerste	62	95	259		244	221
Erbsen	26		64	176		209
Pferdebohnen	32		78	124		168
Weiße Lupinen	40		71	100		205
Raps	190		264	259		291

Rotmistroff hat die Wurzelverbreitung zahlreicher Nutzpflanzen in der Ukraine untersucht (178, 30). Er stellte fest, daß die Wurzeln der Getreidearten bereits 7 bis 10 Tage nach der Keimung eine Länge von 25 bis 40 cm erreichten. Sie hatten größte Tiefen von etwa 90 bis 120 cm, Wintergetreide größere als Sommergetreide.

Bemerkenswert ist die weitere Feststellung, daß das Wurzelnetz bei Getreide bedeutend dichter war als bei den zweikeimblättrigen Pflanzen. Daraus ist zu schließen, daß die Getreidearten das Bodenwasser besonders gut auszunutzen vermögen.

Die Wurzeltiefe unserer Nutzpflanzen auf Moorböden hängt auch von der Wasserspaltung des Moorbodens ab. Denn in die saueren Schichten des Hochmoores dringen die Wurzeln nicht ein, bleiben vielmehr in der oberen durch landwirtschaftliche Maßnahmen entsäuerten Schicht. Das gilt jedoch nicht für den natürlichen Hochmoorboden, der seinem saueren Standort angepaßt ist. Bei einer zu weitgehenden Entwässerung des Hochmoores können daher die Wurzeln der Nutzpflanzen dem sinkenden Saugwasser nicht folgen, eine Gefahr, die in den alkalischen Niederungsmooren nicht besteht.

Die wasseraufsaugenden Teile der Wurzeln sind die außerordentlich dünnen und zahlreichen Wurzelhaare. Bei der Erbse hat man mehr als 200 je mm² festgestellt. Ihr Durchmesser beträgt nach Atterberg 0,008 bis 0,012 mm.

Die Pflanzen decken ihren Wasserbedarf in der Hauptsache aus den an Ort und Stelle fallenden Niederschlägen und bei ausreichend hohem Grundwasserstand auch aus dem Saugsaum des Grundwassers. Dieses kann natürlich gleichfalls den örtlichen Niederschlägen entstammen, kann aber auch durch

seitlichen unterirdischen Zufluß gespeist werden. Nun ist aber keineswegs alles Bodenwasser für die Pflanzen aufnehmbar. Man fand je nach der Pflanzenart den Betrag der $1\frac{1}{2}$ - bis 4fachen Bodenbenetzung als unaufnehmbar. Doch läßt sich noch nicht mit Sicherheit sagen, ob nicht einzelne Pflanzenarten fähig sind, in Notzeiten sogar das Benetzungswasser anzugreifen. Die Menge des von der Pflanze wirklich aufgenommenen Wassers ist außerdem noch von der Verteilung der Wurzelmasse insofern abhängig, als ein dichtes Wurzelnetz das aufnehmbare Wasser besser ausnutzen wird als ein lockeres. Man sieht, daß die Frage, bei welchem Wassergehalt des Bodens eine Pflanze zu welken beginnt, nicht leicht zu beantworten ist. Wegen des Welkens der Pflanzen auf Moorböden vgl. S. 43. Der günstigste Wassergehalt des Bodens für unsere Nutzpflanzen wird im allgemeinen zu etwa 50 bis 60% des Porenraumes angenommen (S. 67).

Die wassersuchenden Wurzeln reichen in der Regel nicht bis in das Grundwasser, da der Saugsaum ihnen genügend Feuchtigkeit liefert. In Zeiten geringer Niederschläge kann die Versorgung der Pflanzen aus dem Saugsaum von ausschlaggebender Bedeutung werden. Dabei spielen die Tiefe des Grundwasserspiegels unter Gelände sowie die Steighöhe und Steiggeschwindigkeit des Wassers eine Rolle (S. 9). Da aber der Aufstieg des Saugwassers in der Nähe des Grundwassers am stärksten ist, gewinnt die Versorgung aus dem Grundwasser im allgemeinen nur dann praktische Bedeutung, wenn ein ausreichender Teil der Wurzeln bis dicht über den Grundwasserspiegel vordringt. Die wasserspendende Wirkung des Grundwassers läßt sich an dem Ertrage des Grünlandes deutlich nachweisen (Zahlentafel 32). Es ist daher bei vielen Entwässerungsmaßnahmen eine für den Erfolg entscheidende Frage, wie tief unter Gelände der Grundwasserspiegel gesenkt werden muß.

Freckmann hat Versuche über diese Frage mit einem Klee Grasgemenge in Wachstumsgefäßen aus Zement angestellt, deren Ergebnis aus der folgenden Zahlentafel zu entnehmen ist (52, 42):

Zahlentafel 32.

Bodenart	Grundwasser unter Gelände in cm	Heuernte in dz/ha	Roheiweiß		Bodenart	Grundwasser unter Gelände in cm	Heuernte in dz/ha	Roheiweiß	
			der Trockenmasse in %	in dz/ha				der Trockenmasse in %	in dz/ha
Grober Sandboden	40	118,0	12,51	12,6 = 100	Lehm-boden	40	222,9	11,16	21,2 = 100
	70	50,4	14,10	6,0 = 48		70	170,4	10,19	14,8 = 70
	100	42,8	14,65	5,3 = 42		100	137,5	12,88	15,0 = 71
	130	33,1	14,47	4,1 = 33		130	118,1	12,31	12,3 = 58
Feiner Sandboden	40	174,4	8,15	12,1 = 100	Ton-boden	40	180,1	10,02	15,3 = 100
	70	151,6	8,41	10,8 = 89		70	161,8	11,99	16,5 = 108
	100	113,0	9,33	8,9 = 74		100	141,8	11,61	14,0 = 92
	130	72,3	9,42	5,8 = 48		130	140,6	12,62	15,1 = 99
Lehmiger Sandboden	40	259,9	9,80	21,6 = 100	Niederungs-moor	40	172,5	9,16	13,4 = 100
	70	178,5	8,78	13,3 = 62		70	161,8	10,56	14,5 = 108
	100	163,6	9,23	12,8 = 59		100	124,4	10,56	11,2 = 84
	130	109,1	9,98	9,3 = 43		130	123,0	10,44	10,9 = 81

Der Grundwasserspiegel wurde während der ganzen Wachstumszeit auf den angegebenen Höhen gehalten. Die Ernten sind das Ergebnis von drei Schnitten. Man beachte den starken Einfluß des Grundwasserstandes bei dem durchlässigen groben Sandboden und den geringen bei dem schwer durchlässigen Tonboden.

In lehmigem Sandboden wurden außerdem Untersuchungen bei zum Teil wechselndem Grundwasserstand mit demselben Klee Grasgemenge durchgeführt. Das Ergebnis war folgendes:

Zahlentafel 33.

Winter	Sommer	Heuernte in dz/ha	Roheiweiß		
			der Trocken- masse in %	in dz/ha	
40 cm	40 cm	260	9,79	21,6 = 100	
70 cm	70 cm	179	8,78	13,3 = 62	
100 cm	100 cm	164	9,23	12,9 = 60	
trocken, d. h. kein Grundwasser im Versuchsgefäß	40 cm	266	8,65	19,5 = 90	
	70 cm	209	8,78	15,6 = 72	
	100 cm	196	9,28	15,5 = 72	
40 cm	trocken	127	10,86	11,7 = 54	
70 cm		118	10,30	10,3 = 48	
100 cm		104	11,50	10,2 = 47	
trocken	alle 2 Wochen abwechselnd trocken und	40 cm	176	9,07	13,6 = 63
		70 cm	164	9,19	12,8 = 59
		100 cm	152	8,91	11,5 = 53
trocken	alle 4 Wochen abwechselnd trocken und	40 cm	165	9,22	12,9 = 60
		70 cm	161	9,06	12,4 = 57
		100 cm	134	9,52	10,8 = 50

Die Zahlen lassen deutlich erkennen, daß ein tiefer Grundwasserstand im Winter und ein hoher im Sommer wesentlich größere Ernten ergeben haben als tiefe Sommer- und hohe Winterwasserstände.

Sellke hat Durchschnittsergebnisse aus 41 Poldern und Gemeindebezirken an der Weichselmündung veröffentlicht, aus denen die Abhängigkeit des Weideertrages vom Grundwasserstand hervorgeht (200). Die Zahlen sind Mittelwerte von moorigen, anmoorigen und mineralischen (meist lehmigen)

Böden. Es ergab sich:

Grundwasser unter Gelände	Gewichtszunahme des Jungviehs je ha	Milchmenge je ha
10 cm	1,80 dz	1692 l
20 cm	2,75 dz	2056 l
35 cm	2,95 dz	2917 l
70 cm	4,40 dz	4213 l

Nach Gefäßversuchen Bert-rams (5, 205) sind manche Nutzpflanzen auch recht empfindlich gegen eine vorübergehende Anspannung des Grundwassers, namentlich dann, wenn es sich um stillstehendes, sauerstoffarmes Wasser

handelt. Gerste, die schon an sich die Bodennässe nicht liebt, brachte folgende mittlere Körnerernten (Vergleichszahlen):

Grundwasserstand unverändert	80 cm . . 100
Bei vorübergehender Anspannung bis auf	50 cm . . 54
	25 cm . . 35
	10 cm . . 25

Die Anspannung erfolgte von Tag zu Tag zunehmend eine Woche lang, während in der nächsten Woche eine stufenweise Wiederabsenkung stattfand. Jeder Versuch dauerte 2 Wochen. Die verschiedenen Pflanzenarten sind gegen solche Schwankungen des Grundwasserstandes sehr verschieden empfindlich.

Die Lage des Grundwassers ist auch von Einfluß auf das Artenverhältnis des Grünlandes, weil manche Pflanzenarten einen tieferen, andere einen höheren Grundwasserstand bevorzugen. Man versteht unter Artenverhältnis das Verhältnis der Anteile, mit denen die einzelnen Pflanzenarten nach Anzahl oder Gewicht im Gesamtbestande vertreten sind. Das Artenverhältnis beeinflußt den Ernteertrag. Freckmann und Brouwer (53, 241) haben die Entwicklung des Artenverhältnisses bei verschiedenen festbleibenden Grundwasserständen

(40, 85 und 130 cm) durch einen 4jährigen Versuch verfolgt. In Zahlentafel 35 ist der Gewichtshundertteil der betreffenden Pflanze an der grünen Ernte des ersten Schnittes im Jahre 1929 (oben) und 1932 (unten) angegeben, darunter die Zu- oder Abnahme: Mit sinkendem Grundwasserstand ist der Anteil des Wiesenschwingsels (*Festúca pratensis*) im Laufe der Jahre stark zurückgegangen, während das Wiesenrispengras (*Póa pratensis*) gleichzeitig eine erhebliche Zunahme erfahren hat.

Tacke teilt das Ergebnis von Feldversuchen auf Moorboden mit, aus denen die Abhängigkeit der Ernte vom Grundwasserstand hervorgeht (206, 69) [s. Zahlentafel 36]. Wenn danach auch eine Entwässerungstiefe von 50 cm die größten Ernten ergeben hat, so ist diese geringe Tiefe doch in niederschlagreichen Jahren für Ackerbau auf Moorböden nicht ausreichend, zumal auch die Bearbeitung des Moores dann erschwert wird.

Als günstigste Tiefe des Grundwasserspiegels unter Gelände während der Wachstumszeit kann man bei mittleren Verhältnissen Nord- und Mittel-

deutschlands etwa die Zahlen der Zahlentafel 37 (in cm) annehmen. Bei Mineralboden und unbesandetem Moor gelten die kleineren Tiefen für durchlässige Mineralböden und Hochmoor, die größeren für schwerdurchlässige mineralische und für Niedermoorböden (vgl. S. 58, Wurzeltiefen in Mooren). Bei hohen Jahresniederschlagshöhen, z. B. in den bayerischen Mooren der Voralpen, sind tiefere Grundwasserstände als nach

Zahlentafel 37 ratsam. Allgemein ist zu beachten, daß stauendes Grundwasser wegen seines Sauerstoffmangels tiefer liegen muß als fließendes. Manche Gräser können bei einem vorübergehend hohen Grundwasserstand gut gedeihen, wenn das Grundwasser durch seine Fließ-

bewegung und durch häufiges Steigen und Fallen seines Spiegels immer wieder von neuem Gelegenheit hat, sich mit Luft

anzureichern. Im übrigen ist der günstigste Grundwasserstand für die verschiedenen Pflanzenarten durchaus nicht gleich. Man kann aber diesem Umstande in der Anwendung keine Rechnung tragen, weil im Laufe der Jahre und zur gleichen Zeit auch auf benachbarten Feldern verschiedene Gewächse angebaut werden, so daß man sich mit einer mittleren Absenkung begnügen muß. Dieses

Zahlentafel 35.

	Ungedüngt			Gedüngt		
	Grundwasser unter Gelände in cm					
	40	85	130	40	85	130
	%	%	%	%	%	%
<i>Festúca pratensis</i>	26	56	50	33	41	47
	28	23	12	20	15	10
	+ 2	-33	-38	-13	-26	-37
<i>Phléum pratense</i>	34	28	36	46	47	42
	3	10	8	9	5	9
	-31	-18	-28	-37	-42	-33
<i>Phálaris arundinácea</i>	~ 0	~ 0	1	2	2	~ 0
	40	15	25	52	34	33
	+40	+15	+24	+50	+32	+33
<i>Póa pratensis</i>	6	4	5	8	3	5
	13	43	53	15	44	46
	+ 7	+39	+48	+ 7	+41	+41
<i>Trifólium répens</i>	33	11	4	10	4	2
	15	0	0	0	0	0
	-18	-11	- 4	-10	- 4	- 2

Zahlentafel 36.

Grundwasser unter Gelände	Winterroggen		Hafer		Kartoffeln
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Knollen
	cm	dz/ha	dz/ha	dz/ha	dz/ha
50	16,9	39,9	28,0	58,0	288,4
75	15,0	32,0	28,1	52,9	211,9
100	12,0	26,7	27,3	48,0	202,1
125	8,5	21,5	23,9	41,9	194,8
150	8,0	16,5	21,2	39,9	194,0

Zahlentafel 37.

	Wiese	Weide	Acker
Mineralboden	50—80	70—100	90—120
Besandetes Moor . . .	50—70	70— 90	80—100
Unbesandetes Moor . .	40—50	60— 70	70— 80

auch deshalb, weil der günstigste Grundwasserstand außerdem von der Niederschlagshöhe abhängt, die ja in den einzelnen Jahren stark wechselt. Denn in nassen Jahren ist ein tieferer Grundwasserstand erwünscht als in trockenen. Ferner möchte man in der Wachstumszeit häufig einen höheren Grundwasserstand haben als im Winter (S. 142).

Außer den Niederschlägen liefert auch der Tau Wasser für die Pflanzen. Nach Zunker ist im Flachlande bei starkem Taufall mit höchstens etwa 1 mm Tau je Nacht zu rechnen, nach Untersuchungen von Wollny nur mit dem halben Betrage. Der Tau entstammt zum Teil der Bodenverdunstung. Am Morgen wird die unmittelbar über dem Boden lagernde Luft durch die Verdunstung des Taus stark mit Wasserdampf versorgt, so daß die Blattverdunstung der Pflanzen in der feuchten Luft vorübergehend herabgesetzt wird. Der Tau wirkt somit wassersparend für die Pflanzen. Wind verringert die Taumenge, weil er dem wärmeausstrahlenden Boden immer wieder neue Wärme zuführt und dadurch seinen Wärmegrad über dem Taupunkt hält (S. 82). Daher ist die Taubildung an windgeschützten Stellen, z. B. auf Waldwiesen und in Mulden, im allgemeinen besonders groß. Auf Grund neuerer Untersuchungen ist anzunehmen, daß die Pflanzen zwar die Wasseraufnahme durch die Wurzeln bevorzugen, daß manche aber bei Wassermangel im Boden auch mit den Blättern nicht unerhebliche Wassermengen aufnehmen können, wenn bestimmte Voraussetzungen dafür gegeben sind, die im Sommer aber fast nur nachts vorliegen. Es tritt dann ein rückläufiger Saftstrom ein, der die Pflanze vor dem Vertrocknen schützt (169, 111). Dieser Umstand ist für die künstliche Beregnung und für die Ausnutzung des Taus von Bedeutung.

Über die Wassermengen, die durch den Dampfniederschlag der Bodenluft (Kondensation) entstehen, wenn diese wärmer ist als die festen Bodenteile und keinen Sättigungsfehlbetrag mehr enthält, sind die Auffassungen verschieden. Eine wesentliche Rolle ist diesem Vorgang vermutlich nicht zuzuschreiben.

Tiefer Grundwasserspiegel und geringes Wasserhaltevermögen eines Bodens fördern die Sickerverluste, umgekehrt hoher Grundwasserstand und großes Wasserhaltevermögen die Verdunstung. Von Seelhorst ermittelte bei seinen Versuchen folgende Sickerwassermengen bebauter und unbebauter Flächen:

Zahlentafel 38.

Jahr	Monat	Regen 1	Sickerwassermenge von							
			Kartoffeln		Gerste		Roggen		Brache	
			1	%	1	%	1	%	1	%
1904	November	86	22	26	1	1	33	38	74	86
	Dezember	63	32	51	27	43	34	54	35	56
1905	Januar	48	36	75	36	75	37	77	44	92
	Februar	41	57	139	52	127	59	144	66	161
	März	54	24	44	25	46	23	43	25	46
	April	67	42	63	41	61	41	61	39	58
	Mai	46	4	9	3	7	1	2	5	11
	Juni	105	10	10	1	1	—	—	32	31
	Juli	113	5	4	—	—	—	—	40	35
	August	43	1	2	—	—	4	9	13	30
	September	67	4	6	—	—	4	6	41	61
	Oktober	111	42	38	16	14	44	40	82	74
		844	279	33	202	24	280	33	541	64

Die Zahlen zeigen die Abhängigkeit der Sickerverluste und damit auch des Wasserverbrauches der Pflanzen von ihrem wechselnden Wachstumszustande. Die Verdunstungsverluste sind auch von dem Zustand der Erdoberfläche

abhängig. Nach Mitscherlich (135, 155) fand man durch Versuche folgende Vergleichszahlen:

Unhackter Boden . . .	100	Brache ohne Streudecke	100
Behackter Boden . . .	78 bis 85	Brache mit 0,5 cm Strohecke	42
		Brache mit 2,5 cm Strohecke	18
		Brache mit 5,0 cm Strohecke	10

Winde können die Bodenverdunstung erheblich vergrößern und so eine starke Austrocknung der oberen Bodenschichten bewirken. Ein Mittel zur Verhinderung dieser Schäden sind Baumpflanzungen in schmalen Streifen, sog. Windschutzstreifen. Auch die Blattverdunstung der Pflanzen wird durch den Wind beeinflusst (4). Doch scheinen sich die verschiedenen Pflanzenarten dem Winde gegenüber nicht gleichartig zu verhalten. Jedenfalls kann die Frage noch nicht als geklärt angesehen werden.

Der Wassergehalt der verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteile ist sehr verschieden. Es enthalten im großen Durchschnitt in Gewichtshundertteilen:

Getreidekörner und Samen der Hülsenfrüchte, Heu, Stroh . .	14 bis 16%
Gräser, Halmfrüchte, Klee	70 „ 80%
Kartoffelknollen, Rüben	75 „ 85%
Rübenblätter, Kartoffelkraut, Hülsenfrüchte	80 „ 90%
Gurken, Spargel, Obst	85 „ 95%

Der Wasserverbrauch unserer Nutzpflanzen weist erhebliche Unterschiede auf. Vgl. auch die Ausführungen auf S. 80. Seine Kenntnis ist für die Landwirtschaft und Bodenverbesserung wichtig. Man hat versucht, durch Bodenwaagen (Lysimeter) oder durch Wachstumsgefäße diese Frage zu klären. Bodenwaagen sind mit Boden gefüllte Gefäße, die in einem Bodenschacht so angeordnet werden, daß sie mit ihrem Inhalt gewogen werden können. Die Oberfläche ihrer Bodenfüllung muß in gleicher Höhe wie der benachbarte gewachsene Boden liegen und mit derselben Pflanzenart bestellt sein wie dieser, damit Regen, Wind und Sonne möglichst so zur Wirkung kommen, wie es natürlichen Verhältnissen entspricht. Man kann ferner einen künstlichen Grundwasserspiegel in der Bodenwaage herstellen und durch eine verstellbare Abflüßvorrichtung am Grunde des Gefäßes regeln. Mißt man alsdann laufend die Niederschläge, den Abfluß und das Gewicht der Bodenwaage, so läßt sich die Verdunstung leicht berechnen. Diese stellt jedoch nicht nur die Blattverdunstung des Pflanzenwuchses, sondern auch die Verdunstung des in der Bodenwaage befindlichen Bodens dar. Um beide Größen getrennt zu erhalten, muß noch eine zweite Bodenwaage ohne Pflanzenwuchs unter sonst gleichen Verhältnissen aufgestellt werden, die dann die reine Bodenverdunstung ergibt. Eine Schwierigkeit liegt aber darin, daß der bewachsene Boden durch den Pflanzenwuchs gegen Wind und Sonne geschützt ist, was bei dem nackten Boden nicht der Fall ist. Man muß daher letzteren durch tote Bedeckung in gleicher Weise zu schützen versuchen, wobei jedoch schwer zu sagen ist, ob die lebende und tote Bedeckung wirklich als einigermaßen gleichwertig angesehen werden können. Dabei ist auch noch nicht berücksichtigt, daß die Pflanzen dem Boden Wasser entziehen, das sonst zum Teil durch den Boden selbst verdunsten würde.

Die Versuche mit Wachstumsgefäßen sind auf zweierlei Weise durchgeführt worden. Das Wachstumsgefäß wird mit einem Deckel dicht verschlossen, so daß keine Bodenverdunstung eintreten kann. Der Deckel ist mit Löchern für die Pflanzenstengel versehen, die Zwischenräume werden mit Wachs gedichtet. Oder man sieht davon ab, die Bodenverdunstung durch luftdichten Abschluß auszuschalten, und versucht, sie in gleicher Weise wie bei den Bodenwaagen durch ein Gefäß ohne Pflanzen festzustellen.

Jeder einzelne Versuch ergibt aber stets nur den Wasserverbrauch, den eine Pflanze unter bestimmten Umständen gehabt hat, und die dabei mitwirkenden Umstände sind außerordentlich vielgestaltig. Die durch Bodenwaagen

oder Wachstumsgefäße gemessene Blattverdunstung sagt daher noch nichts darüber aus, ob eine Nutzpflanze bei anderen Wachstumsbedingungen, als sie dem Versuch zugrunde liegen und wie sie durch landwirtschaftliche Maßnahmen unter Umständen geschaffen werden können, nicht auch mit wesentlich weniger Wasser dieselbe Erntemenge liefert.

Man drückt den Wasserverbrauch der Pflanzen meistens als Vielfaches (w) der geernteten Trockenmasse aus. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen muß man annehmen, daß w um so größer wird, je mehr das für eine Pflanzenart günstigste Verhältnis zwischen

1. Kohlenstoffeinbau,
2. Wasser- und Nährsalzaufnahme und damit auch Wasserabgabe (Blattverdunstung, Austropfung),
3. Atmung (S. 66)

gestört wird. Die Pflanze arbeitet hinsichtlich ihres Wasserverbrauches dann unwirtschaftlicher. Wenn in trockener Luft die Blattverdunstung stark zunimmt, kann die damit verbundene Möglichkeit einer stärkeren Nährsalzaufnahme aus dem Boden offenbar nicht voll ausgenutzt werden, weil der Kohlenstoffeinbau zu gering wird (S. 57). Ebenso muß eine Beeinträchtigung des Kohlenstoffeinbaues durch starke Beschattung bei unveränderter Blattverdunstung in gleicher Weise wirken. Großer Wassergehalt des Bodens hat zur Folge, daß seine Nährsalzlösungen verdünnt werden und daher mehr Wasser aufgenommen werden muß, um der Pflanze dieselbe Gewichtsmenge an Nährsalzen zuzuführen. Hat umgekehrt die Pflanze Wassermangel, dann kann sie auch nicht genügend Nährsalze aufnehmen, außerdem leidet der Kohlenstoffeinbau (S. 54), so daß der Aufbau neuer Pflanzenmasse geringer wird. Zwar sinkt dann auch die Blattverdunstung, andererseits geht aber die Atmung weiter und der durch sie bewirkte Stoffverlust wird verhältnismäßig groß. In nährsalzarmen Böden sind große Wassermengen nötig, um mit den schwachen Nährsalzlösungen ausreichende Nährsalze zu erhalten. Man kann ferner vermuten, daß der Wasserverbrauch je kg Trockenmasse im allgemeinen um so kleiner wird, je weniger Nährsalze und je mehr Kohlehydrate die Pflanze für ihren Aufbau benötigt. Denn das Wasser dient ja in erster Linie der Aufnahme der Nährsalze aus dem Boden und nur zu einem geringen Teil dem stofflichen Aufbau der Kohlehydrate, wenn nur der Wassergehalt der Zellen zur Bindung der Kohlensäure ausreicht (S. 54). So erklärt sich möglicherweise der verhältnismäßig kleine Wasserverbrauch w bei den Hackfrüchten (s. unten). Man hat schließlich noch die Beobachtung gemacht, daß w in der Regel um so kleiner ist, je mehr Trockenmasse auf der Flächeneinheit erzeugt wird. Diese Erscheinung dürfte darauf zurückzuführen sein, daß ein üppiges Wachstum die Folge davon ist, daß Kohlenstoffeinbau, Wasser- und Nährsalzaufnahme sowie Atmung gut im Einklang miteinander stehen.

Die Abhängigkeit des Wasserverbrauches von zahlreichen Umständen und die dadurch bedingte Schwierigkeit der Versuchsanordnung bringt es mit sich, daß verschiedene Untersuchungen zu recht verschiedenen Ergebnissen geführt haben. Nach zahlreichen bisher angestellten Versuchen dieser Art kann man im großen Durchschnitt mit etwa folgendem Wasserverbrauch in l je kg Trockenmasse (Trocknung bei 100° C) ohne Bodenverdunstung rechnen:

Wiesen und Weiden	350 bis 600
Klee und Getreide	300 „ 500
Hülsenfrüchte	250 „ 400
Hackfrüchte	200 „ 300

Es wird das Ziel weiterer Forschungen sein müssen, ob und wie dieser Wasserverbrauch unserer Nutzpflanzen durch ein möglichst vollkommenes Zusammenspiel aller Wachstumsbedingungen, insbesondere durch ein günstiges Verhältnis von Kohlenstoffeinbau, Blattverdunstung und Atmung, verringert werden kann.

Die Tatsache, daß der weitaus größte Teil des von der Pflanze aus dem Boden entnommenen Wassers nach der Beförderung der Nährstoffe wieder entweicht, hat die große wasserwirtschaftliche Bedeutung, daß das entweichende Wasser noch im gleichen Jahr als Regen zurückkehren und somit neue Pflanzenmasse aufbauen kann.

Über den Wasserverbrauch unserer wichtigsten Waldbäume hat von Hönel Untersuchungen angestellt (159, 310). Er fand für einen Boden von mittlerem Wassergehalt während der Wachstumszeit für 1 kg Blatt-Trockenmasse folgende Blattverdunstung:

	Mittel
Laubhölzer	250 bis 1260 kg 700 kg
Nadelhölzer (ohne Lärche)	30 „ 200 kg (?) 90 kg (?)

Man kennzeichnet den Wasserbedarf der Pflanzen auch durch die Höhe einer Wasserschicht, die man sich über der bewachsenen Bodenfläche denkt. Unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der Pflanzen (S. 63) und der Literzahlen je kg Trockenmasse ergeben sich dann für mittlere und hohe Ernten nach Zahlentafel 43 folgende Wasserhöhen (ohne Bodenverdunstung):

Der hohe Wasserverbrauch einer Zuckerrübenenernte ist die Folge der großen Erntemenge. In den Wentzelschen Betrieben (Teutschenthal, Bezirk Merseburg) wurden auf lehmigen Böden bei tiefem Grundwasserstand (etwa 60 m) und bei 400 bis 500 mm Jahresniederschlag noch mittlere Zuckerrübenenernten erzielt. Danach scheint sich also der oben ermittelte Wasserverbrauch für Hackfrüchte zu bestätigen. Bei Kartoffeln müssen sich

Zahlentafel 39.

	Wasserbedarf in mm für	
	mittlere Ernten	hohe Ernten
Erbsen	85—135	210—340
Kartoffeln	85—130	160—235
Getreide	130—210	305—510
Zuckerrüben	180—270	320—480
Wiesenheu	180—305	300—510
Luzerne	205—340	410—680

wegen ihres geringen Wasserverbrauches (160 bis 235 mm) hohe Ernten auch auf leichten, durchlässigen Böden erreichen lassen, was mit der Erfahrung in Einklang steht. Unter den Getreidearten gilt der Roggen als verhältnismäßig anspruchslos im Wasserbedarf, unter den Waldbäumen die Kiefer. Bei 600 mm und weniger Jahresniederschlag wird die Wassermenge in vielen Fällen nicht ausreichen, um hohe Heuernten zu erzielen. Wiesen können daher vielfach nur dann hohe Ernten bringen, wenn ihnen fremdes Wasser als Grundwasser zufließt. Bei 1000 mm und mehr Jahresniederschlag findet man hochwertige Wiesen aber auch dann, wenn kein Grundwasser zur Verfügung steht.

Ein vorübergehender Wassermangel scheint zu manchen, je nach der Pflanzenart verschiedenen Zeiten leicht überwunden zu werden, in anderen, oft nur kurzen Zeiten dagegen zu erheblichen Wachstumschädigungen und Mindererträgen zu führen. Jedem Landwirt ist es bekannt, wie ein „Regen zur rechten Zeit“ oft geradezu Wunder tut.

Da der Regen die wichtigste Wasserquelle der Pflanzen ist, hat man den Begriff der Dürremonate eingeführt (S. 89). Dürremonate nennt man diejenigen Monate, in denen der Niederschlag unter einer bestimmten Grenze bleibt. Der Begriff ist freilich nur ein sehr roher Maßstab für die erforderliche Regenmenge, weil der Regenbedarf der Pflanzen in hohem Maße auch von der Bodenbeschaffenheit und der Wärme abhängt. Denn leichte Böden brauchen wesentlich mehr Regen als schwere und in heißen Monaten ist das Regenbedürfnis größer als in kühlen. Im allgemeinen kann man vielleicht von Dürremonaten sprechen, wenn folgende Niederschlagshöhen nicht überschritten werden:

im April und September je 50 mm, im Mai bis August je 60 mm.

Nach Freckmann (167, 13) ist das Regenbedürfnis unserer Nutzpflanzen in mm auf mittelschweren Böden etwa folgendes:

Zahrentafel 40.

	April	Mai	Juni	Juli	August	September
Winter-Roggen	40	70	70	40—50	—	—
Winter-Weizen	40	70	80	60	—	—
Winter-Gerste	40	70	70	40	—	—
Sommer-Roggen	50	80	80	60	—	—
Sommer-Weizen	50	80	80—90	70	—	—
Sommer-Gerste	50	70—80	70	50	—	—
Hafer	50	70	70—80	60	—	—
Lupinen	40—50	70	70	60	—	—
Kartoffeln (mittelspäte) .	40	60	70	80—90	80—90	60
Rüben	50	50	70	80—90	90	70
Klee	60	90	80—90	90	80	—
Wiese	60	90—120	90—100	100—120	80—90	—
Weide	60	90—100	90—120	90—120	90—120	70—80

Auf Sandböden wird der Verbrauch größer, weil sie stärkeren Sickerverlusten ausgesetzt sind. Die Zahlen sollen nur einen Anhalt geben.

Münzinger (138, 100) rechnet für kurzlebige und schwachverdunstende Pflanzen mindestens etwa 2 mm Regen im Durchschnitt je Tag, im höchsten Fall 5 mm, also bei 100 Wachstumstagen 200 bis 500 mm. Von Wrangell (227, 308) gibt den Regenbedarf für eine Gerstenernte von 30 dz Körnern und 40 dz Stroh je ha auf schweren Böden, in denen das Wasser weitgehend ausgenutzt wird, zu rund 280 mm an.

Nähere Angaben über die Niederschläge siehe S. 85.

Die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung ist weitgehend darauf abgestellt, den Wasserhaushalt des Bodens zu verbessern. Werden die oberen Bodenschichten durch Eggen oder Hacken gelockert, so wird der Aufstieg des Bodenwassers erschwert, so daß die Bodenverdunstung verringert wird. Beim Hacken werden außerdem die Unkräuter vernichtet, die sonst Wasser verbrauchen würden. Auch das Schälen der Stoppeln unmittelbar nach der Ernte bewirkt eine Lockerung der oberen Bodenschicht, so daß die Verdunstungsverluste geringer werden und das Niederschlagwasser besser in den Boden eindringt. Außerdem stört auch das Schälen das Wachstum der wasserbrauchenden Unkräuter. Versuche ergaben in der Zeit vom 10. 8. bis 1. 9., also in 21 Tagen, eine Verringerung der Verdunstung um 8 mm gegenüber ungeschältem Boden, in der Zeit vom 20. 7. bis 31. 10., in 103 Tagen, eine Wassersparnis von 41 mm. Die Ackerschleppel glättet die rauhe Furche und bewirkt, im Frühjahr angewendet, daß der Wind den Boden nicht so schnell auszutrocknen vermag. Der Untergrundlockerer kann die Aufspeicherung von Bodenwasser fördern und eine etwa verdichtete Pflugsohle zerstören, wodurch die Wasserbewegung im Boden erleichtert wird.

In entgegengesetzter Richtung wie die Lockerung der oberen Bodenschicht wirkt das Walzen. Es begünstigt den Aufstieg des Saugwassers. Man walzt daher die junge Saat, damit die Bodenfeuchtigkeit bis zum Saatkorn hochsteigen kann. Besonders wichtig ist das Walzen der lockeren Moorböden. Nach einer Untersuchung der Moorversuchsanstalt Bremen enthielt 11 Moorboden einer gewalzten und einer nichtgewalzten Hochmoorwiese im Maibuscher Moor im Juli die Wassermengen der Zahrentafel 41.

Zahrentafel 41.

Tiefe	Gewalzt	Ungewalzt
0—5 cm	649 cm ³	505 cm ³
5—10 cm	811 cm ³	683 cm ³

4. Die Luft.

Auch die Pflanzen brauchen Luft zum Atmen. Der durch die Spaltöffnungen der Blätter eindringende Sauerstoff der Luft verbindet sich mit einem Teil des in den Zellen vorhandenen Kohlenstoffes der Kohlehydrate

zu Kohlensäure, die entweder vom Blattgrün sofort verarbeitet oder durch die Spaltöffnungen wieder ausgeschieden wird. Die Atmung (Dissimilation) ist also ein Verbrennungsvorgang, der Kraft für den Ablauf des Lebens, insbesondere für den Kohlenstoffeinbau, liefert und daher auch mit einem Verlust an Pflanzenmasse verbunden ist. Dieser Verlust kann so groß werden, daß er den Zuwachs durch Kohlenstoffeinbau übersteigt und dadurch sogar zu einer Abnahme des Pflanzengewichtes führt. Bei höheren Wärmegraden atmen die Pflanzen lebhafter, desgleichen bei geringem Wassergehalt ihrer Zellen. In kühlen Nächten mit ihrer verminderten Atmungstätigkeit wird daher der Verlust an Kohlehydraten erheblich kleiner. Dieser Verlust läßt sich durch folgende Gleichungen ausdrücken, die der auf S. 54 aufgeführten entsprechen:



Gräser, die in warmer Jahreszeit zu lange durch stillstehendes Wasser überschwemmt sind, ersticken, weil ihnen der Sauerstoff zum Atmen fehlt. Auch die Wurzeln der Pflanzen atmen, wenngleich weniger stark als die Blätter. Daher können auch manche Baumarten stauende Nässe nicht längere Zeit ertragen:

Feldahorn (*Acer campêtre*). Kommt noch auf nassen Böden fort.

Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*). Sehr empfindlich gegen Überschwemmungen und stauende Nässe.

Schwarzerle (*Álnus glutinósa*). Gegen stauende Nässe empfindlich.

Weißerle (*Álnus incána*). Erträgt Überschwemmungen.

Weißbuche (*Carpinus Bétulus*). Ziemlich widerstandsfähig gegen Überschwemmungen.

Rotbuche (*Fágus silvática*). Meidet Überschwemmungsgebiete.

Schwarzpappel (*Pópulus nigra*). Verträgt kurze Zeit anhaltende Überschwemmungen, jedoch kein stauendes Wasser.

Stieleiche (*Quércus Róbur*). Erträgt Überschwemmungen gut.

Korbweide (*Sálix viminalis*). Erträgt Überschwemmungen sehr gut.

Weißtanne (*Ábies pectináta*). Sehr empfindlich gegen Überschwemmungen.

Fichte (*Picea excélsa*). Meidet Überschwemmungsgebiete.

Gemeine Kiefer (*Pínus silvéstris*). Verträgt gelegentliche kurze Überschwemmungen durch fließendes Wasser, fehlt aber in Überschwemmungsgebieten.

Die im Boden befindliche Luft enthält Kohlensäure. In frisch gedüngten Böden und Gartenerde hat man zeitweise bis zu 10% CO₂ festgestellt. Der Kohlensäuregehalt der Bodenluft nimmt mit wachsender Tiefe zunächst zu und wird dann wieder geringer. Je größer die Luftdurchlässigkeit des Bodens ist, um so häufiger wird die Bodenluft erneuert und die Kohlensäure entfernt. Lau fand die Vomhundertzahlen der Zahlentafel 42 (116).

Zahlentafel 42.

CO ₂ -Gehalt in einer Tiefe von cm	Sandboden %	Lehmboden %	Moorboden %
15	0,09—0,19	0,05—0,27	0,10—0,75
30	0,06—0,24	0,09—0,47	0,34—1,12
60	0,11—0,57	0,20—1,13	1,01—3,77

Für viele Nutzpflanzen ist bereits ein größerer Kohlensäuregehalt der Bodenluft als 1 bis 2% schädlich, wie er in nicht ausreichend entwässerten schweren Böden und Moorböden nicht selten vorkommt. Bodenschichten mit länger anhaltendem starken Gehalt an CO₂ verhindern das Wurzelwachstum unserer Nutzpflanzen.

In der Bodenluft der Moore findet man bisweilen auch Sumpfgas (CH₄) und Schwefelwasserstoff (H₂S). Der Sauerstoff der Bodenluft verbindet sich mit der in Zersetzung begriffenen organischen Masse des Bodens und entgiftet sie dadurch, verhindert also die Fäulnis.

Für das Pflanzenwachstum ist der Luftgehalt des Bodens von großer Bedeutung. Kopecky gibt dafür folgende Zahlen (99, 173): Süßgräser verlangen etwa 6 bis 10%. Sinkt der Luftgehalt unter diese Grenze, dann werden sie durch Sauergräser verdrängt. Mineralischer Ackerboden bedarf eines Luftgehaltes von 10 bis 20% und ist als entwässerungsbedürftig anzusehen, wenn sein Lufthaltevermögen (S. 13) unter 10% liegt. Weizen und Hafer sollen nach

Kopecky 10 bis 15%, Gerste und Zuckerrübe 15 bis 20% Luftgehalt beanspruchen. Die vorstehenden Zahlen stellen den Mindestgehalt an Bodenluft dar, den die Pflanzen brauchen. Ein zu geringer Luftgehalt erschwert die ausreichende Erneuerung der Bodenluft (S. 20), so daß die Kohlensäure sich im Boden anhäuft und statt der erforderlichen Verwesung die schädliche Fäulnis eintritt.

Ein wichtiges Ziel der Bodenbearbeitung ist häufig die Verbesserung seines Lufthaushaltes.

5. Die Nährstoffe.

Die Pflanzen decken ihren Nährstoffbedarf nicht lediglich aus den Salzen der Bodenlösung, sondern sind offenbar imstande, auch den Bodenteilchen einen Teil ihrer Basen unmittelbar zu entziehen. Dabei spielen vermutlich die Ausscheidungen der Wurzeln eine Rolle. In sauren Böden ist der Nährsalzgehalt der Bodenlösung nur gering, so daß die Pflanzen hier besonders darauf angewiesen sind, die zu ihrer Ernährung erforderlichen Basen von den Bodenteilchen selbst abzuspalten. Da aber in saueren Böden die Ionen nur schwer von den Quellstoffteilchen zu lösen sind, kann ein starker Nährstoffmangel der Pflanzen auch dann bestehen, wenn der Boden an sich noch einen ausreichenden Vorrat an Nährsalzen besitzt.

Die zum Aufbau des Pflanzenkörpers dienenden Grundstoffe (Elemente) haben verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Die Kohlehydrate sowie die Pflanzenfette und Pflanzenöle bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Der Stickstoff ist unentbehrlich zum Aufbau aller Eiweißstoffe. Phosphor findet sich gleichfalls in vielen Eiweißverbindungen, die außerdem Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefel enthalten. Das Kalium steht in wichtigen Beziehungen zu den Kohlehydraten und ihren Wanderungen. Das Magnesium scheint bei der Bildung der Eiweißstoffe mitzuwirken, es findet sich auch im Zellsaft und im Blattgrün. Bei Eisenmangel treten Störungen im Blattgrün auf, obwohl das Eisen nach neueren Untersuchungen kein Bestandteil des Blattgrüns ist. Auch Kalzium kommt in jeder Pflanzenasche vor; es ist jedoch noch nicht geklärt, ob es für die Pflanzen unentbehrlich ist. Natrium scheint bisweilen als Ersatz für Kalium aufzutreten. Die Rolle des Aluminiums ist noch unklar. Silizium findet sich besonders in Gräsern und Getreidearten und dient offenbar zur Verfestigung mancher Pflanzenteile. Auch die Spurengrundstoffe (z. B. Mangan, Bor, Jod) beeinflussen das Pflanzenwachstum.

Außer Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalzium sind die übrigen für das Pflanzenwachstum wichtigen Grundstoffe im allgemeinen in ausreichender Menge im Boden vorhanden. Die genannten vier Grundstoffe bedürfen aber in der Regel eines Ersatzes durch Dünger, zumal sie durch die Ernten in erheblichem Umfange dem Boden entzogen werden. Die Zahlentafel 43 gibt darüber Aufschluß (227, 339).

Gerlach (60, 721) hat von 1906—1918 Versuche mit Bodenwaagen über die Auswaschung von Stickstoff (N), Kali (K_2O), Kalk (CaO), Magnesia (MgO) und Phosphorsäure (P_2O_5) angestellt, und zwar mit folgenden Böden:

1. Niedermoor	100 cm
2. Schwach humushaltiger, lehmiger Sand	35 cm
Lehmiger Sand mit Mergel	65 cm
3. Humushaltiger Sand mit etwas Lehm	22 cm
Gelber Sand	78 cm
4. Humusarmer, schwach lehmiger Sand	19 cm
Schwach lehmiger Sand	81 cm
5. Humusarmer, sandiger Lehm	25 cm
Sandiger Lehm	75 cm

Zahlentafel 43.

	Ertrag in dz/ha	Gehalt an Nährstoffen in %				Nährstoffbedarf einer mittleren Ernte in kg/ha						
		ge- ring-	hoch	mit- tel	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Getreide . . . Korn Stroh	10 20	40 80	20 30	1,6 0,55	0,8 0,2	0,6 1,0	0,1 0,35	49	22	42	13	
Grünmais . . lufttrocken	50	180	85	1,2	0,6	0,2	0,7	102	42	17	60	
Kartoffeln . . Knollen Kraut	100 30	320 100	180 50	0,37 0,4	0,14 0,15	0,6 0,8	0,03 0,9	80	32	148	50	
Zuckerrüben . Wurzeln Kraut	220 120	500 400	300 200	0,2 0,3	0,09 0,1	0,25 0,5	0,06 0,2	120	50	175	58	
Erbsen . . . Samen Stroh	10 20	40 60	15 25	3,7 1,4	1,0 0,4	1,3 0,5	0,1 1,8	90	25	32	46	
Raps Samen Stroh	13 25	40 70	25 50	3,5 0,7	2,0 0,3	1,0 1,0	0,3 1,0	122	65	75	58	
Luzerne . . . lufttrocken	50	160	80	2,6	0,7	1,5	2,6	208	56	120	208	
Rotklee . . . „	30	100	50	2,0	0,6	1,2	2,1	100	30	60	105	
Wiesenheu . . „	40	100	60	1,5	0,67	2,0	1,33	90	40	120	80	

Die Sickerwässer brachten im Jahresdurchschnitt folgende Verluste in kg/ha (die durch die Ernten entzogenen Mengen sind in Klammern beigefügt):

Zahlentafel 44.

Boden		Stickstoff		Kali	Kalk	Magnesia	Phosphor- säure
		Gesamt-	Salpeter				
1	gedüngt	137 (213)	129	18 (200)	740 (121)	206	Spuren (51)
	ungedüngt	274 (159)	262	19 (148)	1420 (105)	380	„ (42)
2	gedüngt	31 (53)	29	34 (99)	237 (34)	27	„ (38)
	ungedüngt	33 (27)	30	27 (57)	288 (20)	31	„ (21)
3	gedüngt	32 (52)	29	62 (107)	262 (35)	24	„ (34)
	ungedüngt	38 (30)	34	40 (66)	286 (23)	32	„ (26)
4	gedüngt	20 (73)	19	26 (123)	142 (39)	21	„ (40)
	ungedüngt	20 (30)	20	15 (63)	136 (16)	19	„ (13)
5	gedüngt	26 (72)	24	17 (139)	214 (47)	30	„ (38)
	ungedüngt	31 (46)	29	17 (103)	244 (35)	35	„ (27)

Man vgl. auch S. 365.

G. Leitpflanzen.

Zahlreiche Pflanzen brauchen zu ihrem Gedeihen ganz besondere Bodenverhältnisse, so daß man häufig aus dem Pflanzenwuchs Rückschlüsse auf die Beschaffenheit des Bodens ziehen kann, sei es, daß bestimmte Nährstoffe im Boden vorhanden sein müssen, sei es, daß bestimmte zuständige Eigenschaften des Bodens (Wasser- und Lufthaushalt) oder eine bestimmte Wasserspaltung (Bodenreaktion) nötig sind. Für die Beurteilung der verbesserungsbedürftigen Böden, namentlich der Grünlandflächen, ist daher eine Kenntnis der wild wachsenden Pflanzen ein wichtiges Hilfsmittel. Allerdings darf man Rückschlüsse auf die Boden- und Wasserverhältnisse nur dann ziehen, wenn die für einen Boden kennzeichnenden Pflanzen (Leitpflanzen) in größerer Menge und mit nicht zu dürftigem Wuchs vorkommen. Auch wird man zunächst feststellen müssen, ob der Pflanzenbestand durch Düngungsmaßnahmen künstlich beeinflusst ist. Flachwurzler zeigen nur die Beschaffenheit der oberen Bodenschicht an, während Tiefwurzler auch Rückschlüsse auf den Untergrund zulassen.

Wenn sonach auch das Vorkommen bestimmter Pflanzenarten nicht immer ein untrügliches Zeichen für die Beschaffenheit ihres Standortes ist, so kann doch die folgende Zusammenstellung wertvolle Dienste leisten:

Zahlentafel 45.

	Böden															
	Feuchte	Trockene	Alkalische	Sauere	Kalkreiche	Kalkarme	Stickstoffreiche	Stickstoffarme	Kalkhaltige	Salzhaltige	Sand-	Lehm-	Ton-	Niederungsmoor-	Übergangsmoor-	Hochmoor-
<i>Ácorus Cálamus</i> (Kalmus)	X															
<i>Adónis aestivális</i> (Sommer-Adonisröschen)																
<i>Adónis vernális</i> (Frühlings-Adonisröschen)					X	O										
<i>Aethúsa Cynápium</i> (Hundspetersilie)							O									
<i>Agróstis álba, marítima</i> (Weißes Straußgras)										X						
<i>Aíra caespitósa</i> (Rasen-Schmiele)	X															
<i>Aíra caryophylléa</i> (Nelken-Schmiele)																
<i>Aíra flexuósa</i> (Schlängelige Schmiele)		X				X	X									
<i>Aíra práecox</i> (Frühe Schmiele)				O		X	X									
<i>Ájuga Chamáepitys</i> (Acker-Günsel)					X						X					
<i>Ájuga genevénsis</i> (Heide-Günsel)		X														
<i>Ájuga réptans</i> (Kriechender Günsel)																
<i>Alchemilla vulgáris</i> (Frauenmantel)																
<i>Alisma Plantágo</i> (Wegerich-Froschlöffel)	X															
<i>Állium ursínium</i> (Bären-Lauch)												O				
<i>Alnus glutinósa</i> (Schwarz-Erle)	X												O			
<i>Alnus incána</i> (Weiß-Erle)	O															
<i>Alopecúrus agréstis</i> (Acker-Fuchsschwanz)																
<i>Alopecúrus geniculátus</i> (Geknieter Fuchsschwanz)	X															
<i>Alopecúrus praténsis</i> (Wiesen-Fuchsschwanz)																
<i>Alsíne stricta</i> (Steife Miere)																X
<i>Altháea officinális</i> (Eibisch)									X							
<i>Alyssum calýceinum</i> (Kelch-Steinkraut)					X											
<i>Amarántus Blítum</i> (Grüner Amarant)							X	X								
<i>Amarántus retrofléxus</i> (Bogen-Amarant)							X	X								
<i>Amarántus silvéster</i> (Wilder Amarant)							X	X								
<i>Ammóphila arenária</i> (Strandhafer)											X					
<i>Anacámptis pyramidális</i> (Rote Hundswurz)					X											
<i>Anagállis arvénsis</i> (Acker-Gauchheil)					O		O									
<i>Anagállis caerúlea</i> (Blauer Gauchheil)					O								X			
<i>Anchúsa officinális</i> (Gebräuchliche Ochsenzunge)																
<i>Andrómeda polifólia</i> (Andromeda)											O					X
<i>Anemóne hepática</i> (Leberblümchen)					O	O						X				
<i>Anemóne silvéstris</i> (Großes Windröschen)					O	O										
<i>Antennária dióica</i> (Zweihäusiges Katzenpfötchen)					O	O										
<i>Ánthemis arvénsis</i> (Acker-Kamille)											X					
<i>Ánthemis Cótula</i> (Stink-Kamille)								X								
<i>Anthéricum ramósum</i> (Ästige Grasllilie)		X									O					
<i>Anthoxánthum aristátum</i> (Begranntes Ruchgras)								X								
<i>Anthriscus silvéstris</i> (Wilder Kerbel)											X					
<i>Anthriscus vulgáris</i> (Kletten-Kerbel)							O									
<i>Anthýllis Vulnerária</i> (Echter Wundklee)		O			X											
<i>Ápera spíca vénti</i> (Acker-Windhalm)										X						
<i>Ápium gravéolens</i> (Sellerie, wildwachsend)									X							
<i>Árabis auriculáta</i> (Geöhrtes Gänsekraut)					O					X						
<i>Árctium tomentósum</i> (Filzige Klette)																
<i>Arctostáphylos Uva ursi</i> (Immergrüne Bärentraube)																
<i>Arméria elongáta</i> (Grasnelke)											X					
<i>Árnica montána</i> (Arnika)						O	X				X					
<i>Arnóseris mínima</i> (Kleines Lammkraut)											X					
<i>Ártemisia absínthium</i> (Wermut)								O								
<i>Ártemisia laciniáta</i> (Geschlitzter Beifuß)										X						
<i>Ártemisia marítima</i> (Strand-Beifuß)									X							
<i>Ártemisia rupéstris</i> (Felsen-Beifuß)									X							

Zahlentafel 45 (Fortsetzung).

	Böden															
	Feuchte	Trockene	Alkalische	Saure	Kalkreiche	Kalkarme	Stickstoffreiche	Stickstoffarme	Kalihaltige	Salzhaltige	Sand-	Lehm-	Ton-	Niederungsmoor-	Übergangsmoor-	Hochmoor-
<i>Coronilla montána</i> (Berg-Kronwicke)					×											
<i>Coronilla vária</i> (Bunte Kronwicke)	—				—											
<i>Corydalis cáva</i> (Hohler Lerchensporn)													×			
<i>Cotoneáster integérrima</i> (Gemeine Zwergmispel)					○											
<i>Crépis biénnis</i> (Zweijährige Feste)						—										
<i>Cypripédium Calcéolus</i> (Frauenschu)					×											
<i>Dáctylis glomeráta</i> (Knäuelgras)							×	○								
<i>Datúra Stramónium</i> (Weißer Stechapfel)							×	○								
<i>Daucus Caróta</i> (Wilde Möhre)												—				
<i>Delphínium Consólida</i> (Feld-Rittersporn)																
<i>Diánthus arenárius</i> (Sand-Nelke)	×									×						
<i>Diánthus Arméria</i> (Büschel-Nelke)			—													
<i>Diánthus Carthusianórum</i> (Karthäuser-Nelke)	×									×						
<i>Diánthus deltoides</i> (Stein-Nelke)						×				×						
<i>Diánthus supérbus</i> (Prachtnelke)										×				○		
<i>Digitális purpúrea</i> (Roter Fingerhut)						—		—								
<i>Dipsacus silvéster</i> (Wilde Karde)											×					
<i>Drába vérna</i> (Frühlings-Hungerblümchen)	×					○	○			×						
<i>Drósera ánglica</i> (Langblättriger Sonnentau)	×													○	×	×
<i>Drósera intermédia</i> (Mittlerer Sonnentau)	×													○	×	×
<i>Drósera rotundifólia</i> (Rundblättriger Sonnentau)	×													—	×	×
<i>Élymus arenárius</i> (Strandhafer)										×						
<i>Empetrum nígrum</i> (Schwarze Krähenbeere)							×								○	×
<i>Epilóbium angustifólium</i> (Schmalblättriges Weidenröschen)										○						
<i>Epilóbium palústre</i> (Sumpf-Weidenröschen)							×									×
<i>Epipáctis microphýlla</i> (Kleinblättrige Sumpfwur)																
<i>Equisétum arvénse</i> (Acker-Schachtelhalm)							○			○	—					
<i>Equisétum palústre</i> (Sumpf-Schachtelhalm)	×		×											○		
<i>Equisétum variegátum</i> (Bunter Schachtelhalm)										×						
<i>Érica Tetrálix</i> (Glockenheide)	×						×								×	×
<i>Erigeron canadénsis</i> (Kanadisches Berufkraut)										×						
<i>Erióphorum latifólium</i> (Moor-Wollgras)														×		
<i>Erióphorum Scheuchzéri</i> (Scheuchzers Wollgras)																
<i>Erióphorum vaginátum</i> (Scheidiges Wollgras)	×		×											○	×	
<i>Erucástrum Pollichii</i> (Pollichs Hundsräuke)																
<i>Erysimum odorátum</i> (Wohlriechender Schoten-dotter)						×										
<i>Euphórbia Cyparissias</i> (Zypressen-Wolfsmilch)	×									○						
<i>Euphórbia helioscópia</i> (Sonnen-Wolfsmilch)			○													
<i>Euphórbia verrucósa</i> (Warzige Wolfsmilch)						×										
<i>Euphrásia grácilis</i> (Sohlanker Augentrost)							○									
<i>Fagopyrum esculéntum</i> (Buchweizen)										×						
<i>Falcária vulgáris</i> (Acker-Sichelmöhre)																
<i>Festúca arundinácea</i> (Rohr-Schwingel)	×															
<i>Festúca dístans</i> (Abstehender Schwingel)								×		×						
<i>Festúca myúros</i> (Mäuse-Schwingel)										×						
<i>Festúca ovína</i> (Schaf-Schwingel)		×								×						
<i>Festúca praténsis</i> (Wiesen-Schwingel)	○										—					
<i>Festúca rúbra</i> (Roter Schwingel)										○						
<i>Ficária vérna</i> (Scharbockskraut)	○		○													
<i>Filágo arvénis</i> (Acker-Schimmelkraut)						×				×						

Zahlentafel 45 (Fortsetzung).

	Böden															
	Feuchte	Trockene	Alkalische	Saure	Kalkreiche	Kalkarme	Stickstoffreiche	Stickstoffarme	Kalthaltige	Salzhaltige	Sand-	Lehm-	Ton-	Niederungsmoor-	Übergangsmoor-	Hochmoor-
<i>Juncus compressus</i> (zusammengedrückte Binse)	X															
<i>Juncus Gerardi</i> (Botten-Binse)	X															
<i>Juncus glaucus</i> (Blaugrüne Binse)									X							
<i>Juncus lamprocarpus</i> (Glanz-Binse)	X												X			
<i>Juncus obtusiflorus</i> (Stumpfblütige Binse)	O															
<i>Juncus squarrosus</i> (Sparrige Binse)																
<i>Juncus stygius</i> (Moor-Binse)																
<i>Juncus supinus</i> (Sumpf-Binse)																X
<i>Juniperus communis</i> (Gemeiner Wacholder)			O								X	O				O
<i>Jurinea cyanoides</i> (Kornblumen-Flockenwurz)											X	O				X
<i>Koeleria glauca</i> (Graues Ritschgras)											X					
<i>Koeleria pyramidata</i> (Pyramiden-Ritschgras)		X														
<i>Lactuca Scariola</i> (Stachel-Lattich)																
<i>Lamium album</i> (Weiße Taubnessel)							O									
<i>Lamium amplexicaule</i> (Umfassende Taubnessel)				O												
<i>Lamium purpureum</i> (Purpurrote Taubnessel)			O													
<i>Lathyrus montanus</i> (Berg-Platterbse)						X										
<i>Lathyrus pratensis</i> (Wiesen-Platterbse)																
<i>Lathyrus tuberosus</i> (Knollige Platterbse)												X	X			
<i>Ledum palustre</i> (Sumpf-Porst)						X									X	X
<i>Lepidium latifolium</i> (Pfefferkraut)							X									
<i>Lepidium ruderale</i> (Schutt-Kresse)								X								
<i>Linaria arvensis</i> (Acker-Leinkraut)										X						
<i>Linaria Elatine</i> (Tännel-Leinkraut)											O					
<i>Lupinus albus</i> (Weiße Lupine)						X										
<i>Lupinus luteus</i> (Gelbe Lupine)						X				X						
<i>Luzula campestris</i> (Hasenbrot)		X								X						
<i>Luzula pilosa</i> (Haar-Hainsimse)																
<i>Lycopodium inundatum</i> (Sumpf-Bärlapp)															X	X
<i>Lysimachia thysiflora</i> (Strauß-Felberich)														X		
<i>Lythrum Salicaria</i> (Blut-Weiderich)	X															
<i>Majanthemum bifolium</i> (Schattenblume)					O											
<i>Malaxis paludosa</i> (Sumpf-Weichwurz)																X
<i>Matricaria Chamomilla</i> (Echte Kamille)																
<i>Matricaria inodora</i> (Hunds-Kamille)																
<i>Medicago falcata</i> (Schwedische Luzerne)																
<i>Medicago lupulina</i> (Hopfen-Luzerne)			X													
<i>Medicago sativa</i> (Futter-Luzerne)													X			
<i>Melampyrum arvense</i> (Acker-Wachtelweizen)																
<i>Meléndryum noctiflorum</i> (Nacht-Lichtnelke)												X				
<i>Mélica uniflora</i> (Einblütiges Perlgras)																
<i>Melilotus dentatus</i> (Strandklee)									X							
<i>Méntha aquatica</i> (Wasser-Minze)	X															
<i>Méntha longifolia</i> (Roß-Minze)																
<i>Menyanthes trifoliata</i> (Sumpf-Bitterklee)				X												
<i>Mercurialis annua</i> (Einjähriges Bingelkraut)						X					O		X			
<i>Méum athamanticum</i> (Feinblättrige Bärwurz)																
<i>Micrócala filiformis</i> (Fädiges Zindelkraut)						O										
<i>Milium effusum</i> (Flattergras)																
<i>Molinia caerulea</i> (Blaues Pfeifengras)												O	X	X	X	
<i>Myosotis arenaria</i> (Sand-Vergißmeinnicht)						O						O	X	X	X	
<i>Myosotis caespitosa</i> (Rasen-Vergißmeinnicht)						O										
<i>Myosotis palustris</i> (Sumpf-Vergißmeinnicht)	X					O										
<i>Myosurus minimus</i> (Zwerg-Mäuseschwanz)						X										
<i>Myrica Gale</i> (Gagelstrauch)														X		X

Zahlentafel 45 (Fortsetzung).

	Böden															
	Feuchte	Trockene	Alkalische	Saure	Kalkreiche	Kalkarme	Stickstoffreiche	Stickstoffarme	Kalkhaltige	Salzhaltige	Sand-	Lehm-	Ton-	Niederungsmoor-	Übergangsmoor-	Hochmoor-
Potentilla Anserina (Gänse-Fingerkraut) . . .																
Potentilla arenaria (Sand-Fingerkraut) . . .	○															
Potentilla Tormentilla (Blutwurz)																
Prunula farinosa (Mehl-Primel)	○															
Prunus Mahaleb (Weichsel-Kirsche)					×											
Prunus spinosa (Schlehe)																
Pteridium aquilinum (Adlerfarn)						×										
Pulsatilla patens (Finger-Küchenschelle) . . .											×					
Pulsatilla pratensis (Nickende Küchenschelle)											×	×				
Pulsatilla vernalis (Frühlings-Küchenschelle)											×					
Pulsatilla vulgaris (Gemeine Küchenschelle)					×							×				
Quercus Robur (Sommer-Eiche)												×				
Radíola linoídes (Vielblütiger Zwerglein) . . .						○										
Ranunculus acer (Scharfer Hahnenfuß) . . .												×				
Ranunculus arvensis (Acker-Hahnenfuß) . . .												×				
Ranunculus Baudótii (Baudots Hahnenfuß)										×						
Ranunculus Flámmula (Brennender Hahnen-		×														
füß)	○															
Ranunculus répens (Kriechender Hahnenfuß)												×				
Ranunculus sardóus (Rauher Hahnenfuß) . . .												×				
Ráphanus Raphanístrum (Hederich)				○		○										
Reséda lútea (Wilde Reseda)					○											
Rhynchóspora álba (Weiße Moorsimse)														○	×	
Rúbus caésius (Kratzbeere)					×											
Rúbus Chamaemórus (Zwerg-Himbeere)						×										×
Rúmex Acetósa (Großer Sauerampfer)																
Rúmex acetosélla (Kleiner Sauerampfer)				×		×					○					
Rúmex aquáticus (Wasser-Ampfer)	×										○					
Rúmex crispus (Krauser Ampfer)																
Rúmex marítimus (Strand-Ampfer)	×															
Rúmex obtusifólius (Stumpfbblätteriger Ampfer)							○									
Rúppia marítima (Strand-Saide)									×							
Sagina marítima (Strand-Mastkraut)									×							
Salicórnica herbácea (Queller)									×							
Sálix frágilis (Bruch-Weide)	×									×						
Sálix myrtilloídes (Moor-Weide)																×
Sálix pentándra (Lorbeer-Weide)	×															
Sálvia praténsis (Wiesen-Salbei)		×														
Sambúcus nígra (Schwarzer Holunder)							×									
Sanguisórba minor (Kleiner Wiesenknopf) . . .						×						○				
Sanícula europáea (Wund-Sanikel)																
Sarothámnus scopárius (Gelber Besenstrauch)	×					○				×						
Saxífraga hírculus (Moor-Steinbrech)														×		
Saxífraga tridactylites (Dreifingeriger Stein-																
brech)	×															
Scándix Pécten Véneris (Venuskamm)						×										
Scheuchzéria palústris (Moor-Scheuchzerie) . .														○	×	
Schoenus ferrugíneus (Rostrote Kopfbirse) . .													×	×		
Schoenus nígricans (Schwartzliche Kopfbirse).													×	×		
Scírpus caespitósus (Rasen-Simse)																×
Scírpus lacústris (Teich-Simse)																
Scírpus pauciflórus (Wenigblütige Simse) . . .													○			
Scírpus rúfus (Fuchsrote Simse)									×							
Scírpus setáceus (Borsten-Simse)										×						
Scleránthus ánnuus (Jähriger Knäuel)				×		×				×						
Scleránthus perénnis (Ausdauernder Knäuel).				×		×				×						

In der Zahlentafel 45 sind drei Gruppen von Leitpflanzen durch besondere Zeichen unterschieden, und zwar

1. die Gruppe der zuverlässigsten Leitpflanzen (\times),
2. die Gruppe mittlerer Zuverlässigkeit (\circ),
3. diejenigen Arten, die am wenigsten zuverlässig sind ($-$).

Die Zusammenstellung faßt die bekanntesten Leitpflanzen zusammen, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Man wird sie unschwer noch durch eigene Beobachtungen ergänzen können. Im einzelnen sei noch auf Folgendes hingewiesen:

1. **Feuchte Böden.** Pflanzen, die sich einem starken Wasserverbrauch angepaßt haben (Hygrophyten), sind häufig schon an ihren großen, meist zarten Blättern zu erkennen, deren sie wegen ihrer starken Blattverdunstung bedürfen. Bisweilen zeigt die Blattoberfläche ein samtartiges Aussehen. Die Trüfelspitzen vieler Blätter bewirken ein schnelles Abtropfen des Regenwassers. Die Wurzelbildung pflegt schwach zu sein, meist sind es Flachwurzler, da ein Suchen nach Wasser sich erübrigt.

Zahlreich auftretende Sauergräser deuten darauf hin, daß im Boden Luftmangel herrscht, der ja die Folge einer übermäßigen Bodennässe ist. Denn viele Sauergräser (Binsen, Seggen) gedeihen im Gegensatz zu anderen Pflanzen noch bei einem geringen Luftgehalt des Bodens (S. 67).

Man beachte, daß feuchte Böden oft sauer sind (Nr. 4).

2. **Trockene Böden.** Die dem Wassermangel angepaßten Pflanzen (Xerophyten) zeigen das Bestreben, ihre Blattverdunstung durch kleine Blattflächen zu verringern. Kennzeichnend sind die Nadelblätter (z. B. bei vielen Nadelhölzern), die Rollblätter mit umgerollten Rändern (*Callúna vulgáris*), schuppenförmige (Nadelhölzer), borsten- oder fadenförmige Blätter (*Festúca ovína*, *Nárdus stricta*). Bisweilen sind die Blätter lederartig und glänzend (*Ilex*) oder fleischig mit Wasserspeichern (*Sedum*). Als Schutzmittel gegen Verdunstung dienen die Deckhaare, die den Blättern ein weiß- oder graufilziges Aussehen geben. Die Wurzeln sind häufig stark ausgebildet (Tiefwurzler).

Der Trockenheit angepaßte Pflanzen findet man auch auf Moor- und Salzböden, ohne daß ein Wassermangel erkennbar wäre. Die Wasseraufnahme wird aber in diesen Böden erschwert, weil der Moorboden das Wasser stark festhält und weil in Salzböden die Wasseraufnahme durch Säfteaustausch infolge der starken Bodenlösung oft schwierig ist.

Zu beachten ist, daß ein ausgesprochener Hungerbestand, der durch Nährstoffmangel des Bodens bedingt ist, bisweilen den Eindruck einer Trockenheit liebenden Pflanzengemeinschaft erwecken kann.

Bei den trockenen Böden handelt es sich vielfach um Sandböden (Nr. 11). Auch die strengen Kalkböden leiden leicht unter Wassermangel.

3. **Alkalische Böden** ($p_H > 7$). Sie enthalten stets mehr oder weniger Kalk (Nr. 5). Auch die Niederungsmoore (Nr. 14) sind alkalisch. Trotzdem kommt es vor, daß Leitpflanzen für Niederungsmoore die alkalischen Mineralböden meiden und saure bevorzugen.

4. **Saure Böden** ($p_H < 6$). Sie leiden unter Kalkmangel (Nr. 6). Sauer sind auch die Hochmoorböden (Nr. 16). Auf sauren Böden siedeln sich nicht selten Moose an. Vgl. auch Nr. 1.

5. **Kalkreiche Böden.** Der Kalkgehalt (CaCO_3) dieser Böden bewirkt, wenn er erheblich ist, einen ganz besonderen Pflanzenbestand. Es gibt Pflanzen, die nur auf kalkreichen Böden wachsen (kalkstete Pflanzen), und solche, die kalkreiche Böden bevorzugen (kalkholde). Zu den kalkreichen Böden gehören auch die Niederungsmoore (Nr. 14). Alle kalkreichen Böden haben eine alkalische Wasserspaltung (Nr. 3). Kalkliebend sind fast alle Hülsenfrüchtler (Leguminosen) außer Lupine und Serradella.

6. Kalkarme Böden. Die besten Leitpflanzen der kalkarmen Böden sind diejenigen, die bei einem nennenswerten Kalkgehalt des Bodens zugrunde gehen. Man vermutet, daß bei ihnen der saure Zellsaft der Wurzeln durch den Kalk des Bodens gebunden wird und darunter die Ernährung der Pflanze leidet. Kalkarm sind auch die Hochmoore (Nr. 16). Die kalkarmen Böden sind häufig sauer (Nr. 4).

7. Stickstoffreiche Böden. Kennzeichnend sind die Schutt- (Ruderal-) Pflanzen, die in der Nähe menschlicher Ansiedlungen oft sehr üppig gedeihen. Die aufgeführten Leitpflanzen zeigen Ammoniak oder Salpeter an.

8. Stickstoffarme Böden. Meistens besteht Mangel an Humus.

9. Kalihaltige Böden. Die Leitpflanzen sind im allgemeinen nicht sehr zuverlässig. Es liegen noch wenig Beobachtungen vor.

10. Salzhaltige Böden. Die Salzpflanzen scheinen das Natrium des Kochsalzes (NaCl) für ihr Wachstum nicht unbedingt zu brauchen, sie sind aber offenbar dem Salzgehalt des Bodens so angepaßt, daß das Salz ihnen im Gegensatz zu anderen Pflanzen nicht schadet, so daß sie im Kampf ums Dasein die Oberhand gewinnen. Es sind in der Hauptsache solche Arten aufgeführt, die auch im Binnenlande vorkommen. Zum Teil bilden sich auf salzhaltigem Boden besondere Abarten. Salzpflanzen haben bisweilen die Merkmale Trockenheit liebender Pflanzen (Nr. 2).

11 bis 13. Sand-, Lehm- und Tonböden. Die Leitpflanzen gelten nicht nur für reine Böden dieser Art, sondern auch für alle Bodenarten, bei denen der betreffende Bestandteil (Sand, Lehm oder Ton) überwiegt.

14 bis 16. Moorböden. Die auf Moorböden wachsenden Pflanzen zeigen bisweilen eine Anpassung an Trockenheit (Nr. 2). Von den zahlreichen Arten an Binsen, Seggen und Torfmoosen sind nur einige genannt. Auf den Flachmooren findet man statt der Torfmoose (Sphagnum) die Astmoose (Hypnum).

Die Hochmoorpflanzen sind Leitpflanzen der nord- und mitteldeutschen Hochmoore. In den bayerischen Hochmooren fehlen *Erica Tetrálix*, *Lédum palústre*, *Myrica Gále* und *Narthécium ossifragum* völlig.

II. Gewässer- und Wetterkunde. Bewegung des Wassers.

A. Die Niederschläge.

1. Die Entstehung der Niederschläge.

Die Quelle aller Niederschläge ist der in der Luft vorhandene, unsichtbare Wasserdampf, der durch die Verdunstung des Wassers dauernd ergänzt wird.

Er übt wie jedes Gas einen Druck auf alle Gegenstände aus, die den Stößen seiner Molekeln ausgesetzt sind, den sog. Dampfdruck, dessen Größe der in 1 m³ Luft vorhandenen Wasserdampfmenge verhältnismäßig ist. Die Wasserdampfmenge je m³ und der Dampfdruck können bestimmte Größtwerte, die nur von der Wärme der

Zahlentafel 46.

Wärme- grad	Größtmögliche Werte des		Wärme- grad	Größtmögliche Werte des	
	Dampf- druckes mm Queck- silber	Wasser- dampfes g/m ³		Dampf- druckes mm Queck- silber	Wasser- dampfes g/m ³
—25	0,48	0,56	+ 5	6,54	6,81
—20	0,78	0,89	+10	9,21	9,42
—15	1,25	1,40	+15	12,79	12,85
—10	1,96	2,16	+20	17,54	17,32
— 5	3,02	3,26	+25	23,76	23,07
± 0	4,58	4,85	+30	31,83	30,40

Luft abhängig sind, nicht überschreiten. Diese Größtwerte sind in der Zahlentafel 46 für Wärmegrade von — 25° bis + 30° zusammengestellt. Sie beziehen

sich bei Wärmegraden $\geq 0^\circ$ auf den sog. Dampfdruck über Wasser, d. h. auf den Fall, daß ein Luftraum durch Verdunstung von Wasser mit Wasserdampf versorgt wird, im übrigen auf den Dampfdruck über Eis (Eisverdunstung).

Man nennt Luft, deren Gehalt an Wasserdampf die Werte der Zahlentafel 46 erreicht hat, mit Wasserdampf gesättigt. Der jeweilige Wasserdampfgehalt in g je m^3 Luft (kurz Wassergehalt) heißt die wirkliche Luftfeuchtigkeit (absolute). Das Verhältnis des jeweils vorhandenen Wassergehaltes zu dem nach Zahlentafel 46 größtmöglichen wird anteilige Luftfeuchtigkeit (relative) genannt und gewöhnlich in Hundertteilen ausgedrückt. Die wirkliche Luftfeuchtigkeit ist im Sommer größer als im Winter, umgekehrt verhält sich die anteilige. Diejenige Wassermenge, die an der Sättigung fehlt, ist der Sättigungsfehlbetrag (Sättigungsdefizit). Tau- oder Sättigungspunkt nennt man den Wärmegrad, bei dem Luft mit einem bestimmten Wasserdampfgehalt gerade gesättigt ist. Wenn beispielsweise $1 m^3$ Luft von 10° Wärme $7,12 g$ Wasserdampf enthält, so ist

$$\begin{aligned} \text{die wirkliche Luftfeuchtigkeit} &= 7,12 g, \\ \text{der Dampfdruck} &= 9,21 \frac{7,12}{9,42} = 6,96 \text{ mm}, \\ \text{die anteilige Luftfeuchtigkeit} &= \frac{7,12}{9,42} 100 = 75,58\%, \\ \text{der Sättigungsfehlbetrag} &= 9,42 - 7,12 = 2,30 g \text{ oder } 9,21 - 6,96 = 2,25 \text{ mm}, \\ \text{der Taupunkt für } 7,12 g &= 5,6^\circ. \end{aligned}$$

Wenn sich in unserem Beispiel die Luft mit einer wirklichen Feuchtigkeit von $7,12 g$ von 10° auf 5° abkühlt, dann kann sie nach Zahlentafel 46 nur noch $6,81 g$ Wasserdampf festhalten, so daß $0,31 g$ je m^3 aus dem gasförmigen in den flüssigen Zustand übergehen müssen.

In der Regel geht die Wolkenbildung den Niederschlägen voran, obschon Regen und Schnee zuweilen auch ohne vorausgehende Wolkenbildung fallen. Der Regen entsteht aus der Wolke dadurch, daß die ursprünglich winzigen Wassertröpfchen größer werden und dann infolge ihrer zunehmenden Schwere zur Erde fallen. Die Ursache der Wolkenbildung ist in erster Linie die Abkühlung aufsteigender Luftmassen. Auch die Mischung warmer und kalter Luft kann zur Wolkenbildung führen.

Einem Tief, d. h. den Stellen geringeren Luftdruckes, strömt von allen Seiten Luft zu; der Überschuß muß nach oben ausweichen. Auch ein von Luftströmungen (Winden) getroffenes Gebirge zwingt die Luft zum Aufsteigen. Nun dehnen aufsteigende Luftmassen sich aus entsprechend dem mit der Höhe abnehmenden Luftdruck. In unseren Breiten hat der mittlere Luftdruck

Zahlentafel 47.

Höhe in km	Luftdruck in mm Quecksilber	Höhe in km	Luftdruck in mm Quecksilber	Höhe in km	Luftdruck in mm Quecksilber
0	760	5	403	10	198
1	674	6	352	11	170
2	596	7	306	12	146
3	525	8	266		
4	461	9	230		

in verschiedenen Höhen etwa die Werte der nebenstehenden Zahlentafel! Bei der Ausdehnung tritt eine Abkühlung ein, die auf je $100 m$ Steighöhe etwa 1° beträgt. Wird dann bei fortschreitender Abkühlung der Taupunkt für den

in der Luft vorhandenen Wasserdampf unterschritten, so muß ein Teil des Wasserdampfes flüssig werden, die Wolkenbildung setzt ein. Da die Umwandlung von Wasserdampf in Wasser Wärme freiwerden läßt, die der weiteren Abkühlung der aufsteigenden Luft entgegenwirkt, wird die Abkühlung nach Erreichung des Taupunktes geringer und beträgt bei Wärmegraden über Null nur noch etwa $0,4$ bis $0,6^\circ$ für $100 m$ Steighöhe. Hinter einem Gebirgskamm

sinkt die abgekühlte Luft wieder ab, wobei ihre Wärme mit je 100 m Abstieg um 1° zunimmt. Allgemein ist die von den herrschenden Winden getroffene Vorderseite der Gebirge reich, die Rückseite dagegen arm an Niederschlägen. Diese wird daher auch die Regenschattenseite genannt.

Man ersieht aus den Sättigungszahlen der Zahlentafel 46, daß die Sättigungsmenge bei höheren Wärmegraden für 1° Abkühlung weit schneller sinkt als bei niedrigeren. Das ist ein Grund dafür, daß in der warmen Jahreszeit größere Niederschläge einzutreten pflegen als in der kalten. Meereswinde sind meistens mit Wasserdampf fast völlig gesättigt. Die geringste Abkühlung muß daher Niederschläge auslösen. Infolgedessen sind die häufig von Meereswinden getroffenen Küstenstriche in der Regel besonders reich an Niederschlägen.

Der Regen nimmt bei seinem Fallen durch die Luft Luftteilchen und damit Sauerstoff auf, er entzieht außerdem der Luft alle möglichen Beimengungen, namentlich Staub und Rußteilchen, ferner Ammoniak, Salpeter und salpetrige Säure. Die Bildung dieser Stickstoffverbindungen scheint durch elektrische Entladungen in der Luft gefördert zu werden.

Die Wärme des Regens pflegt nicht erheblich von der Luftwärme abzuweichen, sie ist in den meisten Fällen um einige Grade (1 bis 3°) niedriger als diese.

Zwischen der Nebel- und Wolkenbildung besteht kein grundsätzlicher Unterschied. Die bekannten Herbstnebel, die man häufig morgens und abends auf feuchten Wiesen beobachten kann, sind sog. Bodennebel. Sie verdanken ihre Entstehung der Wärmeausstrahlung des Bodens. Bei ruhiger Luft kühlen sich dann auch deren untere Schichten an dem ständig kälter werdenden Boden ab, bis der Taupunkt unterschritten wird. Man unterscheidet trockene und nässende Nebel. Das Nässen der Nebel tritt ein, wenn die Wassertröpfchen größer werden.

Der Tau hat die gleiche Ursache wie die Bodennebel. Sinkt die Wärme des Bodens durch Ausstrahlung unter 0° , so kommt es zur Reifbildung, entweder dadurch, daß die schon vorher ausgeschiedenen Tautropfen gefrieren, oder wenn der Taupunkt der Luft unter Null liegt, dadurch, daß der Wasserdampf unmittelbar in der Form winzig kleiner Eiströpfchen ausgeschieden wird, die sich zu den Reifteilchen zusammenlagern. Wind verringert die Tau- und Reifbildung (S. 62).

Beginnt die Ausscheidung des Wasserdampfes aus der Luft erst in großen Höhen, in denen die Wärme unter Null liegt, so entstehen die Schneekristalle. Bisweilen bilden sich auch unterkühlte Wassertropfen, die Schneekristalle zu Graupelkörnern zusammenschweißen. Lagern sich nun weitere unterkühlte Wassertröpfchen in der Form von Eishüllen auf dem Graupelkorn ab, so wird es zum Hagelkorn. Die Bildung des Hagels scheint mit elektrischen Vorgängen in der Lufthülle zusammenzuhängen. Daher treten Hagelschauer auch oft im Gefolge von Gewittern auf.

In unseren Breiten fällt der meiste Schnee bei Wärmegraden von -1° bis $+1^\circ$. Hagelschauer fallen am häufigsten nachmittags und im Frühsommer sowie meistens in der Form schmaler Hagelstriche.

2. Die Messung der Niederschläge.

Die Messung der Niederschläge ist für Fragen der Bodenverbesserung von großer Bedeutung. Zur Zeit (1936) haben wir etwa 4300 Regenmeßstellen in Deutschland.

Die Größe der Niederschläge wird dadurch von der Fläche, auf die sie fallen, unabhängig gemacht, daß sie nach der Niederschlagshöhe in mm angegeben wird. Schnee wird dabei auf seinen Wasserinhalt umgerechnet.

Zur Messung dienen die Regenmesser, die heute fast ausschließlich in der Form der Hellmannschen Regenmesser verwendet werden. Man unterscheidet den gewöhnlichen und den selbstschreibenden Regenmesser.

Der gewöhnliche Regenmesser (Abb. 15) besteht aus dem Auffanggefäß *a* und dem Sammelgefäß *b*. Die Auffangfläche ist kreisförmig, 200 cm² groß und durch einen scharf abgedrehten Messingring umgrenzt. Das Regenwasser wird durch einen Trichter aus dem Auffanggefäß in das Sammelgefäß geleitet. Um an dieses zu gelangen, hebt man das Auffanggefäß heraus. Der Inhalt des Sammelgefäßes wird in ein Meßgefäß gegossen und so gemessen. Man braucht in der Regel zu jedem Regenmesser zwei Sammelgefäße, um sie sofort gegeneinander auswechseln und die Messung sorgfältig vornehmen zu können.

Bei den selbstschreibenden Regenmessern (Abb. 16) ist in dem Sammelgefäß *G*, das gleichzeitig als Meßgefäß dient, ein Schwimmer angebracht, an dessen Achse *S* ein Hebelarm mit einer Schreibfeder sitzt. So wird die Bewegung

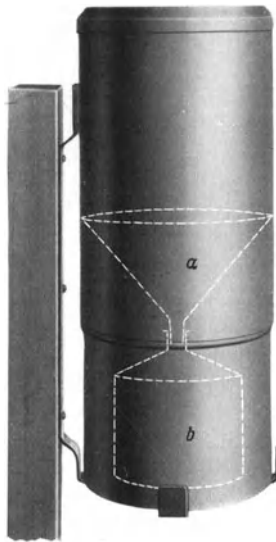


Abb. 15. Gewöhnlicher Regenmesser
(Nach R. Fueß.)

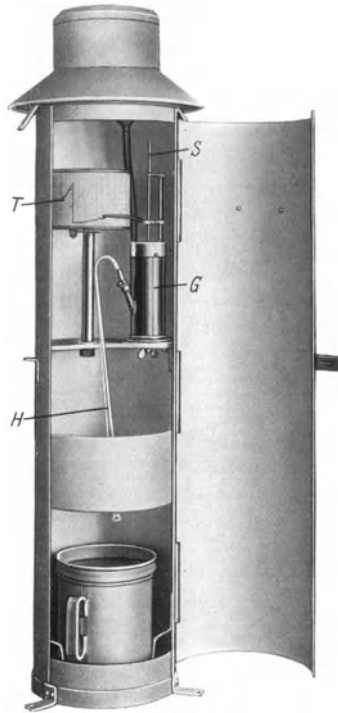


Abb. 16. Selbstschreibender Regenmesser.
(Nach R. Fueß.)

des Schwimmers mittels der Schreibfeder auf den Papierstreifen übertragen. Dieser ist auf eine Trommel *T* gelegt, die ein Uhrwerk enthält und durch dieses in 24 h einmal um ihre Achse gedreht wird. Der Inhalt des Sammelgefäßes *G* wird bei größeren Regenmengen durch den Heber *H* selbsttätig in die am Boden stehende Sammelkanne abgehert.

Die Regenmesser sind so aufzustellen, daß die Niederschläge, auch wenn sie bei starkem Wind unter einem Neigungswinkel von 45° einfallen, noch von allen Seiten freien Zutritt zum Regenmesser haben. Daher sollen Gebäude, Mauern, Bäume und sonstige Gegenstände mindestens ebensoweit vom Regenmesser entfernt sein wie sie selbst hoch sind. Der Platz, auf dem der Regenmesser steht, soll aber auch genügend windgeschützt sein, da auf freiem Felde Regen und Schnee leicht über den Regenmesser hinweggeweht werden. Jeder Regenmesser ist so an einem Pfahl zu befestigen, daß seine Auffangfläche 1 m über dem Erdboden und der Pfahlkopf etwa 0,15 m unter der Auffangfläche liegt, damit keine Regentropfen oder Hagelkörner vom Pfahlkopf aus in das Gefäß springen können. Eine größere Höhe als 1 m ist nur dort am Platze, wo sonst bei hoher Schneedecke durch den Wind Schnee vom Erdboden in das Gefäß gewirbelt werden könnte.

Die Regenmengen werden täglich um 7 Uhr morgens gemessen, beim selbstschreibenden Regenmesser der Inhalt der Sammelkanne. Der Vorteil des Selbstschreibers liegt darin, daß Fehler beim Messen, wie sie beim gewöhnlichen Regenmesser vorkommen, nicht zu erwarten sind, und daß die Dichte (Intensität) der Regen (S. 90) angegeben wird, deren Kenntnis für die Wasserwirtschaft wertvoll ist.

Die Schneemenge wird entweder durch selbstschreibende Schneemesser (Bauart Hellmann) oder durch Feststellung der Schneehöhe ermittelt. Der selbstschreibende Schneemesser beruht darauf, daß das 50 cm hohe Auffanggefäß auf dem Teller einer Waage (Briefwaage) steht und sich innerhalb des äußeren Mantels bei zunehmender Belastung nach unten bewegt. Diese Bewegung wird durch einen Hebel mit Schreibfeder auf eine durch ein Uhrwerk getriebene Trommel übertragen.

Aus der gemessenen Schneehöhe kann man annähernd die ihr entsprechende Wasserhöhe berechnen, wenn man die Schneedichte (den spezifischen Wasserwert des Schnees) schätzt. Man versteht darunter diejenige Zahl, mit der man die Schneehöhe vervielfältigen muß, um ihre Wasserhöhe zu erhalten. Im Durchschnitt kann die Schneedichte zu $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{10}$ angenommen werden. Diese Zahlen gelten jedoch nur für frisch gefallenen Schnee. Nach längerer Lagerung wird seine Dichte wesentlich größer, sie kann im Hochgebirge nach 6 bis 9 Monaten den Wert $\frac{1}{2}$ erreichen. Den Kehrwert (reziproken) der Schneedichte nennen wir Porigkeit des Schnees (spezifische Schneetiefe). Das ist demnach diejenige Schneehöhe in mm, die der Wasserschicht 1 mm entspricht.

Man kann den Wassergehalt einer Schneedecke auch dadurch feststellen, daß man eine Zinklechröhre von 50 cm Höhe und 200 cm² Öffnung senkrecht in den Schnee hineindrückt. Durch Schmelzen des Schnees läßt sich dann sein Wassergehalt leicht in mm angeben.

3. Größe und Verteilung der Niederschläge.

Die jährlichen und monatlichen Niederschläge der verschiedenen Gegenden Deutschlands weisen starke Unterschiede auf. Schon benachbarte Regenmeßstellen können sehr verschiedene Niederschlagsmengen ergeben. Auch zeitlich unterliegen die Niederschläge am selben Ort von Jahr zu Jahr starken Schwankungen. Liegt ein Gebiet im Bereich mehrerer Meßstellen, so ist jeder Meßstelle eine bestimmte Teilfläche zuzuweisen. Bei der Abgrenzung dieser Teilflächen muß nötigenfalls die Höhenlage der einzelnen Flächen und ihre Lage zu Gebirgen berücksichtigt werden, da namentlich diese beiden Umstände von Einfluß auf die Größe der Niederschläge zu sein pflegen (S. 87). Andernfalls kann man eine gleichmäßige Änderung der Niederschläge zwischen je zwei Meßstellen annehmen und dadurch die Niederschlagshöhe von Zwischenpunkten bestimmen, wie es in Abb. 17 geschehen ist. An den Eckpunkten des großen Dreiecks liegen die drei Meßstellen. Den einzelnen Zwischenpunkten werden bestimmte Teilflächen zugewiesen, die durch gestrichelte Linien begrenzt sind.

Auf andere Weise erhält man die mittlere Niederschlagshöhe eines größeren Gebietes, wenn eine Karte mit Regengleichen (Isohyeten) zur Verfügung steht. Das sind Linien gleicher mittlerer Niederschlagshöhe, die sich

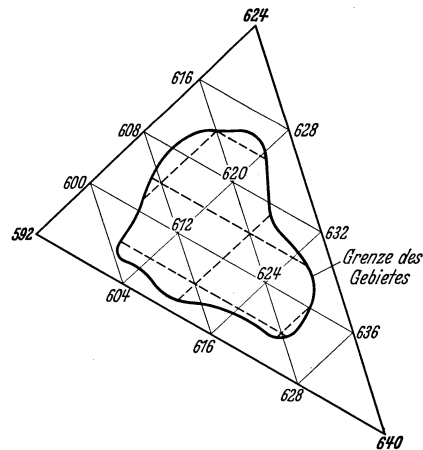


Abb. 17. Bestimmung der Niederschlagshöhe.

auf das Jahr, Halbjahr oder auf einen Monat beziehen. Bei dem Flächen-Meßverfahren wird die Fläche zwischen je zwei benachbarten Regengleichen (z. B. 625 und 650 mm) durch einen Flächenmesser (Planimeter) ermittelt und mit dem Mittel der beiden Regenhöhen eingesetzt. Bei dem Einschaltverfahren von Meinardus (129) überzieht man die ganze Fläche F mit gleich großen Quadraten f und schaltet für jedes Quadrat unter Berücksichtigung der Beobachtungen an nahe gelegenen Meßstellen oder der Regengleichen eine Regenhöhe h_i ein. Dann ist die mittlere Niederschlagshöhe H der Fläche F , wenn n Quadrate vorhanden sind, $(\sum h_i):n$.

Der mittlere Jahresniederschlag ist das Mittel der Niederschläge aller Jahre einer bestimmten Jahresreihe. Für die Bildung eines einigermaßen zuverlässigen Mittelwertes müssen mindestens 10 bis 15 Beobachtungsjahre vorliegen. Doch kann auch für einen solchen Zeitraum der wahrscheinliche Fehler α noch recht groß werden. Man berechnet ihn nach der Fechnerschen Formel:

$$\alpha = \frac{1,1955 \cdot v}{\sqrt{2n-1}} \text{ (mm);} \quad (23)$$

v = mittlere Abweichung des Jahresniederschlages in mm (S. 88),

n = Anzahl der Jahre.

Gl. (23) kann in entsprechender Weise auch für Monatsmittel benutzt werden.

Will man die Niederschläge verschiedener Orte miteinander vergleichen, so dürfen nur gleichzeitige Beobachtungen verwendet werden, da Nässe und Dürre zeitlich stark wechseln. Sind auf einer Meßstelle Beobachtungen in ausreichendem Umfange nicht vorhanden, so muß man eine Beziehung zwischen den Jahresniederschlägen zweier Orte ableiten. Hellmann hat dafür folgendes Verfahren angegeben (74, 42): Es seien auf der Regenmeßstelle I nur 12 Jahre beobachtet, während man einen Zeitraum von 20 Jahren zugrunde legen möchte. Auf einer benachbarten Meßstelle II seien jedoch alle 20 Jahre beobachtet (Zahlentafel 48). Man bildet dann für die 12 Jahre die Verhältniszahlen der Jahresniederschläge und prüft, ob sie einigermaßen gleichmäßig oder sehr ver-

Zahlentafel 48.

Jahr	Gemessene Jahresniederschläge (mm)		Berechnete Werte		Jahr	Gemessene Jahresniederschläge (mm)		Verhältnis der Jahresniederschläge
	II	I	Verhältnis der Jahresniederschläge	Jahresniederschlag I		II	I	
1914	607	—		486	1924	708	545	0,77
1915	743	—		594	1925	603	519	0,86
1916	681	—		545	1926	514	401	0,78
1917	609	—		487	1927	615	480	0,78
1918	692	—		554	1928	772	648	0,84
1919	572	—		458	1929	781	601	0,77
1920	745	—		596	1930	654	510	0,78
1921	691	—		553	1931	490	397	0,81
1922	526	426	0,81		1932	699	573	0,82
1923	786	644	0,82		1933	503	378	0,75

Summe: 9,59

Mittel: 0,80

schieden ausfallen. In dem durchgerechneten Beispiel betragen die größten Abweichungen vom Mittel nur + 0,06 und - 0,05, das sind + 7,5 und - 6,2%. Man kann daher genügend genau annehmen, daß die Jahresniederschläge der Meßstelle I etwa 80% der gleichzeitig in II gefallenen betragen und danach die fehlenden Werte für I berechnen. Sind dagegen die Abweichungen vom Mittel erheblich, so wird die Bezugrechnung an Wert verlieren. Nötig sind mindestens 10 bis 15 gleichzeitige Beobachtungen [Gl. (23)]. Will man in gleicher Weise eine Bezugrechnung für die mittleren Niederschläge eines Monats (z. B. des

Juni) durchführen, so müssen in der Regel wesentlich mehr gleichzeitige Beobachtungen zur Verfügung stehen. Denn die Genauigkeit der Monatsmittel ist weit geringer als die der Jahresmittel, weil bei diesen die Zeiteinheit 12mal länger ist und daher mehr ausgleichende Umstände umfaßt (S. 88).

Die Höhe der mittleren Jahresniederschläge ist in den einzelnen Gebieten sehr verschieden. Von der Oberfläche Deutschlands erhalten nach Münzinger (138, 101) im Jahresdurchschnitt etwa

5%	< 500 mm	15%	700 bis 800 mm
40%	500 bis 600 mm	5%	800 „ 1000 mm
30%	600 „ 700 mm	5%	> 1000 mm

Gebiete, deren mittlerer Jahresniederschlag unter 500 mm bleibt, können als Trockengebiete bezeichnet werden. Wir besitzen drei größere Gebiete dieser Art: das Trockengebiet zu beiden Seiten der unteren Oder, das Regenschattengebiet des Harzes und das rhein-hessische Trockengebiet. Kleinere Trockengebiete liegen u. a. bei Oranienburg, nördlich Lübben, bei Neusalz, Bomst-Meseritz und Schneidemühl-Flatow, letzteres in Verbindung mit dem großen polnischen Trockengebiet.

Nach Hellmann (74, 382) unterliegt die Regenverteilung in Deutschland folgenden Gesetzen:

- Der mittlere Jahresniederschlag nimmt von Westen nach Osten ab.
- Die deutsche Flachküste ist regenärmer als das anstoßende Binnenland. Die Unterschiede sind aber nur klein (10 bis 60 mm).
- Die Regenmenge ist weitgehend von der Höhengestaltung des Landes abhängig (S. 83, Regenschattenseite).

Van Bebbler gibt folgenden durchschnittlichen Einfluß der Meereshöhe H auf den mittleren Jahresniederschlag N (112, 13):

d) Schon unbedeutende Bodenerhebungen steigern die Niederschläge, so z. B. im norddeutschen Tiefland die Lüneburger Heide, der uralisch-baltische Höhenrücken u. a. Ebenso wirken langsam ansteigende Hochflächen von mäßiger Höhe.

e) Die Flußtäler sind in ihrem mittleren Lauf, namentlich wenn sie von Erhebungen begleitet sind, trockener als ihre Nachbarschaft.

Zahlentafel 49.

H m	N mm	H m	N mm
100—200	580	500—700	850
200—300	650	700—1000	1000
300—400	700	1000—1300	1310
400—500	780		

Um sich über die Niederschlagverhältnisse eines Gebietes allgemein zu unterrichten, kann man sich der von Hellmann herausgegebenen Regenkarten bedienen, die für einzelne Provinzen (mit Monatskarten) und für ganz Deutschland vorliegen (73).

Für die landwirtschaftliche Ausnutzung eines Regens ist es nicht gleichgültig, ob er als Platzregen in kurzer oder als Landregen in längerer Zeit, ob er im Winter oder im Sommer fällt. Sehr kleine Niederschläge von wenigen mm bringen keine Bodenfeuchtigkeit, weil die Regentropfen zum Teil an den Blättern haften bleiben, zum anderen Teil nur die oberste Bodenschicht anfeuchten und in beiden Fällen schnell wieder verdunsten. Sie wirken aber mittelbar wassersparend, da sie durch Erhöhung der Luftfeuchtigkeit die Blattverdunstung herabsetzen. Hellmann (74, 206) hat für die beiden Meßstellen Görlitz und Torgau und für die Jahresreihe 1848—1900 die Anteile der einzelnen Regenhöhen am gesamten Jahresniederschlag ermittelt (Zahlentafel 50). Er rechnet als Winter den Dezember bis Februar, als Frühjahr den März bis Mai, als Sommer den Juni bis August und als Herbst den September bis November (S. 108).

In Zahlentafel 51 sind die mittleren Monatsniederschläge für 24 Meßstellen und für einen Zeitraum von 50 (1851—1900) oder 35 (1866—1900) Jahren in Hundertteilen des mittleren Jahresniederschlages angegeben (74, 74). In der Verteilung des Jahresniederschlages auf die Jahreszeiten bestehen erhebliche örtliche Unterschiede. Ebenso weichen die Monatsanteile der Zahlentafel 51 nicht unwesentlich voneinander ab.

Zahlentafel 50.

Meß- stelle	Zeit	≤ 0,2 mm	0,3 bis 1,0 mm	1,1 bis 5,0 mm	5,1 bis 10,0 mm	10,1 bis 15,0 mm	15,1 bis 20,0 mm	20,1 bis 25,0 mm	25,1 bis 30,0 mm	30,1 bis 40,0 mm	40,1 bis 50,0 mm	≥ 50,0 mm
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Görlitz	Winter	0,5	5,4	38,9	31,8	14,4	5,5	1,4	0,4	1,7	—	—
	Frühjahr	0,3	4,1	29,9	27,2	14,9	11,1	4,3	3,2	3,4	1,6	—
	Sommer	0,2	2,1	21,7	22,7	13,7	11,6	6,3	7,5	6,0	3,8	4,4
	Herbst	0,4	4,1	29,5	27,0	17,6	9,5	5,3	3,6	2,3	—	0,7
	April—September	0,3	2,7	20,3	23,7	17,5	12,4	6,7	5,6	5,0	2,9	2,9
	Oktober—März	0,5	5,1	37,4	30,5	14,9	5,8	1,6	2,4	1,8	—	—
Torgau	Winter	0,6	6,5	42,1	27,8	14,0	6,0	2,0	0,4	0,6	—	—
	Frühjahr	0,5	4,7	35,6	30,6	12,1	7,7	3,2	2,4	2,4	0,8	—
	Sommer	0,3	2,6	22,4	25,5	16,3	11,1	7,1	5,4	5,6	1,0	2,7
	Herbst	0,5	4,2	32,7	28,6	16,3	8,2	4,8	2,1	1,6	—	1,0
	April—September	0,3	3,1	26,0	27,1	15,1	10,4	6,3	4,2	4,9	0,9	1,7
	Oktober—März	0,6	5,7	39,2	28,8	14,7	6,4	2,5	1,3	0,3	—	0,5

Zahlentafel 51.

Meßstelle	Zahl der Jahre	Mittlerer Jahresnie- derschlag mm	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Posen	50	492	5,9	5,1	6,4	6,5	9,6	12,0	13,1	13,0	8,0	7,1	6,5	6,8
Halle (Saale)	50	498	5,6	5,3	6,9	6,6	9,6	13,5	14,1	10,3	6,9	7,8	6,5	6,9
Stettin	50	519	6,0	5,1	6,5	6,2	8,5	10,5	13,7	13,1	8,1	8,4	6,8	7,1
Torgau	50	539	5,9	6,0	7,1	6,2	9,1	12,0	13,5	10,5	7,6	7,8	7,2	7,1
Breslau	35	569	5,1	5,2	6,4	6,6	10,8	11,5	14,5	11,7	8,3	7,2	6,4	6,3
Göttingen	35	569	6,2	6,6	7,2	6,0	7,6	10,8	13,1	10,2	7,4	9,0	7,6	8,3
Berlin	50	581	6,7	6,3	7,5	6,2	8,5	11,1	13,2	9,9	7,2	8,0	7,3	8,1
Lüneburg	50	598	6,4	6,1	7,0	6,1	8,4	10,9	12,0	10,4	8,1	9,3	7,5	7,8
Hannover	35	608	6,0	5,9	7,5	6,2	8,2	11,6	12,3	10,8	7,4	8,5	7,3	8,3
Frankfurt (Main) . .	50	613	7,2	5,4	6,4	5,7	8,3	11,5	12,7	9,7	7,5	9,4	8,1	8,1
Lübeck	50	630	6,1	5,2	6,4	5,5	8,1	10,0	12,9	11,4	9,8	9,7	7,0	7,9
Köln	50	635	7,1	6,2	6,5	6,2	8,2	11,0	12,1	10,2	8,1	8,4	7,9	8,1
Königsberg (Ostpr.)	50	640	5,8	5,0	5,2	5,1	7,7	9,2	11,9	12,5	12,5	9,7	8,4	7,0
Stuttgart	50	644	5,2	5,0	6,4	7,6	10,8	13,0	12,3	10,4	8,3	7,7	6,8	6,5
Görlitz	50	659	5,3	5,9	6,8	7,0	10,0	11,2	13,9	12,0	8,3	6,7	6,4	6,5
Köslin	50	668	6,3	5,3	6,5	5,5	7,4	9,3	12,7	12,5	10,4	9,5	7,9	6,7
Bremen	50	673	7,1	6,1	7,3	5,1	7,9	10,5	12,7	10,6	7,9	8,4	7,7	8,7
Trier	50	681	7,2	5,9	6,8	6,6	8,3	10,9	10,5	9,1	8,3	9,8	8,0	8,6
Münster (Westfalen)	50	726	7,7	6,5	7,1	5,4	7,6	9,9	11,8	10,5	7,8	8,7	8,2	8,8
Emden	50	737	6,9	6,0	6,7	5,0	6,9	8,7	10,4	12,6	9,3	10,2	8,9	8,4
Husum	35	755	6,3	5,4	5,8	4,9	6,2	7,4	10,0	12,1	11,7	12,3	8,9	9,0
Chemnitz	35	758	5,7	6,1	7,5	7,0	9,1	12,3	12,2	9,7	8,0	7,7	7,2	7,5
Friedrichshafen . . .	50	999	4,7	4,7	6,0	7,3	10,3	12,4	12,1	12,8	10,3	8,0	5,9	5,5
Klausthal	35	1300	7,8	7,9	8,1	5,9	6,5	9,1	11,4	9,3	7,2	8,5	8,3	10,0
Kleinster Wert der 24 Meßstellen			5,1	4,7	5,2	4,9	6,2	7,4	10,0	9,1	6,9	6,7	5,9	5,5
Größter Wert der 24 Meßstellen			7,8	7,9	8,1	7,6	10,8	13,5	14,5	13,1	12,5	12,3	8,9	10,0

Auch die Niederschläge am gleichen Ort sind starken Schwankungen unterworfen, sowohl die jährlichen wie die monatlichen. Wenn man für jedes Jahr den Unterschied des Jahresniederschlags zum langjährigen Mittel bildet und diese Unterschiede wiederum mittelt, dann erhält man die sog. mittlere Abweichung des Jahresniederschlags. Sie beträgt für Deutschland (74, 245) etwa 11 bis 16% des langjährigen Jahresmittels. Wesentlich größer sind die mittleren Abweichungen der monatlichen Niederschlagsmengen (Januar, Februar usw. je für sich), sie liegen meistens zwischen 35 und 55% des lang-

jährigen Monatsmittels. Im großen Durchschnitt kann man annehmen, daß der größte Jahresniederschlag einer langen Jahresreihe etwa 145%, der kleinste etwa 60% des Mittels beträgt. Der größte Monatswert der Niederschlagsmenge ist etwa 2- bis 3,5mal so groß wie das Monatsmittel des betreffenden Monats (74, 277).

Auch für die Tagesgrößtwerte des Niederschlages in einem bestimmten Monat sind Beziehungen abgeleitet (74, 112). Es sei:

h die mittlere Monatshöhe in mm (z. B. für den Januar),

m der mittlere Tagesgrößtwert eines Monats in mm (z. B. Mittel der Januar-Größtwerte der Jahresreihe),

M der Tagesgrößtwert eines Monats in mm (z. B. größter Wert aller Januar-Größtwerte).

Alle drei Größen sind auf dieselbe Jahresreihe zu beziehen. Dann ist $h : m = 3,5$ bis 4,0. Die Verhältniszahl nimmt für sehr trockene Orte etwa bis auf 3,0 ab, für sehr regenreiche bis auf rund 4,5 zu. Ferner ist $h : M = 1,2$ bis 1,5. Die kleineren Zahlen (1,2 bis 1,3) gelten für die Sommermonate, die größeren (1,4 bis 1,5) für die Wintermonate. Auch hier machen sehr trockene und sehr feuchte Orte eine Ausnahme, und zwar in demselben Sinne wie bei dem Verhältnis $h : m$.

Ein weiteres Kennzeichen für die Niederschlagverhältnisse eines Ortes ist seine Niederschlagshäufigkeit. Man versteht darunter in der Regel die Zahl der Tage, an denen mehr als 0,2 mm Niederschlag gemessen sind. Für 96 von Hellmann untersuchte Meßstellen (74, 173) wurden folgende mittlere Häufigkeitszahlen in den vier Jahreszeiten gefunden. Dabei lagen Jahresreihen von 22 bis 50 Jahren zugrunde:

Vorherrschend ist demnach in allen Jahreszeiten eine mittlere Niederschlagshäufigkeit von 35 bis 45 Tagen. Das Jahr hat in der Ebene höchstens 210 bis 230, im Gebirge (Harz, Riesengebirge) bis zu 280 Niederschlagstage. Die kleinste jährliche Niederschlagshäufigkeit schwankt etwa zwischen 110 und 150 Tagen.

Von besonderer Bedeutung ist die Zahl der in den einzelnen Gebieten auftretenden Dürremonate. Eingehende Untersuchungen über diese Frage, desgleichen über die Häufigkeit der nassen Monate, sind namentlich von Wussow angestellt. Er hat im einzelnen behandelt: Westdeutschland (230), Nordwestdeutschland (229), das mittlere Norddeutschland (233), Ostpreußen (228), Mitteldeutschland (231) und Schlesien (232). Weitere Untersuchungen dieser Art liegen vor von Troßbach über das obere Donaugebiet (210), sowie von Kleinschmidt über Württemberg und Hohenzollern (91). Die Abhandlungen enthalten auch Angaben darüber, wie oft auf den einzelnen Regenmeßstellen mehrere Dürremonate aufeinander gefolgt sind. Wussow hat für 4 Gebiete die Häufigkeitszahlen in Beziehung gesetzt zu der mittleren Niederschlagshöhe der 6 Monate April bis September (Zahlentafel 53) und kommt zu einer für alle vier Gebiete fast gleichen Abhängigkeit. Auch die Zahlen Kleinschmidts für Württemberg und Hohenzollern weichen nicht wesentlich von denen der übrigen Gebiete ab. Wegen der Dürremonate vgl. S. 65. Der April und September gelten als naß bei mehr als 80 mm, der Mai bis August bei mehr als 100 mm Niederschlag. Die Zahlen der Zahlentafel 53 geben die Anzahl der dürren und nassen Monate April bis September in 10 Jahren an, d. h. also den Anteil an insgesamt 60 Monaten. Aus Zahlentafel 53 kann man mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit die Anzahl der dürren und nassen Monate in den vier Gebieten entnehmen, falls die mittlere Regenhöhe der Monate April bis September bekannt

Zahlentafel 52.

Mittlere Anzahl der Niederschlagstage je Jahreszeit	Anzahl der Meßstellen mit der nebenstehenden Niederschlagshäufigkeit im			
	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
30,0—34,9	13	19	—	18
35,0—39,9	44	52	41	38
40,0—44,9	31	19	45	29
45,0—49,9	8	5	9	11
50,0—54,9	—	1	1	—

Zahlentafel 53.

Mittlere Regen- höhe April bis September	Nordwest- deutschland		West- deutschland		Mittel- deutschland		Schlesien		Württemberg und Hohenzollern	
	dürr	naß	dürr	naß	dürr	naß	dürr	naß	dürr	naß
250	47	1	—	—	48	3	—	—	—	—
300	39	4	40	4	40	5	40	5	—	—
350	33	8	31	8	33	7	34	8	31	8
400	27	12	26	12	26	11	29	11	25	12
450	22	17	22	17	21	16	24	15	20	17
500	18	22	18	22	18	21	20	19	15	22
550	16	26	15	26	15	27	16	23	12	27
600	13	31	12	31	13	32	13	27	10	32
650	11	35	—	—	—	—	10	31	8	36
700	—	—	—	—	—	—	8	35	6	39
800	—	—	—	—	—	—	—	—	5	44
900	—	—	—	—	—	—	—	—	4	48

ist. Diese läßt sich überschläglich auch mit Hilfe der Zahlentafel 51 ermitteln, wenn man den mittleren Jahresniederschlag kennt.

Schildknecht und andere Forscher (183) haben darauf hingewiesen, daß die Niederschläge für die Dürre eines Gebietes, landwirtschaftlich gesehen, nicht allein entscheidend sind, daß vielmehr auch der anteiligen Luftfeuchtigkeit eine Bedeutung zukommt. Denn je feuchter die Luft ist, um so besser werden die Niederschläge ausgenutzt. Daneben spielt das Wasserhaltevermögen des Bodens eine wesentliche Rolle, desgleichen die Höhe des Grundwasserspiegels. Vgl. auch S. 65 (vorübergehender Wassermangel).

Unter der monatlichen Niederschlagdichte versteht man das Verhältnis der mittleren monatlichen Niederschlagshöhe in mm zu der mittleren Zahl der Niederschlagstage desselben Monats. Wichtiger ist die Regendichte, d. i. die in der Zeiteinheit (h , min) fallende Regenhöhe in mm. Im großen Durchschnitt ist die Dauer eines Regens um so kürzer, je größer seine Dichte ist. Besonders starke Regen werden als Stark- oder Platzregen bezeichnet. Hellmann versteht unter Platzregen solche, deren Dauer t (in min) und Dichte i (in mm je min) in folgendem Verhältnis stehen:

Zahlentafel 54.

t	i	t	i
1—5	> 1,00	46—60	> 0,40
6—15	> 0,80	61—120	> 0,30
16—30	> 0,60	121—180	> 0,20
31—45	> 0,50	> 180	> 0,10

Zahlentafel 55.

Regendichte mm/min	Regendauer in min			
	1—5	6—15	16—30	31—45
2,00—2,49	19	19	9	2
2,50—2,99	8	6	1	
3,00—3,49	3	4		
3,50—3,99	3			
4,00—4,49	2			
4,50—4,99	1	1		

Hellmann hat ferner (74, 146) folgende Beziehung zwischen der mittleren Dichte i und der Dauer t der starken Regenfälle aus zahlreichen Beobachtungen abgeleitet:

$$i = \frac{3,522}{\sqrt[3]{t}} - 0,311. \quad (24)$$

Ist h die in der Zeit t gefallene Regenmenge in mm, dann ist $h = i \cdot t$. Bei 341 durch Hellmann zusammengestellten Platzregen wurde die Dichte 2 mm/min nur in 78 Fällen überschritten, die sich nach der Dauer des Regens, wie in Zahlentafel 55 angegeben, verteilen. Die größte Dichte betrug 4,97 mm/min bei einer Regendauer von 6 min. Die 341 Platzregen zeigen folgende monatliche Verteilung und mittlere Dichte (74, 161):

Zahlentafel 56.

Regendauer in min	April		Mai		Juni		Juli		August		September	
	Zahl	Dichte	Zahl	Dichte	Zahl	Dichte	Zahl	Dichte	Zahl	Dichte	Zahl	Dichte
1— 5	—	—	3	3,41	4	2,57	13	2,49	12	2,78	4	2,45
6— 15	—	—	7	2,13	12	2,17	26	2,03	19	2,00	3	2,34
16— 30	—	—	10	1,44	17	1,60	26	1,58	9	1,78	1	1,29
31— 45	—	—	2	1,32	13	1,18	12	1,17	8	1,35	—	—
46— 60	—	—	5	0,91	13	1,04	13	0,90	6	1,04	—	—
61—120	—	—	5	0,81	19	0,74	18	0,72	20	0,76	1	0,75
121—180	—	—	3	0,48	4	0,62	11	0,51	4	0,50	—	—
> 180	3	0,54	2	0,36	7	0,45	5	0,35	1	0,35	—	—
Summe . .	3	—	37	—	89	—	124	—	79	—	9	—
In % . . .	0,9	—	10,8	—	26,1	—	36,4	—	23,2	—	2,6	—

Im Sommer (Juni bis August) fielen demnach 86% aller Platzregen, in den Monaten Oktober bis März kein einziger.

Eingehende Untersuchungen über Platzregen hat auch Haeuser angestellt. Er fand, daß die von Hellmann für Norddeutschland abgeleitete Gl. (24) auch für Bayern gilt. Nach Haeuser besteht zwischen der Dauer eines Platzregens und der größten Dichte, die er erreichen kann, folgende Beziehung (63, 27):

Zahlentafel 57.

Regen- dauer in min	Größte Dichte	Größte Ergiebig- keit mm	Regen- dauer in min	Größte Dichte	Größte Ergiebig- keit mm	Regen- dauer in min	Größte Dichte	Größte Ergiebig- keit mm
5	7,00	35	30	3,07	92	90	1,64	148
10	5,40	54	40	2,62	105	105	1,49	157
15	4,47	67	50	2,30	115	120	1,38	165
20	3,84	76	60	2,08	125	150	1,19	179
25	3,40	85	75	1,83	137	180	1,06	190

Die monatliche Verteilung von 1197 Platzregen war folgende (63, 28):

Zahlentafel 58.

Regen- dauer in min	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
1— 5	—	—	—	2	11	17	15	9	2	—	—	—	56
6— 15	—	—	—	3	39	88	65	29	7	2	—	—	233
16— 30	—	—	—	1	48	106	50	59	16	—	—	—	280
31— 45	—	—	1	3	23	38	31	21	7	—	—	—	124
46— 60	—	—	—	—	16	47	31	14	4	—	—	—	112
61—120	—	—	—	3	28	68	51	23	10	—	—	—	183
121—180	—	—	—	1	16	24	11	6	2	1	—	—	61
> 180	2	—	—	1	25	42	30	40	8	—	—	—	148
Summe .	2	—	1	14	206	430	284	201	56	3	—	—	1197
In % .	0,2	—	0,1	1,2	17,2	35,9	23,7	16,8	4,7	0,2	—	—	100

Also auch nach dieser Zusammenstellung brachte der Sommer (Juni bis August) weitaus die meisten Platzregen (76%).

Die Dichte der Platzregen ist in der Mitte des Regengebietes am größten und nimmt nach den Rändern zu ab. Haeuser fand für Bayern eine durchschnittliche Flächenausdehnung in km² nach Zahlentafel 59 (63, 52). Im Durchschnitt hatte also ein Platzregen von 180 min Dauer in der Mitte (7 km²) eine Dichte von 0,60 bis 0,71, im nächsten Bereich (22—7 = 15 km²) 0,54 bis 0,59 usw.

Zahlentafel 59.

Niederschlagsdauer in min	Niederschlagspende in $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2 \geq$															
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	Niederschlagsdichte in $\text{mm}/\text{min} \geq$															
	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20	1,32	1,44	1,56	1,68	1,80
10	61	52	44	40	36	33	31	29	28	26	25	23	21	16	13	10
20	93	80	68	60	54	50	46	42	39	35	29	22	17	11	8	5
30	120	104	87	76	68	62	56	50	41	31	24	17	12	7	4	2
40	143	125	105	90	79	69	59	46	36	27	19	13	8	4	2	
50	162	141	120	102	83	67	54	42	31	22	15	8	4			
60	175	150	125	101	79	61	49	37	27	18	10	4				
75	177	145	118	94	71	54	42	30	20	11	4					
90	169	138	111	87	64	46	34	23	13	5						
105	161	130	104	80	56	39	27	16	7							
120	153	123	95	73	49	32	21	10	1							
150	137	107	81	58	35	19	8									
180	122	92	66	43	22	7										

Nach Wussow (234) kann man als Platz- oder Starkregen diejenigen bezeichnen, die etwa oberhalb der Grenze $h = \sqrt{5} t$ liegen, wobei h die Regenhöhe in mm und t die Regendauer in min ist. Die in den fünf Jahren 1927—1931 mit selbstschreibenden Regenmessern in Preußen gemessenen 517 Starkregen hatten folgende mittlere Dichte:

Zahlentafel 60.

Regen-dauer min	Zahl der Regen	Dichte mm/min	Regen-dauer min	Zahl der Regen	Dichte mm/min	Regen-dauer h	Zahl der Regen	Dichte mm/min
1—15	315	1,04	61—75	4	0,41	2—3	3	0,24
16—30	128	0,72	76—90	5	0,42	3—4	4	0,18
31—45	24	0,58	91—105	1	0,63	4—5	1	0,21
46—60	17	0,56	106—120	1	0,24	> 5	14	0,08

Unter Dauerregen versteht Wussow diejenigen, die bei einer ununterbrochenen Dauer von mindestens 6 h eine Stundendichte von mehr als 0,5 mm aufweisen. In den fünf Jahren 1927—1931 wurden in Preußen mit selbstschreibenden Regenmessern 1477 Dauerregen mit folgenden mittleren Stundendichten festgestellt:

Zahlentafel 61.

Regen-dauer h	Zahl der Regen	Dichte mm/h	Regen-dauer h	Zahl der Regen	Dichte mm/h	Regen-dauer h	Zahl der Regen	Dichte mm/h
6—7	361	1,68	13—14	44	1,39	20—21	8	1,20
7—8	261	1,46	14—15	36	1,63	21—22	9	1,65
8—9	210	1,53	15—16	32	1,35	22—23	7	1,23
9—10	133	1,37	16—17	22	1,55	23—24	9	1,54
10—11	98	1,34	17—18	27	1,37	> 24	37	1,72
11—12	77	1,37	18—19	14	1,55			
12—13	76	1,56	19—20	16	1,55			

Größere Wälder pflegen die Regenbildung zu beeinflussen, wenn auch nicht erheblich. Die über dem Walde entstehende Luftabkühlung begünstigt die Niederschläge. Dazu schlagen sich Nebel und Reif an Baumblättern reichlicher nieder als auf dem freien Felde. Ein großer Teil des Regens bleibt jedoch in den Baumkronen hängen und verdunstet von hier aus. Auf den Waldboden gelangt aus diesem Grunde in der Regel weniger Regen als auf den Ackerboden.

Für die Landwirtschaft ist die Größe und zeitliche Verteilung der Niederschläge sehr wichtig. Namentlich ist der in der Wachstumszeit fallende Regen wertvoll. Aber auch die Winterniederschläge sind von Bedeutung, weil sie einen Wasservorrat für das kommende Frühjahr schaffen. Sehr kleine Niederschlagsmengen können von den Pflanzen nur schlecht ausgenutzt werden, da sie nicht tief in den Boden eindringen, sondern schnell wieder verdunsten. Bei Platzregen fließt ein großer Teil des Wassers in hängigem Gelände ungenutzt oberirdisch ab.

B. Die Verdunstung.

1. Die Verdunstungsbedingungen.

Die Verdunstung findet überall dort statt, wo nicht gesättigte Luft mit Wasser in Berührung steht. Bei der Verdunstung einer Landfläche ist zu unterscheiden zwischen den Wassermengen, die der nackte Boden verdunstet, und der Blattverdunstung oder anderweitigen Wasserausscheidung der Pflanzen.

Wenn genügend Wasser für die Verdunstung vorhanden ist, hängt die Geschwindigkeit der Verdunstung von zwei Umständen ab. Sie ist um so größer, je größer der Sättigungsfehlbetrag der Luft und je größer die Windgeschwindigkeit ist. Die Fähigkeit der Luft, Wasser aufzunehmen, bezeichnet man als Verdunstungskraft.

Man kann die Verdunstungsgeschwindigkeit dem Sättigungsfehlbetrag unmittelbar verhältnismäßig setzen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß der Sättigungsfehlbetrag derjenigen Luftschicht maßgebend ist, die sich unmittelbar über der verdunstenden Wasser- oder Bodenfläche sowie über den Spaltöffnungen der verdunstenden Pflanzen befindet. Wenn die stärker mit Wasserdampf angereicherten Luftmassen durch Wind fortgeführt und so dauernd durch trockenere Luft ersetzt werden, verdunstet erheblich mehr Wasser in derselben Zeit als bei Windstille. Daher ist auch die Verdunstung je ha um so größer, je kleiner eine im Vergleich zur Umgebung stark verdunstende Fläche ist, weil die mit Wasserdampf angereicherte Luft über einer kleinen Fläche schneller durch weniger feuchte Luft ersetzt wird, als es über einer größeren Fläche der Fall ist.

Verdunstung findet bei jeder Luftwärme statt. Auch Schnee und Eis geben ständig Wasserdampf an die Luft ab. Der jährliche Gang der Verdunstung V (Wildsche Schale, S. 94) und des Sättigungsfehlbetrages S mit der Luftwärme t ist aus Abb. 18 zu ersehen (Durchschnitt 1928—1934).

Da die Wärme eines Bodens durch seine Farbe beeinflusst wird (S. 22), ist die Verdunstung des Bodens im allgemeinen um so größer, je dunkler er ist. Eser (135, 153) gibt dafür folgende durch Versuche gefundene Zahlen:

Farbe =	weiß	gelb	braun	grau	schwarz
$V =$	100	107	119	125	132

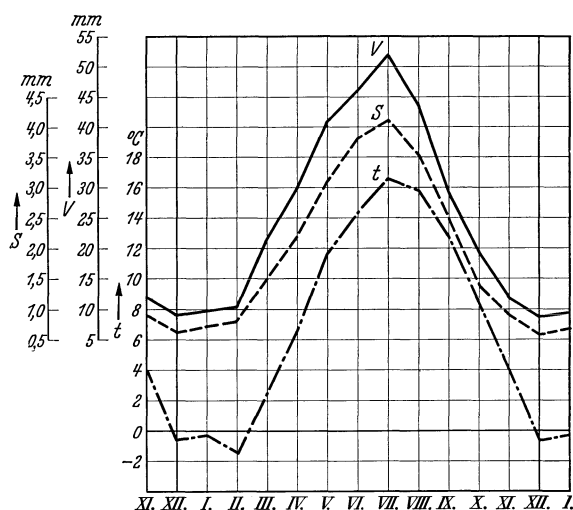


Abb. 18. Luftwärme, Sättigungsfehlbetrag und Verdunstung.

Salzwasser verliert weniger durch Verdunstung als Süßwasser. Nach Versuchen, die in Triest angestellt wurden, entsprachen folgende Verdunstungshöhen einander (112, 20):

Süßwasser	1,03	1,60	2,04	2,80 mm
Meerwasser	0,78	1,28	1,69	2,40 mm

Die Verdunstung auf dem Lande ist naturgemäß auch davon abhängig, welche Wassermengen vorhanden sind. Reichliche Niederschläge ermöglichen eine stärkere Verdunstung als sehr geringe. Dieselbe Regenhöhe erleidet aber im allgemeinen um so größere Verdunstungsverluste, je kleiner die einzelnen Niederschläge sind, aus denen die Gesamtmenge sich zusammensetzt (S. 87). Alle Umstände, die die Versickerung der Niederschläge in tiefere Bodenschichten fördern, verringern die Verdunstung (S. 62). Bei sehr tief liegendem Grundwasserspiegel ist sein weiteres Absinken für die Verdunstung belanglos, weil ein Grundwasseraufstieg zur Erdoberfläche ohnehin nicht möglich ist. Von dem tieferen Bodenwasser kann nicht mehr verdunsten, als die Wurzeln und der Nachschub des Saugwassers herbeischaffen, da die Verdunstung im wesentlichen an der Erdoberfläche stattfindet (S. 66).

Eine sehr beträchtliche Verdunstung kann in Gebieten auftreten, die bei hohem Grundwasserstande eine üppige, stark verdunstende Pflanzendecke tragen. Die Verdunstung ist in solchen Fällen meistens größer als über freien Wasserflächen.

Aus den vorstehenden Ausführungen ist zu entnehmen, daß die einzelnen Flächen eines größeren Gebietes einen sehr verschiedenen Beitrag zur gesamten Gebietverdunstung liefern. Die stärkste Verdunstung besitzen im allgemeinen Wiesen und Wälder mit hohem Grundwasserstand, die geringste brach liegende Äcker und Flächen mit spärlichem Pflanzenwuchs auf leichtem Boden bei tiefem Grundwasserspiegel.

2. Die Verdunstungsmessungen.

Die Verdunstung freier Wasserflächen wird zweckmäßig mit dem Bindemannschen Floßverdunstungskessel gemessen. Wollte man die Verdunstung einer Seefläche dadurch feststellen, daß man ermittelt, wieviel Wasser von einer auf dem Lande aufgestellten mit Wasser gefüllten Schale verdunstet, so würde man zu falschen Ergebnissen gelangen, weil die Verdunstungsbedingungen über einem See andere sind als auf dem Lande. Der Verdunstungskessel wird auf einem Floß angebracht und so ins Wasser gehängt, daß sein Wasserspiegel mit dem des freien Wassers in gleicher Höhe liegt. Der Kessel ist etwa 20 bis 25 cm tief und besitzt eine kreisrunde Auffangfläche von 2000 cm². In der Mitte des Kessels befindet sich ein Überlaufrohr, das stärkere Niederschläge in ein besonderes Gefäß ableitet. Um die Verdunstung des Kessels zu ermitteln, muß man die Schwankung des Wasserspiegels im Kessel, den Niederschlag und die übergelaufene Wassermenge fortlaufend messen.

Die sog. Wildsche Schale (Wildsche Waage) ist ein mit Wasser gefülltes Gefäß, das in einer kleinen Hütte gegen Niederschläge geschützt aufgestellt wird und den Zweck hat, die Verdunstungshöhen verschiedener Zeiten miteinander zu vergleichen. Das Gefäß ruht auf einer Waage (Briefwaage), damit die jeweilige Verdunstung möglichst genau und bequem ermittelt werden kann. Die mit der Wildschen Schale gemessenen Verdunstungshöhen sind als Zahlen für sich ohne Wert, da sie unter Voraussetzungen gefunden sind, die den natürlichen Verhältnissen nicht entsprechen. Sie lassen aber Schlüsse zu, wie sich im großen Durchschnitt die Verdunstungen der einzelnen Monate zueinander verhalten.

Die Verdunstung von Landflächen mit und ohne Pflanzenwuchs wird mit Hilfe der bereits erwähnten Bodenwaagen festgestellt (S. 63). Auf Flächen mit hohem Grundwasserstand ist es erforderlich, den Grundwasserspiegel der

Bodenwaage ständig auf der gleichen Höhe zu halten, wie er auf den Flächen selbst bald tiefer bald höher vorhanden ist. Eine einfache Art der Verdunstungsmessung besteht darin, daß man ein größeres Gefäß in den Boden versenkt, so daß sein oberer Rand etwa in Geländehöhe liegt. Das Gefäß wird mit Boden in natürlicher Lagerung gefüllt und bepflanzt. Man schafft alsdann in dem Gefäß einen künstlichen Grundwasserspiegel, den man durch tägliches Nachfüllen oder Abzapfen von Wasser dauernd auf derselben Tiefe hält, wie er in der Umgebung jeweils vorhanden ist. Durch einen Regenschirm sind laufend die Niederschläge zu messen. Stellt man außerdem die nachgefüllten und abgezapften Wassermengen fest, so läßt sich die Gesamtverdunstung von Pflanzen und Boden leicht berechnen.

3. Größe und Verteilung der Verdunstung.

Unter der mittleren Jahresverdunstung V versteht man das Mittel der einzelnen Jahresverdunstungen einer Jahresreihe. Bezeichnet man mit A den mittleren jährlichen Abfluß des Gebietes für eine längere Jahresreihe, mit N den mittleren Jahresniederschlag, so ist

$$V = N - A. \quad (25)$$

Alle drei Größen sind in mm auszudrücken und als Mittelwerte auf das ganze Flußgebiet zu beziehen. Keller hat die Verdunstung V größerer Flußgebiete in Abhängigkeit zu N gebracht. Für deutsche Verhältnisse ist nach Keller das Durchschnittsverhalten der Verdunstung

$$V = 405 + 0,06 N. \quad (26)$$

Die Gleichung gilt nur für $N \geq 560$ mm. Für Gebiete mit sehr kleiner Verdunstung ist die sog. untere Grenzlinie der Verdunstung

$$V = 350. \quad (27)$$

Dabei muß $N \geq 500$ mm sein. Für eine starke Verdunstung gilt die obere Grenzlinie der Verdunstung mit $N \geq 625$ mm.

$$V = 460 + 0,12 \cdot N. \quad (28)$$

Man kann mit Hilfe dieser Gleichungen den Wert V aus bekanntem N überschläglich ableiten, wenn man Anhaltspunkte für das allgemeine Verhalten der Verdunstung besitzt. Schätzt man dieses z. B. als in der Mitte zwischen dem Durchschnittsverhalten und der oberen Grenze liegend ein, so ist für $N = 720$ mm:

$$\begin{aligned} \text{nach Gl. (26) . . . } V &= 448 \text{ mm,} \\ \text{nach Gl. (28) . . . } V &= 546 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Das Mittel beträgt also 497 mm.

An den Gl. (26) bis (28) fällt auf, daß die Jahresverdunstung nur wenig von N abhängig ist. Das ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß in nassen Sommern zwar viel Wasser für die Verdunstung zur Verfügung steht, daß aber die Verdunstung infolge der feuchten Luft vermindert wird, während in trockenen Sommern die trockene Luft zwar den Wasserdampf begierig aufnimmt, andererseits aber weniger Wasser für die Verdunstung vorhanden ist.

Fischer hat für die Verdunstung eines Flußgebietes die Gleichung abgeleitet (43)

$$V = (6 - \gamma) \frac{N}{100} + (405 - 9\gamma). \quad (29)$$

Der Wert γ kennzeichnet das Verdunstungsvermögen des Gebietes. Man erhält mit

$$\begin{aligned} \gamma &= 0 && \text{Gl. (26) (mittleres Verhalten),} \\ \gamma &= + 6 && \text{Gl. (27) (Gebirgsflüsse),} \\ \gamma &= - 6 && \text{Gl. (28) (Flachlandflüsse).} \end{aligned}$$

Die Werte $\gamma = \pm 1$ bis ± 5 stellen also Zwischenstufen des Verdunstungsvermögens dar.

Die einzelnen Monate liefern einen sehr verschiedenen Anteil zur mittleren Jahresverdunstung. Für die Havel bis Rathenow und für das Weser-Quellgebiet wurden folgende mittlere Verdunstungshöhen berechnet:

Zahlentafel 62.

		November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	Jahr
Havelgebiet bis Rathenow (nach Koehne)	mm	13	10	12	14	28	47	70	71	67	60	40	22	124	330	454
	%	2,9	2,2	2,6	3,1	6,2	10,3	15,4	15,6	14,8	13,2	8,8	4,9	27,3	72,7	100,0
Weser-Quellgebiet (nach Fischer)	mm	15	13	12	16	31	49	64	72	64	58	37	21	136	316	452
	%	3,3	2,9	2,7	3,5	6,9	10,8	14,2	15,9	14,2	12,8	8,2	4,6	30,1	69,9	100,0

Je kleiner die Flußgebiete sind, deren Verdunstung man ermitteln will, um so schwieriger ist es, die mittlere Jahresverdunstung einigermaßen zuverlässig einzuschätzen. Die folgenden Angaben können als Anhaltspunkte dienen.

Für freie Wasserflächen gibt Friedrich (54) die Werte der Zahlentafel 63:

Zahlentafel 63.

Meßstellen		November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	Jahr
a	mm	*38,0	*30,0	*27,0	*29,0	*44,0	59,5	121,1	158,4	155,8	136,2	86,4	53,8	227	712	939
	%	4,0	3,2	2,9	3,1	4,7	6,3	12,9	16,9	16,6	14,5	9,2	5,7	24,2	75,8	100,0
b	mm	21,0	*14,6	*24,0	*25,3	*44,6	57,5	80,2	93,0	102,0	79,5	58,9	34,7	187	448	635
	%	3,3	2,3	3,8	4,0	7,0	9,0	12,6	14,6	16,1	12,5	9,3	5,5	29,4	70,6	100,0
c	mm	26*	18*	18*	20*	32*	50	98	100	112	86	68	36	164	500	664
	%	3,9	2,7	2,7	3,0	4,8	7,5	14,8	15,1	16,9	13,0	10,2	5,4	24,6	75,4	100,0

Die Messungen sind angestellt:

- in den Jahren 1909—1913 auf dem Grimnitzsee bei Joachimsthal,
- in den Jahren 1925—1927 auf dem Mittellandkanal bei Sehnde,
- in den Jahren 1928—1929 auf einem Vorbecken der Edertalsperre bei Nieder-Werbe.

Für die Verdunstung freier Wasserflächen sind zahlreiche Formeln aufgestellt worden, die jedoch bisher nicht verwendbar sind und deren Ergebnisse zum Teil erheblich voneinander abweichen (36, 42, 57 u. 209).

Über die Verdunstung von bewachsenem und unbewachsenem Erdboden liegen zahlreiche Untersuchungen mit Bodenwaagen vor. In der Zahlentafel 64 ist das Ergebnis der 1930—1932 in Eberswalde angestellten Versuche wiedergegeben, die Wasserhöhen in mm (55 und 56).

Da in den Bodenwaagen kein Grundwasserspiegel gehalten wurde, entspricht die Versuchsanordnung einem tiefen Grundwasserstand. Liegt dieser hoch, so wird die Verdunstung wesentlich größer. Fabian (36) fand in Bodenwaagen, die zum Teil nur auf die natürlichen Niederschläge angewiesen waren, zum anderen Teil auf einem Wassergehalt (w_g) von durchschnittlich 70% des Porenraumes gehalten wurden, ohne daß sich jedoch ein Grundwasserspiegel bildete, folgende tägliche Verdunstungswerte V im Mittel der Zeit vom 1. bis 20. 8. 1924:

	w_g	V
etwa	21%	1,70 bis 1,86 mm
„	74%	7,15 bis 8,09 mm

* Geschätzt nach Wildscher Schale.

Zahlentafel 64.

Jahr			November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	Jahr
1930	Niederschlag		13,6	58,4	34,7	8,1	48,6	39,4	61,3	27,5	193,7	83,1	67,2	84,5	202,8	517,3	720,1
	Verdunstung	langes Gras . .	5,4	2,2	0,8	4,5	12,0	43,2	52,7	40,3	41,0	62,9	30,7	9,8	68,1	237,4	305,5
		kurzes Gras . .	3,4	2,4	0,7	3,5	14,1	41,8	55,5	41,2	49,0	61,0	34,4	15,1	65,9	256,2	322,1
		ohne Pflanzenwuchs	2,6	0	0	4,0	9,4	20,5	23,9	17,6	17,0	30,3	13,0	1,7	36,5	103,5	140,0
1931	Niederschlag		94,6	11,4	75,4	35,6	39,0	51,5	23,4	107,7	100,3	51,4	106,5	52,7	307,5	442,0	749,5
	Verdunstung	langes Gras . .	5,4	1,8	7,7	2,3	16,0	29,9	60,3	72,5	61,6	46,9	32,2	16,9	63,1	290,4	353,5
		kurzes Gras . .	10,1	1,6	11,7	3,9	17,0	36,1	75,9	76,2	64,6	51,6	38,3	18,2	80,4	324,8	405,2
		ohne Pflanzenwuchs	0,1	0	0	0	11,0	24,8	20,8	34,4	39,6	27,4	27,0	13,9	35,9	163,1	199,0
1932	Niederschlag		5,1	48,2	50,2	10,8	11,3	45,7	83,8	19,3	69,7	78,3	55,9	71,7	171,3	378,7	550,0
	Verdunstung	kurzes Gras . .	7,7	4,1	4,7	6,9	11,5	32,7	61,8	67,2	62,2	54,4	38,4	19,7	67,6	303,7	371,3
		ohne Pflanzenwuchs	5,0	1,2	0,7	8,7	10,1	23,9	27,1	21,1	33,0	23,2	26,3	13,2	49,6	143,9	193,5

Die Verdunstung ist also bei dem hohen Wassergehalt des Bodens etwa 4mal so groß wie bei dem niedrigen gewesen. Die Bodenwaagen enthielten eine aus einer natürlichen Wiese des Odervorlandes ausgestochene Grasnarbe.

Rothe (177) hat Untersuchungen über die Verdunstung eines verhältnismäßig kleinen Gebietes an der Memelmündung angestellt. Das Gebiet ist 180 km² groß und wird durch ein ausgedehntes Grabennetz sowie durch mehrere Schöpfwerke entwässert. Im Durchschnitt liegt das Polderwasser in den Gräben etwa 1 m unter Gelände. Das Verhältnis zwischen Acker, Wiese und Weide ist etwa 1 : 1 : 1. Als Mittel der 20 Jahre 1898—1917 ergaben sich folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}
 N_s & \text{ im Sommer (Mai bis Oktober) = 400 mm,} \\
 N_w & \text{ im Winter (November bis April) = 275 mm,} \\
 V_s & = (210 + 0,4 \cdot N_s) \text{ mm,} \\
 V_w & = 130 \text{ mm,} \\
 V & = V_s + V_w = 370 + 130 = 500 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

Diese Verdunstung liegt etwa in der Mitte zwischen dem Durchschnittsverhalten und der oberen Grenzlinie der Verdunstung nach Keller (S. 95).

Die Gl. (25) gilt nur für solche Zeiträume, zu deren Anfang und Ende der Wasservorrat des Bodens als gleich angesehen werden kann. Das kann man im allgemeinen bei der Mittelbildung aus langen Jahresreihen unterstellen, nicht aber für einzelne Jahre oder gar Monate. In diesen Fällen ist

$$V = N - A - (R - B). \tag{30}$$

Hierin bedeuten:

R die Rücklage in mm, d. i. derjenige Teil von *N*, der während des Zeitraumes im Gebiet zurückgehalten ist.

B der Verbrauch in mm, d. i. derjenige Teil des zu Beginn des Zeitraumes im Gebiet vorhandenen Wassers, der während des Zeitraumes abgeflossen ist.

(*R* - *B*) ist also die Zunahme des Gebietwassers in dem betrachteten Zeitraum. Für *R* = *B* erhält man Gl. (25).

C. Das Grundwasser.

Man vergleiche auch die Ausführungen auf den S. 8 und 17. Die Grundwasserhältnisse eines Gebietes sind häufig nicht leicht zu beurteilen, da sie weitgehend von dem erdkundlichen Aufbau abhängen, dieser aber nicht offen vor uns liegt, sondern in vielen Fällen erst durch zahlreiche Bohrungen festgestellt werden muß. Wo erdkundliche Karten vorhanden sind, soll man sich ihrer bedienen. In schwierigen Fällen wird es sich stets empfehlen, ein

erdkundliches Gutachten einzuholen, wobei zu beachten ist, daß der Sachverständige auch genügende Erfahrungen auf dem Sondergebiet der Grundwasserkunde besitzen muß.

1. Grundwasserbeobachtungen.

Bei der großen Bedeutung des Grundwassers für die Landwirtschaft sind die vorübergehenden und bleibenden Veränderungen des Grundwasserspiegels aufmerksam zu verfolgen. Das gilt insbesondere dort, wo durch Bergbau oder Wasserwerke eine starke Absenkung des Grundwasserspiegels zu erwarten ist. Man muß aber mit den Beobachtungen rechtzeitig beginnen, um die etwaige Veränderung des Grundwasserstandes auch nachweisen zu können.

Das wichtigste Hilfsmittel zur Feststellung des Grundwasserspiegels sind die Grundwasserpegel. Viel verwendet werden 80 mm weite Rohre, die mit Hilfe eines 200 mm weiten Mantelrohres niedergebracht und unten, im Bereich der gelochten Strecke, mit Kies umschüttet werden. Die Durchlochung besteht aus Schlitzfenstern von 3 mm Weite und etwa 10 bis 20 mm Länge.

Will man einen hochliegenden Grundwasserspiegel bis zu einer Tiefe von etwa 1,5 m beobachten, so genügt auch das Einsetzen von Holzkästen in eine Ausschachtung. Die Kästen erhalten eine Weite von 20 · 20 cm und werden mit Kies, Steinen, Schlacke oder anderen durchlässigen Stoffen umschüttet. Die Brettchen sollen kleine Zwischenräume von 0,5 cm Weite haben, damit das Grundwasser leicht hindurchtreten kann.

Auf Dränungsversuchsfeldern haben sich die von Fauser empfohlenen Rohre von 56 mm Lichtweite bewährt. Sie sind unten offen und haben seitlich 10 mm weite Löcher in wendel(spiral)förmiger Anordnung.

Gebrauchsbrunnen eignen sich schlecht für Grundwasserbeobachtungen. Voraussetzung ist, daß sich nach einer Wasserentnahme der Grundwasserspiegel schnell wieder im Brunnen einstellt.

Flachliegende Grundwasserspiegel lassen sich meistens mit einem gewöhnlichen zusammenklappbaren Meterstock einmessen. Liegt der Grundwasserspiegel tiefer, so verwendet man die Brunnenpfeife. Sie besteht aus einem 27 mm weiten, unten offenen Rohr, in dessen oberem Ende sich eine Pfeife befindet. Diese ertönt, sobald das Rohr etwa 1 cm tief ins Wasser taucht. Um feststellen zu können, ob die Brunnenpfeife, z. B. bei schnellem Hinablassen, tiefer als 1 cm eingetaucht ist, besitzt das Rohr in Abständen von 1 cm nach oben gebogene ringförmige Wulste, die beim Hochziehen mit Wasser gefüllt bleiben.

Besonders wichtige Grundwasserpegel können ebenso wie die Pegel an Wasserläufen (S. 107) auch selbstschreibend eingerichtet werden.

Der Wasserstand eines Brunnens in der Nähe eines offenen Gewässers kann durch bloße Druckübertragung Änderungen erfahren, wenn der Wasserspiegel des benachbarten Gewässers schnell steigt. In solchen Fällen braucht daher ein Ansteigen des Brunnenspiegels nicht gleichbedeutend zu sein mit einer gleich großen Hebung des benachbarten Grundwasserspiegels.

Alle Grundwasserpegel sollen etwas aus dem Boden hervorragen, damit kein Tageswasser von oben eindringen kann. Sie sind mit einem verschließbaren Deckel zu versehen. Die Oberkante der Grundwasserrohre ist einzuwägen. Bei der meistens nur langsamen Schwankung des Grundwasserspiegels genügt es in der Regel, die Messungen wöchentlich auszuführen.

Wenn genügend Beobachtungen vorliegen, kann man gleichzeitige Messungen zu Höhengichtlinien des Grundwasserspiegels zusammenstellen. Die Zusammenhänge zwischen Grundwasserstand und Niederschlägen treten am deutlichsten in Erscheinung, wenn man beide in ihrem zeitlichen Ablauf im gleichen Zeitmaßstab untereinander aufträgt. Dabei ist zu beachten, daß der Grundwasserstand meistens auch durch die Niederschläge des Vormonats beeinflußt wird. Schließlich können auch die Häufigkeit und Dauer der Grund-

wasserstände in derselben Weise berechnet und aufgetragen werden, wie es bei den Wasserständen der oberirdischen Gewässer üblich ist (S. 109).

2. Die Grundwasserstände.

Der Spiegel des Grundwassers, der sog. Grundwasserstand, ist ständigen Schwankungen unterworfen. Sickerwasser und unterirdischer seitlicher Zufluß lassen ihn steigen, während der unterirdische Abfluß, die Verdunstung des Saugwassers sowie namentlich die Wasserentnahme durch die Pflanzenwurzeln ein Absinken des Grundwasserstandes zur Folge haben.

Das Sickerwasser kann auch aus undichten Flußbetten dem tiefer liegenden Grundwasser zufließen und so den Grundwasserstand heben (Abb. 19). Die Flußbetten sind selten völlig dicht. Nur wenn sie im Ton liegen, wird man sie als undurchlässig bezeichnen können. Auch starke Schlammschichten auf der Sohle und den Böschungen eines Wasserlaufes können in der Regel den Durchtritt von Wasser in einen durchlässigen Untergrund nicht völlig verhindern. Doch nimmt die Durchlässigkeit des Untergrundes häufig mit der Zeit ab, da die vom Sickerwasser mitgeführten Ton- und Humusteilchen die Bodenporen zum Teil verstopfen. Abb. 19 zeigt, daß man ein Flußbett nicht etwa deshalb als dicht ansprechen darf, weil ein Grundwasserpegel in der Nähe des Flusses kein Wasser ergibt.

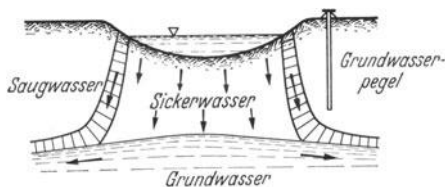


Abb. 19. Sickerwasser unter einem Flußbett.

Der Grundwasserstand der Flachland-Wiesen liegt im Winter meistens höher und im Sommer häufig tiefer als der Wasserstand der Entwässerungsgräben (S. 143).

Die Frage, ob Wälder von besonderem Einfluß auf den Grundwasserstand sind, kann noch nicht als völlig geklärt angesehen werden. Untersuchungen ergaben, daß das Grundwasser im Walde tiefer lag als außerhalb desselben. Bei dem starken Wasserverbrauch der Laubbäume im Sommer ist es durchaus wahrscheinlich, daß der Laubwald das Grundwasser ziemlich stark absenkt, soweit der Saugsaum in erreichbarer Tiefe liegt, und daß dem so unter dem Walde entstehenden Senkungstrichter auch aus der Nachbarschaft Grundwasser zufließt. Im Winter ist der Wasserverbrauch des Waldes wesentlich kleiner als im Sommer. Man kann die Blattverdunstung vom November bis April zu etwa 5% der jährlichen Blattverdunstung annehmen.

Höhere Luftwärme im Winter hat ein Steigen des Grundwassers zur Folge, weil der Schnee dann schmilzt und versickert. Die Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr kommt im Steigen des Grundwassers deutlich zum Ausdruck.

Die monatliche Änderung des Grundwasserstandes läßt sich in rechnerische Beziehung zu Niederschlag, Abfluß und anderen Größen bringen, wenn man folgende Bezeichnungen einführt (93, 41):

- N = monatlicher Niederschlag in mm,
- A = monatlicher Abfluß in mm,
- V = monatliche Verdunstung in mm,
- $\pm L$ = monatliche Zunahme oder Abnahme des Wasservorrates oberhalb des Grundwassers einschließlich des Schnees und Eises in mm,
- $\pm h$ = monatliches Steigen oder Fallen des Grundwasserspiegels in mm,
- φ = anteilige Wasserlieferung des Bodens (S. 20).

Dann ist

$$\varphi \cdot h = N - A - V - L. \quad (31)$$

Koehne gibt folgendes Beispiel für den jährlichen Gang des Grundwasserspiegels bei durchschnittlichen deutschen Verhältnissen (93, 46):

Zahlentafel 65.

	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Jahr
<i>N</i>	5	4	4	4	4	4	6	6	8	7	6		462
<i>V</i>	1	1	1	1	2	4	7	9	8	6	3		245
<i>A</i>	1	1	2	2	3	2	1	1	1	1	1		117
<i>L</i>	+ 1	+ 1	0	0	- 1	- 1	- 1	- 1	0	0	+ 1	+ 1	0
$\varphi \cdot h$	+ 2	+ 1	+ 1	+ 1	0	- 1	- 1	- 3	- 1	0	+ 1	0	0
<i>h</i> (für $\varphi = 0,2$) . .	+10	+ 5	+ 5	+ 5	0	- 5	- 5	-15	- 5	0	+ 5	0	0
Grundwasserstand am Ende des Monats	+10	+15	+20	+25	+25	+20	+15	0	- 5	- 5	0	0	0
Monatsmittel des Grundwasser- standes	+ 5	+12,5	+17,5	+22,5	+25	+22,5	+17,5	+ 7,5	-2,5	- 5	-2,5	0	0

Die Zahlen sind in cm angegeben. Die während der Wachstumsruhe fallenden Niederschläge haben auf den Grundwasserstand den stärksten Einfluß, während im Sommer durch die Pflanzen so bedeutende Wassermengen verbraucht werden, daß ein Zusammenhang zwischen Niederschlag und Grundwasserstand häufig nicht erkennbar ist.

3. Die Bewegung des Grundwassers. Pumpversuche.

Das Grundwasser bewegt sich in gleicher Weise wie das oberirdische von den Stellen höheren zu denjenigen geringeren Druckes auf dem Wege des kleinsten Widerstandes. Auf geneigten undurchlässigen Schichten fließt es abwärts. Dabei treten dieselben Formen der Wasserbewegung auf wie bei oberirdischen Gewässern. Abb. 20 zeigt bei *a* ein gewöhnliches Fließen. Bei *b* hat sich ein Stau gebildet, hier nimmt auch das Wasser in der Mulde an der Bewegung teil und bewegt sich gegen die Barre aufwärts. Bei *c* könnte man von einem unterirdischen Wasserfall sprechen, und bei *d* tritt das Grundwasser unmittelbar oberhalb der undurchlässigen Schicht als Quelle zutage.

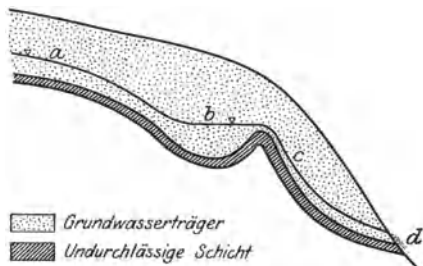


Abb. 20. Formen der Grundwasserbewegung.
(Nach Krüger.)

Sehr ergiebige Grundwasserträger sind die Urstromtäler, die ihre Entstehung den Eiszeiten verdanken. Die am Südrande der norddeutschen Vereisung in westlicher und nordwestlicher Richtung abfließenden Schmelzwasser haben breite Täler gebildet und diese schließlich mit Kiesen und Sanden gefüllt. Die wichtigsten norddeutschen Urstromtäler sind, von Süden nach Norden aufgezählt, das Breslauer, das Glogau-Baruther, das Berliner, das Eberswalder und das Pommersche.

Das in Bewegung befindliche Grundwasser gelangt in die Gräben, Bäche und Flüsse, ein Teil auch unmittelbar ins Meer, ohne die Wasserläufe berührt zu haben. Die Flüsse werden also nicht nur durch den oberirdischen Abfluß der Niederschläge, sondern in trockener Zeit ausschließlich aus dem Grundwasser gespeist, das ihnen in breitem Strom oder aus Quellen zufließt.

Die Bewegung des Grundwassers läßt sich unter bestimmten Voraussetzungen auch rechnerisch behandeln, sie erfolgt im allgemeinen nach dem Darcyschen Filtergesetz [Gl. (19)]. Auf die abweichenden Formeln anderer Forscher wie Forchheimer und Smreker soll hier nicht eingegangen werden (236, 148). In einem Boden von völlig gleichmäßiger Beschaffenheit befinde sich der

Brunnen *B* (Abb. 21), der bis auf eine undurchlässige Schicht hinabreicht und im Bereiche des Grundwassers einen durchlässigen Mantel besitzt. Der Grundwasserspiegel liege waagrecht. Im Abstände *R* von der Brunnenachse sei ein kreisförmiger Graben angelegt, dessen Kreismittelpunkt der Brunnen ist. Entnimmt man nun dem Brunnen Wasser und leitet es zum Graben, so es wieder versickern möge, so kann offenbar ein Beharrungszustand nach Abb. 21 eintreten: das dem Graben zugeleitete Wasser fließt gleichmäßig von allen Seiten dem Brunnen zu und wird aus diesem wieder herausgepumpt. Mit den Bezeichnungen der Abb. 21 ist dann:

$$Q = k \cdot J \cdot F = k \cdot \frac{dy}{dx} \cdot 2\pi x \cdot y \quad (32)$$

$$Q \int \frac{dx}{x} = 2\pi k \int y dy \quad Q \cdot \ln x = \pi k y^2 + C,$$

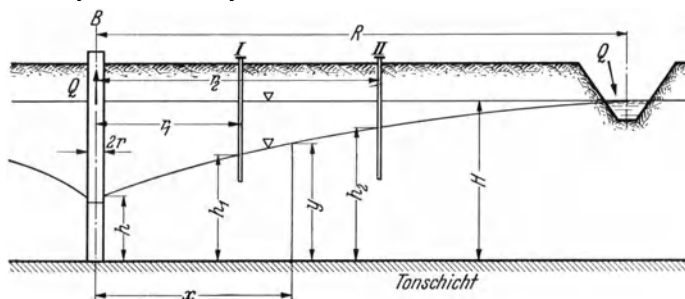


Abb. 21. Grundwasserabsenkung durch einen Brunnen.

für $x = r$ wird $y = h$; daher $C = Q \cdot \ln r - \pi k \cdot h^2$

[ln = natürlicher Logarithmus für die Basis

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n. \text{ Also } e^{\ln r} = r; \ln r = 2,302585 \cdot \log r]$$

$$y^2 = h^2 + \frac{Q}{\pi k} \cdot \ln \frac{x}{r}, \quad (33)$$

für $x = R$ wird $y = H$. Daher

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi (H^2 - h^2)}. \quad (34)$$

Setzt man diesen k -Wert in Gl. (33) ein, dann liegt damit die Absenkungslinie des Grundwasserspiegels fest, so daß man für jeden Wert x die zugehörige Höhe y berechnen kann.

Aus besonderen Gründen (S. 102) rechnet man nun meistens nicht mit den Grenzwerten $x = r$ und $x = R$, sondern man setzt zwei Grundwasserbeobachtungsrohre *I* und *II*, aus denen man für (x, y) die Wertepaare (r_1, h_1) und (r_2, h_2) entnehmen kann. Man erhält in diesem Fall die Gleichungen:

$$y^2 = h_1^2 + \frac{Q}{\pi \cdot k} \cdot \ln \frac{x}{r_1}, \quad (35)$$

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}. \quad (36)$$

Reicht der Brunnen nicht bis zur undurchlässigen Schicht, deren Lage jedoch bekannt ist, so verwendet man gleichfalls die Gl. (35) und (36). Auch in diesem Fall sind die Höhen h_1 und h_2 von der undurchlässigen Schicht aus zu rechnen. Das Grundwasser bewegt sich bei Wasserläufen und Brunnen so, wie es in Abb. 22 dargestellt ist. Pennink hat das durch Versuche an Gräben gezeigt (145). Er fand, daß einem unter dem Grundwasser liegenden Abzuge von allen Seiten, auch von unten, Wasser zuströmt. Die Punkte gleichen Druckes liegen auf gekrümmten Linien, die Bewegungsrichtung steht stets senkrecht auf diesen Drucklinien.

Wenn die Lage der undurchlässigen Schicht unbekannt ist, kann man eine Näherungsrechnung in der Weise durchführen, daß man die Höhen y von einer gedachten Grenzlinie $A - B$ aus rechnet (Abb. 23). Man erhält aus Gl. (36)

$$h_2 + h_1 = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi k (h_2 - h_1)}. \quad (37)$$

Ist k aus anderen Versuchen bekannt, dann läßt sich $(h_2 + h_1)$ aus Gl. (37) berechnen, weil $(h_2 - h_1)$ mit Hilfe der beiden Beobachtungsrohre I und II ermittelt werden kann. Damit ist auch die Höhe h_1 bekannt, die man nur in

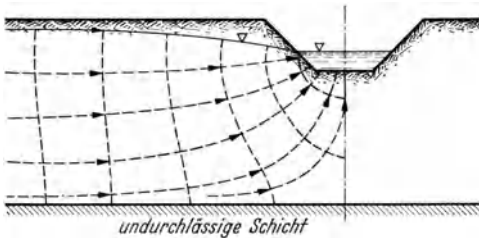


Abb. 22. Grundwasserbewegung nach Pennink.
(Nach Krüger.)

Gl. (35) einzusetzen braucht, um die Gleichung der Spiegellinie zu erhalten. Wenn man dagegen auch die Durchlässigkeitsziffer k durch den Pumpversuch feststellen muß, bedarf es noch eines dritten Beobachtungsrohres III . Natürlich sind alle drei Rohre und die Brunnenachse in einer Geraden anzuordnen. Das dritte Rohr liefert die Gleichung

$$y^2 = h_3^2 + \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{r_3}. \quad (38)$$

Schreibt man nun Gl. (37) in der Form

$$2H - s_1 - s_2 = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi k (s_1 - s_2)} \quad (39)$$

und leitet man aus den Gl. (35) und (38) die weitere Beziehung ab

$$2H - s_1 - s_3 = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_3}{r_1}}{\pi k (s_1 - s_3)}, \quad (40)$$

so enthalten diese beiden Gleichungen nur die beiden Unbekannten H und k . Man findet daraus

$$k = \frac{Q}{\pi (s_2 - s_3)} \left\{ \frac{\ln \frac{r_3}{r_1}}{s_1 - s_3} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{s_1 - s_2} \right\}. \quad (41)$$

Setzt man diesen k -Wert in Gl. (39) ein, so ist auch H leicht zu berechnen, und damit sind die Höhen h_1, h_2, h_3 bekannt. Eine der Gl. (35) oder (38) ergibt alsdann die Spiegellinie des abgesenkten Grundwassers.

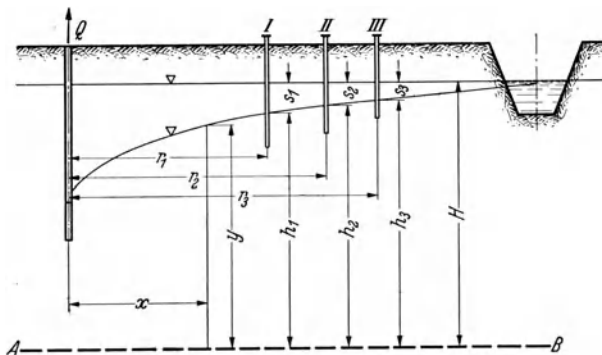


Abb. 23. Grundwasserabsenkung durch einen Brunnen.

Bei allen rechnerischen Untersuchungen der Grundwasserbewegung ist zu beachten, daß Gl. (19) zweifellos nur dann gilt, wenn das Gefälle des Grundwasserspiegels nicht zu stark ist. Da sich nun in der Nähe eines Brunnens bei der Wasserentnahme häufig ein sehr starkes Spiegelgefälle des Grundwassers bildet und da hier weitere Störungen

durch Ausscheidung von Gasblasen (S. 19) eintreten können, so ist es zweckmäßig, die Gl. (19) in der Brunnennähe nicht zu verwenden. Das empfiehlt sich auch noch aus einem anderen Grunde. Wenn nämlich die

undurchlässige Schicht tiefer liegt als die Unterkante des Brunnens, dann weichen auch die Bahnen der tieferen Grundwasserteilchen in der Nähe des Brunnens erheblich von der Waagerechten ab (Abb. 22), so daß der Querschnitt F der Gl. (19) sehr schräge durchströmt wird. Es ist daher ratsam, die Grundwasserbeobachtungsrohre nicht in zu großer Nähe des Brunnens niederzubringen.

Den vorstehend behandelten Beispielen lag ein künstlich hergestellter Beharrungszustand zugrunde, der bei waagerechtem Grundwasserspiegel in der Natur nicht vorhanden ist. Denn in einem Grundwassersee, der keinen Zufluß hat, kann sich bei ständiger Wasserentnahme, wenn das gepumpte Wasser nicht wieder zurückgeleitet wird, kein Beharrungszustand bilden. Das zeigt sich rechnerisch in der Gl. (32) darin, daß $\frac{dy}{dx}$ nur dann gleich Null werden kann, wenn x unendlich groß wird.

Wenn das Grundwasser Gefälle hat (Abb. 24), erfahren die ursprünglich gleichlaufenden Wasserfäden der ungestörten Grundwasserströmung eine Ablenkung. Es bildet sich das gestrichelte Entnahmegebiet des Brunnens, das senkrecht bis zur undurchlässigen Schicht reicht und die Entnahmebreite B hat. Alle Wasserteilchen, die von rechts in der Fließrichtung des Grundwassers in dieses Entnahmegebiet eintreten, gelangen in den Brunnen, alle anderen werden zwar mehr oder weniger aus ihrer ursprünglichen Fließrichtung abgelenkt, aber von der Pumpe nicht erfaßt. Man nennt die Strombreite, in der eine Ablenkung stattfindet, die Einwirkungsbreite des Brunnens. Rein rechnerisch reicht sowohl die Absenkung des Grundwassers auf der rechten Seite der Abb. 24 als auch die Einwirkungsbreite bis in die Unendlichkeit. Im Betriebe nimmt man aber die Grenze der Brunneneinwirkung dort an, wo die natürlichen Spiegelschwankungen des Grundwassers größer sind als die Spiegelschwankungen des Brunnenbetriebes (158, 152). Nach Prinz ist die Einwirkungsbreite eines Brunnens in grob durchlässigen Schichten bei einer Entnahme von etwa 200 bis 250 l/s und einer Absenkung am Brunnen von 6 bis 7 m selten breiter als 2 bis 3 km.

Unterhalb des Brunnens (links vom Punkt S) ist die weiterfließende sekundliche Grundwassermenge um die sekundliche Brunnenentnahme kleiner als oberhalb. Es muß daher hier eine Spiegelsenkung eintreten, die in der Nähe des Brunnens am größten ist und nach den Seiten, quer zur ursprünglichen Fließrichtung, allmählich kleiner wird. Diese Spiegelunterschiede in der Querrichtung gleichen sich aber immer mehr aus, je weiter sich das Grundwasser vom Brunnen (nach links) entfernt. Den Punkt S , an dem der Wasserspiegel waagrecht ist, nennt man die untere Scheitelung.

Beobachtungen und rechnerische Ableitungen haben nun gezeigt, daß man die für einen waagerechten Grundwasserspiegel abgeleiteten Gleichungen im allgemeinen auch für fließendes Grundwasser verwenden kann, jedenfalls dann, wenn das natürliche Spiegelgefälle des Grundwassers nur sehr klein ist. Je größer es ist, um so größer werden auch die Unterschiede zwischen Wirklichkeit und Berechnung. Man pflegt bei fließendem Grundwasser so vorzugehen, daß

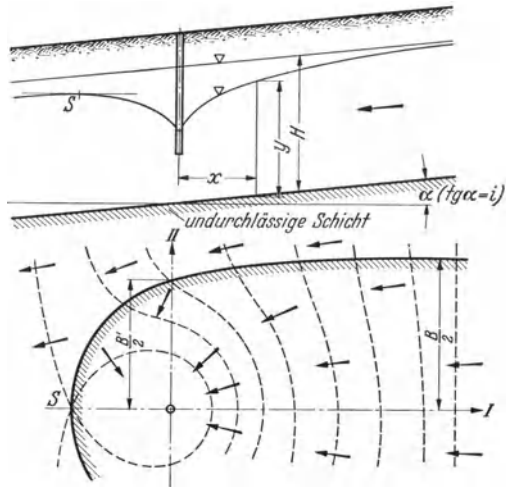


Abb. 24. Entnahmegebiet eines Brunnens.

man die nach Gl. (33) oder (35) berechneten Höhen y von der geneigten undurchlässigen Schicht aus aufträgt. Die Reichweite $x = R$ des Senkungstrichters kann man annähernd mit Hilfe der Gl. (33) oder (35) berechnen, indem man $y = H$ setzt (Abb. 24). Aus Gl. (33) erhält man denselben Wert R für die beiden Richtungen I und II . In Wirklichkeit ist aber R in Richtung II größer als in Richtung I , da ein gleich großer Kreisabschnitt bei II weniger Zufluß zum Brunnen liefert als bei I , und da R nach Gl. (33) um so größer wird, je kleiner Q ist. Auf der linken Seite der Abb. (24) fließt nur vom Punkte S ab Wasser in den Brunnen. S liegt an derselben Stelle, wo bei waagerechter undurchlässiger Schicht (Abb. 21) das abgesenkte Grundwasser das Gefälle i haben würde. Man findet S am einfachsten zeichnerisch, indem man nach Gl. (33) oder (35) die abgesenkte Spiegellinie des Grundwassers aufträgt. Diese verliert aber weiter links vom Punkte S ihre Gültigkeit. Das folgt daraus, daß sie bei weiterer Fortsetzung die ursprüngliche Grundwasserlinie erreichen würde, während der wirkliche Grundwasserspiegel tiefer liegt (S. 103).

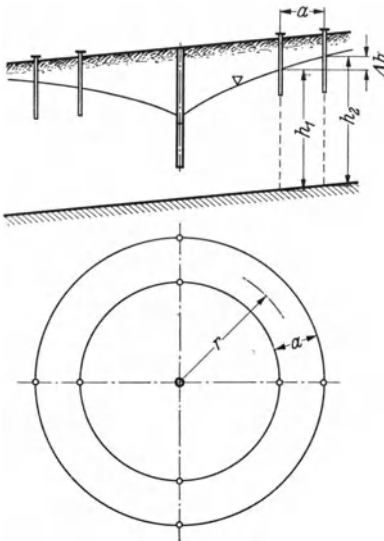


Abb. 25. Bestimmung der Durchlässigkeit k .

Im Felde ist nun aber bei allen derartigen Berechnungen zu beachten, daß der gewachsene Boden in den seltensten Fällen gleichmäßig ist (S. 17). Außerdem fließt Q nicht von allen Seiten gleichmäßig in den Brunnen (s. oben). Daher bestimmt man die Durchlässigkeit k bei ungleichmäßigen Böden oder bei stärkeren Grundwassergefällen i am genauesten wie folgt: Man teilt den Senkungstrichter nach Abb. 25 in m gleich große Kreisabschnitte und bringt in der Mitte jedes Abschnittes in gleichen Abständen vom Brunnen zwei Grundwasserbeobachtungsrohre an. Für

jeden der m Kreisabschnitte ist dann folgende Gleichung anzusetzen:

$$q_i = k \cdot J \cdot F = k \cdot \frac{\Delta h}{a} \cdot \frac{2 r \pi}{m} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{i=m} q_i = k \frac{r \pi}{a \cdot m} \sum_{i=1}^{i=m} \Delta h (h_1 + h_2)$$

$$k = \frac{Q \cdot a \cdot m}{r \pi \sum \Delta h (h_1 + h_2)}. \quad (42)$$

Der Abstand a soll nicht zu groß gewählt werden, muß aber so groß sein, daß sich ein deutlicher Höhenunterschied Δh des Grundwasserspiegels in den beiden Beobachtungsrohren ergibt. Der Halbmesser r soll nicht zu klein sein (S. 102), doch müssen alle Grundwasserpegel innerhalb des Entnahmegebietes liegen. Die Höhen h_1 und h_2 lassen sich berechnen, wenn die Lage der undurchlässigen Schicht bekannt ist.

Man kann bei Anwendung der Gl. (36) oder (42) den Pumpversuch in demselben Brunnen auch mit verschiedenen Wassermengen Q_1 und Q_2 vornehmen und so durch zweimalige Berechnung des k -Wertes eine Proberechnung für k durchführen.

Gl. (33) gibt die Möglichkeit, die voraussichtliche Absenkungstiefe des Grundwassers in einem Brunnen bei schwachem Grundwassergefälle i annähernd zu berechnen, wenn die Lage der undurchlässigen Schicht und des ursprünglichen Grundwasserspiegels, der k -Wert des Bodens sowie i bekannt sind. Mit den

Bezeichnungen der Abb. 24 wird in der Richtung senkrecht zur Fließrichtung des ungestörten Grundwassers genau genug für $x = B'/2$ $y = H$ [Gl. (33)]. Daher annähernd

$$h^2 = H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{B'}{2r}. \quad (43)$$

Q ist die Wassermenge in cm^3/s , die aus dem Brunnen entnommen werden soll, k ist in cm/s , die übrigen Größen sind in cm auszudrücken. Es ist ferner

$$Q = k \cdot J \cdot F = k \cdot i \cdot B \cdot H$$

$$B = \frac{Q}{k \cdot H \cdot i}. \quad (44)$$

B' ist stets kleiner als B . Setzt man also in Gl. (43) $B' = B$, so wird h zu klein, und die gesuchte Absenkung ist höchstens $= (H - h)$. Der Fehler, der dadurch entsteht, daß in Wirklichkeit $B' < B$ ist, ist nicht erheblich, weil B' in der Form des Logarithmus auftritt. Beispiel: $Q = 10000 \text{ cm}^3/\text{s}$ $k = 0,1 \text{ cm/s}$ $r = 30 \text{ cm}$. $H = 700 \text{ cm}$ $i = 4\text{‰}$. Daher $B = 35714 \text{ cm}$ [Gl. (44)] und $h = 536 \text{ cm}$ [Gl. 43)].

Die Leistung eines Brunnens in $1/s$ je 1 m Absenkung nennt man seine Einheitsergiebigkeit (spezifische Ergiebigkeit). Nach Lueger kann man eine Einheitsergiebigkeit von 2 bis 4 bei Brunnendurchmessern von 200 mm schon als günstig ansehen.

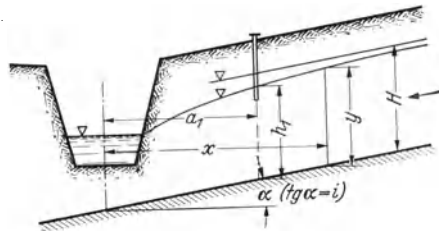


Abb. 26. Grundwasserabsenkung durch einen Graben.

Da die Lage des Grundwasserspiegels für die Landwirtschaft von großer Bedeutung ist, so kann es nötig werden, die Ausdehnung eines Senkungstrichters zu ermitteln. Bei einem vorhandenen Zustand, etwa bei einem seit längerer Zeit betriebenen Wasserwerkbrunnen oder bei einem bergbaulichen Tagebau, besteht das genaueste Vorgehen darin, daß man den Grundwasserspiegel durch zahlreiche Beobachtungsrohre feststellt. Nicht immer aber werden ausreichend Beobachtungen zur Verfügung stehen, so daß in solchen Fällen die abgeleiteten Gleichungen zur Ergänzung von Einzelbeobachtungen zu verwenden sind. Sie können ferner dazu dienen, die voraussichtliche Absenkung des Grundwasserspiegels durch geplante Maßnahmen im voraus überschläglich zu berechnen.

Die Absenkung des Grundwasserspiegels durch einen Graben nach Abb. 26 kann rechnerisch wie folgt behandelt werden. Für einen 1 m breiten Streifen ist:

$$Q = k \cdot J \cdot F = k \left(\frac{dy}{dx} + i \right) \cdot y.$$

Da sich ein Grundwasserstrom mit der sekundlichen Wassermenge Q und der Höhe H nach dem Graben zu bewegt, so ist

$$Q = k \cdot i \cdot H, \quad i \cdot H = \left(\frac{dy}{dx} + i \right) \cdot y$$

$$i \cdot dx = \frac{y \cdot dy}{H - y} = \frac{H \cdot dy}{H - y} - dy.$$

Durch Feinsummung (Integration) findet man

$$i \cdot x = -H \cdot \ln(H - y) - y + C,$$

für $x = a_1$ wird $y = h_1$; daher

$$C = i \cdot a_1 + H \cdot \ln(H - h_1) + h_1$$

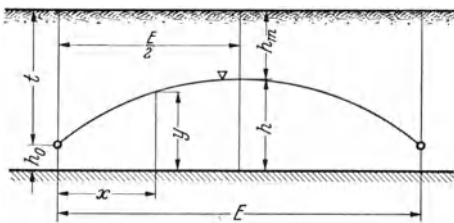
$$i(x - a_1) = H \cdot \ln \frac{H - h_1}{H - y} - (y - h_1). \quad (45)$$

Diese Gleichung stellt die Stau- oder Senkungslinie des Grundwasserspiegels dar, je nachdem ob h_1 größer oder kleiner als H ist. Für $y = H$ wird x unendlich groß, d. h. auch die rein rechnerische Stau- oder Senkungsweite ist unendlich. In der Anwendung wird man aber die Reichweite des Staus oder der Absenkung bis zu der Stelle rechnen, an der y nur noch einige cm größer oder kleiner als H ist.

In Abb. 27 sind zwei benachbarte Dränstränge (S. 186) mit der zwischen ihnen sich wölbenden Spiegellinie des Grundwassers dargestellt. Wenn bei länger dauernden Niederschlägen die Spiegellinie unverändert bleibt, weil die Zusage von oben ebenso groß ist wie der Abfluß durch die Dräne (Beharungszustand), dann gilt

$$Q = k \cdot J \cdot F = k \cdot \frac{dy}{dx} \cdot y.$$

Nun muß an der Stelle x diejenige Wassermenge dem Drän zufließen, die auf



der Fläche $\left(\frac{E}{2} - x\right)$ versickert, wenn man einen 1 m breiten Streifen betrachtet. Bezeichnet man die sekundliche Sickerwassermenge je qm mit q , so ist

$$q \left(\frac{E}{2} - x\right) = k \cdot y \frac{dy}{dx}.$$

$$q \left(\frac{E}{2} - x\right) dx = k \cdot y \cdot dy;$$

durch Feinsummung:

$$q \frac{E}{2} x - q \frac{x^2}{2} = k \frac{y^2}{2} + C;$$

$$\text{für } x = \frac{E}{2} \text{ wird } y = h, \text{ daher: } C = q \frac{E^2}{8} - k \frac{h^2}{2},$$

$$y^2 = h^2 - \frac{q}{k} \left(\frac{E}{2} - x\right)^2. \quad (46)$$

Das ist die Gleichung der Spiegellinie des Grundwassers. Liegt die undurchlässige Schicht unmittelbar unterhalb der Dräne, ist also $h_0 = 0$, dann erhält man die von Rothe (175, 157) abgeleitete Beziehung zwischen der Dräntiefe t und dem Dränabstand E :

$$E = 2(t - h_m) \cdot \sqrt{\frac{k}{q}}. \quad (47)$$

Wegen weiterer Berechnungen der Grundwasserbewegung wird auf das Schriftenverzeichnis hingewiesen (128 und 158).

4. Die Beschaffenheit des Grundwassers.

Ein für das Pflanzenwachstum wichtiger Umstand ist der Gehalt des Grundwassers an Luft und damit an Sauerstoff (S. 61).

In stofflicher Beziehung ist das Grundwasser in der Regel nicht rein; es zeigt vielmehr meistens Beimengungen aus dem Gestein, dem es entstammt. Eine häufige Beimengung ist das Eisen. Schon ein Eisengehalt von 0,3 mg/l gibt dem Wasser einen metallischen, tintigen Geruch und Geschmack. Bei einem Eisengehalt ≥ 10 mg/l spricht man von Mineralwasser. Eisenhaltiges Wasser ($> 0,2$ mg/l) färbt die Wäsche gelb. Über die Ausscheidungen von Eisenerocker vgl. S. 48.

Auch Mangan findet sich häufig im Grundwasser. Es verursacht dunkelbraune Flecke in der Wäsche.

Gipshaltige Gesteine reichern das Grundwasser mit Kalziumsulfat an. Kalzium- und Magnesiumbikarbonat gehen aus Kalkspat und Dolomit in Lösung. Zum Beispiel: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Oft findet sich freie Kohlensäure im Grundwasser. Sie bewirkt einen angenehmen Geschmack, greift aber Blei, Eisen, Kupfer, Zink sowie Mörtel und Beton an.

Unter der Härte des Grundwassers versteht man seinen Gehalt an CaO und MgO. Dabei setzt man 1 Teil MgO im Verhältnis der Atomgewichte = $\frac{40}{56} = \frac{5}{7}$ Teilen CaO und bezeichnet je 1 Gewichtsteil CaO (einschließlich des umgerechneten MgO) auf 100000 Gewichtsteile Wasser als einen deutschen Härtegrad. Dieser entspricht also 10 mg CaO je l. Die Härte des unbeeinflussten Wassers nennt man seine Gesamthärte. Ein Teil der Gesamthärte, die vorübergehende Härte (Karbonathärte), geht beim Kochen des Wassers verloren. Es sind die Bikarbonate von Kalzium und Magnesium, die sich beim Kochen in schwer lösliche Formen verwandeln und daher ausscheiden. Dagegen bleiben die Sulfate, Chloride, Nitrate und Silikate von CaO und MgO auch beim Kochen im Wasser erhalten und bedingen daher die sog. bleibende Härte. Für die Härte des Wassers sind folgende Bezeichnungen üblich:

< 4° Härte	sehr weich
4 bis 8°	weich
8 bis 12°	mittelhart
12 bis 18°	ziemlich hart
18 bis 30°	hart
> 30°	sehr hart.

Auch Kochsalz (NaCl) ist nicht selten im Grundwasser gelöst. Beträgt sein Gehalt mehr als 400 mg/l, so nimmt das Wasser einen salzigen Geschmack an. Da Salzwasser schwerer als gewöhnliches Wasser ist, findet man im Küstengebiet bei Bohrungen häufig salziges Wasser unter einer Schicht süßen Grundwassers.

Eine wertvolle Eigenschaft des Grundwassers ist seine große Reinheit von Kleinlebewesen, die beim Einsickern des Oberflächenwassers durch die Filterwirkung des Bodens zurückgehalten werden. Nicht alle Böden filtern gleich gut. Eine gute Filterwirkung besitzt feiner Sand, während Kies, dessen Hohlräume nicht mit Sand gefüllt sind, Verunreinigungen aller Art durchläßt. Auch Lehm und Löß können ausreichend filtern, sofern der Boden keine Risse oder Röhren aufweist.

Grundwasser eignet sich ferner deshalb besonders gut zum Gebrauchswasser, weil es eine ziemlich gleichbleibende, geringe Wasserwärme hat.

D. Der oberirdische Abfluß.

1. Wasserstände und Abflußmengen.

Zur Feststellung der in einem Wasserlauf auftretenden Wasserstände dienen die Pegel, und zwar die Lattenpegel und die Schreibpegel. Für die kleinste Unterteilung der Pegellatten genügt das Maß von 2 cm. Die Teilung wird auf Holzlatten meistens durch Ölfarbanstrich hergestellt. Eine Teilung mit blanken, breitköpfigen Nägeln bietet den Vorteil, daß sie nicht so leicht vergeht wie ein Farbanstrich. Pegellatten, die längere Dauer haben sollen, werden aus Gußeisen gefertigt. Ihre Teilung wird entweder erhaben aufgegossen oder durch Schmelzfarbe (Emaile) hergestellt.

Die Schreibpegel (Abb. 28) übertragen die steigende und fallende Bewegung des Wassers durch einen Schwimmer mittels Schreibstift fortlaufend auf eine Trommel. Diese ist mit einem Bogen Papier (Pegelbogen) bespannt und wird durch ein Uhrwerk gedreht.

In Deutschland gibt es zur Zeit (1936) etwa 3800 Pegelstellen, an denen die Wasserstände dauernd gemessen werden. Davon sind rund 900 Schreibpegel.

Alle Pegel sind möglichst so aufzustellen, daß in ihrer Nähe keine größeren Veränderungen des Wasserlaufes zu erwarten sind. Läßt sich die Errichtung des Pegels in einer Krümmung nicht vermeiden, so ist das einbuchtende Ufer

dem ausbuchtenden im allgemeinen vorzuziehen. Stromspaltungen sind keine geeigneten Pegelstellen, desgleichen Strecken, an denen oft starker Wellenschlag herrscht oder die im Rückstau liegen. Die Pegel müssen so aufgestellt werden, daß sie gegen Beschädigungen, z. B. durch Eis oder durch die Schifffahrt, geschützt sind, daß in ihrer Nähe möglichst bei allen Wasserständen Abflußmessungen vorgenommen werden können und daß Änderungen der sekundlichen Abflußmenge sich mit hinreichender Deutlichkeit in einer Änderung des Pegelstandes zeigen. Bisweilen ist es zweckmäßig, z. B. bei sehr flachen Böschungen, den Pegel in mehrere Latten aufzuteilen (Staffelpegel), deren Teilung denselben Nullpunkt erhält, oder ihn schräge auf der Böschung anzubringen (Schrägpegel). In diesem Falle entspricht einer Wasserstandsänderung von 1 cm bei einer Böschungsneigung 1:n ein Abstand von $\sqrt{1+n^2}$ cm auf der Pegellatte. Schreibpegel werden in einem Pegelhäuschen untergebracht, unter dem sich ein mit dem offenen Wasser in Verbindung stehender Schwimmerschacht befindet.

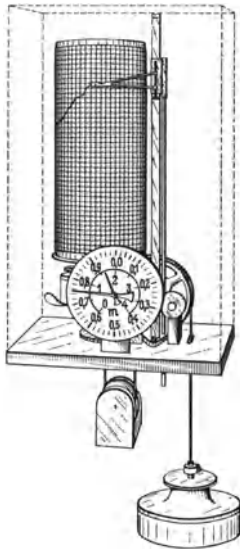


Abb. 28. Schreibpegel.
(Nach R. F u e B.)

Die Höhenlage des Pegelnullpunktes soll so gewählt werden, daß keine negativen Pegelstände und möglichst auch keine vierstelligen Zahlen (≤ 1000 cm) vorkommen. Der Nullpunkt ist gegen mehrere Festpunkte (Pegelfestpunkte) festzulegen und auf Höhennull (Normalnull) einzumessen. Bei wichtigen Pegeln pflegt man drei Festpunkte zu wählen. Schreibpegel sind zur Prüfung mit einem Lattenpegel zu verbinden, wobei die Nullpunkte beider Pegel auf dieselbe Höhe zu legen sind.

Die Wasserstände werden meistens täglich einmal, und zwar stets um dieselbe Tagesstunde (Hauptbeobachtungen), abgelesen sowie in Listen eingetragen. Man schreibt den Wasserstand in cm an, z. B. 137 cm (nicht 1,37 m). Bei jedem Vorüberlaufen einer Hochwasserwelle muß häufiger als einmal täglich abgelesen werden. Nur so ist es möglich, den Verlauf der Welle und ihren Scheitelwert genau genug festzulegen. Bei Wasserläufen mit sehr langsamen Änderungen des Wasserstandes schreibt man unter Umständen den Wasserstand nur an jedem zweiten Tag auf.

Da die Ansammlung von Eis und Schnee oft schon vor Neujahr beginnt und ihr Abfluß erst im Frühjahr stattfindet, würden die Niederschlagverhältnisse des Jahres in den Wasserständen nicht zum Ausdruck kommen, wenn man diese nach dem Kalenderjahr zusammenstellte. Man rechnet daher das Abflußjahr vom 1. November bis zum 31. Oktober. Es umfaßt darin das Winterhalbjahr die Monate November bis April, das Sommerhalbjahr die Monate Mai bis Oktober. Man nennt z. B. das Abflußjahr vom 1. November 1932 bis 31. Oktober 1933 kurz das Abflußjahr 1933.

Wegen sonstiger Einzelheiten wird auf die Pegelvorschrift verwiesen (152).

Besonders wichtige Wasserstände werden als Hauptzahlen der Wasserstände bezeichnet. Außerhalb des Tidegebietes verwendet man folgende Abkürzungen, die sich auf einen bestimmten Zeitraum (z. B. auf die 20 Abflußjahre 1911—1930) beziehen:

NW = der niedrigste Wasserstand der 20 Jahre.

MNW = der mittlere niedrigste Wasserstand der 20 Jahre. Man nimmt den niedrigsten Wasserstand jeden Jahres und bildet aus diesen 20 Werten das Mittel.

MW = der mittlere Wasserstand, d. h. das Mittel aus sämtlichen Tageswerten aller 20 Jahre. Man kann *MW* auch so bilden, daß man zunächst

für jedes einzelne Jahr den mittleren Wasserstand als Mittel der 365 (366) Tageswerte berechnet und aus den so erhaltenen 20 Werten wieder das Mittel bildet. Das Ergebnis ist das gleiche.

MHW = der mittlere höchste Wasserstand (sinngemäß wie *MNW*).

HW = der höchste Wasserstand (sinngemäß wie *NW*).

Man braucht nun diese fünf Wasserstände nicht, wie vorstehend geschehen, auf die gesamten Jahre zu beziehen, kann sie vielmehr auch auf Halbjahre oder Monate beschränken. So bedeutet:

SoNW = der niedrigste Wasserstand der 20 Sommerhalbjahre (Mai bis Oktober).

WiMW = der mittlere Wasserstand der 20 Winterhalbjahre (November bis April).

Jan. *MNW* = der mittlere niedrigste Wasserstand der 20 Januar-Monate usw.

Ferner ist

GW = der gewöhnliche Wasserstand, d. i. derjenige Wasserstand, der in den 20 Jahren an ebensoviel Tagen überschritten wie nicht erreicht wird.

NNW = der überhaupt bekannte niedrigste Wasserstand, gleichgültig, ob er in den betrachteten Zeitraum (20 Jahre) fällt oder nicht.

HHW = der überhaupt bekannte höchste Wasserstand (sinngemäß wie *NNW*).

Im Tidegebiet mit seinem ständigen Wechsel von Ebbe, Tide-Niedrigwasser (*Tnw*), Flut und Tide-Hochwasser (*Thw*) gelten ähnliche Bezeichnungen. Es entsprechen einander:

NNW — *NNTnw* — *NNThw*. *MHW* — *MHTnw* — *MHThw*.

NW — *NTnw* — *NThw*. *HW* — *HTnw* — *HThw*.

MNW — *MNTnw* — *MNThw*. *HHW* — *HHTnw* — *HHThw*.

MW — *MTnw* — *MThw*.

Unter Tide-Mittelwasser versteht man die aus der Tidelinie genau bestimmte mittlere Lage des Wasserspiegels (Abb. 29), unter Tide-Halbwasser den Wasserstand in Höhe des halben Tidehubes. Man wendet auch für diese beiden Wasserstände gleichartige Bezeichnungen wie oben an:

NNTmw, *NTmw*, ... *NNT* $\frac{1}{2}w$,

NT $\frac{1}{2}w$... usw.

Als gewöhnlichen Wasserstand (*GW*) bezeichnet man im

Tidegebiet das Hochwasser der gewöhnlichen Flut. Das ist das Mittel aller Hauptbeobachtungen des Tide-Hochwassers einer bestimmten Jahresreihe. Unter Hauptbeobachtungen versteht man im Tidegebiet die Beobachtungen zur Zeit des Hochwassers und des Niedrigwassers.

Je länger der Zeitraum ist, für den die Hauptwasserstände abgeleitet sind, um so zuverlässiger sind sie.

Einen guten Einblick in die Wasserverhältnisse eines Flusses gewähren die Häufigkeitszahlen der Wasserstände. Sie geben an, an wieviel Tagen in einem bestimmten Zeitraum (z. B. in 20 Jahren) ein bestimmter Wasserstand (meist durchschnittlich je Jahr) eingetreten ist. Im allgemeinen ist die Häufigkeit nach Stufen von 10 cm auszuführen, für die Berechnung des *GW* ist diese Stufengröße vorgeschrieben. Die Stufen sind dann, auf Pegelnull bezogen, folgende:

- 0 bis 9, 10 bis 19, 20 bis 29 cm usw.
- 1 bis — 10, — 11 bis — 20, — 21 bis — 30 cm usw.

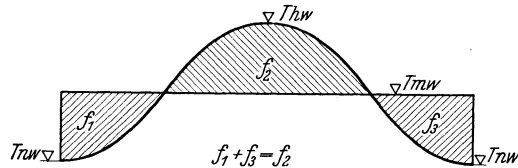


Abb. 29. Tide-Mittelwasser.

Die Zahlentafel 66 gibt ein Beispiel für die durchschnittliche jährliche Wasserstandshäufigkeit einer längeren Jahresreihe.

Aus den Häufigkeitszahlen der Wasserstände kann man die Wasserstandsdauerzahlen ableiten. Unter der Dauerzahl eines Wasserstandes versteht man die Anzahl der Tage, an denen ein bestimmter Wasserstand erreicht oder unterschritten wird.

Zahlentafel 66.

Stufe am Pegel cm	Anzahl der Tage	Stufe am Pegel cm	Anzahl der Tage	Stufe am Pegel cm	Anzahl der Tage
30—39	19	70—79	70	110—119	22
40—49	24	80—89	48	120—129	16
50—59	31	90—99	32	130—139	13
60—69	51	100—109	28	140—149	11

stände (Abb. 30). Aus ihr kann man die Höhe des *GW* leicht entnehmen, da es nach seiner Begriffbestimmung eine Dauer von $\frac{365}{2}$ Tagen haben muß.

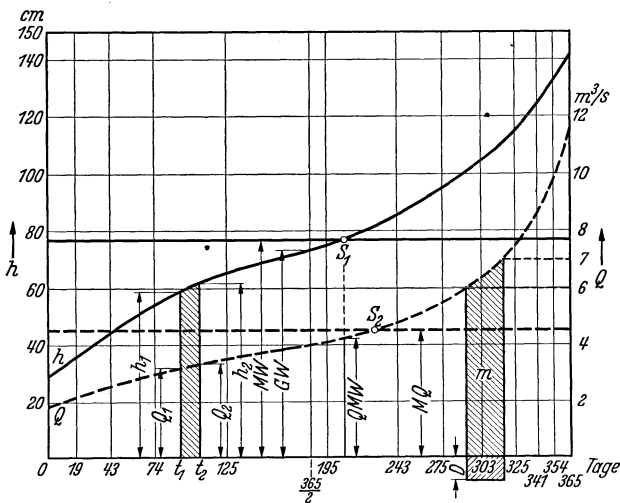


Abb. 30. Dauerlinien der Wasserstände und Abflußmengen.

Man kann die Wasserstandshäufigkeit und die Dauerlinie der Wasserstände auch für einzelne Monate oder Jahreszeiten ermitteln, was gerade für Fragen der Bodenverbesserung, bei denen ja die Wachstumszeit eine besondere Rolle spielt, häufig wichtig ist.

Als Benetzungsdauer bezeichnet man die Anzahl der Tage, an denen ein bestimmter Wasserstand im Laufe der Gesamtzeit überschritten wird. Für jeden Wasserstand ist also innerhalb eines Zeitraumes von 1 Jahr (365 Tagen) die Dauerzahl und die Benetzungsdauer = 365.

Häufig ist es nötig, an einer Stelle *a*, an der noch keine Pegelbeobachtungen vorliegen, wasserbauliche Arbeiten auszuführen und dabei die Wasserstandsbewegungen zu berücksichtigen. Es ist meistens unmöglich, durch Beobachtungen die maßgebenden Wasserstände rechtzeitig zu ermitteln. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Beziehung der Wasserstände bei *a* zu denen an einem benachbarten Pegel *b*, von dem schon langjährige Beobachtungen vorliegen, festzustellen. Darunter versteht man die Herleitung eines Gesetzes, aus dem man entnehmen kann, welcher Wasserstand bei *a* einem beliebigen Wasserstande bei *b* entspricht. Zu dem Zwecke ist auch bei *a* ein Pegel zu setzen (Bezugpegel) und regelmäßig, wenn auch nur kürzere Zeit, zu beobachten.

So ergibt sich aus Zahlentafel 66, daß z. B. für den Wasserstand 49 cm die Dauerzahl = $19 + 24 = 43$ Tage ist. Trägt man die Dauerzahlen als Waagerechte und die zugehörigen Wasserstände als Senkrechte auf, so erhält man die Dauerlinie der Wasserstände.

Aus der Dauerlinie ergibt sich auch die Höhe des *MW*, indem man die von ihr und dem Achsenkreuz eingeschlossene Fläche in ein Rechteck mit der Grundlinie $t = 365$ Tagen verwandelt. Die Höhe dieses Rechtecks ist dann *MW*. Die Richtigkeit dieser Rechnung folgt daraus, daß bei Betrachtung des gestrichelten Streifens an $(t_2 - t_1)$ Tagen der Wasserstand zwischen h_2 und h_1 liegt, im Mittel dieser Zeit also $\frac{h_2 + h_1}{2}$ beträgt. Das gewöhnliche Wasser liegt meistens einige cm unter Mittelwasser.

Man darf aber im allgemeinen nicht gleichzeitige Pegelstände dazu benutzen, vielmehr nur diejenigen in Beziehung zueinander setzen, die einem Beharrungswasserstande entstammen. Beharrung ist dann vorhanden, wenn der Wasserstand längere Zeit hindurch an beiden Pegeln ganz oder nahezu unverändert bleibt. Solche Beharrung tritt für kurze Zeit auch dann ein, wenn das Wasser nach beendetem Fallen wieder zu steigen beginnt oder umgekehrt. Die Wasserstandsganglinien (S. 112) haben zur Zeit einer solchen Zustandsänderung waagerechte Berührende (Tangenten). Man erkennt die Wasserstände, die nach diesen Grundsätzen zur Herleitung von Beziehungen geeignet sind, am besten, wenn man die Wasserstandsbewegung an den beiden Pegeln *a* und *b* nach Abb. 31 untereinander zeichnerisch darstellt. Dabei muß allerdings vorausgesetzt werden, daß auf der Strecke *a*—*b* kein Nebenflüßeinmündet, der die Beziehung stören würde. In Abb. 31 liegen „gleichwertige“ Pegelstände an den Stellen 1, 2 und 3. Die sich daraus ergebende Beziehung pflegt man nach Abb. 32 zeichnerisch aufzutragen, indem man durch die gefundenen Punkte einen ausgleichenden Linienzug zeichnet. Dabei ist aber zu beachten, daß bei den so ermittelten gleichwertigen Wasserständen nicht immer dieselben sekundlichen Wassermengen abfließen. Insbesondere ist häufig der sekundliche Abfluß in den Hochwasserspitzen (Stellen 3) verschieden.

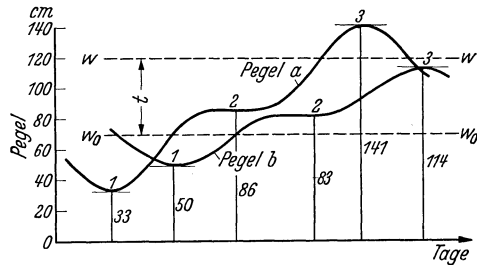


Abb. 31. Wasserstandsganglinien.

Ist in dem fraglichen Flusse ein geeigneter Pegel *b* nicht vorhanden, wohl aber in einem benachbarten Flusse mit gleichartigen Verhältnissen des Sammelgebietes und in wetterkundlicher Hinsicht, so kann man in Ermangelung eines Besseren ausnahmsweise auch diesen zur Herstellung einer überschläglichen Beziehung benutzen. Indem man diese auf langjähriger Beobachtung beruhenden Wasserstände auf einen benachbarten Fluß überträgt, wird man in der Regel zuverlässigere Werte erhalten, als wenn man sich allein mit unmittelbaren Wasserstandsbeobachtungen von nur sehr kurzer Dauer behilft.

Bei der Auswertung der Wasserstände ist zu beachten, ob der Abfluß durch Eisversetzungen oder durch den Betrieb von Stauwerken beeinflusst worden ist. Eine Eisversetzung erzeugt oberhalb einen außergewöhnlich hohen und unterhalb zeitweise einen niedrigen Wasserstand. Bei Wasserständen, die unter solchen Verhältnissen beobachtet wurden, muß das stets vermerkt werden. Die Stauwerke, besonders die in kleinen Flüssen häufig für Wassertriebwerke angelegten, können den Wasserstand ober- und unterhalb durch den Wechsel im Betriebe so beeinflussen, daß sie die unter natürlichen Verhältnissen sich ausbildende Wasserstandsbewegung völlig verdunkeln.

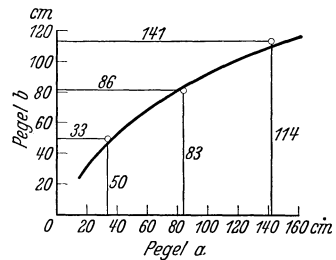


Abb. 32. Gleichwertige Wasserstände zweier Pegel.

Die Wasserstandsänderungen eines Flußquerschnittes entstammen zwei verschiedenen Ursachen, der Änderung der sekundlichen Abflußmenge und der Veränderung des Abflußquerschnittes. Unter der sekundlichen Abflußmenge versteht man diejenige Wassermenge (z. B. in m³), die in 1 s durch einen bestimmten Flußquerschnitt hindurchfließt. Wenn zwei Querschnitte eines Flusses bei gleichem Spiegelgefälle die gleiche sekundliche Abflußmenge führen, dann pflegt bei demselben Zuwachs an sekundlicher Abflußmenge der Wasserstand in dem breiteren Querschnitt weniger zu steigen als in dem schmaleren. Das wird bei Ausuferungen besonders deutlich, ebenso bei

Die Wasserstandsänderungen eines Flußquerschnittes entstammen zwei verschiedenen Ursachen, der Änderung der sekundlichen Abflußmenge und der Veränderung des Abflußquerschnittes. Unter der sekundlichen Abflußmenge versteht man diejenige Wassermenge (z. B. in m³), die in 1 s durch einen bestimmten Flußquerschnitt hindurchfließt. Wenn zwei Querschnitte eines Flusses bei gleichem Spiegelgefälle die gleiche sekundliche Abflußmenge führen, dann pflegt bei demselben Zuwachs an sekundlicher Abflußmenge der Wasserstand in dem breiteren Querschnitt weniger zu steigen als in dem schmaleren. Das wird bei Ausuferungen besonders deutlich, ebenso bei

seeartigen Erweiterungen des Wasserlaufes. Haben zwei Querschnitte denselben sekundlichen Abfluß und dieselbe Wasserspiegelbreite, dann bewirkt derselbe Zuwachs an sekundlicher Wassermenge bei stärkerem Gefälle ein geringeres Steigen als bei schwächerem. Ausuferungen, Seen und Talsperren oberhalb eines Flußquerschnittes verringern den Wasserstandswechsel auch dadurch, daß sie durch die Zurückhaltung des Wassers den sekundlichen Abfluß unterhalb verkleinern. Überhaupt sind die Wasserstandschwankungen eines Flusses um so größer, je verschiedener seine Abflußspenden sind (S. 129).

Eine häufig vorkommende Veränderung des Abflußquerschnittes wird durch Eindeichungen bewirkt, die bei höheren Wasserständen eine Vergrößerung der Wasserstandsänderungen zur Folge haben, und zwar aus zwei Gründen. Einmal, weil die Breite des Hochwasserabflußquerschnittes im Bereiche der Eindeichung geringer wird, sodann aber auch deshalb, weil durch Verringerung der Aufspeicherung oberhalb des betrachteten Flußquerschnittes die sekundliche Abflußmenge unterhalb zunimmt (S. 180). Auch das Flußbett selbst kann Änderungen erfahren, natürliche und künstliche. Natürliche Veränderungen sind die Uferabbrüche, Kolke, Versandungen und die Laufverlängerungen infolge Zunahme der Krümmungen. Durch letztere wird das Gefälle verringert, das seinerseits wieder die Wassergeschwindigkeit und die Größe der Wasserstandsänderungen bei wechselnder Abflußmenge beeinflußt (s. oben). Künstliche Veränderungen des Abflußquerschnittes sind z. B. die Bühnenbauten. Über ihre Wirkung auf die Wasserstände vergleiche man die Ausführungen auf S. 176. Die Zurückhaltung des Geschiebes durch Wehre und Talsperren kann zum mindesten vorübergehend den Gleichgewichtszustand eines Flusses stören und eine Vertiefung der Sohle unterhalb, damit auch ein Sinken der Wasserstände herbeiführen.

Die Eigenart eines Flusses kommt in dem Verhalten der Wasserstände zum Ausdruck. Die Hauptwasserstände reichen aber nicht aus, um die Eigenart zu kennzeichnen. Einen klaren Überblick gewähren erst die zeichnerischen Darstellungen der Pegellisten, die dadurch entstehen, daß man (auf Millimeterpapier) zu den Zeiten als Waagerechten die Wasserstände als Senkrechte aufträgt (Wasserstandsganglinien, Abb. 31). Verarbeitet man in dieser Weise die täglichen Wasserstände, so kann man bezeichnende Eigentümlichkeiten des Flusses anschaulich erkennen. Man kann das Bild in der Weise ergänzen, daß man die Monatsmittelwerte oder die Mittelwerte der Jahreszeiten oder des Jahres als waagerechte Linien einträgt und auf diese Weise die Abweichungen der Einzelwerte von diesen Mittelwerten darstellt. Gerade für den landwirtschaftlichen Wasserbau ist die Auftragung der Wasserstandsganglinien häufig nicht zu entbehren, weil nur sie zeigen, wie die einzelnen Wasserstände in zeitlicher Reihenfolge aufgetreten sind. Dieser zeitliche Verlauf ist aber landwirtschaftlich oft entscheidend. Es ist z. B. ein wesentlicher Unterschied, ob 20 Überschwemmungstage in der Wachstumszeit hintereinander oder in mehreren kleinen Überflutungen von kurzer Dauer eingetreten sind, ob sie nach der Zeit ihres Auftretens für das Pflanzenwachstum und die Ernte günstig oder ungünstig lagen.

Solange das Flußbett in der Nähe eines Pegels unverändert bleibt, entspricht einem bestimmten Wasserstand am Pegel eine ganz bestimmte sekundliche Abflußmenge. Denn je größer diese ist, um so höher liegt der Wasserspiegel. Hat man die sekundlichen Abflußmengen für verschiedene Pegelstände ermittelt (S. 115), so trägt man erstere als Waagerechte und letztere als Senkrechte auf (Abb. 33). Durch die so erhaltenen Punkte legt man einen ausgleichenden Linienzug. Denn kleine Abweichungen der Punkte von der ausgleichenden Linie werden in der Regel auf Messungsfehlern beruhen. Die Ausuferungshöhe ist meistens an einem Bruch in dem Linienzug erkennbar. Die Darstellung nach Abb. 33 nennt man die Abflußmengenlinie oder das Abflußgesetz des Pegels.

Die zur Festlegung des Abflußgesetzes erforderlichen Abflußmessungen (Geschwindigkeitsmessungen) dürfen nur bei einem beharrlichen Wasserstande (S. 111) durchgeführt werden, da die Geschwindigkeiten trotz gleichen Wasserstandes verschieden sein können, je nachdem ob das Wasser steigt oder fällt. So hat z. B. eine Hochwasserwelle (Abb. 34) an der Vorderseite ein stärkeres Gefälle als an der Rückseite, so daß bei demselben Wasserstande bei steigendem Wasser eine größere sekundliche Abflußmenge abfließt als bei fallendem. Da das Abflußgesetz eine Änderung erleidet, wenn sich das Flußbett ändert, so sollte es nur an solchen Punkten des Flusses ermittelt werden, an denen das Bett sich im Beharrungszustande befindet. Aber auch dann muß die Form des Flußbettes durch Aufnahme von Querschnitten und Höhenplänen an sowie ober- und unterhalb der Meßstelle festgestellt werden, um bei einer Änderung des Abflußgesetzes untersuchen zu können, ob sie auf Veränderung

der Abflußverhältnisse oder des Flußbettes zurückzuführen ist. Weiter ist darauf zu achten, ob die Geschwindigkeitsmessungen bei krautfreiem oder verkrautetem Flußbett vorgenommen werden. Denn bei derselben

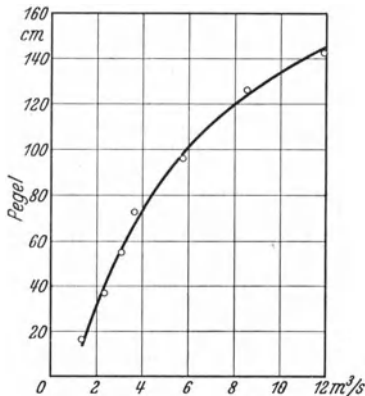


Abb. 33. Abflußgesetz eines Pegels.

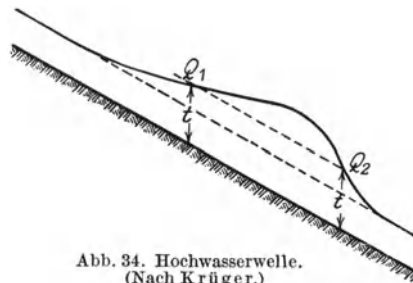


Abb. 34. Hochwasserwelle.
(Nach Krüger.)

sekundlichen Abflußmenge ist der Wasserstand eines Wasserlaufes höher im verkrauteten als im krautlosen Zustande. Ein vollständiges Abflußgesetz läßt sich nur dann auftragen, wenn Abflußmessungen auch für besonders niedrige und besonders hohe Wasserstände vorliegen. Man sieht gelegentlich Abflußgesetze, deren Verlauf für die höheren Wasserstände nur geschätzt ist. Solche Schätzungen sind meistens wertlos und geben nur Anlaß zu falschen Rechnungen. Man muß zum mindesten fehlende Messungen durch Berechnung der Abflußmengen ersetzen, wobei man aus den vorhandenen Messungen den richtigen Rauheitsgrad (S. 120) für den Wasserlauf ableiten kann. Wenn das Abflußgesetz auch für diejenigen Wasserstände aufgetragen werden soll, bei denen der Fluß ausfertet, ist die Pegelstelle so auszuwählen, daß sich auch der Abfluß auf den Vorländern möglichst genau messen oder berechnen läßt. Die Vorländer sollen zu diesem Zweck an der Meßstelle frei von größeren Unregelmäßigkeiten sein.

Da das Abflußgesetz eines Pegels bei Beharrungszuständen des Abflusses ermittelt wird und somit auch nur für diese gilt, kann man es zur genauen Ermittlung der Abflußmengen innerhalb einer Hochwasserwelle nicht ohne weiteres verwenden. Man würde sonst bei steigendem Hochwasser eine zu kleine und bei fallendem eine zu große sekundliche Abflußmenge erhalten. Ist J_0 das Wasserspiegelgefälle des Beharrungszustandes, J dasjenige des Hochwassers zu einer bestimmten Zeit, ferner Q_0 der sekundliche Abfluß in m^3 nach dem Abflußgesetz bei dem gemessenen Pegelstande, dann ist der wirkliche Abfluß Q in m^3/s genau genug

$$Q = Q_0 \sqrt{\frac{J}{J_0}}. \quad (48)$$

Nach dem Vorgesagten muß jedem Hauptwasserstand eine bestimmte sekundliche Abflußmenge entsprechen, die aus der Abflußmengenlinie des betreffenden Pegels leicht zu entnehmen ist. Man spricht dann von einer sekundlichen Abflußmenge bei NW (QNW), MNW ($QMNW$), MW (QMW) usw. Dabei ist zu beachten, daß z. B. QMW nicht gleichbedeutend ist mit der mittleren sekundlichen Abflußmenge MQ (s. unten).

Entsprechend den oben aufgeführten Hauptzahlen der Wasserstände sind für die Hauptzahlen der sekundlichen Abflußmengen allgemein folgende Bezeichnungen eingeführt:

NNQ = niedrigste Niedrigwasser-Abflußmenge, die überhaupt bekannte kleinste sekundliche Abflußmenge.

NQ = Niedrigwasser-Abflußmenge, die kleinste sekundliche Abflußmenge im betrachteten Zeitraum.

MNQ = mittlere Niedrigwasser-Abflußmenge, das Mittel der Niedrigwasser-Abflußmengen NQ jedes einzelnen Jahres.

MQ = mittlere Abflußmenge, das Mittel aller den täglichen Ablesungen entsprechenden sekundlichen Abflußmengen. Bei Schreibpegeln kann man den Wert MQ noch genauer berechnen als bei den nur einmal täglich abgelesenen Lattenpegeln. Am genauesten ist MQ = Gesamt-abfluß in m^3 : Abflußzeit in s.

MHQ = mittlere Hochwasser-Abflußmenge, das Mittel der Hochwasser-Abflußmengen HQ jedes einzelnen Jahres.

HQ = Hochwasser-Abflußmenge, die größte sekundliche Abflußmenge im betrachteten Zeitraum.

HHQ = höchste Hochwasser-Abflußmenge, die überhaupt bekannte größte sekundliche Abflußmenge.

Der Dauerlinie der Wasserstände entspricht die Dauerlinie der sekundlichen Abflußmengen. Diese Abflußmengendauerlinie erhält man dadurch, daß man in der Wasserstandsdauerlinie zu jedem Wasserstande die zugehörige sekundliche Abflußmenge nach dem Abflußgesetz aufträgt (Abb. 30). Betrachtet man den gestrichelten Streifen, so erkennt man, daß an $(t_2 - t_1)$ Tagen der sekundliche Abfluß zwischen Q_2 und Q_1 m^3/s liegt, oder daß in dieser Zeit im Mittel $\frac{Q_2 + Q_1}{2}$ m^3/s abfließen. Das heißt: der gestrichelte Streifen bis zur Q -Linie stellt diejenige Abflußmenge in m^3 dar, die in $(t_2 - t_1)$ Tagen zum Abfluß kommt. Daraus folgt, daß die von der Dauerlinie und dem Achsenkreuz eingeschlossene Fläche gleich dem gesamten Jahresabfluß ist, und daß man die mittlere Abflußmenge MQ dadurch erhält, daß man besagte Fläche in ein Rechteck mit der Grundlinie $t = 365$ Tagen verwandelt. Die Höhe dieses Rechteckes ist dann MQ .

In Abb. 30 sind die Dauerlinien der Wasserstände und der Abflußmengen desselben Pegels aufgetragen. Da nun die Abflußmengenlinie (Abb. 33) im Bereich der niedrigen Wasserstände steiler als im Bereich der höheren verläuft, so liegt der Schwerpunkt der Q -Fläche (Fläche zwischen Q -Linie und Achsenkreuz) weiter rechts als der Schwerpunkt der h -Fläche. Daher pflegt auch der Schnittpunkt S_2 rechts von S_1 zu liegen und pflegt die mittlere Abflußmenge MQ größer zu sein als die Abflußmenge bei MW (QMW). Der Unterschied ist um so größer, je häufiger große Hochwasser eintreten und je stärker gekrümmt die Abflußmengenlinie des Pegels ist, z. B. infolge von Ausuferungen (S. 130).

Die verschiedenen sekundlichen Abflußmengen an einer Pegelstelle (QMW , MQ usw.) werden in der Regel auf das Niederschlaggebiet (Einzugsgebiet, Sammelgebiet) bezogen, d. h. auf dasjenige Gebiet, dessen Niederschläge der betreffenden Pegelstelle zufließen. Das Niederschlaggebiet wird von den Wasserscheiden begrenzt, die ober- oder unterirdische sein können. In Abb. 35 liegt die oberirdische Wasserscheide bei o , die unterirdische bei u . Denn das zwischen o und u versickernde Wasser wird durch die undurchlässige Tonschicht

gleichfalls nach links dem Flusse zugeführt. Bei großen Sammelgebieten pflegt man lediglich von den oberirdischen Wasserscheiden auszugehen, um die Größe des Niederschlaggebietes zu ermitteln, bei sehr kleinen Gebieten kann aber die Berücksichtigung einer mit der oberirdischen nicht zusammenfallenden unterirdischen Wasserscheide nötig werden. Hat man an einer Pegelstelle eine Abflußmenge QMW von beispielsweise $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt und das Sammelgebiet für diese Pegelstelle zu 1460 km^2 festgestellt, so ergibt sich ein Abfluß von $\frac{7400}{1460} = \text{rund } 5,1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 = 0,051 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$. Man nennt die so ausgedrückten sekundlichen Abflußmengen Abflußspenden; sie spielen bei vielen wasserwirtschaftlichen Berechnungen eine große Rolle. Teilt man alle Senkrechten der Abflußmengendauerlinie (Abb. 30) durch die Größe des Sammelgebietes, so erhält man eine Dauerlinie der Abflußspenden.

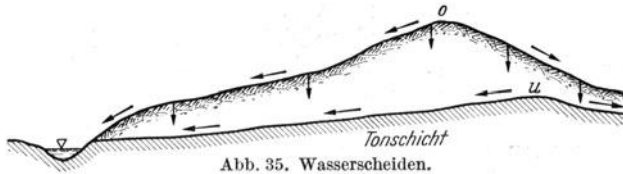


Abb. 35. Wasserscheiden.

Ebenso wie den Niederschlag und die Verdunstung drückt man auch den monatlichen oder jährlichen Abfluß eines Flußgebietes in mm aus, indem man sich das ganze Niederschlaggebiet mit einer gleichmäßigen Wasserschicht bedeckt denkt. Je 100 mm Abflußhöhe im Jahr ergeben eine mittlere jährliche Abflußspende (Mq) von $3,17 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

Alle Feststellungen über die Wasserstände und Abflußmengen eines Wasserlaufes beziehen sich natürlich auf die Vergangenheit. Wenn aber den Beobachtungen eine genügend lange Jahresreihe (mindestens 10 bis 15 Jahre) zugrunde liegt, ist man berechtigt, aus der Vergangenheit einigermaßen zutreffende Schlüsse für die Zukunft zu ziehen [Gl. (23)].

2. Abflußmessungen.

Die Abflußmessungen haben den Zweck, die sekundliche Wassermenge festzustellen, die zu einer bestimmten Zeit durch einen bestimmten Querschnitt eines Wasserlaufes hindurchfließt. Da alle Messungen eine gewisse Zeit erfordern, erhält man stets die mittlere sekundliche Abflußmenge der gesamten Meßzeit.

Kleine Abflußmengen, z. B. die Ergiebigkeit einer Quelle, sind dadurch zu ermitteln, daß man die s zählt, in denen ein Gefäß mit bekanntem Rauminhalt sich füllt. Das Verfahren der Raumfüllung kann unter günstigen örtlichen Verhältnissen auch bei größeren Abflußmengen angewendet werden. Das ist z. B. dann der Fall, wenn ein Teich oder See von einem Wasserlauf durchflossen wird und an der Ausflußseite durch ein dort vorhandenes Bauwerk oder durch eine einfache behelfmäßige Einrichtung vorübergehend abgesperrt werden kann. Aus der in einer bestimmten Zeit gespeicherten Wassermenge ist dann der sekundliche Abfluß wenigstens überschläglich zu berechnen.

In den meisten Fällen ist man jedoch genötigt, die sekundliche Abflußmenge Q auf dem Umwege über Geschwindigkeitsmessungen festzustellen. Die mittlere Geschwindigkeit eines Flußquerschnittes setzt sich aus ganz verschiedenen Einzelgeschwindigkeiten zusammen. Trägt man die Geschwindigkeiten v' , die an einzelnen Punkten einer im Fluß gedachten Lotrechten t herrschen, senkrecht zu dieser Lotrechten an den betreffenden Punkten auf, so

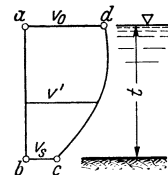


Abb. 36. Tiefengeschwindigkeitslinie.

erhält man die Tiefengeschwindigkeitslinie (Abb. 36). Man nennt v_0 die Oberflächengeschwindigkeit und v_s die Sohlengeschwindigkeit. In nicht sehr schmalen Wasserläufen ist bei Windstille in der Regel v_0 am größten. Dagegen wird v_0 durch stromauf gerichteten Wind etwas verkleinert, so daß dann der größte v' -Wert etwas unter der Wasseroberfläche zu liegen pflegt. Am kleinsten ist stets die Sohlengeschwindigkeit v_s , die gleich Null werden kann, meistens aber größer ist. Die mittlere Geschwindigkeit v_m einer Lotrechten ist das Mittel aller Einzelgeschwindigkeiten v' , also gleich der Fläche ($a b c d$), geteilt durch t . Alle Versuche, den Verlauf der Tiefengeschwindigkeitslinie formelmäßig festzulegen, haben bisher nicht zu einem brauchbaren Ergebnis geführt.

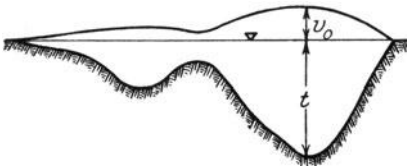


Abb. 37. Verteilung der Oberflächengeschwindigkeit. (Nach Krüger.)

(Abb. 37). Wenn man den Inhalt dieser Geschwindigkeitsfläche durch die Spiegelbreite teilt, findet man die mittlere Oberflächengeschwindigkeit. Der Wert v_0 ist an den Ufern etwa gleich Null.

Denkt man sich den ganzen Flußquerschnitt F in zahlreiche Teilflächen ΔF zerlegt, in deren Schwerpunkt die Wassergeschwindigkeit v' herrscht, so ist die mittlere Geschwindigkeit v des gesamten Querschnittes F

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{\sum \Delta F \cdot v'}{F}. \quad (49)$$

Für überschlägliche Berechnungen benutzt man die Gl. (50) bis (53) mit den oben erklärten Bezeichnungen, wobei der Zusatz Gr den Größtwert im Stromstrich (S. 164) bedeutet. In den meisten Fällen ist:

$$v_m = (0,8 \text{ bis } 0,9) \cdot v_0, \quad (50)$$

$$v_s = (0,3 \text{ bis } 0,7) \cdot v_0, \quad (51)$$

$$v = (0,6 \text{ bis } 0,8) \cdot Gr \cdot v_0, \quad (52)$$

$$v = (0,75 \text{ bis } 0,9) \cdot Gr \cdot v_m. \quad (53)$$

Die einfachste Messung der Wassergeschwindigkeit ist die Schwimmermessung. Sie ergibt aber nur Näherungswerte für v . Mit Fehlern bis zu $\pm 25\%$ muß dabei gerechnet werden.

Entweder mißt man $Gr \cdot v_0$ mit Hilfe eines Oberflächenschwimmers und verwendet Gl. (52), oder man mißt $Gr \cdot v_m$ mittels eines Schwimmstabes, um v aus Gl. (53) zu ermitteln. Als Oberflächenschwimmer eignen sich Rundholzscheiben von etwa 10 cm Durchmesser und 2 cm Stärke. Als Schwimmstäbe können unten beschwerte Holzstäbe verwendet werden. Wilcke hat einen Schwimmstab ausgebildet, dessen Länge nach der jeweiligen Wassertiefe eingestellt werden kann. Er wird an einer Leine vom Boot aus abgelassen (Fesselschwimmer) und gibt bei kleinen Wassergeschwindigkeiten bessere Ergebnisse als die übrigen Schwimmer.

Genauere Abflubmengenmessungen in größeren Querschnitten sind stets mit dem Flügel auszuführen (151). Der vor fast 150 Jahren von Woltmann eingeführte Flügel hat im Laufe der Zeit zahlreiche Verbesserungen erfahren. Abb. 38 zeigt einen an einer runden Stange sitzenden Ottschen Magnet-

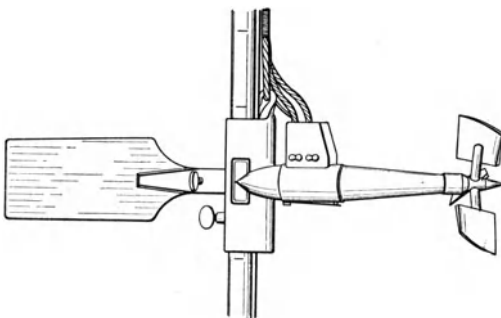


Abb. 38. Magnetflügel. (Nach A. Ott.)

flügel. Man unterscheidet Stangen-, Schwimm- und Schleppflügel. Der Stangenflügel ist verschiebbar an einer Stange befestigt, die entweder fest auf die Flußsohle aufgestellt oder hängend angebracht wird. Schwimmflügel hängen an einem dünnen Drahtseil frei im Wasser. Beim Schleppflügel ist der Flügel fest mit einem Schwimmkörper verbunden, liegt also ziemlich dicht unter der Wasseroberfläche. Der Stangenflügel liefert die genauesten Meßergebnisse, da er senkrecht zum Meßquerschnitt eingestellt werden kann und daher nur denjenigen Seitenteil der Geschwindigkeit mißt, der senkrecht zu diesem Querschnitt steht und für die gesuchte sekundliche Abflußmenge maßgebend ist. Hinzu kommt, daß die Flügel bei ihrer Eichung gleichfalls an einer Stange befestigt und mit verschiedenen Geschwindigkeiten v durch ruhendes Wasser gezogen werden. Zwischen v und der Drehzahl n des Flügels in der Zeiteinheit ergibt sich dann genügend genau die Beziehung $v = a \cdot n + b$. Die Drehzahl n wird auf elektrischem Wege ermittelt, indem z. B. nach jeder 25. oder 50. Umdrehung des Flügels eine elektrische Klingel ertönt, oder durch einen elektrischen Drehzahlmesser; a und b sind Festwerte, die durch die Eichung bestimmt werden. Die mit einem Flügel gemessenen Wassergeschwindigkeiten dürfen nur dann als zuverlässig angesehen werden, wenn sie genügend weit unterhalb der Wellengeschwindigkeit $v = \sqrt{g \cdot t}$ des Messungsquerschnittes liegen (199). Es bedeuten:

v = Geschwindigkeit in m/s. $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
 t = Wassertiefe in m.

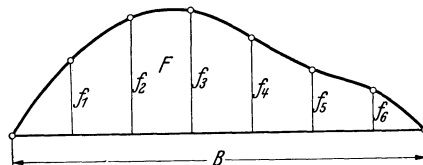


Abb. 39.
Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen.

Als Meßstelle ist eine möglichst regelmäßige Flußstrecke ohne strömungslose Teile zu wählen. Im Rückstau liegende Flußstrecken sind zu vermeiden. Falls kein dauernd beobachteter Pegel in der Nähe ist, richtet man an der Meßstelle einen Bezupegel ein (S. 110). Die Flügel sind von Zeit zu Zeit neu zu eichen. Der Meßquerschnitt soll frei von Hindernissen (Krautwuchs) sein, er ist vor der Messung, bei leicht beweglicher Sohle auch nachher zu peilen. In jeder Lotrechten sind mindestens drei Messungen erforderlich. Die einzelne Messung soll wenigstens 100 s dauern. Während der Messung ist der Pegel oder Bezupegel alle 15 min abzulesen, auch ist das Wasserspiegelgefälle J durch genaue Höhenmessung festzustellen. Man erhält dadurch die Möglichkeit, den Wert c der Gl. (59) zu berechnen.

Die Auswertung der Messungen geschieht wie folgt: Man zeichnet zunächst für jede Lotrechte, in der Messungen stattgefunden haben, die Tiefengeschwindigkeitslinie (Abb. 36) und mißt die so erhaltene Fläche f . Die Flächenwerte f (m^2/s) sind alsdann nach Abb. 39 über der Wasserspiegelbreite B an den Stellen, an denen gemessen ist, aufzutragen. Verbindet man die Endpunkte der aufgetragenen Flächenwerte f durch einen ausgeglichenen Linienzug, so stellt die so entstehende Fläche F den Abfluß in m^3/s dar. Bezüglich der Maßstäbe ist dabei Folgendes zu beachten: Wir wählen in den Tiefengeschwindigkeitslinien die Maßstäbe $1 \text{ m/s} = a \text{ cm}$ und $1 \text{ m Tiefe} = b \text{ cm}$. Die Flächenmessung ergebe $f \text{ cm}^2$. Trägt man dann in Abb. 39 die Werte f in dem Maßstab $1 \text{ cm}^2 = c \text{ cm}$ und B in dem Maßstab $1 \text{ m} = d \text{ cm}$ auf und findet man F zu $e \text{ cm}^2$, so ist

$$Q = \frac{e}{a \cdot b \cdot c \cdot d} \text{ m}^3/\text{s}. \tag{54}$$

Neuerdings hat Wilcke ein Summenmeßverfahren entwickelt. Es beruht darauf, daß der Flügel sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit an der Stange abwärts bewegt. Denkt man sich die Tiefe t der Abb. 36 in viele gleiche Teilstrecken Δt zerlegt, so gehört zu jedem Δt eine Wassergeschwindigkeit v' und es ist $v_m = \frac{\Delta t \cdot \sum v'}{t}$ ($\frac{t}{\Delta t}$ = Anzahl der Teilstrecken). Ferner ist

$v' = a \cdot n + b$, dabei n die Zahl der Flügelumdrehungen je s. Finden nun auf der Strecke Δt n' Umdrehungen statt und wird die ganze Strecke t in z Sekunden durchlaufen, so entfallen n' Umdrehungen auf $\frac{z \cdot \Delta t}{t}$ Sekunden, d. h. es ist

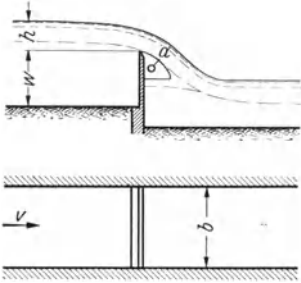


Abb. 40. Meßwehr.

$$n = \frac{n' \cdot t}{z \cdot \Delta t} \text{ (Umdrehungen je s). Daher}$$

$$v_m = \frac{\Delta t}{t} \{ a \sum n + \sum b \} = \frac{a}{z} \sum n' + b. \quad (55)$$

Man braucht also nur die Zeit z und die Summe aller Flügelumdrehungen ($\sum n'$) zu kennen, um daraus unmittelbar v_m berechnen zu können. Das Verfahren hat den großen Vorteil einer erheblichen Zeit- und Kostenersparnis.

Wenn während der Geschwindigkeitsmessungen innerhalb eines Flußquerschnittes der Wasserstand steigt oder fällt, ist dieser Umstand besonders zu berücksichtigen. Wegen des dabei einzuschlagenden Verfahrens wird auf die Richtlinien (151) verwiesen. Vgl. jedoch die Ausführungen auf S. 113 über die Wichtigkeit eines beharrlichen Wasserstandes.

Man kann den sekundlichen Abfluß unter Umständen auch durch Meßwehre bestimmen, indem man die Überfallhöhe mißt. Dazu dient in der Regel der vollkommene Überfall ohne seitliche Einschnürung (Abb. 40). Der Raum unter dem überfallenden Wasser muß mit der Außenluft in Verbindung stehen (Loch bei a). Nach den Versuchen Rehbocks ist bei dünnwandigen lotrechten Plattenwehren (162):

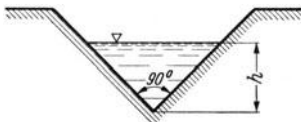


Abb. 41. Überfall von Thompson.

$$Q = \left(1,782 + 0,24 \cdot \frac{h_0}{w} \right) \cdot b \cdot h_0^{3/2}, \quad (56)$$

$$h_0 = h + 0,0011. \quad (57)$$

b ist die Länge der waagerechten scharfkantigen Überfallkante. Die Gleichungen gelten für $w > 0,3$ m, $h < 0,8 w$ und $0,03 \text{ m} < h < 0,60$ m. Der Wert h soll in einer Entfernung von mindestens $4 h$ oberhalb der Wehrkante gemessen werden. Alle Werte h , h_0 , w und b in m.

Für kleine Wassermengen kann man den dreieckigen Überfall von Thompson verwenden (Abb. 41). Bei ihm ist

$$Q = 0,014 \cdot h^2 \cdot \sqrt{h}. \quad (58)$$

Q erhält man in l/s. Die Überfallhöhe h ist in cm auszudrücken und 80 cm oberhalb des Einschnittes zu messen. Der Gleichung liegt ein Wert $\mu = 0,593$ zugrunde (S. 127).

3. Abflußberechnungen.

Die mittlere Geschwindigkeit v , mit der sich das Wasser in einem Gerinne bewegt, läßt sich durch eine einfache Formel ausdrücken. Denkt man

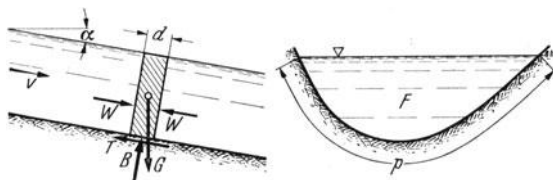


Abb. 42. Wasserbewegung in Gerinnen.

sich aus der bewegten Wassermasse (Abb. 42) eine Scheibe von der Stärke d herausgeschnitten, so wirken auf sie die beiden Wasserdrücke W , die Reibung T auf der Fläche $p \cdot d$, das Gewicht G der Scheibe und der Gegendruck B der Gerinnesohle. Diese Kräfte

müssen im Gleichgewicht miteinander stehen, wenn die Scheibe keine Beschleunigung oder Verzögerung erfährt. Es ist daher $T = G \cdot \sin \alpha$. Da α sehr klein ist, kann man setzen: $\sin \alpha = \text{tg } \alpha = \text{Gefälle } J$. Erfahrungsgemäß

ist ferner $T = (p \cdot d) \cdot v^2 \cdot k$. k ist ein von der Beschaffenheit der Gerinnesohle abhängiger Reibungsbeiwert. Man findet $p \cdot d \cdot v^2 \cdot k = G \cdot J = F \cdot d \cdot J$ und nennt p den benetzten Umfang, $R = \frac{F}{p}$ den Wasserhalbmesser (hydraulischen Radius).

Setzt man $\frac{1}{\sqrt{k}} = c$, so ist

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot J}. \tag{59}$$

Das ist eine auch heute noch häufig angewendete Abflußformel. Sie gilt nicht nur für offene Gerinne (Wasserläufe), sondern entsprechend ihrer Ableitung auch für geschlossene Rohrleitungen. Allerdings ist sie nicht in jeder Hinsicht befriedigend. So ist z. B. die Wassergeschwindigkeit in höherem Maße von der Form des wasserführenden Querschnittes abhängig, als er durch den Wert R gekennzeichnet wird. Hat doch ein quadratischer Querschnitt mit der Seitenlänge a denselben R -Wert wie ein rechteckiger mit der Breite $4a$ und der Tiefe $0,4a$ (Abb. 43), während in Wirklichkeit die mittlere Geschwindigkeit in dem flachen Gerinne kleiner ist als in dem quadratischen. Statt R findet man daher

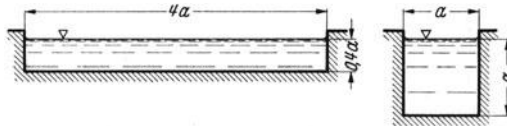


Abb. 43. Gerinne mit gleichen Wasserhalbmessern.

in manchen Formeln die mittlere Wassertiefe $t_m = \frac{F}{B}$, worin B die Wasserspiegelbreite bedeutet. Ferner ist anzunehmen, daß auch die Geschiebebewegung (S. 135) einen Einfluß auf die Geschwindigkeit des Wassers ausübt. Trotz dieser und anderer Bedenken hat aber die Gl. (59) bisher zu genügend genauen Ergebnissen in der Anwendung geführt, jedenfalls solange die Wasserbewegung eine strömende ist (s. unten).

In Doppelquerschnitten (Abb. 44) ist die Abflußmenge im Flußbett und auf den Vorländern je für sich zu berechnen, da die Strömungsverhältnisse hier sehr verschieden sind. An der Grenze zwischen dem tiefen Flußbett und dem flachen Vorland treten infolge der Geschwindigkeitsunterschiede erhebliche Widerstände auf. Es dürfte daher richtig sein, die Strecken $a - b$ und $c - d$ als Teile des benetzten Umfanges p anzusehen.

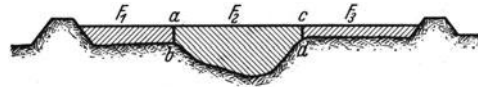


Abb. 44. Doppelquerschnitt.

Man unterscheidet:

1. Die gleitende (laminare) Wasserbewegung. Es ist nur die Zähigkeit des Wassers zu überwinden, da keine Wirbelbewegungen entstehen. Diese Bewegung tritt nur bei sehr kleinen Wassergeschwindigkeiten auf. Bei der Grenzgeschwindigkeit (kritischen nach Reynolds) geht sie über in
2. die strömende Wasserbewegung, die in unseren Wasserläufen und Rohrleitungen die vorherrschende ist. Wird $v > \sqrt{g \cdot t}$ ($g = 9,81$; $t =$ Wassertiefe in m), so entsteht
3. die schießende Wasserbewegung, die bisweilen in Wildbächen vorkommt.

Die strömende und schießende Bewegung nennt man auch wirbelnde (turbulente).

Man bezieht die Reynoldssche Zahl entweder auf den Wasserhalbmesser R oder auf den Rohrdurchmesser d :

1. $\Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$; die Grenzgeschwindigkeit liegt bei $\Re = 580$.
2. $\Re' = \frac{v \cdot d}{\nu}$; „ „ „ „ $\Re' = 2320$.

ν ist die Fließfähigkeit (kinematische Zähigkeit) des Wassers in m²/s.

$$\begin{aligned} 10^6 \cdot \nu &= 1,80 \text{ bei } 0^\circ \text{ Wasserwärme} \\ &= 1,30 \text{ „ } + 10^\circ \text{ „} \\ &= 1,01 \text{ „ } + 20^\circ \text{ „} \end{aligned}$$

Die Reynoldssche Zahl ist abmessungslos (dimensionslos), ν ist in m/s, R und d sind in m einzuführen.

Setzt man in Gl. (59) $J = \frac{h}{l}$ und $c^2 = \frac{8g}{\lambda_1}$ ($g = 9,81$), so wird

$$h = \lambda_1 \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (60)$$

Da für kreisförmige wassergefüllte Querschnitte mit dem Durchmesser d $R = d/4$ ist, so wird in diesen Fällen

$$h = \lambda_1 \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (61)$$

h ist der Druckhöhenverlust in m, der auf l m Länge in einer geraden oder schwach gekrümmten Rohrleitung von d m innerem Durchmesser entsteht, wenn das Wasser die Rohrleitung mit einer mittleren Geschwindigkeit von v m/s durchfließt. Dabei ist es gleichgültig, welches Gefälle die Leitung hat, ob sie fällt, waagrecht liegt oder ansteigt.

Für den Wert c der Gl. (59) gibt es eine ganze Anzahl von Formeln, von denen sich die von Ganguillet und Kutter trotz einiger berechtigter Beanstandungen namentlich für Wasserläufe bewährt hat [vgl. auch (62)]:

$$c = \frac{\frac{1}{n} + a}{1 + \frac{a \cdot n}{\sqrt{R}}}, \quad (62)$$

$$a = 23 + \frac{0,00155}{J}. \quad (63)$$

n ist der sog. Rauigkeitsgrad, für den man je nach der Beschaffenheit der Sohle und Wände (Ufer) etwa folgende Werte einsetzen kann:

1. Gehobeltes Holz, sehr glatter Zementputz 0,010
2. Bretter, Zementputz, behauene Quader, gut gefugte Backsteine . . . 0,012 bis 0,015
3. Bruchsteine, rauher Zementputz 0,017
4. Rohe Bruchsteine, Pflaster 0,020 „ 0,022
5. Wasserläufe ohne grobes Geschiebe und Krautwuchs 0,025
6. Wasserläufe, hier und da mit Geschiebe oder Wasserpflanzen 0,025 „ 0,030
7. Wasserläufe mit grobem Geschiebe oder stärkerem Krautwuchs (die meisten Bäche und Gräben) 0,030 „ 0,035
8. Wasserläufe wie unter 7., außerdem stark verwildert 0,035 „ 0,040
9. Flach überströmtes Vorland je nach der Höhe des Graswuchses . . . 0,035 „ 0,045

Die Ziffern 5 bis 8 ohne Vorland. Mit größerem Gefälle J wird n im allgemeinen kleiner (122).

Bisweilen bietet sich die Möglichkeit, n zu berechnen, wenn die sekundliche Abflußmenge Q eines Flußquerschnittes durch Geschwindigkeitsmessungen, das Wasserspiegelgefälle J sowie die Abmessungen des Querschnittes (F , p) bekannt sind. Man ermittelt dann c mit Hilfe der Gl. (59) und n aus Gl. (62). Von diesem Verfahren sollte man, wenn irgend möglich, dann Gebrauch machen, wenn ein besonders genaues Ergebnis der Berechnungen verlangt wird. Denn die der Gl. (62) anhaftenden Mängel wirken sich nur dann nicht aus, wenn sie durch richtige Wahl des Wertes n ausgeglichen werden. Man kann sich auch eine für den betreffenden Wasserlauf gültige Geschwindigkeitsformel selbst ableiten, indem man setzt

$$v = c \cdot R^a \cdot J^b. \quad (64)$$

Durch Messung von v bei drei verschiedenen Wasserständen erhält man drei Gleichungen mit den drei Unbekannten a , b und c :

$$\begin{aligned} \log v_1 &= \log c + a \cdot \log R_1 + b \cdot \log J_1, \\ \log v_2 &= \log c + a \cdot \log R_2 + b \cdot \log J_2, \\ \log v_3 &= \log c + a \cdot \log R_3 + b \cdot \log J_3. \end{aligned}$$

Dabei wird c im Bereiche der drei Wasserstände als Festwert angenommen. Beyerhaus (8) setzt $a = 0,7$, $b = 0,46$ und c im Mittel = 26. Folgende n -Werte nach Ganguillet und Kutter und c -Werte nach Beyerhaus ergeben etwa dieselben Geschwindigkeiten v :

$n = 0,020$	$c = 34$	$n = 0,030$	$c = 24$
0,025	29	0,035	21

Zahlentafel 67 gibt die Werte c der Gl. (62) für verschiedene n , J und R . Man kann auch die Zusammenstellungen von Schewior (132) und Schüngel (196) verwenden, was die Berechnungen wesentlich vereinfacht.

Bei Rohrleitungen wird häufig die Gl. (59) mit folgendem c -Wert verwendet (einfache Gleichung von Kutter):

$$c = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}. \tag{65}$$

Den Rauigkeitsbeiwert m kann man nach folgenden Angaben einschätzen:

1. Sehr gut geglättete Baustoffe. 0,10 bis 0,15
2. Gut gefugte Bretter; weite, glatte Eisen- und Betonleitungen 0,20
3. Gewöhnliche Bretter, glattes Backstein- und Quadermauerwerk, reine Steinzeugkanäle, gebrauchte Wasserleitungsrohre ohne stärkere Ablagerungen 0,25
4. Bohlwände, Backsteinmauerwerk, gebrauchte Zementrohr- und Steinzeugkanäle, quer- und längsgenietete nicht zu weite Eisenrohre 0,30 „ 0,35
 Dränrohre 0,30
 Städtische Entwässerungsrohre 0,35
5. Älteres Backsteinmauerwerk, rauher Zementputz 0,45 „ 0,50
6. Pflaster, ungeputzter Beton 0,55 „ 0,75
7. Älterer, unregelmäßiger Beton und ebensolches Mauerwerk 1,00

Für künstliche Gerinne hat sich der c -Wert von Bazin bewährt [Gl. (59)]:

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}. \tag{66}$$

Für γ ist zu setzen:

1. Glatter Zement, gehobelte Bretter 0,06
2. Bretter, Quader, glattes Backsteinmauerwerk. 0,16
3. Rohrer Beton, gewöhnliches Bruchsteinmauerwerk. 0,46
4. Sehr regelmäßige Querschnitte in Erde, Gräben mit gepflasterten Böschungen. . . 0,85

Gl. (60) gibt den Druckhöhenverlust einer Rohrleitung, der durch die Reibung des durchfließenden Wassers an den Rohrwänden und durch Wirbelbewegungen entsteht. In den folgenden Gl. (67) bis (77) sind alle Längen in m zu messen:

1. Nach Blasius. Für Rohre mit glatter Innenwandung:

$$\lambda_1 = \lambda_0 = \frac{0,2237}{\sqrt[4]{Re}}. \tag{67}$$

2. Nach Hopf und Fromm. Für rauhe Rohre:

$$\lambda_1 = \frac{1}{100} \left(\frac{k}{R} \right)^{0,314} \tag{68}$$

$$\lambda_1 = \lambda_0 \cdot k_1. \tag{69}$$

Zahlen-

R	n = 0,025							n = 0,030						
	1000 J =							1000 J =						
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	≥ 1	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	≥ 1
0,10	18	20	21	21	22	22	22	14	16	17	17	17	17	18
0,15	21	23	24	24	25	25	25	17	18	19	19	19	19	20
0,20	23	25	26	27	27	27	27	19	20	21	21	22	22	22
0,25	25	27	28	28	29	29	29	21	22	23	23	23	23	23
0,30	27	29	29	30	30	30	30	22	23	24	24	24	24	25
0,35	29	30	31	31	31	32	32	23	24	25	25	25	25	26
0,40	30	31	32	32	32	32	33	25	25	26	26	26	27	27
0,45	31	32	33	33	34	34	34	26	26	27	27	27	27	28
0,50	32	33	34	34	34	34	35	27	27	28	28	28	28	28
0,6	34	35	36	36	36	36	36	28	29	29	29	29	29	30
0,7	36	37	37	37	37	37	37	30	30	30	31	31	31	31
0,8	37	38	38	38	38	38	38	31	31	31	32	32	32	32
0,9	39	39	39	39	39	39	39	32	32	32	33	33	33	33
1,0	40	40	40	40	40	40	40	33	33	33	33	33	33	33
1,2	42	42	41	41	41	41	41	35	35	35	35	35	35	35
1,4	44	43	43	43	42	42	42	37	36	36	36	36	36	36
1,6	45	44	44	44	43	43	43	38	37	37	37	37	37	37
1,8	47	46	45	44	44	44	44	39	39	38	38	38	37	37
2,0	48	47	46	45	45	45	45	41	39	39	38	38	38	38
2,2	49	47	46	46	46	46	46	42	41	39	39	39	39	39
2,4	50	48	47	47	47	46	46	43	41	40	40	40	39	39
2,6	51	49	48	47	47	47	47	44	42	41	40	40	40	40
2,8	52	50	48	48	48	47	47	44	42	41	41	41	40	40
3,0	53	50	49	48	48	48	47	45	43	42	41	41	41	40
3,2	54	51	49	49	49	48	48	46	44	42	42	41	41	41
3,4	54	51	50	49	49	49	48	46	44	43	42	42	42	41
3,6	55	52	50	50	49	49	49	47	45	43	42	42	42	41
3,8	55	52	50	50	50	49	49	48	45	43	43	43	42	42
4,0	56	53	51	50	50	50	49	48	45	44	43	43	43	42
4,2	57	53	51	51	50	50	50	49	46	44	43	43	43	42
4,4	57	54	52	51	51	50	50	49	46	44	44	43	43	43
4,6	58	54	52	51	51	51	50	50	47	45	44	44	43	43
4,8	58	54	52	51	51	51	50	50	47	45	44	44	44	43
5,0	59	55	52	52	51	51	50	51	47	45	45	44	44	43

Zu wählen ist der größere der beiden vorstehenden Werte. λ_0 siehe Gl. (67). Die Rauigkeitsmaße k und k_1 betragen (81, I, 370):

- Neues, ziemlich glattes Metallrohr, asphaltiertes Blech . . . $k = 0,35$
- Neues Gußeisenrohr, Eisenblech, gut geglätteter Zement . . . $k = 0,60$
- Älteres Eisenrohr, angerostet $k = 1,25$
- Rauher Zement, verkrustetes Gußeisen, rauhe Bretter . . . $k = 1,75$
- Ziegel- und Quadermauerwerk $k = 2,50$
- Asphaltiertes Eisenblech $k_1 = 1,2$ bis $1,5$
- Holzrohre $k_1 = 1,5$ „ $2,0$

Zahlentafel 68.

	ϵ	τ
Glatte Rohre	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,45 \cdot 10^{-6}$
Rohre aus Schmiedeeisen . . .	$8 \cdot 10^{-6}$	$0,80 \cdot 10^{-6}$
„ „ Gußeisen	$32 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^{-6}$

Für vollaufende kreisförmige Rohre gelten außerdem folgende Gleichungen:

3. Nach Biel

$$\lambda_1 = 0,0094 + \sqrt{\frac{\epsilon}{d}} + \frac{\sqrt{d}}{\Re} \quad (70)$$

4. Nach von Mises (133, 62)

$$\lambda_1 = 0,0096 + \sqrt{\frac{32k}{d}} + \frac{1,7}{\sqrt{\Re}} \quad (71)$$

tafel 67.

R m	n = 0,035							n = 0,040						
	1000 J =							1000 J =						
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	≥ 1	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	≥ 1
0,10	12	13	14	14	14	14	15	10	11	11	12	12	12	12
0,15	14	15	16	16	16	16	17	12	13	13	14	14	14	14
0,20	16	17	18	18	18	18	18	14	14	15	15	15	15	16
0,25	17	18	19	19	19	19	20	15	16	16	16	16	17	17
0,30	19	19	20	20	20	20	21	16	17	18	18	18	18	18
0,35	20	20	21	21	21	21	22	17	18	18	18	18	18	19
0,40	21	21	22	22	22	22	22	18	18	19	19	19	19	19
0,45	22	22	23	23	23	23	23	19	19	20	20	20	20	20
0,50	23	23	24	24	24	24	24	19	20	20	20	21	21	21
0,6	24	25	25	25	25	25	25	21	21	22	22	22	22	22
0,7	25	26	26	26	26	26	26	22	22	23	23	23	23	23
0,8	27	27	27	27	27	27	27	23	23	24	24	24	24	24
0,9	28	28	28	28	28	28	28	24	24	24	24	24	24	24
1,0	29	29	29	29	29	29	29	25	25	25	25	25	25	25
1,2	30	30	30	30	30	30	30	27	26	26	26	26	26	26
1,4	32	31	31	31	31	31	31	28	28	27	27	27	27	27
1,6	33	32	32	32	32	32	32	29	29	28	28	28	28	28
1,8	34	34	33	33	33	32	32	30	30	29	29	29	29	29
2,0	35	34	34	33	33	33	33	31	31	30	30	30	29	29
2,2	36	35	34	34	34	34	34	32	31	30	30	30	30	30
2,4	37	36	35	35	35	34	34	33	32	31	31	31	31	30
2,6	38	37	36	35	35	35	35	34	33	32	31	31	31	31
2,8	39	37	36	36	36	35	35	35	33	32	32	32	31	31
3,0	39	38	37	36	36	35	35	35	34	33	32	32	32	32
3,2	40	38	37	37	36	36	36	36	34	33	33	32	32	32
3,4	41	39	38	37	37	37	36	36	35	34	33	33	33	32
3,6	41	39	38	37	37	37	37	37	35	34	33	33	33	33
3,8	42	40	38	38	37	37	37	37	36	34	34	34	33	33
4,0	42	40	39	38	38	38	37	38	36	35	34	34	34	33

Die Gleichung gilt nicht in der Nähe der Grenzgeschwindigkeit. Für $10^6 \cdot k$ ist zu setzen:

Roher Zement	0,2 bis 0,4	Holz, glatt gehobelt	0,25 bis 0,5
Gasrohr	0,2 „ 0,5	„ gewöhnlich	0,5 „ 1
Asphaltiertes Blech- oder Gußrohr	0,3 „ 0,6	„ rauhe Bretter	2 „ 4
Gußeisen neu	1 „ 2	Bearbeitete Quadern	2 „ 4
„ gebrauchte Leitung	2,5 „ 5	Gut gefugte Backsteine	2 „ 4
Genietete Blechrohrleitung .	2 „ 5	Gewöhnliche Backsteine	3 „ 6
		Rohe Bruchsteine	20 „ 40

5. Nach Dupuit

$$\lambda_1 = 0,03. \tag{72}$$

Für überschlägliche Berechnungen von Rohren mit mäßigen Ablagerungen.

6. Nach Weisbach

$$\lambda_1 = 0,0144 + \frac{0,00947}{\sqrt{v}}. \tag{73}$$

Für glatte Rohre von etwa 6 cm Durchmesser.

7. Nach Lang (vgl. auch S. 327)

$$\lambda_1 = a + \frac{0,0018}{\sqrt{v \cdot d}} \tag{74}$$

$a = 0,012$ für glatte Rohre.

$a = 0,020$ für neue, gußeiserne Muffenrohre.

8. Nach Biegeleisen. Er hat auf Grund zahlreicher Versuche für den Wert h der Gl. (61) folgende Formeln abgeleitet:

$$\text{schmiedeeiserne Rohre: } h = 0,0007745 \frac{l}{d^{1,2}} \cdot v^{1,8}, \quad (75)$$

$$\text{neue Gußeisenrohre: } h = 0,0012 \frac{l}{d^{1,1}} \cdot v^{1,9}, \quad (76)$$

$$\text{gebrauchte Gußeisenrohre: } h = 0,002567 \frac{l}{d^{1,1}} \cdot v^{1,9}. \quad (77)$$

Die Werte λ_1 der Gl. (60) und (61) stehen zu dem c -Wert der Gl. (59) in folgender Beziehung:

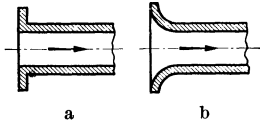


Abb. 45. Einlaufstücke.

$$\lambda_1 = \frac{8 \cdot g}{c^2}. \quad (78)$$

Außer den Druckhöhenverlusten der Gl. (60) und (61) entstehen noch folgende, die man in gleicher Weise als ein Vielfaches des Wertes $\frac{v^2}{2g}$ auszudrücken pflegt:

1. Erzeugung der Wassergeschwindigkeit v .

$$h_1 = \frac{v^2}{2g}. \quad (79)$$

Ist die Wassergeschwindigkeit von v_0 auf v zu erhöhen, so ist

$$h_1 = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}. \quad (80)$$

2. Eintritt des Wassers in die Leitung (Abb. 45).

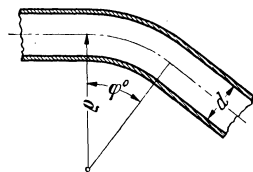


Abb. 46. Bogenstück.

$$h_2 = \lambda_2 \frac{v^2}{2g} \quad (81)$$

$\lambda_2 = 0,50$ (Abb. 45a, Einlaufkante scharfkantig),
 $\lambda_2 = 0,06$ bis $0,005$ (Abb. 45b, je nach der Glätte der Wandung).

3. Richtungsänderungen.

$$h_3 = \lambda_3 \frac{v^2}{2g}. \quad (82)$$

Für Bogenstücke mit kreisförmigem Querschnitt (Abb. 46) nach Weisbach näherungsweise

$$\lambda_3 = \left[0,13 + 0,16 \left(\frac{d}{\rho} \right)^{3,5} \right] \frac{\varphi^\circ}{180^\circ}. \quad (83)$$

Nach Hofmann und Wasielewski ergaben sich für $\mathcal{R}' = 225000$ die Werte λ_3 der nebenstehenden Zahlentafel:

Zahlentafel 69.

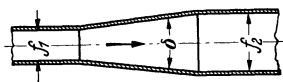


Abb. 47. Querschnittänderung.

Rohr innen	φ°	e/d				
		1	2	4	6	10
glatt	15	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	22,5	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
	45	0,14	0,09	0,08	0,075	0,07
	60	0,19	0,12	0,10	0,09	0,07
	90	0,21	0,14	0,11	0,09	0,11
rau	90	0,51	0,30	0,23	0,18	0,20

4. Querschnittänderungen (Abb. 47).

$$h_4 = \lambda_4 \frac{v^2}{2g}. \quad (84)$$

Für den günstigsten Winkel $\delta = 8^\circ$ ist

$$\lambda_4 = (0,15 \text{ bis } 0,20) \cdot \left[1 - \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \right]. \quad (85)$$

λ_4 gilt für den Wert $v = \frac{Q}{f_1}$ (nicht $\frac{Q}{f_2}$).

5. Sonstige Bewegungshindernisse.

$$h_5 = \lambda_5 \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{86}$$

Für dünne Schieber in rundem Rohr fand Weisbach je nach der Schieberstellung (Abb. 48):

$\frac{8s}{d} = 1$	2	3	4	5	6	7
$\lambda_5 = 0,07$	0,26	0,8	2,1	5,5	17	98

Wegen weiterer λ -Werte vgl. man die einschlägigen Schriften (z. B. 81 und 220). Zu beachten ist, daß die Wassergeschwindigkeit v in der Regel im Laufe der Zeit größer wird, weil sich der Rohrquerschnitt durch Ablagerungen verengt. Durch Zusammenzählung aller Einzelverluste erhält man den gesamten Druckhöhenverlust:

$$H = \left\{ 1 + \lambda_1 \frac{l}{4R} + \sum \text{aller } \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 \right\} \frac{v^2}{2g} = \lambda' \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{87}$$

Diese Gleichung findet vielfache Anwendung zur Berechnung der Druckhöhenverluste bei Schöpfwerken, Wasserleitungen, Dükern usw. Bei Berechnungsanlagen mit ihren zahlreichen Einzelwiderständen durch Abzweigungen, Krümmungen usw. pflegt man in dem Wert λ_1 der Gl. (61) auch die übrigen Widerstände zusammenzufassen und nur Gl. (61) mit dem Wert $\lambda_1 = 0,03$ zu verwenden (S. 328). Für Düker mit zwei senkrechten Fallschächten (S. 155) gilt die Gleichung

$$H = \left(1,5 + \lambda_1 \frac{l}{4R} \right) \frac{v^2}{2g} \tag{88}$$

v ist die Wassergeschwindigkeit im Düker selbst, h der Unterschied des Wasserspiegels im oberen und unteren Fallschacht.

Unter der Voraussetzung einer Flüssigkeit ohne innere Reibung hat Bernoulli folgende Beziehung abgeleitet. Ein Wasserteilchen möge sich von A nach B bewegen, es werde dabei um H_0 (m) gehoben, seine Geschwindigkeit von v_0 auf v (m/s), seine Pressung von p_0 auf p (kg/m²) vermehrt. Dann ist der Zuwachs ΔH (m) an Druckhöhe

$$\Delta H = H_0 + \left. \begin{array}{l} \frac{v^2 - v_0^2}{2g} + \frac{p - p_0}{\gamma} \end{array} \right\} \tag{89}$$

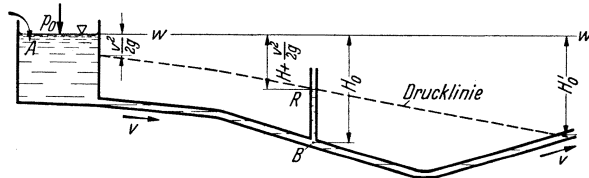


Abb. 49. Abfluß aus einem Hochbehälter.

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. ΔH ist gleichzeitig die Arbeit (mkg), die an 1 kg Wasser auf dem Wege von A nach B geleistet werden muß, wenn keine (äußere) Reibung zu überwinden ist.

In Abb. 49 ist der freie Abfluß aus einem Hochbehälter dargestellt. H_0 ist negativ. Auch ΔH ist eine Verlusthöhe, die dem durch Rohrreibung bewirkten Druckhöhenverlust H zwischen den Punkten A und B gleichzusetzen ist. Man erhält mit $\Delta H = -H$ und einem negativen H_0 die Pressung des Wassers oder den Wasserdruck auf die innere Rohrwandung bei B : $p = p_0 + \gamma \cdot H_0 - \gamma \left(H + \frac{v^2}{2g} \right)$. Dabei ist der Wasserspiegel im Hochbehälter als unverändert angenommen (durch Zufluß), so daß $v_0 = 0$ ist. In unserem Beispiel ist p_0 der Luftdruck, daher $p - p_0$ der innere Überdruck des Wassers im Rohr. Für $v = 0$ wäre auch $H = 0$ und $p - p_0 = \gamma \cdot H_0$. Das ist der Ruheüberdruck des Wassers (hydrostatischer Überdruck). Der Fließüberdruck (hydraulischer Überdruck) ist also um $\gamma \left(H + \frac{v^2}{2g} \right)$ kleiner als der Ruheüberdruck entsprechend der durch Reibung (H) und Geschwindigkeitserzeugung

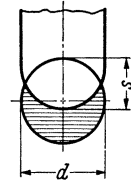


Abb. 48. Schieber.

$\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ bis zur Stelle B verbrauchten Druckhöhe. Trägt man in Abb. 49 an einzelnen Punkten der Waagerechten $w-w$ den jeweils bis zu diesen Stellen entstandenen Druckhöhenverlust $\left(H + \frac{v^2}{2g}\right)$ nach unten auf, so erhält man die sog. Drucklinie, die um so flacher verläuft, je kleiner v ist. Würde man auf die Rohrleitung senkrechte Rohre R (Druckmesser, Piezometer) aufsetzen, so würde das Wasser in diesen Rohren gerade bis zur Drucklinie steigen. Denn dem Überdrucke $p-p_0$ entspricht die Druckhöhe $\frac{p-p_0}{\gamma} =$

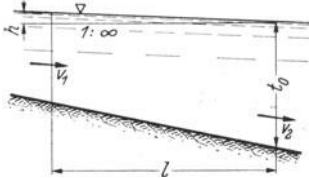


Abb. 50. Staulinie.

Die verfügbare Druckhöhe H_0 wird also gerade verbraucht, um die Geschwindigkeit v zu erzeugen und die Leitungswiderstände zu überwinden. Bringt man nur die Rohrreibung in Ansatz $\left(\lambda' = \lambda_1 \frac{l}{4R}\right)$, so erhält man mit $H_0 : l = J$ die Gl. (59) [vgl. auch Gl. (78)].

Bei Berechnungsanlagen wird die sekundliche Wassermenge Q durch eine Pumpe in die Rohrleitung gedrückt, an deren Ende eine Düse sitzt. Die Pumpe muß den Druckhöhenzuwachs ΔH erzeugen und den durch Rohrreibung bewirkten Druckhöhenverlust H ersetzen. Da $p = p_0$ und $v_0 = 0$ ist, so ist die Druckhöhe H_m der Pumpe (S. 244)

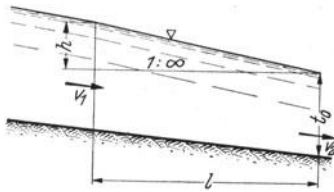


Abb. 51. Senkungslinie.

Der Austrittsgeschwindigkeit v aus der Düse entspricht der Düsendruck $\frac{v^2}{2g}$.

Die oben abgeleitete Gl. (59) gilt strenggenommen nur für gleichförmige Wasserbewegung. Wenn sich dagegen die Geschwindigkeit des Wassers von Querschnitt zu Querschnitt ändert, wie es bei Stau- und Senkungslinien der Fall ist, bestehen folgende Beziehungen. Aus $Q = F \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot J}$ folgt

$$h_1 = \frac{Q^2 \cdot p \cdot l}{c^2 \cdot F^3} \quad (90)$$

Das ist die Druckhöhe, die erforderlich ist, um auf der Strecke l die Reibung zu überwinden. Bei der verzögerten Bewegung (Staulinie Abb. 50) tritt nun eine Verringerung der Wassergeschwindigkeit von v_1 auf v_2 ein, so daß Arbeitsvermögen frei wird, das in die Druckhöhe

$$h_2 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad (91)$$

umgesetzt wird. Es ist daher nur eine gesamte Druckhöhe

$$h = h_1 - h_2 \quad (92)$$

erforderlich. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei der beschleunigten Bewegung (Senkungslinie, Abb. 51). In diesem Falle wird h_2 negativ, h also größer als bei

der gleichförmigen Bewegung. Sofern nun für die Strecken l h_2 sehr klein wird, kann man auch die Stau- und Senkungslinien nach Gl. (59) berechnen ($h_2 = 0$). Bei der verzögerten Bewegung kommt noch hinzu, daß ein erheblicher Teil der freiwerdenden lebendigen Kraft durch die auftretenden inneren Bewegungen des Wassers verbraucht wird. Namentlich bei Senkungslinien kann jedoch die Anwendung der Gl. (92) notwendig werden. Jedenfalls sollte man sich bei jeder Senkungslinienberechnung davon überzeugen, ob die Werte h_2 der einzelnen Teilstrecken so klein sind, daß sie unbedenklich vernachlässigt werden können.

Zur Berechnung einer Stau- oder Senkungslinie müssen die Querschnitte des Wasserlaufes, sein Sohlengefälle, die sekundliche Abflußmenge Q und die Wassertiefe t_0 an der Stau- oder Senkungstelle bekannt sein. Man nimmt dann für die erste Teilstrecke (Abb. 50) den Wert $h = h_1$ zunächst an und prüft durch Gl. (90), ob h richtig gewählt wurde. Ist das nicht der Fall, muß die Rechnung wiederholt werden. In dieser Weise wird eine Teilstrecke nach der anderen berechnet. Die Werte F , p und c der Gl. (90) sind stets auf den mittleren Querschnitt der ganzen Teilstrecke l zu beziehen. Je geringer das Sohlengefälle des Wasserlaufes ist, um so länger kann l genommen werden. Es empfiehlt sich, die erste Teilstrecke l an der Stau- oder Senkungstelle zunächst versuchsweise 10 bis 20mal so groß anzunehmen wie die Breite des gestauten oder gesenkten Wasserspiegels. Die genaue Rechnung nach Gl. (92) wird in gleicher Weise durchgeführt, indem man h annimmt und die Richtigkeit der Annahme durch Proberechnung prüft.

Ist die Wasserspiegellinie des ungestauten Flusses bei dem Abfluß Q_0 (m^3/s) bekannt, so kann man wie folgt verfahren (219): Nach Gl. (90) ist dann

$$h_0 = \frac{Q_0^3 \cdot p_0 \cdot l}{c_0^3 \cdot F_0^3}.$$

Für dieselbe Strecke l des gestauten Flusses und den Abfluß Q gilt

$$h = \frac{Q^2 \cdot p \cdot l}{c^2 \cdot F^3}.$$

Daraus folgt:

$$h = \left(\frac{c_0 \cdot F_0 \cdot Q}{c \cdot F \cdot Q_0} \right)^2 \cdot \frac{R_0}{R} \cdot h_0. \quad (93)$$

Bemerkenswert ist, daß in dieser Gleichung nicht die Beiwerte c , sondern nur die Verhältniszahlen $c_0 : c$ auftreten, so daß Fehler in der Wahl von c ganz oder zum Teil ausgeglichen werden.

Rühlmann und Tolkmitt haben Feinteil- (Differential-) Gleichungen der Staulinie aus Gl. (90) abgeleitet, also unter der vereinfachenden Annahme $v_1 = v_2$. Ferner nehmen sie die c -Werte für den ungestauten (c_0) und für den gestauten Querschnitt (c) gleich groß an, was ungenau ist. Die Rühlmannsche Gleichung für rechteckige Querschnitte enthält außerdem die ungenaue Annahme $p_0 = p$, die Tolkmittsche für Parabelquerschnitte die Annahme: benetzter Umfang = Wasserspiegelbreite. Die Staulinien werden mit Hilfe von Zahlentafeln berechnet, die sich jedoch wegen der ungenauen Annahmen im allgemeinen nur für Überschlagrechnungen eignen.

Für Überfälle gelten folgende Gleichungen:

1. Vollkommener Überfall (Abb. 40)

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \{ (h + k)^{3/2} - k^{3/2} \} \quad (94)$$

$k = \frac{v^2}{2g}$; b = Wehrbreite. Es sind zu setzen: b und h in m, v in m/s, Q in m^3/s .

Wenn v klein ist, $k = 0$. Der Beiwert μ kann bei Wehren ohne seitliche Einschnürung des Überfalles zu 0,6 bis 0,7 angenommen werden, sofern es sich um überschlägliche Rechnungen handelt. Dabei gelten die kleineren Werte für

scharfe, die größeren für gut abgerundete Wehrrücken. Der Raum unter dem Strahl ist zu belüften. Bei genaueren Rechnungen sind die Ergebnisse der im Schrifttum (81 und 220) angegebenen Versuche zu berücksichtigen. So fand z. B. Rehbock für Schußwehre mit lotrechter Stauwand, einem unter 3 : 2 geneigten Abschußboden und einer nach einem Kreisbogen gekrümmten Krone vom Halbmesser r (Abb. 52)

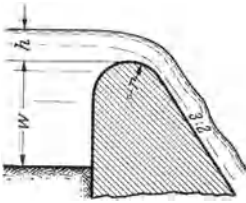


Abb. 52. Schußwehr.

$$\mu = 0,31 + \sqrt{0,3 - 0,01 \left(5 - \frac{h}{r}\right)^2} + 0,09 \frac{h}{w} \quad (95)$$

mit den Gültigkeitsgrenzen

$$w > r > 0,02 \text{ m}, \quad h < r \left(6 - \frac{20r}{w + 3r}\right).$$

Wird h größer als der vorstehende Wert, so löst sich der Wasserstrahl vom Wehrkörper, und μ wird plötzlich erheblich kleiner.

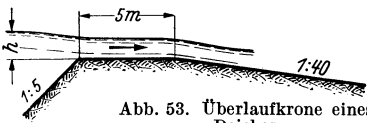


Abb. 53. Überlaufkrone eines Deiches.

Über Meßwehre vgl. man die Ausführungen auf S. 118.

Über die Leistungsfähigkeit von Überlaufkronen in Deichen hat die Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau 1916 Versuche durchgeführt. Da-

bei ergaben sich für Gl. (94) folgende μ -Werte bei rauher Böschung und Krone, letztere waagrecht (Abb. 53):

$h = 10 \text{ cm}$	$\mu = 0,42$	$h = 40 \text{ cm}$	$\mu = 0,51$
20 cm	0,48	60 cm	0,53
30 cm	0,50		

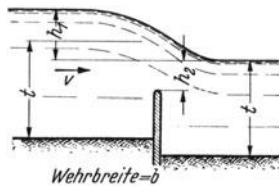


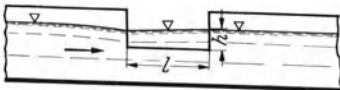
Abb. 54. Unvollkommener Überfall.

Der Wert μ steigt für $h = 10$ bis 60 cm auf 0,57, wenn die Krone eine Querneigung 1 : 100 nach rechts erhält. Bei schräger Anströmung des Überlaufes ist der senkrecht zum Überlauf gerichtete Seitenteil der Wassergeschwindigkeit als v in Gl. (94) einzusetzen.

2. Unvollkommener Überfall (Abb. 54)

$$Q = \mu \cdot b \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} \left[(h_1 + k)^{3/2} - k^{3/2} \right] + h_2 \cdot \sqrt{h_1 + k} \right\}. \quad (96)$$

Die Bezeichnungen wie oben. Näherungswerte für μ sind folgende:



Bei einer Grundschwelle mit lotrechten Zwischenpfosten für beweglichen Aufsatz . . . 0,60 bis 0,65
Bei einem Grundablaß 0,75 „ 0,85

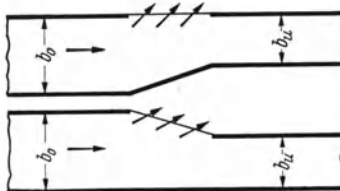


Abb. 55. Streichwehr.

3. Streichwehr (Abb. 55). Engels fand durch Versuche für rechteckige Gerinne (34) die Gleichung

$$Q = 2,95 \mu \cdot l^{0,9} \cdot h^{1,6} \quad (97)$$

l und h in m, Q in m^3/s . Die Gleichung wurde abgeleitet für sich verengende Gerinne mit dem Verhältnis $b_u : b_0 = \frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ und unter der Voraussetzung, daß das Wasser unterhalb des Streichwehres mit gleichförmiger Geschwindigkeit abfloß.

Der Wehrrücken lag gleichlaufend mit der Gerinnesohle. Die Neigung der Schrägwand betrug $1 : \frac{3}{4}$ bis $1 : 40$. Der Wert μ hängt von der Form des Wehrrückens ab (s. oben). Für $b_u = b_0$ ergab sich

$$Q = 2,95 \mu \cdot l^{0,83} \cdot h^{1,67}. \quad (98)$$

Den durch Brücken entstehenden Stau kann man nach Rehbock (163) wie folgt ermitteln:

$$h = \delta \cdot \frac{f}{F} \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{99}$$

h = Stau in m über dem Wasserspiegel des unverbauten und ungestauten Flusses (Abb. 56).
 f = verbauter Teil des ungestauten Flußquerschnittes in m² (gestrichelter Teil der Abb. 56).
 F = Querschnitt des unverbauten und ungestauten Flusses in m².
 v = mittlere Geschwindigkeit des Querschnittes F in m/s.
 g = 9,81 m/s².
 δ ist von der Pfeilerform abhängig und aus Abb. 57 zu entnehmen. Bei den Versuchen war die Pfeilerlänge $l = 6,67 d$. Voraussetzung der Gl. (99) ist, daß das Wasser strömt und nicht schießt, was in den meisten Fällen zutrifft (S. 119).

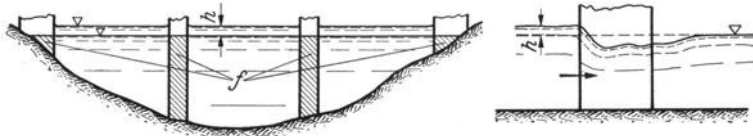


Abb. 56. Brückenstau.

Für den Stau h vor einem Rechen fanden Kirschmer und Spangler folgende Werte in m (Abb. 58):

$$h = \beta \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \sin \delta \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{100}$$

Diese Gleichung gilt für den Fall, daß der Rechen senkrecht angeströmt wird, wie es bei Schöpfwerken die Regel ist. Der Beiwert β ist von der Form der Rechenstäbe abhängig (Abb. 59):

Rechenform	a	β	2,42
	b		1,67
	c		0,92
	d		1,79

Bei schräger Anströmung, $\frac{b}{s} = 1,7$ und $\delta = 90^\circ$ ergaben sich für die Gleichung

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g} \tag{101}$$

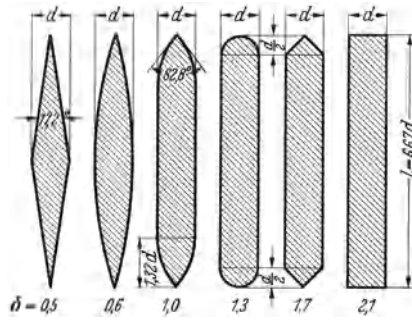


Abb. 57. Pfeilerformen.

folgende Werte ζ :

Zahlentafel 70.			
α	Form der Rechenstäbe		
	a	b	c
30	1,46	0,71	0,68
45	2,05	1,29	1,29
60	4,26	2,81	3,05

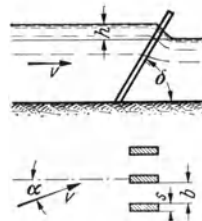


Abb. 58. Rechenstau.

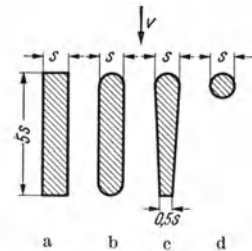


Abb. 59. Formen der Rechenstäbe.

4. Die Größe des Abflusses.

Die Größe des Abflusses ist eine der wichtigsten Grundlagen für viele wasserbaulichen Berechnungen. Sie wird hauptsächlich dargestellt:

1. in mm Abflußhöhe A vom gesamten Niederschlagsgebiet während einer bestimmten Zeit (Jahr, Winter, Sommer, Monat);
2. in mittleren Abflußspenden Mq (l/s · km²) während einer bestimmten Zeit (entsprechend MQ);

3. in Abflußspenden ($l/s \cdot km^2$) bei einem bestimmten Wasserstande: $qMNW$ (entsprechend $QMNW$), qMW (entsprechend QMW) usw.

Zwischen A und Mq bestehen, beide Größen auf den gleichen Zeitraum bezogen, folgende Beziehungen:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Jahr (365 Tage) } Mq = 0,0317 \cdot A \\ \text{Winter (November bis April) } = 0,0639 \cdot A \\ \text{Sommer (Mai bis Oktober) } = 0,0629 \cdot A \\ \text{Monat von 31 Tagen } = 0,3734 \cdot A \\ \text{„ „ 30 „ } = 0,3858 \cdot A \\ \text{„ „ 28 „ } = 0,4134 \cdot A \end{array} \right\} (102)$$

Die Jahresabflußhöhe A läßt sich nach den Gl. (25) bis (28) aus der Jahresniederschlagshöhe N überschläglich ermitteln. Im großen Durchschnitt ist also auch Mq von N abhängig, wie es in Abb. 60 dargestellt ist. Für verschiedene Flußgebiete gibt Zahlentafel 71 die durch Messungen ermittelten Werte Mq (41, 20):

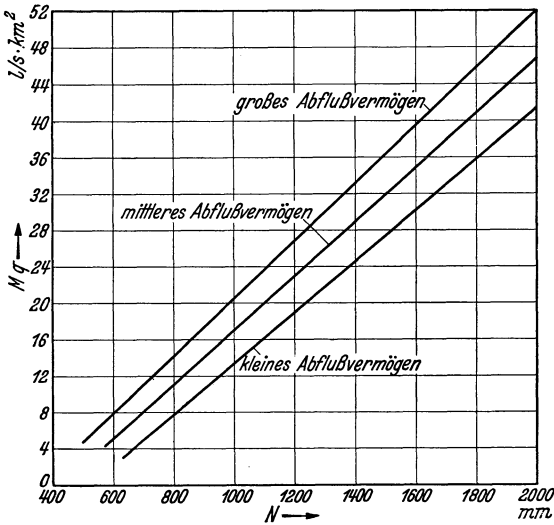


Abb. 60. Mittlere Abflußspenden.

Nr. 1 bis 5: im wesentlichen Flachland.

Nr. 6 bis 16: Mittelgebirg- und Hügelland, teilweise auch Flachland.

Nr. 18: reines Gebirgland.

Nr. 17, 19 bis 21: Gebiete mit alpinem Anteil.

Untersuchungen *Rothes* (S. 97) führten in einem Niederungsgebiet von $180 km^2$ zu folgenden mittleren Abflußspenden Mq in $l/s \cdot km^2$: Jahr 5,5, Winter 9,3 und Sommer 1,9. Infolge des hohen Grundwasserstandes tritt hier im Sommer eine sehr starke Verdunstung ein.

Nach den Feststellungen *Bertrams* (6, 108) wurden im Mittel der 6 Jahre 1919—1924 aus 8 Poldern des Danziger Werders im Jahresdurchschnitt 227 mm abgepumpt, Mq war also $= 7,2 l/s \cdot km^2$. Diese Zahl enthält allerdings auch das Drängewasser. Die Polder sind etwa 300 bis 1400 ha groß, alles Wasser muß künstlich gehoben werden. Der Boden besteht in der Hauptsache aus Schlick über Sand. Der mittlere Jahresniederschlag der 6 Jahre betrug 512 mm.

Die Abflußspenden q bei den verschiedenen Wasserständen lassen sich überall dort leicht berechnen, wo seit längerer Zeit Pegelbeobachtungen stattgefunden haben und das Abflußgesetz des Pegels bekannt ist. Zahlentafel 72 enthält eine Reihe von q -Werten nach den Berechnungen der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde.

Sofern keine Beobachtungen vorliegen, bleibt nur übrig, die Abflußspenden q zu schätzen. Am leichtesten ist das durchzuführen für die Abflußspende bei MW . Je ausgeglichener der Abfluß eines Wasserlaufes ist, um so näher liegt qMW bei Mq . Mangels anderer Unterlagen kann man für den Jahresdurchschnitt schätzungsweise annehmen:

$$qMW = 0,8 (Mq + 1). \tag{103}$$

Weyrauch gibt für qMW folgende Zahlen (220, 253), die jedoch nur einen Anhalt für die ungefähre Größenordnung gewähren sollen:

- Flachland = 4 bis $8 l/s \cdot km^2$. Hügelland = 5 bis $12 l/s \cdot km^2$.
- Mittelgebirge = 6 bis $16 l/s \cdot km^2$. Hochgebirge = 10 bis $30 l/s \cdot km^2$.

Zahlentafel 71.

Nr.	Flußgebiet	km ²	Jahre	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Winter	Sommer	Jahr
1	Dahme bei Neue Mühle	1 410	1902—1910	3,1	3,7	3,7	4,1	4,9	4,2	3,7	2,7	2,6	3,0	2,7	2,6	4,0	2,9	3,4
2	Peene, Mündung	5 099	1896—1910	2,7	3,4	4,1	4,1	6,3	5,8	4,1	2,7	2,6	3,0	3,1	3,0	4,4	3,1	3,7
3	Warthe bei Landsberg	51 893	1896—1905	2,7	3,6	3,9	4,9	6,0	6,1	5,3	2,9	2,6	2,6	2,3	2,5	4,5	3,1	3,8
4	Havel bei Rathenow	19 500	1902—1910	2,7	3,7	4,5	5,3	6,0	5,8	4,9	3,1	2,6	2,6	2,7	3,0	4,7	3,1	3,9
5	Spree bei Beeskow	6 353	1902—1910	3,5	4,1	4,9	5,8	6,0	5,0	3,4	2,7	2,2	2,6	3,1	3,4	4,9	2,9	3,9
6	Saale bei Trebnitz	18 850	1882—1901	4,6	5,6	5,6	7,4	10,5	6,9	5,2	3,9	4,1	2,6	3,5	4,1	6,8	3,9	5,3
7	Main bei Wertheim	20 605	1901—1910	5,0	7,5	8,6	9,9	10,8	8,1	5,6	4,2	4,1	3,7	3,5	4,1	8,3	4,2	6,2
8	Weser unterhalb der Diemel	14 825	1896—1915	6,8	10,6	11,9	14,1	16,3	11,1	8,4	5,4	4,7	4,2	4,4	4,9	11,8	5,3	8,5
9	Glatzer Neiße, Mündung	4 534	1822—1910	6,0	7,1	7,5	9,9	12,1	13,7	11,7	9,3	7,7	6,8	5,5	5,3	9,3	7,7	8,5
10	Jagst, Mündung	1 832	1888—1898	6,3	9,0	9,8	16,6	18,1	11,3	8,0	6,8	5,1	4,1	4,6	7,4	11,8	6,0	8,9
11	Bober, Mündung	5 938	1896—1905	6,2	7,9	8,8	11,2	12,0	13,2	14,2	7,3	6,4	8,2	7,2	6,4	9,8	8,3	9,1
12	Kocher, Mündung	1 989	1888—1898	7,4	10,1	10,9	18,6	18,6	10,3	8,6	7,6	5,6	5,3	6,6	8,6	12,6	7,0	9,8
13	Oder bei Ratibor	6 737	1896—1905	7,5	7,3	6,5	10,0	13,2	16,7	13,2	9,0	10,5	9,6	7,0	7,5	10,2	9,5	9,9
14	Mulde bei Golzern	5 430	1910—1919	6,6	14,6	17,5	11,9	17,5	14,3	9,3	6,6	7,5	7,1	6,2	6,3	13,8	7,2	10,5
15	Main bei Mainleus	1 170	1901—1910	9,6	14,9	16,8	19,3	21,3	13,5	9,3	7,7	9,7	10,1	9,3	9,0	15,9	9,2	12,5
16	Ruhr bei Mülheim	4 432	1891—1915	20,4	27,9	29,7	32,9	34,6	23,3	16,3	10,1	9,8	9,5	10,3	12,5	28,1	11,4	19,7
17	Isar bei Landau	8 478	1901—1910	15,4	15,3	13,8	13,5	17,2	27,4	27,6	25,5	27,3	24,3	23,9	18,3	17,1	24,5	20,8
18	Enz beim Lautenhof (Schwarzwald)	85	1856—1915	16,2	23,5	25,4	20,5	34,3	35,1	27,3	18,1	16,4	13,4	19,3	23,9	25,9	19,8	22,8
19	Rhein bei Basel	35 929	1808—1925	22,0	20,5	18,4	18,0	21,1	26,9	34,7	42,4	42,2	37,5	31,4	25,6	21,2	35,6	28,4
20	Iller bei Wiblingen	2 192	1901—1910	16,6	18,3	17,9	15,6	25,0	44,8	46,3	42,8	35,5	30,2	27,0	21,3	23,1	33,8	28,5
21	Iller bei Sonthofen	401	1901—1910	23,9	21,3	22,0	17,6	29,5	76,4	93,7	82,6	59,4	53,4	42,8	31,7	31,8	60,6	46,3

Zahlentafel 72.

Nr.	Strom- gebiet	Gewässer	Pegel	Nieder- schlag- gebiet km ²	Zeitraum	Abflußspenden in l/s · km ² bei			Bemerkungen
						MNW	MW	MHW	
1	Memel	Ruß	Schanzen- krug	91338	1896—1915	2,1	5,5	46,0	Nach der Ab- flußmengen- linie von 1909
2	Weichsel	Weichsel	Montauer- spitze	193009	1896—1910	1,8	5,0	17,6	
3	Oder	Oder	Hohensaaten	109564	1896—1915	2,4	4,9	14,1	
4	"	"	Frankfurt	53580	1896—1920	2,1	5,5	19,4	
5	"	"	Steinau	29605	1896—1910	1,9	5,9	35,0	
6	"	"	Ratibor	6698	1896—1915	1,9	9,0	87,0	
7	"	Warthe	Landsberg	51893	1896—1910	1,7	3,65	9,3	
8	"	"	Schwerin	31039	1926—1930	1,8	4,3	12,2	
9	"	Netze	Vordamm	15872	1926—1930	2,7	5,1	10,4	
10	"	Lausitzer	Guben	3936	1896—1930	4,1	8,9	47,0	
	"	Neiße							
11	"	Ihna	Gollnow	2095	1926—1930	2,2	5,6	16,5	Werte bei gewöhnlichem Stau
12	"	Malapane	Luboschütz	1463	1926—1930	(0,35) ¹	5,7	46,0	
13	Elbe	Elbe	Wittenberge	123532	1896—1930	2,0	5,1	15,9	
14	"	"	Torgau	55162	1896—1915	1,61	5,87	26,1	
15	"	Saale	Grizehne	23737	1896—1915	1,39	4,62	19,7	
16	"	Havel	Rathenow	19329	1896—1915	1,72	4,09	7,42	
17	"	Spree	Kottbus	2327	1906—1930	1,7	4,8	30,2	
18	"	Bode	Athensleben	3000	1896—1915	0,76	4,46	16,1	
19	"	Oste	Minstedt	676	1931—1935	2,2	5,8	40,0	
20	Weser	Weser	Intschede	37906	1931—1935	2,7	6,1	21,2	
21	"	"	Gieselwerder	12670	1901—1930	2,4	7,8	45,4	
22	"	Aller	Westen	15221	1926—1930	3,2	6,8	24,6	
23	"	Werra	Eschwege	4606	1901—1930	2,6	8,7	37,3	
24	"	Schwalm	Treysa	549	1896—1925	(1,1)	(5,5)	(65,6)	
25	Ems	Ems	Greven	2898	1896—1925	0,8	6,4	48,0	
26	"	Hase	Herzlake	2307	1926—1930	1,4	6,3	49,0	
27	Rhein	Rhein	Wesel	154528	1926—1930	6,6	13,7	(44,0)	
28	"	"	Kaub	103729	1896—1930	7,0	15,0	39,0	
29	"	"	Maxau	50343	1926—1930	10,0	24,0	61,0	
30	"	Lahn	Leun	3594	1906—1910	1,4	8,4	(94,0)	
31	"	Mosel	Kochem	27100	1896—1930	2,1	9,8	(69,0)	
32	Ostsee	Leba	Lauenburg	436	1897—1915	(6,0)	9,0	22,2	Ohne 1914 Ohne 1925
33	"	Persante	Bartin	2944	1921—1930	(4,5)	8,5	—	
34	Nordsee	Treene	Treia	480	1932—1935	(1,5)	9,8	(36,5)	

Zahlentafel 71 führt mittels Gl. (103) zu folgenden Werten q_{MW} :

Flachland = 3,5 bis 4 l/s · km². Hochgebirge = 17 bis 38 l/s · km².

Hügelland und Mittelgebirge = 5 bis 17 l/s · km².

Die Abflußspenden bei *NNW*, *NW*, *HW* und *HHW* schwanken je nach der Beschaffenheit des Einzugsgebietes und den Witterungsverhältnissen so erheblich, daß allgemein gültige Angaben nicht möglich sind. Zwar hat es nicht an Versuchen in dieser Richtung gefehlt (33, 165 und 220, 262), sie haben aber nicht zu brauchbaren Ergebnissen geführt. Man muß vielmehr bei Entwurfbearbeitungen stets die örtlichen Verhältnisse ermitteln und berücksichtigen. Im Schrifttum finden sich zwar zahlreiche Angaben für größere Flußgebiete (47, 1176 und 220, 256), im landwirtschaftlichen Wasserbau handelt es sich aber in der Regel um kleine Gebiete von einigen 100 bis 1000 ha, für die außer q_{MW} die Abflußspenden für Sommer- und Winterhochwasser von besonderer Bedeutung sind. Obwohl im Sommer mehr Niederschläge fallen als im

¹ Die eingeklammerten Zahlenwerte sind unsicher.

Winter, sind doch die Abflußspenden der Winter- (Frühjahrs-) Hochwasser größer als die der Sommerhochwasser, da im Winter wenig Wasser verdunstet sowie Eis und Schnee aufgespeichert werden. Die *HW*-Abflußspenden sind für kleine Teilgebiete *f* meistens wesentlich andere als für das gesamte Flußgebiet *F*, dem das kleine angehört (Abb. 61). Sie werden durch folgende Umstände beeinflusst:

1. Größe und Form des Gebietes. Je kleiner das Niederschlagsgebiet *f* ist, um so eher kann es ganz durch einen Starkregen bestrichen werden, während in großen Gebieten stets nur eine Teilfläche den Starkregen erhält. Kleine Gebiete liefern daher stärkere *HW*-Spenden als große.

In fächerförmigen Gebieten ist die *HW*-Spende größer als in langgestreckten (Abb. 61), da in ersteren das abfließende Wasser fast gleichzeitig unten ankommt, in letzteren aber zum Teil eine Abflußverzögerung erfährt.

Liegt der Fluß hart an einer Wasserscheide, während das Sammelgebiet nach der anderen Seite breite Ausdehnung hat, so gelangen die Abflußmengen von der schmalen Seite schneller in den Fluß als von der breiten. Der Niederschlag von beiden Seiten fließt also nacheinander ab und erzeugt daher ein geringeres Hochwasser, als wenn der Fluß das Sammelgebiet in der Mitte durchzieht.

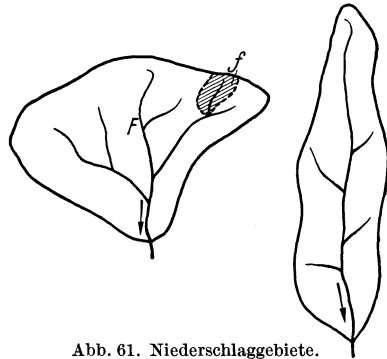


Abb. 61. Niederschlagsgebiete.

2. Oberflächengestaltung und Bodenbeschaffenheit. In flachem Gelände ist der Oberflächenabfluß gering oder vollzieht sich doch langsam, so daß ein erheblicher Teil der Niederschläge bei leicht durchlässigem Boden versickert, bei schwer durchlässigem verdunstet. Die Versickerung hat eine starke Abflußverzögerung zur Folge. Nur bei Platzregen oder plötzlich einsetzender Schneeschmelze kann auch in flachen Gebieten ein erheblicher Oberflächenabfluß eintreten, wenn zahlreiche Gräben vorhanden sind. Umgekehrt liefern steile Hänge im allgemeinen einen starken oberirdischen Abfluß, besonders dann, wenn auch der Boden noch schwer durchlässig ist. Hat aber ein Hang leichten Boden, so können waagerechte Ackerfurchen einen großen Teil der Niederschläge zur Versickerung bringen. Je flacher das Gebiet ist, um so kleiner wird im großen Durchschnitt unter sonst gleichen Umständen die *HW*-Spende.

Seen, Staubecken und Überschwemmungsgebiete verzögern den Abfluß um so mehr, je größer ihre Oberfläche oder ihr Fassungsraum im Verhältnis zum Gesamtgebiet ist, sie ermäßigen die *HW*-Spenden oft sehr erheblich.

Ist das Gebiet stark durch offene Gräben aufgeschlossen oder soll dies durch die geplante Entwässerung geschehen, so erfolgt der Abfluß in flachen Gebieten wesentlich schneller, als wenn es an Gräben fehlt. Die Folge ist eine Vergrößerung der *HW*-Spenden. Gelände mit vielen abflußlosen Mulden bewirkt das Gegenteil.

3. Pflanzenbestand und Grundwasserstand. Ein üppiger Pflanzenbestand verbraucht viel Wasser durch Blattverdunstung, er entzieht daher dem Boden große Wassermengen und macht ihn dadurch wieder aufnahmefähig für neues Sickerwasser. Wald in flachem oder schwach hängigem Gelände verhindert den Oberflächenabfluß oft gänzlich. Dagegen verringert ein sehr hoher Grundwasserstand die Versickerung erheblich, fördert also den oberirdischen Abfluß und vergrößert die *HW*-Spenden, wenn nicht das Gelände fast waagrecht und ohne Gräben ist.

4. Witterung. Je größer die mittlere Jahresniederschlagshöhe ist, um so größer sind im allgemeinen auch die *HW*-Spenden im Sommer, wenn es sich um größere Niederschlaggebiete handelt, die bei Dauerregen zu Hochwasser neigen. Weniger trifft dies zu in kleinen Gebieten, in denen die sommerlichen *HW*-Spenden namentlich durch die Größe der Platzregen bestimmt werden (Ziffer 1), die nicht so sehr von der Jahresniederschlagshöhe abhängig ist. Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge ist insofern von Bedeutung, als z. B. eine verhältnismäßig große sommerliche Niederschlagshöhe die Sommerhochwasser erhöht. Dieselbe Regenhöhe erzeugt einen stärkeren Abfluß, wenn sie hintereinander, als wenn sie in viele Einzelregen über einen längeren Zeitraum verteilt fällt.

Strenge Winter mit schnell einsetzendem Tauwetter im Frühjahr vergrößern das Frühjahrshochwasser, da der in den unteren Schichten noch gefrorene Boden die Versickerung stark erschwert.

Wind begünstigt die Verdunstung und ermäßigt somit in größeren Gebieten die *HW*-Spenden, die hier namentlich durch Dauerregen entstehen.

Ganz allgemein ist zur Frage der Hochwasserspenden noch darauf hinzuweisen, daß die Wasserführung eines Flusses um so gleichmäßiger ist, je mehr er aus

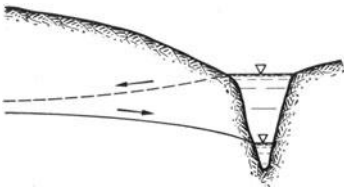


Abb. 62. Wechselwirkung zwischen Grund- und Flußwasser.

dem Grundwasser, um so ungleichmäßiger, je mehr er durch Oberflächenabfluß gespeist wird. Starke Grundwasserspeisung gibt geringe, starker Oberflächenabfluß große *HW*-Spenden. Die unterirdische Speisung vollzieht sich natürlich nur solange, wie das umgebende Grundwasser höher steht als das Wasser im Flusse (Abb. 62). Steigt das Flußwasser über diesen Stand, so findet ein Abfluß ins Grundwasser statt, es wird Grundwasser gespeichert. Die *HW*-

Spenden pflegen im Oberlauf desselben Flußgebietes größer als im Unterlauf zu sein, bisweilen ist der Unterschied sogar recht erheblich. Die Gründe dafür sind nach den obigen Ausführungen leicht zu erkennen.

Ist der Stand eines früheren Hochwassers in einer Flußniederung durch Hochwassermarken auf eine ausreichend lange Strecke so festgelegt, daß man das damals vorhanden gewesene Wasserspiegelgefälle noch mit genügender Genauigkeit feststellen kann, so bietet sich unter Umständen die Möglichkeit, den sekundlichen Abfluß Q auf einer nicht zu unregelmäßigen Abflußstrecke aus Gl. (59) und daraus die Abflußspende q überschläglich zu berechnen.

Bisweilen kann man bei der Ermittlung der Abflußspenden auch die Erfahrungen benutzen, die in anderen Flußgebieten unter ähnlichen Verhältnissen gewonnen sind. Doch ist dabei hinsichtlich der *HW*-Spenden die größte Vorsicht erforderlich, da diese, besonders in kleinen Niederschlaggebieten, je nach den örtlichen Verhältnissen außerordentlich verschieden sind. So liegt z. B. im norddeutschen Flachland $qMHW$ im allgemeinen zwischen 30 und 80, in Oberbayern bei 1200 bis 1700 mm Jahresniederschlag zwischen 250 und 600 $l/s \cdot km^2$. Daher lassen sich die *HW*-Spenden nur auf Grund eingehender örtlicher Erfahrungen zutreffend einschätzen.

Die Werte $qHWH$ schwanken noch weit mehr, etwa zwischen 300 (Flachland) und rund 10000 $l/s \cdot km^2$ (Hochgebirge).

Für $qMNW$ kann man nach Weyrauch (220, 253) im großen Durchschnitt etwa annehmen:

- Flachland = 0,5 bis 2 $l/s \cdot km^2$,
- Hügelland = 1 bis 2 $l/s \cdot km^2$,
- Mittelgebirge = 2 bis 4 $l/s \cdot km^2$,
- Hochgebirge = 4 bis 10 $l/s \cdot km^2$.

Das Verhältnis $\alpha = A : N$ bezeichnet man als Abflußverhältnis oder Abflußzahl. Da man zur Berechnung von A aus N am zweckmäßigsten die Kellerschen Gleichungen benutzt (S. 95), soll auf die Werte α hier nicht näher eingegangen werden. Für deutsche Verhältnisse liegt α im Mittel vieler Jahre etwa zwischen 20% (Flachlandflüsse wie Havel) und 70% (Alpenflußgebiete wie Iller).

5. Die Sinkstoffe.

Die dem Wasser beigemengten Stoffe bestehen aus organischen und mineralischen Bestandteilen. Die ersteren entstammen den organischen Lebensresten, die letzteren entstehen durch Abbrüche aus dem Flußbette und durch Verwitterung, z. B. durch die sprengende Einwirkung des Frostes auf das im Sammelgebiet vorhandene Gestein. Es finden sich in einem Flusse Stücke der verschiedensten Größe, vom Felsblock bis zum feinsten Sandkorn. Man gebraucht für diese Beimengungen den Ausdruck Geschiebe oder Sinkstoffe und versteht unter jenen meist die gröberen Bestandteile, unter diesen die feineren. Letztere nennt man auch Schwebestoffe, solange sie in dem bewegten Wasser schwebend erhalten werden, um bei abnehmender Wassergeschwindigkeit zu Boden zu sinken. Die mineralischen Teile sind schwerer als die organischen.

Das Gewicht der auf 1 m² der Sohle ruhenden Wassersäule von der Tiefe T ist $G = 1000 \cdot T$ in kg (Abb. 63). Davon wirkt stromabwärts die dem Wasserspiegel gleichgerichtete Seitenkraft $S = G \cdot \sin \alpha$. Da α stets sehr klein ist, kann man statt $\sin \alpha$ auch $\text{tg } \alpha$ setzen, so daß

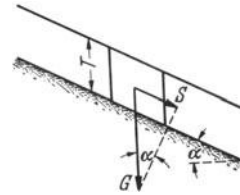


Abb. 63. Schleppekraft.

$$S = 1000 \cdot T \cdot J. \tag{104}$$

Man nennt S die Schleppekraft (Räumungskraft) und benutzt sie als Maßstab für die Kraft, mit der die Sohlenteilchen des Flusses stromabwärts getrieben werden. S wird in kg/m², T in m ausgedrückt. Bei gleichbleibendem J wächst S mit zunehmender Wassertiefe T und erreicht bei einer bestimmten Tiefe T_0 den Grenzwert S_0 , der eine allgemeine Bewegung des Geschiebes einleitet. Je größer das Geschiebe, d. h. je größer sein mittlerer Durchmesser ist, um so größer muß T werden, bis die Geschiebebewegung eintritt. Für gleichkörniges Geschiebe mit dem Durchmesser d hat Krey die Beziehung abgeleitet

$$S_0 = 1000 \cdot T_0 \cdot J = 125 \cdot d. \tag{105}$$

Der Korndurchmesser d ist in m einzusetzen, bei ungleichkörnigem Geschiebe näherungsweise als mittlerer Durchmesser. Für die Grenzsleppekraft S_0 sind gelegentlich folgende Werte ermittelt worden (kg/m²):

Feiner Sand	0,2 bis 0,6	Feines Gerölle (bis 50 mm Durchmesser)	3 bis 4
Grober Sand	0,6 „ 1,0	Mittleres Gerölle	5
Feiner Kies	0,8 „ 1,1	Grobes Gerölle (bis 100 mm Durchmesser)	6
Lehmiger Kies	1,5 „ 1,8		
Kies (etwa 15 mm Durchmesser)	1,5 „ 2,0		
Rasen (auf kurze Zeit)	2,0 „ 2,5		

Mit wachsender Geröllstärke wird S_0 noch wesentlich größer. Der Grenzwert S_0 wird auch durch den Schweb- und Sinkstoffgehalt des Wassers beeinflusst.

Die Frage der Geschiebebewegung in Wasserläufen ist noch keineswegs geklärt. Auch dürfen die vorstehenden Angaben über die Werte S_0 nicht dazu benutzt werden, um die größte zulässige Wassertiefe eines Grabens zu bestimmen. Eine gewisse Geschiebebewegung kann und muß zugelassen werden. Man würde z. B. für $J = 2\text{‰}$ und $S_0 = 0,5$ eine größte zulässige Wassertiefe T_0 von nur 0,25 m erhalten. Der Wert S_0 kann aber in größeren Wasserläufen der

Prüfung dienen, ob die Schleppkraft zwischen Brücken- oder Wehrpfeilern das zulässige Maß überschreitet.

Durch die Bewegung der Geschiebe wird ein Teil der lebendigen Kraft des Wassers verbraucht, was eine Verminderung der mittleren Wassergeschwindigkeit zur Folge haben muß. Die näheren Zusammenhänge bedürfen noch der Klärung.

Flußabwärts wird T größer und J kleiner, doch nimmt J schneller ab als T zunimmt. Daher wird S dauernd kleiner, je mehr man sich der Mündung eines Flusses nähert. Daraus folgt, daß sich im Oberlauf die größten Geschiebe ablageren, und daß ihr Durchmesser nach dem Unterlaufe zu immer kleiner wird. Die feinsten Teilchen werden bis ins Meer getragen und bilden an dessen Küsten den Schlick-, Klai- oder Marschboden. Ferner lagern sie sich bei Hochwasser auf den überschwemmten Vorländern der Flüsse ab, wo sie für die Düngung des Grünlandes sehr wertvoll sind. Auch die Forschung über die Schwebstoffbewegung befindet sich noch in den Anfängen.

Die Menge der bei verschiedenen Wasserständen von den Flüssen mitgeführten Sink- und Schwebstoffe wechselt außerordentlich. Sie ist bei weitem am größten bei Hochwasser, nicht nur für den ganzen Fluß, sondern auch je m^3 Wasser.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Richtigkeit der Schleppkraftformel (104) umstritten ist. So fand Engels durch Versuche, daß S annähernd verhältnismäßig dem Quadrat der mittleren Wassergeschwindigkeit ist, und zwar kleiner als $1000 \cdot T \cdot J$.

E. Die Winde.

1. Messung der Windgeschwindigkeiten.

Man mißt die Windgeschwindigkeiten mit den Windmessern (Anemometern, nach dem griechischen Wort anemos = Wind). Auf unseren Wetter-

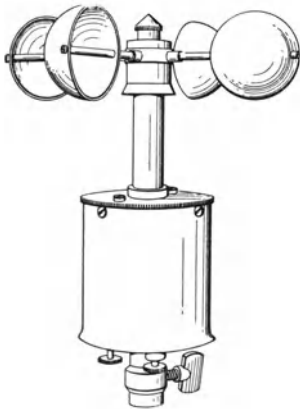


Abb. 64. Schalenkreuz-Windmesser.

warten wird heute fast ausschließlich der Schalenkreuz-Windmesser verwendet, der aus 4 halbkugelförmigen, kreuzweise angeordneten Schalen besteht (Abb. 64). Die Umdrehungen der senkrechten Achse werden auf einem durch ein Uhrwerk bewegten Papierstreifen verzeichnet, auf dem jedesmal nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen des Schalenkreuzes ein Strich gezeichnet wird. Die Schalenkreuz-Windmesser messen die mittlere Windgeschwindigkeit v_m in einer bestimmten Zeit t . Es besteht die Beziehung $v_m = a + b \cdot n$, worin a und b Festwerte sind, die durch Versuche gefunden werden müssen; n ist die Zahl der Umdrehungen in der min. Werden z. B. 100 Umdrehungen in t Sekunden gemacht, so ist $n = 6000/t$, daher

$$v_m = a + b \frac{6000}{t}. \text{ Da die Windstärke stets mehr oder}$$

weniger schnell wechselt, der Wind also stoßweise weht, und da die Leistung N der Windkraftmaschinen verhältnismäßig dem Werte v^3 ist [S. 242, Gl. (127)], so gibt die mittlere Windgeschwindigkeit v_m zu kleine Werte N . Das erkennt man an folgendem (rein rechnerischen) Zahlenbeispiel: Während 1 Stunde sei v je 15 min 2, 4, 6 und 8 m/s gewesen. Dann ergibt der Windmesser ein v_m von 5 m/s. Der wirkliche und der gemessene Winddruck verhalten sich daher wie $\frac{1}{4} (2^3 + 4^3 + 6^3 + 8^3) : 5^3 = 200 : 125$.

2. Die Stärke der Winde.

Für den Antrieb von Windkraftmaschinen ist nur die Stärke des Windes, nicht aber seine Richtung von Bedeutung (S. 242). Zu beachten ist, daß die Windgeschwindigkeit mit der Höhe über dem Boden zunimmt. Hellmann fand in Nauen folgende mittlere Windgeschwindigkeiten (75):

Höhe	2	16	32 m
Oktober bis März	3,73	5,14	5,84 m/s
April bis September	2,93	4,24	4,97 m/s

Den geringsten Widerstand findet der Wind über Wasserflächen. Je unebener die Erdoberfläche ist, um so mehr wird die Windgeschwindigkeit gebremst. So können Wälder die Windgeschwindigkeit stark herabsetzen. Durch die Bewegung der Bäume und ihrer Äste wird ein Teil der im Winde enthaltenen lebendigen Kraft verbraucht.

Über dem Lande hat man einen täglichen Kreislauf der Windgeschwindigkeit festgestellt. Nachts pflegt der Wind am schwächsten zu sein, er wird dann etwa von 7 bis 13 Uhr dauernd stärker, um nunmehr wieder abzufallen und etwa um 18 Uhr wieder unter das Tagesmittel zu sinken.

Die Küstengegenden der Nord- und Ostsee sind im allgemeinen windreicher als das Binnenland. Zahlentafel 73 gibt die Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten nach Tagen in den 20 Jahren 1901—1920 in Bremen (obere Zahlen) und Potsdam (untere Zahlen). Der Windmesser steht in Bremen 47 m und in Potsdam 41 m über dem Erdboden. Aus der letzten Spalte der

Zahlentafel 73.

Windgeschwindigkeit in m/s	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr
0,0— 0,9	— 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	— 2
1,0— 1,9	— 10	4 7	— 4	2 1	1 2	1 —	— —	— 1	5 8	6 9	3 10	— 8	1 23
2,0— 2,9	22 47	37 56	22 30	16 26	27 27	18 51	30 54	32 50	44 61	48 76	33 50	22 37	351 565
3,0— 3,9	47 60	71 93	62 97	81 117	102 148	115 151	153 163	112 146	123 147	87 122	80 95	57 80	1090 1419
4,0— 4,9	89 87	80 107	106 124	98 128	153 176	142 157	151 169	132 154	120 133	126 142	100 111	100 125	1397 1613
5,0— 5,9	91 103	89 99	105 131	110 134	140 153	135 142	110 121	145 122	124 113	107 124	92 116	102 116	1350 1465
6,0— 6,9	99 109	94 81	107 95	119 109	91 67	100 46	93 60	103 61	67 67	90 66	83 86	109 94	1155 941
7,0— 7,9	72 80	64 43	75 67	82 45	51 31	49 32	49 36	58 55	60 43	71 38	80 59	87 74	798 603
8,0— 8,9	77 57	52 35	55 37	54 16	33 9	31 13	20 11	23 23	43 9	46 25	57 33	62 44	553 312
9,0— 9,9	56 33	31 24	50 19	17 11	16 6	7 3	9 4	13 4	8 13	18 9	40 18	35 17	300 161
10,0—10,9	39 14	16 14	21 10	14 6	4 1	1 3	2 1	2 2	4 3	13 6	19 16	24 11	159 87
11,0—11,9	16 9	15 9	11 3	5 4	2 —	1 —	2 1	— 1	— 1	4 3	3 4	3 8	68 45
12,0—12,9	9 9	5 6	4 2	2 1	— —	— —	— —	— —	— 2	3 —	4 2	6 5	33 27
13,0—13,9	3 1	5 —	1 —	— 1	— —	— —	— —	— —	1 —	1 —	5 —	2 —	18 2
14,0—14,9	— —	2 —	1 —	— 1	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	3 —	6 1
15,0—15,9	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 —	— —	1 —	1 —	3 1

Zahlentafel 73 erkennt man, daß in Potsdam die kleineren Windgeschwindigkeiten bis 6 m/s häufiger sind als in Bremen, umgekehrt in Bremen die größeren Geschwindigkeiten über 6 m/s häufiger als in Potsdam. In Zahlentafel 74 sind die Windgeschwindigkeiten im August 1918 in Bremen zusammengestellt. Die Zahlentafel zeigt, daß die Rechnung nach Tagen bei den mittleren Windgeschwindigkeiten (hier 4 bis 7 m/s) zu große, im übrigen zu kleine Häufigkeitszahlen

Zahlentafel 74.

Windgeschwindigkeit in m/s	Häufigkeit nach		Windgeschwindigkeit in m/s	Häufigkeit nach	
	Tagen	h		Tagen	h
0,0—0,9	0 = 0 h	4	7,0—7,9	1 = 24 h	56
1,0—1,9	0 = 0 h	22	8,0—8,9	1 = 24 h	26
2,0—2,9	3 = 72 h	111	9,0—9,9	0 = 0 h	7
3,0—3,9	5 = 120 h	130	10,0—10,9	0 = 0 h	10
4,0—4,9	8 = 192 h	162	11,0—11,9	0 = 0 h	7
5,0—5,9	7 = 168 h	113	12,0—12,9	0 = 0 h	2
6,0—6,9	6 = 144 h	92	13,0—13,9	0 = 0 h	2

ergibt. Das bedeutet in diesem Beispiel im Bereich der Windgeschwindigkeiten 3 bis 8 m/s, die bei Schöpfwerken ausnutzbar sind, daß die Berechnung der Windkraft aus den Tageshäufigkeiten um etwa 15% zu große Werte ergibt gegenüber einer gleichen Berechnung aus den Stundenhäufigkeiten.

III. Die Entwässerung durch kleine Wasserläufe (Bäche und Gräben).

A. Die schädliche Bodennässe.

1. Entstehung und Umfang der schädlichen Bodennässe.

Unter der schädlichen Bodennässe versteht man einen für das beste Wachstum der Nutzpflanzen zu hohen Wassergehalt des Bodens. Man vergleiche hierzu auch die Ausführungen im Teil I. Für die Bodenverbesserung empfiehlt es sich, fünf verschiedene Ursachen für die Entstehung der schädlichen Bodennässe zu unterscheiden:

1. Mangelnde Vorflut. Als Vorflut h bezeichnet man am zweckmäßigsten die Höhenlage einer Fläche F über dem

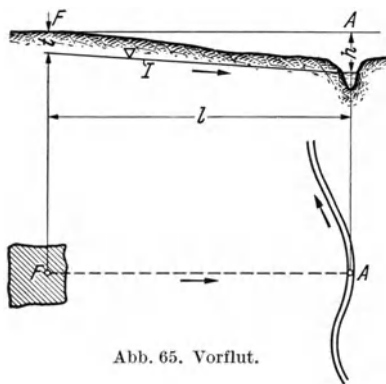


Abb. 65. Vorflut.

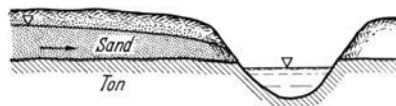


Abb. 66. Grundwasser auf einer Tonschicht.

jeweiligen Wasserspiegel des sie entwässernden Vorfluters, und zwar derjenigen Stelle A des Vorfluters, die für die Entwässerung entscheidend ist, die also den Grundwasserabfluß der Fläche aufnimmt (Abb. 65). Die Vorflut muß so größer sein, je weiter die Fläche F vom Vorfluter entfernt liegt und je größer das Gefälle J ist, das vom Grundwasser auf seinem Wege zum Vorfluter verbraucht wird. Wenn der Grundwasserspiegel in F um t unter Gelände

liegen soll, so muß $h \geq t + l \cdot J$ sein. Mit steigendem Wasserspiegel des Vorfluters wird die Vorflut geringer oder, wie man sich meistens ausdrückt, schlechter. Ein ständig hoher Wasserstand des Vorfluters kann einen so hohen Grundwasserstand zur Folge haben, daß die ganze Fläche versumpft. Man sagt dann, die Fläche habe keine ausreichende Vorflut. Eine Vertiefung des Vorfluters führt in solchen Fällen häufig zum Ziel.

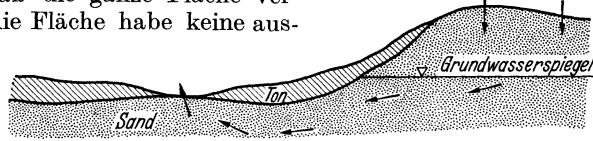


Abb. 67. Gespanntes Tiefengrundwasser.

2. Schwer durchlässiger Untergrund.

Auch trotz guter Vorflut zeigen solche Flächen oft einen zu hohen Grundwasserstand und daher schädliche Bodennässe. Die Niederschläge durchsickern die obere durchlässige Bodenschicht und sammeln sich auf dem schwer durchlässigen Untergrund, z. B. einer Tonschicht, an. Hier bildet sich also Grundwasser, das erst dann zum Vorfluter abfließt, wenn sein Wasserspiegel so gestiegen ist, daß das für den Abfluß erforderliche Spiegelgefälle vorhanden ist (Abb. 66). Der Grundwasserspiegel kann sich dabei so hoch einstellen, daß schädliche Bodennässe entsteht.

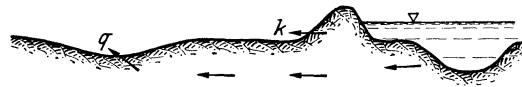


Abb. 68. Qualm- und Kuerwasser.

Zahlentafel 75.

Gebiet	Landwirtschaftliche Nutzfläche ha	Davon entwässerungsbedürftig	
		ha	%
Bayern	4550709	2184000	48
Lippe-Deilmold	83349	34000	41
Pommern	2105822	800000	38
Niederschlesien	1708271	625000	37
Hannover	2125303	731239	34
Oldenburg	292241	93647	32
Provinz Sachsen	1768497	570000	32
Brandenburg	2252103	650000	29
Schleswig-Holstein	1157933	320000	28
Mecklenburg-Schwerin	926818	250000	27
Württemberg	1213172	300000	25
Landesteil Lübeck	44500	10000	23
Ostpreußen	2682887	525000	20
Bremen	19877	4000	20
Freistaat Sachsen	1024748	200000	19
Reg.-Bezirk Kassel	553122	95000	17
Sigmaringen	68448	11781	17
Westfalen	1214968	150000	12
Rheinprovinz	1414893	150000	11
Baden	816250	80000	10
Grenzmark Posen-			
Westpreußen	461132	32000	7
Anhalt	156745	9000	6
Braunschweig	227576	6100	2,7
Hansestadt Lübeck	20218	150	0,7
Zusammen	26889582	7830917	29

3. Schwerer Boden mit großem Wasserhaltevermögen. Derartige Böden können das Wasser so festhalten, daß sie ohne eine Veränderung ihres Gefüges oder ihres Basenhaushaltes (S. 20) überhaupt nicht hinreichend zu entwässern sind, auch wenn das Grundwasser sehr tief liegt. Häufig hilft dann eine Dränung.

4. Stellenweiser und oft nur zeitweiser Andrang von Fremdwasser. Man nennt Fremdwasser dasjenige Wasser, das seine Entstehung nicht den Niederschlägen auf der zu entwässernden Fläche verdankt. Es tritt oft in der Form von Quellen auf oder als sog. Druckwasser (Schweißwasser), besonders in hängigem Gelände (Abb. 35). Eine andere Form

des Fremdwassers ist das gespannte Tiefengrundwasser, das unter Druck stehend von unten an solchen Stellen an die Oberfläche tritt, an denen besonders durchlässige Bodenschichten den Durchtritt am leichtesten gestatten (Abb. 67). Schließlich ist noch das Qualmwasser (q) und das Kuerwasser (k) zu nennen, das in der Nähe oberirdischer Gewässer von diesen verursacht wird (Abb. 68). Es ist eine besondere Art des Druckwassers. Man

faßt das Qualm- und Kuverwasser auch mit der Bezeichnung Drängewasser zusammen (S. 267).

5. Überschwemmungen. Sie brauchen nicht in allen Fällen schädliche Bodennässe zu verursachen. Treten sie aber häufig und auf längere Zeit ein, so wird den überschwemmten Flächen ein solches Übermaß an Wasser zugeführt, daß der dem Landwirt nützliche Pflanzenbestand geschädigt wird.

Auch mehrere der vorstehend genannten Ursachen können zusammenwirken.

Die Flächen mit schädlicher Bodennässe sind recht erheblich. Nach einer Feststellung des Deutschen Landwirtschaftsrates wurden im Jahre 1928 die Flächen der Zahlentafel 75 als entwässerungsbedürftig ermittelt (214, 8). Von der Erhebung wurden etwa 26,9 Millionen ha landwirtschaftlicher Nutzflächen betroffen, das sind 91,8% der heutigen landwirtschaftlich genutzten Fläche des Reiches (29,3 Millionen ha). Die Moore sind zum weitaus größten Teil in der Übersicht nicht enthalten (S. 348). Wenn auch ein derartiger Zahlennachweis mit manchen Fehlerquellen behaftet ist, so bestätigt er doch die allgemeine Erfahrung, daß noch sehr erhebliche Flächen des Reiches durch Wasserläufe und Dränungen entwässert werden müssen, um ihnen volle Erträge abgewinnen zu können.

2. Anzeichen für schädliche Nässe.

Man kann das Vorhandensein schädlicher Bodennässe an mancherlei Anzeichen feststellen. Da ein zu hoher Grundwasserstand stets schädliche Nässe zur Folge hat, ist es von Bedeutung, die Lage des Grundwasserspiegels zu ermitteln. In Bodenlöchern und Mulden tritt er gelegentlich zutage. Auch Schürflöcher können Aufschluß über ihn verschaffen (S. 206). Ein deutliches Kennzeichen der Nässe bieten ferner ausgesprochen nasse und versumpfte Stellen.

Nicht immer aber ist eine zu große Bodennässe so deutlich zu erkennen. Nur der Geübtere wird auch in weniger deutlichen Fällen Merkmale finden, die ihm über die Wasserverhältnisse des Bodens Aufschluß geben. Da ist es besonders der Pflanzenbestand, der stark vom Wassergehalt des Bodens beeinflußt wird. Zahlreiche Feuchtigkeit liebende Pflanzen sind auf S. 70ff. zusammengestellt. Der schlechte Stand der Feldfrüchte ist häufig auf mangelnde Entwässerung zurückzuführen. Die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen pflegen auf nassen Böden zu kümmern, sie zeigen oft eine helle, gelblichgrüne Färbung. Das Weidevieh bevorzugt die auf nicht zu nassen Flächen gewachsenen Pflanzen. Auf nassen und daher kalten Stellen bleibt der Schnee länger liegen, die Pflanzen winter leichter aus. Im Frühjahr erkennt man nasse Stellen leicht an der dunkleren Bodenfarbe, wenn die trockenere Nachbarschaft bereits eine hellere Färbung angenommen hat. Da nasse Böden eine starke Verdunstung aufweisen, sind sie kälter als trockene und neigen daher zur Nebelbildung.

Je mehr der genannten Anzeichen gleichzeitig festgestellt werden, um so eher kann man naturgemäß auf das Vorhandensein schädlicher Nässe im Boden schließen.

3. Die Nachteile zu großer Bodennässe.

Die Nachteile einer übermäßigen Bodennässe zeigen sich namentlich im Zustand des Bodens. Nasser Boden ist infolge der sich ständig bildenden Verdunstungskälte kalt. Die warme Luft und der warme Regen können in die mit Wasser gefüllten Hohlräume des Bodens nicht eindringen und daher den Boden nicht erwärmen. Wegen der hohen Stoffwärme und Wärmeleitfähigkeit des Wassers (S. 22) vermögen auch die Sonnenstrahlen den nassen Boden nur langsam zu erwärmen. Es fehlt die, wenn auch nicht erhebliche Wärmeentwicklung, die in entwässerten Böden durch die Tätigkeit der Kleinlebewesen

und durch die Wirkung des Sauerstoffes entsteht. Nasse und kalte Böden werden im Frühjahr später frostfrei, so daß die Frühjahrsbestellung sich verzögert. Das ist besonders nachteilig in Gegenden, in denen ohnehin der Winter lange anhält (Ostpreußen). Nasse Böden verkürzen also die Wachstumszeit der Nutzpflanzen. Sie frieren stärker auf als entwässerte und bewirken somit größere Schäden durch das Abreißen der Pflanzenwurzeln als diese.

Ein weiterer Nachteil der nassen schweren Böden ist ihr Einzelkorngefüge. Bei oberflächlichem Abtrocknen werden sie sehr hart, es bilden sich große Schollen, in nassem Zustande schlämmen sie fest zusammen. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß Tonboden unter dem Einflusse der Austrocknung von Rissen durchfurcht wird, die bei eintretendem Regen wieder verschwinden (S. 16). Die Entwässerung bewirkt in Verbindung mit der Tätigkeit der Kleinlebewesen eine Umwandlung des Einzelkorngefüges in das wertvolle Krümelgefüge. Da viele der Zwischenräume zwischen den Krümeln zu groß sind, um Haftwasser halten zu können, wird dadurch auch das Wasserhaltevermögen verringert. Bei quellstofffreien Sandböden kann man natürlich diese Wirkung der Entwässerung nicht erwarten.

In der mangelhaften Durchlüftung liegt einer der schwersten Nachteile des nassen Bodens. Die Luft im Boden ist für das Atmen der Pflanzenwurzeln unentbehrlich. Sie fördert die Umformung der im Boden vorhandenen schwer löslichen Nährstoffe in eine für die Pflanzen leicht aufnahmefähige Form und schafft die Voraussetzung für eine ausreichende Tätigkeit der Kleinlebewesen (S. 29). Damit sind wir bei den stofflichen und Lebensvorgängen im Boden angelangt, die in nassen Böden völlig unzureichend sind. Die Regenwürmer dringen in nasse Böden nicht tief ein, können also ihre nützliche Tätigkeit nur in den oberen Schichten des Bodens ausüben. Da die Pflanzenwurzeln nur bis zum Saugsaum des Grundwassers vordringen, steht ihnen bei hohem Grundwasserspiegel nur ein beschränkter Bodenraum zur Entnahme von Nährstoffen zur Verfügung.

Bisweilen überstehen die Nutzpflanzen auf einem Boden, der im allgemeinen zu naß ist, bei zeitweiliger Dürre Wassermangel schlechter als auf einem angemessen entwässerten, und zwar dann, wenn der Grundwasserspiegel so schnell sinkt, daß die Pflanzenwurzeln nicht schnell genug folgen können, oder wenn bei tiefem Grundwasserstand das verfügbare Bodenwasser infolge der Gewöhnung der Pflanzen an starken Wasserverbrauch schnell verbraucht wird. Feuchte Grünlandniederungen liefern freilich in Trockenzeiten stets mehr Futter als höher gelegene Wiesen und Weiden, da sie niemals Mangel an Grundwasser haben.

Die schädlichen Folgen der übermäßigen Bodennässe für das Wachstum unserer Nutzpflanzen sind recht erheblich. Die feuchtigkeitsliebenden Unkräuter gewinnen die Oberhand und unterdrücken die Nutzpflanzen im Kampf ums Dasein. Diese fangen an zu kümmern und verlieren dadurch ihre Widerstandskraft gegen pflanzliche und tierische Schädlinge aller Art. Umgekehrt wird auf entwässerten Böden die Unkrautbekämpfung wesentlich vereinfacht, weil viele Unkräuter wasserliebend sind und durch die Entwässerung schon an sich geschwächt werden. Auch auf den Gesundheitszustand der Weidetiere wirkt die übermäßige Bodennässe schädlich, da sie das Wachstum giftiger Unkräuter (Sumpfschachtelhalm, Herbstzeitlose u. a.) und das Leben tierischer Schädlinge (Leberegel) begünstigt. Manche Beobachtungen sprechen dafür, daß trocknere Flächen auch ein bekömmlicheres Futter liefern als feuchte.

Schließlich ist noch zu berücksichtigen, daß sich die Ackerbearbeitung bei mäßigem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens leichter gestaltet als bei ausgesprochener Nässe. Das gilt besonders für schwere Böden.

Nach allem kann man die Wirkung der Entwässerung dahin zusammenfassen, daß durch sie die Bestellung erleichtert und die Ernte nicht nur gesichert, sondern auch nach Menge und Güte vermehrt wird.

Überschwemmungen können schädlich und nützlich wirken. Entscheidend für die Wirkung sind ihre Dauer, die Zeit, in der die Überschwemmung stattfindet, die Pflanzen- und Bodenart sowie die Beschaffenheit des Wassers. Da aber das Eintreten einer Überschwemmung Sache des Zufalls ist, pflegen die schädlichen Wirkungen zu überwiegen. Schädlich sind stets die bisweilen durch Überschwemmungen bewirkten Sandablagerungen, nützlich die düngende Wirkung nährstoffreichen Wassers und die Vernichtung des Ungeziefers. Auf Äckern und in Gärten ist fast jede Überschwemmung während der Wachstumszeit äußerst schädlich. Nur kurze Überflutungen von geringer Höhe können auch hier einmal eine nützliche Anfeuchtung bringen, wenn der Boden nicht zu schwer ist. Schwerer Ackerboden verschlämmt sehr leicht, so daß sein Krümelgefüge verloren geht. In der Wachstumsruhe kann auch eine stärkere Überschwemmung mit nährstoffreichem Wasser besonders auf sandigen Äckern vorteilhaft sein. Das Grünland verträgt Überflutungen zwar besser als der Acker, jedoch können sie auch hier sehr zur Unzeit eintreten, z. B. während der Heuernte. Ungünstig kann auch die Schlammablagerung auf den Gräsern werden. Das Moorgrünland ist gegen längere Überschwemmungen besonders empfindlich. Aber auch mineralische Wiesen und Weiden dürfen in der Wachstumszeit nur kurze Zeit unter Wasser stehen. Denn der völlige Luftabschluß unserer guten Gräser kann zur Erstickung führen (S. 67). Am unschädlichsten für das Grünland sind noch die winterlichen Überflutungen, namentlich dann, wenn es sich um Naturwiesen handelt mit einem den häufigen Überflutungen angepaßten Pflanzenbestand (*Phálaris*, *Glycéria*).

Die durch hohen Grundwasserstand bewirkte schädliche Bodenässe ist am gefährlichsten, wenn das Grundwasser sich nicht in Bewegung befindet. Man spricht in solchen Fällen von stauender Nässe. Bewegtes Grundwasser wirkt deshalb nicht so schädlich wie stauendes, weil es sauerstoffreicher ist als dieses.

B. Die Ziele der Entwässerung.

1. Die Senkung des Grundwasserstandes.

Ein häufiges Ziel der Entwässerung ist die Senkung eines zu hohen Grundwasserstandes. Dabei taucht zunächst die Frage auf, welches denn im Einzelfall der günstigste Grundwasserstand ist. Wir sahen bereits (S. 61), daß diese Frage ganz von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen abhängt. Erschwerend ist, daß viele Flächen keineswegs eine gleichmäßige Bodenbeschaffenheit oder gleiche Höhenlage aufweisen, daß vielmehr leichtere und schwerere Bodenarten, tiefere und höhere Flächenteile dauernd auf ihnen wechseln. Daher kann man die Zahlen der Zahlentafel 37 nur als grobe Mittelwerte ansehen und darf man ihre Bedeutung auch nicht überschätzen, zumal nasse und trockene Jahre miteinander wechseln. Eine reichlich starke Entwässerung ist vorteilhaft in nassen Jahren, eine zu schwache in trockenem. Fehler in der Tiefe eines Entwässerungsgrabens sind um so unschädlicher, je stärker das Gelände zu beiden Seiten des Grabens ansteigt, während in flachen Niederungen der Stand des Grundwasserspiegels auf größere Entfernungen durch die Tiefe der Gräben beeinflußt wird. Auch jahreszeitlich sind die Anforderungen an die Tiefe des Grundwasserspiegels verschieden. Während der Wachstumsruhe ist ein tiefer Grundwasserspiegel vorteilhaft, damit Luft und Frost den Boden mürbe machen und die Pflanzennährstoffe aufgeschlossen werden. Im Sommer dagegen ist namentlich auf Grünland häufig ein höherer Grundwasserstand erwünscht, damit der starke Wasserbedarf der Pflanzen gedeckt wird.

Der Grundwasserspiegel in einer durch Gräben entwässerten Niederung kann verschiedene Formen annehmen. Wenn die Pflanzen in der Wachstumsruhe kein Wasser verbrauchen, gelangen die in der Niederung fallenden Niederschläge zu einem großen Teil als Sickerwasser in das Grundwasser, das nun seinerseits in die Gräben abzufließen sucht. Dabei muß der Grundwasserspiegel ein um so größeres Gefälle bekommen, je schwerer durchlässig der Boden ist (S. 17). Wenn dagegen der Wasserverbrauch der Pflanzen im Sommer sehr groß ist, tritt namentlich auf flachen Wiesen mit ihrem hohen Wasserbedarf häufig der Fall ein, daß die Niederschläge zur Deckung dieses Bedarfes nicht einmal ausreichen, daß die Pflanzenwurzeln daher auch dem Grundwasser noch Wasser entziehen und daß infolgedessen nach einer Trockenzeit der Grundwasserspiegel zwischen den Entwässerungsgräben tiefer liegt als der Wasserspiegel der Gräben. Erst nach starken Niederschlägen tritt wieder eine Hebung des Grundwasserspiegels und ein Abfluß des Grundwassers in die Gräben ein.

Die vorstehenden Betrachtungen zeigen, daß der bestmögliche Grundwasserstand auf allen Stellen einer größeren Fläche und zu jeder Zeit nicht zu erreichen ist. Man pflegt daher den mittleren Wasserstand der Wasserläufe etwas tiefer anzuordnen, als die Tiefenzahlen der Zahlentafel 37 angeben. Entscheidend muß immer der Gesichtspunkt sein, daß eine ausreichende Tiefe der Gräben und des Grundwassers im Winter zur Durchlüftung des Bodens und im Frühjahr zur schnellen Beseitigung einer übermäßigen Winterfeuchtigkeit (Schneesmelze) erforderlich ist. Einer zu starken Senkung des Grundwasserspiegels im Sommer muß dann nötigenfalls durch den Einbau von Stauen in die Gräben entgegengewirkt werden.

Gelegentlich kommt es auch vor, daß man die Senkung eines zu hohen Grundwasserstandes durch Aufhöhung des Geländes umgeht. So wird bei Flußregelungen häufig der gewonnene Baggerboden auf niedrigen Flächen aufgespült. Das Verfahren hat zwar den Vorteil, daß ein günstiger Grundwasserstand in einfacher Weise erreicht wird, dagegen den Nachteil, daß der tote Baggerboden meistens erst nach vielen Jahren die nötige Bodengare gewinnt. Ein anderes Verfahren, die sog. Auflandung (Kolmation, colmare = überfließen), besteht darin, daß man das tiefliegende versumpfte Land durch Bewässerung mit sinkstoffreichem Wasser allmählich aufhört. Diese Aufhöhung geht nur sehr langsam vor sich, vermeidet aber den Nachteil der mangelnden Bodengare, da die sich jeweils absetzenden dünnen Schlickschichten infolge der Witterungseinflüsse schnell aufgeschlossen werden. In südlichen Ländern spielt auch die Trockenlegung durch Anpflanzen stark Wasser verbrauchender Pflanzen eine Rolle. Als solche kommen in Betracht die Eukalyptus-Arten und die Sonnenblume (*Heliánthus ánnuus*).

Die Vor- und Nachteile der offenen Gräben im Vergleich zu den Dränungen sind auf S. 188 eingehend behandelt.

Durch die Senkung des Grundwasserstandes wird der Pflanzenbestand des Grünlandes in der Regel erheblich verändert. Die feuchtigkeitsliebenden Pflanzen fangen an zu kümmern oder verschwinden ganz, und es dauert dann oft viele Jahre, bis sich ein den neuen Wasserverhältnissen angepaßter Bestand von selbst entwickelt, falls dies überhaupt in absehbarer Zeit geschieht. Man muß daher stets prüfen, ob nicht landwirtschaftliche Folgeeinrichtungen (Umbruch, Düngung, Ansaat) erwünscht oder notwendig sind. Dabei sind die jeweiligen betriebswirtschaftlichen Verhältnisse der beteiligten landwirtschaftlichen Betriebe weitgehendst zu beachten und ist danach das Zeitmaß des Vorgehens abzustimmen. Nicht nur ein zu langsames, sondern auch ein zu schnelles Vorgehen kann falsch sein. Die Kosten der landwirtschaftlichen Folgeeinrichtungen sind von Anfang an mitzuveranschlagen, ihre Durchführung sollte stets von der Wassergenossenschaft, die auch die wasserbaulichen Arbeiten ausführt, geregelt werden (vgl. auch S. 361).

2. Die Beseitigung von Überschwemmungen.

Während ein zu hoher Grundwasserstand dauernd schädlich für das Wachstum der Nutzpflanzen ist, werden durch Überschwemmungen vorübergehende Schäden hervorgerufen (S. 142). Grundsätzlich sind in dieser Hinsicht Acker und Grünland verschieden zu behandeln. An sich ist es zwar wünschenswert, auf Ackerländereien die Wasserläufe so auszubauen, daß auch die größten Hochwasser schadlos abgeführt werden. Das ist jedoch bei den kleinen Wasserläufen (Bächen und Gräben) häufig nicht zu erreichen, da man nicht alle kleinen Wasserzüge, die ein Gebiet entwässern, eindeichen kann, und da die bordvolle Abführung des höchsten Hochwassers häufig so große Abmessungen der Wasserläufe bedingen würde, daß man schon wegen der hohen Kosten davon absehen muß. Diese großen Abmessungen könnten außerdem zur Folge haben, daß entweder die mittleren und niedrigen Wasserstände zu tief in den Gräben liegen und eine zu starke Absenkung des Grundwassers bewirken würden, oder daß die Gräben übermäßig breit angelegt werden müßten. Dort, wo Deiche nicht zweckmäßig sind, verzichtet man daher in der Regel auf die bordvolle Abführung des höchsten Hochwassers (*HHW*) und begnügt sich damit, die Ausuferung eines mittleren Winterhochwassers (*WiMHW*) zu verhindern.

Das Grünland ist weniger empfindlich gegen Überschwemmungen als Acker- und Gartenland. Man pflegt daher das Grünland nur soweit gegen Überschwemmungen zu schützen, daß die mittleren Sommerhochwasser (*SoMHW*) nicht ausufernd.

Besondere Vorsicht ist überall dort erforderlich, wo Ansiedlungen vor Überschwemmungen geschützt werden müssen. Dann ist stets die bordvolle Abführung des höchsten Hochwassers (*HHW*) oder ein völliger Deichschutz erforderlich.

Unsere Waldbäume besitzen gegen Überschwemmungen eine sehr verschiedene Widerstandsfähigkeit (S. 67).

Bei größeren Wasserläufen ist es häufig ratsam, Untersuchungen darüber anzustellen, wie oft in Zukunft noch Überschwemmungen zu erwarten sind, wenn kein völliger Hochwasserschutz in Frage kommt (S. 166). Bei Bächen und Gräben fehlt es jedoch in der Regel an ausreichenden Beobachtungen, um die Untersuchungen durchführen zu können.

Mit dem Steigen des Wassers im Graben steigt in der Regel auch das benachbarte Grundwasser. Ein auf kurze Zeit erhöhter Grundwasserspiegel ist jedoch sowohl im Acker- als auch im Grünland unschädlich. Die Hochwasser der kleinen Wasserläufe dauern, wenn ausreichende Vorflut vorhanden ist, nicht sehr lange. Man kann daher unbedenklich den Hochwasserscheitel bis etwas unter Gelände steigen lassen, d. h. das Hochwasser bordvoll abführen, und braucht nicht zu verlangen, daß der Spiegel des Hochwassers noch ein bestimmtes größeres Maß (z. B. 50 cm) unter Gelände bleibt.

Die Beseitigung von Überschwemmungen kann auch Nachteile für den Pflanzenbestand mit sich bringen (S. 282).

C. Die Wasserläufe.

1. Allgemeines.

Die im vorausgehenden Abschnitt erläuterten Ziele der Entwässerung, nämlich die Senkung des Grundwasserstandes und die Beseitigung von Überschwemmungen, lassen sich nur dann erreichen, wenn der das Gebiet entwässernde Hauptvorfluter eine ausreichende Vorflut für die kleinen Wasserläufe (Bäche und Gräben) bietet, die die Binnenentwässerung vermitteln. Die Begriffe der Hauptvorfluter und der Binnenentwässerung sind bedingt zu verstehen. So kann z. B. ein Bach in einem großen Entwässerungsgebiet ein

Teil der Binnenentwässerung sein und ein anderer von gleicher Größe in einem kleinen Gebiet bereits als Hauptvorfluter angesehen werden. Für die Größe der erforderlichen Hauptvorflut gelten sinngemäß die Ausführungen auf S. 138.

Es kommt ausnahmsweise auch wohl vor, daß man genötigt ist, in eine abflußlose Mulde mit Tümpel zu entwässern. Solche Fälle sind mit der größten Vorsicht zu behandeln. Falls nicht sichere Angaben über den Wasserstand im Tümpel und über dessen Schwankungen vorliegen, fehlt jede Unterlage zur Beurteilung, ob diese Vorflut ausreichen wird oder nicht. Aber selbst, wenn die Vorflut in dem Tümpel unter den gegenwärtigen Verhältnissen ausreichen sollte, ist sie für die Zukunft noch unsicher. Denn die drei maßgebenden Größen, der Zufluß aus der neuen Entwässerungsanlage, die Verdunstung und die Versickerung aus dem Tümpel, lassen sich nur ganz roh überschlagen, so daß leicht Fehlgriffe vorkommen. Insbesondere ist die Versickerung häufig nur ganz geringfügig.

Unter der Voraussetzung, daß die Hauptvorflut ausreicht, besteht nun die Aufgabe der Entwässerung darin, für alle Teilflächen des zu entwässernden Gebietes die Vorflut zu schaffen. Es leuchtet ein, daß man die größeren Wasserläufe an den tiefsten Geländestellen, z. B. in Mulden, anzuordnen hat, damit ihnen das oberirdische Wasser möglichst leicht zufließen kann und die Gräben ohne Schwierigkeit mit Gefälle in sie einzuleiten sind. Wenn die schädliche Bodennässe ganz oder zum Teil durch Fremdwasser verursacht wird, sei es, daß dieses ober- oder unterirdisch zufließt, so ist es häufig zweckmäßig, Randgräben (Fanggräben) am Rande des Entwässerungsgebietes herzustellen, um das Fremdwasser bereits vor seinem Eintreten in das Gebiet abzufangen. Zum Beispiel finden Randgräben mit Vorteil Anwendung, wenn Grundstücke, die am Fuße eines viel Grundwasser führenden Hanges liegen, entwässert werden sollen. Quer zum Flusse gerichtete Gräben wären meistens wirkungslos, weil das Grundwasser zwischen ihnen seinen Weg zum Flusse fortsetzen würde. Es ist daher ratsam, längs dem Fuße des Hanges einen Fanggraben anzulegen und durch diesen das Grundwasser, auch das von den Hängen herabkommende Tageswasser von den Wiesen abzuhalten und den Fanggraben an einer geeigneten Stelle in den Fluß einzuleiten, ihn unter Umständen auch noch durch Stichgräben nach dem Fluß hin zu entlasten. Der Fanggraben muß so tief sein, daß er den Grundwasserstrom ausreichend abfängt. Tiefe Grundwasserströme können durch Fanggräben erfahrungsgemäß nur unvollständig abgefangen werden. Man baut dann besser Fangdräne (S. 216).

Im Falle der Abb. 69 werde die Niederung *N* von dem Hauptflusse *a* berührt und von dem Bach *b* durchflossen. Die Niederung wird durch *b* häufig überschwemmt, und der hohe Wasserstand in *a* gewährt nicht genügende Vorflut für große Wassermengen, die ein erhebliches Gefälle in *b* verlangen. Zur Entlastung von *b* werden nun die beiden Randgräben r_1 und r_2 angelegt und bei *I* und *II* in *a* eingeleitet. Die Randgräben nehmen das ihnen von den Höhen zufließende Fremdwasser auf, r_2 außerdem noch Wasser aus dem Oberlauf des Baches *b*. Man muß bei der Anlage von Randgräben beachten, ob die Herstellung eines Randgrabens unbedingt erforderlich ist, weil man anders die durch Fremdwasser bewirkte schädliche Bodennässe überhaupt nicht beseitigen kann, oder ob es lediglich eine Kostenfrage ist, wie die Entwässerung am billigsten zu erreichen ist. In Abb. 69 können z. B. die Verhältnisse so liegen,

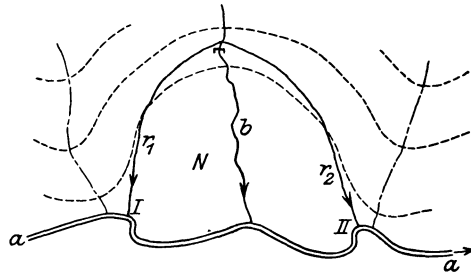


Abb. 69. Randgräben. (Nach Krüger.)

daß r_2 ein wesentlich stärkeres Gefälle und daher viel kleinere Abmessungen als b erhalten kann, so daß der Bau des Randgrabens r_2 und die durch ihn bewirkte Entlastung von b billiger wird als ein entsprechend stärkerer Ausbau des Baches b . Im Einzelfall müssen stets vergleichende Kostenberechnungen über die billigste Lösung aufgestellt werden. Bisweilen lassen sich vorhandene Wasserläufe als Randgräben verwenden, wodurch an Kosten gespart wird. Die Fernhaltung von Fremdwasser gewinnt an Bedeutung, wenn eine Niederung durch künstliche Wasserhebung entwässert werden muß (S. 234).

Wichtig ist bei der Entwässerung flachen Geländes die Frage, ob und in welchem Umfange Stau in die Gräben einzubauen sind (S. 297). Der Zweck der Stau besteht darin, das Wasser in trockener Zeit anzustauen, um eine zu schnelle Entwässerung der Flächen zu verhindern. Infolge des Stauens dringt auch Wasser aus den Gräben nach beiden Seiten ins Grundwasser, und zwar um so mehr, je durchlässiger der Boden ist. Man darf aber diese Speisung des Grundwassers aus den angestauten Gräben nicht überschätzen. In schwerdurchlässigen Böden ist sie sehr gering. Andererseits können Verhältnisse vorliegen, bei denen sie Bedeutung gewinnt. Wenn z. B. schwerer Boden auf einem grobsandigen, also leicht durchlässigen Untergrund liegt und der Grundwasserspiegel unter die untere Grenze des schweren Bodens absinkt, wird der Wasseranstieg unterbunden und infolgedessen trocknet die obere Bodenschicht bei fehlenden Niederschlägen stark aus. In solchen besonderen Fällen kommt der Speisung des Grundwassers aus den Wasserläufen erhöhte Bedeutung zu, um so mehr, als das Grundwasser in dem leicht durchlässigen Untergrund vom Graben aus unter Druck gesetzt wird, wenn dieser den Untergrund anschneidet. Ein Erfolg wird meistens nur dann eintreten, wenn die Wasserläufe auch in trockener Zeit Wasser führen, was leider häufig nicht der Fall ist. Sonst muß man versuchen, vorausschauend durch ein frühzeitiges Schließen der Stau die Austrocknung zum mindesten zu verzögern. Wenn dann nach einiger Zeit wieder Regen fällt, kann unter Umständen durch die Verzögerung des Abflusses ein für die Pflanzen gefährlich werdender Wassermangel gerade noch verhindert werden. Gehört das gesamte Einzugsgebiet des Grabens zu der Entwässerungsfläche, deren Grundwasserstand hoch gehalten werden soll, so ist in Grünlandniederungen die Wirkung des Stauens allerdings außerordentlich gering. Das ergibt sich aus folgender Betrachtung: Wenn der gesamte Abfluß in trockener Zeit, z. B. $3\frac{1}{s} \cdot \text{km}^2$, durch Stau zurückgehalten würde, was ja in Wirklichkeit nicht einmal der Fall ist, so würde das einen Gewinn von täglich nur 0,26 mm Wasserhöhe bedeuten, während der mittlere tägliche Verdunstungsverlust des Sommers in Niederungen zu mindestens 2 mm angenommen werden kann (S. 96). Bei leicht durchlässigem Boden wird die Wirkung der Stau noch dadurch beeinträchtigt, daß das Wasser bestrebt ist, auf kürzestem Wege in Gestalt eines Grundwasserstromes die Stauschleuse zu umfließen und nach dem Unterwasser abzusickern. Um dies zu erschweren, kann man im Anschluß an die Stauschleuse undurchlässige, unterirdische Stauwände (Spundwände, Gräben mit Tonfüllung) anlegen, die sich senkrecht zum Wasserlauf in das Gelände erstrecken.

Wegen der Berechnung der Grabenquerschnitte und der zu wählenden Abflußspenden wird auf die S. 118 und 129 verwiesen. Bei der Querschnittbemessung der kleinen Wasserläufe ist stets zu prüfen, ob mit starkem Krautwuchs zu rechnen ist. Da nur in größeren Zeitabständen gekrautet wird, läßt sich eine zeitweise mehr oder weniger starke Verkrautung häufig nicht verhindern, worauf bei der Wahl des Rauigkeitsbeiwertes n der Gl. (62) zu achten ist. Auch die Räumung der Gräben läßt sich immer erst dann durchführen, wenn sich soviel Sand oder Schlamm auf der Sohle und den Böschungen abgelagert hat, daß die Beseitigung sich lohnt und im Betriebe möglich ist. Es kann daher nötig werden, Zuschläge zu den Grabentiefen zu geben.

Man pflegt zunächst die Abmessungen eines Grabens so zu berechnen, daß das Mittelwasser in der vorgesehenen Tiefe unter Gelände abfließt. Der so berechnete Querschnitt reicht bei den kleinen Wasserläufen häufig aus, um auch das maßgebende Hochwasser bordvoll oder tiefer abzuführen. Das ist im Einzelfall nachzuprüfen und der Querschnitt nötigenfalls abzuändern, indem man ihn etwas breiter und weniger tief bemißt, um das Mittelwasser nicht zu sehr zu senken. Zu breite Querschnitte haben jedoch den Nachteil, daß sie leichter versanden und verschlammen als schmale, weil die Räumungskraft des Wassers gering wird. Wenn das Sammelgebiet eines Wasserlaufes kleiner als 2 km² ist, ist eine Berechnung seiner Leistungsfähigkeit nicht erforderlich, da dann schon der kleinste Graben mit gewöhnlicher Tiefe ausreicht.

Das Sohlengefälle der kleinen Wasserläufe soll möglichst nicht kleiner als 0,3‰ sein. Allzu häufige, namentlich scharfe Gefällwechsel sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei zu starken Gefällen werden Sohle und Böschungen der Wasserläufe durch die Strömung des Wassers angegriffen. Als zulässige Höchstgrenzen der mittleren Wassergeschwindigkeit $v = \frac{Q}{F}$ kann man annehmen: bei feinem Sand und bei schlammiger Sohle etwa 0,4 bis 0,5 m/s, bei gewöhnlichem Sand, bei Lehm und Moor etwa 0,8 bis 1,0 und bei grobem Sand und Klauboden bis 1,5 m/s. Kiesige und steinige Böden sowie sehr fest gelagerte Klauböden lassen noch größere Geschwindigkeiten zu. Die feinen Moor- und Tonteilchen werden zwar schon bei sehr kleinen Wassergeschwindigkeiten mitgerissen, haften aber im Verbands des gewachsenen Bodens im allgemeinen doch so fest, daß die Gefahr größerer Abspülungen bei den vorstehend angegebenen Geschwindigkeiten (0,8 bis 1,0 m/s) nur gering ist. Nötigenfalls sind in einer wasserbaulichen Versuchsanstalt Versuche zu veranlassen, um ein Bild über die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu erhalten (S. 135).

Man gibt den kleinen Wasserläufen fast stets einen trapezförmigen Querschnitt. Nur auf Weiden wird bisweilen eine flache Muldenform gewählt, die dem Weidevieh das Betreten und Beweiden ohne Schaden für die Anlage erlaubt. Solche Entwässerungsmulden werden aber nur dann billig, wenn sie bei gutem Gefälle namentlich der Abführung größerer Regen- oder Schneewassermengen dienen sollen und daher nur flach zu sein brauchen, wenn sie also keine Senkung des Grundwasserstandes bezwecken. Die Sohle des Trapezquerschnittes soll mindestens so breit sein, daß man bei der Räumung bequem auf ihr stehen kann, möglichst 0,5 m und keinesfalls kleiner als 0,4 m. Die Neigung der begrüneten Böschungen hat sich nach der Standfestigkeit des Bodens zu richten, sie soll in der Regel in bindigen Böden nicht steiler als 1:1, in Sandböden nicht steiler als 1:1,5 sein. Steile Böschungen von 1:1 wird man nur in schweren Lehm- und Tonböden anwenden. Bei feinem Sand mit geringen Bindemitteln können auch besonders flache Böschungen (1:1,75 bis 1:2) nötig werden. Über Böschungen in Moorböden siehe S. 352. Je graswüchsiger der Boden ist, um so steilere Böschungen verträgt er unter sonst gleichen Verhältnissen.

Besondere Sohlensicherungen werden bei großen Wassergeschwindigkeiten erforderlich. Man versucht zunächst, zu große Sohlengefälle und damit auch zu große Wassergeschwindigkeiten dadurch zu vermeiden, daß man Sohlenabstürze anordnet (S. 156). Häufig genügt es, in bestimmten Abständen kleine Sohlschwellen aus größeren Steinen oder Pfahlreihen einzubauen. Man schafft dadurch feste Punkte, die dem Fortschreiten etwaiger Sohlenvertiefungen Halt bieten. Schließlich bleibt in starken Gefällstrecken nur die Möglichkeit, die ganze Sohle mit Rasenstücken, Steinschüttung (Lesesteinen), Ziegel- oder Betonbrocken, Steinpackung, mit Pflaster, Betonschalen, Betonplatten oder mit Holz zu sichern. Letzteres ist jedoch nur dann zu verwenden, wenn der Graben stets oder doch wenigstens fast ständig Wasser führt, da es

sonst zu schnell fault. Zur Anwendung kommen Befestigungen mit dünnen Strauchbündeln (Wippen), Reisern, Knüppeln oder Abfallbrettern, mit denen die Sohle zu belegen ist. Durch Quer- und Längshölzer sowie durch Pfähle ist dafür zu sorgen, daß die Sohlensicherung einen festen Halt bekommt und nicht aufschwimmt. Abb. 70 stellt eine Sohlensicherung mit Wippen dar. Legt

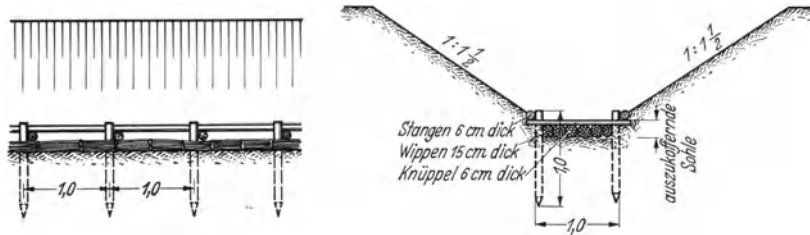


Abb. 70. Sohlensicherung mit Wippen (Handbuch der Arbeitstechnik).

man die Knüppel dicht nebeneinander und läßt die Wippen fort, so erhält man die Knüppelsicherung. In sehr steilen Gefällen hat sich auch Steinpackung zwischen Rahmen aus Latten bewährt. Die Holzlatten ermöglichen die Verwendung verhältnismäßig kleiner Steine (Abb. 71). Um an Befestigungen zu sparen, kann man unter Umständen Sohlenübergänge nach Abb. 72 anordnen und braucht dann nur diese zu befestigen (S. 197).

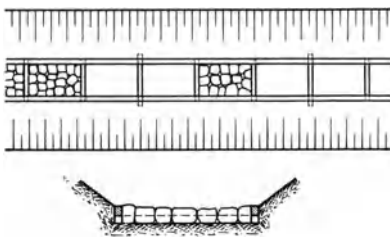


Abb. 71. Sohlensicherung mit Steinpackung und Lattenrahmen.

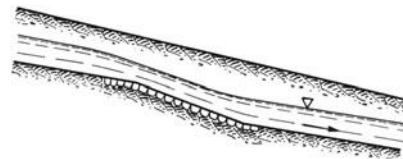


Abb. 72. Sohlenübergang.

Auch die Böschungen sichert man auf die verschiedenste Weise. Bei einfachen Verhältnissen verlegt man bis etwas über Mittelwasser Rasensoden, und zwar in der Form des Flachrasens (Abb. 73). Die Soden werden vielfach ohne, besser aber mit einer 5 bis 10 cm starken Unterlage von Mutterboden verlegt und bei größeren Wassergeschwindigkeiten mit 20 bis 30 cm langen Holznägeln angepflockt. Man gewinnt sie gerne auf feuchten Wiesen, deren Pflanzenbestand die Nässe der Gräben gut verträgt. Der gewachsene Rasen wird mit dem Rasenmesser in 30 cm breite und 10 bis 12 cm starke Streifen oder Platten (Plaggen) geschnitten, mit dem Spaten abgehoben und aufgerollt, oder die

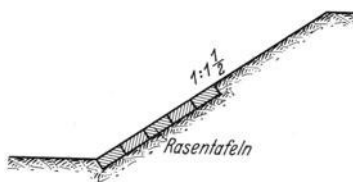


Abb. 73. Böschung mit Flachrasen.

Platten werden in Haufen aufgesetzt. Der Rasen wird dann auf der Böschung im Verbands verlegt und mit der Klatsche oder der Handramme festgeschlagen. Wenn der Rasen knapp ist, begnügt man sich damit, einzelne Streifen der Böschung mit Rasen zu belegen und die dazwischen liegenden Felder anzusäen. Oberhalb der Rasenstücke genügt in vielen Fällen das Aufbringen von 5 bis 10 cm Mutterboden und das Ansäen mit einer geeigneten Grassamenmischung, nötigenfalls mit künstlicher Düngung. Sicherer, wenn auch teurer ist es, die ganze Böschung mit Rasen zu sichern, da der noch nicht berastete Mutterboden und der Grassamen durch Hochwasser oder starke Regenfälle leicht fortgespült werden. Besonders in den hohlen

Krümmungen belegt man oft die ganze Böschung mit Rasen. Eine geeignete Grassamenmischung ist folgende (204, 247):

	kg/ha
<i>Agróstitis álba</i> (Weißes Straußgras)	3,5
<i>Alopecúrus praténsis</i> (Wiesenfuchsschwanz)	5
<i>Dáctylis glomeráta</i> (Knäuelgras)	4
<i>Festúca praténsis</i> (Wiesenschwingel)	9,5
<i>Festúca rúbra</i> (Rotschwingel)	7
<i>Lólium perénne</i> (Deutsches Weidelgras)	10
<i>Phléum praténse</i> (Wiesenlieschgras)	5,5
<i>Póa praténsis</i> (Wiesenrispengras)	9
<i>Póa triviális</i> (Gemeines Rispengras)	4,5

58

Es ist nicht ratsam, noch nach Mitte August Grassaat zu säen, weil sie sich dann vor Winter nicht mehr genügend entwickelt. Kann die Saat nicht früher durchgeführt werden, so sät man besser Winterroggen und unter diesen als Deckfrucht die Grassaat im nächsten Frühjahr. Nach ihrer Entwicklung muß der Roggen grün abgemäht werden.

Nicht immer genügen jedoch die vorstehend genannten einfachen Befestigungen. So ist oft eine besondere Sicherung des Böschungsfußes nicht zu umgehen. Das trifft namentlich dann zu, wenn die Sohle des Grabens in einer Triebssandschicht liegt. Ein sehr gebräuchlicher Schutz des Böschungsfußes kleiner Wasserläufe ist der Flechtzaun (Abb. 74). Man schlägt Pfähle von 6 bis 10 cm Durchmesser in etwa 30 bis 50 cm Abstand und umflecht sie mit Ruten aus Laub- oder Nadelholz. Dazu haben sich Kiefer und Erle besonders bewährt. Weide schlägt aus und erschwert dadurch die Unterhaltung. Es ist darauf zu achten, daß die Pfahlköpfe nicht nach dem Graben zu überneigen, da die Pfähle dann dem Druck der Grabenböschung leicht nachgeben und sich immer schräger stellen. Ihre Mindestlänge soll 1,0 m betragen. An quelligen Stellen ist das Druckwasser dadurch unschädlich zu machen, daß man in der Böschung Rinnen aushebt und sie mit Steinen zupackt. An solchen Stellen sind zur Stützung des Böschungsfußes auch kräftigere und längere Pfähle für den Flechtzaun als sonst zu verwenden. Zum Einschlagen der Pfähle verwendet man Holzschlegel, da der Vorschlaghammer die Pfahlköpfe leicht zersplittert.

Statt des Flechtzaunes werden auch Wippen (Strauchbündel) nach Abb. 75 angeordnet. Die Pfähle kann man auch durch die Wippen hindurchschlagen, oder man schlägt sie abwechselnd auf jeder Seite der Wippe. Bei der Herstellung der Wippen legt man in der Regel alle Stammenden nach derselben Richtung (S. 174).

Bei sehr großen Wassergeschwindigkeiten sind die Böschungen der größeren Bäche und Gräben mit Steinpflaster oder Steinpackungen zu sichern. Die Notwendigkeit dazu ergibt sich häufig im Gebirg- und Hügellande, wo überdies Steine verhältnismäßig billig zu beschaffen sind. Man verlegt die 16 bis 20 cm hohe Steinschicht entweder auf den gewachsenen Boden oder auf

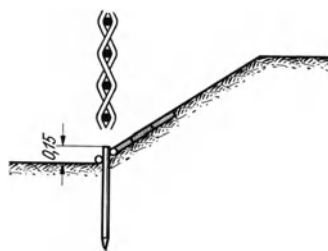


Abb. 74. Flechtzaun.

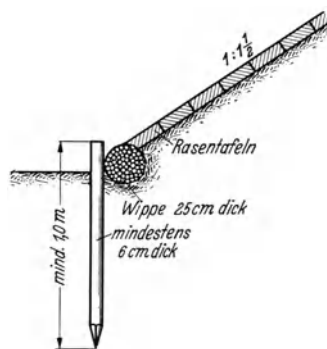


Abb. 75. Pfähle mit Wippen (Handbuch der Arbeitstechnik).

eine 15 bis 25 cm starke Unterbettung von Kies oder Schotter. Letztere ist unentbehrlich in feinem Sande. Die Steine werden in der Regel nicht vergossen, kleine Lücken zwischen ihnen sind mit kleinen Steinresten zu verzwicken. Der Pflasterfuß muß aus besonders kräftigen Steinen so hergestellt werden, daß er der ganzen Steinböschung einen festen Stützpunkt gibt, oder er ist durch eine Pfahlreihe zu sichern. Auch Betonplatten können zur Abdeckung der Böschungen verwendet werden, sie sind aber nicht so haltbar wie gute Natursteine.

Alle Sohlen- und Böschungsicherungen sind so anzubringen, daß sie den berechneten wasserführenden Querschnitt nicht einengen. Bei sehr tief eingeschnittenen Wasserläufen kann auch die Anordnung von Bermen (S. 173) zur Sicherung der Böschungen beitragen.

Sowohl bei der Instandsetzung vorhandener Wasserläufe als auch bei der Herstellung neuer Gräben ist zu prüfen, ob es sich nicht empfiehlt, Maßnahmen zum Schutze oder zur Förderung der Fischerei zu treffen. Das ist häufig mit geringen Kosten möglich. Beim Ausbau vorhandener Wasserläufe können anderenfalls auch Schadenersatzansprüche der Fischereiberechtigten geltend gemacht werden. Man frage daher rechtzeitig einen Fischereisachverständigen. Einmalige Schäden beim Bau können eintreten durch Sprengungen und Trockenlegungen. Wenn sie sich nicht vermeiden lassen, ist zum mindesten vorher den Fischereiberechtigten Nachricht zu geben. Am geringsten sind die der Fischerei zugefügten Schäden im Sommer, da die Laichzeit und die Wanderungen der Fische in die Zeit vom Herbst bis Ende Frühjahr fallen. Die für die Fischerei günstigste Bauzeit ist daher der Sommer (Juni bis September). Alle Erdarbeiten in vorhandenen Wasserläufen verringern die fruchtbare Bodenschicht, auf der die Fischnahrung entsteht. Diese Schicht muß sich dann nach und nach erst wieder bilden. Dauernde Fischereischäden entstehen, wenn eine solche Neubildung nicht möglich ist. Das ist überall dort der Fall, wo der Pflanzenwuchs durch Steinbefestigungen oder durch zu steile Böschungen unmöglich gemacht oder erschwert wird. Auch zu große Wassergeschwindigkeiten schädigen die Fischerei. Man vermeide daher lange gerade Strecken, gebe vielmehr dem Wasserlauf eine sanfte Schlingelung, damit die Fische hinter den vorspringenden Punkten des ausbuchtenden Ufers Schutz finden. Die Wassergeschwindigkeit kann durch Einbau von Schwellen (Sohlenabstürzen) wirksam verringert werden. Vorteilhaft ist eine seitliche Verbreiterung des Wasserlaufes unmittelbar unterhalb der Schwelle, damit die Fische sich hier in ruhigem Wasser ausruhen können. Auch an anderen Stellen des Wasserlaufes schafft man Ruhepunkte durch Anordnung von Unterschlupfen in der Böschung, die etwa 1 m lang und 20 bis 30 cm breit sind. Sehr wertvoll ist auch die Offenhaltung von Altarmen an ihrem unteren Ende. Bei Bauwerken ist nötigenfalls Vorsorge zu treffen, daß die Fischwanderung nicht unmöglich wird. Einige Bäume und Sträucher am Ufer haben den Vorteil, daß ihre Wurzeln zum Teil die Böschung durchwachsen, wo sie den Fischen Schutz gegen die Strömung und die Möglichkeit zur Laichablage geben.

2. Instandsetzung vorhandener Wasserläufe.

Bei der Entwässerung eines Gebietes ist zunächst festzustellen, ob bereits Wasserläufe vorhanden sind, die der Entwässerung dienstbar gemacht werden können. Es sind häufig solche Wasserläufe vorhanden, die aber entweder durch Vernachlässigung der Unterhaltung im Laufe der Zeit immer mehr verwildert sind oder trotz ausreichender Unterhaltung in ihren Abmessungen nicht ausreichen, um den vielleicht gesteigerten Ansprüchen der Landwirtschaft zu genügen.

Bevor man an die Instandsetzung eines vorhandenen Wasserlaufes herangeht, ist sorgfältig zu prüfen, ob sie sich lohnt oder ob die Herstellung eines neuen Vorfluters billiger wird oder aus sonstigen Gründen zweckmäßiger ist. So können z. B. bei Wasserläufen, an deren Ufern sich starker Baumwuchs befindet, allein die Rodungskosten so hoch werden, daß es wirtschaftlicher ist, einen gleichlaufenden Graben anzulegen und mit dessen Bodenaushub den alten Wasserlauf zuzufüllen. Bisweilen läßt sich eine Verbilligung der Instandsetzung dadurch erzielen, daß man die Verbreiterung des Wasserlaufes nur nach einer Seite hin vornimmt, so daß dann auch die Rodungen nur auf einer Seite nötig werden. Eine solche einseitige Verbreiterung hat auch den Vorteil, daß eine vielleicht gut bewachsene Böschung wenigstens im wesentlichen erhalten bleiben kann, wodurch gleichfalls an Kosten gespart wird. Zum Bau eines Nebenvorfluters wird man bisweilen dann greifen müssen, wenn durch Ablagerung von Sinkstoffen, entstanden durch Überschwemmungen, das Gelände

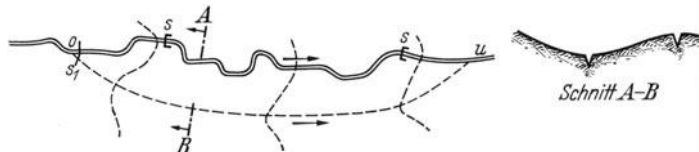


Abb. 76. Nebenvorfluter. (Nach Krüger.)

neben dem vorhandenen Vorfluter zu sehr erhöht ist, um die Vorflut der auf ihn angewiesenen Flächen dorthin leiten zu können (Abb. 76). Dieser Nebenvorfluter $o-u$ steht entweder nur unten mit dem Hauptvorfluter in Verbindung oder auch am oberen Ende, wenn er zeitweilig zur Entlastung des Hauptvorfluters dienen soll. In diesem Falle müssen beide Vorfluter mit je einer Sperrschleuse s_1 versehen werden, damit man das Maß der Entlastung in der Hand hat.

Bei der Instandsetzung vorhandener Wasserläufe ist es keineswegs immer nötig, den errechneten Sollquerschnitt an allen Stellen ausnahmslos herzustellen. Geringe Überbreiten und Übertiefen sowie hier und da in den Querschnitt etwas hineinragende Bäume können im allgemeinen unbedenklich bestehen bleiben. Man spart dadurch an Kosten. Ein Verbauen von Überbreiten mit geschüttetem Boden hat überdies leicht zur Folge, daß der lose Schüttboden wieder fortgespült wird, wenn er nicht sehr sorgfältig befestigt wird.

Sind erhebliche Sandablagerungen zu erwarten, so verweist man sie gerne auf bestimmte Stellen, um die Forträumung zu erleichtern. Das geschieht durch die Anlage von Sandfängen. Darunter versteht man beckenartige Erweiterungen und Vertiefungen im Laufe des Vorfluters, in denen durch Geschwindigkeitsverminderung der von oben kommende Sand zur Ablagerung veranlaßt wird. Vor der Anlage eines Sandfanges ist zu überlegen, wie der abgelagerte Sand entfernt und wohin er geschafft werden soll.

Oft bestehen die Ursachen für die ungenügende Leistung eines Vorfluters nicht in dem mangelhaften Zustande seines Bettes, sondern in einzelnen Hindernissen, deren Rückstau eine um so größere Fläche in Mitleidenschaft zieht, je schwächer das Gefälle ist. Dazu gehören Tränkstellen, Durchfahrten, zu enge Durchlässe sowie Brücken und Stauwerke aller Art.

3. Herstellung neuer Gräben.

Die in einem zu entwässernden Gebiete vorhandenen Gräben reichen in den seltensten Fällen aus, um eine ausreichende Entwässerung zu erzielen. Fast stets bedarf es noch der Anlage neuer Gräben, für die gleichfalls die Ausführungen auf S. 144 ff. gelten. Das ganze Gebiet muß mit einem Netz von Entwässerungsgräben überzogen werden. Man unterscheidet:

1. Den oder die Hauptvorfluter des Gebietes.
2. Die Zuggräben, die in einen der Hauptvorfluter münden.
3. Die Beetgräben und Gruppen, die ihr Wasser den Zuggräben zuführen.

Die Lage der Zuggräben ist so zu wählen, daß sie alle Gebietsteile erschließen. Im allgemeinen verfolgen sie die tiefsten Geländelinien, doch bietet es manchmal Vorteile in bezug auf Anlage und Unterhaltung (Verbilligung), wenn man kleine Höhen mit ihnen durchbricht und die tiefen Seitenlagen durch besondere Nebengräben anschließt. Man legt die Zuggräben auch gerne auf Eigentumsgrenzen. Infolge dieser Anpassung an die örtlichen Verhältnisse ist die Linienführung der Zuggräben vielfach unregelmäßig. Sind erheblichere Höhenzüge mit einer Entwässerung zu durchbrechen, so können unterirdische Rohrleitungen (S. 154) in Frage kommen, wenn die Aufwendungen für ihre Anlage und Unterhaltung geringer sind als die für die tief eingeschnittenen und schwer zu unterhaltenden offenen Gräben. Haben die Zuggräben nicht ständig Wasser zu führen, sondern nur zeitweilig eine Hochwasserwelle aufzunehmen, so hält man sie möglichst flach, um nicht das durchschnittene Land

in Dürrezeiten zu stark zu entwässern. Auf Grünland genügt in solchen Fällen oft eine flache Mulde (S. 147).

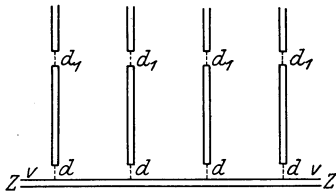


Abb. 77. Beetgräben. (Nach Krüger.)

Die Hauptvorfluter und Zuggräben sollen nach Möglichkeit eine schlanke, nicht aber auf längere Strecken eine völlig gerade Linienführung erhalten. Die Leistungsfähigkeit eines Grabens wird durch schwache Krümmungen in keiner Weise gegenüber der geraden Lage vermindert. Solche Krümmungen geben nicht nur

dem ganzen Wasserlauf ein gefälliges Aussehen, sie sind auch günstig für die Fischerei (S. 150). Im Interesse des Natur- und Vogelschutzes soll man auch nicht jeden Baum und Strauch am oberen Böschungsrande entfernen, mag auch der Laubfall hier und da die Unterhaltung etwas erschweren. Ob und in welchem Umfange die Beschattung durch Bäume und Sträucher die Verkräutung zurückhält, ist noch eine offene Frage.

Die Beetgräben werden häufig durch eine Dränung oder durch ein besonders enges Netz von Zuggräben ersetzt. Namentlich auf Weiden sind enge Beetgräben recht störend, da sie eingezäunt werden müssen, was erhebliche zusätzliche Kosten verursachen kann. Es gibt jedoch Fälle, in denen die Beetgräben nicht durch Dräne zu ersetzen sind (vgl. auch S. 188):

1. Wenn das Gefälle für Dräne nicht ausreicht, deren kleiner Querschnitt ein größeres Gefälle verlangt.
2. Wenn den Dränen die unbedingt erforderliche Tiefe nicht mehr gegeben werden kann.
3. Wenn große oberirdische Wassermengen abzuleiten sind, z. B. wenn es sich darum handelt, rings von einem höheren Rande umgebene geschlossene Mulden zu entwässern, wie sie in der Diluviallandschaft vielfach vorkommen. Die hier oberirdisch zusammenlaufenden Wassermengen sind zu groß, als daß sie durch eine Dränung rechtzeitig abgeleitet werden könnten.

Die Beetgräben werden immer zueinander gleichlaufend angelegt, um eine wirtschaftliche Form der Beete zu erhalten. Beete nennt man die zwischen je zwei Beetgräben liegenden Landstreifen. Häufig leitet man die Beetgräben mit etwa 5 m langen Durchlässen d (Abb. 77) durch das neben dem Zuggraben Z liegende Vorgewende $v-v$. Sind die Beetgräben sehr lang, so legt man noch eine zweite Reihe von Durchlässen d_1 an. Der Abstand der Beetgräben richtet sich nach der Beschaffenheit des Bodens und dessen Nutzungsart, d. h. Ackerland muß stärker entwässert werden als Wiesen, auch erfordert

schwerer Boden eine engere Lage der Beetgräben als leichter. Man kann im Mineralboden etwa die Zahlen der untenstehenden Zahlentafel 76 annehmen. Wegen der Beetbreiten in Moorböden vgl. S. 353. Der Querschnitt der Beetgräben kann stets in kleinsten Abmessungen angelegt werden, da sie immer nur die kleine Wassermenge, die der Fläche eines Beetes entstammt, abzuführen haben. Bei starkem Krautwuchs ist es zweckmäßig, die Beetgräben nicht länger als einige 100 m zu machen. Ist das Gelände ziemlich hängig, so ist anzustreben, die Beetgräben senkrecht oder doch wenigstens schräge zur Bewegungsrichtung des Grundwassers anzuordnen, da dann ihre entwässernde Wirkung am besten ist.

Zahlentafel 76.

	Tiefe der Beetgräben m	Breite der Beete m
Acker .	1,0 bis 1,3	25 bis 40
Wiese .	0,6 bis 0,9	50 bis 100

Unter Grüppen (Grippen) versteht man kleine Wasserrinnen von etwa quadratischem Querschnitt mit rund 20 cm Seitenlänge. Sie finden vielfache Anwendung auf Gebirgwiesen, wo es sich darum handelt, einzelne quellige Stellen zu entwässern. Auch in Niederungen mit hohem Grundwasserstand dienen sie in Verbindung mit schmalen gewölbten Beeten (Abb. 78) zur Entwässerung (S. 226). Die Grüppen kann man auch mit einem geeigneten Grabenpflug ziehen.



Abb. 78. Gewölbte Beete.

Die Kosten der Grabenarbeiten sind von der Stundenleistung und der Höhe des Stundenlohnes abhängig. Unter gewöhnlichen Verhältnissen kann man mit etwa folgenden Leistungen eines Berufdarbeiters in 8 h rechnen (Ausheben und Absetzen des Bodens zu beiden Seiten des Grabens):

Zahlentafel 77.

Grabentiefe in m	≤ 1,0	1,0 bis 1,5	
	Aushub in m³/m	2 bis 4	4 bis 6
Vorentwässertes Niedermoor	11 m³	10 m³	8 m³
Sand und sandiger Lehm	9	8	7
Gewöhnlicher Lehm (erdfeucht)	7	6,5	6
Schwerer Lehm und Ton (erdfeucht)	5	4,5	4
Schwerer Lehm und Ton mit Steinen (erdfeucht). Stark verkitteter Sand und Kies	4,5	3,5	3
Lehm und Ton (trocken). Stark verkitteter grober Kies	4	3	2,5

Voraussetzung ist, daß die Witterung nicht besonders ungünstig ist und daß keine Nebenarbeiten (Rodung, Abheben von Mutterboden, Beseitigung großer Steine, schwierige Wasserhaltung) zu leisten sind.

Bei der Herstellung neuer Gräben ist auch zu beachten, ob die Abflußverhältnisse so weitgehend geändert werden, daß Schadenersatzansprüche Dritter, z. B. der Unterlieger, zu erwarten sind.

Eine sachgemäße Bauausführung verlangt, daß der Ausschachtungsboden nicht wie ein Wall am Ufer liegen bleibt. Denn dadurch wird der Zweck des Grabens als Entwässerungsanlage für das Oberflächenwasser beeinträchtigt, und der Boden kann durch Wind und Regen wieder in den Gräben zurückgelangen. Der Aushub ist daher möglichst sofort einzuebnen, abzufahren oder zur Ausfüllung tiefer Stellen in der Nachbarschaft zu verwenden. Oft wünschen die Anlieger diese Arbeit selbst auszuführen; doch führt dies Verfahren meistens zu recht unliebsamen Verzögerungen.

D. Bauwerke.

Zu den fast stets notwendigen Bauwerken gehören die Durchlässe. Am gebräuchlichsten sind die Rohrdurchlässe aus Zement- oder Tonrohren. Als

Zementrohre haben sich infolge ihres dichten Gefüges die im Schleuderverfahren hergestellten besonders bewährt. Man nehme keine kleinere Lichtweite als 40 cm. Wenn das Wasser betonschädliche Stoffe in größerer Menge enthält, sind Tonrohre vorzuziehen. Die Stoßfugen der Rohre sind zu dichten. Ihre Sohle legt man um 10 bis 15% ihrer lichten Weite tiefer als die Sohle des Wasserlaufes, damit bei niedrigen Wasserständen der wasserführende Querschnitt des Durchlasses nicht zu klein wird und damit auch eine spätere geringfügige Vertiefung des Grabens leichter durchzuführen ist. Die Überdeckung im Scheitel soll mindestens 40 cm betragen. Bei nicht genügend tragfähigem Untergrund ist eine künstliche Unterlage erforderlich (Schwellrost). Der Durchlaß muß so lang sein, daß seine Stirnflächen eine standfeste Böschung erhalten können, die man in halber Höhe der Rohre beginnen läßt und häufig mit Kopfrasen befestigt (Abb. 79). Statt der Böschungen werden auch senkrechte Stirnmauern angeordnet. Man spart dadurch zwar an der Länge des Durchlasses, die Kosten der Stirnmauern sind aber höher als diejenigen der Böschungen.

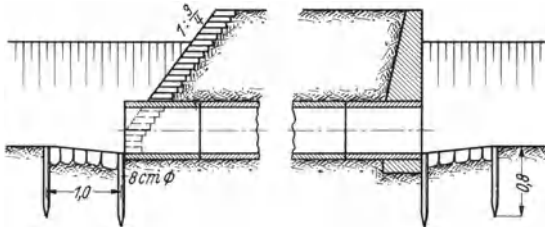


Abb. 79. Rohrdurchlaß.

Unterhalb des Durchlasses kann eine Sohlenbefestigung des Wasserlaufes nötig werden. Wegen der Berechnung der Rohrdurchlässe siehe S. 125.

Außer den Rohrdurchlässen kommen gemauerte und Plattendurchlässe in Frage. Mit Steinplatten kann man

lichte Weiten bis zu 0,9 m überbrücken. Die 15 bis 30 cm starken Platten verlangen gute Auflager. Im Moor können auch kastenförmige Holzdurchlässe verwendet werden.

Sehr tiefe Grabenstrecken werden bisweilen durch Rohrleitungen ersetzt. Bei der Entwässerung abflußloser Geländemulden kann eine Rohrleitung zur Durchschneidung eines hohen Geländerückens unentbehrlich werden. Diese meistens langen Rohrleitungen müssen gegen Verstopfungen sorgfältig gesichert werden. Daher sollte ihr Gefälle nicht unter $0,5\text{‰}$, besser nicht unter $1,0\text{‰}$ hinabgehen. Der Einlauf muß durch Gitter gegen das Eindringen von Treibsel geschützt werden. Außerdem soll vor dem Rohranfange ein geräumiger Sandfang angelegt werden. Um Verschlammungen im Innern der Rohrleitung zu erkennen und beseitigen zu können, muß die Leitung mit Reinigungsschächten versehen sein. Das sind besteigbare Schächte, die von der Rohroberkante bis an die Oberfläche des Geländes reichen. Man ordnet sie in Abständen von 100 bis 200 m an, vor allen Dingen da, wo die Rohrleitung einen scharfen Richtungswechsel aufweist. Da die Rohre sich meistens tief unter der Erdoberfläche befinden, sind sie erheblichem Druck ausgesetzt. Es dürfen daher nur sehr widerstandsfähige Rohre verwendet werden, die bei unsicherem Untergrunde besonders sicher gegründet werden müssen, z. B. auf Pfählen. Es empfiehlt sich, die Rohrleitung oder deren Vorgraben mit einem Stauwerk auszustatten, um das Wasser zwecks kräftiger Spülung nach Bedarf ansammeln zu können.

Eine besondere Art der Rohrleitungen sind die Vorflutdräne (S. 197). Sie finden dort Anwendung, wo das Dränwasser nicht in offenen Gräben durch fremde Grundstücke geleitet werden soll. Die Vorflutdräne werden aus Drän-, Ton- oder Zementrohren hergestellt, sie sind zu dichten und zum Schutz gegen Frost mindestens 0,8 m hoch zu überdecken. In langen Vorflutdränen sind, namentlich an den Knickpunkten, Dränschächte (S. 195) anzuordnen.

Düker vermitteln die Kreuzung zweier Wasserläufe, wenn der eine, meistens der kleinere, unter dem anderen durchgeführt werden muß. Man baut sie als

druckfeste Zement-, Ton- oder Eisenrohre, auch als gemauerte Leitungen, entweder nach Abb. 80 mit zwei Schächten oder nach Abb. 81 ohne Schächte. Die Schächte kann man als Sandfänge ausbilden, was allerdings keinen großen betrieblichen Wert hat. Zu empfehlen ist der Einbau eines Spülschützes. Bei wichtigen Bauwerken legt man zwei Rohrenebeneinander. Für die Berechnung der Düker kann Gl. (88) benutzt werden.

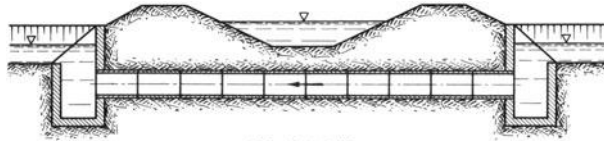


Abb. 80. Düker.

Brücken haben vor

Durchlassen den Vorteil,

daß sie den Querschnitt des Wasserlaufes entweder überhaupt nicht oder nur in geringem Umfange einengen. Andererseits sind sie in der Regel teurer als Durchlässe. Ob man Holz-, Stein- oder gemischte Bauweise anzuwenden hat, ist in jedem Falle zu prüfen. Holzbau ist billig in der Herstellung, aber

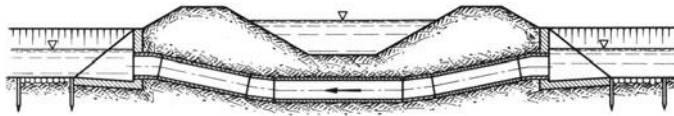


Abb. 81. Düker.

teuer in der Unterhaltung, da namentlich die hölzernen Widerlager leicht faulen. Man stellt daher gern die Widerlager aus Steinen oder Beton her und nimmt als Überbau je nach der Stützweite hölzerne oder eiserne Träger mit einfachem oder doppeltem Bohlenbelag.

Bei vorhandenen Brücken ist häufig eine Vertiefung der Sohle erforderlich. Ist die Brückengründung tief genug hinabgeführt, so stehen der Tieferlegung der Sohle unter der Brücke keine Schwierigkeiten entgegen. Die Untersuchung der Brückengründung durch Anstechen, Bohren oder Aufgraben bildet in solchen Fällen einen wichtigen Teil der Vorarbeiten. Erweist sich die Gründung als zu schwach, so kann man eine gewisse Sohlenvertiefung und damit Querschnittvergrößerung erreichen durch muldenförmige Auspflasterung der Sohle zwischen Pfahlreihen (Abb. 82). Erfordert aber die Wasserführung die Vertiefung in der ganzen Sohlenbreite, so bleibt nichts weiter übrig, als die Gründung durch Unterfangen zu vertiefen. Diese Arbeit erfordert große Vorsicht. Man untergräbt daher die Gründung jeweils in nur kurzer Länge (0,5 bis 1,0 m) und unterstampft sofort mit Beton, bevor man nach der Erhärtung des Betons zum nächsten Abschnitt übergeht. Wenn die Brücke zwar für die Abführung des Hochwassers noch ausreicht, weil ein vorübergehender Aufstau unbedenklich ist, nicht aber zur erforderlichen Absenkung des Mittelwassers, genügt die Anlage nach Abb. 83.



Abb. 82. Sohlenvertiefung unter einer Brücke. (Nach Krüger.)

Durchfahrten (Furten) werden bisweilen an Stelle von Brücken angelegt, da sie billig sind. Sie erfordern sehr flache Durchfahrtrampen. Die Sohle des Wasserlaufes ist im Bereiche der Durchfahrt zu pflastern. Die Furten haben aber den Nachteil, daß sie häufig bei höheren Wasserständen nicht benutzbar sind. Sie kommen daher nur im Zuge untergeordneter Wirtschaftswege in Frage. Stauanlagen sind bei der Entwässerung durch kleine Wasserläufe oft in großer Zahl erforderlich. Man muß daher, um an Kosten zu sparen, möglichst einfache Bauweisen wählen. Als Baustoff dient am häufigsten Beton und Holz.



Abb. 83. Sohlenvertiefung unter einer Brücke. (Nach Krüger.)

Bei kleinen Anlagen genügen Staubretter, die aber leicht abhanden kommen. Bei etwas größeren Wasserläufen verdienen Schützen den Vorzug. Auch wird man hier den festen Teil des Staus aus Beton oder Ziegelmauerwerk herstellen. Wichtig ist in allen Fällen ein gutes seitliches Einbinden des Bauwerkes ins Gelände, z. B. durch Spundwände. Bei starker Wasserbewegung besteht im Unterwasser des Staus die Gefahr der Kolkbildung und Böschungsbeschädigung. Um das zu verhindern, sind Sohle und Böschungen unterhalb

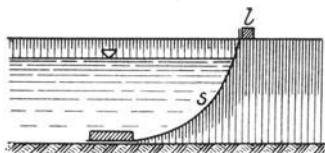


Abb. 84. Schürzenwehr.
(Nach Krüger.)

des Staus zu befestigen. Bisweilen verbreitert und vertieft man auch hier den Wasserlauf noch beckenartig, wodurch die lebendige Kraft des Wassers schadlos vernichtet wird (Sturzkolk, Tosbecken). An der Weichselmündung hat sich eine einfache Stauschleuse bewährt, die Bertram (6, 152) wie folgt beschreibt: In einer quer über den Graben zu schlagenden Spundwand werden

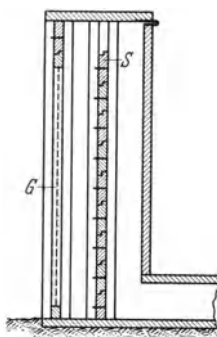


Abb. 85. Doppelmönch.
(Nach Gerhardt.)

in entsprechenden Entfernungen I-Träger zwischen den hölzernen Spundbohlen gerammt. Die Spundwand wird unter Niedrigwasser abgeschnitten. Auf die abgeschnittene Spundwand werden zwischen den senkrechten I-Trägern entsprechend lange Stücke von I-Trägern waagrecht aufgelegt, die mit ihren unteren Flanschen die Oberkante der abgeschnittenen Spundwand umfassen. Zwischen den nach oben gerichteten Flanschen der waagerechten Trägerstücke und den Flanschen der senkrechten I-Träger wird ein halbes Stein starkes Ziegelmauerwerk mit Flacheiseneinlage hergestellt und oben mit einem U-Eisen abgedeckt. In der Mitte der Wand bleibt ein Fach für das Schütz frei. Die senkrechten I-Träger neben der Schützöffnung reichen über das Gelände hinaus, die etwa vorhandenen übrigen bis zur Geländeoberfläche. Häufig kann man dadurch an Kosten sparen, daß man die Stau unmittelbar oberhalb an Durchlässe oder Brücken anlehnt, was bei kleinen Bauwerken unbedenklich ist. Eine besondere Art des Staus ist das Schürzenwehr, das nach Bedarf eingebaut und entfernt werden kann (Abb. 84). Das Wehr besteht aus einer Latte *l* mit einem daran einseitig genagelten Stück Segeltuch *s*. Die Latte muß etwa 0,6 m länger sein als die obere Grabenbreite. Das Segeltuch ist so breit wie der Graben und erhält als Länge die $1\frac{1}{2}$ - bis 2fache Grabentiefe. Man legt die Latte quer über den Graben und breitet das Segeltuch auf den Grabenumfang, worauf es an den Rändern mit Steinen oder Erde beschwert wird. Der beim Stau entstehende Wasserdruck bewirkt eine ziemlich gute Dichtung am Umfange des Grabens. Die Schürze selbst wird durch die im Wasser enthaltenen Schwebstoffe gedichtet, oder man stellt die Dichtigkeit durch Tränken mit Leinölfirnis her. Eine bestimmte Stauhöhe kann man dadurch erreichen, daß man in der betreffenden Höhe einen Schlitz in die Schürze schneidet.

Der Vollständigkeit halber seien an dieser Stelle auch die Mönche erwähnt, die den Stau in Teichen regeln. Abb. 85 stellt einen sog. Doppelmönch dar. Der Deckel läßt sich aufklappen und wird durch ein Vorlegeschloß festgelegt. Vorne befindet sich ein Gitter *G*. Der Stau wird dadurch geregelt, daß die Staubrettchen *S* nach Bedarf herausgenommen und wieder eingesetzt werden.

Die zur Verringerung des Gefälles dienenden Sohlenabstürze werden nach den Abb. 86 bis 90 ausgeführt. Auch die Böschungen sind im Bereiche der Abstürze gut zu befestigen. Abb. 86 zeigt eine einfache Ausführung, bestehend aus einer Pfahlreihe, die eine Brettwand stützt. Sturzbett und

Vorboden sind durch Steinpflaster gesichert. Auch die Sicherung des Vorbodens ist nötig, weil bereits dort eine beschleunigte Geschwindigkeit entsteht. Sofern die Sturzwand nicht immer unter Wasser liegt, ist Steinbau vorzuziehen (Abb. 88). Bei größerer Breite gibt man dem Absturze eine im Grundrisse nach dem Oberwasser hin ausbuchtende Form. Das verleiht der Mauer vermehrte Festigkeit

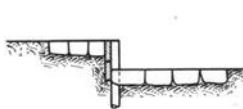


Abb. 86. Sohlenabsturz mit Pfahlreihe. (Nach Krüger.)

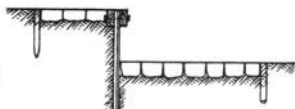


Abb. 87. Sohlenabsturz mit Spundwand. (Nach Krüger.)

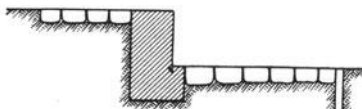


Abb. 88. Sohlenabsturz aus Beton. (Nach Krüger.)

(Gewölbebogen) und lenkt den Wasserstoß von den Ufern ab. Bisweilen ist es vorzuziehen, einen hohen Absturz durch eine Reihe kleinerer, unmittelbar hintereinander liegender zu ersetzen (Abb. 89). Wird der Wasserstoß zu groß, so gewährt die Anordnung eines Sturzbeckens (Wasserpolsters) Schutz

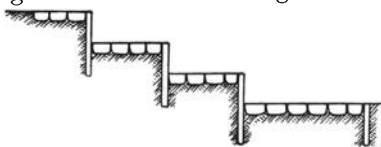


Abb. 89. Geteilter Sohlenabsturz. (Nach Krüger.)

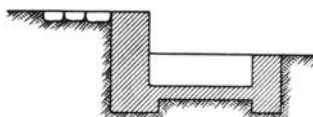


Abb. 90. Sohlenabsturz mit Wasserpolster. (Nach Krüger.)

für das Sturzbett (Abb. 90). Zwar werden die Baukosten dadurch vermehrt, die Unterhaltung aber verbilligt.

Ramshorn (160) verwendet sog. Wasserbremsen (Abb. 91), um unterhalb von Abstürzen die lebendige Kraft des Hochwassers zu vernichten. Derartige Anlagen aus Holz oder Eisenbeton haben sich im Gebiete der Emschergenossenschaft bewährt. Im Bereiche der Wasserbremsen sind Sohle und Böschungen gut zu befestigen.

Wenn die sekundliche Wassermenge sehr gering ist (S. 197), kann ausnahmsweise mangels anderer Möglichkeiten eine Versenkung in den Untergrund in Frage kommen. Vorbedingung ist, daß der Untergrund genügend durchlässig ist, um die



Abb. 91. Wasserbremsen. (Nach Ramshorn.)

ihm zuzuleitende Wassermenge schnell genug durch Versickerung aufnehmen und fortführen zu können. Eine Versenkung ist auch nur dann wirksam, wenn das in den Untergrund versenkte Wasser abfließen kann und nicht etwa zur Speisung eines Grundwasserbeckens dient, dessen Ränder so hoch liegen, daß nach seiner Füllung Versumpfung eintritt. Stark sinkstoffhaltiges Wasser ist für eine Versenkung ungeeignet, da sich die Bodenporen infolge der Sinkstoffe zu schnell verstopfen, es sei denn, daß man die Sinkstoffe durch ein Schlammbecken zurückhält. Dieses muß häufig gereinigt werden, was recht umständlich ist.

Der Versenkung des Wassers in den Untergrund dienen die Senkbrunnen. Sie können eine runde oder rechteckige Grundrißform sowie eine lichte Weite von etwa 1 bis 2 m erhalten und sind mindestens 1 bis 1,5 m in den durchlässigen Untergrund hinabzuführen. Man stellt in der Mitte des Brunnens lotrecht einige durchlochte Rohre auf, die filterförmig mit Steinen und Kies umpackt werden. Die Korngröße der Umpackung muß von der Mitte des Brunnens nach außen hin abnehmen. Die Wirkung der Senkbrunnen läßt sich dadurch erhöhen, daß kurze Dränstränge vom Brunnen aus in durchlässige Bodenschichten vorgetrieben und gleichfalls mit Steinen und Kies umhüllt werden.

In bebauten Ortschaften müssen die Böschungen aus Platzmangel bisweilen durch Stützmauern ersetzt werden. In diesen sind grundsätzlich Entwässerungslöcher anzuordnen, damit auf der Erdseite der Mauer kein einseitiger Wasserdruck entstehen kann.

E. Die Bearbeitung der Entwürfe.

1. Vorarbeiten.

Der Aufstellung jedes Entwässerungsplanes hat eine eingehende örtliche Besichtigung der zu entwässernden Flächen vorauszugehen, an der sich der Planbearbeiter und ein in Entwässerungsfragen erfahrener Landwirt beteiligen. Außerdem sollten stets einige Vertreter der beteiligten Landwirte zugezogen werden, damit sie über die örtlichen Verhältnisse und ihre eigenen Erfahrungen Auskunft geben können. Dabei ist freilich zu beachten, daß Landwirte, die in Wasserfragen keine Erfahrung besitzen, sich bisweilen ein ganz falsches Bild über die Ursachen der schädlichen Bodennässe machen.

Diese zu erkennen, ist das erste Ziel der Ortsbesichtigung. Zuvor verschafft man sich einen Überblick über die Niederschlagverhältnisse des Gebietes und über seinen erdkundlichen Aufbau, sofern erdkundliche Karten vorhanden sind. Auch die Ergebnisse der Reichsbodenschätzung sind schon vorher einzusehen. Über die Anzeichen der schädlichen Bodennässe finden sich nähere Ausführungen auf S. 140. Man darf sich bei derartigen Besichtigungen nicht dadurch täuschen lassen, daß die Flächen infolge kürzlich gefallener Niederschläge noch verhältnismäßig naß sind. Eine gute Kenntnis der Pflanzen und ihrer Vorliebe für Nässe oder Trockenheit bewahrt am besten vor derartigen Trugschlüssen. Wenn man ausreichende Anzeichen für eine schädliche Bodennässe festgestellt hat, so wird sich die erste Prüfung der Ursachen meistens auf den Zustand der vorhandenen Wasserläufe erstrecken, der in vielen Fällen schon die Ursachen erkennen läßt: Verkrautung, Verschlammung, zu stark gewundener Lauf und daher zu schwaches Gefälle, Erhöhung der Sohle oder der Ufer durch Sinkstoffablagerung, künstliche Hindernisse wie Stauwerke, zu enge Brücken usw. Häufig ist auch die Anzahl der vorhandenen Gräben zu gering. Schon bei der ersten Ortsbesichtigung sind ferner die Bodenarten durch Bohrungen zu ermitteln.

Das zweite Ziel der Ortsbesichtigung besteht darin, in großen Zügen zu prüfen, welche Wasserverhältnisse auf den zu nassen Flächen unter Berücksichtigung ihrer künftigen Nutzung erforderlich sind, wie sie am zweckmäßigsten erreicht werden können und ob anzunehmen ist, daß die Aufwendung der Kosten sich lohnen wird. Denn nur wenn hiermit zu rechnen ist, wird man im allgemeinen an die Aufstellung eines Entwurfes herangehen.

Hat die Ortsbesichtigung zu dem Ergebnis geführt, daß ein Entwässerungsentwurf aufgestellt werden soll, so sind zunächst die Feldaufnahmen durchzuführen. Als Lagepläne benutzt man in der Regel Abzeichnungen oder Abdrucke der Flurbuchkarten (Katasterkarten). Sie sind mit der Örtlichkeit zu vergleichen

und nötigenfalls zu berichtigen und zu ergänzen. Die Benutzung von Flurbuchkarten ist schon deshalb erforderlich, weil die Eigentumsgrenzen bekannt sein müssen. Denn bei allen genossenschaftlichen Entwässerungen soll das genossenschaftliche Grabennetz im allgemeinen so weit verzweigt sein, daß jeder Genosse seine Grundstücke unmittelbar an das Netz anschließen kann, also insoweit von seinem Nachbarn unabhängig ist. In neuerer Zeit sind die Luftbildaufnahmen außerordentlich vervollkommen worden. Sie geben viele Einzelheiten, die auf der Flurbuchkarte fehlen, insbesondere die genaue Lage der Wasserläufe. Bäche, die ihre Lage im Laufe der Zeit ändern, sind auf der Flurbuchkarte meistens falsch dargestellt und bedürfen dann einer Neueinmessung, die bei Verwendung eines Luftbildes gespart wird. Wenn Luftbildaufnahmen bereits vorhanden sind, ist ihre Benutzung zu empfehlen. Andernfalls ist die Frage ihrer Verwendung im wesentlichen eine Kostenfrage. Für allgemeine Vorentwürfe sind häufig auch die Meßtischblätter brauchbar.

Die Höhenlage des Gebietes muß durch eingehende Höhenmessungen festgestellt werden. Die Lage der Meßpunkte wird entweder nach einem Quadratnetze oder in Beziehung zu festen im Felde und auf der Karte vorhandenen Linien (Grundstückgrenzen) oder in Beziehung zu einer abgesteckten Messungslinie festgelegt. Alle Höhenmessungen sind an sichere Festpunkte, z. B. die der Landesaufnahme, anzuschließen und möglichst auf Höhennull zu beziehen. Wenn eine lange Anschlußhöhenmessung hohe Kosten erfordert, sind zwei unverrückbare und dauerhafte Festpunkte in der Nähe zu wählen. Zwischenfestpunkte sind nach Bedarf einzuschalten. Bei der Aufnahme der Wasserläufe mißt man die Höhe der Sohle und Ufer in Abständen von mindestens 50 m und, wenn es zum Prüfen der Vorflut oder zum Berechnen des Bodenaushubes erforderlich ist, auch die ganzen Querschnitte. Sind ausgesprochene schmale Uferrehnen vorhanden, so ist auch die Geländehöhe unmittelbar neben der Rehne festzustellen. Häufig sind Vorfluterstrecken auch noch unterhalb des Entwässerungsgebietes aufzunehmen, wenn die Vorflut nicht gesichert scheint. Die Höhenmessung an einem Wasserlauf geschieht nach Durchführung einer Streckenteilung (Stationierung). Die aufzunehmenden Querschnitte werden mit Streckenpfählen bezeichnet, an denen die jeweilige Streckenzahl (Stationsnummer) anzuschreiben ist.

Von Brücken, Durchlässen und Stauen sind Handzeichnungen der Durchflußöffnungen mit ihrer Höhenlage herzustellen, auch ist die Gründungsart der Bauwerke sowie die Befestigung der Bauwerksohle zu ermitteln. Wichtig sind ferner die Stauziele (Merkpfähle), der bauliche Zustand, die Unterhaltungspflichten und Wasserrechte. Der Bauzustand spielt insofern eine wichtige Rolle, weil nach ihm zu beurteilen ist, ob bei nicht genügender Lichtweite ein Um- oder ein Neubau in Frage kommt. Von den Wassertriebwerken sind die Betriebseinrichtungen und die wirtschaftlichen Betriebsverhältnisse (Umsatz) zu ermitteln, auch Inhalt und Zeit der Genehmigungsurkunde, weil diese Angaben für Entschädigungsansprüche von Bedeutung sind (S. 167). Aufzunehmen sind ferner Furten, Hochwassermarken, Pegel, Festpunkte, kurz alles, was für den Entwurf von Bedeutung ist.

Ist ein Pegel vorhanden, der seit mehreren Jahren beobachtet wird, so kann es sich empfehlen, auch Wassermengenbestimmungen vorzunehmen, um das Abflußgesetz des Pegels zu finden. Wichtig sind Bodenuntersuchungen, die jedoch nicht so eingehend zu sein brauchen wie bei Dränentwürfen (S. 205), und Grundwasserbeobachtungen. Die angebauten Nutzpflanzen, die Ausdehnung der Überschwemmungen, die Überschwemmungsschäden und die bisherigen Ernteerträge sind festzustellen, um Unterlagen für den wirtschaftlichen Erfolg der Entwässerung zu bekommen. Schließlich ist auch zu prüfen, ob Schadenersatzansprüche Dritter zu erwarten sind, durch die das Unternehmen belastet werden würde.

Im übrigen wird auf die Ausführungen im Teil IV (S. 166) verwiesen, die zum Teil auch bei kleinen Wasserläufen sinngemäß zu beachten sind.

2. Die Form der Entwürfe.

Die Entwürfe bestehen aus folgenden Teilen: Erläuterung, Massenberechnung, Kostenanschlag, Übersichtskarte, Lagepläne mit Festpunktverzeichnis, Bodendurchschnitte, Längs- und Querschnitte der Wasserläufe sowie Bauwerkzeichnungen. Bei genossenschaftlichen Entwürfen ist außerdem ein Teilnehmerverzeichnis nach den amtlichen Bestimmungen aufzustellen.

Die Erläuterung soll kurz sein und nur die zeichnerische Darstellung des Entwurfes ergänzen, eine Beschreibung der bestehenden Verhältnisse, namentlich der vorhandenen Mißstände geben, die für das Beseitigen der letzteren erforderlichen Maßnahmen erörtern und die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens nachweisen. Ganz besonderer Wert ist darauf zu legen, daß die zahlenmäßigen Grundlagen des Entwurfes ausreichend begründet werden. Dazu gehören die gewählten Abflußspenden, die angestrebte Tiefe des Grundwasserspiegels in der Wachstumszeit und im Winter, die bisherigen und in Zukunft erwarteten Ernteerträge u. a. m.

Als Übersichtskarte dient in der Regel ein Meßtischblatt (1:25000), in dem man das zu entwässernde Gebiet farbig umrandet oder mit einem Farb-anstrich kenntlich macht. Nur wenn das Gebiet sehr groß ist, empfiehlt es sich, einen kleineren Maßstab zu wählen. In der Übersichtskarte sollen auch die Niederschlaggebiete mit ihren Wasserscheiden dargestellt werden, desgleichen die Hauptvorfluter und wichtigsten Zuggräben.

Die Lagepläne müssen ein ausreichend deutliches Bild der Geländegestaltung geben, da sonst das für die neuen Gräben verfügbare Gefälle und der mögliche Oberflächenabfluß nicht zu erkennen sind. Man trägt daher auf Grund der Höhenzahlen Höhenlinien in gleichmäßigen Höhenabständen in die Pläne ein. Die Abstände können bei geringer Geländeneigung etwa 0,25 m betragen, sie sollen auch bei starker Neigung des Geländes 2 m nicht überschreiten. Die waagerechte Entfernung der Höhenlinien soll im Durchschnitt möglichst nicht größer als 50 m sein. Auf den Lageplänen sind die Anbauverhältnisse, Teilstücke (Parzellen) und Eigentumsgrenzen kenntlich zu machen. Alle Ortschaften und Ansiedlungen, ferner Deiche, Bauwerke usw., die auf die Wasserhältnisse von Einfluß sein können, Vorfluter und Gräben, müssen eingetragen werden. Das Entwässerungs- (Genossenschafts-) Gebiet ist farbig zu umrändern. Die gebräuchlichsten Maßstäbe sind 1:2000 oder 1:2500. Auf jedem Lageplan ist der Maßstab darzustellen sowie die Nordrichtung und der Nullpunkt der Höhenmessung anzugeben. Der besseren Übersichtlichkeit halber weist man alle Festpunkte ihrer Lage und Höhe nach in einem besonderen Festpunktverzeichnis nach.

Wegen der Darstellung der Bodendurchschnitte wird auf S. 218 verwiesen.

Die wichtigeren Wasserläufe sind in Längsschnitten darzustellen (S. 168). In diesen, in den Querschnitten oder den Bauwerkzeichnungen sollen unter anderem die Lichtweite und Gründungsart der Brücken sowie die Befestigungsart der Bauwerksohlen erkennbar sein. Sind ausgesprochene schmale Uferrehnen vorhanden, so ist auch die Geländehöhe unmittelbar neben der Rehne einzutragen. Bei der Darstellung der Wasserstände sind etwaige Rückstauverhältnisse kenntlich zu machen. Es empfiehlt sich, die Streckenpunkte der bestehenden Anlagen unter, diejenigen der geplanten über der Grundlinie des Längsschnittes anzugeben. Die Querschnitte eines vorhandenen Wasserlaufes sind darzustellen, wenn seine Räumung nicht genügt, sondern sein Ausbau erforderlich ist, weil sie zur Berechnung der auszuhebenden Bodenmassen

nötig sind. Bei neuen Gräben kann man Querschnitte häufig entbehren, da die Berechnung der Bodenmassen aus dem Längsschnitt möglich ist, wenn die Geländehöhe quer zum Graben nicht stark wechselt. Mit den Bezeichnungen der Abb. 92 ist nämlich

$$F = t(s + n \cdot t), \quad (106)$$

$$B = 2t \cdot \sqrt{1 + n^2}. \quad (107)$$

Trägt man beide Werte auf Millimeterpapier in ein Achsenkreuz

ein, so lassen sich die Bodenmengen $F \cdot l$ und Böschungflächen $B \cdot l$ für die einzelnen Teilstrecken l und mittleren Tiefen t des Längsschnittes leicht ablesen. Bei vorhandenen Wasserläufen trägt man die alten Querschnitte in schwarzer, die neuen in zinnoberroter Farbe auf. Mit roter Farbe sind auch die für den Bodenaushub maßgebenden Querschnittflächen F in m^2 und die Breiten B der Böschungflächen, die befestigt werden sollen, in m einzuschreiben. Längsschnitte und Querschnitte werden am zweckmäßigsten auf Millimeterpapier dargestellt.

Für alle Zeichnungen verwendet man gutes, möglichst auf Leinwand zu ziehendes Zeichen- oder Lichtpauspapier. Die Größe der Zeichnungen soll nach dem Normblatt DIN 823 bemessen werden; nötigenfalls sind mehrere Stücke klappenartig zu verbinden.

F. Die Unterhaltung.

Die Unterhaltung der kleinen Wasserläufe geschieht durch Krautung und Räumung. Unter Krautung versteht man das Schneiden der in dem Wasserlauf wachsenden Pflanzen, unter Räumung den Aushub der in dem Bette sich ablagernden Sinkstoffe. Die Wichtigkeit einer geordneten Unterhaltung wird leider häufig von den Landwirten nicht genügend gewürdigt. Bei nicht genossenschaftlichem Zusammenschluß kommt der Umstand hinzu, daß sich ein Wasserlauf nur dann wirksam unterhalten läßt, wenn alle Anlieger einer längeren Strecke ihre Unterhaltungsarbeiten annähernd zur gleichen Zeit ausführen. Das ist aber im Betriebe nur sehr schwer zu erreichen. Es bedarf keiner weiteren Begründung, daß die Leistungsfähigkeit eines Wasserlaufes durch ungestörten Pflanzenwuchs und durch eine fortschreitende Ablagerung von Sinkstoffen immer geringer wird. Nicht nur die Niederschläge, weit mehr noch sind es die zahllosen kleineren und größeren Uferabbrüche, die dem Wasserlauf erhebliche Sinkstoffmengen zuführen.

Da sich erfahrungsgemäß ohne einen behördlichen Druck eine ausreichende Unterhaltung der Wasserläufe nicht erzielen läßt, so sehen die Wassergesetze den Erlaß von Schauordnungen und die Vornahme von Schauen vor. Die Wasserpolizeibehörde hat mit Unterstützung wasserbaulicher Dienststellen dafür zu sorgen, daß die Wasserläufe ordnungsmäßig unterhalten werden. Durch die Schauordnungen läßt sich erreichen, daß auch nicht genossenschaftliche Wasserläufe etwa gleichzeitig von allen Anliegern gekrautet und geräumt werden.

Die Krautung soll von unten beginnen, damit das geschnittene Kraut abschwimmt und unterhalb durch einen Krautfang abgefangen werden kann. Hier wird es dann ans Land gezogen. Die Krautfänge bestehen aus verankerten, schwimmenden Stangen oder Balken oder aus Rechen, die senkrecht im Wasser schwimmen und ebenfalls am Ufer befestigt werden. Man krautet ein- oder zweimal im Jahr, je nach der Krautwüchsigkeit. Der Herbst und das

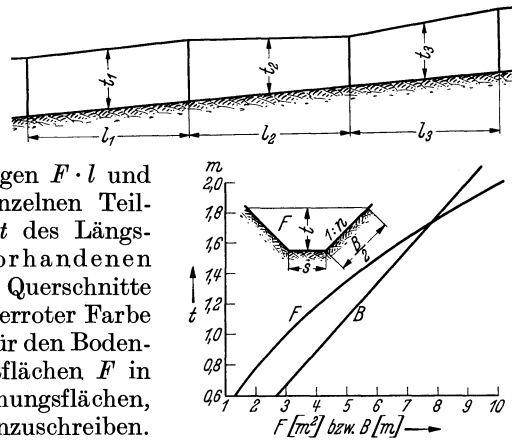


Abb. 92. Berechnung des Grabenaushubs.

Frühjahr sind die geeignetsten Zeiten. Im Frühjahr ist so zeitig zu krauten, daß die Samen der Wasserpflanzen nicht reif werden können.

Häufig in den kleinen Wasserläufen auftretende Pflanzen sind:

- Ceratophyllum (Igellock-Arten),
- Elodéa canadensis (Kanadische Wasserpest),
- Lémna (Wasserlinsen).
- Potamogeton (Laichkräuter),
- Stratiótes aloides (Krebsschere)

u. a. Sie können zur Kompostbereitung verwendet werden. Die Wasserpest wird auch von Schweinen gern gefressen.

An kleinen Wasserläufen bedient man sich namentlich der Krautsense, der Krautharke und der Sichel. Die Krautsense ist ein gewöhnliches Sensenblatt an langem Stiel. Die eiserne Krautharke ist 40 bis 50 cm breit mit 10 cm langen, etwas nach rückwärts gebogenen Zinken in 3 bis 4 cm Abstand. Sie ist an einem langen Stiel befestigt. Man harkt mit ihr den Untergrund ab, um die Wasserpflanzen mit den Wurzeln herauszuziehen. Die Entfernung der Wurzeln ist besonders wirksam.

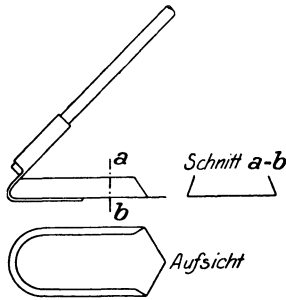


Abb. 93. Schloothacke.
(Nach Krüger.)

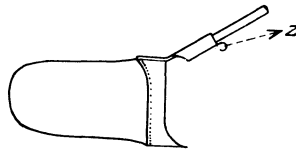


Abb. 94. Sackbagger.
(Nach Krüger.)

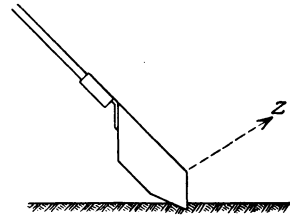


Abb. 95. Baggerkasten.
(Nach Krüger.)

Für die Räumung ist es dringend erwünscht, daß die Sollquerschnitte des Wasserlaufes bekannt sind. Man legt daher, soweit es nicht bereits durch Brücken und Durchlässe ausreichend geschieht, seine Sohlenlage durch Sohlpfähle oder Sohlschwellen in Abständen von 100 bis 200 m fest. Solche Sohlfestpunkte bestehen entweder aus einer auf zwei Grundpfählen ruhenden Schwelle, die seitwärts noch je 0,3 bis 0,5 m unter die Böschung greift, oder aus einem einfachen fest eingerammten Pfahl, dessen Oberkante in der Höhe der planmäßigen Grabensohle liegt und durch Höhenmessung festzulegen ist. Zwischen je zwei Sohlschwellen oder Sohlpfählen kann dann die Sohle bei der Räumung in planmäßiger Lage dauernd erhalten werden. Zur Erleichterung der Reinigung dient die Abdämmung einzelner Grabenabschnitte. Während der Nacht werden die Abdämmungen geöffnet, damit das oberhalb angesammelte Wasser abfließen kann. Vorhandene Stauwerke sind während der Reinigung zu ziehen.

Räumungsgeräte sind Spaten, Schaufeln, Schloothacke u. a. Die Schloothacke oder Baggerschaufel (Abb. 93) ist eine große Schaufel aus Eisenblech mit aufgebogenen Seitenrändern, die an dem 4 m langen Stiel unter spitzem Winkel (etwa 45°) befestigt ist. Sie gestattet die Räumung von den Ufern aus. Man schlägt die Hacke in den Boden, legt die Stange auf die Schulter, drückt sie mit den Händen in die zu baggernde Masse und zieht sie dabei ans Ufer. Bei schlammigem, fließendem Boden kann auch der Sackbagger gute Dienste leisten (Abb. 94). Ein runder oder viereckiger Ring aus Eisen mit Schneide trägt einen Sack aus starker, möglichst wasserdurchlassender Leinwand. An einer langen Stange wird die Schneide in den Boden gedrückt, der Sack gefüllt und (vielfach mit Hilfe eines besonderen Zugseiles z) aus dem Wasser gezogen. Ein weiteres Räumungsgerät für kleine Wasserläufe ist der Baggerkasten (Abb. 95). Ein vorn offener Kasten aus Holz mit eiserner

Schneide oder ganz aus Eisenblech, die Wände durchlöchert zum besseren Wasserabflusse, ist an einer Stange befestigt. Er wird in den Boden gedrückt und von einem zweiten Arbeiter an einem Zugseil z an das gegenüberliegende Ufer gezogen und hier entleert. Der Räumungsboden ist alsbald zu beseitigen, z. B. einzuebnen, oder zwecks Kompostbereitung so zu lagern, daß der Abfluß des Oberflächenwassers in den Wasserlauf nicht behindert wird.

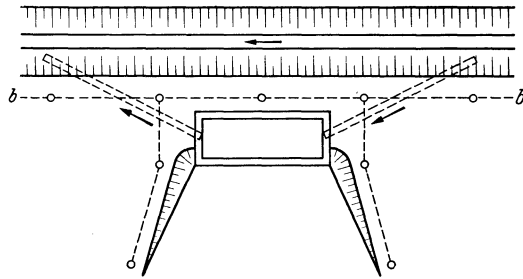


Abb. 96. Viehtränke.

Die Räumungsarbeiten werden unter Umständen durch Sandfänge (S. 151) wesentlich erleichtert. Auf Weiden legt man zur Verringerung der Unterhaltungskosten Viehtränken nach Abb. 96 an, um die Einfriedigung $b-b$ nicht unterbrechen zu müssen und so das Weidevieh vom Graben völlig fernzuhalten. Die Tränke wird durch eine Dränrohrleitung mit fließendem Wasser versorgt, der Zugang etwas rampenförmig vertieft.

IV. Die Regelung der größeren Wasserläufe. Flußdeiche.

A. Die Regelung der größeren Wasserläufe.

Mit Rücksicht auf den in der „Handbibliothek für Bauingenieure“ erscheinenden Band III, 3, Gewässerkunde und Flußbau von Professor Dr.-Ing. H. Wittmann, auf den hier verwiesen wird, sind die folgenden Ausführungen kurz gefaßt. Sie beschränken sich auf die nicht schiffbaren Wasserläufe des Flach- und Hügellandes, die ja für die Landwirtschaft eine besondere Bedeutung haben.

1. Allgemeines.

Die Beschaffenheit des Bodens, in den ein Flußbett eingeschnitten ist, die Wasserführung nach Menge und deren zeitliche Verteilung sind von bestimmendem Einfluß auf die Gestaltung des Flusses hinsichtlich der Ausbildung des Laufes, des Gefälles und der Querschnitte.

Die Kräfte, die dabei tätig sind, beruhen in der lebendigen Kraft des fließenden Wassers und den widerstehenden Kräften des Bodens. Je größer die fließende Wassermenge und je größer ihre Geschwindigkeit ist, um so größer ihre lebendige Kraft und um so größer auch der Abbruch von Bodenteilen aus dem Flußbett. Daher finden bei Hochwasser die größten Umbildungen im Flußbett statt. Sobald aber mit abnehmender Wassermenge die Geschwindigkeit nachläßt, fallen die mitgeführten Bodenteile zu Boden. Unter diesem Wechselspiel nimmt ein anfänglich gerader Lauf durch Bildung von Krümmungen an Länge solange zu, bis das Spiegelgefälle und die Wassergeschwindigkeit sich soweit ermäßigt haben, daß ein weiterer nennenswerter Abbruch nicht mehr stattfindet. Diesen Zustand beobachten wir am Mittel- und Unterlauf der Flüsse. Wenn man eine der maßgebenden Größen, z. B. die Lauflänge eines bereits in den Beharrungszustand übergegangenen Flußlaufes, durch künstlichen Eingriff ändert, nehmen die Naturkräfte ihre Tätigkeit wieder auf, um den alten Zustand wieder herzustellen. Selbst ein ganz gerader Wasserlauf nimmt seine geschlängelte Form wieder an, wenn durch irgendeinen Zufall der erste Anlaß dazu gegeben wird. Oft werden bei fortdauernder Verschärfung

der Krümmungen die die einzelnen Krümmungen trennenden Landzungen so schmal, daß sie durchbrechen und daß das Spiel der Umformung von neuem beginnt. Uferabbrüche entstehen in besonders großem Umfange bei schnell fallendem Wasser. Die Voraussetzungen sind dann insofern günstig, als der Gegendruck von der Wasserseite aufhört und daher das während des Hochwassers in das Ufergelände eingedrungene Bodenwasser aus den Ufern austritt, während gleichzeitig die Widerstandskraft des Bodens gegen Gleiten infolge der Durchfeuchtung vermindert ist.

Als Maß für die Eigenart eines Flußlaufes hat man den Begriff der Laufentwicklung eingeführt. Man versteht darunter den Unterschied zwischen der Länge des Flußlaufes mit allen Krümmungen und der Länge des Tales, in Hundertteilen der letzteren. Ist z. B. das Tal 137 km, der Flußlauf 188 km lang, so beträgt die Laufentwicklung $(188 - 137) \cdot \frac{100}{137} = 37,2\%$. Je größer die Laufentwicklung einer Flußstrecke ist, um so reicher ist sie also an Krümmungen.

Die Form und Häufigkeit des Richtungswechsels eines Flußlaufes ist von hohem Einflusse auf die Flußquerschnitte. In einem gewundenen Flußlaufe



Abb. 97. Übergänge einer Flußstrecke.

sind niemals gleichmäßige Tiefen vorhanden, vielmehr findet ein ständiger Tiefenwechsel in der Längs- und Querrichtung statt. An dem einbuchtenden Ufer ist

der Wasserangriff am größten, weil dieses Ufer unter einem gewissen Winkel von dem strömenden Wasser getroffen wird. Hier entstehen abbrüchige Steilufer und Auskolkungen der Sohle. Über diesen tiefsten Stellen ist auch die Wassergeschwindigkeit am größten, die Hauptwassermengen drängen sich an dem einbuchtenden Ufer zusammen. Als Stromstrich bezeichnet man die Linie, in der der Hauptabfluß stattfindet. Seine Kennzeichnung ist nicht einheitlich: Linie der größten Geschwindigkeiten an der Wasseroberfläche oder Linie der Schwerpunkte der durch die verschiedenen Flußquerschnitte strömenden sekundlichen Wassermengen. Die Länge des Stromstriches übertrifft also noch die des Laufes. Die vom Wasser mitgeführten Sinkstoffe kommen an den Stellen mit geringerer Wassergeschwindigkeit zur Ablagerung, und zwar namentlich an den ausbuchtenden Ufern. Die hier sich bildenden Sinkstoffbänke fallen häufig mit sanftem Quergefälle zum Flusse ab und enthalten in der Ufernähe die feinsten und nach dem Flusse hin die größten Sinkstoffe, entsprechend den an diesen Stellen herrschenden verschiedenen Geschwindigkeiten.

Da der Stromstrich die aufeinander folgenden einbuchtenden Uferstrecken links und rechts miteinander verbindet, muß zwischen jedem Krümmungswechsel ein Wendepunkt liegen. Bei diesem kreuzt der Stromstrich etwa die Flußmitte und ist die Strömung nahezu spiegelbildlich über den Querschnitt verteilt. Die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit ist daher hier geringer als an den einbuchtenden Ufern, weshalb nicht nur keine Ausspülung entsteht, vielmehr eine Ablagerung von Sinkstoffen stattfindet. Diese Übergänge genannten Flußstrecken bilden eine rückenartige Erhebung in der Flußsohle, die sich meistens von dem Ende des einen einbuchtenden Ufers schräg über den Fluß nach dem Anfange des nächst unterhalb gelegenen erstreckt (Abb. 97). Die Wassertiefen im Stromstrich zeigen also einen fortwährenden Wechsel derart, daß die einbuchtenden Strecken durch große, die Übergänge durch geringe Tiefen gekennzeichnet sind. Bei günstigen Verhältnissen verläuft der Stromstrich (Talweg) in einer geschlängelten Linie nach Abb. 97a. Es kann aber auch der Fall eintreten, daß die Tiefen sich übergreifen (Abb. 97b), wodurch an den Übergängen sehr unerwünschte Querströmungen entstehen.

Entsprechend der wechselnden Querschnittgestaltung ist auch das Wasserspiegelgefälle verschieden, und zwar stärker an den Übergängen (Furten) als in den Krümmungen (Kolken). Diese Gefälleunterschiede gleichen sich bei steigendem Wasser immer mehr aus. Dann sinkt also das Gefälle an den Übergängen, während es in den Krümmungen wächst. Die Folge ist, daß die Schleppkraft (S. 135) in den Krümmungen stärker zunimmt als an den Übergängen und daß daher die Kolke vertieft und die Furten erhöht werden. Bei fallendem Wasser zeigt sich das umgekehrte Bild.

Die Flußkrümmungen sind in der Regel nicht nach einem Kreisbogen geformt, vielmehr nimmt der Krümmungshalbmesser von den Enden nach der Mitte ab.

Krautwuchs im Flusse verschiebt die Umbildung des Flußbettes durch das Wasser in zweierlei Hinsicht, weil er einerseits die Wassergeschwindigkeit an den Ufern ermäßigt und dadurch die Abbrüche vermindert, andererseits aber auch Ablagerungen begünstigt.

Da, wo das fließende Wasser auf ein einzelnes Hindernis trifft, entsteht meistens eine vermehrte Wassergeschwindigkeit, vermehrter Angriff auf die Sohle und häufig auch eine Sohlensenkung. Die dadurch frei gewordenen Sinkstoffe werden hinter dem Hindernis bei der dort vorhandenen verringerten Geschwindigkeit wieder abgelagert. Man nennt dies Gebiet der Ablagerung den *Stromschatten*, der hinter Brückenpfeilern, Inseln und anderen Abflußhindernissen meistens deutlich wahrgenommen werden kann.

Verlandungen treten ferner an solchen Stellen ein, wo die Gestaltung des Flußlaufes eine Schwächung der Stromkraft bedingt. Solche Fälle liegen vor bei übergroßen Flußbreiten, Stromspaltungen und in Strecken mit niedrigen Ufern, die bei steigendem Wasser ein frühzeitiges Entweichen der Wassermenge aus dem Flußbette gestatten. Während in dem eigentlichen Flußbette die Umformung der Querschnitte sich in endlosem Wechsel derart vollzieht, daß an derselben Stelle bald Vertiefungen, bald Ablagerungen stattfinden, verändert sich der Hochwasserquerschnitt auf den überschwemmten Vorländern stetig durch Auflandung. Die Wassergeschwindigkeit ist hier wesentlich geringer infolge der geringeren Tiefe und der größeren Reibungswiderstände, die durch den Pflanzenbestand verursacht werden.

Eine plötzliche Verminderung der Wassergeschwindigkeit tritt dann ein, wenn der Wasserstand die Uferhöhe zu übersteigen beginnt und das austretende Wasser die Vorländer überstaut. In diesem Augenblick gelangen die größten und größten Sinkstoffmengen zur Ablagerung, weshalb bei häufig ausufernden Flüssen die Uferländer bald eine größere Höhe erreichen als das dahinter liegende Vorland. Es bilden sich die sog. Uferreehen.

Nach dem im allgemeinen von oben nach unten abnehmenden Gefälle teilt man jeden größeren Flußlauf in den Ober-, Mittel- und Unterlauf. Diese Teile kennzeichnet man auch als das Gebiet des Abbruches, der Fortschaffung und der Ablagerung der Sinkstoffe. Die Nebenflüsse haben meistens ein stärkeres Gefälle als ihr Hauptfluß.

Die Form einer Hochwasserwelle ist in Abb. 34 dargestellt. Die Hochwasserwelle wird mit der Zeit flacher, sie fließt gleichsam auseinander unter gleichzeitiger Ermäßigung ihrer Scheitelhöhe (S. 113). Dabei ist die Fortschrittggeschwindigkeit des Wellenscheitels in der Regel größer als die mittlere Wassergeschwindigkeit des Hochwassers. Die Speisung des Grundwassers durch ein Hochwasser wirkt verringern auf die Wassermenge der gesamten Welle.

Die Abhängigkeit des Wasserspiegelgefälles J von der Wasserspiegellbreite B und der mittleren Tiefe t_m erkennt man, wenn man mit den Bezeichnungen auf S. 119

$$J = \frac{Q^2}{B^2 \cdot t_m^3 \cdot c^2}$$

setzt. Bei gleichbleibendem Q (und c) ergibt sich:

1. t_m unverändert, B 10% größer: J 17% kleiner.

2. B unverändert, t_m 10% größer: J 25% kleiner.

Besonders die mittlere Tiefe ist also von erheblichem Einfluß auf das Spiegelgefälle der einzelnen Flußstrecken.

Die Regelung der Wasserläufe verfolgt für die Bodenverbesserung folgende Ziele:

1. Das Hochwasser ohne Schaden für die anliegenden Grundstücke abzuleiten.

2. Bei gewöhnlichen Wasserständen hinreichende Vorflut für die auf den Wasserlauf angewiesenen Grundstücke zu schaffen, ohne daß das Niedrigwasser einen zu tiefen Stand annimmt.

3. Den Abfluß bei allen Wasserständen so zu gestalten, daß weder nennenswerte Abbrüche noch schädliche Anlandungen im Flußbette eintreten, die Unterhaltungslast also tunlichst verringert wird.

Die Beseitigung der Hochwasserschäden ist in der Regel nur dadurch zu erreichen, daß die Flußregelung mit einer Eindeichung der hochwassergeschädigten Grundstücke verbunden wird. Die erforderliche Vorflut der Grundstücke muß zum mindesten bei *SoMW*, besser noch bei *MW* überhaupt erreicht werden. Daher laufen die Flußregelungen für die Bodenverbesserung fast stets auf die Erreichung dieses Zieles hinaus.

Es sollte ferner das Ziel aller Flußregelungen sein, den zu regelnden Wasserlauf von der Mündung bis zur Quelle nach einem einheitlichen Plan in den gewünschten Zustand zu bringen, auch wenn ein solcher Plan oft nur in langen Zeiträumen verwirklicht werden kann. Bei der Aufstellung des Gesamtplanes ist zu prüfen, ob in absehbarer Zeit eine Veränderung der Abflußverhältnisse durch den Bau von Stauweihern oder Talsperren zu erwarten ist. Denn durch die Speicherung der Hochwasser wird der Wasserlauf entlastet und werden die Kosten der Flußregelung geringer. Grundsätzlich ist mit allen Flußregelungen am Unterlauf des Flusses zu beginnen. Würde man am Oberlauf anfangen, so würde in vielen Fällen der schnellere Wasserabfluß auf der Regelungstrecke eine verstärkte Hochwassergefahr für die Unterlieger zur Folge haben. Denn größere Flußregelungsarbeiten beanspruchen meistens schon aus geldlichen Gründen eine vieljährige Bauzeit.

In welchem Umfange Überschwemmungen zu beseitigen sind, hängt ganz von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen ab. Auch ist es zur Entscheidung dieser Frage von Bedeutung, ob die Flußregelung auf Kosten der beteiligten Landwirte oder des Staates ausgeführt werden soll. Im ersten Fall muß ein möglichst hoher Reinertrag erreicht werden (eigenwirtschaftlicher Erfolg), während im zweiten Fall der Rohertrag entscheidend ist (volkswirtschaftlicher Erfolg). Der Staat wird daher die Kosten und den Erfolg einer Flußregelung nach anderen Gesichtspunkten als der einzelne werten, wie denn überhaupt die Regelung der größeren Wasserläufe im allgemeinen als Aufgabe der öffentlichen Hand angesehen werden muß.

2. Vorarbeiten.

Man vgl. auch die Ausführungen im Teil III, E (S. 158).

Für die Regelung der größeren Wasserläufe ist eine genaue Kenntnis der Abflußverhältnisse ganz besonders wichtig. Erforderlich sind daher zuverlässige Pegelbeobachtungen und Abflußmengenmessungen. Dringend erwünscht ist eine über mehrere Jahrzehnte sich erstreckende Dauerlinie der Wasserstände, aus der man die Dauer und jahreszeitliche Verteilung der bisherigen Überschwemmungen anschaulich übersehen kann. Es ist sehr zu empfehlen, die Pegelbeobachtungen auch nach erfolgter Regelung des Flusses fortzusetzen, um die durch die Regelung tatsächlich erreichte Veränderung der Wasserstände mit den vorher berechneten vergleichen zu können. Dadurch werden wertvolle Unterlagen

für die richtige Beurteilung derartiger Regelungen gewonnen. Diese fortgesetzten Wasserstandsbeobachtungen dienen im Vergleiche mit den älteren vor Ausführung der Regelung gewonnenen auch zur Prüfung von angeblichen Schädigungen und zur Abweisung unberechtigter Schadenersatzforderungen.

Die landmesserischen Vorarbeiten bestehen in der Herstellung der Lagepläne und in den Flußaufnahmen. Die Lagepläne müssen das gesamte Gebiet, das von der Flußregelung Vorteil hat, enthalten. Sie müssen daher über die Überschwemmungsgrenze hinausreichen, da auch noch die unmittelbar oberhalb dieser liegenden Grundstücke bei *HHW* eine bessere Vorflut erhalten. Die Höhenlage des Vorteilgebietes ist durch Höhenlinien darzustellen. Wenn ausreichende Pegelbeobachtungen in der Nähe des zu verbessernden Gebietes vorhanden sind, kann man im Bereiche der Flußregelung die Wasserstände für *MHW* und *HHW* und mit Hilfe der Höhenlinien des Geländes die Grenzen der Überschwemmung ermitteln. Vor Ausführung der Feldaufnahmen versucht man, sich durch Nachfrage bei Ortseingesessenen über die flächenmäßige Ausdehnung der Hochwasser zu unterrichten. Noch günstiger ist es, wenn sich die Gelegenheit bietet, das Gelände bei Hochwasser zu begehen.

Die Lage des Flusses in der Wirklichkeit stimmt mit den Flurbuchkarten häufig nicht überein, so daß neue Messungen erforderlich werden. Alle vorhandenen Bauwerke, wie Brücken, Wehre, Uferbefestigungen, auch Abbruchstellen sind aufzumessen. Im allgemeinen ist es zweckmäßig, auch einen Beharrungszustand des Wasserspiegels durch Höhenmessung festzulegen. Das geschieht meistens durch Schlagen von Spiegelpfählen bei beharrlichem Wasserstande. Um diesen tunlichst auszunutzen, beginnt man bei großer Länge des Wasserlaufes gleichzeitig an mehreren Punkten. Am Schlusse der Messung ist zu prüfen, ob während der Messung eine Wasserstandsänderung stattgefunden hat, damit man durch Ausgleich den beharrlichen Wasserspiegel ableiten kann.

Die Höhenlage der Flußsohle wird bei Wassertiefen bis zu etwa 2,5 m am besten durch unmittelbare Höhenmessung mit der Fernrohrwaage ermittelt, bei größeren Wassertiefen verwendet man die Peilstange, bei sehr großen das Lot (Bleikugel oder Bleiröhre). Die Peilstange ist unten mit einem Querbrett zu versehen, damit sie nicht im Schlamm einsinkt. In der Regel genügen Querschnittaufnahmen in 100 m Abstand. Kommen dazwischen noch erhebliche Unregelmäßigkeiten vor, so sind sie nach Bedarf durch Zwischenquerschnitte festzulegen.

Außer den gewässerkundlichen und landmesserischen Vorarbeiten sind bisweilen noch weitere Ermittlungen erforderlich. So ist bei vorhandenen Stauwerken zu prüfen, ob sie bestehen bleiben können oder beseitigt werden müssen. Im ersten Falle wird es meistens erforderlich, die unmittelbar oberhalb des Staues liegenden Flächen ins Unterwasser des Staues zu entwässern. Liegen Geländeschwierigkeiten vor, z. B. hohes Gelände oder Gebäude auf der einen Seite des Stauwerkes, so kommt unter Umständen eine Unterdükerung des Flusses im Oberwasser des Staues in Frage, um so auf der anderen Seite des gestauten Flusses das Unterwasser zu erreichen. Soll der Stau gesenkt oder ganz beseitigt werden, so sind rechtzeitig Verhandlungen mit dem Eigentümer des Staues einzuleiten, um die Entschädigung festzulegen und vertraglich zu vereinbaren. Bei übertriebenen Forderungen wird man die im Wassergesetz zugunsten der Bodenverbesserung zugelassene Enteignung betreiben (S. 159).

Wenn mit der Flußregelung eine Seesenkung verbunden werden soll, ist im Benehmen mit Fischereisachverständigen die Auswirkung auf die Fischerei zu untersuchen. Trocken gelegte Randflächen können in landwirtschaftliche Nutzung genommen werden. Man prüfe daher die Verbesserungswürdigkeit des Seegrundes durch Untersuchung von Bodenproben. Besteht der Seeboden aus Pflanzenmodder, so ist nach der Trockenlegung eine mehr oder weniger starke Sackung zu erwarten, auf deren richtige Einschätzung besondere

Sorgfalt zu verwenden ist. Auch der Umfang einer zu erwartenden Grundwassersenkung ist von Bedeutung. Da Seen häufig von Wiesen umgeben sind, darf die Absenkung des Grundwassers nicht zu weit gehen. Namentlich bei durchlässigem Untergrund ist Vorsicht geboten. Auch Waldbestände in der Nähe des Sees können durch Grundwassersenkung geschädigt werden.

Für die Darstellung in den Lage- und Höhenplänen sind bestimmte Farben üblich. Der bestehende Geländezustand wird in schwarzer Farbe dargestellt, Höhenlinien braun. Für den neuen Flußlauf und neue Bauwerke ist Zinnoberrot zu wählen, für alle Wasserhöhen Blau. Überschwemmungsgrenzen bezeichnet man mit blauen Farbstreifen und schreibt gegebenenfalls den Tag der Überschwemmung daneben. Der Höhenplan (S. 160) muß folgende Linien enthalten:

1. Die vorhandene Flußsohle, und zwar die mittlere Sohlenlage der einzelnen Querschnitte, nicht die tiefste.
2. Rechtes und linkes Ufer.
3. Die für die Entwässerung maßgebenden Geländehöhen, wenn sie nicht schon durch die Höhenlage der beiden Ufer ausreichend gekennzeichnet sind und wenn das Flußtal flach und breit ist. Denn die Ufer liegen häufig höher als das Gelände dahinter (Rehnenbildung). Man bezeichnet die maßgebenden Geländehöhen im Höhenplan zweckmäßig durch kleine grüne Kreise.
4. Den Wasserstand der Aufnahme. Diese Linie hat aber nur dann Wert, wenn die ihr zugrunde liegende Abflußspende mit angegeben wird.
5. Die neue Flußsohle.
6. Das neue *MW* und die für die Regelung wichtigen neuen Hochwasserstände. Auch die Angabe von *SoMNW* kann ratsam sein.

Außerdem sind alle Bauwerke einzutragen. Ihre für den Abfluß maßgebenden Zahlen (Höhen, Lichtweiten) bringt man am besten in einem besonderen Bauwerkverzeichnis. Man zeichnet den Höhenplan im Zuge des neuen (durch Durchstiche verkürzten) Wasserlaufes, und zwar meistens stark überhöht, z. B. die Höhen im Maßstab 1 : 50, die Längen 1 : 20000. Die Querschnitte sind unverzerrt auf Millimeterpapier in Buchform aufzutragen. Das linke Ufer muß in den Querschnitten ebenfalls links liegen.

3. Die fachlichen Maßnahmen.

a) **Allgemeines.** Das Entwerfen einer Flußregelung setzt eine genaue Kenntnis des zu regelnden Flusses voraus. Nur wer die Eigenarten des betreffenden Wasserlaufes aus eigener Erfahrung kennt, ist imstande, einen brauchbaren Plan zu bearbeiten. Die Kunst des Flußbauers besteht darin, aus dem Verhalten des Flusses selbst die Grundlagen der Regelung zu erkennen. Das ist wichtiger als manche rein rechnerischen Ermittlungen. Denn die Einflüsse auf die Gestaltung des Flußbettes sind so mannigfach, daß es jedenfalls bisher nicht gelungen ist, sie rein rechnerisch zu erfassen. Das ist auch der Grund für die starke Entwicklung, die die Versuche der wasserbaulichen Versuchsanstalten im Flußbau genommen haben. Man hat daher zunächst diejenigen Flußstrecken festzustellen, die eine verhältnismäßig regelmäßige Form ohne nennenswerte Uferabbrüche und Versandungen aufweisen. Das bezieht sich in gleicher Weise auf gerade Strecken und Krümmungen. Es gibt fast stets solche Strecken, die jahrelang so gut wie unverändert sind, in denen sich mithin eine Art Gleichgewichtszustand zwischen den Angriffen des Wassers und dem Widerstand des Flußbettes eingestellt hat. Den besten Anhalt geben diejenigen Strecken, die gleichzeitig auch noch einen günstigen Mittelwasserstand aufweisen. Man hat also die Querschnitte solcher Musterstrecken aufzunehmen und daneben Wassergeschwindigkeit und Gefälle zu ermitteln.

Wenn auch das Hauptziel der Flußregelungen die Bodenverbesserung ist, so ist doch stets zu versuchen, die meistens nicht vermeidbaren Schädigungen

der Fischerei auf ein Mindestmaß zu beschränken (S. 150). Das geschieht durch die Erhaltung und Neuschaffung von Laich-, Aufwachs-, Schutz- und Fangstellen und durch die Ermöglichung des Fischwechsels an Stauanlagen (Fischtreppe). Von besonderer Bedeutung für die Flußfischerei ist die Uferausbildung. Denn hier leben die meisten Fischnährtiere. Ihre Lebensbedingungen werden durch die Begradigung der Wasserläufe und den Ausbau der Ufer verschlechtert, die Ruheplätze im stillen Wasser der Uferbuchten fallen fort. Man kann Ersatz schaffen, indem man bei Begradigungen einen Teil der Altarme (Altwässer) unten nach dem Fluß hin offen läßt und nur am oberen Ende zuschüttet. Hier ist durch einen Durchlaß für die Zuleitung von Frischwasser zu sorgen, falls nicht das Wasser für die Fischerei bedenklich ist (verschmutzt, sauerstoffarm). Die Altarme neigen zur Verlandung und bedürfen daher der Krautung und Räumung. Auch Schlenken, die ständig Wasser enthalten, aber mit dem Fluß nicht in offener Verbindung stehen, sind fischereilich wertvoll und sollten nicht restlos zugeschüttet werden. Tümpel, die nur zeitweise Wasser haben, sind Fischfallen, da die bei fallendem Hochwasser in ihnen zurückbleibenden Fische nach Austrocknen des Tümpels zugrunde gehen. Man muß sie daher entweder mit dem Wasserlauf verbinden oder zuschütten. Die Baggerlöcher der Kiesbaggereien auf den Vorländern lassen sich fischereilich ausnutzen. Die Bühnenfelder (S. 175) sind wertvoll als Ruhe- und Laichplätze sowie für das Wachsen der Fischnahrung. Der Boden der Felder soll eben sein, damit das Abfischen mit dem Netz möglich ist. Nicht zu tiefe Bühnenkolke sind fischereilich günstig. Freiliegendes Strauchpackwerk kann in fanglicher Hinsicht recht unbequem werden, wenn die Netze sich darin festhaken. Diese Gefahr wird gemildert, wenn das Packwerk steil und gleichmäßig mit den Wipfelenden nach außen gepackt wird. Anderenfalls ist eine Abdeckung des Packwerkes mit Sand, Kies oder Steinen günstig. Die Bühnenfelder sollen möglichst flache Ufer haben, auch etwas Rohr- und Süßgrasbestand am Ufer. Zwischenbühnen *Z* erschweren den Fang und beschleunigen oft die Verlandung der Bühnenfelder erheblich. Besser in fischereilicher Hinsicht sind Leitwerke *L* vor den Bühnenköpfen (Abb. 98). Leitwerke (S. 175) müssen zur Wassererneuerung eine Öffnung nach dem Fluß hin erhalten, durch die gegebenenfalls auch ein Fischerkahn hindurchfahren kann. Man legt diese Öffnung meistens an das untere Ende des Leitwerkes. Eine zweite Öffnung oben fördert die Frischwasserzufuhr, kann aber unter Umständen auch die Verlandung beschleunigen. Das Zufüllen der Bühnenfelder mit Baggergut sollte zugunsten der Fischerei möglichst unterlassen werden. Wenn es auch während der Baggerung meistens die billigste Art der Bodenbeseitigung ist, so doch keineswegs auf lange Sicht, da die natürliche Verlandung der Bühnenfelder nichts kostet, von dem künstlich eingebrachten Baggergut aber zweifellos ein Teil bei Hochwasser wieder herausgetrieben wird und dann an anderer Stelle zum zweiten Male gebaggert werden muß. Die Abdeckung der Flußböschungen (Deckwerke) soll nicht zu glatt sein, da sich an glatten Böschungen keine Fischnährtiere halten. Schüttsteine sind noch einigermaßen brauchbar. Man kann längere Deckwerke durch Leitwerke unterbrechen, hinter denen mit dem Fluß verbundene Leitwerkfelder liegen (Abb. 99). Die Kiesheger am ausbuchtenden Ufer scharfer Krümmungen dienen in größeren Flüssen häufig dem Lachs- und Salmfang (Fischerzüge). An solchen Stellen soll die Fischerei möglichst nicht durch Flußbauten oder Kiesbaggerungen gestört werden, wenn es sich um wertvolle Fangplätze handelt. Für die Fischerei ist es auch von Bedeutung, daß der Aalfang mit den

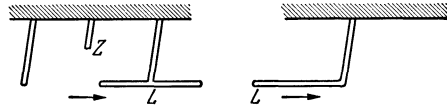


Abb. 98. Leitwerke vor Bühnenköpfen.

Abb. 99 zeigt ein Leitwerkfeld (*L*) hinter einem Flußufer. Das Diagramm zeigt ein Ufer mit einem steilen, abgedeckten Packwerk. Ein Leitwerk (*L*) ist hinter dem Ufer angebracht, um das Packwerk zu unterbrechen und einen Durchlaß für Wasser zu schaffen.

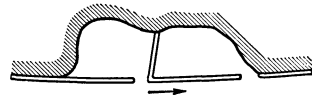


Abb. 99. Leitwerkfeld hinter einem Flußufer.

Die Bühnenfelder sollen möglichst flache Ufer haben, auch etwas Rohr- und Süßgrasbestand am Ufer. Zwischenbühnen *Z* erschweren den Fang und beschleunigen oft die Verlandung der Bühnenfelder erheblich. Besser in fischereilicher Hinsicht sind Leitwerke *L* vor den Bühnenköpfen (Abb. 98). Leitwerke (S. 175) müssen zur Wassererneuerung eine Öffnung nach dem Fluß hin erhalten, durch die gegebenenfalls auch ein Fischerkahn hindurchfahren kann. Man legt diese Öffnung meistens an das untere Ende des Leitwerkes. Eine zweite Öffnung oben fördert die Frischwasserzufuhr, kann aber unter Umständen auch die Verlandung beschleunigen. Das Zufüllen der Bühnenfelder mit Baggergut sollte zugunsten der Fischerei möglichst unterlassen werden. Wenn es auch während der Baggerung meistens die billigste Art der Bodenbeseitigung ist, so doch keineswegs auf lange Sicht, da die natürliche Verlandung der Bühnenfelder nichts kostet, von dem künstlich eingebrachten Baggergut aber zweifellos ein Teil bei Hochwasser wieder herausgetrieben wird und dann an anderer Stelle zum zweiten Male gebaggert werden muß. Die Abdeckung der Flußböschungen (Deckwerke) soll nicht zu glatt sein, da sich an glatten Böschungen keine Fischnährtiere halten. Schüttsteine sind noch einigermaßen brauchbar. Man kann längere Deckwerke durch Leitwerke unterbrechen, hinter denen mit dem Fluß verbundene Leitwerkfelder liegen (Abb. 99). Die Kiesheger am ausbuchtenden Ufer scharfer Krümmungen dienen in größeren Flüssen häufig dem Lachs- und Salmfang (Fischerzüge). An solchen Stellen soll die Fischerei möglichst nicht durch Flußbauten oder Kiesbaggerungen gestört werden, wenn es sich um wertvolle Fangplätze handelt. Für die Fischerei ist es auch von Bedeutung, daß der Aalfang mit den

Aalhamen und Aalschockern durch die Flußregelung nicht unmöglich gemacht wird. Wegen besonderer Maßnahmen zur Bekämpfung der für die Fischerei sehr gefährlichen Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*) ist mit einem Fischereisachverständigen Föhlung zu nehmen. Die Vorländer sollen möglichst so gestaltet sein, daß die Fische bei fallendem Hochwasser nicht an tiefen Stellen zurückbleiben und dann an Wassermangel zugrunde gehen. Seesenkungen können erhebliche Schäden für die Fischerei bewirken, da gerade der wertvolle Uferstreifen, an dem die Fischnahrung aufwächst, trocken fällt. Über die fischereilichen Schutzmaßnahmen und die zu erwartenden fischereilichen Schäden ist ein Gutachten eines Fischereisachverständigen einzuholen, zumal die zu zahlenden Entschädigungen in den Kostenanschlag eingesetzt werden müssen.

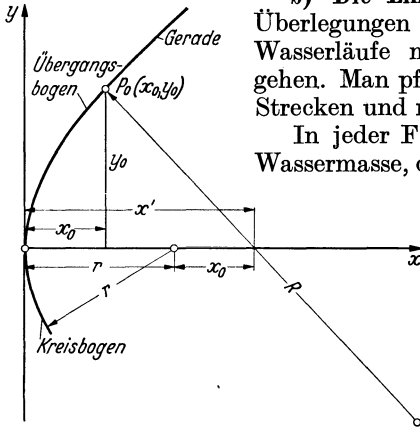


Abb. 100. Berechnung der Übergangsbögen.

b) Die Linienführung. Erfahrungen und rechnerische Überlegungen haben dazu geführt, bei der Regelung der Wasserläufe mit deren Begradigung nicht zu weit zu gehen. Man pflegt daher abwechselnd nicht zu lange gerade Strecken und nicht zu starke Krümmungen einzulegen.

In jeder Flußkrümmung wirken zwei Kräfte auf die Wassermasse, die Erdanziehung und die Fliehkraft. Letztere ist verhältnismäßig dem Quadrat der Wassergeschwindigkeit und umgekehrt verhältnismäßig dem Krümmungshalbmesser der betreffenden Flußkrümmung. Unter dem Einfluß dieser beiden Kräfte beschreiben die Wasserteilchen in der Flußkrümmung eine schraubenförmige Bahn, indem sie sich zunächst dem einbuchtenden Ufer nähern, hier abwärts sinken (Kolkbildung) und dann schräge aufwärts zur anderen Flußseite gelangen.

man nun an eine Krümmung mit verhältnismäßig kleinem Krümmungshalbmesser unvermittelt eine gerade Flußstrecke anschließen, so würde die schraubenförmige Bewegung der Wasserteilchen nicht ausklingen können, vielmehr würde das Wasser unmittelbar unterhalb der Krümmung stark nach der Seite des ausbuchtenden Ufers hinüber drücken. Dadurch entstehen Querschwingungen, die die Wasserführung auf der geraden Strecke schädlich beeinflussen, der Stromstich fängt an zu pendeln.

Um diese Nachteile zu vermeiden, muß man zwischen einer Krümmung und einer Geraden einen Übergangsbogen einschalten, in dem die Krümmung allmählich abnimmt. Als solcher eignet sich eine quadratische Parabel, deren Gleichung lautet (Abb. 100): $y^2 = 2px$. Der Krümmungshalbmesser ρ einer quadratischen Parabel ist

$$\rho = \sqrt{\frac{(p+2x)^3}{p}}.$$

Da für $x=0$ $\rho=p$ wird und da außerdem der Wert ρ des Übergangsbogens im Nullpunkt des Achsenkreuzes, d. h. am Ende des Kreisbogens, gleich r sein muß, so ist $p=r$ zu setzen. Daher

$$y^2 = 2rx \quad (108)$$

$$\rho^2 \cdot r = (r+2x)^3. \quad (109)$$

Am Ende des Übergangsbogens (Punkt P_0) soll $\rho=R$ sein. Also

$$R^2 \cdot r = (r+2x_0)^3. \quad (110)$$

Setzt man

$$R = n \cdot r \quad (111)$$

$$n^2 = a^3, \quad (112)$$

so ergibt sich aus den Gl. (108) und (110)

$$x_0 = \frac{r(a-1)}{2} \quad (113)$$

$$y_0 = r\sqrt{a-1}. \quad (114)$$

Die Gleichung der Senkrechten (Normalen) im Punkte P_0 lautet

$$y - y_0 = \frac{y_0(x_0 - x)}{r}. \quad (115)$$

Für $y = 0$ findet man

$$x' = r + x_0. \quad (116)$$

Es empfiehlt sich, hin und wieder Krümmungshalbmesser $r = 6$ bis $7 B$ vorzusehen, um ein Pendeln des Talweges zu verhindern (29, 15). Dabei ist B die Regelungsbreite des Wasserlaufes zwischen den Streichlinien (S. 175) oder die Wasserspiegelbreite bei MW . Der Halbmesser r soll nicht kleiner als $4,5 B$ sein. R kann etwa zu 10 bis 20 B angenommen werden. Beispiel: $B = 30$ m. Es sollen $r = 200$ m und $R = 600$ m werden. Dann ist:

$$n = 3 \quad a = 2,08$$

$$x_0 = 108 \text{ m} \quad y_0 = 208 \text{ m}.$$

Zwischenpunkte des Übergangsbogens sind mittels Gl. (108) zu berechnen.

Nun ist es allerdings bei der Aufstellung eines Regelungsplanes meistens nicht möglich, die Linienführung des Wasserlaufes lediglich nach den vorstehenden Gesichtspunkten festzulegen. Denn man ist schon aus Gründen der Kostenersparnis häufig darauf angewiesen, vorhandene Flußstrecken, die einigermaßen brauchbar sind, ohne wesentliche Änderungen in den Regelungsplan zu übernehmen. Soweit zugänglich, ist jedoch das Gesagte zu beachten.

Übermäßig starke Krümmungen sind abzufachen, Flußspaltungen grundsätzlich zu beseitigen, sofern nicht der schwächere Arm durch ein Wehr abgesperrt wird, um zur Hochwasserentlastung oder als Mühlgraben zu dienen.

Ein wichtiges Regelungsmittel sind auch die Durchstiche. Sie dienen zur Beseitigung ganz scharfer Krümmungen. Bei allen Durchstichen ist aber große Vorsicht erforderlich, da sie das Gefälle des Flusses oft erheblich vergrößern. Wenn man die in Abb. 101 dargestellte Flußschleife L mittels des Durchstiches l beseitigt, so wird das Gefälle J_2 im Durchstich größer als das alte Flußgefälle J_1 . Unmittelbar nach der Ausführung des Durchstiches ist

$$J_2 = \frac{L}{l} \cdot J_1. \quad (117)$$

Dieser Zustand ist aber nur von kurzer Dauer. Die im Durchstich entstehende größere Räumungskraft bewirkt hier eine Vertiefung der Sohle, die sich in dem alten Flußbett nach oben fortsetzt. Daher kann es nötig werden, oberhalb des Durchstiches die Böschungen einschließlich des Böschungsfußes besonders zu sichern. Im Laufe oft sehr langer Zeiträume, bisweilen erst nach Jahrzehnten, tritt dann meistens wieder ein Beharrungszustand ein, der durch ein stärkeres Gefälle als vordem gekennzeichnet ist. Ob dieses stärkere Gefälle zulässig ist, d. h. ob ein befriedigender Beharrungszustand überhaupt zu erwarten ist, ist bei erheblichen Laufverkürzungen außerordentlich schwer vorauszusagen. Allenfalls können noch die auf beständigen Strecken des Flusses

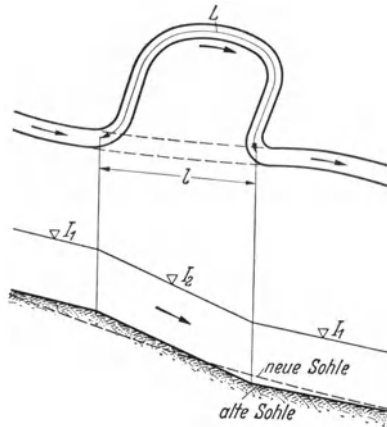


Abb. 101. Flußdurchstich.

beobachteten Gefälle und die Untersuchung der vorhandenen Geschiebe in einer Versuchsanstalt die Beurteilung erleichtern. Nötigenfalls ist ein Sohlenabsturz einzubauen. Unterhalb des Durchstiches tritt häufig eine Sohlenerhöhung ein, indem die aus der oberen Sohlenvertiefung stammenden Geschiebe zum Teil unten zur Ablagerung kommen. Das ist z. B. dann der Fall, wenn bei der Sohlenvertiefung gröbere Geschiebe gelöst werden, die bei der unterhalb vorhandenen kleineren Wassergeschwindigkeit nicht weiter wandern. Oder wenn überhaupt unterhalb des Durchstiches eine besonders geringe mittlere Wassergeschwindigkeit vorhanden ist, z. B. infolge großer Wasserspiegelbreite.

Ein Nachteil der Durchstiche ist die Durchschneidung der Grundstücke. Das macht bisweilen kostspielige Brückenbauten erforderlich. Besser ist es, diese durch eine Umlegung der Grundstücke (Flurbereinigung) zu vermeiden, wie denn überhaupt die Verbindung einer Flußregelung einschließlich Binnenentwässerung mit einer allgemeinen Grundstückumlegung, falls eine solche erforderlich ist, als besonders zweckmäßig angesehen werden muß.

Die Durchstiche werden entweder mit Trockenbaggern unter Wasserhaltung oder mit Naßbaggern ausgeführt, die sich vom Flusse aus schwimmend vorarbeiten. Der Boden wird vielfach zum Deichbau, zur Aufhöhung benachbarter Vertiefungen oder zum Zuschütten der Altarme an ihrem oberen Ende verwendet, wobei die Fischereibelange zu beachten sind.

Eine ganze Flußverlegung kann sich empfehlen, wenn im Laufe langer Zeiträume die Sinkstoffführung eine weitgehende Erhöhung der Ufer und der Flußsohle bewirkt hat und infolgedessen das Gelände keine Vorflut mehr in den Fluß findet.

Flutmulden sind ein geeignetes Mittel zur Abführung von Hochwasser, sie entlasten also den Wasserlauf. Im übrigen sind sie als Grünland zu nutzen. Man stellt sie in der Regel mit ganz flachen Böschungen her. Bisweilen sind auch natürliche Geländemulden vorhanden, die man der Hochwasserumleitung dienstbar machen kann.

c) **Die Quer- und Längsschnitte.** Bei jeder Flußregelung ist zunächst die Frage zu entscheiden, mit welcher Querschnittform Mittelwasser und Hochwasser abgeführt werden sollen. Das kann auf drei verschiedene Arten geschehen (Abb. 102):

a) **Einfacher Querschnitt.** Diese Form ist nur dann möglich, wenn das Hochwasser nicht sehr erheblich ist, oder wenn nur ein Teil des Hochwassers im Querschnitt abgeleitet wird.

b) **Zusammengesetzter Querschnitt unter Gelände.** Auch in diesem Falle dürfen die Hochwasser nicht allzu groß sein. Da ziemlich erhebliche Erdarbeiten entstehen, kommt die Anordnung nur dann in Frage, wenn aus irgendeinem Grunde Deiche vermieden werden sollen.

c) **Zusammengesetzter Querschnitt mit Deichen.** Das ist die weitaus häufigste Art der Ausführung.

Die Vorländer (S. 179) sind als Grünland, nicht als Acker zu nutzen, und sollen möglichst etwas Gefälle zum Fluß haben. Bei Hochwasser sind sie Sand- und Schlammablagerungen ausgesetzt.

Für die Abmessungen (Breite und Tiefe) des *MW*-Querschnittes lassen sich keine festen Vorschriften geben. Anhaltspunkte gewinnt man durch den zu regelnden Fluß selbst (S. 168). Die gebräuchlichste Querschnittform ist das Trapez. Eine gebrochene Sohle, die in der Mitte tiefer liegt als an den Seiten, hält zwar das *NW* besser zusammen als eine waagerechte, gleicht sich aber von selbst wieder aus, wenn man sie nicht planmäßig in dieser Form mit erheblichen Kosten dauernd unterhält. In den Flußkrümmungen ist weder eine waagerechte noch eine spiegelbildlich gebrochene Sohle zu halten. Der Grund ist die Kolkbildung am einbuchtenden Ufer, deren Bekämpfung zwecklos ist.

Daher wählt man bisweilen in den Krümmungen von vornherein einen nicht-spiegelbildlichen Querschnitt mit einer auf der einbuchtenden Uferseite tieferen Sohlenlage. Die Neigung der Böschungen ist von ihrer Befestigungsart und den Bodenverhältnissen abhängig. Bei Pflaster, Steinschüttungen und Strauchwerk genügt 1 : 1,5 bis 1 : 2; auch sind noch steilere Böschungen aus Strauchwerk standfest, aber im allgemeinen nicht zu empfehlen. Mit Graswuchs befestigte Flußufer in leichtem Boden sollen nicht steiler als 1 : 2,5, besser 1 : 3 hergestellt werden. Eine Berme (Abb. 102d) in Mittelwasserhöhe oder etwas darunter erhöht die Standfestigkeit des Flußufers.

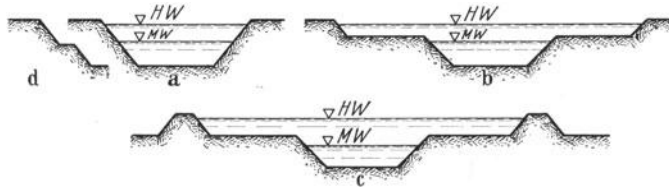


Abb. 102. Flußquerschnitte.

Häufig wird nun bei einer Flußregelung noch die Forderung gestellt, daß ein Hochwasser mit einer bestimmten Abflußspende bordvoll abfließen soll. Das ist aber nur in gewissen Grenzen zu erreichen. Denn man darf zu diesem Zwecke das *MW* nicht übermäßig tief absenken, namentlich nicht in sehr durchlässigem Boden, auch dürfen die Erdarbeiten nicht zu groß werden. Ferner darf man die Flußbreiten nicht nennenswert über die Breiten der Musterquerschnitte vergrößern (S. 168). Das *MW* muß ausreichende Vorflut gewähren, also tiefer liegen, als die Zahlen der Zahlentafel 37 angeben. Unter Berücksichtigung und Ausgleichung aller dieser Gesichtspunkte erhält man so einen Regelquerschnitt gemäß Abb. 102a, den man meistens

einheitlich für die geraden Strecken und Krümmungen verwendet. Bisweilen werden jedoch die geraden Strecken enger ausgebaut als die Krümmungen, um die Versandung der Übergänge zu bekämpfen. Die Flußbreite wird dann im Bereich der Übergangsbögen (S. 170) allmählich geändert.

Die nächste Aufgabe besteht darin, die zweckmäßigste Sohlenlage mit Hilfe des Längsschnittes zu ermitteln. Dabei soll das *HW* der Abb. 102a bordvoll bleiben. An einzelnen tiefen Geländestellen können kleine Uferverwallungen hergestellt werden. Das *MW* erhält dann von selbst eine angemessene mittlere Tiefe unter Gelände. Die neue Sohle soll sich der vorhandenen tunlichst anpassen, damit die Erdarbeiten nicht zu groß werden. Zwischen diesen Forderungen ist ein möglichst geschickter Ausgleich herbeizuführen, wobei allerdings größere Erdarbeiten auf der Flußsohle häufig nicht zu vermeiden sind. Wasserspiegel und Sohle werden gleichlaufend eingetragen, ein häufiger Gefällewechsel ist unzweckmäßig.

Zuletzt ist der ermittelte Regelquerschnitt unter Berücksichtigung der festgelegten Linienführung und Sohlenlage an den einzelnen Streckenpunkten (z. B. alle 100 m) in die vorhandenen Fluß- oder Geländequerschnitte einzutragen (Abb. 103). Bei dieser Gelegenheit ist stets zu prüfen, ob sich streckenweise noch eine geringfügige Verschiebung der Mittellinie des Flusses empfiehlt, um an Erdarbeiten zu sparen, ohne daß dadurch die grundlegenden Gesichtspunkte der Linienführung beeinträchtigt werden.

Eine noch umstrittene Frage ist, ob man alle kleinen Überbreiten (Abb. 103 rechts) verbauen soll. In vielen Fällen ist ein derartig gleichförmiges Vorgehen durchaus nicht zweckmäßig. Es hat keinen Sinn, ein gut erhaltenes Ufer eines



Abb. 103. Alter und neuer Flußquerschnitt.

z. B. 30 m breiten Wasserlaufes um 0,5 m vorzuschieben, auch wenn durch diese Unterlassung streckenweise eine Breite von 30,5 m entsteht. Man soll daher überlegen, ob ein Verbauen im Einzelfall wirklich nötig ist oder ob nicht die Kosten gespart werden können.

Zur Befestigung der Böschungen und der Sohle gibt es zahlreiche Möglichkeiten:

1. Ansaat, Flachrasen, Steinpackungen, Steinschüttungen, Betonplatten und Flechtzäune wurden bereits im Teil III (S. 147) behandelt. Einen guten Schutz bieten auch etwa in *MW*-Höhe angeordnete und mit Schilf bepflanzte Bermen. Die Steinschüttungen haben gegenüber Pflaster den Vorteil, daß sie sich Veränderungen der Böschung nachgiebig anpassen und durch Nachschüttungen leicht ergänzt werden können. Zur Steinschüttung können auch an Ort und Stelle hergestellte Beton-Kunststeine verwendet werden.

2. Pflaster aus Bruchsteinen, 15 bis 40 cm stark. Falls Bewegungen der Böschung zu erwarten sind, dürfen die Fugen nicht vergossen werden. Sonst dient Zementmörtel zum Vergießen, neuerdings auch Erdpechmischungen (Füllstoff mit Erdpech und Asbestfasern). Der Pflasterfuß ist durch eine

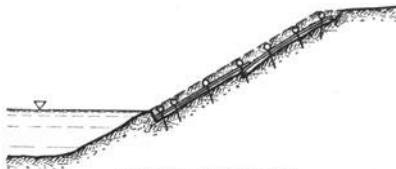


Abb. 104. Spreutlage.

Pfahlreihe (Pfähle 1,5 m lang, 10 bis 15 cm stark), Steinschüttung od. dgl. zu sichern.

3. Drahtnetzkörper in der Form von Walzen, Säcken, Polstern oder Kästen. Schotter und Steine aller Art werden mit Drahtgeflecht umhüllt. Diese Bauweise dient namentlich der Sicherung von Böschungsfüßen und der Verbauung

von Kolken. Auch können Drahtschotterkörper zum Bau von Buhnen und Leitwerken verwendet werden. Der schwächste Teil ist das rostende Drahtgeflecht (86 und 87).

4. Spreutlage (Abb. 104) dient als Böschungsschutz bei starkem Wasserangriff. Sie besteht aus lebenden Weidenruten, die mit dem Stammende nach unten senkrecht zur Flußrichtung auf die Böschung gebreitet werden. Etwa alle 60 cm werden sie durch quergelegte Würste und Pfähle (80 cm lang, 6 cm stark) festgehalten. Zwischen das Strauchwerk wird Boden geschüttet. Die ausgrünenden Weiden sind alle Jahre zu schneiden, damit sie den Wasserabfluß nicht hemmen. Würste (Wippen) sind dünne Strauchbündel (Ziffer 6).

5. Rauhwehr. Sein Zweck ist derselbe wie bei Ziffer 4, seine Ausführung ähnlich. Nur werden die Weidenbüsche mit den Spitzen schräg nach unten und stromab verlegt, die Würste quer darüber.

6. Strauchbündel (Faschinen) dienen zur Sicherung des Böschungsfußes und als Bauteile für viele Flußbauarbeiten. Es sind 3 bis 6 m lange und etwa 30 cm starke Bündel aus Reiser, die mit Bindendraht zusammengehalten werden. Weiden sind zu bevorzugen, aber auch anderes Holz ist brauchbar, wenn es nicht zu sperrig und brüchig ist. Die einzelnen Reiser sollen mindestens 2 m lang und am Stammende nicht stärker als 3 bis 4 cm sein. Zum Festheften der Strauchbündel benutzt man 0,8 bis 1,5 m lange und 4 bis 5 cm starke Pfähle.

7. Senkstrauchbündel (Senkfaschinen) verwendet man zum Ausfüllen tiefer Kolke. Sie sind 3 bis 6 m lang, 0,5 bis 1,0 m stark und bestehen aus einer Hülle von Strauchwerk mit Steinfüllung. Das Senkstrauchbündel wird auf der Bündelbank (Faschinenbank) am Ufer zusammengewürgt und mit starkem geglühtem Eisendraht gebunden. Nach der Herstellung wird es auf Leitbäumen vom Ufer in den zu deckenden Kolk gerollt, um hier eine Fußsicherung für die Flächendeckung auf der Unterwasserböschung zu bilden. Stellt man es in „endlosen“ größeren Längen her, so nennt man es Sinkwalze.

8. Packwerk (Abb. 105) dient zum Verbauen von Abbrüchen in tiefem Wasser. Es besteht aus 0,5 bis 0,7 m starken Schichten von Strauchbündeln,

die durch Würste und Pfähle miteinander verbunden werden. Zwischen die Würste schüttet man Beschwerungserde, die gehörig zu rammen ist, damit sie in die Strauchbündel eindringt. Darauf wird die nächste Schicht aufgebracht.

9. Sinkstücke bestehen aus einem unteren und einem oberen Rost aus gekreuzten Würsten. Zwischen diesen werden lagenweise Strauchbündel und Beschwerungsmasse eingebaut. Die Dicke beträgt 1 m und mehr. Die beiden Roste werden an den Kreuzungstellen der Würste durch Luntleinen, die durch die ganze Füllung reichen, fest miteinander verschnürt. Die Sinkstücke dienen zur Deckung ausgedehnter Sohlenkolke. Sie werden in deren Größe zwischen zwei Prähmen hängend oder auf einer Hellige am Ufer gebaut, dann schwimmend zur Verwendungsstelle gebracht und durch Aufbringen von Steinwurf zwischen vorübergehend und nur lose eingeschlagenen Leitpfählen an die richtige Stelle versenkt.

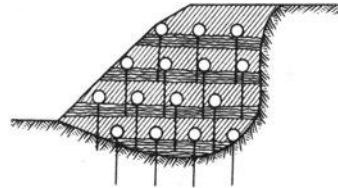


Abb. 105. Packwerk. (Nach Krüger.)

10. Sinkmatten sind schwächere sinkstückartige Strauchbündelkörper. Man kann sie an stark gefährdeten Stellen zur Böschungssicherung verwenden.

11. Sinkbäume sind belaubte Bäume, die man am Stammende beschwert und in Kolke versenkt, damit sie hier die Sinkstoffe auffangen.

12. Grundschwellen sind niedrige Grundwehre auf der Flußsohle, zu deren Festlegung sie dienen. Oberhalb erfolgt Aufhöhung, unterhalb besteht Kolkgefahr. Sie wirken in der Regel nur dann, wenn sie sehr eng liegen (Abstand kleiner als Flußbreite).

Um erhebliche Überbreiten zu verbauen, bedient man sich der Bühnen und Leitwerke. Bühnen liegen quer, Leitwerke (Parallelwerke) gleichlaufend zur Fließrichtung (Abb. 106). Die stromaufgerichtete dichte Buhne a hat vor der senkrechten b den Vorteil, daß das über sie fließende Wasser vom Ufer abgelenkt wird. Man legt den Bühnenkopf K etwa in die Höhe des Mittelwassers, die Krone der dichten Buhne steigt mit 1 : 30 bis 1 : 200 zur Bühnenwurzel W , die gut in das Ufer einzubinden ist. Dem Kopf größerer Bühnen gibt man in der Verlängerung der Buhne eine recht flache Böschung unter Wasser (flacher als 1 : 5), um die Kolkbildung zu verringern. Länge und Abstand der Bühnen sind nach den örtlichen Verhältnissen sehr verschieden. Bezeichnet man mit B die Wasserspiegelbreite bei MW (Regelungsbreite zwischen den Streichlinien), so kann man für den Bühnenabstand e im großen Durchschnitt etwa folgende Maße annehmen:

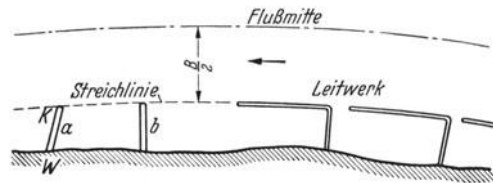


Abb. 106. Bühnen und Leitwerke.

- Übergangstrecken $e = 0,50$ bis $0,75 B$
- Einbuchtendes Ufer $e = 1,5$ „ $2,0 B$
- Ausbuchtendes Ufer $e = B$.

Dabei ist die Bühnenlänge mindestens $= 0,25 e$ zu wählen.

In Flachlandflüssen kann man die gewünschten Verlandungen vielfach schon mit sehr einfachen, billigen Pfahlbühnen erreichen. Diese bestehen aus einer einfachen Pfahlreihe mit 0,5 bis 1,0 m Pfahlabstand. Die Pfähle werden oben durch einen Holm miteinander verbunden und reichen bis etwas über MW . Am Bühnenkopf ist noch ein Schrägpfahl anzubringen, um der Buhne mehr Halt gegen den Wasserdruck zu geben. Gelegentliche Beschädigungen durch Eisgang kann man bei den geringen Wiederherstellungskosten in Kauf nehmen.

Je stärker der Stromangriff ist, um so schwerer wird die Bauart der Buhnen und Leitwerke. Packwerk, Senkstrauchbündel, Sinkstücke, Pfahlreihen, Steinschüttung und Pflaster sind ihre wichtigsten Bauteile. Wegen der einzelnen Bauweisen wird im übrigen auf das erwähnte Buch verwiesen (S. 163).

Wenn man zu breite Flußstrecken durch Buhnen einengt, so tritt zunächst eine Hebung des MW ein, weil der wasserführende Querschnitt kleiner geworden ist. Die Zusammenfassung des Wassers hat jedoch im Laufe der Zeit eine Sohlenvertiefung zur Folge, die sogar eine Senkung des MW bewirken kann und wohl ausnahmslos eine Senkung des MNW nach sich zieht. Letztere kann nachteilig für die Landwirtschaft werden.

Buhnen haben vor Leitwerken zwei Vorteile: geringere Kosten und die Möglichkeit, B noch nachträglich zu ändern. Die Strömung ist aber zwischen Leitwerken regelmäßiger als zwischen Buhnen. Trotzdem braucht man nicht eine vollständige Verlandung der Buhnenfelder anzustreben, die auch auf natürlichem Wege fast niemals eintritt.

Eine besondere Art der Leitwerke sind die schwebenden Bauten (nach Wolf). In der Streichlinie werden Pfähle geschlagen und an diesen Büsche oder Bretter befestigt. Dadurch wird die Strömung auf der Uferseite dieser Bauten verringert und das Geschiebe kommt hier zur Ablagerung. Die Bauweise setzt eine ausreichende Geschiebeführung voraus.

Am meisten bedürfen die einbuchtenden Ufer (Hohlufer) einer kräftigen Befestigung. Holz soll grundsätzlich nur unter MW verwendet werden.

d) **Abflußberechnungen.** Man vergleiche die Ausführungen im Teil II über Geschwindigkeitsformeln, Wehr- und Brückenstau usw. (S. 118).

Zur Beurteilung der Frage, ob und wie sehr eine Flußregelung sich lohnt, ist nach Möglichkeit die Häufigkeit der bisherigen Überschwemmungen und der zu hohen Wasserstände festzustellen. Zu diesem Zwecke trägt man die Wasserstandsganglinie eines nahen Pegels und den auf diesen Pegel bezogenen Ausuferungswasserstand $w - w$ der zu regelnden Flußstrecke nach Abb. 31 auf. Dieses Verfahren gibt den besten Überblick (S. 111). Ist t die für die Entwässerung erforderliche Wassertiefe unter Gelände, so beginnt die Vorflut unzureichend zu werden, sobald der Wasserstand $w_0 - w_0$ überschritten wird. Nötigenfalls ist ein Bezugspegel zu setzen (S. 110).

Wertvoll ist häufig auch die Ermittlung der bordvollen Leistungsfähigkeit des Flusses vor der Regelung. Ist auf der Regelungstrecke ein Pegel vorhanden, dessen Abflußgesetz bekannt ist, so kann man die bordvolle Leistungsfähigkeit Q_b für einen Pegelstand = mittlerer Uferhöhe unmittelbar aus dem Abflußgesetz ablesen. Ist dagegen kein Pegel vorhanden oder das Abflußgesetz nicht festgestellt, so bleibt nur übrig, Q_b zu berechnen. Dabei ist für jede Flußstrecke der mittlere Querschnitt zugrunde zu legen, und sind Querschnitteile, in denen kein Wasserabfluß stattfindet (tote Winkel), nicht mit zu berücksichtigen. Als Wasserspiegellinie nimmt man eine ausgleichende bordvolle Linie, die auf den einzelnen Flußstrecken gerade und etwa gleichlaufend zur Sohle verläuft.

Auch bei der Leistungsprüfung des neuen Flußbettes ist bisweilen mit mittleren Querschnitten zu rechnen, nämlich dann, wenn der Regelquerschnitt nicht auf allen Flußstrecken durchgeführt wird, sondern Überbreiten und Über-tiefen bestehen bleiben.

Hinsichtlich der Abflußspenden bei HW ist zu beachten, daß diese durch eine Eindeichung größer werden als sie vor der Eindeichung waren (S. 180).

Bei der Durchführung von Flußregelungen ist hin und wieder die Wasserspeicherung in Seen von erheblicher Bedeutung. Es kann z. B. die Aufgabe gestellt sein, aus der Abflußmengenganglinie oberhalb eines Sees diejenige unterhalb zu berechnen. Man verfährt dann folgendermaßen. Es sei:

q_1 der Zufluß in den See in m^3/s am Anfang eines Tages.
 a_1 der Abfluß aus dem See in m^3/s am Anfang desselben Tages.
 h_1 der Seestand in cm am Anfang desselben Tages.
 q_2, a_2 und h_2 die entsprechenden Werte am Ende desselben Tages.
 F die Oberfläche des Sees in ha. In der Regel kann man F bei verschiedenen Wasserständen als unveränderlich ansehen.

Niederschläge und Verdunstung auf dem See pflegt man zu vernachlässigen. Außerdem wird der Wasserspiegel des Sees als ständig waagrecht angesehen, was insbesondere bei langgestreckten Seen nicht genau zutrifft. Da nun für je 24 h der Zufluß = Seespeicherung + Abfluß (in m^3) ist, so erhält man die Gleichung

$$\left. \begin{aligned} \frac{q_1 + q_2}{2} 86400 &= \\ &= \frac{F \cdot 10000 (h_2 - h_1)}{100} + \\ &\quad + \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot 86400. \end{aligned} \right\} (118)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{F}{432} h_2 + a_2 &= q_1 + \\ + q_2 - a_1 + \frac{F}{432} h_1 &= R. \end{aligned} \right\} (119)$$

Zahlentafel 78.

Tag	$q_1 + q_2$	h_1	a_1	R	h_2	a_2
1	8,0	40,00	4,00	84,00	40,00	4,00
2	10,6	40,00	4,00	86,60	41,25	4,10
3	19,6	41,25	4,10	98,00	46,71	4,58
4	36,0	46,71	4,58	124,84	59,45	5,94
5	46,0	59,45	5,94	158,96	75,44	8,08
6	38,2	75,44	8,08	181,00	85,63	9,74
7	24,2	85,63	9,74	185,72	87,81	10,10
8	14,8	87,81	10,10	180,32	85,32	9,68
9	10,2	85,32	9,68	171,16	81,09	8,98
10	8,4	81,09	8,98	161,60	76,66	8,28
11	8,0	76,66	8,28	153,04	72,68	7,68
12	8,0	72,68	7,68	145,68	69,24	7,20
13	8,0	69,24	7,20	139,28	66,25	6,78
14	8,0	66,25	6,78	133,72	63,63	6,46
15	8,0	63,63	6,46	128,80	61,32	6,16

Ein Beispiel ist in der Zahlentafel 78 durchgerechnet. Dabei wurde

$F = 864$ ha gesetzt. Die Beziehung der Abflußmenge a zum Seestand h muß bekannt sein (Abb. 107). Die erforderlichen Werte sind Tag für Tag zu berechnen. Für jeden Tag sind h_2 und a_2 durch Versuchen so zu bestimmen, daß die linke Seite der Gl. (119) = R wird. Da Abrundungsfehler sich durch die

ganze weitere Rechnung hindurchziehen, muß man bei genauer Rechnung die Veränderung

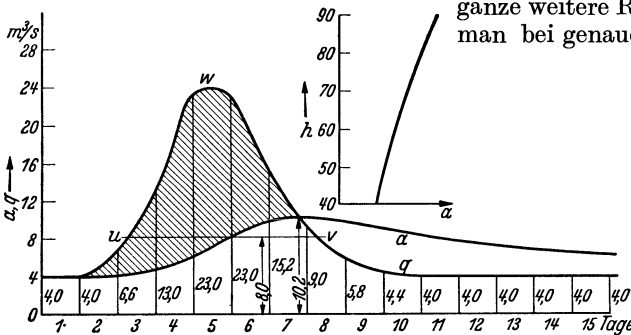


Abb. 107. Wasserverspeicherung in Seen.

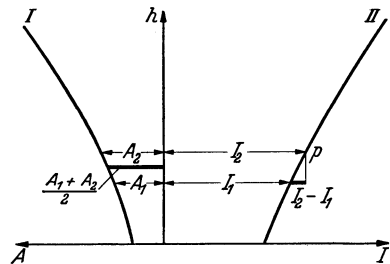


Abb. 108. Wasserverspeicherung in Seen.

des Seestandes, wenn sie gering ist, auf mm festlegen, d. h. die h -Werte mit zwei Bruchzahlen (Dezimalen) berechnen. Das Ergebnis der Zahlentafel 78 ist in Abb. 107 aufgetragen. Im Scheitel der a -Linie ist stets $a = q$. Man sieht, daß die größte sekundliche Abflußmenge durch den See stark verringert, die Dauer des Hochwassers aber verlängert wird.

Wenn F mit steigendem h größer wird, wie es bei sehr flachen Ufern eintritt, hat man die Beziehung zwischen F und h zu ermitteln und in Gl. (119) mit dem veränderlichen F zu rechnen. In solchen Fällen bewirkt eine Seesenkung höhere Hochwasserwellen unterhalb des Sees als vor der Senkung.

Ein zeichnerisches Verfahren ist in Abb. 108 dargestellt. Linie I ist die Beziehung zwischen dem Tagesabfluß A in m^3 und der Seehöhe h , Linie II die

Inhaltsummenlinie für das Seebecken in m^3 (J). Für jeden Zeitabschnitt (Tag) ist

$$Q = \frac{q_1 + q_2}{2} \cdot 86\,400 \quad (\text{S. 177}).$$

$$A_1 = a_1 \cdot 86\,400, \quad A_2 = a_2 \cdot 86\,400.$$

$$Q = \frac{A_1 + A_2}{2} + J_2 - J_1. \quad (120)$$

Wenn q_1 und q_2 bekannt sind, bestimmt man von Tag zu Tag fortschreitend jeweils durch Versuchen den Punkt p so, daß Gl. (120) erfüllt ist.

Sind Abfluß (a) und Seewasserstand (h) in ihrem zeitlichen Verlauf bekannt, so findet man den Zufluß (q) ohne Versuchen. Zu diesem Zweck setzt man in Gl. (119)

$$q_1 + q_2 = 2q.$$

Vgl. auch Nr. 117 des Schriftenverzeichnisses.

4. Die Unterhaltung.

Die Räumung der größeren Wasserläufe geschieht mit Baggern der verschiedensten Art. Sie werden auch für schmale Wasserläufe mit geringem Tiefgang gebaut.

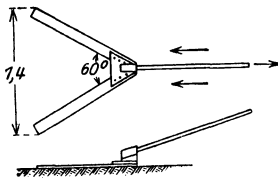


Abb. 109. Freienwalder Krautmesser.
(Nach Krüger.)

Wegen der Krautungsgeräte vgl. man die Ausführungen auf S. 162. Außerdem sind zu nennen:

1. Das Freienwalder Krautmesser (Abb. 109). Zwei Messer mit Außenschneide sind unter einem Winkel von 60° starr miteinander verbunden und mit schräg aufwärts gerichtetem Stiele versehen. Das Messer ist vom Kahne aus zu benutzen. Dieser wird von zwei Leuten stromauf bewegt. Ein Dritter, am

Heck des Kahnens stehend, zieht das Gerät ruckweise nach.

2. Die Sensenkette. Mehrere Sensenblätter mit etwa 0,75 m Arbeitsbreite werden durch Bolzen gelenkartig miteinander verbunden. Jedes zweite Messer wird mit einem Schleppgewicht versehen. An jedem Ende der Sensenkette ist ein Zugseil befestigt. Durch wechselweises Anziehen der Zugseile von den Ufern aus wird das Messer ruckweise sägend stromauf bewegt.

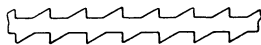


Abb. 110. Ziemsensche Krautsäge.

3. Die Ziemsensche Krautsäge (Abb. 110). Sie besteht aus einem 10 bis 20 m langen biegsamen, beiderseits gezahnten Sägeblatt, das alle 1 bis 1,5 m durch aufgeschraubte flache gußeiserne Körper beschwert wird, vermittels derer es sich den größeren Unebenheiten der Gewässersohle anschmiegt. Die Säge wird von den Ufern aus ruckweise hin und hergezogen. Nach Abschrauben der Gußeisenkörper kann das Sägeblatt zusammengerollt und bequem fortgeschafft werden. Diese Krautsäge hat sich sehr bewährt, sie wird hergestellt von der Drahtwarenfabrik Wilhelm Müller in Wismar.

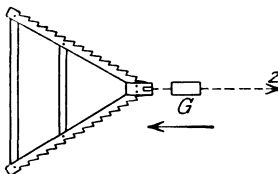


Abb. 111. Schleppsäge.
(Nach Krüger.)

4. Die Schleppsäge (Abb. 111). Zwei Sägeblätter werden durch Spreizen winkelförmig miteinander verbunden. Vorn sorgt ein Eisenkörper G als Beschwerungsgewicht für Grundschrägigkeit. An dem Zugseil z wird die Säge hinter einem Kahne oder Kraftboote stromauf gezogen. Die Arbeitsbreite beträgt 1 bis 3 m.

Die Notwendigkeit einer sachgemäßen Flußunterhaltung bedarf keiner Begründung. Es sei aber besonders darauf hingewiesen, daß namentlich alle Schäden an den Ufern alljährlich beseitigt werden sollten, da jede Versäumnis in

dieser Hinsicht die Unterhaltungskosten letzten Endes nur vermehrt und häufig auch landwirtschaftliche Nachteile durch Verschlechterung der Vorflut zur Folge hat.

B. Die Flußdeiche.

1. Allgemeines.

Die Flußdeiche sind, meistens in Verbindung mit Flußregelungen, häufig auch mit Schöpfwerken, ein oft angewandtes Mittel des Hochwasserschutzes (S. 172). Das Land zwischen dem Deiche und dem Flusse nennt man den Außendeich oder das Vorland, das im Schutze des Deiches liegende Land den Binnendeich oder das Binnenland, auch den Polder. Man unterscheidet Winter- und Sommerdeiche, je nachdem das Winterhochwasser oder nur das Sommerhochwasser von der Niederung ferngehalten werden soll, ferner folgende Hauptdeicharten:

1. Geschlossene Deiche erhalten oben und unten einen hochwasserfreien Anschluß an das hochliegende Gelände.

2. Offene Deiche werden nur oben hochwasserfrei an das Gelände angeschlossen. Das Hochwasser kann also von unten in das eingedeichte Gebiet zurückstauen.

3. Rückstaudeiche *r* (Abb. 112) sind im Anschluß an die Hauptdeiche *h* an Nebengewässern anzulegen, wenn deren offene Einnündung erhalten bleiben muß. Sie müssen so weit nach oben reichen wie der Rückstau aus dem Hauptflusse.

Als Schaardeiche bezeichnet man Deiche, die ohne Vorland unmittelbar am Flusse liegen. Ringdeiche umgeben einzelne Gehöfte oder ganze Ortschaften im Überschwemmungsgebiet. Schlafdeiche sind alte Deiche, die durch neue überflüssig geworden sind oder höchstens noch als zweiter Schutz bei Deichbrüchen dienen.

Mit jeder Eindeichung ist gleichzeitig die Entwässerung des eingedeichten Polders zu verbinden. Vgl. S. 182 sowie die Teile III und VI. Im übrigen ist darauf zu achten, daß die Binnengräben möglichst nicht näher als etwa 10 bis 15 m an den Deichfuß herangeführt werden.

2. Die Wirkung der Eindeichungen.

Dem großen Vorteil der Eindeichungen (Schutz vor Überschwemmungen) stehen mehrere Nachteile gegenüber:

1. Entziehung der bisherigen häufig recht fruchtbaren Überflutungen des Polders, sofern nicht geflutet wird (S. 304).

2. Schädigung des Polders durch Drängewasser, das den Boden von unten nach oben durchdringt und ihn seiner Nährstoffe beraubt. Das Drängewasser wirkt also auslaugend auf den Boden.

3. Verstärkte Erhöhung des Vorlandes durch Sinkstoffablagerung und dadurch mit der Zeit Erhöhung der Hochwasser.

4. Gefahr des Deichbruches und der Vernichtung der in dessen Schutz entstandenen wertvollen Anlagen, die vor der Bedeichung sich von selbst verboten.

5. Erhöhung der Hochwasser zwischen den Deichen und infolgedessen Rückstau in das Gebiet oberhalb der neuen Deiche.

6. Erhöhung der Hochwasserwellen unterhalb der neuen Deiche.

Diese Nachteile treten bei allen Winterdeichen ein, die ja den Polder vor jedem Hochwasser schützen, während sie bei Sommerdeichen wegen ihres nur zeitweisen Hochwasserschutzes nur zum Teil und beschränkt Geltung haben.

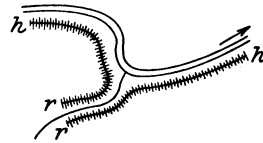


Abb. 112. Rückstaudeiche.
(Nach Krüger.)

Sommerdeiche haben aber trotzdem gegenüber Winterdeichen erhebliche Nachteile. Da sie von höheren Hochwassern überströmt werden, sind sie der Gefahr des Deichbruches besonders stark ausgesetzt. Man kann diese Gefahr dadurch einschränken, daß man den größten Teil des Deiches hochwasserfrei legt und das Hochwasser nur über besondere Überlaufstrecken und durch Einlaßbauwerke in den Sommerpolder einleitet. Ein weiterer Nachteil ist die beschränkte landwirtschaftliche Nutzung der Sommerpolder. Da sie auch bei besonders hohen Sommerhochwassern überflutet werden können, ist der Landwirt niemals vor Hochwasser gesichert. Daher unterläßt er meistens den Anbau lohnender Ackerfrüchte überhaupt, oder er wird, wenn er es trotz der Hochwassergefahr wagt, von Zeit zu Zeit durch den völligen Verlust der Ernte schwer geschädigt. Aber auch dann, wenn der Sommerpolder lediglich als Grünland genutzt wird, sind hochwertige Süßgrasbestände kaum zu halten, da sie wesentlich empfindlicher gegen längere Überschwemmungen sind als

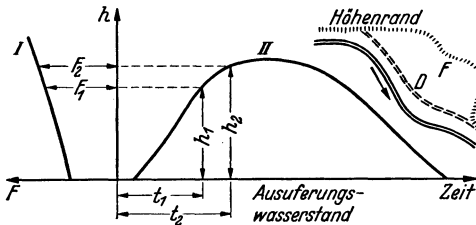


Abb. 113. Umformung einer Hochwasserwelle durch einen Deich.

Naturwiesen. Es ist daher vor jeder Eindeichung eine der wichtigsten Fragen, ob ein nur teilweiser oder ein völliger Hochwasserschutz gewählt werden soll. Allerdings gibt es Fälle, in denen eine völlig hochwasserfreie Eindeichung deshalb nicht möglich ist, weil die zu schützenden Flächen für die Abführung des *HHW* nicht entbehrt werden können, sei es, daß sonst ein zu starker Rück-

stau flußaufwärts oder ein unzulässiger Höchstabfluß unterhalb zu befürchten ist (Ziffern 5 und 6).

Jede Hochwasserwelle erfährt eine Umformung, wenn durch einen Deich die Möglichkeit der Ausuferung beschränkt wird. Denn während vor der Eindeichung bei steigendem Wasserspiegel das von oben zufließende Wasser zum Teil auf den überschwemmten Flächen F gespeichert wird, fließt es sofort mit ab, sobald ein Deich D gezogen ist (Abb. 113). Ist die Wasserstandsbewegung des Hochwassers vor der Eindeichung im Bereiche des Deiches D bekannt, oder ermittelt man sie durch einen Bezugspegel (S. 110), so ergibt sich folgende Rechnung: Ist I die Linie der überschwemmten Fläche F (ha) bei verschiedenen Wasserständen h (cm), II die Wasserstandsganglinie einer Hochwasserwelle vor der Eindeichung, so findet in der Zeit $t_2 - t_1$ (Stunden) eine Speicherung von $50 \cdot (F_1 + F_2) (h_2 - h_1)$ m³ statt, d. h. in der Zeit $t_2 - t_1$ wird nach der Eindeichung der sekundliche Abfluß im Mittel um

$$\Delta Q = \frac{(F_1 + F_2)(h_2 - h_1)}{72(t_2 - t_1)} \text{ m}^3/\text{s} \quad (121)$$

größer sein als vor der Eindeichung. Im Scheitel der Linie II ist $h_2 = h_1$, also $\Delta Q = 0$. Bei fallendem Wasser wird ΔQ negativ. Die Umformung der Hochwasserwelle durch die Eindeichung besteht mithin in einer Hebung der steigenden und in einer Senkung der fallenden Wasserstände. Es handelt sich um dieselben Vorgänge wie bei der Seespeicherung. Setzt man in Gl. (121) $F_1 = F_2$ und $t_2 - t_1 = 24$, so werden in 24 Stunden $100 \cdot F (h_2 - h_1)$ m³ gespeichert, das ist derselbe Wert wie in Gl. (118). Es sind also die Gl. (119) und (120) anwendbar mit $\frac{q_1 + q_2}{2}$ bzw. Q als Unbekannter.

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, daß man bei Eindeichungen stets die Wirkung auf die unterhalb liegende Flußstrecke sorgfältig prüfen muß. Sollen mehrere Deiche in Abständen hintereinander errichtet werden, so ist, von oben beginnend, die Umformung der Hochwasserwelle schrittweise zu

untersuchen, da der Zufluß zu jeder Flußstrecke durch alle oberhalb geplanten Eindeichungen beeinflußt wird.

Im Gegensatz zu den Winterpoldern (Trockenpoldern), die niemals überflutet werden, bieten die Sommerpolder und Überlaufpolder (Naßpolder) unter Umständen die Möglichkeit, gerade mit Hilfe der Eindeichung den bisherigen sekundlichen Größtabfluß zu verkleinern. In Abb. 107 ist die gestrichelte Fläche der bisher mit Wasser gefüllte Inhalt des Polders. Beginnt man nun mit der Füllung des Polders erst dann, wenn $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ zufließen, so läßt sich die Wassermenge $u-v-w$ im Polder speichern und der seitherige Größtabfluß $10,2 \text{ m}^3/\text{s}$ wird auf $8,0$ verringert. Man nennt dieses Vorgehen das „Kappen“ der Hochwasserspitze $u-v-w$.

Um die schützende Wirkung einer Eindeichung und damit den Vorteil für die Landwirtschaft beurteilen zu können, stellt man mit Hilfe der Wasserstandsganglinien die Häufigkeit und zeitliche Verteilung der bisherigen und künftigen Überschwemmungen einander gegenüber. Hinsichtlich der künftigen ist dabei so zu verfahren, daß man feststellt, welche Überschwemmungen in der Vergangenheit eingetreten wären, wenn der Deich schon bestanden hätte.

3. Linienführung und Querschnitt der Deiche.

Bezüglich der Linienführung der Deiche ist Folgendes zu beachten:

1. Die Deiche sollen möglichst in der Richtung des Hochwasserabflusses verlaufen. Trotz scharfer Krümmungen des Flusses sind schlanke Deichlinien zu wählen. Dadurch wird der Wasseranriff auf die Deiche ermäßigt und die Abführung des Eises erleichtert.

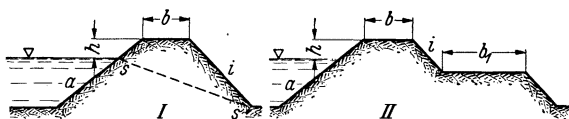


Abb. 114. Deichquerschnitte.

2. Der Abstand der Deiche soll tunlichst gleich-

bleibend sein. Deichverengungen erhöhen die Gefahr der Eisversetzung. Ein stark wechselnder Deichabstand vermehrt außerdem die Querströmungen, die den Wasserabfluß und die Unterhaltung erschweren. Im allgemeinen sollte die Vorlandbreite nicht schmaler als 10 bis 15 m sein. Im übrigen ist der Deichabstand so zu wählen, daß der Aufstau zwischen den Deichen nicht zu hoch für die Oberlieger wird und daß die Wassergeschwindigkeit sowohl im Flußbett als auch auf den Vorländern in zulässigen Grenzen bleibt.

3. Die Deiche sollen, soweit möglich, auf festem Untergrund liegen. Daher kann es zweckmäßig sein, tiefe Kolke zu umgehen, auch wenn dadurch die Linienführung beeinträchtigt wird. Nach Möglichkeit läßt man Kolke außendeichs, da sie bei binnenseitiger Lage meistens das Drängewasser vermehren. Ein fester Untergrund läßt sich im tiefgründigen Moor mit vertretbaren Kosten in der Regel nicht erreichen, da das Ausschachten des Moores zu teuer werden würde. Dann ist aber große Vorsicht geboten wegen der Sackung des Moores, dessen Beschaffenheit sorgfältig festzustellen ist. Sehr zweckmäßig ist es, zunächst eine kurze Probestrecke zu schütten und zu beobachten (S. 183).

Als Querschnitt der Deiche wählt man meistens eine der in Abb. 114 dargestellten Formen. Für Form I kommen folgende Abmessungen in Betracht:

Sommerdeiche. $b = 1$ bis 2 m , $h = 0,3$ bis $0,5 \text{ m}$,

$a = 1:2$ bis $1:3$, $i = 1:3$ bis $1:10$.

Abgesehen von niedrigen Deichen unter $1,5 \text{ m}$ Höhe sind Sommerdeiche stets mit Überläufen, häufig auch mit Einlaßbauwerken zu versehen, damit sich vor der Überströmung des Deiches ein „Wasserpolder“ im Polder bildet. Dadurch wird der Angriff des überlaufenden Wassers auf die Binnenböschung verringert.

Die Krone der Überlaufstrecken liegt um $h = 0,3$ bis $0,5$ m unter Deichkrone. Die Länge der Überläufe, die Höhe h und gegebenenfalls die Einlaßbauwerke sind so zu bemessen, daß ein ausreichendes Wasserpolster entsteht, bevor die Überströmung des Deiches selbst beginnt. Die Überläufe erhalten eine sehr flache Böschung bis $1:40$. Wegen ihrer Berechnung vgl. S. 128. Je bindiger der Deichboden und je tiefer das Wasserpolster im Vergleich zur Deichhöhe ist, um so steiler kann die Binnenböschung i des Deiches sein. Eine völlige Sicherheit gegen Deichbrüche ist jedoch auch bei einer Neigung $1:10$ nicht vorhanden. Man soll daher stets prüfen, ob nicht Überläufe im Zuge hochwasserfreier Deiche vorzuziehen sind. Letztere sind trotz ihrer größeren Höhe bisweilen nicht wesentlich teurer als überströmte Deiche, da sie eine steilere Binnenböschung erhalten.

Winterdeiche. $b = 2,5$ bis $4,5$ m, $h = 0,5$ bis $1,5$ m,
 $a = 1:2$ bis $1:4$, $i = 1:1,5$ bis $1:2$.

Die Krone ist zur Erleichterung der Deichverteidigung grundsätzlich befahrbar herzustellen. h ist der Abstand zwischen Krone und HHW . Er kann bei starkem Wellenschlag auch noch größer als $1,5$ m werden.

Form *II* der Abb. 114 ist nur für nicht überströmte Deiche anwendbar. Die Breite b_1 wird gern so bemessen, daß sie befahrbar ist, seltener nur als 1 bis 2 m breite Berme. Die binnenseitige Anschüttung ergibt eine sehr günstige Verstärkung des Deichfußes. Wenn b_1 als Weg ausgebaut wird, macht man b nur 1 bis 2 m breit.

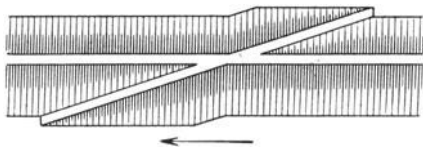


Abb. 115. Deichrampen. (Nach Krüger.)

Für alle Deichquerschnitte ist noch Folgendes zu beachten: Befahrbare Strecken sind mit lehmigem Kies zu befestigen. Der Deichkrone gibt man gern eine Neigung nach außen von etwa $1:10$, damit das Regenwasser ablaufen kann. Allerdings hat das auf befahrenen Strecken wenig Wert, da hier der Regen ohnehin in den Wagenspuren versickert. Wenn das Hochwasser lange Zeit anhält, besteht die Möglichkeit, daß es den Deich durchsickert. Es bildet sich eine sog. Sickerlinie $s-s$ (Abb. 114), die nicht die Binnenböschung schneiden darf, da sonst das hier heraustretende Sickerwasser Boden aus dem Deich herauspülen und diesen gefährden würde. Als Neigung der Sickerlinie kann man bei sandigem und lehmig-sandigem Deichboden etwa $1:6$ bis $1:8$ annehmen. Man verhindert das Austreten der Sickerlinie aus der Binnenböschung nötigenfalls durch die Deichform *II* oder dadurch, daß man die Binnenböschung unten flacher als oben anlegt.

Zur Vermittlung des Verkehrs über den Deich dienen Deichrampen oder Deichlücken. Die Deichrampen (Abb. 115) erhalten $1:12$ bis $1:20$ Steigung und sollen außendeichs stromab gerichtet sein, damit sie dem Stromangriff weniger ausgesetzt sind.

4. Bauwerke.

Die Deichlücken (Abb. 116) werden seitlich durch Mauern oder Bohlwände eingefast und bei Hochwasser mit 2 oder 3 Dammbalkenlagen, zwischen die man Erde bringt, verschlossen. Man führt sie bei niedrigen Deichen bis zur Geländehöhe, bei höheren etwa bis zur halben Deichhöhe hinunter.

Die Auslaßbauwerke (Siele) haben die Aufgabe, den Polder bei niedrigen Außenwasserständen zu entwässern. Sie werden in der Regel als einfache Durchlässe aus Rohren, in Mauerwerk oder Beton hergestellt. Außen gibt man ihnen ein nach außen aufschlagendes, selbsttätig wirkendes Stemmtor. Wenn zeitweise ein zu starkes Sinken des Binnenwassers verhindert werden soll, wird auf der Binnenseite ein Schützenverschluß angeordnet. Rohrsiele kann man auch mit einer Rückschlagklappe versehen.

In Sommerpoldern und Überlaufpoldern müssen die Siele so groß sein, daß das in den Polder eingeströmte Wasser bei fallendem Hochwasser im Fluß so schnell wieder herausfließt, daß kein zu großer Überdruck im Siel entsteht. Wenn die Wasserfläche des gefüllten Polders F ha groß ist und der Fluß in 24 h um s cm sinkt, so muß die Leistungsfähigkeit des Sieles bei dem als zulässig erachteten Überdruck zwischen Binnen- und Außenwasser betragen

$$Q = \frac{s \cdot F}{864} \text{ m}^3/\text{s}. \quad (122)$$

In großen Poldern genügen dann meistens keine Rohrsiele, sondern müssen oben offene Auslaßbauwerke mit größerer Lichtweite errichtet werden.

Einlaßbauwerke dienen dem Einlassen von Flußwasser in bedeihte Niederungen, sei es zum Zwecke der Bewässerung (S. 304), sei es zur Entlastung des Wasserlaufes. Sie werden als Rohrdurchlässe oder als größere oben offene Bauwerke mit Schützenverschluß hergestellt. In niedrigen Deichen kann man auch einfache Dammbalkenverschlüsse nach Abb. 199 wählen, um an Kosten zu sparen.

Die lebendige Kraft des durch Aus- oder Einlaßbauwerke strömenden Wassers läßt sich mit gutem Erfolg durch die von Rehbock angegebenen Zahnschwel len vernichten (161).

Alle Bauwerke in Deichen müssen eine sorgfältige Verbindung mit dem Deichkörper erhalten, damit sich an den Berührungsflächen keine durchgehende Fuge bildet, durch die das Außenwasser leicht hindurchfließen kann (S. 257). Die Bauwerke werden dann „umläufig“. Rohrsiele versteht man ringsherum mit Wülsten, die das Siel mit dem Deichkörper verzahnen.

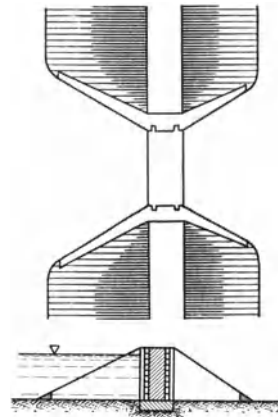


Abb. 116. Deichlücke.
(Nach Krüger.)

5. Die Ausführung.

Schon bei der Entwurfbearbeitung ist zu prüfen, wo geeigneter Deichboden entnommen werden kann. Man stellt entweder den ganzen Deichquerschnitt aus demselben Boden her, in der Ausführung das einfachste Verfahren, oder man sieht besondere Dichtungsschichten vor (Abb. 117). Diese kann man nach unten als Herddamm verlängern. Dichtungsschichten erübrigen

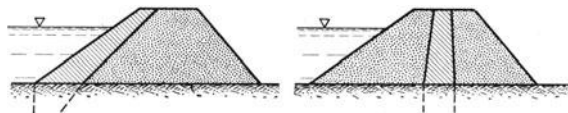


Abb. 117. Dichtungsschichten in Deichen.

sich, wenn als Deichboden sandiger Lehm oder stark lehmiger Sand zur Verfügung steht, sie sind aber nötig bei reinem Sandboden. Die beste Bodenverteilung in einem Deichquerschnitt besteht darin, daß dichtere Bodenarten auf der Wasserseite, durchlässige auf der Binnenseite angeordnet werden. Fetter Ton ist für Deichbauten nur an solchen Stellen geeignet, wo er nicht austrocknen und daher nicht rissig werden kann, z. B. als Dichtungskern. Über die Verwendung von Moor zum Deichbau sind die Ansichten geteilt. An sich ist Moorboden kein geeigneter Baustoff für Deiche, da er sehr leicht ist, bei Trockenheit puffig werden kann, so daß die Grasnarbe leidet, und mit der Zeit immer mehr vergeht. Das geringe Gewicht des Moorbodens ist aber günstig für Deiche auf tiefgründigem Moor, auf dem ein schwerer Sanddeich versacken würde. Man soll jedoch Moordeiche nicht höher als etwa 2 m anlegen, sie recht breit machen und die ganze Deichoberfläche übersanden (S. 357). Die Sanddecke schützt gegen Puffigwerden und Verwehen, fördert dadurch die Begrünung und macht den reichlich leichten Deich etwas schwerer und somit standfester. Wesentlich besser als reines Moor

ist schlick- oder sanddurchsetztes, wie es in unseren Flußniederungen häufig zu finden ist. In Zweifelfällen empfiehlt es sich, den für einen Deichbau in Aussicht genommenen Mineral- oder Moorboden durch eine Versuchsanstalt untersuchen zu lassen.

Man nimmt den Deichboden entweder aus dem Vorlande, wo mit einer natürlichen Wiederaufschlickung durch die Sinkstoffe des Flusses zu rechnen ist, oder aus höher gelegenen Stellen der näheren Umgebung (Sandhorste, Höhenrand der Niederung). Nötigenfalls sind verschiedene Bodenarten (Sand, Lehm) getrennt zu fördern.

Die Deichgrundfläche muß so hergerichtet werden, daß sich die Deichschüttung mit dem Untergrunde gut verbindet. Daher ist der Rasen zu schälen; er wird seitlich gestapelt, um ihn später für die Außenböschung des Deiches verwenden zu können. Auch Mutterboden ist beiseite zu setzen. Alle Sträucher, Bäume und größeren Wurzeln müssen entfernt werden. In der Längsrichtung des Deiches zieht man Furchen mit dem Pfluge. Dort, wo das Gelände quer zum Deich stark geneigt ist, muß die Deichgrundfläche abgetreptt werden, damit keine geneigte Gleitfläche unter dem Deich liegt. Moorschichten geringer Stärke werden am besten entfernt.

Der Deich ist stets in waagerechten Lagen zu schütten, bei Handbetrieb von 20 bis 30 cm, bei Maschinenbetrieb bis 50 cm Stärke. Die einzelnen Lagen müssen gestampft werden, soweit sie nicht schon durch das Gleis und die Muldenkipper zusammengedrückt werden. Als Sackmaß kann man bei Sand etwa 5%, bei Lehm 10% annehmen. Die Deiche sind also um 5 bis 10% höher anzuschütten als sie später sein sollen. Die Außenböschung ist in der Regel mit Flachrasen zu befestigen. Die Fugen zwischen den Rasensoden sind gut mit Mutterboden auszufüllen. Unter dem Flachrasen ist eine Mutterbodenschicht von 5 bis 10 cm erwünscht oder bei reinem Sandboden erforderlich, damit die Grasnarbe kräftig wird. Auf der Binnenseite kann man, wenn es an Rasensoden fehlt, auch 10 cm Mutterboden auf die Böschung bringen und ansäen. Eine geeignete Grassamenmischung für Deichböschungen ist folgende (204, 247):

	kg/ha
<i>Agróstitis álba</i> (Weißes Straußgras)	1,5
<i>Alopecúrus praténsis</i> (Wiesenfuchsschwanz)	4
<i>Ávena elátior</i> (Glatthafer)	3
<i>Dáctylis glomeráta</i> (Knaulgras)	4
<i>Festúca praténsis</i> (Wiesenschwingel)	9,5
<i>Festúca rúbra</i> (Rotschwingel)	7
<i>Lólium itálicum</i> (Welsches Weidelgras)	5
<i>Lólium perénne</i> (Deutsches Weidelgras)	10
<i>Medicágo lupulína</i> (Hopfen-Luzerne)	2,5
<i>Phléum praténse</i> (Wiesenlieschgras)	5,5
<i>Póa praténsis</i> (Wiesenrispengras)	7
<i>Trifólium praténse</i> (Wiesenklee)	2,5
<i>Trifólium répens</i> (Weißklee)	1,5

63

Die beste Bauzeit ist das Frühjahr, damit die Schüttung bis zum Eintritt gefährlicher Hochwasser ausreichend sackt und die Böschungen gut begrünen. Wird der Deich erst spät im Herbst geschüttet, so ist eine Ansaat mit Winterroggen zu empfehlen (S. 149). An besonders gefährdeten Stellen kann auch eine Abpflasterung der Außenböschung in Frage kommen. Strauchbündel sind nicht zweckmäßig, da sie über Wasser zu schnell vergehen.

6. Unterhaltung und Deichverteidigung.

Die Unterhaltung eines Deiches darf niemals dem einzelnen Grundstückseigentümer überlassen werden, ist vielmehr stets einem Deichverband oder

einer Gemeinde zu übertragen. Denn sonst ist eine sachgemäße Unterhaltung nicht zu erreichen, wie zahlreiche Erfahrungen beweisen. Am wichtigsten ist eine stets geschlossene dichte Grasnarbe auf den Böschungen. Sie wird im allgemeinen nur dadurch zu erzielen sein, daß man gut düngt und mehrmals im Jahre mäht. Beweiden der Böschungen mit Schafen hat sich vielfach bewährt. Doch ist die Kuhweide nur zulässig auf festen, flachen Böschungen mit schwerem Boden (Lehm, Klai). Maulwurfhaufen sind einzuebnen, Maulwürfe und Mäuse zu vertilgen, wenn sie überhand nehmen. Auch Hamster- und Fuchsbauten sind in Deichen nicht zu dulden. Der Deich selbst soll frei von Bäumen und Büschen sein. Am Fuße der Außenböschung haben sie sich jedoch in vielen Fällen als günstig erwiesen, da sie den Wellenschlag und Eisdruck auf die Böschung verringern. Der Aufwuchs darf aber nicht so dicht werden, daß die Grasnarbe der Böschung unter Lichtmangel leidet und lückenhaft wird. Besondere Aufmerksamkeit ist der Uferunterhaltung vor schaar liegenden Deichen zu widmen.



Abb. 118. Deichdichtung durch Erdschüttung. (Nach Krüger.)

Die Deiche können in folgender Hinsicht durch Hochwasser gefährdet werden:

1. Durch Wellenschlag und Strömung. Wellenschlag ist besonders dann gefährlich, wenn der Deich mit breitem Vorlande quer zur herrschenden Windrichtung liegt. Dauernden Schutz dagegen gewährt Pflasterung, vorübergehenden bei der Deichverteidigung Strauchwerk, Strohmatte oder Gewebestoffe. Diese werden die Außenböschung abwärts gerollt und unten mit Pfählen angenagelt oder mit Sandsäcken beschwert.

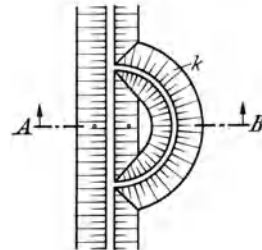


Abb. 119. Deichdichtung durch Kuverdeich. (Nach Krüger.)

2. Durch Auftreten von Quellen auf der Binnenseite. An sich ist es am wirksamsten, eine solche Durchquellung durch Sandsäcke und Erde auf der Außenseite zu dichten. In den seltensten Fällen gelingt es aber, hier die Stelle zu finden, an der das Wasser in den Deich eindringt. Die Sandsäcke sind nur schlaff zu füllen, damit sie sich allen Unebenheiten besser anschmiegen und auch untereinander einen dichten Schluß ergeben. Die Erdschüttung ist mit einer Bretterwand zu halten (Abb. 118). Wenn die Leckstelle außen nicht gefunden werden kann, so ist binnen ein Kuverdeich *k* herzustellen (Abb. 119). In dem kleinen Kuverpolder sammelt sich das Leckwasser und verhindert durch seinen Gegendruck ein weiteres Durchquellen. Solange das heraustretende Quellwasser klar ist, besteht noch keine besondere Gefahr für den Deich. Sobald es aber trübe wird, ist das ein Beweis dafür, daß Bodenteilchen aus dem Deich herausgespült werden und daß infolgedessen Hohlräume entstehen, die den Wasserdurchfluß dauernd größer werden lassen. Der Deich wird dann leicht durch einen sog. Grundbruch zerstört.

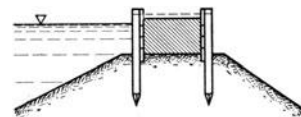


Abb. 120. Deichaufkädung. (Nach Krüger.)

3. Durch Überströmung. Um sie zu verhüten, erhöht man die Krone mit Sandsäcken oder durch eine Aufkädung, das ist eine Erdauffüllung zwischen Bretterwänden (Abb. 120). Tritt trotzdem eine Überströmung ein, so ist der Deich in der Regel nicht mehr zu halten. Es findet ein Kronenbruch statt, indem die Ausspülung von oben her immer größer wird.

4. Durch Aufweichen. Wenn offene Deiche auf beiden Seiten längere Zeit vom Wasser umspült werden und wenn ihre Böschungen wesentlich steiler

sind als dem natürlichen Böschungswinkel des Deichbodens unter Wasser entspricht, so können sie aufweichen und auseinanderfließen.

Für jeden Deich muß eine Deichverteidigungsordnung aufgestellt werden, da es sonst im Falle der Gefahr an der unbedingt notwendigen Vorbereitung und einheitlichen Leitung fehlt. Der Leiter der Deichverteidigung ist an den Hochwassermelddienst anzuschließen, damit er bei Hochwassergefahr rechtzeitig seine Vorbereitungen treffen kann. Sandsäcke, Pfähle, Bretter und Werkzeuge müssen jederzeit in ausreichender Menge verfügbar sein und sind nötigenfalls besonders vorrätig zu halten. Die dafür entstehenden Kosten fallen gegenüber den großen Schäden eines Deichbruches überhaupt nicht ins Gewicht.

V. Die Dränung.

A. Allgemeines.

1. Die Wirkung der Dränungen.

Dränung nennt man die Entwässerung mit künstlichen unterirdischen Abzügen, die den Zweck haben, die für das Wachstum der Nutzpflanzen schädliche Nässe aus dem Boden zu beseitigen.

In Abb. 121 ist eine Dränabteilung dargestellt, die aus zwei Sammlern *a* und *b* und den Saugern 1 bis 29 besteht (S. 189). Da diese stumpf gegeneinander gestoßen werden, ihre Schnitt-

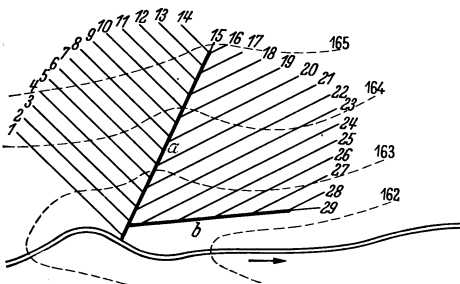


Abb. 121. Dränabteilung.

flächen (Stirnflächen) aber niemals völlig eben sind, so bieten die zwischen je zwei Rohren verbleibenden Stoßfugen Raum genug für das Eindringen des Bodenwassers, wie folgende Rechnung zeigt: Angenommen, es gelänge, die Stoßfugen durchschnittlich nur 0,5 mm eng anzulegen, so bietet die ringförmige Stoßfuge eines 40 mm weiten Dränrohres immer noch $40 \cdot \pi \cdot 0,5 = \text{rund } 60 \text{ mm}^2$ Eintritts-

öffnung. Bei 16 m Entfernung der Rohre enthält 1 ha 625 m Sauger mit $625 \cdot 3 = 1875$ Rohren oder Stoßfugen. Auf 1 ha haben die Stöße also $1875 \cdot 0,6 = 1125 \text{ cm}^2$ Eintrittsöffnung. Zusammengelegt entspricht das einer quadratischen Öffnung von 33 cm Seitenlänge. Da die Abflußmenge von 1 ha selten mehr als 1 bis 2 l/s beträgt, so ist die Öffnung überaus reichlich, um den Eintritt des Bodenwassers in die Rohre zu gestatten. Dagegen sind die Wassermengen, die durch die porigen Wandungen der gebrannten Tonrohre in die Dräne gelangen, außerordentlich gering.

Die Wirkung der Dränstränge ist am augenfälligsten dort, wo das Grundwasser hoch liegt, wie es in Abb. 27 dargestellt ist. Je schwerer durchlässig der Boden ist, um so stärker ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Wölbung des Grundwasserspiegels. Daher findet man z. B. in den schwer durchlässigen Moorböden oft stark gewölbte Spiegellinien des Grundwassers, während sandige Böden einen flachen Verlauf zeigen. Bei andauernder Trockenheit wird die Spiegellinie immer flacher, nach Niederschlägen hingegen steiler.

Die Wirkung der Dränung beschränkt sich aber nicht auf die Absenkung des Grundwassers. In schweren Böden pflegt auch bei einem Grundwasserstand von vielen m unter Gelände eine sehr günstige Wirkung der Dränung auf den Wasserhaushalt des Bodens einzutreten. Da das Bodenwasser in schweren Böden zu langsam versickert, muß naturgemäß jede Maßnahme,

die seinen Abfluß erleichtert, günstig wirken. Von erheblicher Bedeutung ist dabei auch die Auflockerung des Bodens durch die Drängräben, die im allgemeinen sehr lange anhält. In das lockere Erdreich der Gräben vermag das Sickerwasser leichter einzudringen als in den gewachsenen Boden. Man hat beobachtet, daß die Niederschläge sich bei etwas geneigtem Gelände zunächst in der lockeren Ackerkrume schwerer Böden talwärts bewegten und erst über dem nächsten Dränstrang nach unten sickerten. Eine weitere Folge der Drängräben besteht darin, daß der Boden in ihrer Nähe der ausdehnenden Wirkung des Frostes nachgeben kann, weil die lose Füllmasse der Gräben zusammendrückbar ist. Das hat eine Lockerung auch bei einem Teil des gewachsenen Bodens zur Folge.

Die Beseitigung einer übermäßigen Bodennässe vergrößert natürlich den Luftgehalt des Bodens. Da die Dränung ferner die Wasserbewegung im Boden beschleunigt, so wird auch die Luft schneller nachgesogen als vorher, der Boden wird infolgedessen wärmer als es ohne eine Dränung der Fall sein würde. Die bessere Durchlüftung und Erwärmung des Bodens vermehrt nun ihrerseits wieder die stofflichen Umsätze und die Tätigkeit der Kleinlebewesen, es kommt zu einer mehr oder weniger umfangreichen Krümelbildung und damit zu einer weiteren Verbesserung des Wasserhaushaltes. Die günstige Wirkung der Dränung auf den Luftgehalt des Bodens kann allerdings bei ganz schweren Natrium-Tonen ausbleiben (S. 21). Auch in den Dränsträngen findet eine Luftbewegung statt. Die Luft strömt an den Ausmündungen bald von innen nach außen, bald umgekehrt (83, 338). Man sagt daher: Die Dränung „atmet“. Die durch Wärmeänderungen bewirkte Luftströmung ist in der Regel am Tage auswärts und nachts einwärts gerichtet. Außerdem hat der Wind stoßweise und recht unregelmäßige Luftbewegungen in den Dränen zur Folge. Ob und inwieweit aber diese Vorgänge den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt des Bodens beeinflussen, ist noch eine ungeklärte Frage. Es ist behauptet worden, daß die Grundluft durch die Dränrohre entweichen könne und daß infolgedessen eine Grundluftspannung nicht möglich sei, von der man eine Behinderung der Versickerung befürchtet. Eine solche Behinderung ist aber sehr unwahrscheinlich (S. 11). Dagegen ist anzunehmen, daß die Erneuerung der Bodenluft durch die Atmung der Dräne begünstigt wird. Es ist ferner die Vermutung ausgesprochen worden, daß der gedränte Boden im Frühjahr auch dadurch schneller erwärmt würde, daß warme Außenluft in die Dränstränge eindringe, und man hat vorgeschlagen, diese Luftbewegung in den Dränen noch besonders zu fördern, indem die Sauger an ihren oberen Enden durch einen besonderen Strang verbunden und durch ein senkrechtes Rohr oder einen Schacht mit der Außenluft in Verbindung gebracht werden (Durchlüftungsdränung). Bisher konnte aber bei Versuchen dieser Art eine Steigerung des Ernteertrages nicht nachgewiesen werden. Wie gering die Wärmemenge ist, die in einen Sammler einströmen kann, ergibt sich aus folgender Rechnung: Bei einer Einströmungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s strömen in einen Sammler von 10 cm Durchmesser in 24 h

$$0,5 \cdot \frac{0,1^2 \cdot \pi}{4} 86400 = 340 \text{ m}^3 \text{ Luft}$$

ein, die bei einem Wärmegefälle von 10° C 1020 kcal Wärme abgeben können (S. 22). Besteht der Boden aus 30 Raumteilen Wasser, 10 Raumteilen Luft und 60 Raumteilen fester Teile, so sind etwa 660 kcal erforderlich, um 1 m³ Boden um 1° C zu erwärmen. Würden also 2 Wochen ununterbrochen warme Luftmassen durch die Dränung fließen (bloße Annahme), so würden dem Boden 14280 kcal zugeführt werden, die nur 22 m³ des gewachsenen Bodens um 1° erwärmen könnten. Wärmemäßig hat daher die Durchlüftungsdränung keine Bedeutung.

Schon aus dem großen Umfang der ausgeführten Dränungen kann man den Schluß ziehen, daß sie mancherlei Vorteile gegenüber der Entwässerung

durch offene Gräben (S. 152) besitzen. Sie wirken zunächst wesentlich stärker als diese. Es ist natürlich im Felde undurchführbar, offene Gräben in demselben Abstände anzuordnen wie die Sauger einer Dränung. Daher findet das im Übermaß vorhandene Bodenwasser in einem gedränten Felde überall die Möglichkeit des Abflusses, während es zu den Gräben im allgemeinen wesentlich längere Strecken durchfließen muß. Auch ist die Entwässerung durch Gräben während der Frostzeit, wenn der gefrorene Grabenumfang sich mit einer undurchlässigen gefrorenen Schicht bedeckt, geringer als durch Dräne, die, in frostfreier Tiefe liegend, das ganze Jahr hindurch entwässern. Daher wird auch gedräntes Land im Frühjahr schneller trocken als das durch Gräben entwässerte. So zeichnen sich denn gedränte Flächen durch eine besonders gute Durchlüftung und Erwärmung aus. Auch alle die anderen Vorteile der Bodenentwässerung sind bei der Dränung besonders groß: Auflockerung, Krümelbildung, Erschließung der tieferen Bodenschichten und der dort vorhandenen natürlichen Pflanzennährstoffe, gute Ausnutzung des Stall- und Kunstdüngers, Entsäuerung des Bodens, Anregung der Bakterientätigkeit, Widerstandsfähigkeit der kräftig entwickelten Nutzpflanzen gegen Krankheiten, Verlängerung der Wachstumszeit durch frühere Bestellung, so daß die Pflanzen kräftiger in eine etwaige Dürrezeit hineinkommen, Erleichterung der Bestellung namentlich auf schweren Böden sowie gute Ausnutzung der Niederschläge im Sommer. Infolgedessen hat die Dränung erhebliche Mehrerträge zur Folge (S. 203).

Die Dränung vergrößert ferner die nutzbare Landfläche. Man gewinnt nicht nur die Grabenbreite, sondern auch die im Acker nötigen Schutzstreifen zu beiden Seiten der offenen Gräben. In den Marschen, in denen die offenen Gräben oft sehr eng liegen, beträgt der durch sie bewirkte Landverlust bisweilen 15%. Die Wirtschafterschwernis der offenen Gräben wird bei der Dränung vermieden, insbesondere wird die Maschinenarbeit erleichtert. Auf Weiden, namentlich auf Moorweiden mit ihren weichen Grabenböschungen, sind offene Gräben sehr lästig, weil sie entweder mit erheblichen Kosten eingezäunt werden müssen oder durch das Weidevieh beschädigt werden und dann hohe Unterhaltungskosten verursachen. Diese sind an sich bei den Gräben schon höher als bei den Dränanlagen. Schließlich beseitigt der Ersatz von Gräben durch Dräne auch Unkräuter und Pflanzenschädlinge, die gerade an den Grabenrändern besonders üppig gedeihen.

Auf der anderen Seite haben aber die offenen Gräben auch einige Vorzüge im Vergleich zur Dränung. Vermöge ihres größeren Querschnittes verbrauchen sie weniger Gefälle als Dräne. Sie nehmen das Tageswasser schneller auf und führen es schneller ab. Sie sind stets übersichtlich und zugänglich, gestatten daher leichter die Wahrnehmung und Beseitigung von Abflußstörungen. Bei eintretendem Bedarf kann ein Graben vertieft oder verflacht werden, letzteres durch Unterlassen der Räumung oder durch Einbau von Sohlenabstürzen. Dieser Umstand ist von Bedeutung in den Mooren. Da das Moor sackt, so kann man dem bei offenen Gräben durch eine einfache Nachräumung Rechnung tragen, nicht aber bei Dränen, deren nachträgliche Vertiefung erheblich höhere Kosten verursachen würde (S. 43).

Die Wirkung einer Dränung ist nun nicht in jedem Jahre die gleiche. Es liegt auf der Hand, daß die beste Wirkung in nassen Jahren eintritt, in denen viel schädliches Bodenwasser zu entfernen ist. In den schwereren Böden wird jedoch durch die Verbesserung des Bodenzustandes als Folge der Dränung auch in trockenen Jahren ein Mehrertrag erzielt. Nicht so günstig liegen die Verhältnisse in leichteren Böden, die aber auch nicht so dränbedürftig sind wie die schweren. Hier kann bei geringen Niederschlägen unter Umständen durch die Dränung nützlich Bodenwasser entfernt werden, das damit den Pflanzenwurzeln entzogen wird.

Von mancher Seite ist behauptet worden, daß die Zunahme der Dränungen in einem Flußgebiet den Wasserabfluß für die Unterlieger ungünstig verändere. In vielen Fällen trifft aber das Gegenteil zu. Da der Boden nach der Dränung aufnahmefähiger für Niederschläge wird, so findet nach der Dränung eine stärkere Versickerung als vorher statt. In geneigtem Gelände, wo bisher ein nennenswerter oberirdischer Abfluß vorhanden war, wird daher der Abfluß verzögert und gleichmäßiger, die Hochwasser werden schwächer. Anders liegen die Verhältnisse in sehr flachem Gelände, dessen oberirdischer Abfluß sehr gering ist. Auf solchen Flächen werden die Gräben in der Hauptsache aus dem Grundwasser gespeist, dessen Abfluß durch die Dränung beschleunigt werden kann. Besonders in ziemlich durchlässigen Böden fängt eine Dränung nach ergiebigen Niederschlägen bald kräftig zu laufen an, dadurch den Abfluß im Vorfluter beschleunigend und das Hochwasser verstärkend. Nun ist aber zu beachten, daß alle Drängebiete ein mehr oder weniger großes Oberflächengefälle besitzen, da sie andernfalls gar nicht gedränt werden könnten, daß also ein gewisser Oberflächenabfluß stets vorhanden ist. Alles in allem überwiegt zweifellos die günstige Wirkung der Dränungen auf die Hochwasserführung der Wasserläufe, und sind Befürchtungen für die Unterlieger, von seltenen Ausnahmen abgesehen, unbegründet. Da jede Dränung die Versickerung fördert und somit die Wasserverluste durch Verdunstung verringert, so wird die Jahresabflußmenge größer, also das Mittelwasser erhöht. In der Wachstumszeit kommt aber diese Wirkung nicht zur Geltung, da die durch Dränung erzeugten höheren Ernten auch mehr Wasser verbrauchen. Bei einer ostpreußischen Dränung flossen im Durchschnitt von 4 Jahren in den Monaten Mai bis Oktober von 439 mm Niederschlägen nur 20 mm durch die Dräne ab (35). Wohl ist jedoch mit einer Erhöhung des Winter-Mittelwassers zu rechnen. Man vergleiche auch die von Krause durchgeführten Messungen (103).

Man baut zuweilen Stauverschlüsse in die Sammler ein, um den Abfluß des Dränwassers zeitweise zu verhindern oder zu erschweren. Ihre Nachteile sind weiter unten behandelt (S. 196 u. 225), ihre Wirkung ist umstritten. Es ist zwar richtig, daß in leichter durchlässigen Böden schon ein geringer durch den Stau entstehender Überdruck im Innern der Dräne ausreicht, um das Wasser durch die Stoßfugen nach außen zu drücken und durch den durchlässigen Untergrund um den Stauverschluß herum entweichen zu lassen, daß also eine nennenswerte Wirkung nicht erzielt wird. In schweren Böden dagegen ist ein Aufstau am wenigsten nötig. Andererseits bewirkt aber das rechtzeitige Zusetzen der Stauverschlüsse zum mindesten eine Verzögerung des Wasserabflusses, die in entscheidenden Zeiten (S. 65) durchaus von Vorteil sein kann.

Die Verwendung der Dränung zur Untergrundbewässerung ist auf S. 312 besprochen.

2. Die Bestandteile der Dränungen.

a) **Die Dränarten.** Die Sammler und Sauger einer Dränabteilung (Abb. 121) werden in den weitaus meisten Fällen aus Dränrohren hergestellt, die aus Lehm oder Ton gebrannt sind. Die Dränrohre sollen gerade und im Querschnitt kreisrund sein. Ihre Schnittflächen müssen eben sein und senkrecht zur Rohrachse stehen, da andernfalls die Stoßfugen zwischen je zwei Rohren leicht zu groß werden und dann Bodenteilchen in die Dräne gelangen, die zu Verstopfungen führen können. Auch eine möglichst glatte innere Wandung der Dränrohre ist wichtig, damit der Reibungswiderstand beim Durchfließen des Wassers gering bleibt, namentlich aber deshalb, weil Rauigkeiten den ersten Anlaß zum Festsetzen von Eisenocker und anderen Abflußhindernissen (Boden- und Wurzelteilchen, Schwefelalgen) geben. Die Rohre dürfen daher an den Enden auch keinen inneren Rand (Brahmkante) besitzen.

Eine ausreichende Lebensdauer der Dränrohre ist nur dann gewährleistet, wenn sie aus gutem Rohstoff scharf gebrannt sind. Sie sollen daher ein gleichmäßiges, dichtes Gefüge aufweisen, möglichst ohne nennenswerte Kalkbeimengungen und ohne Steinchen. Man sehe sich daraufhin die Bruchflächen von Scherben an. Steinchen erzeugen stets Risse in der benachbarten Tonmasse, weil sie beim Brennen nicht schwinden wie der Ton. Kalkknollen vergrößern beim Löschen, das bei hinzutretender Feuchtigkeit stattfindet, ihren Raum und zersprengen so das Gefüge des Rohres. Wenn man ein trockenes

Dränrohr mit einem metallenen Gegenstand anschlägt, soll es einen reinen, hohen Klang geben.

Zahlentafel 79.

Lichte Weite	Wanddicke	Lichte Weite	Wanddicke
40	7,5—11	130	12—20
50	8 —12	160	14—23
65	8,8—14	180	15—24
80	9,5—16	200	16—26
100	10,5—18		

Nach dem Normblatt für Dränrohre (DIN 1180) sind nebenstehende Abmessungen in mm vorgeschrieben (s. Zahlentafel 79). Die Rohrlänge soll im Durchschnitt 333 mm betragen, so daß drei Rohre auf 1 m Dränstrang zu rechnen sind. Die großen Lichtweiten von 160 bis 200 mm können auch in

einer Länge von 500 mm geliefert werden. Übergangsweise sind für alle Lichtweiten Längen von 300 mm zugelassen.

Vor der Bestellung der Dränrohre sind Proberohre anzufordern und aufzubewahren. In Zweifelfällen empfiehlt sich die Prüfung der Bruchlast. Sie wird dadurch ermittelt, daß man das zu untersuchende trockene Rohr in zwei Drahtseilschlaufen von 10 mm Dicke und 250 mm Abstand lagert und durch eine dritte, in der Mitte zwischen den ersteren angeordnete gleichartige Drahtseilschlaufe allmählich bis zum Bruch belastet. Jede Schlaufe soll annähernd den halben Rohrumfang umschließen. Die Mindestbruchlast beträgt $P = 50 \cdot s (d + s)$ kg. Darin bedeuten s die Wanddicke in cm, d die lichte Weite in cm.

Je dichter und je schärfer gebrannt ein Dränrohr ist, um so haltbarer ist es. Scharf gebrannte Rohre saugen nur langsam Wasser an. Man benutzt diese Tatsache zur Durchführung einer besonderen Prüfung, indem man ein Rohr mit seinem unteren Ende etwa 7 mm in eine flache Schale mit Wasser stellt und ein röhrenförmiges Gefäß über Rohr und Schale stülpt, damit das Wasser nicht verdunstet. Bezeichnet man mit H die Steighöhe des angesaugten Wassers über dem Wasserspiegel in cm und mit t die Steigzeit in Stunden, so ist der Wert $\frac{H^2}{t}$ ein Maß für die Schärfe des Brandes. Je kleiner dieser Wert bei gleichem Rohstoff ist, um so schärfer ist der Brand gewesen.

Für die Prüfung auf Kalknieren legt man ein mindestens 2 Wochen altes Rohr 48 Stunden lang in Wasser und mißt dann die Durchmesser der durch Absprengungen freigelegten Kalkteilchen. Sie dürfen nicht größer als 2 mm sein, auch darf die Summe aller Kalkteilchendurchmesser an einem Dränrohr 10 mm nicht übersteigen.

Zur Verbindung der Sauger mit den Sammlern und zu anderen Zwecken dienen die gleichfalls aus gebranntem Ziegelton hergestellten Formstücke (Abb. 122): die Haken- (*a*) und Lochrohre (*b*) sowie die Astrohre (*c*) als Verbindungstücke, die Übergangrohre (*d*) an denjenigen Stellen, an denen die Lichtweite sich ändert, und die Schlußrohre (*e*) an den oberen Enden der Sauger (S. 222).

Man hat auch Dränrohre aus starkem Glas hergestellt. Doch sind Dränungen mit solchen Glasrohren bisher nicht ausgeführt worden, da die Rohre noch zu teuer waren. Ein Vorteil der Glasrohre würde ihre sehr glatte Innenfläche sein.

Man kann für die Herstellung der Dränrohre auch Zement und Kiessand verwenden. Von dieser Herstellungsart ist gelegentlich Gebrauch gemacht

worden, wenn geeigneter Kiessand in der Nähe des Dränfeldes zur Verfügung stand. Zement-Dränrohre dürfen jedoch nur dann verwendet werden, wenn eine eingehende Untersuchung des Bodens und Grundwassers ergeben hat, daß eine Zerstörung der Rohre durch Säuren nicht zu befürchten ist. Das

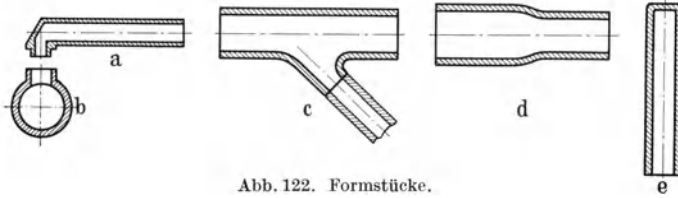


Abb. 122. Formstücke.

ist in Moorböden ganz besonders zu beachten. Die Zementrohre haben keine Verbreitung bei der Dränung gefunden, da ihre Lebensdauer in der Regel wesentlich kürzer ist als die gut gebrannter Tonrohre.

Eine andere Dränart sind die Steindräne. Wo Steine billig zu beschaffen sind, kann man den unteren Teil der Drängräben in einer Höhe von 30 bis 40 cm mit ihnen ausfüllen. Als unterste Lage sind die größeren Steine einzubringen. Nach oben hin läßt man ihre Größe allmählich abnehmen, damit eine filterförmige Anordnung entsteht, die das Nachrutschen des darauf liegenden Bodens verhindert. Besonders bewährt haben sich kastenförmige Steindräne nach Abb. 123, wie sie z. B. auf den Weiden des Westerwaldes vielfach ausgeführt sind. Zwischen den unteren großen Steinen soll ein Hohlraum von mindestens 10 · 15 cm vorhanden sein. Diese kastenförmigen Steindräne haben allerdings den Nachteil, daß sie eine erheblich größere Erdarbeit als die gewöhnlichen Rohrdräne und einfachen Steindräne erfordern.

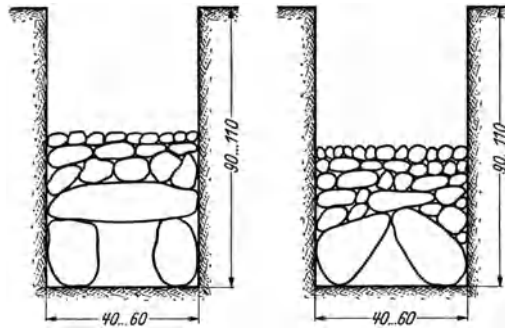


Abb. 123. Kastenförmige Steindräne.

In Mooren wird häufig auch Holz zur Ausführung von Dränungen verwendet. Es hält sich im Moorboden sehr lange, während es im Mineralboden meistens ziemlich schnell fault. Man verwendet Holz namentlich in der Form der Holzkasten-, Strauch- und Stangendräne.

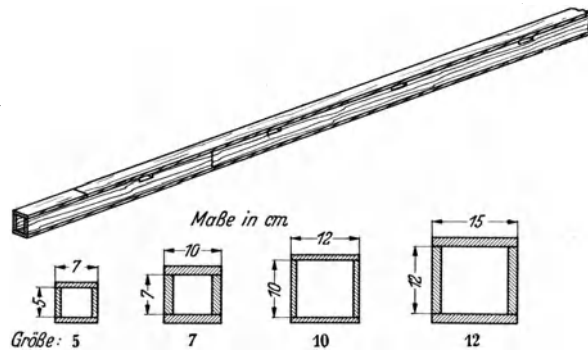


Abb. 124. Holzkastendrän von Butz.

Die ältesten Holzkastendräne stammen von Butz in Klagenfurth (Kärnten). Vier Bretter werden mit versetzten Stößen zu einem Dränstrang von quadratischem Querschnitt zusammengenagelt (Abb. 124). Diese hölzernen Dränstränge werden neben den Drängräben in beliebiger Länge hergestellt und dann in den Gräben versenkt. Die Bretter sind meistens 4 m lang, 5 bis 20 cm breit und 1 bis 2 cm stark. Das Bodenwasser tritt durch seitliche Schlitzte ein. Die Butzsche Kastendränung hat in weichen Mooren den großen Vorteil, daß sie keine gegeneinander verschiebbaren Stöße enthält und daher

gegen Sackungen des Moores sehr unempfindlich ist. Dagegen sind Zerstörungen der Dränung dadurch eingetreten, daß die Nägel von den Moorsäuren zerfressen wurden, so daß die Holzkästen ihren Halt verloren. Um das zu verhindern, kann man schwer rostende Nägel aus Nirostastahl, einer Nickelverbindung, verwenden, die allerdings teurer als gewöhnliche Nägel sind. Sie

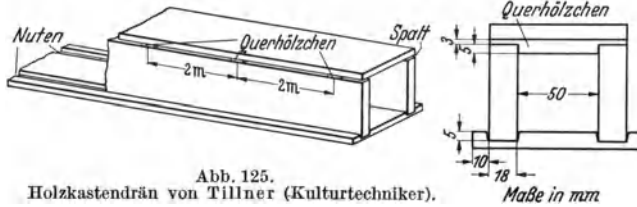


Abb. 125.
Holzkastendrän von Tillner (Kulturtechniker).

haben sich z. B. in Vorpommern seit 10 Jahren (1927—1937) durchaus bewährt.

Tillner verwendet die in Abb. 125 dargestellte Bauweise, bei der die Seitenbretter in 5 mm tiefe Nuten des

Sohlenbrettes eingelassen werden. Oben am Deckbrett wird das Zusammenklappen der Seitenbretter durch Querhölzchen verhindert. Auch der Tillnersche Kastendrän wird zunächst genagelt, eine Zerstörung der Nägel durch Moorsäuren wird aber nicht so leicht wie bei dem Butzschen ein Zusammenfallen des Kastens zur Folge haben. Günstig für den Durchfluß des Wassers sind ferner die beiden fortlaufenden Spalte, die in sehr eisenhaltigen Mooren wegen der Verockerungsgefahr von 3 auf 5 mm zu vergrößern sind (208).

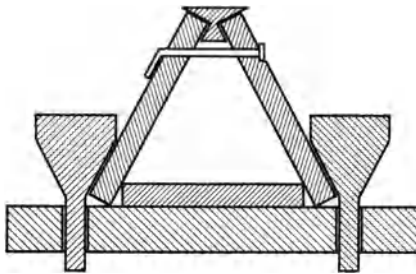


Abb. 126. Holzkastendrän von Stahlschmidt.

Eine weitere Bauweise für Holzkastendräne hat Stahlschmidt eingeführt. Die 4 bis 5 m langen Dränstücke werden in Abständen von etwa 1 m durch eine Holzleiste mit zwei Holznägeln zusammengehalten (Abb. 126). Die Sohlenbrettchen

der Dränstücke werden so gegeneinander versetzt, daß die benachbarten Dränstücke ineinander geschoben werden können. Die Firstfuge wird durch zwischengeklemmte Holzstückchen auf etwa 4 mm erweitert, außerdem werden die Seitenbrettchen noch durch kräftige Drahtnägel miteinander vernagelt, wodurch die Beförderung der Dränstücke erleichtert wird. Ein Verrosten der Nägel gefährdet die Dränstränge nicht, da sie nach den angestellten Versuchen auch ohne Nagelung ein schweres Walzen ertragen. Die Stöße der Sohlenbrettchen erhalten noch besondere Unterlagebrettchen. Der First wird mit durchlässigen Stoffen überdeckt. Die Stahlschmidtsche Bauweise ist im großen Moosbruch in Ostpreußen mit Erfolg verwendet worden.

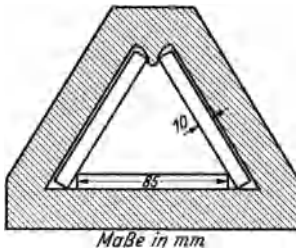


Abb. 127. Holzkastendrän von Rogner.

Weitere Vorschläge für Kastendräne stammen von Zunker (80, 142), Stahlschmidt (202, 205), Hinz (80, 162) und Rogner. Letzterer verbindet

die drei Bretter, die die gleichen Abmessungen haben, an ihren Enden durch Formstücke aus gebranntem Ton (Abb. 127). Diese werden auch breiter hergestellt als in der Abbildung dargestellt ist, damit die Stoßenden je zweier Dränkästen durch das Formstück gut zusammengehalten werden und nicht ungleichmäßig sacken können. Die an der Spitze des Dreiecks befindliche Nase soll die Seitenbretter halten und einen Schlitz für den Wasserdurchfluß schaffen. Die Bretter müssen daher an den Enden gut eingepaßt werden. Auch darf der Schlitz nicht zu groß sein, damit die Dränkästen nicht durch Hineinfallen von Moorteilchen verschlammten.

Die Anwendung dreieckiger Holzkastendräne befindet sich noch in den Anfängen. Man wird daher weitere Erfahrungen abwarten müssen, bevor ein endgültiges Urteil über die brauchbarsten Formen möglich ist.

Strauchdräne (Faschinendräne) bindet man 25 bis 30 cm stark aus möglichst grobem Reisig, das mit Weidenruten oder Draht zu langen Strauchbündeln zusammengewunden wird. Man kann dazu die verschiedensten Sträucher oder Zweige größerer Bäume verwenden. Das Strauchwerk soll aber, besonders im Innern der Bündel, laub- und nadelfrei sein, damit der Wasserdurchfluß nicht erschwert wird. Auch die Strauchdräne sind mit Heidekraut (10 bis 15 cm), Heideplaggen, Rasensoden (Narbe nach innen) oder sonst geeigneten Stoffen sorgfältig zu umpacken, um das Eindringen des Moorschlammes möglichst zu verhindern.

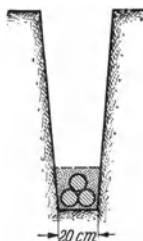


Abb. 128. Stangendrän.
(Nach Brüne.)

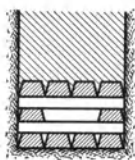


Abb. 129. Saumlattendrän.



Abb. 130. Schwartendrän.
(Nach Brüne.)

Stangendräne werden in der Regel aus drei oder mehr Stangen (Durchforstungshölzern) hergestellt, die am Stammende 8 bis 12 cm Durchmesser haben. Man bindet die Stangen wie Strauchbündel zu langen Würsten zusammen, legt sie auf die Grabensohle und umpackt sie mit Heidekraut (Abb. 128).

In der Nähe von Sägemühlen kann man die Abfälle der Brettschneiderei, die sog. Saumlatten oder die Schwarten, die dort sehr billig zu haben sind, zur Herstellung von Dränen verwenden.

Man nennt diese Dräne Saumlattendräne (Abb. 129) und Schwartendräne (Abb. 130). Letztere werden zusammengenagelt, während erstere keiner Nagelung bedürfen. Bezüglich der Nägel gilt dasselbe wie für die Butzschenen Kastendräne. Die Saumlatten verwendet man in der Weise, daß man auf die Grabensohle eine geschlossene Lage von Latten legt, darüber quer in Abständen von etwa 1 m kurze Lattenstücke. Darauf folgen zwei Längslatten an den Seiten, darüber wieder kurze Querlatten, die eine geschlossene Lage Längslatten tragen.



Abb. 131. Drän aus Durchforstungstangen.

In Schweden findet man auch ausgehöhlte Durchforstungstangen als Dränleitungen. Die Stangen, die einen Durchmesser von etwa 15 cm am Stammende besitzen, werden der Länge nach aufgetrennt. Dann höhlt man jede Stangenhälfte mit 5 bis 6 cm Durchmesser halbkreisförmig aus und heftet die beiden Hälften mit einigen Nägeln wieder zusammen, nachdem man vorher 2 bis 4 mm starke Holzstückchen zur Offenhaltung der Fuge zwischengelegt hat (Abb. 131).

Schließlich hat man in den Mooren auch noch die an Ort und Stelle gewonnenen Torfsoden zur Herstellung von Dränen benutzt, oder man hat besondere Klappverfahren angewendet. Alle diese Bauarten sind aber recht roh und sollten höchstens bei Einzeldränen Verwendung finden. Sie vertragen die Bearbeitung des Moores mit schweren Kraftgeräten nur schlecht, weil sie gegen starken Druck nicht genügend widerstandsfähig sind. Sie werden ferner leicht durch Maulwürfe, Ratten, Wühlmäuse und andere Tiere zerstört, wenn

diese in die Ausmündungen hineinkriechen können. Man sucht das dadurch zu erschweren, daß man die Ausmündungen unter Wasser anordnet.

Die Torfdräne werden entweder nach Abb. 132 mit quadratischem Querschnitt (8 · 8 cm) aus Torfsoden hergestellt, oder man überdeckt eine auf der Sohle des Drängrabens ausgestochene Rinne mit kräftigen Torfsoden oder Rasenstücken (Abb. 133). Torfdräne setzen voraus, daß das Moor fest und ausreichend faserig ist. Um zwischen den Torfsoden einen gleichmäßigen Dränquerschnitt zu erhalten, wird eine etwa 1 m lange Holzleere verwendet, die mit dem Baufortschritt vorgezogen wird.

Die Herstellung der Freistatter Klappdränung, die zum erstenmal in der Moorsiedlung Freistatt (Hannover) 1905 in größerem Umfange angewendet wurde, ist aus Abb. 134 zu erkennen. Die Gruppe zwischen den Klappen ist nötigenfalls allmählich stufenweise auszuheben, wenn das Moor noch nicht genügend vorentwässert ist. Die Klappen müssen nach dem Zusammenklappen sofort hinterfüllt werden, und das Zufüllen des Drängrabens muß sehr vorsichtig geschehen. Man kann den Drän auch dadurch sichern, daß man vor dem Zusammenklappen in die Gruppe eine Stange legt und sie erst nach dem Verfüllen wieder herauszieht.

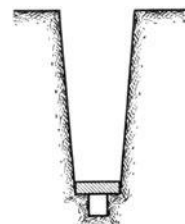


Abb. 132. Torfdrän.
(Nach Brüne.)

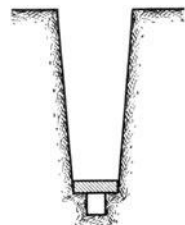


Abb. 133. Torfdrän.
(Nach Brüne.)

Eine zweite Art der Klappdränung ist die ostfriesische, die zum erstenmal im Klostermoor in Ostfriesland zur Anwendung kam. Abb. 135 zeigt die Art ihrer Ausführung. Das Umklappen des Moorstückes darf erst dann vorgenommen werden, wenn die Grabensohle durch die Gruppe und die keilförmige Rinne auf der linken Seite der Sohle genügend trocken und fest geworden ist.

Zum Schluß seien noch die Dränrohre der Firma Kluckhuhn-Wiesbaden erwähnt. Sie bestehen aus sehr durchlässigem Beton, sind außen quadratisch mit 6 bis 20 cm Seitenlänge und besitzen eine lichte Weite von 32 bis 120 mm Durchmesser. Das Wasser tritt nicht durch die Stoßfugen ein, sondern sickert durch den Beton. Ihre Kosten sind wesentlich

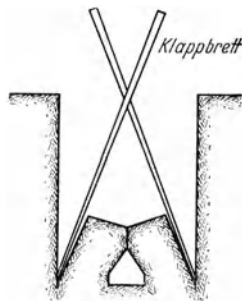


Abb. 134. Freistatter Klappdränung. (Nach Brüne.)

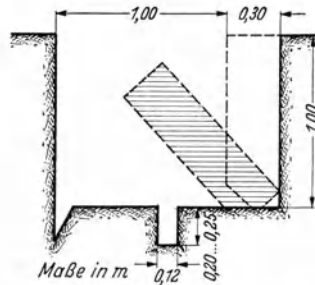


Abb. 135. Ostfriesische Klappdränung. (Nach Brüne.)

höher als die der gewöhnlichen Dränrohre. Sie kommen daher für unsere landwirtschaftlichen Dränungen nicht in Frage, haben sich aber bei hochwertigen Anlagen wie Gärten, Flugplätzen, Sportplätzen usw. bewährt. Ihr Vorteil liegt darin, daß sie nicht verschlammen oder verwachsen können.

b) Die übrigen Bauteile. Ein wichtiger Teil jeder Dränung sind die Ausmündungen der Sammler in die Vorfluter. Man verwendet in Mineralböden meistens besondere Formstücke aus Beton mit nach außen beweglichem und um eine obere waagerechte Achse drehbarem Gitter, damit keine Tiere in den Sammler hineinkriechen und ihn dadurch verstopfen können. Die lichte Entfernung der Gitterstäbe soll 5 mm betragen. Da der Abflußquerschnitt durch

die Gitterstäbe eingengt wird, macht man das Ausmündungstück an der Stelle, wo das Gitter sitzt, breiter, um so den Querschnittsverlust wieder auszugleichen. Statt des Gitters kann auch eine leicht bewegliche Klappe aus dünnem Blech angeordnet werden, die gleichzeitig einen gewissen Schutz gegen Rückstau bei kurzen Hochwasserwellen bietet. Die Gitter und Klappen müssen unten und seitlich genügend Spielraum besitzen, damit sie sich nicht festklemmen. Kürzere Ausmündungstücke als etwa 1 m haben in der Regel nicht genügend Halt in der Grabenböschung. Abb. 136 zeigt ein Ausmündungstück aus Beton mit Gitter und Klappe (Bauart Breitenbach). Beides ist in einem Winkel von 70° fest miteinander verbunden.

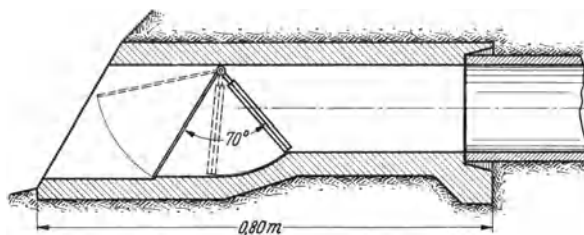


Abb. 136. Ausmündungstück von Breitenbach.

In Abb. 137 ist die Bauart Altmann mit Aluminiumklappe dargestellt. Ausmündungen mit Häuptern aus Mauerwerk oder Beton werden wegen ihrer hohen Kosten nur dort angewandt, wo sie wegen ihrer Lage Angriffen ganz besonders ausgesetzt sind. Man formt sie mit Vorliebe so, daß das ausmündende Rohr verdeckt wird, um es den Eingriffen Unbefugter möglichst zu entziehen (Abb. 138). Ausmündungstücke mit festem Gitter und solche ohne Gitter oder Klappe sind unzulässig.

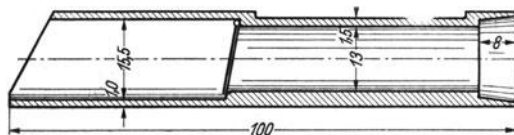


Abb. 137. Ausmündungstück von Altmann.

Man verlegt die Ausmündungstücke entweder senkrecht zum Vorfluter oder schräge in seiner Fließrichtung, wobei jedoch ein sehr spitzer Winkel zu vermeiden ist. An der Grabenseite ist bisweilen eine besondere Sicherung der Ausmündungstücke erforderlich, z. B. durch Pfähle, Pflasterung, Steinpackung, Trocken- oder sonstiges Mauerwerk. Ist die Ausmündungsstelle eines Sammlers sandig, dann empfiehlt sich auch die Umstempelung des Ausmündungstückes mit bindigem Boden, damit es nicht vom Dränwasser umspült wird. Dort, wo das ausfließende Dränwasser auf die Grabensohle trifft, können unter Umständen Ausspülungen der Sohle eintreten. Man verhindert das jedoch leicht durch Verlegen einiger größerer Steine.

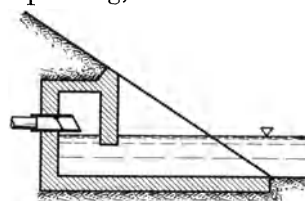


Abb. 138. Ausmündungstück aus Betonplatten.

In Moorböden, in denen man Beton möglichst vermeidet, wählt man als Ausmündungen der Sammler zweckmäßig 1,0 bis 1,3 m lange Kästen aus Eichenholz, die man mit Karbolinum streicht. Das im Boden befindliche Ende des Kastens erhält eine kräftige Querlatte, die das unbefugte Herausreißen erschwert. Im übrigen gilt für die Holzkästen dasselbe wie für Betonkästen.

Einzel-sauger in Mineral- und Moorböden versieht man an der Ausmündung mit einem Tonmuffenrohr, das ein Gitter oder eine Kappe aus Maschendraht erhält.

Wo sich mehrere Sammler größerer Entwässerungsgebiete vereinigen, wo eine starke Richtungsänderung großer Sammler notwendig wird oder wo ein starkes Sammlergefälle in ein wesentlich schwächeres übergeht, ordnet man Dränschächte (Brunnenstuben) an (Abb. 139). Auch werden über 1000 m lange Sammler gerne durch Dränschächte unterteilt. Der Zweck der Dränschächte besteht darin, Störungen des Abflusses möglichst zu verhindern oder

doch die Störungstelle leichter zu finden. Man stellt die Dranschächte in kreisrunder Grundrißform aus Mauerwerk oder aus aufeinandergelegten Zement- oder Tonrohren von bestiegender Größe her, so daß die Zu- und Ableitungsrohre bequem überwacht werden können. Nötigenfalls sind Steigeisen anzuordnen. Die Unterkante der Zuleitungen soll nicht tiefer als die Oberkante der Ableitung liegen, damit das Wasser frei ausfließt und Störungen sofort erkannt werden. Bei zwei Zuleitungen wird so auch verhindert, daß die eine Rückstau von der anderen erhält. Die verschieden hohe Lage läßt sich allerdings in sehr flachem Gelände nicht immer erreichen. Am Grunde des Dranschachtes ist eine etwa 15 cm starke Betonunterlage anzubringen, deren Oberfläche mindestens 30 cm

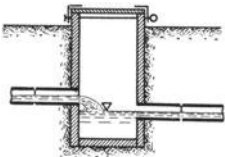
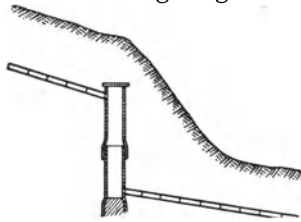


Abb. 139. Dranschacht.

tiefen als die Unterkante des Ableitungsrohres liegt. Dadurch wird ein Sand- und Schlammfang geschaffen. Man baut die Dranschächte entweder verdeckt oder frei. Die verdeckten Schächte haben den Vorteil, daß sie die Bewirtschaftung nicht behindern, aber den Nachteil, daß ihre Überwachung leicht unterbleibt. Dieser letztere Umstand ist so wichtig, daß man den freien Dranschächten, die mindestens 10 bis 20 cm aus dem Boden hervorragen müssen, im allgemeinen den Vorzug gibt. Sie sind mit einem Deckel sicher zu verschließen. Die über verdeckten Schächten befindliche Bodenschicht muß so stark sein, daß die Schächte durch die Bewirtschaftung der gedränten Fläche nicht beschädigt werden. Alle Dranschächte haben den Nachteil, daß sie bei nicht sehr sorgfältiger Handhabung leicht zu einer Verunreinigung der Dränung führen, indem Bodenteilchen von oben in die Sammler gelangen. Man sollte sich daher stets bemühen, eine Dränung so

Abb. 140. Unterirdischer Absturz.
(Nach Krüger.)

zu entwerfen, daß keine oder doch möglichst wenige Dranschächte erforderlich werden.

Stauverschlüsse (S. 189) werden in die Sammler eingebaut, um den Abfluß vorübergehend verhindern zu können. Man verwendet in der Regel Formstücke (Abb. 224), die über die Erdoberfläche hinausragen. Sie erschweren daher die Bewirtschaftung, vor allen Dingen geben sie aber Anlaß zu Abflußstörungen in den Dränen. Denn es können auch bei ihnen ebenso wie bei den

Dranschächten leicht Bodenteilchen von der Erdoberfläche her in den Sammler fallen, und der Druck des gestauten Wassers verursacht Bodeneinspülungen an den Dränfugen. Doch sind diese Nachteile in Moorböden geringer als in mineralischen. Über die Wirkung des Stauens vergleiche die Ausführungen auf S. 225. Man sollte die Anwendung der Stauung möglichst beschränken, weil sie oft mehr Nachteile als Vorteile bringen. Immerhin können sie zur Zurückhaltung des Bodenwassers auf Wiesen und Weiden dienen, wenn das Geländegefälle nicht zu groß ist, da ihre Wirkung dann weiter reicht als in starkem Gefälle. Eine Anfeuchtung der Flächen von unten läßt sich in besonderen Fällen auch dadurch erzielen, daß man Wasser aus Teichen oder Gräben in die Dränung einleitet (S. 312). Dabei ist jedoch mit größter Vorsicht zu verfahren. Man verwendet die Stauverschlüsse auch zur Spülung der Rohrstränge. Sie sind möglichst nicht an sehr durchlässigen Geländestellen anzuordnen; auf eine Länge von je 2 bis 3 m ober- und unterhalb der Stauverschlüsse sind statt der Dränrohre gedichtete Muffenrohre zu verlegen, es sei denn, daß der Boden an der betreffenden Stelle schwer durchlässig ist. Die Dränanlage wird natürlich durch die Stauverschlüsse verteuert.

Wenn ein kurzer Steilhang mit einem Sammler zu kreuzen ist, baut man einen unterirdischen Absturz ein (Abb. 140). Man verwendet dazu senkrecht gestellte Ton- oder Zementrohre, die unten ausbetoniert und oben mit einem

Stein oder einer Betonplatte abgedeckt werden. Ohne einen solchen Absturz würde der Drän durch eine zu große Wassergeschwindigkeit gefährdet werden. Weitere Bauteile sind im folgenden Abschnitt behandelt.

3. Vorflutanlagen.

Nähere Angaben über die Anordnung, die Abmessungen und den Bau der Vorfluter findet man auf den Seiten 144 (Mineralböden) und 348 (Moorböden). Die Vorfluter sollen so tief sein, daß die Sammler bei Mittelwasser freien Ausfluß haben (S. 210). Um an Erdarbeiten zu sparen, legt man häufig unmittelbar oberhalb der Ausmündungen Sohlenabstürze oder Sohlenübergänge (Abb. 72) an. Letztere erhalten ein Gefälle von etwa 10% und werden mit geschütteten Lesesteinen (Findlingen), Ziegelbrocken oder auf andere einfache Weise befestigt. Sohlenabstürze sind in den Abb. 86 bis 90 dargestellt.

Sohlpfähle oder Sohlswellen (S. 162) sind besonders zweckmäßig an den Ausmündungen der Sammler.

An Stelle offener Gräben finden bisweilen Vorflutdräne Anwendung (S. 154). Sie haben im Gegensatz zu anderen Dränen nicht den Zweck, das Bodenwasser durch ihre Fugen aufzunehmen.

Eine besondere, aber selten verwendete Art der Vorflutbeschaffung sind die Senkbrunnen, die gelegentlich auch bei kleinen Dränungen vorkommen (S. 158).

Für jede Dränung ist eine ausreichende Vorflut der Sammler unerläßliche Voraussetzung. Den Vorflutern fällt aber bei den Dränungen noch eine weitere Aufgabe zu. Während der Schneeschmelze und bei Starkregen würde die Dränung allein das im Übermaß vorhandene Wasser zu langsam abführen.

Das Oberflächenwasser würde sich an den tieferen Geländestellen sammeln und hier zu lange verbleiben, wenn es nicht durch offene Gräben schnell fortgeführt würde. Man darf daher nicht alle bestehenden Vorflutgräben durch Dräne ersetzen oder in einem Gebiet, in dem sich keine Gräben befinden, auf solche ganz verzichten. Andernfalls besteht auf geneigten Äckern auch die Gefahr, daß das Oberflächenwasser sich zu immer größer werdenden Rinnsalen vereinigt und dann Bodenabschwemmungen verursacht. Oberirdisches Fremdwasser ist nötigenfalls durch Randgräben abzufangen.

Nicht immer wird man jede Geländemulde durch einen besonderen Graben entwässern wollen. Bei flachen Mulden genügt dann häufig die Herstellung einer Wasserfurche, die durchhackert werden kann. Ausnahmsweise legt man in solchen Fällen auch einen Schlucker an (Abb. 141). Schlucker sind Stein- oder Kiesfilter, die meistens in der Weise hergestellt werden, daß ein rund 0,5 m weites Bodenloch (quadratisch oder rund) bis etwa 0,2 m unter den Dränstrang ausgehoben, mit Weidengeflecht umwandet und mit Steinen, Kies und grobem Sand gefüllt wird. Die Korngröße der Füllung muß zum Schutz gegen das Hineinfallen von Boden filterförmig von unten nach oben abnehmen. Im Acker sind die Schlucker mit einer für die Beackerung ausreichenden Mutterbodenschicht zu versehen. Alle Schlucker sind, da trotz größter Vorsichtsmaßnahmen leicht Bodenteile aus ihnen in die Dräne gelangen, nur an Sammler mit nicht zu schwachem Gefälle anzuschließen oder durch einen besonderen Dränstrang mit dem Vorfluter zu verbinden. Sie müssen sehr sorgfältig hergestellt werden. Da sie, wenn über einem Drän angeordnet, stets eine gewisse Gefahr für die Dränung bedeuten, so geht man bisweilen so vor, daß man zwischen dem Drängraben und dem Schlucker eine etwa 0,5 m starke Erdwand stehen läßt. Dann muß das sich im Schlucker sammelnde Oberflächenwasser zunächst die Erdwand durchsickern, bevor es in den Drän gelangt. Die entwässernde Wirkung

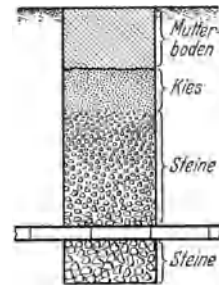


Abb. 141. Schlucker.

des Schluckers wird dadurch zwar verlangsamt, aber auch die Gefahr beseitigt, daß die Dränung infolge des Schluckers versandet oder verschlammmt. Es empfiehlt sich in diesen Fällen, den Schluckern reichliche Abmessungen zu geben oder mehrere anzuordnen.

4. Die Berechnung der Rohrweiten.

Die aus Lehm oder Ton gebrannten Dränrohre werden nach der einfachen Formel von Kutter berechnet [Gl. (65)]. Es gelten dann für voll laufende Rohre (ohne Überdruck) folgende Beziehungen:

$$v = \frac{5 \cdot d}{0,6 + \sqrt{d}} \cdot \sqrt{h}, \quad (123)$$

$$Q = \frac{3927 \cdot d^3}{0,6 + \sqrt{d}} \cdot \sqrt{h}. \quad (124)$$

In diesen Gleichungen sind

- v die Wassergeschwindigkeit in m/s,
- Q die Wassermenge in l/s,
- d der innere Rohrdurchmesser in m (Rohrweite),
- h das Wasserspiegelgefälle in m auf 100 m Länge (%).

Bei sehr kleinen Gefällen ist zu beachten, daß das Wasserspiegelgefälle eines Sammlers geringer sein kann als das Gefälle seiner Grabensohle, wenn nämlich der Durchmesser der Sammlerrohre nach unten hin größer wird.

Die Werte Q und v sind für verschiedene Gefälle und Rohrweiten in Zahlentafel 80 zusammengestellt.

Die den Berechnungen zugrunde zu legende Abflußspende q , die man in l/s · ha auszudrücken pflegt, ist als reine Erfahrungszahl zu werten. Bei der Vielgestaltigkeit der Umstände, die auf q Einfluß haben, ist jeder Versuch, q rein rechnerisch mit bestimmten Annahmen über Regenmengen, Versickerungsmengen und Versickerungsgeschwindigkeit ermitteln zu wollen, zwecklos. Allgemein ist die Abflußspende um so größer, je durchlässiger der Boden ist (schnelle Versickerung), je flacher das Gelände (geringer oberirdischer Abfluß) und je größer die Niederschläge mit etwaigem Fremdwasser sind. Ein starker Wasserverbrauch der Pflanzen und hohe Bodenverdunstung verringern die Versickerung und die Abflußspende. Wenn das zu dränende Gebiet flach ist und keinen besonders starken Fremdwasserzufluß aufweist, kann Zahlentafel 81 als Anhalt für die Wahl der Abflußspenden dienen. Im Gebirge kann man bei starker Geländeneigung unter Umständen auch mit kleineren Abflußspenden auskommen. Wenn dagegen ein besonders großer Zufluß von Fremdwasser (Druckwasser, Schlucker) vorliegt, wird man bei allen Abflußspenden einen Zuschlag geben müssen, dessen Höhe nach den jeweiligen sehr verschiedenen örtlichen Verhältnissen und Erfahrungen eingeschätzt werden muß. Dabei ist aber zu beachten, daß nicht immer alle Dränstränge mit der gleichen Abflußspende zu berechnen sind, da Fangdräne (S. 216) und Dräne mit Schluckern besonders große sekundliche Wassermengen abzuführen haben.

Die Lebensdauer einer Dränung hängt in hohem Maße davon ab, daß sich in den Dränrohren eine ausreichende Wassergeschwindigkeit entwickelt, damit sich kein Sand und Schlamm ablagern. Denn es läßt sich auch bei sorgfältigster Verlegung der Dränrohre niemals ganz verhindern, daß Bodenteilchen in die Dräne gelangen. Bei demselben Gefälle und derselben Rohrweite ist die Wassergeschwindigkeit um so größer, je glatter die Rohrwandungen sind und je regelmäßiger die Rohre verlegt wurden. Die Wassergeschwindigkeit in einem Drän schwankt in ziemlich weiten Grenzen, sie nimmt ab mit der sekundlich abfließenden Wassermenge. Daher hört bei kleinen Gefällen die Sinkstoffbewegung zu Zeiten geringer Wasserführung ganz auf, und die abgelagerten

Zahlentafel 80.

(Die Geschwindigkeiten sind in Klammern angegeben.)

h %	Rohrweite in cm											h %
	4	5	6,5	8	10	13	16	18	20	25	30	
0,10	0,10 (0,08)	0,19 (0,10)	0,40 (0,12)	0,72 (0,14)	1,36 (0,17)	2,84 (0,21)	5,09 (0,25)	7,07 (0,28)	9,49 (0,30)	17,64 (0,36)	29,21 (0,41)	0,10
0,15	0,12 (0,10)	0,23 (0,12)	0,49 (0,15)	0,88 (0,18)	1,66 (0,21)	3,48 (0,26)	6,23 (0,31)	8,66 (0,34)	11,62 (0,37)	21,60 (0,44)	35,78 (0,51)	0,15
0,20	0,14 (0,11)	0,27 (0,14)	0,56 (0,17)	1,02 (0,20)	1,92 (0,24)	4,02 (0,30)	7,19 (0,36)	10,00 (0,39)	13,42 (0,43)	24,95 (0,51)	41,31 (0,58)	0,20
0,25	0,16 (0,13)	0,30 (0,15)	0,63 (0,19)	1,14 (0,23)	2,14 (0,27)	4,49 (0,34)	8,04 (0,40)	11,18 (0,44)	15,00 (0,48)	27,89 (0,57)	46,19 (0,65)	0,25
0,30	0,17 (0,14)	0,33 (0,17)	0,69 (0,21)	1,25 (0,25)	2,35 (0,30)	4,92 (0,37)	8,81 (0,44)	12,25 (0,48)	16,43 (0,52)	30,55 (0,62)	50,60 (0,72)	0,30
0,35	0,19 (0,15)	0,35 (0,18)	0,75 (0,22)	1,35 (0,27)	2,54 (0,32)	5,31 (0,40)	9,52 (0,47)	13,23 (0,52)	17,75 (0,56)	33,00 (0,67)	54,65 (0,77)	0,35
0,40	0,20 (0,16)	0,38 (0,19)	0,80 (0,24)	1,44 (0,29)	2,71 (0,35)	5,68 (0,43)	10,17 (0,51)	14,14 (0,56)	18,97 (0,60)	35,28 (0,72)	58,43 (0,83)	0,40
0,45	0,21 (0,17)	0,40 (0,20)	0,85 (0,26)	1,53 (0,30)	2,88 (0,37)	6,03 (0,45)	10,79 (0,54)	15,00 (0,59)	20,12 (0,64)	37,42 (0,76)	61,97 (0,88)	0,45
0,50	0,22 (0,18)	0,42 (0,21)	0,89 (0,27)	1,61 (0,32)	3,03 (0,39)	6,35 (0,48)	11,37 (0,57)	15,81 (0,62)	21,21 (0,68)	39,44 (0,80)	65,32 (0,92)	0,50
0,60	0,24 (0,19)	0,46 (0,24)	0,98 (0,29)	1,76 (0,35)	3,32 (0,42)	6,96 (0,52)	12,46 (0,62)	17,32 (0,68)	23,24 (0,74)	43,21 (0,88)	71,56 (1,01)	0,60
0,70	0,26 (0,21)	0,50 (0,25)	1,06 (0,32)	1,91 (0,38)	3,59 (0,46)	7,51 (0,57)	13,46 (0,67)	18,71 (0,74)	25,10 (0,80)	46,67 (0,95)	77,29 (1,09)	0,70
0,80	0,28 (0,22)	0,53 (0,27)	1,13 (0,34)	2,04 (0,41)	3,83 (0,49)	8,03 (0,61)	14,39 (0,72)	20,00 (0,79)	26,83 (0,85)	49,89 (1,02)	82,63 (1,17)	0,80
0,90	0,30 (0,24)	0,57 (0,29)	1,20 (0,36)	2,16 (0,43)	4,07 (0,52)	8,52 (0,64)	15,26 (0,76)	21,21 (0,83)	28,46 (0,91)	52,92 (1,08)	87,64 (1,24)	0,90
1,00	0,31 (0,25)	0,60 (0,30)	1,26 (0,38)	2,28 (0,45)	4,29 (0,55)	8,98 (0,68)	16,08 (0,80)	22,36 (0,88)	30,00 (0,95)	55,78 (1,14)	92,38 (1,31)	1,00
1,25	0,35 (0,28)	0,67 (0,34)	1,41 (0,43)	2,55 (0,51)	4,79 (0,61)	10,04 (0,76)	17,98 (0,89)	25,00 (0,98)	33,54 (1,07)	62,37 (1,27)	103,29 (1,46)	1,25
1,50	0,38 (0,31)	0,73 (0,37)	1,54 (0,47)	2,79 (0,55)	5,25 (0,67)	11,00 (0,83)	19,70 (0,98)	27,38 (1,08)	36,74 (1,17)	68,32 (1,39)	113,14 (1,60)	1,50
1,75	0,42 (0,33)	0,79 (0,40)	1,67 (0,50)	3,01 (0,60)	5,67 (0,72)	11,88 (0,90)	21,28 (1,06)	29,58 (1,16)	39,69 (1,26)	73,79 (1,50)	122,21 (1,73)	1,75
2,00	0,44 (0,35)	0,84 (0,43)	1,78 (0,54)	3,22 (0,64)	6,06 (0,77)	12,70 (0,96)	22,75 (1,13)	31,62 (1,24)	42,43 (1,35)	78,89 (1,61)	130,65 (1,85)	2,00
2,25	0,47 (0,38)	0,89 (0,46)	1,89 (0,57)	3,42 (0,68)	6,43 (0,82)	13,47 (1,02)	24,13 (1,20)	33,54 (1,32)	45,00 (1,43)	83,67 (1,70)	138,57 (1,96)	2,25
2,50	0,50 (0,40)	0,94 (0,48)	1,99 (0,60)	3,60 (0,72)	6,78 (0,86)	14,20 (1,07)	25,43 (1,26)	35,35 (1,39)	47,43 (1,51)	88,20 (1,80)	146,07 (2,07)	2,50
2,75	0,52 (0,41)	0,99 (0,50)	2,09 (0,63)	3,78 (0,75)	7,11 (0,90)	14,89 (1,12)	26,67 (1,33)	37,08 (1,46)	49,75 (1,58)	92,50 (1,88)	153,20 (2,17)	2,75
3,00	0,54 (0,43)	1,03 (0,53)	2,18 (0,66)	3,94 (0,78)	7,42 (0,95)	15,56 (1,17)	27,86 (1,39)	38,73 (1,52)	51,96 (1,65)	96,62 (1,97)	160,01 (2,26)	3,00
3,50	0,59 (0,47)	1,12 (0,57)	2,36 (0,71)	4,26 (0,85)	8,02 (1,02)	16,80 (1,27)	30,09 (1,50)	41,83 (1,64)	56,12 (1,79)	104,36 (2,13)	172,83 (2,45)	3,50
h %	Rohrweite in cm											h %

Zahlentafel 80 (Fortsetzung).

h %	Rohrweite in cm											h %
	4	5	6,5	8	10	13	16	18	20	25	30	
4,00	0,63 (0,50)	1,19 (0,61)	2,52 (0,76)	4,55 (0,91)	8,57 (1,09)	17,96 (1,35)	32,17 (1,60)	44,72 (1,76)	60,00 (1,91)	111,56 (2,27)	184,76 (2,61)	4,00
4,50	0,67 (0,53)	1,26 (0,64)	2,68 (0,81)	4,83 (0,96)	9,09 (1,16)	19,05 (1,44)	34,12 (1,70)	47,43 (1,86)	63,64 (2,03)	118,33 (2,41)	195,97 (2,77)	4,50
5,00	0,70 (0,56)	1,33 (0,68)	2,82 (0,85)	5,09 (1,01)	9,58 (1,22)	20,08 (1,51)	35,97 (1,79)	50,00 (1,96)	67,08 (2,14)	124,73 (2,54)	206,57 (2,92)	5,00
6,00	0,77 (0,61)	1,46 (0,74)	3,09 (0,93)	5,58 (1,11)	10,50 (1,34)	22,00 (1,66)	39,40 (1,96)	54,77 (2,15)	73,48 (2,34)	136,64 (2,78)	226,29 (3,20)	6,00
7,00	0,83 (0,66)	1,58 (0,80)	3,34 (1,01)	6,03 (1,20)	11,34 (1,44)	23,76 (1,79)	42,56 (2,12)	59,16 (2,32)	79,37 (2,53)	147,58 (3,01)	244,42 (3,46)	7,00
8,00	0,89 (0,71)	1,69 (0,86)	3,57 (1,08)	6,44 (1,28)	12,12 (1,54)	25,40 (1,91)	45,50 (2,26)	63,24 (2,49)	84,85 (2,70)	157,77 (3,21)	261,30 (3,70)	8,00
9,00	0,94 (0,75)	1,79 (0,91)	3,78 (1,14)	6,83 (1,36)	12,86 (1,64)	26,95 (2,03)	48,25 (2,40)	67,08 (2,64)	90,00 (2,86)	167,34 (3,41)	277,15 (3,92)	9,00
10,00	0,99 (0,79)	1,88 (0,96)	3,99 (1,20)	7,20 (1,43)	13,55 (1,73)	28,40 (2,14)	50,87 (2,53)	70,71 (2,78)	94,87 (3,02)	176,40 (3,59)	292,14 (4,13)	10,00
11,00	1,04 (0,83)	1,98 (1,01)	4,18 (1,26)	7,55 (1,50)	14,22 (1,81)	29,79 (2,24)	53,35 (2,65)	74,16 (2,91)	99,50 (3,17)	185,01 (3,77)	306,40 (4,33)	11,00
12,00	1,09 (0,87)	2,06 (1,05)	4,37 (1,32)	7,89 (1,57)	14,85 (1,89)	31,11 (2,34)	55,72 (2,77)	77,46 (3,04)	103,92 (3,31)	193,23 (3,94)	320,02 (4,53)	12,00
13,00	1,13 (0,90)	2,15 (1,09)	4,55 (1,37)	8,21 (1,63)	15,45 (1,97)	32,38 (2,44)	58,00 (2,88)	80,62 (3,17)	108,17 (3,44)	201,12 (4,10)	333,09 (4,71)	13,00
14,00	1,18 (0,94)	2,23 (1,14)	4,72 (1,42)	8,52 (1,70)	16,04 (2,04)	33,61 (2,53)	60,18 (2,99)	83,66 (3,29)	112,25 (3,57)	208,71 (4,25)	345,66 (4,89)	14,00
15,00	1,22 (0,97)	2,31 (1,18)	4,89 (1,47)	8,82 (1,75)	16,60 (2,11)	34,79 (2,62)	62,30 (3,10)	86,60 (3,40)	116,19 (3,70)	216,04 (4,40)	357,80 (5,06)	15,00
16,00	1,26 (1,00)	2,38 (1,21)	5,05 (1,52)	9,11 (1,81)	17,14 (2,18)	35,93 (2,71)	64,34 (3,20)	89,44 (3,51)	120,00 (3,82)	223,13 (4,55)	369,53 (5,23)	16,00
17,00	1,30 (1,03)	2,46 (1,25)	5,20 (1,57)	9,39 (1,87)	17,67 (2,25)	37,03 (2,79)	66,32 (3,30)	92,19 (3,62)	123,69 (3,94)	229,99 (4,69)	380,90 (5,39)	17,00
18,00	1,33 (1,06)	2,53 (1,29)	5,35 (1,61)	9,66 (1,92)	18,18 (2,32)	38,11 (2,87)	68,24 (3,39)	94,86 (3,73)	127,28 (4,05)	236,66 (4,82)	391,94 (5,54)	18,00
19,00	1,37 (1,09)	2,60 (1,32)	5,50 (1,66)	9,93 (1,97)	18,68 (2,38)	39,15 (2,95)	70,11 (3,49)	97,46 (3,83)	130,77 (4,16)	243,15 (4,95)	402,69 (5,70)	19,00
20,00	1,40 (1,12)	2,67 (1,36)	5,64 (1,70)	10,19 (2,03)	19,17 (2,44)	40,17 (3,03)	71,93 (3,58)	100,00 (3,93)	134,16 (4,27)	249,46 (5,08)	413,15 (5,84)	20,00
h %	Rohrweite in cm											h %

Zahlentafel 81.

Mittlerer Jahresniederschlag	Für schwere und mittelschwere Böden	Für leichte Böden
Unter 650 mm (Norddeutschland)	0,40 l/s · ha	0,55 l/s · ha
650—750 mm . . .	0,40—0,55 „	0,55—0,70 „
Über 750 mm (Gebirge)	0,55—0,70 „	0,70—0,85 „

Stoffe werden erst bei stärkerer Wasserführung fortgespült. Besonders gefährlich ist der feine Trieb sand, der leicht durch die Dränfugen hindurchtritt. Starker Eisengehalt führt zu Ablagerungen von Eisenerocker, Schwefel-

gehalt (im Moor) zur Bildung von Schwefelalgen. Einzelne tonige Bodenteilchen werden leichter vom Wasser aus den Dränen wieder herausgespült als Sandkörner. Aus diesen Erwägungen und zahlreichen Erfahrungen ergeben sich für gefüllte Rohre von 4 bis 10 cm die folgenden Mindestgeschwindigkeiten v und somit die Mindestgefälle h . Bei größeren Rohrweiten sind die Mindestgefälle der letzten Spalte zu verwenden (Ausnahmen S. 226):

Zahlentafel 82.

Bodenart		Rohrweite in cm					
		4	5	6,5	8	10	> 10
Triebsand	v	—	0,20	0,30	0,30	0,35	—
	h	—	0,45	0,60	0,45	0,40	0,40
Mineral- und Moorböden, wenn stark eisen- oder schwefelhaltig	v	—	0,18	0,25	0,25	0,30	—
	h	—	0,35	0,40	0,30	0,30	0,30
Böden mit nennenswertem Gehalt an gewöhnlichen Sanden	v	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	—
	h	0,35	0,25	0,30	0,20	0,20	0,20
Schwere Böden und Moorböden, wenn ohne größeren Eisen- oder Schwefelgehalt	v	0,12	0,12	0,15	0,15	0,20	—
	h	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Es muß aber nochmals betont werden, daß größere Geschwindigkeiten und Gefälle dringend erwünscht sind. Auch in schweren, eisenfreien Ackerböden sollte man, wenn es irgend erreichbar ist, keine kleineren Gefälle als 0,2% anwenden. Kann man in sehr flachem Gelände die Mindestgefälle der Zahlentafel 82 nicht erreichen, dann muß man entweder ganz besondere Vorsichtsmaßnahmen gegen eine Versandung, Verockerung oder Verschlammung der Dräne ergreifen (S. 223) oder auf eine Dränung ganz verzichten und statt dessen die Entwässerung mit offenen Gräben durchführen.

Bei schrittweisen Dränungen und Teildränungen (S. 207) geht man so vor, daß man die Rohrweiten der Sammler für eine Volldränung berechnet, damit nötigenfalls später weitere Sauger angeschlossen werden können. Infolgedessen sind die Sammler bei der gewählten Abflußspende nicht gefüllt, da ja nur ein Teil der Fläche durch Sauger an sie angeschlossen ist. Die geringere Füllung des Rohrquerschnittes hat aber eine geringere Wassergeschwindigkeit als im voll laufenden Rohr zur Folge. Bei kleinen Gefällen kann es daher nötig werden, auf diese Verringerung der Wassergeschwindigkeit Bedacht zu nehmen, damit die Mindestgeschwindigkeiten der Zahlentafel 82 nicht unterschritten werden. Die Verringerung der Wassergeschwindigkeit läßt sich folgendermaßen berechnen. Sind vorläufig nur $f\%$ der vollen Fläche F durch Sauger an einen Sammler angeschlossen und geht man davon aus, daß nur diese Teilfläche den Sammler speist, so beträgt die Wassergeschwindigkeit etwa $g\%$ der in Zahlentafel 80 angegebenen Werte:

$f = 10$	20	30	40	50 bis 100%
$g = 60$	75	85	95	100%

Beispiel: Von einer triebсандführenden Fläche, die 3,20 ha groß ist, sollen 0,95 ha = 30% bei $h = 0,60$ und $q = 0,55$ l/s · ha durch Sauger an den Sammler angeschlossen werden. Dann ist bei Volldränung $Q = 3,20 \cdot 0,55 = 1,76$ l/s, ferner nach Zahlentafel 80 $d = 8$ cm und $v = 0,35$ m/s. Da aber bei der beabsichtigten schrittweisen Dränung $f = 30\%$ und daher $g = 85\%$ ist, so vermindert sich v auf $0,35 \cdot 0,85 = 0,30$ m/s. Diese Wassergeschwindigkeit ist nach Zahlentafel 82 gerade noch ausreichend.

Bei der Berechnung der Rohrweiten bedient man sich also der Zahlentafel 80 oder auch besonderer Tafeln, in denen die Beziehungen zwischen v , d und h sowie zwischen q , F , d und h zeichnerisch dargestellt sind. Es ist $Q = F \cdot q$, wobei F die zu dränende Fläche in ha bedeutet. Gegebene Größen sind stets die Werte q und h , da q angenommen wird und h sich aus der Lage des zu

berechnenden Sammlers ergibt. In der Regel sind dann bei angenommenem d die Werte F und v zu ermitteln. Das einfache Beispiel der Abb. 142 soll die Rechnung erläutern. Man beginnt mit $d = 5$ cm am oberen Ende des 600 m

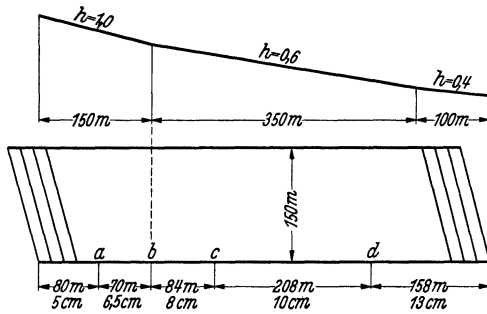


Abb. 142. Berechnung eines Sammlers.

langen Sammlers. Bei $h = 1,00$, $d = 5$ cm und $q = 0,50$ l/s · ha ergibt sich aus Zahlentafel 80 $Q = 0,60$ l/s und somit $F = 1,20$ ha. Der 5 cm-Sammler reicht daher bis zum Punkte a , an dem 1,20 ha entwässert werden. Am Punkte b sind 2,25 ha zu entwässern, somit 1,13 l/s abzuführen, was mit $d = 6,5$ cm möglich ist. Dasselbe d reicht jedoch unterhalb b nicht mehr aus. Es entwässern bei $h = 0,60$ und $d = 8$ cm $1,76 : 0,50 = 3,52$ ha. Die Rohrweite 8 cm genügt somit bis

Punkt c usw. Bei unregelmäßigen Dränabteilungen kann man die an den einzelnen Punkten entwässernden Teilflächen mit dem Flächenmesser (Polarplanimeter) ermitteln.

5. Kosten, Mehrerträge und Wirtschaftlichkeit.

Die Kosten einer Dränung entfallen auf die beiden Hauptabschnitte der Vorflutbeschaffung und der eigentlichen Dränung. Die Vorflutkosten schwanken je nach den örtlichen Verhältnissen innerhalb sehr weiter Grenzen. Es gibt Fälle, bei denen sie kaum ins Gewicht fallen, und andere, bei denen sie

die gesamte Dränung erheblich verteuern. Die Hauptkosten der eigentlichen Dränung sind die Beschaffung der Dränrohre und die Herstellung der Drängräben. Über die Kosten der Dränrohre müssen im Einzelfall Angebote von Dränrohrwerken eingeholt werden. Dazu kommen die Beförderungskosten vom Werk zur Verwendungstelle. Als Anhalt mögen nebenstehende Dränrohrkosten für 1000 Stück ab Werk dienen (1936) [s. Zahlentafel 83].

Die Gewichte fallen je nach der Wandstärke und dem Rohstoff sehr verschieden aus und sind gleichfalls von dem Lieferwerk anzugeben.

Zahlentafel 83.

Lichte Weite mm	Kosten	Gewicht
	RM	kg
40	etwa 30	etwa 900
50	35	1100
65	50—55	1600
80	55—60	2100
100	100—110	3000
130	145—160	4500
160	190—210	7000
180	300—330	9500
200	350—390	12500

Über die Stundenleistung eines angelernten Dränarbeiters hat Pollex (149) eingehende Untersuchungen angestellt. Er fand je nach der Bodenfeuchtigkeit in standfähigem Stichboden für Auswerfen und Wiederzufüllen von Saugergräben (4 cm) bei Stückarbeit folgende mittlere Stundenleistungen:

- Tonboden, 0,95 bis 1,05 m tief 3,0 bis 5,0 m
- Schwerer Lehm Boden, 1,05 bis 1,15 m tief. 3,5 bis 5,4 m
- Gewöhnlicher Lehm Boden, 1,10 bis 1,20 m tief. 4,3 bis 5,7 m
- Lehmiger Sandboden, 1,20 bis 1,30 m tief. 4,6 bis 6,4 m
- Sand und Moorboden, 1,20 bis 1,30 m tief 5,3 bis 7,0 m

Etwa 13% der Arbeit entfallen durchschnittlich auf das Wiederzufüllen, so daß z. B. im Tonboden in 1 h 3,4 bis 5,7 m Gräben ausgehoben oder 23 bis 38 m verfüllt werden. Bei größeren Lichtweiten kann man mit folgenden Minderleistungen gegenüber den Saugergräben (4 cm) rechnen:

- 5 und 6,5 cm . . 10 bis 20% 13 und 16 cm . . 25 bis 40%
- 8 „ 10 cm . . 15 bis 25% 18 „ 20 cm . . 35 bis 55%

Ein geübter Rohrleger leistet stündlich einschließlich aller vorkommenden Sammler und aller herzustellenden Verbindungen im Durchschnitt etwa 40 bis 50 m, bei sehr schwachem Gefälle weniger als bei starkem.

Die von Pollex ermittelten Stundenleistungen stammen von Untersuchungen in Ostpreußen und gelten vorwiegend für Ost- und Mitteldeutschland. In stark steinhaltigen Böden (Hackböden) sind die Leistungen wesentlich geringer.

Der Dränungstücklohn wird in der Regel so gestellt, daß der Dränarbeiter bei einer mittleren Stundenleistung 25% über dem Stundensatz des Tiefbauarbeiters verdient. Also bei 5 m Stundenleistung (gewöhnlicher Lehm-boden), 5 cm Rohrdurchmesser und 50 Pfg. Stundensatz würde der Dränarbeiter für 1 m Drängraben

für 1 m Drängraben $\frac{50 \cdot 1,25}{5 \cdot 0,85} = 15$ Pfg. erhalten. Dazu kommt der Unternehmeraufwand mit rund 30% und der Unternehmergeinn. Beträgt dieser 10%, so kostet 1 m Drängraben $15 \cdot 1,4 = 21$ Pfg. Derartige Preise lassen sich aber nur erreichen, wenn ein Stamm gelernter Dränarbeiter zur Verfügung steht.

Im großen Durchschnitt kostet 1 m Saugergraben in 0,9 bis 1,2 m Tiefe (Ausheben und Zufüllen ohne Rohrverlegung) bei einigermaßen günstigen Bodenverhältnissen (Stichböden) zur Zeit (1936) etwa 0,20 bis 0,30 RM. Sammlergräben sind entsprechend den oben angegebenen Minderleistungen teurer. Für Übertiefen werden besondere Zuschläge bezahlt. Die Dränkosten je ha sind in erster Linie vom Dränabstand abhängig, der im Mineralboden stark wechselt. Auf den staatseigenen Hochmooren Preußens kostete 1 ha Dränung bei 20 m Dränabstand ohne Vorflut im Jahre 1928 etwa 300 RM.

Der durch eine Dränung erzielte Mehrertrag ist nicht nur auf verschiedenen Flächen ein sehr unterschiedlicher, sondern auch auf derselben Fläche erheblichen Schwankungen unterworfen. Er wird durch zahlreiche Umstände wie Bodenbeschaffenheit, Bodenbearbeitung, Witterungsverhältnisse und Pflanzenart beeinflusst. Daß die Dränung, die ja eine Entwässerungsmaßnahme ist, in nassen Jahren höhere Mehrerträge liefert als in trockenen, ist natürlich (S. 188). In der Regel werden auch schwere Böden eine Dränung mit höheren Mehrerträgen lohnen als leichtere, da nicht gedränte schwere Böden viel mehr unter überschüssiger Bodennässe zu leiden haben als leichtere und daher durch eine Dränung auch in höherem Maße verbessert werden als diese.

Die volle Wirkung einer Dränung und damit auch der volle Mehrertrag treten bei leichteren Böden etwa nach 1 Jahr, bei schweren häufig erst 2 bis 3 Jahre nach Fertigstellung der Anlage ein. Denn in schweren Böden findet die Verbesserung des Bodenzustandes (Krümelgefüge) als Folge der Dränung erst allmählich statt. Durch Tiefpflügen mit Untergrundlockerung wird die Umformung beschleunigt. In sehr schweren Tonböden kann unter Umständen schon nach wenigen (5 bis 10) Jahren der Mehrertrag merkbar geringer werden, wenn der zunächst lockere Füllboden der Drängräben von Jahr zu Jahr wieder dichter wird und das in ihm entstandene Krümelgefüge wieder verloren geht (S. 187). Solche Fälle kommen jedoch nur sehr selten vor. Einer sachgemäßen Dränung kann man, wenn nicht besonders ungünstige Verhältnisse vorliegen oder eintreten, eine Lebensdauer von 40 bis 50 Jahren zuschreiben, doch pflegen die Mehrerträge nach 30 Jahren allmählich nachzulassen.

Für die Wirtschaftlichkeit einer Dränung ist der durchschnittliche jährliche Mehrertrag von Bedeutung. Man drückt ihn zweckmäßig in dz je ha aus. In der Zahlentafel 84 sind einige Feststellungen über die durch Dränung erzielten Mehrerträge zusammengestellt. Als rohe Durchschnittszahlen kann man in mittelfeuchten Jahren und auf mittelschweren Böden etwa folgende Mehrerträge annehmen (ohne Stroh und Kraut):

Roggen	5 dz/ha	Kartoffeln	60 dz/ha
Weizen	6 dz/ha	Zucker- und Futterrüben	100 dz/ha
Hafer	7 dz/ha		

Zahlentafel 84.

Ort	Bodenart	Pflanzenart	Ernte in dz/ha		Mehrertrag in dz/ha	Schriftenverzeichnis Nr.	Bemerkungen
			vor der Dränung	nach der Dränung			
Provinz Posen	Schwerer Boden	Roggen	4	16	12	113	Fehlt Angabe über die Art der Feststellung
		Weizen	16	32	16		
		Gerste	16	22	6		
Groß-Neudorf bei Brieg	Schwerer Schlickboden	Weizen	—	—	6 bis 8	123	Geschätzt
		Zuckerrüben	290	402	112		Nach genauerer Feststellung
Görlitz	Schwerer Lehm-boden	Weizen, Roggen, Hafer	24	34	10	119	Durchschnittserträge mehrerer Jahre geschätzt; der geringe Mehrertrag der Kartoffeln wird auf den für diese zu schweren Boden zurückgeführt
		Kartoffeln	170	220	50		
		Futterrüben	330	580	250		
Württemberg	Lehmige Ton- und tonige Lehm-böden	Weizen	20,6	26,9	6,3	146	Mittel aus vier bis sieben Flächen. Nach genauerer Feststellung
		Gerste	20,2	28,0	7,8		
		Hafer	19,6	28,0	8,4		
		Kartoffeln	118,8	173,8	55,0		
		Rüben	210,0	292,5	82,5		
Chotzen (Böhmen)	Schwerer Boden	Rüben	166,2	365,0	198,8	100	Mittel aus je zwei gewöhnlichen Jahren. Fehlt Angabe über die Art der Feststellung
		Weizen ¹	10,6	16,6	6,0		
		Gerste ¹	13,6	19,2	5,6		
		Hafer	13,6	19,1	5,5		
		Mischfrucht	7,8	17,1	9,3		
Libochowitz (Böhmen)	Schwerer Boden	Zuckerrüben	133,0	315,0	182,0	100	Mittel aus je zwei nassen Jahren. Fehlt Angabe über die Art der Feststellung
		Weizen	12,9	23,4	10,5		
		Gerste	15,1	22,2	7,1		
		Klee	16,0	32,3	16,3		
Purschwitz (Freistaat Sachsen)	Schwerer Boden	Weizen	11,0	20,7	9,7	26	Art der Feststellung angeblich zuverlässig. Durchschnitt aus je drei Jahren vor und nach der Dränung
		Roggen	11,4	19,8	8,4		
		Gerste	20,4	25,9	5,5		
		Hafer	18,8	27,1	8,3		
		Kartoffeln	112	194	82		

Die Wirtschaftlichkeit einer Dränung wird wie die jeder Bodenverbesserung durch die Kosten und Mehrerträge bestimmt. Die Dränung der schweren Böden gehört zu den wirtschaftlichsten Bodenverbesserungen, die es gibt. Das gilt namentlich für Ackerdränungen, die selbst bei hohen Dränungskosten noch wirtschaftlich sind. Rechnet man z. B. mit den hohen Baukosten von 600 RM/ha, 4% Zinsen, 2% Tilgung und 2% Unterhaltung entsprechend einer Tilgungszeit von 28 Jahren, so ergibt sich eine jährliche Belastung von 48 RM/ha, von denen etwa $\frac{1}{4}$ schon durch die Nebenvorteile der Dränung wie Fortfall der Gräben, leichtere Bestellung, leichtere Unkrautbekämpfung u. a. (S. 188) gedeckt wird, der Restbetrag von 36 RM durch 2 bis $2\frac{1}{2}$ dz Korn. Die höheren Werbungskosten und der höhere Düngerbedarf der größeren Ernten

¹ Aus hl umgerechnet. Bei Weizen 1 hl = 75 kg, bei Gerste 1 hl = 60 kg.

werden durch die Mehrerzeugung an Stroh wieder aufgewogen, zumal vor der Dränung der Dünger nur unvollkommen ausgenutzt wurde und daher in der Regel die Düngerrechnung durch Ackerdränungen nicht erheblich größer wird. Nicht ungünstiger ist die Wirtschaftlichkeit für Kartoffeln und Rüben.

Die Dränung schwerer Böden ist zwar in der Anlage je ha teurer als diejenige mittelschwerer, weil die Dränstränge in ersteren enger verlegt werden müssen als in letzteren. Trotzdem lohnt sich das Dränen der schweren Böden im allgemeinen ganz besonders (S. 203), während das Dränen sehr leichter Böden in der Regel überhaupt nicht mehr wirtschaftlich ist.

B. Die Dränung der Mineralböden.

1. Feldaufnahmen.

Die Flächen- und Höhenmessungen sind bereits auf S. 158 behandelt worden. Bei den Flächenmessungen ist zu beachten, daß ein Dränentwurf zahlreiche Einzelheiten enthalten muß, um die Dränung sachgemäß entwerfen zu können: Wasserläufe, Gräben, Deiche, Wege, Straßen und Eisenbahnen mit allen Bauwerken, die Umrisse der Ortschaften, einzeln stehende Gebäude, Kiesgruben, Steinbrüche, Quellen, Bäume, Hecken, ober- und unterirdische Leitungen, Festpunkte, Pegel und Bodenuntersuchungstellen. Außerdem sind die Nutzungsarten des Drängebietes und seiner unmittelbaren Umgebung, wie sie jeweils draußen angetroffen werden, festzulegen, ferner, wenn es sich um genossenschaftliche Dränungen handelt, auch die Grenzen der Gemarkungen, Kartenblätter (Fluren) und Teilstücke (Parzellen), die Teilstücknummern und Eigentumsgrenzen.

Bei allen Dränungen ist der größte Wert auf eingehende, sorgfältige Bodenuntersuchungen zu legen (S. 49). Denn die Beschaffenheit des Bodens ist von großem Einfluß auf die Dränabstände und Dräntiefen, und diese wiederum sind entscheidend für die Kosten und die Wirkung der gesamten Dränung. Die Bodenbeschaffenheit beeinflußt die Dränungskosten auch insofern, als ein steiniger Boden weit mehr Arbeit beim Ausheben der Drängräben erfordert als ein guter Stichboden.

Die Bodenuntersuchungen sollen ein klares Bild von der Verteilung der Bodenarten an der Oberfläche und im Untergrunde sowie von der Wasserführung des Bodens ergeben. In sehr gleichartigen Böden bedarf es nur weniger Untersuchungen. Man sollte aber doch auf je 5 ha mindestens eine Untersuchung vornehmen. Die Gleichartigkeit des Bodens ist häufig schon aus seiner Entstehung zu vermuten. Bei stark wechselnden Böden sind aber mehrere Untersuchungen je ha erforderlich. In solchen Böden erhält man einen ausreichenden Einblick in ihre Beschaffenheit häufig erst dann, wenn die Drängräben der Sammler und einzelner Sauger hergestellt sind. Die Bodenuntersuchungstellen ordnet man in einigermaßen geradlinigen Reihen an, um gegebenenfalls Längs- und Querschnitte des Geländes mit den verschiedenen Bodenschichten auftragen zu können. Dabei kann man die einzelnen Stellen auch durch Abschreiten festlegen, wenn man ein zuverlässiges Schrittmaß besitzt. Falls eine Bodenkarte (S. 218) aufgestellt werden soll, ist sie bereits während der Feldaufnahmen zu entwerfen.

Den besten Einblick in die Beschaffenheit des Bodens und in die Grundwasserverhältnisse erhält man durch Schürfgruben, die daher bei keinem Dränentwurf fehlen dürfen. Sie sind aber wesentlich teurer als Bohrungen. Man verwendet daher stets beide Untersuchungsarten nebeneinander, indem man mit den Bohrungen beginnt und sich so zunächst ein allgemeines Bild über die Verteilung der Bodenarten verschafft. Die Schürfgruben sind dann auf Grund der Bohrergebnisse auf die bodenkundlich verschiedenen Flächen

(Bodenflächen) so zu verteilen, daß sie einen guten Aufschluß über das ganze Drängebiet ergeben. Auf Grund des Ergebnisses der Schürfgruben werden oft noch weitere Bohrungen ausgeführt, um das gesamte Bodenbild zu vervollständigen.

Jede Bodenuntersuchung muß die Reihenfolge und Stärke der einzelnen Bodenschichten in der Regel bis etwa 1,5 m Tiefe erkennen lassen. Auf der Sohle der Schürfgruben pflegt man durch Bohrungen auch noch die Beschaffenheit der tieferen Schichten festzustellen. Bei allen Bodenuntersuchungen ist das Vorkommen von Triebssand, Eisenverbindungen, pflanzenschädlichen Bodenarten, Kalk, Steinen und zwischengelagerten durchlässigen oder undurchlässigen Schichten besonders zu vermerken. Auch ist der Stand des Grundwassers zu ermitteln. Man muß jedoch beachten, daß diese Feststellung in Bohrlöchern auf Schwierigkeiten stößt, weil der untere Teil des Saugwassers leicht als Grundwasser angesprochen werden kann. Man begnügt sich daher besser mit dem Grundwasserstand der Schürfgruben. Bei schwer durchlässigen Böden ist zu berücksichtigen, daß sich das Wasser in der Schürfgrube erst nach längerer Zeit mit dem Grundwasser ausspiegelt. Man vermerkt ferner für jede Untersuchung den Tag der Aufnahme und die Witterungsverhältnisse der letzten Zeit, die oft eine Erklärung für die Höhe des Grundwasserstandes geben.

Die Schürfgruben bieten noch die Möglichkeit zu besonders eingehenden Bodenuntersuchungen: Lagerungsdichte, Bodenrisse, Durchwurzelung, Bodenbänder (S. 52), wie überhaupt die Schichtung des Bodens in den Schürfgruben besonders deutlich zu erkennen ist. Aus den Schürfgruben entnimmt man auch Proben der hauptsächlich vorkommenden Bodenarten, die man mindestens bis zur Fertigstellung des Entwurfes aufbewahren sollte. Ob eine Untersuchung des Bodens durch eine bodenkundliche Untersuchungsstelle zweckmäßig oder nötig ist, muß von Fall zu Fall entschieden werden. Denjenigen Dienststellen, die häufig Dränungen zu entwerfen haben, ist die Anlegung einer Bodensammlung in Gläsern zu empfehlen. Zu jeder Bodenprobe sind Angaben über die vorhandenen Dränabstände und ihre Bewährung zu machen. Man kann dann neu zu untersuchende Böden mit der Bodensammlung vergleichen, wodurch die Entscheidung über die zu wählenden Dränabstände erleichtert wird.

Die schädliche Bodennässe läßt sich nur dann sachgemäß und möglichst wirtschaftlich beseitigen, wenn man ihre Ursachen festgestellt hat. Bevor man an die Untersuchung dieser Frage herangeht, wird man die allgemeinen erdkundlichen und Niederschlagverhältnisse des Drängebietes sowie die Niederschläge der letzten Zeit ermitteln. Als Ursachen der Nässe kommen folgende in Betracht:

1. Ein zu hoher Grundwasserstand. Er ist in durchlässigen Böden in der Regel auf unzureichende Vorflut zurückzuführen, kann aber auch bei ausreichender Vorflut entstehen (S. 138, Ziffern 1 und 2).
2. Zu langsame Versickerung der Niederschläge in schwer durchlässigen Böden auch bei tiefem Grundwasserstand (S. 139, Ziffer 3).
3. Stellenweiser Andrang von Fremdwasser (S. 139, Ziffer 4).

Gelegentlich können etwa vorhandene Bodenbänder (Bodenhorizonte) einen Anhaltspunkt für die Ursachen der Bodennässe geben. Ein *B*-Band entsteht durch versickernde Niederschläge, ein *G*-Band dagegen durch Ablagerungen des Grundwassers (S. 52). Daher läßt z. B. ein hoch liegendes *G*-Band unter Umständen auf zu hohen Grundwasserstand schließen, auch wenn man in trockener Zeit das Grundwasser tiefer antrifft.

Bei den Feldaufnahmen sind schließlich noch verschiedene weitere Ermittlungen anzustellen, um ein ausreichendes Bild über das zu dränende Gebiet zu bekommen, namentlich solche landwirtschaftlicher Art. Von Bedeutung sind der Anbauzustand des Bodens, die ortsüblichen Bearbeitungs- und Düngungsmaßnahmen, die häufigsten Anbaufrüchte, die Ernteerträge und

ihre Beeinflussung durch die Witterung, Auswinterungstellen, Leitpflanzen (S. 69) und tief wurzelnde Unkräuter (S. 58). Daneben ist zu erkunden, ob etwa alte verfallene Dränungen im Drängebiet vorhanden und ob benachbarte Flächen ähnlicher Art bereits mit Erfolg gedränt sind. Man sollte überhaupt niemals versäumen, die örtlichen Erfahrungen der beteiligten Landwirte festzustellen, die häufig wertvolle Hinweise geben können. Besonders feuchte Flächenteile erkennt man im Frühjahr an der dunkleren Färbung. Sehr deutlich zeigen sich solche Flächen in den aus Flugzeugen aufgenommenen Luftbildern. Wichtig ist auch die Feststellung, ob und welche Flächen gelegentlich überschwemmt werden. Benachbarte Wälder und Gewässer sind bisweilen von Einfluß auf die Wind- und Feuchtigkeitsverhältnisse des zu dränenden Gebietes (Nebel- und Taubildung).

2. Umfang der Dränung.

Die erste bei jeder Entwurfbearbeitung auftretende Frage ist die nach dem erforderlichen Umfang der Dränung. Da ein zu hoher Grundwasserstand in gut durchlässigen Böden im allgemeinen nur auf unzureichende Vorflut zurückzuführen ist, wird man in solchen Fällen zunächst die Wirkung einer Vorflutverbesserung abwarten. Erst wenn eine genügende Wirkung ausbleibt, ist zu überlegen, ob eine Dränung Erfolg verspricht.

Bisweilen liegt ein Teil des zu entwässernden Gebietes so tief, daß seine Dränung eine unwirtschaftliche Erhöhung der Vorflutkosten bedingen würde. Man schließt dann solche Flächen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit von der Dränung ganz aus.

Besonders in hängigem Gelände ist stets zu prüfen, ob etwa ein Grundwasserstrom auf undurchlässigen Bodenschichten seitlich in das Drängebiet eintritt. Dieses Druckwasser muß am Rande des Drängebietes durch Fangdräne (S. 216) abgefangen werden. Wenn gespanntes Tiefengrundwasser an einzelnen Stellen durchbricht, verlegt man besondere Rohrstränge, Bedarfdräne (S. 216), zur Ableitung des Wassers. Auch ausgesprochene Quellen und Fremdwasser jeder Art sind durch Bedarfdräne zu entfernen. Wenn Drängebiete in dieser unregelmäßigen Weise dem örtlich wechselnden Bedarf entsprechend gedränt werden, spricht man von Teildränungen. Diese verdienen eine weit größere Beachtung, als ihnen vielfach entgegengebracht wird. Sie vermögen oft mit geringen Kosten eine völlig ausreichende Entwässerung zu bewirken. Es gibt zahlreiche Dränanlagen, bei denen die billigere Teildränung denselben Erfolg gebracht hätte wie die ausgeführte teurere Volldränung (s. unten). In Zweifelfällen sollte man auch stets zunächst die Wirkung von Fangdränen abwarten, bevor man die unterhalb liegende Fläche voll dränt. Claus versucht, die Teildränung in der Weise durchzuführen, daß er die dränbedürftigen Stellen mit der Wünschelrute aufsucht. Nach dem heutigem Stande der Wünschelrutenforschung (1937) wird man dieses Verfahren ablehnen müssen.

Bei der Volldränung ist die ganze Dränfläche mit Sammlern und gleichlaufenden Saugern versehen (Abb. 121). Schwere Böden bedürfen fast stets einer Volldränung, damit das Sickerwasser überall auf unterirdische Abzüge trifft und der Bodenzustand in seiner ganzen Ausdehnung verbessert wird. Die Volldränung empfiehlt sich fast immer auch dann, wenn eine durchlässige Krume auf schwer durchlässigem Untergrunde liegt. Trotzdem soll man auch in diesen Fällen prüfen, ob nicht auf Flächenteilen, die weniger unter Nässe leiden, einzelne Sauger eingespart werden können.

Wenn Zweifel über die Notwendigkeit einer Volldränung bestehen oder wenn die Wahl der Dränabstände besonders schwierig ist, ist die schrittweise Dränung (192, 463) angebracht. Man geht dabei so vor, daß man die am meisten unter Bodennässe leidenden Stellen zuerst dränt und die Wirkung abwartet.

Dabei werden die Dränabteilungen (s. unten) für eine Volldränung entworfen, die Sauger aber zunächst nur dort angeschlossen, wo die Entwässerung am notwendigsten erscheint. Oder man verlegt die Sauger zunächst in sehr großen Abständen von etwa 50 bis 60 m und beobachtet, wie weit ihre entwässernde Wirkung nach beiden Seiten reicht, um nach dem Ergebnis dieses Versuches den endgültigen Dränabstand zu bestimmen und die noch erforderlichen Sauger nachträglich zwischenzuschalten.

3. Die Dränabteilungen.

Alle Rohrstränge, die das Wasser nach einer gemeinsamen Ausmündung leiten, bilden eine Dränabteilung. Die von ihr entwässerte Fläche wird kurz als Abteilungsfläche bezeichnet. Im folgenden sollen die Gesichtspunkte dargelegt werden, nach denen man die Dränabteilungen im allgemeinen anzuordnen hat. Bei Vorkommen von Triebssand, bei nennenswertem Eisengehalt des Bodens oder bei besonderer Verwachsungsgefahr sind außerdem die Ausführungen auf S. 223 zu beachten.

Bei jedem Dränentwurf sind in Verbindung mit den Vorflutern zunächst die Dränabteilungen zu entwerfen. Man muß also die Lage der Hauptsammler bestimmen, das sind diejenigen Sammler, die unmittelbar in einen Vorfluter münden, während die Nebensammler von einem Hauptsammler aufgenommen werden. Bei der Entscheidung über die Lage der Hauptsammler ist zu beachten, daß die Ausmündungen der Dränabteilungen wegen der Gefahr des Rückstaus möglichst nicht unmittelbar oberhalb von Brücken, Durchlässen oder Wehren liegen sollen. Sie sind an solche Stellen zu legen, die weder dem Abbruch noch der Verlandung in größerem Maße ausgesetzt sind. Für die Lage der Hauptsammler ist ferner von Bedeutung, in welcher Richtung die Sauger verlaufen sollen, d. h. ob man Quer-, Schräg- oder Längsdränung verwenden will (S. 210).

Man legt die Hauptsammler häufig an etwas tiefere Geländestellen, z. B. in flache Mulden, wie es in Abb. 121 geschehen ist. Wünschenswert ist eine nicht allzusehr wechselnde Sammlertiefe, namentlich soll die Durchschneidung größerer Bodenerhebungen tunlichst vermieden werden. Das Dränwasser ist auf möglichst kurzem Wege dem Vorfluter zuzuführen. Daher vermeidet man gern starke Richtungsänderungen der Sammler. Wasserscheiden werden im allgemeinen Grenzen der Abteilungsflächen.

In ausgesprochenen Geländeeinschnitten mit nennenswertem Oberflächengefälle besteht bisweilen die Gefahr, daß durch den Abfluß des Oberflächenwassers Bodenauswaschungen entstehen. Dann wird der lose Schüttboden eines Sammlergrabens an solchen Stellen leicht fortgespült. Man ordnet aus diesem Grunde zwei gleichlaufende Sammler im Dränabstande an, je einen auf jeder Seite der tiefsten Geländestellen. In flachen Mulden kann auch mangelnde Vorflut zu einer besonderen Anordnung der Sammler führen. Wenn nämlich ein Sammler in der Mitte der Mulde aus Vorflutmangel keine ausreichende Überdeckung erhalten kann, dann wird man gleichfalls zwei seitliche Sammler anlegen, deren Sauger in die Mulde vorgetrieben werden. Man erreicht dadurch, daß nur die oberen Enden der Sauger eine geringe Tiefe erhalten, was unbedenklich ist.

Die Größe der Dränabteilungen findet zunächst aus Gründen des Wasserabflusses dadurch eine Grenze, daß keine größeren Lichtweiten der Dränrohre als 20 cm verwendet werden sollen. Diese Grenze wird in flachem Gelände eher erreicht als in steilem, da mit wachsendem Gefälle die Leistung der Rohre zunimmt. Große Dränabteilungen haben gegenüber kleinen Vorteile und Nachteile. Die Vorteile bestehen in der geringeren Zahl von Ausmündungen, in der besseren Spülung der Sammler und in der Regel auch in einer Verminderung der gesamten Dränungskosten. Viele Ausmündungen verteuern nicht nur die Dränung, sondern sind auch wunde Punkte, an denen die Dränung an die

Oberfläche tritt und daher bei nicht sehr sorgfältiger Unterhaltung oder durch böswillige Eingriffe Störungen eintreten können. Die bessere Spülung ergibt sich daraus, daß bei gleichem Gefälle die Wassergeschwindigkeit im voll laufenden Rohr mit der Rohrweite zunimmt. Große Dränabteilungen vermindern die Kosten im allgemeinen noch dadurch, daß der Anteil der billigeren Sauger bei ihnen meistens größer ist als bei kleinen Abteilungen. Letztere haben aber den Vorteil, daß bei Störungen durchschnittlich nicht so große Flächen in Mitleidenschaft gezogen werden wie bei großen Dränabteilungen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen (Ausnahmen S. 223) empfiehlt sich im Acker die Anwendung größerer Abteilungen mit langen, von beiden Seiten in den Sammler eingeführten Saugern. Flache Drängebiete und Wiesen sind jedoch in kleineren Abteilungen zu dränen. Denn in diesen Fällen ist die Gefahr, daß Störungen des Abflusses in den Dränrohren eintreten, größer als sonst.

Das sachgemäße Entwerfen der Dränabteilungen setzt im übrigen auch die genaue Kenntnis der im folgenden für Sammler und Sauger gegebenen Vorschriften voraus.

4. Die Sammler.

Man vergleiche auch die besonderen Ausführungen auf S. 223.

Sammler haben die gleiche Entwässerungswirkung wie Sauger (S. 214). Zwei nebeneinander liegende Sammler sind daher stets im Dränabstand voneinander zu verlegen. Wenn ein Sammler neben einem Graben verlaufen soll, pflegt man gleichfalls zwischen beiden den Dränabstand anzuordnen, bei besonders tiefen und daher stark entwässernden Gräben auch wohl einen größeren Abstand. Ferner sind Sammler, die am Rande des Drängebietes gleichlaufend mit seiner Grenze verlegt werden sollen, bis auf halben Dränabstand an die Grenze heranzuführen.

Die Länge der Sammler ist nur durch die Abflußleistung der Dränrohre beschränkt. Man verlegt aber nicht gern längere Sammler als 1000 m, ohne einen Dränschacht als Überwachungstelle einzuschalten.

Sammler dürfen niemals im Zuge bestehen bleibender Gräben, etwa unter deren Sohle, verlegt werden, da sie dann leicht verschlammten oder verwachsen würden. Auch legt man niemals zwei Sammlerstränge nebeneinander in denselben Drängraben. Da nämlich das Wasser stets auf dem Wege des geringsten Widerstandes abfließt, besteht die Gefahr, daß es sich hauptsächlich des einen Rohres bedient und daher das andere nicht hinreichend gespült wird. Bei der Kreuzung von Vorflutern, Straßen und Wegen mit Ausnahme wenig befahrener Wirtschaftswege sind gedichtete Rohre zu verwenden. Man nimmt entweder Tonmuffenrohre oder dichtet die Stoßfugen der Dränrohre mit Zementmörtel oder mit Jutestoff und Asphalt. Dräne dicht unter der Sohle von Vorflutern können durch eindringende Wurzeln leicht verwachsen; bei starkem Sickerwasser besteht auch die Gefahr, daß Sand oder Schlamm in den Dränstrang gelangt. Straßen und Wege sind ständig Erschütterungen ausgesetzt, so daß Bodenteilchen durch die Dränfugen fallen. Auch kann es vorkommen, daß die Dränrohre gegen den Druck starker Verkehrslasten nicht widerstandsfähig genug sind.

Um den Sammler entwerfen zu können, ist es in der Regel erforderlich, einen Höhenplan für ihn aufzutragen. Das Gefälle ist dann auf die einzelnen Strecken möglichst so zu verteilen, daß die Geschwindigkeit im voll laufenden Rohr nach unten hin nicht abnimmt. Wegen der Berechnung vgl. S. 201. Die zulässigen Mindestgefälle sind aus Zahlentafel 82 zu ersehen. Man sollte aber, wenn irgend möglich, keine kleineren Gefälle als 0,20% anwenden. Bei der schrittweisen Dränung gibt man den Sammlern meistens von Anfang an die für eine Volldränung erforderliche Lichtweite, um später nach Bedarf weitere Sauger anschließen zu können. Auch bei der Teildränung läßt sich fast niemals von

vornherein übersehen, ob nicht später der Anschluß weiterer Sauger nötig wird. Man pflegt daher auch in solchen Fällen den Sammlern reichliche Lichtweiten zu geben. Große Wassergeschwindigkeiten in den Rohren sind stets erwünscht, zu große ($> 1,5$ m/s) sollten aber dann vermieden werden, wenn nach der Bodenart zu befürchten ist, daß an den Dränfugen Bodenteilchen mitgerissen werden. Man führt daher an zu steilen Hängen die Sammler nötigenfalls in zickzackförmig gebrochener Linie am Hang herab, oder man umpackt die Stoßfugen mit Filterstoffen (S. 224).

Wegen der sehr verschiedenen Rohrdurchmesser der Sammler (5 bis 20 cm) ist es zweckmäßig, als Mindestmaß für ihre Tiefenlage den Abstand ihrer Rohroberkante von der Erdoberfläche, d. i. ihre Überdeckung, zu wählen. Diese soll im allgemeinen nicht kleiner als 0,8 m sein (Ausnahmen s. unten u. S. 223). Im übrigen richtet sich die Tiefenlage der Sammler nach derjenigen der Sauger, wobei zu beachten ist, ob die Sauger von oben oder von der Seite in die Sammler münden. Es kommt vor, daß Sammler streckenweise eine sehr tiefe Lage erhalten müssen, um eine Bodenerhebung zu durchschneiden. Dann pflegt man einen mit dem Hauptsammler gleichlaufenden Nebensammler in der Höhenlage der Sauger anzuordnen und in den Hauptsammler zu führen (Abb. 143). Man erreicht dadurch, daß alle Sauger eine regelrechte Tiefe erhalten. Ein solcher Nebensammler ist auch dann zweckmäßig, wenn der Hauptsammler auf der Strecke $a-b$ Fließsand durchschneidet. Man kann dann die Strecke $a-b$ mit Tonmuffenrohren durchfahren (S. 223).

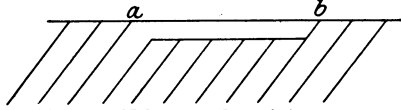


Abb. 143. Nebensammler bei tiefer Lage des Hauptsammlers.

Die Ausmündungen der Sammler sollen mit ihrer Rohrsohle, wenn irgend möglich, über dem mittleren Jahreswasserstand liegen (MW), mindestens aber über dem mittleren Wasserstand der Wachstumszeit ($SoMW$). Ihre Sohlen sind ferner wenigstens 0,2 m über Grabensohle anzuordnen. Bei knapper Vorflut ist es bisweilen schwierig, den unteren Strecken der Sammler eine Überdeckung von 0,8 m zu geben. Man ermäßigt dann diese auf kurze Strecken unmittelbar oberhalb der Ausmündungen ausnahmsweise bis auf 0,7 m. Läßt sich auch diese Überdeckung wegen besonders niedriger Lage des Geländes nicht erreichen, so ist die Ausmündung in höheres Gelände zurückzulegen und mit dem Vorfluter durch einen Stichgraben oder durch gedichtete Rohre zu verbinden. Man kann das Gelände auch auf kurze Strecken aufhöhen, um 0,7 m Überdeckung zu schaffen. Auf Weiden sind die Ausmündungen vor einer Beschädigung durch Weidetiere zu schützen, was ja in der Regel schon durch Einzäunung der Gräben geschieht. Bisweilen bringt man an den Ausmündungen Nummernsteine an, um sie leicht finden zu können, wenn sie durch starken Graswuchs verdeckt sind.

5. Die Sauger.

Man vergleiche auch die besonderen Ausführungen auf S. 223.

Bei der Volldränung verlegt man die Sauger gleichlaufend zueinander mit gleichen Dränabständen, um eine gleichmäßige Wirkung der Dränung auf der ganzen Fläche zu erzielen. Auch werden die Absteckung und Unterhaltung der Dräne dadurch vereinfacht. Die gleichlaufende Lage erleichtert nämlich das Auffinden der Dräne wesentlich. Aus demselben Grunde vermeidet man auch Sauger mit Richtungswechsel, nötigenfalls durch Teilung der Sauger nach der Länge und Einschaltung eines Sammlers.

Je nach der Richtung der Sauger zum Geländegefälle unterscheidet man die Quer-, Schräg- oder Längsdränung. Bei der Querdränung (Abb. 144) liegen die Sauger annähernd gleichlaufend mit den Höhenlinien (Schichtlinien) des Geländes, bei der Längsdränung (Abb. 145) etwa senkrecht und bei der

Schrägdränung (Abb. 121) schräge zu ihnen. Man bevorzugt die Quer- und Schrägdränung vor der Längsdränung. Die Vorteile der Querdränung bestehen hauptsächlich im folgenden:

1. Wenn die Sauger nahezu gleichlaufend mit den Schichtlinien angelegt werden, bleibt für die Sammler die Lage im stärksten Gefälle. Dadurch entsteht in ihnen eine große Wassergeschwindigkeit, man kann daher kleinere Rohrweiten anwenden und spart so an Kosten. Der Sauger mit dem üblichen Lichtmaß von 4 und 5 cm ist auch in dem zulässigen Mindestgefälle imstande, die ihm zukommende Wassermenge abzuleiten. Noch wichtiger ist der Umstand, daß die Wassergeschwindigkeit von den Saugern nach den Sammlern zunimmt, wodurch die beste Gewähr für eine regelmäßige Abführung der Sinkstoffe und für die Vermeidung von Verstopfungen gegeben ist.

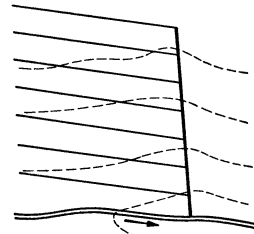


Abb. 144. Querdränung.

2. Das meistens in Richtung des stärksten Oberflächengefälles zu Tal fließende Bodenwasser wird von Querdränen besser abgefangen als von Längsdränen.

3. Ein entwässernder Punkt im Boden, d. h. eine Dränfuge, wirkt nach oben, wenn man den Grundwasserspiegel als geradlinig ansieht, in der Gestalt eines Kegels $d c f$ mit senkrechter Achse (Abb. 146).

Die Bodenoberfläche oder eine ihr gleichlaufende Ebene schneidet diesen Kegel in einer Ellipse, der entwässerten Fläche, deren große Achse in der Richtung des stärksten Gefälles liegt. Da jede Dränfuge in derselben Weise wirkt, so überdecken sich die Ellipsen zum Teil. Wenn E den Inhalt der Ellipse bedeutet und l die Länge des betrachteten Dränstranges, so ist die entwässerte Fläche bei der Längsdränung $F_l = E + 2 b l$ und bei der Querdränung $F_q = E + 2 a l$.

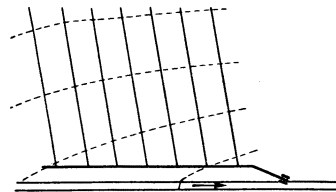


Abb. 145. Längsdränung.
(Nach Krüger.)

Da nun $a > b$, so ist $F_q > F_l$, d. h. bei Querdränung wird durch dieselbe Stranglänge eine größere Fläche entwässert als bei Längsdränung. Abb. 146 zeigt auch, daß man unter sonst gleichen Verhältnissen und bei gleicher Entwässerungswirkung bei ersterer einen größeren Dränabstand anwenden kann als bei letzterer (S. 214).

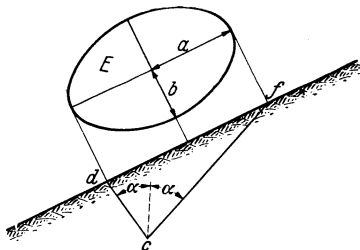


Abb. 146. Wirkungsbereich einer Dränfuge.
(Nach Krüger.)

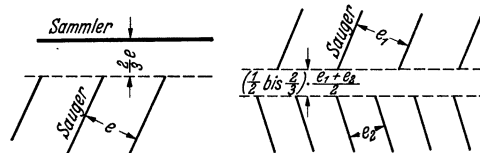


Abb. 147. Abstand benachbarter Dränabteilungen.

Bei der Schrägdränung schneiden die Sauger die Höhenlinien in einem Winkel von etwa 30 bis 60°. Wenn das Geländegefälle kleiner als 0,5% ist, läßt sich eine Längsdränung häufig nicht vermeiden.

Den Abstand benachbarter Dränabteilungen bemißt man nach Abb. 147. Die oberen Enden der Sauger führt man an die Grenze des Drängebietes bis auf etwa $\frac{1}{4}$ Dränabstand heran, was betrieblich ausreicht, da das Ende jedes Saugers vor Kopf eine etwa halbkreisförmige Fläche entwässert. Sauger erhalten von Vorflutern denselben Abstand wie Sammler (S. 209). Auch für die Kreuzung der Sauger mit Vorflutern, Straßen und Wegen gilt das auf S. 209 für Sammler Gesagte. Man vermeidet aber solche Kreuzungen meistens durch Einschalten eines Nebensammlers (Abb. 148).

Bei der Quer- und Schrägdränung beschränkt man die Länge der Sauger im allgemeinen auf 200 bis 250 m. Doch wird man bei maschinenmäßiger Herstellung der Drängräben auch größere Saugelängen anwenden, da der Grabenpflug um so billiger arbeitet, je länger der Graben ist und je seltener der Pflug daher umsetzen muß. Kurze Sauger haben den Vorteil, daß Abflußstörungen in den Rohren nur eine kleine Fläche nachteilig beeinflussen. In Wiesen zieht man kürzere Sauger vor, wie überall dort, wo Abflußstörungen irgendwelcher Art in den Dränrohren zu befürchten sind. Die Sauger einer Längsdränung sind möglichst nicht länger als 150 m herzustellen. Das hat den Vorteil, daß mindestens alle 150 m ein Sammler quer zum Geländegefälle liegt und das von den Saugern nicht aufgenommene zwischen ihnen talwärts fließende Bodenwasser abfängt.

Wenn genügend Gefälle vorhanden ist, führt man die Sauger von oben in die Sammler ein (S. 224). Man verwendet dazu die auf S. 190 genannten Formstücke, andernfalls müssen die Rohre angeschlagen werden (S. 222). Die Verbindung der Sauger mit den Sammlern unter einem sehr spitzen Winkel ist

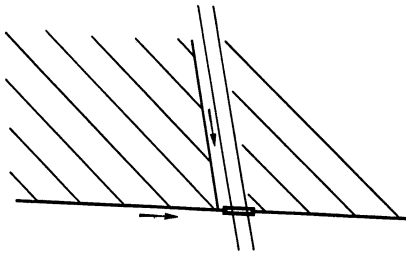


Abb. 148. Nebensammler an einem Weg.

möglichst zu vermeiden. Die rechts und links in denselben Sammler einmündenden Sauger versetzt man gegeneinander, damit in dasselbe Sammlerrohr nur ein Sauger mündet. Grundsätzlich sollen die Sauger in einen Sammler münden und nur ausnahmsweise unmittelbar in einen Vorfluter.

Wegen der Mindestgefälle und der Berechnung der Sauger vgl. S. 198. In den oberen Strecken der Sauger fließt nur wenig Wasser ab, das daher hier nur

eine sehr geringe Spülkraft entwickelt, namentlich bei schwachem Gefälle. In den Saugern lassen sich daher dauernde Ablagerungen nicht immer verhindern. Die Erfahrung zeigt aber, daß trotzdem 4- und 5 cm-Rohre ausreichend sind. Die größere Lichtweite bietet den Vorteil, daß etwaige Ablagerungen erst nach längerer Zeit die Wirkung des Saugers merkbar beeinträchtigen, und daß für den Eintritt des Bodenwassers ein größerer Querschnitt an den Stoßfugen zur Verfügung steht. Man verwendet daher 5 cm-Rohre namentlich dann, wenn Ablagerungen in den Rohren oder Verstopfungen der Fugen besonders zu befürchten sind. In Wiesen sind stets 5 cm-Sauger zu empfehlen.

Die Sauger werden in der Regel gleichlaufend mit der Oberfläche des Geländes verlegt, d. h. sie erhalten das in ihrer Richtung vorhandene mittlere Geländegefälle. Ein geringeres Gefälle als 0,25% ist auf jeden Fall unerwünscht, es sollte nur ausnahmsweise zugelassen werden. In sehr flachem Gelände muß man häufig ein sog. künstliches Gefälle dadurch schaffen, daß man die Sauger an ihrem oberen Ende flacher verlegt als am unteren. In diesen Fällen soll die Länge der Sauger im allgemeinen nicht größer als etwa 100 m sein, da sie sonst am oberen Ende zu flach liegen würden und ihre Wirkung, die von der Tiefe abhängig ist (Zahlentafel 85), hier viel geringer sein würde als am unteren Ende.

Unter der Dräntiefe versteht man den Abstand der Grabensohle von der Erdoberfläche. Es ist für das Herstellen der Drängräben zweckmäßig, wenn die Dräntiefe gleich der Grabentiefe ist. Bei der Wahl der Dräntiefe sind hauptsächlich die Boden- und Witterungsverhältnisse sowie die zum Anbau kommenden Pflanzen zu berücksichtigen. Eine auch im kältesten Winter frostfreie Lage der Dränrohre ist dringend erwünscht, da während der langen Lebensdauer einer Dränung immer einmal mit dem Eintreten eines besonders strengen Winters gerechnet werden muß, und da die durchlässigen Wandungen der Dränrohre meistens Wasser enthalten, das beim Gefrieren sprengend wirkt. Je tiefer die Dräne liegen, um so geringer ist die Gefahr, daß Pflanzenwurzeln in sie

hineinwachsen, obwohl auch tiefe Dräne nicht gegen Zuwachsen gesichert sind. Tiefe Dräne haben den weiteren Vorteil, daß die Pflanzennährstoffe des Bodens weniger stark ausgewaschen werden als bei flacher Lage. Die berühmten Versuche von Rothamstead haben das bestätigt. Man fand dort mit Bodenwaagen in 23 Jahren folgende Verluste an Salpeterstickstoff in Hundertteilen des Gesamtstickstoffes:

Dräntiefe	Verlust
0,5 m	11,5%
1,0 m	6,0%
1,5 m	5,3%

Je tiefer die Sauger verlegt werden, um so größer kann man ihren Abstand wählen [Gl. (47)]. Man spart daher bei tiefen Saugern an Dränlängen, andererseits sind aber die tiefen Drängräben teurer als die flachen. Besonders zu beachten ist, daß tiefe Sauger das Sickerwasser langsamer ableiten als flache, was bei der Dränung schwerer Böden von Bedeutung ist. Durch tiefe Dränung wird ein größerer Bereich des Bodens für die Pflanzenwurzeln aufgeschlossen und zur Aufnahme von Niederschlägen befähigt.

Man geht nun beim Entwerfen der Sauger so vor, daß man zunächst die Dräntiefen festlegt. Dabei kommen für Ackerdränungen folgende Dräntiefen in Frage:

1. Die flache Lage von 0,8 bis 1,0 m. Flache Dränungen werden besonders in schwer durchlässigen Böden angewendet, damit die versickernden Niederschläge schnell genug abgeführt werden. Allerdings nimmt die Durchlässigkeit der schweren Böden einige Jahre nach der Dränung fast stets zu.

Die flache Lage ist auch dann zweckmäßig, wenn unter einer leichter durchlässigen Bodenschicht in 0,8 bis 1,0 m Tiefe eine schwer durchlässige Schicht oder Triebssand beginnt. Es wäre falsch, in solchen Fällen die Dräne in die schwer durchlässige Schicht oder in den Triebssand zu legen, da die tiefere Lage im Ton keine stärkere Entwässerung bewirkt als die flachere (Abb. 149) und da im Triebssand Versandungen der Dräne zu befürchten sind. In leichteren Böden dränt man auch dann flach, wenn bei tiefer Dränung mit einer zu großen Austrocknung des Bodens zu rechnen ist. Das wird aber nur ausnahmsweise der Fall sein. Auch das Vorkommen eines deutlichen *B*-Bandes läßt bisweilen eine flache Dränlage auch in leichteren Böden zweckmäßig erscheinen, wenn man dadurch erreicht, daß die Dräne über der verdichteten Schicht bleiben.

Im allgemeinen gilt das Maß von 0,8 m als die geringste zulässige Tiefe der Sauger. Ausnahmsweise legt man die oberen Enden der Sauger bei künstlichem Gefälle auf 0,7 m. Auch dürfen kleine Flächen 0,7 m tief entwässert werden, wenn die Vorflut schwer zu beschaffen ist. Bei Vorkommen von Triebssand sind die Ausführungen auf S. 223 zu beachten.

2. Die mittlere Lage von 1,0 bis 1,2 m wird in schweren und mittelschweren Böden verwendet.

3. Die tiefe Lage beträgt 1,2 bis 1,3 m. Ihr Anwendungsgebiet sind die mittelschweren und leichteren Böden. In diesen sollte die Dräntiefe beim Anbau tief wurzelnder Pflanzen möglichst nicht kleiner als 1,3 m sein. Eine tiefe Dränung ist in der Regel in tiefgründigen, nährstoffreichen Lehmböden zu empfehlen, besonders bei kalkreichem Untergrund.

4. Die sehr tiefe Lage von 1,3 bis 1,8 m wählt man für tief wurzelnde Bestände in mittelschweren und leichteren Böden. So haben sich wiederholt Dräntiefen von 1,4 bis 1,5 m für Zuckerrüben, Esparsette und Luzerne bewährt, solche von 1,6 bis 1,8 m für Hopfen und Wein. Wenn in einer Tiefe zwischen 1,3 und 1,8 m eine wasserführende durchlässige Schicht liegt und darüber ein nicht sehr schwerer Boden, legt man die Sauger gern in die

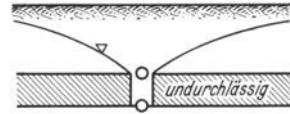


Abb. 149. Dränlage bei undurchlässigem Untergrunde.
(Nach Krüger.)

wasserführende Schicht, da sie hier das schädliche Bodenwasser am leichtesten aufnehmen. Häufig wird allerdings in solchen Fällen eine Dränung überhaupt nicht nötig, unter Umständen sogar bedenklich sein, da die durchlässige Schicht im Untergrunde oft bereits wie eine Dränung wirkt. Auch Fangdräne sind häufig besonders tief anzuordnen.

Wiesen dränt man in der Regel 0,8 bis 1,1 m tief. Sie dürfen nicht so weitgehend entwässert werden wie Äcker. Weiden nehmen eine Mittelstellung zwischen Acker und Wiese ein. Ihre Dräntiefe ist daher derjenigen des Ackers oder der Wiese anzugleichen, je nachdem ihre Wasserverhältnisse denen des Ackers oder der Wiese ähnlich sind.

Die Entfernung der gleichlaufenden Sauger voneinander nennt man den Dränabstand. Er ist in der Hauptsache von der Bodenbeschaffenheit, Dräntiefe und Nutzungsart (Acker, Weide, Wiese) abhängig. Den Dränabstand richtig zu wählen, gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Dränung. Er darf nicht zu groß sein, weil dann die Entwässerung nicht genügt, sondern mangelhaft entwässerte Streifen in der Mitte zwischen den Saugern verbleiben, aber auch nicht zu klein, weil dann die Kosten der Dränung unnötig hoch werden. Den besten Anhalt für die Wahl des Dränabstandes geben immer noch die Erfahrungen, die unter gleichartigen Verhältnissen mit anderen Dränungen, z. B. in der Nachbarschaft, gemacht sind. Auch auf den zu dränenden Flächen selbst kann man mit der schrittweisen Dränung solche Erfahrungen gewinnen (S. 207). Im übrigen bildet das Ergebnis der Bodenuntersuchungen den Ausgangspunkt für die Bestimmung der Dränabstände. Bisweilen kann aber die Bodenbeschaffenheit so stark wechseln, daß die übliche Bodenuntersuchung noch kein deutliches Bild über die Verteilung der Bodenarten ergibt. Alsdann empfiehlt es sich, den Dränabstand endgültig erst festzulegen, wenn die Drängräben der Sammler und einzelner Sauger ausgehoben sind. Denn der so gewonnene Bodenaufschluß ist außerordentlich anschaulich.

Als Anhalt für die Wahl der Dränabstände dienen die Angaben der Zahlentafel 85. Sie gelten für Ackerdränungen bei gleichmäßiger Bodenbeschaffenheit, bei einem mittleren Jahresniederschlag bis zu etwa 650 mm, bei einem

Zahlentafel 85.

Bodenart	Korngröße I < 0,02 mm in (Gewicht) %	Dräntiefe in m			
		0,80	1,00	1,20	1,40
Schwerer Ton . . .	100—75	6 — 8	6,5— 8,5	7 — 9	7,5— 9,5
Gewöhnlicher Ton .	75—60	8 — 9	8,5—10	9 —11	9,5—11,5
Schwerer Lehm . .	60—50	9 —10	10 —11,5	11 —12,5	11,5—13,5
Gewöhnlicher Lehm	50—40	10 —11,5	11,5—13	12,5—14,5	13,5—16
Sandiger Lehm . .	40—25	11,5—14,5	13 —17	14,5—19,5	16 —22
Lehmiger Sand . .	25—10	14,5—18	17 —22	19,5—26	22 —30
Sand	< 10	> 18	> 22	> 26	> 30

Geländegefälle unter 2% und bei der Ausführung als Quer- oder Schrägdränung. In den meisten Fällen müssen aber die Dränabstände der Zahlentafel 85 den besonderen örtlichen Verhältnissen durch Zuschläge oder Abzüge noch angepaßt werden. So vergrößert man die Dränabstände bei geringer Lagerungsdichte des Bodens, z. B. bei hohem Kalkgehalt (> 20%), wie folgt:

Korngröße I = 100 — 40% : bis 10%,

„ I = 40 — 25% : bis 15%.

Eine Vergrößerung ist ferner angebracht bei starkem Geländegefälle, namentlich an Südhängen. Eine Verkleinerung ist vorzunehmen bei der Längsdränung (um etwa 10%), bei großer Lagerungsdichte des Bodens, z. B. bei hohem Eisen-gehalt (um 5 bis 20%), bei Triebssand (um etwa 10%), bei mittleren Jahresnieder-

schlägen über 650 mm, bei häufigen Überschwemmungen sowie bei quelligen oder Schichtwasser führenden Böden. Die Gründe für diese Abweichungen sind leicht zu erkennen. Kalk macht den Boden krümelig und durchlässiger, starkes Geländegefälle fördert den oberirdischen Abfluß und Südlage vermehrt die Verdunstung. Umgekehrt wirkt die Längsdränung an sich weniger stark entwässernd als die Querdränung, Eisen verkittet den Boden und macht ihn somit schwerer durchlässig; bei Triebssand, auch bei Eisengehalt besteht die Gefahr von Störungen, der man von Anfang an durch eine etwas engere Lage der Sauger Rechnung trägt. Große Niederschläge, Überschwemmungen, Quellen und Schichtwasser vermehren naturgemäß das schädliche Bodenwasser. Zu Zahlentafel 85 ist noch zu bemerken, daß nicht nur der Gehalt an Bodenteilchen unter 0,02 mm Durchmesser, sondern auch der Quellstoffgehalt (Kolloidgehalt) des Bodens auf den Dränabstand von Einfluß zu sein scheint. Dafür spricht der Umstand, daß die Wasserdurchlässigkeit eines im Einzelkorngefüge befindlichen Bodens um so geringer ist, je mehr Quellstoffteile er enthält (S. 15).

Wegen der geringeren Entwässerungsbedürftigkeit des Grünlandes vergrößert man seine Dränabstände gegenüber den Zahlen der Zahlentafel 85 um die Maße der Zahlentafel 86.

Bei der Wahl der Dränabstände ist weiter zu beachten, daß die zu dränenden Flächen häufig keine gleichmäßige Bodenbeschaffenheit aufweisen, daß vielmehr zwei oder mehrere Schichten vorhanden sind, z. B. 0,50 m sandiger Lehm auf schwerem Lehm. Man ermittelt dann den Dränabstand in der Regel nach dem Verhältnis der Stärke der einzelnen Schichten. Nimmt man an,

daß der sandige Lehm nach Zahlentafel 85 mit 16 m und der schwere Lehm mit 11 m zu dränen sind, so ergibt sich bei 1,10 m Dräntiefe ein Dränabstand von

$$\frac{16 \cdot 0,50 + 11 \cdot 0,60}{1,10} = \text{rund } 13 \text{ m.}$$

Dieses Verfahren darf jedoch nicht gedankenlos angewendet werden. Wenn unter schwerem Boden etwa in Dräntiefe eine sehr durchlässige Schicht liegt, so pflegt die Wirkung einer Dränung durch diese Schicht stark unterstützt zu werden. Man spricht dann von einer natürlichen Dränung. Oft ist in solchen Fällen eine künstliche Dränung überhaupt nicht nötig, zum mindesten aber wird man den nach dem schweren Boden bestimmten Dränabstand meistens erheblich vergrößern können. Anders, wenn ein leichter Boden auf sehr schwerem lagert und die Dräne in letzterem liegen. Der schwere Boden wird durch den darüber liegenden leichten gegen Austrocknung geschützt, so daß sich die sonst für die Versickerung sehr günstigen Trockenrisse nicht bilden können. Daher ist in solchen Fällen allein der schwere Boden für den Dränabstand maßgebend, wenn die Dränggräben nennenswert in ihn eingeschnitten sind.

Liegen die Dräne unmittelbar auf einer schwer durchlässigen Schicht, so bestimmt man den Abstand der Sauger für die darüber befindliche durchlässigere Bodenschicht, verringert aber den so gefundenen Wert etwas, weil unter den Dränen keine nennenswerte Grundwasserbewegung stattfinden kann (Abb. 22).

Besonders schwierig ist die Wahl der Dränabstände in stark wechselnden Böden (S. 214). Man hilft sich dann oft dadurch, daß man zunächst einen reichlichen Dränabstand nimmt und nötigenfalls später Zwischendräne nach Bedarf einschaltet, wenn die schädliche Bodennässe an einzelnen Stellen nicht ausreichend beseitigt wird (Abb. 150). Wenn in den Gletscherschuttböden

Zahlentafel 86.

Korngröße I %	Dauer- wiesen %	Dauer- weiden %
100—60	20—30	10
60—25	30—40	10—20
< 25	40—80	20—50

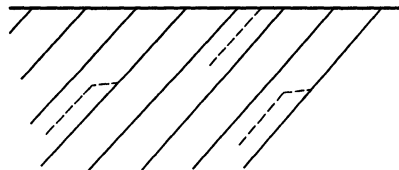


Abb. 150. Zwischendräne.

(Moränenböden) leichte Bodenarten überwiegen, pflegt man diese für die Wahl der Dränabstände zugrunde zu legen, verringert jedoch die Abstände um so mehr, je mehr Einsprengungen schweren Bodens jeweils vorhanden sind.

Gewisse Anhaltspunkte für die Wahl der Dränabstände bieten bisweilen auch ausgesprochene Bodenbänder (S. 52). Ein *B*-Band entsteht durch Sickerwasser. Daher ist der Dränabstand zu verkleinern, wenn sich über den Dränen stärkere Schichten eines *B*-Bandes befinden. Wenn dagegen über den Dränen ein *G*-Band liegt, das sich durch Ablagerungen aus dem Grundwasser gebildet hat, soll die Dränung häufig aus Nachbargebieten kommendes Grundwasser beseitigen, ein Vorgang, der durch das *G*-Band nicht behindert wird.

Wenn die Wirkung einer Rohrdränung durch einfache Maulwurfdräne verstärkt werden soll (S. 227), ist ein wesentlich größerer Dränabstand am Platze als bei gewöhnlicher Dränung.

Sauger mit künstlichem Gefälle haben an ihrem oberen Ende eine geringere Tiefe als unten. Dieser Umstand muß, wenn der Tiefenunterschied erheblich ist, bei der Wahl der Dränabstände berücksichtigt werden.

Eine Sonderstellung nehmen die Fangdräne ein (S. 207), die stets quer zum Grundwasserstrom liegen müssen, um ihn abzufangen. Man schneidet sie gern mit breiter Grabensohle etwas in die undurchlässige Schicht, auf der sich der Grundwasserstrom bewegt, ein. Doch wird man sie in der Regel nicht tiefer als 1,8 m verlegen. Sie erhalten mindestens 5 cm, vielfach besser 6,5 bis 8 cm weite Rohre. Der untere Teil der Fangdrängräben ist nach Möglichkeit mit durchlässigem Boden (Steinen, Kies, Schlacke) zu verfüllen, damit das Grundwasser leichter Zutritt zu den Dränen hat. Auch Steindräne sind sehr geeignet zum Abfangen des Druckwassers. Ein Fangdrän kann nur dann wirken, wenn er genügend tief liegt als der Spiegel des Grundwasserstromes.

Quellen pflegt man gleichfalls durch besondere Rohrstränge (Bedarfdräne, S. 207) abzuleiten, um sie von der eigentlichen Dränung fernzuhalten. Denn die Pflanzenwurzeln suchen das in den Dränen fließende Wasser auf, wenn das Erdreich in trockener Zeit Wassermangel hat. Es kommt dann leicht zum Verwachsen der Stränge. Nur in Ausnahmefällen wird man einen besonders tief liegenden Sammler zum Ableiten einer Quelle verwenden dürfen, um ihn auf diese Weise gleichzeitig dauernd zu spülen. Das Quellwasser muß dann jedoch eisenfrei sein, da sonst die gefürchtete Ockerbildung einsetzt. Bei starkem Wasserandrang baut man einen Schlucker oder man verwendet an den quelligen Stellen gelochte und mit Steinen umpackte Rohre. Auch Steindräne dienen zum Abfangen von Quellen. Führt die Quelle Sand, so wird man unterhalb derselben nötigenfalls einen Dränschacht mit größerem Sandfang herstellen.

Die Steindräne (S. 191) finden nicht nur als Sauger, sondern auch als Sammler Verwendung. Das Gefälle der gewöhnlichen, nicht kastenförmigen Steindräne soll nicht zu schwach sein, da sie der Wasserbewegung einen größeren Widerstand als Rohrdräne bieten. Störungen durch Verwachsen sind nicht zu befürchten. Man kann daher Steindräne auch in geringer Tiefe verlegen, z. B. in Wiesen. Desgleichen findet man sie in Obstgärten. Ihre Unempfindlichkeit macht sie auch geeignet für Gebiete, die zu Bodenbewegungen neigen (Senkungsgebiete des Bergbaues).

6. Die Form der Entwürfe.

Ein vollständiger Dränentwurf besteht in der Regel aus folgenden Teilen: Erläuterung, Massenberechnung, Kostenanschlag, Lagepläne mit Festpunktverzeichnis, Bodendurchschnitte, gegebenenfalls Bodenkarten, Längsschnitte der Vorflutanlagen und Sammler sowie Querschnitte der Vorfluter. Im allgemeinen empfiehlt sich auch die Beifügung einer Übersichtskarte.

Wegen der Erläuterung vgl. S. 160.

Die Massenberechnungen der Sammler und Sauger und die Berechnung des Bedarfes an gewöhnlichen Rohren und Formstücken pflegt man nach besonderen Vordrucken durchzuführen, die in der Dränanweisung dargestellt sind (153, 66).

Für den Kostenanschlag schreibt die Dränanweisung acht Teile vor: Vorarbeiten, Entschädigungen, Vorflutanlagen, Bauwerke, Erdarbeiten für die Dränggräben, Beschaffung der Rohre nebst Zubehör, Bauleitung und Insgemein.

Über den Inhalt der Lagepläne vgl. die Angaben auf S. 205. Außerdem sind darzustellen: die zu dränenden Flächen mit ihren Grenzen und ihrer näheren Umgebung, die Höhenzahlen, Höhenlinien, Wasserscheiden und die Dränung selbst mit allem Zubehör (Dränschächte, Senkbrunnen usw.). Für die Eintragung der Höhenlinien gelten die Ausführungen auf S. 160. Als Höhenabstände wählt man in Dränentwürfen bei geringer Geländeneigung 0,20 oder 0,25 m, ausnahmsweise 0,10 m. Bei stark geneigtem Gelände genügen größere Abstände. Die üblichen Maßstäbe für Dränpläne sind 1 : 2000 oder 1 : 2500. Die Dränanweisung sieht bestimmte schwarze oder farbige Zeichen für die darzustellenden Gegenstände vor.

Wenn im Drängebiet viele kleine Teilstücke liegen, wird der Lageplan durch die zahlreichen Eintragungen leicht unübersichtlich. Man stellt dann die Grenzen der Gemarkungen, Kartenblätter (Fluren) und Teilstücke, die Teilstücknummern, Eigentums Grenzen und gegebenenfalls auch die Namen der Eigentümer auf einer besonderen Abzeichnung der Flurbuchkarte dar.

Alle Festpunkte werden ihrer Lage und Höhe nach in einem Festpunktverzeichnis zusammengestellt. Bei genossenschaftlichen Entwürfen ist noch ein Teilnehmerverzeichnis erforderlich.

Zur Bildung einer Drängenossenschaft ist nicht immer sofort ein baureifer Dränplan nötig. Man stellt bisweilen zunächst nur einen vereinfachten Vorentwurf auf, der aber auf jeden Fall ein annähernd zutreffendes Bild über die Vorflutverhältnisse sowie über Umfang, Kosten und Erfolg der Dränung ergeben muß. Die Aufstellung eines Vorentwurfes setzt voraus, daß keine eingehenden Höhenmessungen nötig sind, um zu beurteilen, ob überall genügendes Gefälle für die Dränung vorhanden ist. Bodenuntersuchungen sind auch für Vorentwürfe unentbehrlich. Man rechnet überschläglich bei der Volldränung auf 1 ha zu dränender Fläche bei e m Dränabstand etwa n lfd. m Sauger:

Zahlentafel 87.

e	n	e	n	e	n	e	n
6	1650	13	750	20	480	30	310
7	1410	14	690	21	460	32	290
8	1230	15	650	22	440	34	275
9	1090	16	610	23	420	36	260
10	980	17	570	24	400	38	245
11	890	18	540	26	370	40	230
12	810	19	510	28	340		

An Sammlern kann man durchschnittlich je ha etwa 50 lfd. m in Ansatz bringen, und zwar

35% mit 6,5 cm-Rohren	15% mit 13 cm-Rohren
25% „ 8 „	5% „ 16 bis 20 cm-Rohren.
20% „ 10 „	

Zu den so berechneten Längen ist ein ausreichender Bruchzuschlag zu geben. Auf den Lageplänen gibt man an, mit welchen Dräntiefen und Dränabständen, sowie in welcher Art (Voll-, Teildränung) die einzelnen Flächen gedränt werden sollen.

Die große Bedeutung der Bodenbeschaffenheit bei allen Dränungen erfordert stets die Auftragung von Bodendurchschnitten (Abb. 151). Die verschiedenen Bodenarten werden häufig durch besondere Zeichen dargestellt. Auf den Bodendurchschnitten bringt man auch zur Darstellung: die Lage des Grundwasserspiegels, wasserführende sandige Schichten und Gänge, Triebssand, eisenhaltigen Boden, hohen Steingehalt und pflanzenschädliche Bodenarten; ferner sind etwaige Feststellungen über Bodenbänder, Lagerungsdichte, Bodenrisse und Durchwurzelung zu vermerken (S. 52). Bei jedem Bodendurchschnitt

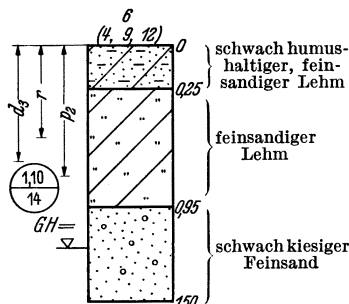


Abb. 151. Bodendurchschnitt (Dränanweisung). 6 Schürfrube. (4, 9, 12) Bohrlocher. p_2 dichte Lagerung. r Rißbildungen. d_3 vereinzelt Wurzeln. $\left(\frac{1,10}{14}\right)$ Dräntiefe und Dränabstand. $GH = G$ -Band mittlerer Stärke (— bei schwacher, ≡ bei starker Ausbildung. Andere Bodenbänder sind entsprechend darzustellen). ∇ Grundwasserstand in der Schürfrube.

sind die gewählte Dräntiefe und der Dränabstand anzugeben. Häufig ist die Herstellung von Bodenkarten zu empfehlen. Man geht dabei in der Weise vor, daß man die Flächen mit einigermaßen gleichen Bodendurchschnitten (Bodenflächen) in besonderen Plänen, den Bodenkarten, kenntlich macht. Die Grenzen dieser Flächen liegen im allgemeinen in der Mitte zwischen denjenigen Bodenuntersuchungsstellen, zwischen denen sich die Bodenbeschaffenheit nennenswert ändert. In die Bodenkarten sind einzutragen: sandige Gänge größeren Umfangs, Triebssand, stärkerer Eisengehalt des Bodens, pflanzenschädliche Bodenarten und Druckwasser. Die Bodenkarten erleichtern das Entwerfen der Dränung hinsichtlich der Wahl der Dräntiefen und Dränabstände. Sie sind natürlich entbehrlich bei sehr gleichmäßiger Bodenbeschaffenheit des gesamten Drängebietes

und werden andererseits unübersichtlich, wenn die Bodenbeschaffenheit sehr häufig wechselt. Für die zeichnerische Darstellung der Bodendurchschnitte und Bodenkarten findet man Beispiele in der Dränanweisung (153).

Die Längsschnitte der Vorflutanlagen und Sammler sowie die Querschnitte der Vorfluter sind nach den Angaben auf S. 160 anzufertigen.

Als Übersichtskarten verwendet man Meßtischblätter (1:25000), in denen man die Grenzen des Drängebietes, die wichtigsten Vorfluter und deren Wasserscheiden darstellt.

7. Bauausführung.

Für den Erfolg einer Dränung ist eine sorgfältige Bauausführung mindestens ebenso wichtig wie ein fachlich richtiger Entwurf. Ganz besonders in flachem Gelände kann der Wert einer gewissenhaften Ausführung gar nicht hoch genug veranschlagt werden. Daher ist eine ständige Fachaufsicht dringend erforderlich. Denn die Güte der Arbeiten wird dem Auge entzogen, sobald die Dränggräben zugeschüttet sind, und es ist in der Regel nicht zulässig, die Gräben nach dem Verlegen der Rohre solange offenstehen zu lassen, bis ein nur zeitweise verfügbarer Fachmann zur Abnahme kommt (S. 222). Der Aufsichtführende muß ausreichende Erfahrungen im Dränen und in der Bodenkunde besitzen, weil nicht selten noch während der Bauausführung Änderungen des Planes nötig werden, über die alsbald Entscheidung zu treffen ist. Solche Fälle treten besonders dann ein, wenn man beim Ausschachten der Dränggräben Bodenarten antrifft, die man nicht erwartet hat. Wegen der großen Bedeutung einer gewissenhaften Bauausführung sollte man die Arbeiten, sofern sie nicht im Eigenbetriebe ausgeführt werden, stets nur einem durchaus zuverlässigen Unternehmer übertragen, der über geschulte Arbeitskräfte verfügt. Es empfiehlt sich, dem mit dem Unternehmer abzuschließenden Verträge die amtlich eingeführten „Technischen Vorschriften für Kulturbauarbeiten“ (Normblatt DIN 1958) zugrunde zu legen.

Die Drängräben lassen sich am leichtesten in einer Zeit ausführen, in der der Boden einen mittleren Feuchtigkeitsgrad besitzt. Bei Frost soll man möglichst nicht dränen. Die beste Zeit ist im allgemeinen der Herbst, wenn nach der Ernte kein Flurschaden verursacht wird. Ausreichende Vorflut ist Voraussetzung für den Beginn der Arbeiten. Man fängt mit den Sammlergräben an, indem man zunächst ihre Lage im Felde durch Pfähle bezeichnet, und zwar mindestens am Anfang, am Ende und an jedem Richtungswechsel. Bei größeren Längen sind noch weitere Pfähle einzuschalten. In derselben Weise ist ein Sauger einer Gruppe auf das Feld zu übertragen. Auf diesem werden zwei Lote errichtet, auf denen man dann nur noch den Dränabstand mehrmals abzutragen braucht, um die Lage aller anderen Sauger dieser Gruppe zu erhalten.

Ist das Geländegefälle schwach oder stark wechselnd, so muß die genaue Höhenlage des Geländes an den im Entwurf vorgesehenen Gefällebrechpunkten des Sammlers sowie an seinem Anfang und Ende nochmals durch eine Höhenmessung festgestellt werden, damit die Dräntiefen an diesen Punkten angegeben werden können. Denn im Dränplan ist die Höhenlage des Geländes genau nur dort bekannt, wo eine Höhenzahl steht. Bei Saugern mit sehr schwachem Gefälle ist sinngemäß zu verfahren. Bei stärker geneigten Sammlern ist eine neue Höhenmessung nicht immer nötig. Man hat das von Fall zu Fall zu entscheiden. Die entwurfsmäßige Herstellung der Drängrabensohlen und ihre Überwachung durch die Bauleitung werden erleichtert, wenn beim Ausgraben Wasser angetroffen wird, weil dann eine Unregelmäßigkeit im Gefälle leichter erkennbar wird.

Alle Punkte der Höhenmessung werden durch zwei Pfählchen festgelegt. Der Grundpfahl wird mit dem Kopf bündig in den Boden eingeschlagen und gibt die gemessene Höhenlage an, der Beipfahl steht daneben, ragt aus dem Boden hervor und trägt durch Aufschrift die Bezeichnung des Punktes. Die Pfähle stehen außerhalb des Grabenquerschnittes, und zwar zweckmäßig auf der Grabenseite, auf der der Mutterboden abgesetzt wird. Sie erhalten einen Abstand von etwa 20 cm von der Grabenkante. In einer dem Schachtmeister auszuhändigenden Liste werden die Grundpfähle nebst ihren Höhenzahlen zusammengestellt. Die Höhenzahlen auf die Beipfähle zu schreiben, empfiehlt sich nicht, weil die kleinen Ziffern leicht unleserlich werden. Über der Dränlinie wird eine Grabenkante durch eine straff gespannte Schnur festgelegt, die andere nach Augenmaß beim Ausschachten hergestellt. Beim Dränen von Wiesen oder Weiden, wenn ohnehin der Mutterboden durch Abstechen von Plaggen entfernt werden muß, werden die Grabenkanten (die eine nach der Schnur, die andere nach Augenmaß) durch Spatenstiche vorgerissen.

Nach Abheben des Mutterbodens, wozu man sich bei losem Ackerboden der Schaufel und bei vorhandener Grasnarbe des Spatens bedient, wird die Grabentiefe im allgemeinen durch drei Stiche mit dem Dränspaten hergestellt. Nach dem ersten Stich werden dicht neben den eingewogenen Grundpfählen in eine Grabenwand, die in dieser Tiefenlage bereits genügend fest ist, unter Benutzung einer Fernrohrwaage oder Wasserwaage mit Setzlatte Holzpflocke waagrecht so eingetrieben, daß sie noch 3 bis 4 cm vorstehen und mit ihrer Oberkante um ein gleiches Maß (Stichmaß) über der Sohle des Drängrabens liegen. Über diese Pflöcke, zwischen die je nach Bedarf noch weitere (mit demselben Stichmaß über Grabensohle) eingetafelt werden, wird möglichst straff eine Schnur gespannt. Von der Schnur aus kann man die richtige Grabensohle an jeder beliebigen Stelle abmessen und herstellen. Bei gutem Gefälle, insbesondere wenn die Grabensohle zur Erdoberfläche gleich läuft, ist ein vereinfachtes Verfahren zulässig, indem unter Verzicht auf die Stichmaßschnur nach dem Rohausheben des letzten Stiches die Sollhöhe der Grabensohle von den Grundpfählen aus eingewogen wird. Nach Bedarf werden dann noch einige Zwischenpunkte eingetafelt.

Die Drängräben werden meistens als Handarbeit mit Dränspaten verschiedener Breite ausgeführt (Abb. 152a). Bei hartem Boden, zumal wenn er mit Steingeröll vermengt oder durch Eisen verdichtet ist, erfordert die Arbeit auch die Anwendung der Breit-, Spitz- oder Kreuzhacke. An demselben Graben arbeiten, wenn nicht z. B. Triebsandvorkommen eine schnellere Arbeitsleistung erfordert, in der Regel zwei Arbeiter derart staffelförmig hintereinander, daß der eine einen Stich tiefer gräbt als der andere. Beim letzten oder Sohlenstich darf keinesfalls zu tief gegraben werden, weil die dann nötige Wiederauffüllung den Rohren kein sicheres Lager bieten würde. Sollte aber trotzdem tiefer gegraben sein, so muß der aufgefüllte Boden wieder sorgfältig festgestampft werden.

Um die Erdarbeiten zu verringern, werden die Gräben möglichst schmal und die Böschungen so steil hergestellt, wie es der Boden zuläßt. Die Oberbreite beträgt bei 1,30 m tiefen Gräben für Sauger bei

Tonboden	etwa 0,3 bis 0,4 m
Lehmboden	„ 0,4 bis 0,5 m
Sandigem Lehm	„ 0,5 bis 0,6 m.

Für Sammler muß die Breite ihrem größeren Durchmesser entsprechend größer sein. Auch bei Hackarbeit werden die Breiten größer, damit unten im Graben

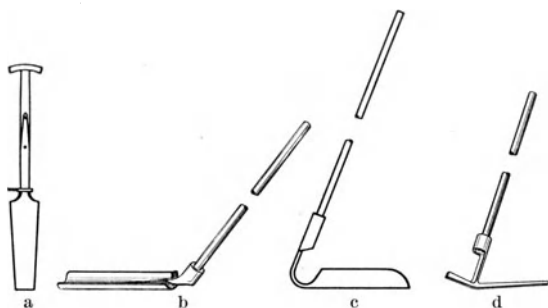


Abb. 152. Drängeräte.

noch genügend Arbeitsraum bleibt. Die Unterbreite soll nur etwas größer sein als der Außendurchmesser des Rohres. Dann ist das Rohr auch gegen seitliche Verschiebungen gesichert. Nur geübte Dränarbeiter sind imstande, solchen Bedingungen entsprechende Gräben herzustellen.

Der Aushuboden ist zur Verminderung der Einsturzgefahr und, damit kein Boden

in den Graben zurückfällt, möglichst nicht unmittelbar neben der Grabenkante abzulagern, und zwar der Mutterboden auf der einen (ansteigenden), der Unterboden auf der anderen (abfallenden) Seite. Diese Trennung ist nötig, um bei dem Zufüllen der Gräben die gute Erde wieder obenauf bringen zu können. Weil von der oberen Seite mehr Wasserandrang zu erwarten ist, soll diese durch den Aushuboden möglichst wenig belastet werden. Deshalb setzt man dort die geringere Menge (Mutterboden) ab. Größere Steine, die im Grabenzuge gefunden werden und zu schwer sind, um sie zu heben, sind mit dem Drän in schlankem Bogen zu umgehen. Wenn man sie sprengt, muß der lockere Füllboden des Sprengtrichters sehr fest in die Grabensohle wieder eingestampft werden. Das Unterfahren der Steine mit den Dränsträngen ist unstatthaft. Die endgültige Sohle des Grabens ist nach dem Stichmaße genau abzugleichen.

Die Drängräben werden stets von unten nach oben fortschreitend hergestellt, um dem Bodenwasser freien Abfluß zu gestatten und im Trockenen arbeiten zu können. Bei starkem Grabeneinsturz muß die Vorflut durch vorübergehend eingelegte Rohre erhalten werden. Um den Einsturz, der bei wenig widerstandsfähigem, nassen Boden einen sehr lästigen Umfang annehmen kann, tunlichst einzuschränken, sind die Arbeiten so zu betreiben, daß die Gräben nur kurze Zeit offen zu bleiben brauchen.

Die Maschinenarbeit hat bisher bei der Herstellung der Drängräben in Deutschland keine nennenswerte Verbreitung gefunden (165). In Württemberg sind vor etwa 10 Jahren Versuche mit einem Grabenbagger des Eisenwerkes „Weserhütte“ in Bad Oeynhaus an gestellt worden. Die Drängräben wurden 0,4 m breit und durchschnittlich 1,2 m tief ausgehoben. Die Leistung betrug

bis zu 700 m in 10stündiger Arbeitszeit. Der Bagger brauchte einen Maschinenführer und drei Arbeiter für kleine Nacharbeiten auf der Grabensohle und zum Verlegen der Rohre. Steine bis Kopfgröße boten kein Hindernis. Die gesamten Unkosten (Löhne, Betriebskosten, Verzinsung der Anlagekosten und Ausbesserungen) für die Herstellung des Grabens und das Verlegen der Rohre betragen 0,28 bis 0,30 RM/m. Die Kosten für das Wiederauffüllen der Gräben waren höher als bei den von Hand hergestellten Gräben, da der ganze Boden auf einer Seite lag und sich ziemlich fest lagerte. Auch die Bodenmenge war größer. Das Wiederauffüllen kostete 0,10 bis 0,12 RM/m. Bei 0,40 RM Gesamtkosten ist aber der Maschinenbetrieb im allgemeinen teurer als die Handarbeit. Nur unter besonderen Verhältnissen, z. B. in trockenem, harten Lehmboden oder in schwerem Tonboden, kann die Arbeit des Baggers lohnend sein.

Nach Fertigstellung der Gräben ist eine Nachprüfung der Sohlenlage durch die Bauaufsicht vorzunehmen. In sehr flachem Gelände kann dabei eine nochmalige Höhenmessung nötig werden.

Der Unternehmer, dem die Ausführung der Dränung übertragen wird, sollte an der Rohrlieferung unbeteiligt sein. Die Zurückweisung mangelhafter Rohre ist dann eher zu erwarten. Die Dränrohre sind sorgfältig abzuladen, damit nicht zuviel Bruch entsteht, und längs der Drängräben zu verteilen, damit sie möglichst schnell verlegt werden können. Schlechte Rohre sind sofort auszusondern. Weniger gute, aber noch brauchbare Saugerrohre verwendet man in den oberen Strecken der Sauger, da hier Abflußstörungen am wenigsten schaden. Das Verlegen der Rohre muß bald nach Vollendung des Grabens geschehen, um Grabeneinsturz möglichst zu vermeiden. Vor dem Verlegen ist die Sohle von etwa eingestürztem Boden nochmals gründlich zu reinigen und mit der Hohlkelle *b* oder dem Schwanenhals *c* (Abb. 152) eine dem äußeren Rohrdurchmesser entsprechende etwa halbkreisförmige Rille in der Grabensohle zu ziehen. Man verwendet den Schwanenhals und die Hohlkelle in verschiedenen Größen je nach dem Rohrdurchmesser. Mit dem Verlegen beginnt man am obersten Ende des Stranges. Das Anfangsrohr wird oben durch eine Dachsteinscherbe, einen Stein oder einen Pfropfen aus Beton verstopft, damit nicht Boden eingespült wird. Den sichersten Schluß erzielt man durch Schlußrohre (Abb. 122). Man fängt mit dem obersten Sauger an, verbindet ihn mit dem Sammler, stellt dann diesen bis zum nächsten Sauger her, verlegt den zweiten Sauger usw. Oder man verlegt erst alle Sauger und dann den zugehörigen Sammler. Das Hauptaugenmerk ist darauf zu richten, daß die Rohre mit engen Fugen dicht nebeneinander liegen.

Das Rohrlegen geschieht entweder mit der Hand durch einen im Drängraben stehenden Arbeiter oder mit dem Legehaken (Abb. 152d) vom Grabenrande aus. Dieser bietet den Vorteil, daß die Grabensohle nicht betreten zu werden braucht, was besonders bei weichem Boden günstig ist. Dagegen kann bei Handarbeit der dichte Fugenschluß sorgfältiger hergestellt werden. Man ist dabei leichter in der Lage, durch Drehen der Rohre selbst dann noch einen dichten Fugenschluß zu erreichen, wenn die Rohrenden nicht genau senkrecht zur Rohrachse abgeschnitten sein sollten. Die größeren schweren Rohre von 13 cm aufwärts sollen mit der Hand verlegt werden. Die Leistung mit dem Legehaken übertrifft die der Handverlegung. Zum Rohrlegen sind nur geübte und zuverlässige Arbeiter zu nehmen. Ihre Arbeit im Tagelohn ist empfehlenswert, weil dann im allgemeinen sorgfältiger als im Stücklohn gearbeitet wird, während die Gräben ohne Bedenken gegen Einheitsätze hergestellt werden dürfen. Bei Unterbrechungen der Rohrverlegung ist das jeweils unterste Rohr vorübergehend zu verschließen, namentlich um das Hineinkriechen von Tieren zu verhindern.

Dem Rohrleger liegt es ob, auch die Verbindungen zwischen den Rohrsträngen herzustellen, insbesondere die der Sauger mit den Sammlern. Diese

werden leider auch heute noch häufig durch Verhauen gewöhnlicher Dränrohre bewirkt, obwohl die Beschaffung von Formstücken eine so geringe Mehrausgabe bringt, daß sie gegenüber der besseren Arbeit gar keine Rolle spielt. Bei Verwendung nur gewöhnlicher Dränrohre müssen die Verbindungen durch Einhauen von Löchern mit dem Dränhammer hergestellt werden, wobei sehr viel Bruch und Arbeitsaufwand entsteht. Da die Löcher niemals völlig dicht aufeinander passen, so ist die Verbindung stets mit Rohrscherben oder Steinen zu dichten. Das überstehende Ende des oben liegenden angeschlossenen Stranges wird mit einem glatten Stein geschlossen, der durch Erdhinterfüllung in Verspannung mit der Grabenwand zu bringen ist. Ist das nötige Gefälle nicht vorhanden, so muß man von der Seite her einmünden. Dann ragt jedoch der Sauger leicht innen in den Lichtquerschnitt des Sammlers hinein und stört den Abfluß.

Die Saugeranschlüsse sind die gefährdetsten Stellen der Rohrleitung. Da die Sohlen des Sammlers und der Sauger in der Regel nicht auf gleicher Höhe liegen, kommt es sehr leicht vor, daß die Saugersohle zu tief ausgehoben und dann aus Bequemlichkeit nur mit losem Boden auf die Sollhöhe gebracht wird. Dem Bauleiter muß daher Nachprüfung der Anschlüsse auf ihr festes Lager zur Pflicht gemacht werden. Das Einmündungsrohr darf bei Anschluß durch Verhau nicht gleichzeitig als Paßstück dienen, es ist vielmehr aus einem ganzen Rohr herzustellen. Auch die nächsten beiden Rohre oberhalb des Einmündungsrohres sollen nicht Paßstücke sein. Wenn das Rohrlager nicht völlig einwandfrei ist, sind die letzten zwei Saugerstöße mit Rohrscherben zu unterlegen.

In besonderen Fällen ist noch Folgendes zu beachten: Weiche (quellige) Grabensohlen muß man befestigen. Das geschieht durch Einbringen von Kies, Stroh oder anderen Stoffen; auch kann man die Rohre auf Bretter, Schwarten oder Latten legen. Beim Durchfahren zugeschütteter Gräben treten solche Fälle ein. Ausnahmsweise kann es nötig werden, mit der fortschreitenden Grabenarbeit laufend sofort die Rohre zu verlegen, nämlich dann, wenn häufig Teile der Grabenwänden einstürzen. In solchen Fällen ist jedoch die Gefahr des Versandens oder Verschlammens der Rohre sehr groß. Es bedarf dann einer besonders sorgfältigen Prüfung des Zustandes der Rohrstränge, bevor die Dränggräben zugefüllt werden. In schweren Böden läßt sich die Wirkung der Dränung dadurch erhöhen, daß auf der Grabensohle zunächst eine dünne durchlässige, aber feste Bodenschicht aufgebracht wird. Trifft man bei der Ausführung auf alte Dräne, so ist es am zweckmäßigsten, sie durch Stein- und Kiesfilter an die neuen Dräne anzuschließen, weil sie in der Regel noch entwässernd wirken. Sonst müssen sie aufgenommen werden, da man sie ohne Filteranschluß nicht in unmittelbarer Nähe der neuen Dräne belassen darf. Denn sie können an den Kreuzungstellen infolge ihrer Wasserführung leicht verschlammend oder versandend auf die neue Dränung wirken. Muffenrohre dichtet man mit Teerstrick und Asphalt.

Die verlegten Dräne sollen nicht lange offen liegenbleiben. Würde ein starker Regen auf die noch offenen Gräben niedergehen, so würden die Rohre durch das Wasser leicht verschlammmt oder gar aus ihrer Lage gespült. Andererseits sollen die Dränggräben nicht eher zugeschüttet werden, als die Rohre von der Bauleitung geprüft und als einwandfrei verlegt anerkannt sind. Läßt z. B. ein Graben baldigen Einsturz befürchten, so müssen die gleichmäßige Sohlenlage, der dichte Fugenschluß und die Verbindung der Sauger mit den Sammlern sofort nach dem Verlegen der Rohre nachgeprüft werden, damit man anschließend daran umgehend eine Deckschicht von 20 bis 30 cm aufbringen kann. Diese geringe Bodenschicht gestattet immer noch die Vornahme einer Gefälleprüfung mit Hilfe eines Stecheisens, das man bis zur Rohroberkante durchstößt. Ist der neben den Gräben liegende Boden schwer und zu festen Schollen zusammengeschnitten, so darf er nicht unmittelbar auf die Rohre geworfen werden, weil diese dabei zerbrochen werden könnten. Daher „versticht“ man die

Rohre, d. h. man gewinnt die Deckschicht dadurch, daß man sie von den erdfeuchten Wänden des Drängrabens absticht. Dies Verfahren hat aber noch eine andere Bedeutung. Wenn man den grobschollig getrockneten Boden auf die Dräne wirft, so ergießt sich der nächste Sturzregen durch diese sehr lose und durchlässige Bodenmasse in die Rohre. Dabei werden Bodenteilchen in großer Menge in die Dränrohrleitung gespült. Schwerer Tonboden und sehr feiner Sand sind für die Deckschicht ungeeignet. Für ihre untere Lage kann Mutterboden verwendet werden, wenn er in ausreichender Menge zur Verfügung steht.

Im übrigen sind die Drängräben sobald wie möglich vollständig wieder zuzufüllen, der obere Teil mit Mutterboden. Wegen seiner Auflockerung kann der aus dem Graben gewonnene Boden bei der Zufüllung nicht wieder ganz im Graben untergebracht werden. Man stellt daher über der Grabenbreite eine Anwölbung mit dem überschüssigen Boden her, die mit dem Zusammensacken des Füllbodens allmählich wieder verschwindet.

In schwerdurchlässigen Böden hat man hier und da mit Erfolg ein besonderes Verfahren angewendet, um das Versickern der Niederschläge zu beschleunigen. Es besteht darin, daß man senkrecht über den Dränrohren in etwa 10 bis 20 m Abstand Strauchwerkbündel, Strohrippen oder Sand- und Kiesfilter anbringt.

8. Überwindung besonderer Schwierigkeiten.

Besondere Schwierigkeiten treten bei Dränungen in der Hauptsache dann auf, wenn Triebssand vorkommt, wenn der Boden stark eisenhaltig ist oder wenn eine über das gewöhnliche Maß hinausgehende Verwachsungsgefahr besteht. Diesen Schwierigkeiten muß sowohl bei der Aufstellung der Entwürfe als auch bei der Bauausführung Rechnung getragen werden.

a) **Triebssand.** Triebssand (S. 48) besitzt eine so geringe Korngröße, daß er sehr leicht durch die Stoßfugen in die Dränrohre gelangt und hier Verstopfungen verursacht. Wenn Triebssand im Dränfelde angetroffen wird, versucht man zunächst, die Dräne über dem Triebssand zu verlegen. Die Überdeckung der Sammler und die Tiefe der Sauger sollen jedoch nicht kleiner als 0,75 m sein. Kleine Flächen dürfen ausnahmsweise mit 0,7 m tiefen Saugern entwässert werden.

Nicht immer aber läßt sich das Verlegen der Dräne im Triebssand vermeiden. Man dränt dann die Triebssandgebiete nach Möglichkeit besonders und mit kleinen Dränabteilungen. Die Sauger sollen nicht sehr lang sein und 5 cm Lichtweite erhalten. Ganz besonders wichtig ist ein möglichst starkes Gefälle der Dränstränge (Zahlentafel 82). In flachem Gelände kann man sich damit helfen, daß man kurzen Saugern ein künstliches Gefälle gibt. Die unteren gefällearmen Strecken der Sammler können durch Stichgräben ersetzt werden. Ferner kommen Vorkehrungen für ein Reinigen und Spülen der Dräne in Betracht (Dränschächte, Stauverschlüsse).

Bei der Bauausführung ist zunächst zu berücksichtigen, daß möglichst in trockener Zeit gedränt wird. Einzelne Triebssand führende Flächen werden zweckmäßig erst dann gedränt, wenn durch Verbesserung der Vorflut und durch Dränung der umliegenden Flächen bereits eine Senkung des Grundwasserstandes herbeigeführt ist.

Trifft man bei der Bauausführung auf unvermuteten Triebssand, so wird man versuchen, kleine Vorkommen zu umgehen oder die Dräntiefen des Planes zu verringern, um über dem Triebssand zu bleiben. Auch verzichtet man wohl auf das Verlegen einiger besonders gefährdeter Sauger, indem man zunächst einmal die Wirkung der benachbarten Dränstränge abwartet. Kleine Triebssandnester kann man mit sorgfältig abgedichteten Drän- oder Tonmuffenrohren durchfahren. Im Triebssand sind enge Stoßfugen sowie ein sorgfältiger Anschluß an die Sammler von größter Bedeutung. Für die Anschlüsse

sind daher unbedingt Formstücke zu verwenden. Die Fugen sind zum Schutz gegen das Eindringen des feinen Sandes in der Regel in ihrem ganzen Umfange, also auch unten, mindestens 5 cm stark mit Filterstoffen zu ummanteln. Als solche können verwendet werden: Mutterboden, Schlacke, Fasertorf, Torfmull, Heidekraut, Nadelstreu, Waldmoos, Kaff, Häcksel u. a.

In sehr nassem Triebssand muß man die Drängräben bisweilen nach und nach stufenweise vertiefen, indem man das Wasser nach einem Dränspatenstich zunächst ablaufen läßt, bevor der folgende ausgehoben wird. Auch eine Absteifung des Drängrabens kann erforderlich werden. Ist die Grabensohle sehr weich, so brauchen die Dränrohre eine Unterlage, z. B. eine 10 bis 15 cm starke Kiesschüttung oder Holz (S. 222). Alle Drängräben im Triebssand sind nach dem Verlegen der Rohre schnellstens wieder zuzufüllen.

Manchmal stammt das den Triebssand bildende Wasser aus einer Wasserader, die von oben her in das Dränfeld eintritt, und es gelingt, sie durch einen Fangdrän abzufangen.

b) Eisenocker. Bei stärkerem Eisengehalt des Bodens besteht die Gefahr, daß der Abfluß in den Dränrohren durch Absetzen von Eisenocker erschwert oder schließlich auch ganz verhindert wird (S. 48). Man wendet dann im wesentlichen dieselben Maßnahmen an wie beim Vorkommen von Triebssand. Die eisenhaltigen Flächen sind möglichst für sich mit kleinen Dränabteilungen, kurzen Saugern und mindestens 5 cm weiten Rohren zu entwässern. Besonders wichtig ist auch hier ein starkes Gefälle der Rohrstränge, damit durch große Wassergeschwindigkeiten eine Spülung eintritt (Zahlentafel 82). Eine solche kann auch durch besondere Maßnahmen (Dränschächte, Stauverschlüsse) durchgeführt werden. Die Stoßfugen sind mit Filterstoffen zu umpacken. Eisenhaltige Quellen und eisenhaltiges Druckwasser sind der übrigen Dränung fernzuhalten, indem sie durch besondere Dränstränge dem Vorfluter zugeführt werden. Je glatter die Innenfläche der Rohre ist, um so schwerer haftet der Eisenocker an ihr (S. 190). Die Drängräben sollen nach dem Verlegen der Dränrohre alsbald wieder zugefüllt werden, da die Stoßfugen möglicherweise infolge Luftzutrittes schneller verockern. Wenn vorhanden, bringt man als unterste Schicht eisenfreien Boden auf die Rohre.

Die Frage, durch welche Maßnahmen die Bildung des Eisenockers am besten verhindert oder verringert werden kann, ist noch nicht völlig geklärt. Man hat empfohlen, die Ausmündungen der Sammler unter Mittelwasser anzuordnen oder den Luftzutritt durch besondere Wasserverschlüsse oder Metallklappen zu erschweren, in der Erwartung, daß die so bewirkte geringere Sauerstoffzufuhr die Eisenausscheidung aus dem Grundwasser verlangsamt. Man hat ferner die Befürchtung ausgesprochen, daß die Einführung der Sauger in die Sammler von oben infolge des Wassersturzes eine besonders starke Durchlüftung des Wassers und daher auch eine starke Eisenausscheidung bewirke. Es sei daher bei nennenswertem Eisengehalt des Bodens vorzuziehen, die Sauger seitlich in die Sammler zu führen. Neuerdings ist die Wirkung dieser Maßnahme deshalb in Zweifel gezogen worden, weil offenbar den auf eine Belüftung nicht angewiesenen Eisenbakterien eine wesentliche Mitwirkung bei der Eisenausscheidung zuzuschreiben ist (215). Man hat daher auch vorgeschlagen, bakterientötende Stoffe (z. B. Kupfer) in die Dränstränge zu bringen, um die Eisenbakterien zu vernichten. Eine tiefe Lage der Dränung scheint die Verockerungsgefahr zu verringern.

c) Verwachsungen. Da die Pflanzenwurzeln das Wasser aufsuchen, wachsen sie durch die Stoßfugen in die Dränstränge hinein, falls im Boden Wassermangel eintritt, einzelne Dräne aber noch Wasser führen. Dieser Fall kann in trockenen Zeiten eintreten, wenn eine quellige Stelle noch Wasser liefert. In den Dränrohren bilden sich dann häufig dichte Wurzelöpfel, da offenbar das Wachstum

der Wurzeln unter den veränderten Lebensbedingungen im Dränrohr eine starke Steigerung erfährt.

Allgemein ist die Gefahr des Eindringens von Pflanzenwurzeln in die Dränrohre um so größer, je flacher die Dränung liegt. Keineswegs schützt aber eine tiefe Dränung völlig vor Verwachsungen. Immerhin spricht die Erfahrung dafür, flache Dränung möglichst zu vermeiden, wenn tief wurzelnde Unkräuter in größerem Umfange vorkommen oder tiefwurzelnende Feldfrüchte angebaut werden (S. 58). Wenn im Sinne der vorstehenden Ausführungen die Verwachsungsgefahr als erheblich anzusehen ist, muß man besondere Schutzmaßnahmen treffen.

Ein viel angewendetes Mittel ist das Tränken der Rohrenden mit Karbolineum. Dieses soll mindestens 8% Karbolsäure (Phenole) enthalten. Die Rohrenden sind dem Eindringen des Karbolineums längere Zeit auszusetzen. Man stellt sie etwa 20 min lotrecht in ein Gefäß, das 5 cm hoch mit Karbolineum gefüllt ist. In den ersten Jahren weichen die Pflanzenwurzeln den so behandelten Rohrenden aus, mit der Zeit wird aber die Schutzwirkung geringer. Man kann ferner die Stoßfugen mit pflanzenschädlichen oder nährstofffreien Stoffen umpacken, z. B. mit Boden oder Schlacke, die mit stark karbolsäurehaltigem Karbolineum gut vermischt sind. Man nimmt etwa 12 l Karbolineum auf 1 m³ trockenen Boden. Schlacke wird auch dann von den Wurzeln gemieden, wenn sie nicht in dieser Weise vorbehandelt ist, weil sie kaum Nährstoffe enthält und oft noch schwefelhaltig ist.

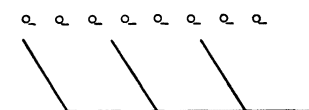


Abb. 153. Dränung neben einer Baumreihe.

Ein weiteres Schutzmittel besteht in der Umhüllung der Fugen mit Muffen aus biegsamen Stoffen. Als solche dienen Dachpappe und geteertes Hanfgewebe (Jute). Man wickelt einen etwa 10 cm breiten Streifen um die Fuge und umschnürt ihn über den beiden Rohrenden mit einer Drahtschlinge. Die Arbeit ist umständlich und kann unten im Drängraben nicht ausgeführt werden. Daher schiebt man mehrere Dränrohre auf ein 3 bis 4 m langes Gasrohr. Dann verbindet man die Fugen in der genannten Weise und senkt die Rohre auf dem Gasrohr gemeinsam in den Graben.

Besondere Maßnahmen wendet man in der Nähe von Bäumen und Sträuchern an, indem man die Sammler an eine Baumreihe höchstens bis auf 20 m heranhält und den verbleibenden 20 m breiten Streifen durch kurze Sauger entwässert (Abb. 153). Diese kann man gegen das Eindringen der Pflanzenwurzeln noch besonders schützen. Bäume, die die Feuchtigkeit lieben, wie z. B. Erlen, Weiden und Pappeln, sind am gefährlichsten. Gegen einzelne Bäume sichert man einen Dränstrang dadurch, daß man die gefährdete Strecke mit gedichteten Rohren auslegt. Umstritten ist noch die Frage, ob das Einwachsen der Wurzeln dadurch gefördert wird, daß die Dräne mit Mutterboden oder leicht verweslichen Stoffen umgeben werden. Besonders erheblich scheint aber die Wirkung des Mutterbodens und solcher Stoffe nicht zu sein.

d) **Verschiedenes.** Solange ein Drän freie Vorflut hat und nicht überlastet ist, pflegt Wasser nur in der einen Richtung, nämlich von außen nach innen, durch die Fugen zu treten. Dabei spannen sich die Bodenkörner gewölbeartig über die Fuge und werden so daran verhindert, durch die Fuge hindurchzudringen. Anders, wenn ein Drän bei mangelnder Vorflut oder bei dem Zusetzen von Stauverschlüssen unter Rückstau steht. Dann ist der Außenwasserdruck aufgehoben, die Spannung zwischen den Bodenkörnern läßt nach und sie gelangen leichter in den Drän. Wenn die untere Strecke des Sammlers ein gutes Gefälle besitzt, ist solch ein Rückstau nicht gefährlich, da die Bodenteilchen dann leicht weitergespült werden. Auch ein Rückstau, der nur gelegentlich einmal bei Hochwasser des Vorfluters eintritt, wirkt nicht allzu schädigend. Wenn dagegen die Dräne in sehr schwachem Gefälle und außerdem noch häufig

unter Rückstau liegen, dann müssen die Stoßfugen durch Umpacken mit Filterstoffen besonders gesichert werden.

Wenn Bodenbewegungen zu erwarten sind (Senkungsgebiete des Bergbaues), ist natürlich eine sichere Lage der Dräne nicht gewährleistet. Man verwendet dann kleine Dränabteilungen, mindestens 5 cm weite Sauger und möglichst starke Gefälle. Insbesondere haben sich Steindräne in solchen Fällen bewährt.

Gelegentlich sind auch Pilzwucherungen in Dränsträngen beobachtet worden, wodurch die Leistungsfähigkeit der Rohre stark vermindert wurde. Ein im Schrifttum (148) erwähnter Fall wurde durch Abwasser von Rübenschnitzeln hervorgerufen.

9. Die Dränung der Marschböden.

Die Dränung der Marschen weist gegenüber derjenigen der anderen Mineralböden mancherlei Abweichungen auf. Die Marschen zeichnen sich durch knappe Vorflut und sehr geringes Geländegefälle aus. Ihre Sielentwässerung ist von Ebbe und Flut abhängig, sie besitzen vielerorts seit altersher ein engmaschiges Grabennetz, insbesondere zahlreiche Beetgräben mit ziemlich stark gewölbten Beeten zwischen je zwei Gräben. Schließlich finden wir in den Marschen die jüngsten Bodenbildungen des Alluviums. Diese Besonderheiten der Marschen beeinflussen auch die Dränbauweise.

In der Sielschlußzeit entsteht bei vielen Dränungen ein (regelmäßig wiederkehrender) Rückstau in die Dräne, den man als unvermeidbar hinnehmen muß. Die schwer durchlässigen Marschböden verlangen eine besondere Rücksicht auf die Ableitung des Oberflächenwassers. Man unterstützt daher häufig die Wirkung der Dränung noch durch Anlage kleiner Gruppen.

Sehr schwierig ist oft die Gewinnung eines ausreichenden Drängefalles. Daher lassen sich die Mindestgefälle der Zahlentafel 82 in den Marschen nicht immer erreichen. Man soll aber keinesfalls noch unter 0,15% heruntergehen. Bei sehr schwachen Gefällen umpackt man die Rohre sorgfältig mit Filterstoffen, um das Eindringen von Bodenteilchen von vornherein möglichst zu verhindern. Wegen der knappen Vorflut sind kleine Dränabteilungen geboten. Man wendet sogar häufig Einzelsauger an, doch empfiehlt es sich, wenigstens einige Sauger durch einen kurzen Sammler zusammenzufassen.

In neu eingedeichten Poldern ist zu beachten, daß der anfänglich hohe Kochsalzgehalt die Durchlässigkeit des Bodens zunächst verringert, bis eine Auslaugung des Salzes stattgefunden hat (S. 21). Man muß daher in solchen Fällen bei der Beurteilung der Dränbedürftigkeit vorsichtig sein.

Die Dräntiefen der Sauger können bis auf 0,7 m verringert werden. In neu eingedeichten Poldern geht man auch schrittweise vor, indem man zunächst auf 0,5 m Tiefe dränt und die Dräne in mehrjährigem Abstand allmählich tiefer legt. Der Grund dieses Verfahrens liegt darin, daß tiefere Dräne unmittelbar nach der Eindeichung nur mangelhaft wirken. Bei der Wahl der Dränabstände ist zu berücksichtigen, ob zahlreiche Gruppen zur Ableitung des Oberflächenwassers vorhanden sind. Dann können in der Regel größere Dränabstände als nach Zahlentafel 85 angewendet werden, weil die Dränung durch die Gruppen entlastet wird. Häufig trifft man in den Marschen auf ziemlich schwer durchlässige tonige Feinsande, für die sich bei 1,2 m Dräntiefe ein Dränabstand von etwa 13 bis 15 m im allgemeinen bewährt hat, obwohl sie nicht zu den schweren Böden der Zahlentafel 85 gehören.

Eine besondere Art der Marschdränung ist die Beetgrabendränung (Meedjeschlooddränung). Sie bezweckt den Ersatz der gleichlaufenden Beetgräben durch Dräne. Da die Gräben etwa 16 bis 24 m voneinander entfernt liegen, ist dadurch auch der Dränabstand gegeben. Man läßt den Beeten auch

nach der Dränung ihre starke Wölbung und versieht die über den Dränsträngen liegenden Beetmulden mit einer gut ausgehobenen Furche, die das sich ansammelnde Oberflächenwasser einem Vorfluter zuführt. Bei der guten Oberflächenentwässerung hat sich ein Dränabstand von 16 bis 24 m auch in schweren Böden als ausreichend erwiesen. Die Dränrohre werden meistens unten in die Böschung der Beetgräben verlegt oder auch unter deren Sohle mit einer mittleren Tiefe von etwa 0,7 bis 1,0 m, bezogen auf die Oberfläche der Beetmulde. Die Lichtweite ist reichlich zu bemessen, einmal, weil die bei dem schwachen Gefälle zu befürchtenden Ablagerungen in den Rohren dann erst nach längerer Zeit gefährlich werden, sodann, weil über den Dränen in den Beetmulden eine verhältnismäßig starke Versickerung stattfindet.

10. Die Maulwurfdränung.

Die Maulwurfdränung ist vor etwa 150 Jahren in England entstanden und neuerdings auch in Holland mit Erfolg angewendet worden, hat aber in Deutschland bisher keine nennenswerte Verbreitung gefunden. Sie wird in der Weise ausgeführt, daß mit dem sog. Maulwurfpflug (Abb. 154) Hohlgänge als Sauger gezogen werden, die in offene Gräben oder in Sammler gewöhnlicher Bauart ausmünden. Alle Maulwurfpflüge (115, 6) besitzen ein in der Höhenlage verstellbares Messer, das bei der Fortbewegung des Pfluges den Boden durchschneidet, somit einen schmalen senkrechten Spalt hinterläßt. Am unteren Ende des Messers befindet sich ein Dorn, durch den der Hohlweg im Boden hergestellt wird. An diesem Dorn ist in der Regel mittels einer kurzen Kette noch ein einem Geschoß ähnlicher Körper befestigt, der als Maulwurf bezeichnet wird. Er hat einen etwas größeren Durchmesser als der Dorn und glättet daher die Wände der vom Dorn bewirkten Hohlgänge. Um während der Pflugarbeit die Tiefensteuerung richtig bedienen zu können, bedarf es noch besonderer Hilfsmittel, z. B. einer Zieleinrichtung oder einer im Felde angebrachten Gefälleschnur, die neben der Pflugbahn gleichlaufend zu dem zu ziehenden Dränstrang liegt. Trotzdem ist es nicht immer leicht, ein durchgehendes, einigermaßen gleichmäßiges Gefälle der Dräne zu erreichen. Schroffe Unebenheiten des Geländes müssen daher durch Einbnungsarbeiten ausgeglichen werden, bevor der Pflug angesetzt werden kann. Als zweckmäßige Zugkraft hat sich die durch einen Schlepper angetriebene Seilwinde erwiesen.

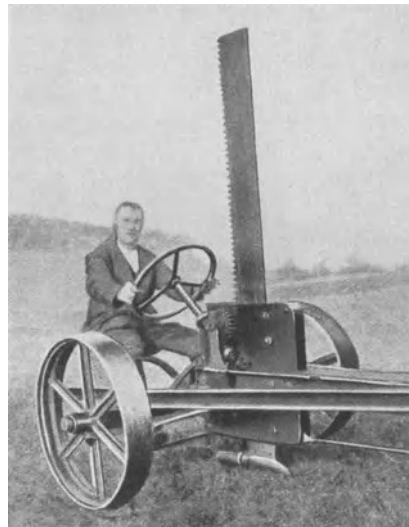


Abb. 154. Maulwurfpflug. (Nach Kuhlewind.)

Vor der Ausführung einer Maulwurfdränung ist zu prüfen, ob nennenswerte Hindernisse wie große Steine oder Holz im Boden vorhanden sind, weil in diesen Fällen die Verwendung des Maulwurfpfluges nicht in Frage kommt. Die Maulwurfdränung gleicht in ihrer Wirkung nicht völlig einer gewöhnlichen Dränung. Es fehlt ihr die auflockernde Wirkung der Drängräben, und sie hat außerdem den Nachteil, daß der Boden in der Nähe der Gänge zusammengepreßt wird. Wieweit diese Umstände den Erfolg beeinflussen, kann nur die Erfahrung zeigen. Ein abschließendes Urteil darüber ist heute noch nicht

möglich. Man kann annehmen, daß in schweren Böden die Wirkung des einzelnen Maulwurfanges wesentlich geringer ist als die eines gleich tiefliegenden, gewöhnlichen Rohrdräns, daß dieser Nachteil aber zum Teil wieder ausgeglichen wird, da die Maulwurfgänge flacher und enger angeordnet werden. Die Maulwurfdränung hat gegenüber der gewöhnlichen Dränung den Vorteil, daß die Oberfläche des Dränfeldes frei von Erdarbeiten bleibt.

Wir unterscheiden zwei verschiedene Arten der Maulwurfdränung, die einfache und die umwandete. Die umwandete Maulwurfdränung besteht darin, daß Dränrohre, Holzkästen, Blechrohre od. dgl. durch den Pflug bei der Herstellung der Hohlgänge in diese hineingezogen werden, während die einfachen Maulwurfdräne (Erddräne) keine künstliche Umwandlung erhalten. Einfache Maulwurfdräne kann man nur in bindigen, stein- und holzfreien Ton- und Lehm Böden mit Aussicht auf eine einigermaßen ausreichende Lebensdauer anlegen. In nicht bindigen sandreichen Böden würden die Gänge bald wieder verfallen. Führt man einen Maulwurfgang durch stark wechselnden Boden, so bleibt er nur auf den Strecken mit schwerem Boden längere Zeit bestehen, während er auf den sandigen Strecken von kurzer Dauer ist. Aber auch dann bleibt noch der Vorteil, daß das Bodenwasser die zwischengelagerten schwer durchlässigen Schichten des Untergrundes mit Hilfe der in ihnen befindlichen Hohlgänge leichter als vorher durchfließen kann.

Da in den einfachen Erddränen leicht Abflußstörungen eintreten, so sind größere Saugerlängen als 100 m und große Dränabteilungen nicht zu empfehlen. Wenn die Sauger unmittelbar in einen Vorfluter geführt werden, sind ihre Ausmündungen auf etwa 1,0 bis 1,5 m Länge durch Rohre oder Holzkästen mit den üblichen Verschlüssen zu sichern. Als Dräntiefe sind etwa 0,5 bis 1,0 m üblich. Bei geringen Dräntiefen von 0,5 bis 0,6 m haben sich Dränabstände von 3 bis 6 m bewährt. Wegen der Schwierigkeit einer völlig fehlerfreien Tiefensteuerung empfiehlt es sich, den Maulwurfdränen ein nicht zu schwaches Gefälle zu geben. Im Bedarfsfalle ist künstliches Gefälle anzuwenden. Kleinere Gefälle als 0,4% sind unerwünscht. Bei sehr starkem Gefälle können die Erdwände durch die große Wassergeschwindigkeit beschädigt werden.

In neuerer Zeit ist mehrfach die Ergänzung gewöhnlicher Dränungen durch einfache Maulwurfdräne empfohlen worden. Man hat die Erddräne dann quer zu den Rohrsaugern und in geringerer Tiefe als diese anzuordnen, indem man sie als seitliche Zubringer zu den Rohrsaugern betrachtet und fortlaufend über mehrere Rohrsauger hinwegzieht. An ihren Kreuzungstellen mit den Rohrsaugern muß eine schnelle Versickerung des Wassers in diese möglich sein. Der Dränabstand der Rohrsauger ist in solchen Fällen wesentlich größer zu wählen als sonst. Bestimmte Maße lassen sich jedoch aus Mangel an Erfahrungen noch nicht angeben.

Flachliegende Erddräne können auch dort am Platze sein, wo die unzureichende Vorflut keine Rohrdränung zuläßt.

Die einfachen Maulwurfdränungen gelingen am besten, wenn der Boden weder zu trocken noch zu feucht ist. Über ihre Lebensdauer liegen für deutsche Verhältnisse noch keine abschließenden Erfahrungen vor. Gefährlich für den Bestand aller Erddräne ist das Vorkommen zahlreicher Maulwürfe oder Wühlmäuse. Die freien Ausmündungen der Erddräne sollten jedes Jahr einer mehrmaligen Prüfung unterzogen werden. Wegen der verhältnismäßig geringen Kosten der Erddräne kann man sie von Zeit zu Zeit durch neue ersetzen, so daß die Maulwurfdränung dann zu einer regelmäßig wiederkehrenden Bodenbearbeitung wird. Kuhlewind (115, 34) gibt als Kosten für 1 lfd. m Erddrän (Sauger ohne Sammler) 4 bis 6 Pfg. an. Die einfache Maulwurfdränung kann nur dann mit der Rohrdränung in Wettbewerb treten, wenn ihre Lebensdauer nicht zu kurz ist. Rechnet man z. B. im großen Durchschnitt mit 5 Pfg. für den

lfd. m Erddrän, mit 40 Pfg. für den lfd. m Rohrsauger und mit einer Lebensdauer der Rohrdränung von nur 40 Jahren, nimmt man ferner an, daß die Rohrdräne mit dem dreifachen Dränabstand der Erddräne verlegt werden und daß dann beide Dränarten die gleiche Wirkung haben, so ergibt die Zinseszinsrechnung bei einem Zinsfuß von 4,5%, daß die Erddräne mindestens 8 Jahre wirken müssen, wenn sie letzten Endes nicht teurer werden sollen als die gewöhnlichen Rohrdräne.

Die umwandete Maulwurfdränung ist auch in sandigen und kieshaltigen Böden anwendbar, da die Hohlgänge unmittelbar nach ihrer Herstellung durch eine Umwandung gesichert werden. Bei der Verwendung von Dränrohren ist ein guter Fugenschluß besonders wichtig. Er wird dadurch erreicht, daß das letzte der auf ein Seil (Eierkette) aufgereihten Rohre alle übrigen vor sich herschiebt. Das Seil ist am Dorn des Maulwurfpfluges befestigt. Die Rohre müssen den Beanspruchungen, denen sie beim Hineinziehen in die Gänge ausgesetzt sind, gewachsen sein. Bei der Verwendung von Blechrohren, wie sie Sack-Leipzig vorgeschlagen hat, ist deren Rostschutz von größter Wichtigkeit. Ausreichende Erfahrungen darüber liegen noch nicht vor. Dräntiefen bis 1,3 m können auch mit Hilfe des Maulwurfpfluges erreicht werden. Für ihre Wahl gelten die Ausführungen auf S. 213. Die Dränabstände nimmt man zweckmäßig etwas kleiner als nach Zahlentafel 85, da der Maulwurfdränung die auflöckernde Wirkung der Drängräben fehlt. Bedenklich ist die Anwendung der umwandeten Maulwurfdränung überall dort, wo man die Dränstränge einer gewöhnlichen Dränung mit Filterstoffen umpacken würde, also z. B. auf schwach geneigten Flächen mit Triebssand oder mit stärkerem Eisengehalt.

Die umwandete Maulwurfdränung ist auf größeren zusammenhängenden Flächen, auf denen sich Maschinenarbeit lohnt, billiger als eine gewöhnliche Rohrdränung. Solange jedoch über ihre Haltbarkeit und Wirkung bei uns in Deutschland noch keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen, wird man sie höchstens dann anwenden, wenn sie auf Grund einer Vergleichsrechnung eine nennenswerte Kostenersparnis gegenüber der gewöhnlichen Dränung erwarten läßt.

11. Unterhaltung.

Da bei der Ausführung meistens Abweichungen vom Plane vorkommen, so sollte nie versäumt werden, nach vollendeter Dränung einen Ausführungsplan zu zeichnen, der in allen Einzelheiten mit der Ausführung übereinstimmen muß. Die Abweichungen sind schon während der Bauausführung genau aufzumessen. Wenn schon dieser Plan unentbehrlich für die Aufstellung der Abrechnung ist, so liegt doch seine Hauptbedeutung darin, daß er eine gute Grundlage für die Unterhaltung der Dränung bietet. Nur mit seiner Hilfe kann man einzelne Stränge sicher wiederfinden, um sie auszubessern, und die Vorflut planmäßig unterhalten.

Für die Überwachung der Vorfluter gelten die Ausführungen auf S. 161. Aber auch die gedränten Flächen selbst sind regelmäßig zu besichtigen, um die Wirkung der Dränung laufend zu prüfen. Man nimmt diese Besichtigungen am besten in jedem Frühjahr vor und möglichst auch nach längeren Regenzeiten. Unzureichend entwässerte Stellen sind dann leicht an der dunkleren Färbung zu erkennen. Auch ist darauf zu achten, ob einzelne Sammler im Vergleich zu den übrigen verhältnismäßig wenig Wasser liefern. Ferner lassen sich aus dem Pflanzenbestand häufig Rückschlüsse auf die Wirkung der Dränung ziehen. Nasse Stellen, die Störungen der Entwässerung vermuten lassen, sind im Gelände sofort zu bezeichnen, wenn die nähere Untersuchung nicht unverzüglich vorgenommen werden kann. Besonders sorgfältig sind alle Drän-ausmündungen und Dränschächte zu überwachen. Vernachlässigungen an diesen Stellen pflegen sich schnell nach oben fortzupflanzen. Zur leichteren

Auffindung setzt man neben die Ausmündungen Nummersteine oder Nummerpfähle und mißt die verdeckten Dränschächte gegen feste Punkte ein.

Die Unterhaltung der Dränung erfordert weniger Arbeit als die offener Gräben, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß sie sorgfältig angelegt wurde. Wenn die Schäden der Dränung (Verstopfungen) erst spät bemerkt werden, ist außer den Kosten für die Ausbesserung häufig noch ein empfindlicher Schaden an den Feldfrüchten zu beklagen. Alle Störungen in der Dränung sind daher baldigst zu beseitigen, ihr Auftreten ist nach Möglichkeit zu verhindern. Die Dränschächte müssen regelmäßig gereinigt werden. Wenn sich Ablagerungen in den Dränen befinden, kann man zunächst versuchen, sie durch Spülen zu beseitigen. Das ist am einfachsten, wenn Stauverschlüsse vorhanden sind, die man zusetzt und nach Ansammlung des Wassers plötzlich zieht, oder wenn sich die Möglichkeit bietet, Oberflächenwasser in die Dräne einzuleiten. Man spült die Dränstränge auch mit einer Handpumpe, deren Druckschlauch einige Rohrlängen in den Strang eingeführt wird. Dazu sind die Stränge von unten herauf etwa alle 50 m aufzugraben. Eine andere Art der Reinigung besteht darin, daß man einen Draht, dessen Ende mit Stoff umwickelt ist, durch die Dräne zieht. Man benutzt dazu vorhandene Dränschächte und gräbt die Dräne in Abständen von etwa 20 bis 40 m auf. Eisenerocker läßt sich auf diese Weise leicht entfernen, solange er noch locker ist. Sind die Rohre stark verstopft, bleibt meistens nichts anderes übrig, als sie vollständig aufzugraben und nach sorgfältiger Reinigung mit einem Schutz aus Filtermasse neu zu verlegen. Die nach einer Reinigung wieder eintretende Verockerung pflegt mit den Jahren geringer zu werden, weil der Boden allmählich ärmer an Eisen wird.

Wenn auf einer gedränten Fläche ein neuer Weg angelegt wird, ersetzt man die Sammlerrohre unter dem Wege durch gedichtete Tonmuffenrohre, sofern nicht das Dichten der Dränrohre genügt. Die Sauger werden vor dem Wege durch einen Nebensammler abgefangen (Abb. 148).

Häufig ist bei den landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Dränung Rücksicht zu nehmen. So kann es unter Umständen ratsam sein, den Anbau tiefwurzelnder Pflanzen in den ersten Jahren nach der Dränung zu unterlassen oder auf besonders flach gedränten Flächen auf tiefwurzelnde Bestände ganz zu verzichten. Die Verwachsungsgefahr ist in den ersten Jahren am größten, weil dann der Füllboden der Drängräben noch sehr locker ist. Bei starkem Eisengehalt des Bodens bringt kräftiges Kalken den Vorteil, daß das Eisen gebunden wird. Besonders wirksam ist in solchen Fällen eine Kalkung der unmittelbar über den Dränen liegenden Deckschicht. Die Wirkung der Dräne wird dadurch unterstützt, daß flachliegende Ortsteinschichten mit dem Untergrundlockerer aufgerissen werden.

C. Die Dränung der Moorböden.

Für die Dränung der Moorböden gelten sinngemäß die Bestimmungen der Abschnitte A und B, soweit nicht im folgenden Abweichungen angegeben sind. Man vergleiche auch die Ausführungen über Moorsackungen (S. 44) und über die Vorflutbeschaffung und Wasserregelung in den Mooren (S. 348).

1. Verschiedenes.

Die Moordränung unterscheidet sich nicht viel von den Dränungen in Mineralböden, wenn der Moorstand so flach ist, daß die Dräne im mineralischen Untergrund sicher verlegt werden können. Ist dagegen ein tieferer Moorstand vorhanden, so müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die unverrückbare Lage der unterirdischen Entwässerungszüge sicherzustellen.

Denn die unterhalb der Dräne liegenden Moorschichten können an dem Sacken beteiligt sein, so daß die Dränstränge noch nach ihrer Verlegung eine allgemeine Sackung erfahren, die jedoch nicht bei allen Rohren genau die gleiche ist. Hochmoore sacken in der Regel stärker als Niederungsmoore.

Die Wasserregelung wird durch Stau in den Vorflutern und durch Stauverschlüsse in den Dränen bewirkt. Stau in den größeren Vorflutern wirken meistens auf weite Entfernungen. Unter Umständen muß aber das Anstauen des Wassers in den größeren Vorflutern vermieden werden, z. B. um die Entwässerung von Wegen nicht zu unterbinden. Dann sind die Stau in Seitengräben anzuordnen oder nach Abb. 155. Bei der weichen und doch schwer durchlassenden Beschaffenheit des Moores kann man durch Eindringen eines Staubrettes *S* den Stau nach Bedarf herstellen. Der Rückstau in die Dräne wirkt hinsichtlich der Verstopfung im Moor nicht so gefährlich wie im Mineralboden, da die faserige Beschaffenheit des Moores das Eintreten von Moorteilen durch die Dränfugen erschwert und da der sehr feine Moorschlamm leicht wieder herausgespült wird. Wegen der Stauverschlüsse, die häufig auch zur Spülung dienen, vgl. S. 196. Man verwendet in der Regel solche aus Holz. Das Einbauen von Stauen oder Stauverschlüssen ist besonders wichtig, wenn das Moor als Grünland genutzt wird und die Jahresniederschlagshöhe gering ist.

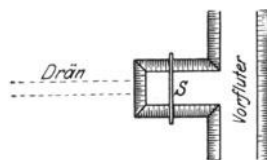


Abb. 155. Stauvorrichtung für Dräne. (Nach Krüger.)

Die Anordnung der Dräne braucht der ursprünglichen Oberflächengestaltung des Moores nicht allzusehr angepaßt zu werden, wenn in tiefgründigen Mooren noch mit erheblichen Sackungen zu rechnen ist. In solchen Fällen, namentlich in Hochmooren, ersetzt man auch die Sammler gern durch offene Gräben, die weniger empfindlich gegen Sackungen sind. In Mooren mit sehr schwachem Gefälle haben Einzelsauger den Vorteil, daß sie weniger Gefälle verbrauchen als Dränabteilungen. Sie erleichtern auch die Regelung des Wasserabflusses. Einzelsauger oder kleine Dränabteilungen sind auch in eisen- oder schwefelhaltigen Mooren angebracht (S. 224), wenngleich sie den Nachteil der zahlreichen Ausmündungen haben. Überhaupt vermeidet man in allen nicht gut vererdeten Mooren große Abteilungen. Sind stärkere Sackungen des Moores durch die Dränentwässerung zu befürchten, so muß man für eine möglichst gleichmäßige Entwässerung der gesamten Dränflächen sorgen. Man zieht dann die oberen Enden benachbarter Saugergruppen dicht aneinander heran. In tief liegenden Niederungsmooren mit durchlässigem Untergrund ist das seitlich eintretende Druckwasser durch Fangdräne abzufangen.

In sehr gefällearmen Mooren beschränkt man die Länge der Sauger im allgemeinen auf etwa 150 m. Neigt das Moor stark zur Bildung von Schwefelalgen oder besitzt es erheblichen Eisengehalt, so sind kleinere Saugertängen zu empfehlen.

Auch in den Mooren herrscht heute die Rohrdränung vor anderen Dränungsarten vor. Dränrohre unter 5 cm Lichtweite sollen im allgemeinen nicht verwendet werden. Für die Berechnung genügt fast immer eine Abflußspende von 0,4 l/s · ha. In sehr weichen Mooren, namentlich bei großer Moortiefe und starker Sackungsgefahr, verbürgen Kastendräne die sicherste Entwässerung. Man kann in solchen Fällen auch Stangen- oder Strauchdräne anwenden, sie haben aber infolge ihrer offenen Bauweise den Nachteil, daß sie auch bei stärkerem Gefälle leicht verschlammten. Voraussetzung für ihre Anwendung ist im allgemeinen, daß das erforderliche Holz in der Nähe der Baustelle besonders preiswert zur Verfügung steht. Die einfachen Maulwurfsdräne werden in nicht stark zersetzten Mooren infolge der federnden Beschaffenheit des Moores oft schon nach kurzer Zeit mehr oder weniger wieder zusammengedrückt.

2. Gefälle, Tiefe und Abstand der Dräne.

Wenn man eine Moordränung entwirft, muß man bei der Wahl des Gefälles die voraussichtliche Sackung des Moores berücksichtigen, da sich sonst unter Umständen die Gefällrichtung sogar umkehren kann (Abb. 156). Wegen der Mindestgefälle vgl. Zahlentafel 82. Man soll aber versuchen, wenn irgend möglich, auch in Moorböden ohne größeren Eisengehalt ein Gefälle der Rohrdräne von mindestens 0,25% zu erreichen. Nötigenfalls ist künstliches Gefälle anzuwenden. Namentlich in eisenreichen Mooren (Niederungsmooren) ist ein möglichst großes Gefälle erwünscht, damit die Verockerung der Rohre erschwert wird. Entbehren solche Moore eines ausreichenden Gefälles, so hat man zu prüfen, ob nicht eine Grabenentwässerung der Dränung vorzuziehen ist. Kasten-dräne kann man mit denselben Gefällen wie Rohrdräne verlegen, während man bei Strauch- und Stangendränen möglichst kein kleineres Gefälle als 0,4% wählen sollte. Der große Querschnitt der Kasten-, Strauch- und Stangendräne verringert die Gefahr ihrer Verstopfung durch Eisenocker oder Schwefelalgen.

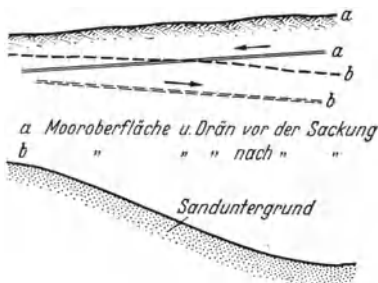


Abb. 156. Änderung des Drängefälles durch Sackung.

Über den günstigsten Grundwasserstand in Moorböden ist auf S. 61 Näheres ausgeführt. Die entwurfmäßige Saugertiefe der Moordrängen hängt davon ab, in welchem Umfange die Moorschicht über den Dränen nach der Dränung voraussichtlich noch sacken wird. Auch ist zu beachten, daß die Durchlässigkeit des Moores mit der Vererdung und diese wieder mit der Entwässerung zunimmt.

Ist die zu erwartende Sackung nur gering, so nimmt man im Hochmoor die entwurfmäßige Saugertiefe zu etwa 1,2 m an, und zwar sowohl für Acker als auch für Grünland. In Niederungsmooren kann man auch flacher dränen, bis zu etwa 1,0 m. Grundsätzlich ist aber in allen Mooren eine nicht zu flache Dränung erwünscht, damit in sehr nasser Zeit und im Frühjahr mit Rücksicht auf die schwere Durchlässigkeit des Moorbodens recht stark entwässert werden kann. Man muß nur Vorsorge treffen, daß in trockenen Zeiten der Abfluß durch Stau oder Stauverschlüsse verzögert wird. Sind stärkere Sackungen der oberen Moorschicht zwischen der Mooroberfläche und den Dränen zu erwarten, weil ausnahmsweise eine ausreichende Vorentwässerung nicht möglich war, so ist die Dräntiefe größer zu wählen, etwa bis zu 1,5 m. Wenn die Dräne bei stark wechselnder Moortiefe streckenweise in den mineralischen Untergrund eingebettet werden, muß bei der Entwurfbearbeitung auf das ungleichmäßige Sacken der Drängabensohle besonders Bedacht genommen werden.

Die Dränabstände der Rohrdrängen sind wesentlich andere als die der Zahlentafel 85. In flachgründigen Mooren, in denen die Sauger im durchlässigen mineralischen Untergrund liegen, pflegt man mit einem Dränabstand von 40 m und mehr zu dränen, im Zweifelfalle lieber etwas weiter als zu eng, damit das Moor nicht zu stark entwässert wird. Nötigenfalls verlegt man später Zwischendräne. Je durchlässiger der Untergrund ist, um so größere Vorsicht ist geboten. Sauger mit großen Dränabständen können in derartigen Mooren auch als Ersatz für offene Gräben dienen.

In tiefgründigen Mooren soll der Dränabstand um so größer sein, je durchlässiger die oberen Moorschichten sind, je weiter also die Zersetzung des Moores bereits vorgeschritten ist. Als Anhalt ist in über 1,5 m tiefen Mooren Nord- und Mitteldeutschlands von folgenden Zahlen auszugehen:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Acker, Hochmoore . . . 15 bis 20 m | 2. Grünland, Hochmoore . . . etwa 20 m |
| Niederungsmoore . 25 bis 30 m | Niederungsmoore . 25 bis 40 m |

Weiden entwässert man etwas enger als Wiesen, damit die Flächen dem Tritt des Weideviehs genügend widerstehen. In den niederschlagreichen bayerischen Mooren der Voralpen muß wesentlich enger, bis zu 10 m, gedrängt werden als in Nord- und Mitteleutschland. Wenn die Verdunstung durch Besandung des Moores verringert wird, kann eine etwas engere Dränung als sonst vorteilhaft sein. Eine solche ist ferner auf Mooren geboten, die infolge eines sehr schwachen Gefälles einen besonders geringen Oberflächenabfluß haben.

3. Bauausführung.

Grundsätzlich soll jede Moordränung erst nach gründlicher Vorentwässerung der zu größeren Sackungen neigenden tiefgründigen oder weichen Moore durchgeführt werden. Eine schrittweise Vorentwässerung verringert auch die spätere Verockerung und die Bildung von Schwefelalgen in eisen- und schwefelreichen Mooren. Je nachhaltiger die Vorentwässerung ist, um so kleinere Sackungen der oberen Moorschichten sind nach der Dränung zu erwarten, um so sicherer liegt daher die ganze Dränung. In gut zersetzten, nicht besonders wasserreichen Niedermooeren kann man meistens von einer längeren Vorentwässerung absehen.

Die Dränrohre müssen gegen ungleichmäßiges Sacken besonders gesichert werden. Man verlegt sie daher entweder in eine Schicht von Heidekraut, Fasertorf, Stroh, Schilf, Rasensoden oder ähnlichen Stoffen oder auch auf Holzunterlagen. Im Hochmoor ist Heidekraut meistens in großen Mengen auf der Baustelle vorhanden. In weichen Mooren und bei der Kreuzung von Wegen sind Holzunterlagen vorzuziehen. Gebräuchlich sind zwei durch Querstückchen zusammengenagelte Latten (Abb. 157). Dabei tritt aber die schon oben (S. 192) erwähnte Gefahr auf, daß die Nägel in sauren Mooren bald zerstört werden. In nicht zu weichen Mooren hat sich folgendes Verfahren bewährt: Nach Anstampfen der Streuschicht werden etwa 10 auf eine Legestange (Gasrohr) geschobene Rohre gleichzeitig verlegt und mit einer weiteren Schicht aus den oben genannten Stoffen überdeckt. Die Legestange ist erst wieder herauszuziehen, wenn der Drängraben etwa bis zur halben Tiefe zugefüllt ist.

Die Streuschicht soll in zusammengepreßtem Zustande die Rohre von allen Seiten etwa 10 cm umhüllen. Vielfach ist es üblich, die Rohre in dieser Weise von unten nach oben zu verlegen. Die dabei in die Dräne gelangenden feinen Schlammteilchen werden erfahrungsgemäß leicht wieder herausgespült. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß man die Legestange auch am unteren Ende des Saugers verwenden kann, wo man sonst, bei der von oben nach unten fortschreitenden Dränung, die Legestange aus dem Drän nicht wieder herausziehen könnte. Das von oben zufließende Wasser wird durch die bereits verlegte Dränstrecke schnell abgeleitet, so daß das Verlegen der Rohre keine Schwierigkeiten bereitet. In wasserreichen Mooren stellt man die endgültige Grabentiefe erst unmittelbar vor dem Legen der Rohre her, da sich sonst sehr viel feiner Moorschlamm auf der Grabensohle ansammeln würde.

Damit der Füllboden des Drängrabens später nicht in den Vorfluter rutscht, empfiehlt es sich, nach Abb. 158 eine Moorwand von etwa 0,5 m Stärke stehen-

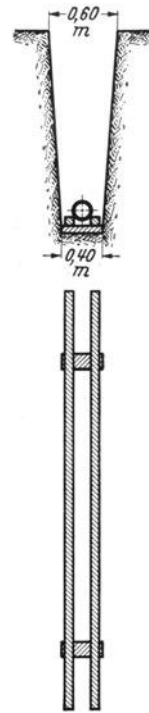


Abb. 157.
Lattenunterlage
für Rohrdräne.
(Nach Brüne.)

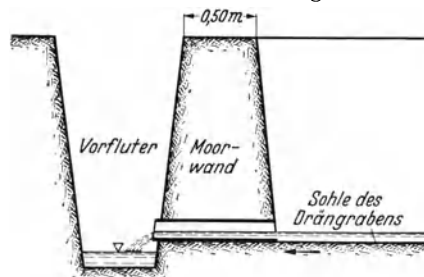


Abb. 158. Moorwand am Vorfluter. (Nach Brüne.)

zulassen. Die Wand wird nach Bedarf mittels einer Stange durchstoßen, um dem Wasser Abfluß zu schaffen. Zum Schluß wird sie mit einem Ausmündungsstück oder mit Dränrohren durchfahren.

Das sofortige Zufüllen der Drängtäben bis zur Mooroberfläche ist wichtig, wenn mit der Bildung von Eisenocker oder Schwefelalgen gerechnet werden muß.

VI. Schöpfwerke.

A. Die Anlage im allgemeinen.

Die Hebung des Wassers durch Schöpfwerke (Pumpwerke) kann dann erforderlich werden, wenn eine natürliche Vorflut nicht vorhanden ist. Die Schöpfwerke schaffen eine „künstliche Vorflut“ oder „künstliche Entwässerung“. Auch dienen sie der Hebung von Bewässerungswasser. An sich hat der Bau eines Entwässerungschöpfwerkes stets den Nachteil, daß die Entwässerung mit den laufenden Betriebskosten des Schöpfwerkes belastet wird. Man muß daher in jedem Einzelfalle prüfen, ob ein Schöpfwerk unbedingt erforderlich ist, weil sich

andern eine ausreichende Vorflut überhaupt nicht erreichen läßt, oder ob die künstliche Entwässerung trotz der laufenden Betriebskosten wirtschaftlicher ist als die natürliche. Derartige Überlegungen können nur auf eingehenden Vergleichsrechnungen fußen.

Eine ausreichende natürliche Vorflut ist bisweilen dadurch zu erreichen, daß man den Hauptentwässerungsgraben des zu entwässernden Gebietes mit schwachem Gefälle i weiter unterhalb in den Vorfluter führt (Abb. 159), der das größere Gefälle J aufweist. Man gewinnt dann auf die Länge L eine Senkung

$h = L(J - i)$. Besonders günstig liegen die Verhältnisse, wenn der Hauptentwässerungsgraben in das Unterwasser eines vorhandenen Staus eingeleitet werden kann. Ergibt die Vergleichsrechnung, daß die Jahreskosten einer natürlichen Entwässerung nicht wesentlich höher als die einer künstlichen sind, so sollte man trotzdem die natürliche Vorflut vorziehen. Denn die Erfahrung zeigt, daß häufig eine falsche Sparsamkeit im Schöpfwerkbetriebe den Erfolg der ganzen Anlage ver-

ringert. Auch werden die Anlagekosten mit der Zeit getilgt, während der Schöpfwerkbetrieb eine dauernde Belastung bleibt.

Besonderer Untersuchungen bedarf die Frage, ob das gesamte dem Schöpfwerk zufließende Wasser gepumpt oder ob ein Teil durch einen Randgraben mit natürlicher Vorflut abgeführt werden soll (Abb. 160). In der Regel fließt dem zu entwässernden Polder P von höher gelegenen Flächen F , dem sog. Fremdgebiet (S. 267), noch Wasser zu, das durch einen Randgraben R abgefangen werden kann, bevor es in den tiefliegenden Polder gelangt. Häufig

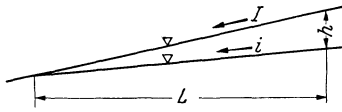


Abb. 159. Vorflutbeschaffung durch schwaches Gefälle.

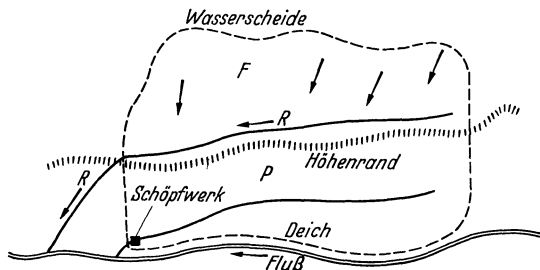


Abb. 160. Schöpfwerk mit Randgraben.

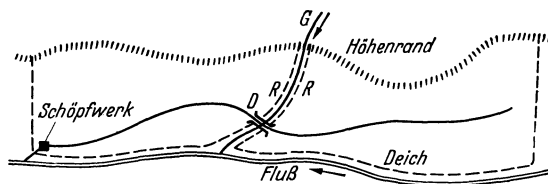


Abb. 161. Fremdwasserableitung mit Rückstaudeichen.

werden die Anlage- und Betriebskosten des Schöpfwerkes infolge der Entlastung durch den Randgraben so verringert, daß der Bau des Randgrabens sich lohnt. In anderen Fällen ist zu prüfen, ob die Einleitung eines Fremdwasser führenden Grabens G (Abb. 161) in den Vorfluter mit Rückstauedeichen R und Düker D wirtschaftlicher ist als das Pumpen des Fremdwassers.

Liegen die tiefsten Flächen f (Abb. 162) in der Mitte des Polders, so kann es lohnend sein, vom Fluß aus einen eingedeichten Stichgraben in den Polder hineinzulegen, anstatt den Hauptentwässerungsgraben durch die höheren Randflächen des Polders hindurchzuführen. Das Schöpfwerk S steht dann am Ende des Stichgrabens, wo auch der Hauptentwässerungsgraben endet. Ein Nachteil dieser Lösung liegt darin, daß auch die Deiche des Stichgrabens Drängewasser liefern.

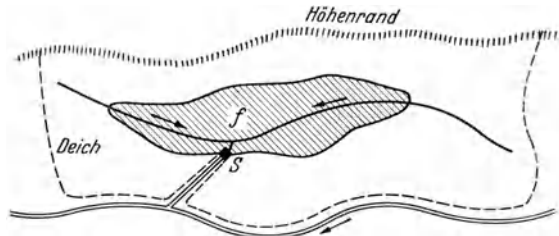


Abb. 162. Schöpfwerk mit Stichgraben.

In langgestreckten großen Poldern ist häufig der Bau mehrerer Schöpfwerke zweckmäßig. Wenn der Polder der Abb. 163 die beiden Schöpfwerke I und II erhält, so wird durch den Betrieb des Schöpfwerkes II der Hauptentwässerungsgraben zwischen I und II entlastet, seine Bau- und Unterhaltungskosten werden somit verringert. Unter Umständen ist auch die Höhenlage des Geländes so, daß das Schöpfwerk II eine kleinere Hubhöhe zu überwinden hat als I , so daß auch hierdurch an Kosten gespart wird. Eine Vergleichsrechnung wird im Einzelfall ergeben, ob die Mehrkosten des Baues zweier Schöpfwerke nebst den höheren Jahreskosten für Bedienung und Unterhaltung durch die genannten Ersparnisse wieder aufgewogen werden. Aber auch wenn das nicht der Fall ist, kann sich trotzdem der Bau mehrerer Schöpfwerke empfehlen. Denn je größer und namentlich

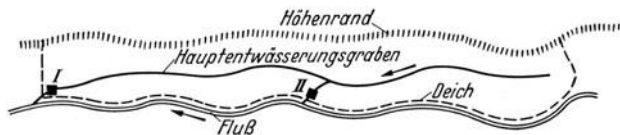


Abb. 163. Mehrere Schöpfwerke.

je langgestreckter das von einem Schöpfwerk zu entwässernde Gebiet ist, um so leichter wirkt sich eine mangelhafte Unterhaltung der Gräben, mit der man zeitweise rechnen muß, dahin aus, daß die weiter vom Schöpfwerk entfernt liegenden Flächen nicht ausreichend entwässert werden. Dann bieten mehrere kleinere Schöpfwerke den Vorteil, daß die künstliche Entwässerung der oberhalb liegenden Flächen unabhängig wird von dem Unterhaltungszustand der unterhalb liegenden Strecke des Hauptentwässerungsgrabens. Je flacher der Polder ist, um so wichtiger ist die Frage, ob man mit einem Schöpfwerk auskommt. In fast waagerechten Poldern hat es sich im allgemeinen als zweckmäßig erwiesen, einem Schöpfwerk nicht mehr als 5 bis 6 km Hauptzubringer zuzuteilen, da sonst das erforderliche Wasserspiegelgefälle, das größer als das Geländegefälle ist, nur mit großen Erdarbeiten und hohen Kosten erreicht werden kann.

Ein weiterer Grund für die Anlage von zwei Schöpfwerken kann der sein, daß der Polder aus zwei Teilflächen von ausgesprochen verschiedener Höhenlage besteht. Wenn ein kleiner Teil des Polders wesentlich tiefer liegt als die übrigen Flächen, müßte zu seiner Entwässerung unter Umständen der Hauptentwässerungsgraben übermäßig tief eingeschnitten werden, wodurch nicht nur hohe Kosten entstehen würden, sondern auch eine streckenweise zu starke Absenkung des Grundwassers bewirkt werden könnte. Man zieht es dann

bisweilen vor, die tiefere Fläche durch ein besonderes Zusatzschöpfwerk in den Hauptentwässerungsgraben zu entwässern, dessen Wasserspiegel und Sohle in diesem Falle nur so tief zu liegen brauchen, wie der größte Teil der Polderflächen es verlangt.

Auf den Hektar bezogen sind die Baukosten großer Schöpfwerke erklärlicherweise geringer als diejenigen kleiner. Bertram führt als Beispiel an (6, 139), daß die Schöpfwerke der Weichselniederung vor 1914 für einen Polder von 60 ha etwa 100 RM, für einen solchen von 1700 ha jedoch nur 30 RM je ha gekostet haben. Hinsichtlich der Betriebskosten besteht kein erheblicher Unterschied zwischen großen und kleinen Pumpen, da der Wirkungsgrad der Maschinen nicht wesentlich von ihrer Größe abhängt. Dagegen erfordern mehrere kleine Schöpfwerke größere Bedienungskosten als ein großes von gleicher Leistung.

Bei der Wahl der Schöpfwerkstelle sind verschiedene Gesichtspunkte zu beachten. Im allgemeinen ordnet man das Schöpfwerk in der Nähe des

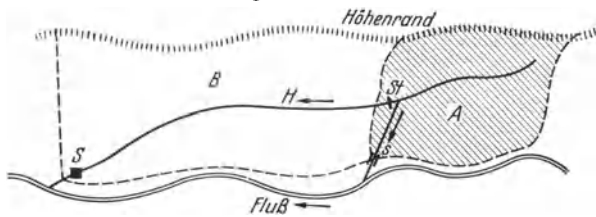


Abb. 164. Schöpfwerk mit Nebensiel.

Deiches an, und zwar dort, wo ein Hauptentwässerungsgraben den Deich kreuzt. Das ist in der Regel die tiefste Stelle des Polders am Deich. Denn das Polderwasser soll durch ein günstig liegendes Grabennetz an das Schöpfwerk herangeführt

werden. Bei niedrigen Außenwasserständen muß der Hauptbinnengraben frei entwässern, so daß an seiner Kreuzungstelle mit dem Deich ein Siel (Auslaßschleuse) erforderlich ist. Nur in Tiefpoldern, die niemals freie Vorflut haben, ist ein Siel unnötig. Das Hauptsiel liegt in der Nähe des Schöpfwerkes und wird mit diesem bisweilen zu einem gemeinsamen Bauwerk vereinigt. Weitere Siele an anderen Stellen haben die Aufgabe, das Polderwasser auf kürzestem Wege dem Vorfluter zuzuführen, solange freie Vorflut vorhanden ist. Liegt z. B. ein Teil A des Polders (Abb. 164) höher zum Wasserspiegel des Vorfluters als die übrigen Flächen B, so muß das Schöpfwerk S bereits in Tätigkeit treten, während das Siel s noch frei entwässern kann. Man sperrt dann den Hauptentwässerungsgraben H durch die Stauschleuse St solange ab, wie bei s freie Vorflut vorhanden ist, und entlastet dadurch vorübergehend das Schöpfwerk.

Besitzt ein alter Deich ein noch brauchbares Siel an geeigneter Stelle, so soll dieses grundsätzlich beibehalten werden. Man vermeidet dadurch das Anschneiden des alten Deichkörpers und die damit verbundenen Gefahren bei Hochwasser (S. 256).

Wertvoll ist die Lage des Schöpfwerkes in der Nähe eines natürlichen Mahlbusens. Wenn nämlich weniger Polderwasser in der Zeiteinheit zufließt als die Pumpe leistet, und wenn im Grabennetz nur wenig Wasser gespeichert werden kann, müßte der Pumpbetrieb in kurzen Zeitabständen dauernd unterbrochen werden, weil der Hauptentwässerungsgraben schnell leer gepumpt würde und sich erst wieder füllen müßte. Der Mahlbusen dient dann als Ausgleichbecken und verringert die Unterbrechungen um so mehr, je größer er ist. Gleichzeitig wirkt er als Schlammfang. Künstliche Mahlbusen erfordern aber meistens so erhebliche Kosten, daß sich ihre Herstellung nicht lohnt. Als natürliche Mahlbusen dienen alte Flußschlenken, Teiche oder Wasserlöcher, die binnendeichs liegen. Bevor man sich entschließt, sie als Mahlbusen zu verwenden, ist zu untersuchen, ob sie viel Drängewasser liefern (S. 268). Denn sie stehen bisweilen durch unterirdische durchlässige Bodenschichten mit dem Flußbett in Verbindung. Man mißt bei höheren Außenwasserständen die

Veränderung ihres Wasserspiegels und nötigenfalls ihren sekundlichen Abfluß, um daraus die Drängewassermenge zu berechnen. Ist diese groß, so ist das Gewässer als Mahlbusen ungeeignet. Es kann dann sogar notwendig werden, derartige in der Nähe des Deiches liegende Schlenken und Wasserlöcher mit Ringdeichen R (Deichschlössern) zu umgeben, innerhalb derer der Wasserspiegel bei höheren Außenwasserständen ansteigt (Abb. 165). Dadurch wird der Überdruck des Außenwassers von der Höhe H auf h und somit auch die Menge des Drängewassers verringert. Die Ringdeiche R sind besonders sorgfältig herzustellen, damit sie nicht ihrerseits viel Drängewasser durchlassen.

Wenn der Hauptentwässerungsgraben in der Nähe des Deiches den unter einer Schlickschicht liegenden feinsandigen Untergrund anschneiden würde, ist es zu vermeiden, den Graben dicht an den Deich heranzuführen, damit der feine Sand nicht in Bewegung gerät und dadurch der Deich gefährdet wird (S. 256).

Die Lage des Schöpfwerkes hängt auch vom Baugrund ab. Gerade an den tiefsten Stellen der Flußniederungen ist er häufig wenig günstig. Im Zweifelfalle sind Bohrungen erforderlich. Das Schöpfwerk muß durch einen Weg zugänglich sein, um Ersatzteile, gegebenenfalls auch Betriebsstoffe heranschaffen zu können.

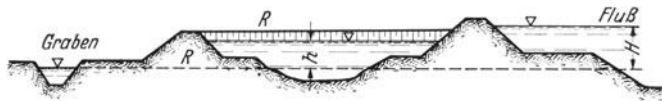


Abb. 165. Deichschloß.

In Sommerpoldern muß das Schöpfwerk auch bei überschwemmtem Polder erreichbar sein. Nötigenfalls ist in solchen Fällen der Deich selbst als Fahrweg zu benutzen und darauf einzurichten.

Auch die Bedienung des Schöpfwerkes ist im voraus zu klären. Es ist immer günstig, wenn der Schöpfwerkwärter in der Nähe wohnt. Von einem besonderen Dienstgehöft sieht man in der Regel ab, zum mindesten in den zahlreichen Fällen, in denen die Wartung im Nebenberuf ausgeübt wird. Der Wärter wohnt dann in einem nahen Dorf. Seine Bemühung um einen geregelten Schöpfwerkbetrieb pflegt größer zu sein, wenn er selbst entwässerungsbedürftiges Land in der Nähe des Schöpfwerkes bewirtschaftet.

Soll ein Schöpfwerk elektrisch betrieben werden, so ist es von Bedeutung, ob in der Nähe schon eine Stromleitung liegt. Man hat unter Umständen die Wahl, den elektrischen Strom entweder mit der für die Stromkraftmaschine erforderlichen Betriebsspannung an das Schöpfwerk heranzuführen oder mit einer höheren Spannung und ihn dann beim Schöpfwerk auf die Betriebsspannung umzuspannen. Da die Stromverluste mit der Länge der Leitung zunehmen und um so größer sind, je geringer die Spannung ist, so ist zu prüfen, welches der beiden Verfahren im Einzelfall wirtschaftlicher ist (S. 274).

Sofern es möglich ist, ordnet man das Schöpfwerk nahe am Flusse an, damit der Außengraben zwischen Deich und Fluß recht kurz wird. Denn dieser ist unter der Einwirkung der Flußhochwasser der Versandung und sonstigen Beschädigungen stark ausgesetzt. Er soll möglichst an einer hohlen Krümmung des Flusses münden, weil hier die Gefahr der Versandung seiner Mündung am geringsten ist. Die Auslaßschleusen sind nötigenfalls als Kahn-schleusen einzurichten, damit auf größeren Binnenvorflutern der Kahnverkehr, z. B. für die Fischer, nicht unterbunden wird.

Für das Grabennetz des Polders gelten die im Teil III angegebenen Vorschriften. Daneben müssen aber manche Besonderheiten beachtet werden. So gibt man dem Hauptentwässerungsgraben in der Nähe des Schöpfwerkes besonders flache Böschungen, 1 : 2 bis 1 : 3, wenn hier eine sehr starke Wassergeschwindigkeit zu erwarten ist, oder wenn der Wasserspiegel des Grabens

mangels ausreichenden Speicherraumes häufig steigt und fällt. Denn das ist für die Grabenböschungen recht ungünstig. Die Sohle des Hauptentwässerungsgrabens soll am Schöpfwerk so tief angeordnet werden, daß man zur Erleichterung der Grabenräumung instande ist, das Binnenwasser weitgehend abzusenken (Übertiefe etwa 0,50 bis 0,75 m).

In Tiefpoldern kann sich die Frage ergeben, ob man durch Vergrößerung der Grabenquerschnitte die Absenkung des Binnenwassers am Schöpfwerk geringer halten und so durch Verminderung der Hubhöhe an Pumpkosten sparen kann. Die Ersparnis an Betriebskosten muß dann größer sein als die Zunahme des Zins- und Tilgungsdienstes infolge der größeren Grabenkosten. Im allgemeinen ist jedoch eine Vergrößerung der Grabenquerschnitte, die meistens auch noch vermehrte Unterhaltungskosten mit sich bringt, nicht lohnend. Im Zweifelsfalle können nur vergleichende Kostenberechnungen Aufschluß geben.

Auch im Außengraben soll das gepumpte Wasser in der Nähe des Schöpfwerkes einen ungehinderten Abfluß finden. Gerade die Außengräben werden häufig vernachlässigt, weil ihrem Zustand keine Bedeutung beigemessen wird. Fehlt aber der geregelte Abfluß im Außengraben, so treten Wirbel- und Kolkbildungen ein, die nicht nur die baulichen Anlagen gefährden können, sondern auch eine unnötige Mehrbelastung der Kraftmaschine bedingen.

In denjenigen Fällen, in denen vor Beginn des Wachstums im Frühjahr eine verstärkte Schöpfwerkstätigkeit erforderlich ist (S. 267), müssen auch die Gräben instande sein, die größere sekundliche Wassermenge an das Schöpfwerk heranzuführen. Dann sind also unter Umständen größere Grabenquerschnitte erforderlich als bei natürlicher Vorflut und sonst gleichen Verhältnissen. Reichliche Grabenquerschnitte (obere Breiten) vermehren auch den Speicherraum der Gräben oberhalb des mittleren Wasserstandes (S. 266).

In Poldern, deren Teilflächen verschieden hoch über dem mittleren Grundwasserspiegel liegen, kann man eine zu starke Absenkung des Grundwassers auf höheren Flächen infolge des Pumpbetriebes dadurch verhindern, daß man an geeigneten Stellen Stauschützen in die größeren Nebengräben einbaut. Der Hauptentwässerungsgraben, der zum Schöpfwerk führt, soll frei von Stauen bleiben. In ihm muß stets Vorflut vorhanden sein, so daß der Grabenwasserspiegel in jeder durch eine Stauschleuse abgeschlossenen Haltung nach Bedarf gesenkt oder gehoben werden kann, ohne daß dadurch die übrigen Haltungen in Mitleidenschaft gezogen werden. Auch bei verschiedenen Nutzungsarten (Acker und Grünland) kann das Verfahren der Stauhaltungen angewendet werden, wenn die Nutzungsarten in ausreichendem Umfange zusammenliegen. In sehr großen Poldern kommt auch eine Unterteilung der Schöpfarbeit in der Weise zur Anwendung, daß das Hauptschöpfwerk die ständige Vorflut im Hauptentwässerungsgraben sicherstellt und kleineren Polderschöpfwerken die Aufgabe zufällt, den Wasserstand in den einzelnen Polderabschnitten (Haltungen) zu regeln. Durch eine Querverbindung zwischen zwei Haltungen kann bisweilen erreicht werden, daß bei Störungen ein Schöpfwerk für das andere eintritt.

B. Die Schöpfwerkmaschinen.

1. Kraftmaschinen.

Die für Schöpfwerke am häufigsten verwendeten Kraftmaschinen sind die Stromkraftmaschinen (Elektromotoren) und Verbrennungskraftmaschinen. Wesentlich seltener werden Dampf- und Windkraftmaschinen verwendet. Schöpfräder (S. 252) vereinigen in sich die Kraft- und Hebemaschine. Dasselbe ist der Fall beim Stoßheber, Gefälleumformer, Triebrohrkreisel und Kolbenheber (S. 249 ff.).

Als Stromkraftmaschinen werden fast ausschließlich Drehstromkraftmaschinen benutzt. Sie arbeiten mit einer Spannung von 380 bis 500 V. Das

einer Drehstromkraftmaschine aus der Leitung zufließende elektrische Arbeitsvermögen je s beträgt

$$L = E \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}. \quad (125)$$

L = Leistung in Watt (W) = Wirkleistung.
 E = Elektrische Kraft in Volt (V).
 J = Stromstärke in Ampere (A).

Das in t Sekunden zugeführte Arbeitsvermögen des elektrischen Stromes ($L \cdot t$) wird durch die Wattstundenzähler unmittelbar gemessen. Der Wert $\cos \varphi$ heißt Leistungswert (Leistungsfaktor) und drückt die in der Maschine jeweils vorhandene und veränderliche zeitliche Verschiebung (Phasenverschiebung) zwischen E und J aus. Der $\cos \varphi$ einer ungleichzeitigen (asynchronen) Drehstromkraftmaschine hängt außer von der Bauart der Maschine nur von ihrer Belastung ab (S. 273). Auch jedes Leitungsnetz hat einen $\cos \varphi$, der im wesentlichen gleich dem Summenwert (Resultante) der $\cos \varphi$ -Werte der jeweiligen Stromverbraucher ist. Ein kleiner $\cos \varphi$ im Leitungsnetz verursacht also Stromverluste im Netz, die dem Kraftwerk zur Last fallen. Während nun $\cos \varphi$ im Netz beim ausschließlichen Betrieb von Glühlampen nahezu 1 ist, sinkt sein Wert mehr oder weniger durch die Einschaltung von Stromkraftmaschinen. Dieser Umstand kann zur Folge haben, daß bei einem Schöpfwerk ein erhöhter Kilowattstundenpreis gefordert wird, zumal es häufig nur mit einer geringen Teilbelastung läuft, wodurch der $\cos \varphi$ der Kraftmaschine und dadurch auch des Netzes noch weiter sinkt. Unter dem Wirkungsgrad η einer Drehstromkraftmaschine versteht man das Verhältnis der von der Maschine abgegebenen Leistung zum Werte L der Gl. (125) (S. 244). Es ist:

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 367 \text{ mt} \cdot 1 \text{ PSh} = 270 \text{ mt} \\ 1 \text{ kW} &= 102 \text{ mkg/s} \cdot 1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/s} \end{aligned} \right\} \quad (126)$$

Beispiel: $E = 500 \text{ V}$. $J = 40 \text{ A}$. $\cos \varphi = 0,85$. Von der Kraftmaschine abgegebene Leistung = 35 PS. $L = 500 \cdot 40 \cdot 0,85 \cdot 1,732 = 29444 \text{ W} = 29,444 \cdot 102 = 3003 \text{ mkg/s}$. $\eta = \frac{35 \cdot 75}{3003} = 0,87$.

Steht nur hochgespannter Strom zur Verfügung, so ist die Umspannung durch einen Umspanner (Transformator) nötig, wodurch eine Erhöhung der Baukosten eintritt. Der Stromverlust in den Umspannern ist nur gering (S. 274). Lange Zuleitungen des Stromes verteuern jedoch die ganze Anlage beträchtlich.

Die Stromkraftmaschinen werden mit liegender und stehender Welle gebaut. Obwohl letztere teurer sind als erstere, verwendet man sie gerne für Pumpen mit stehender Welle (S. 252). Die Umlaufzahl (Drehzahl) einer Drehstromkraftmaschine (Zahl der Umdrehungen je min) läßt sich nicht ohne weiteres verändern. Die Umlaufzahlen der marktgängigen Drehstromkraftmaschinen liegen in ziemlich weiten Stufen fest (250, 300, 375, 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000). Nun ist aber eine Veränderung der Umlaufzahl im Schöpfwerkbetrieb von großer betrieblicher Bedeutung (S. 265). Bei elektrischem Antrieb kommen heute folgende Verfahren der Drehzahlregelung zur Ausführung:

1. Polumschaltbare Drehstromkraftmaschinen. Sie werden für zwei, drei oder vier verschiedene Drehzahlen n gebaut, z. B. für $n = 500/1000$, $n = 750/1000/1500$, $n = 500/600/750/1000$, aber auch für andere Zusammenstellungen. Es sind dieselben Stufen wie oben. Die Höchstleistung der Maschine tritt bei der größten der gewählten Drehzahlen ein. Die polumschaltbaren Kraftmaschinen sind teurer und empfindlicher als die gewöhnlichen. Besonders nachteilig ist der Umstand, daß Wirkungsgrad und Leistungswert bei den kleineren Drehzahlen erheblich abfallen.

2. Drehstrom-Reihenschluß-Wendermaschinen (Stromwender = Kommutator = Kollektor). Bei ihnen wird die Drehzahl stufenlos durch Verschieben der Bürsten geregelt. Liegt der Regelbereich etwa in den Grenzen 1:1,5, so bleiben Wirkungsgrad und Leistungswert in erträglichen Grenzen. Möglich ist ein Regelbereich von 1:2,5. Die Anschaffungskosten sind recht beträchtliche. Der Schöpfwerkwärter muß eine gewisse Schulung besitzen, da diese Maschinen nicht so unempfindlich sind wie gewöhnliche ungleichzeitige Drehstromkraftmaschinen.

3. Drehstrom-Regelsatz. Auch dieser ermöglicht eine stufenlose Regelung. Wirkungsgrad und Leistungswert bleiben im gesamten Regelbereich gut. Im Gegensatz zu Ziffer 1 wird der Stromverlust im Läuferstromkreis wieder zurückgewonnen. Die Anordnung ist fachlich am vollkommensten, aber so teuer, daß sie für Schöpfwerke meistens nicht gewählt werden kann.

4. Zwei Kraftmaschinen für eine Pumpe. Jede Kraftmaschine treibt ein Ritzel an. Die beiden Ritzel liegen rechts und links von einem Zahnrad und haben verschiedene Durchmesser und Zahnzahlen. Das Zahnrad sitzt auf der Pumpenwelle. Eine Kraftmaschine läuft stets leer mit, die Leerlaufverluste sind gering. Man verwendet gewöhnliche Drehstromkraftmaschinen, so daß Wirkungsgrad und Leistungswert gut sind.

5. Umschaltbare Stufengetriebe. Sie werden als umschaltbare Zahnradvorgelege mit zwei oder drei Schaltstufen gebaut. Durch Einschalten einer anderen Übersetzung läßt sich also die Drehzahl der Pumpe verändern, während die Kraftmaschine mit unveränderter Drehzahl weiterläuft. Die Getriebe sind nicht teuer und haben sich allgemein bewährt. Sie haben zwar im Schöpfwerkbau bisher kaum Verwendung gefunden, dürften aber auch hier gut verwendbar sein.

Man kann auch zwei der vorstehenden Regelungsverfahren miteinander verbinden, z. B. polumschaltbare Maschinen mit umschaltbaren Stufengetrieben, wodurch man eine noch weitere Abstufung der Drehzahlen erreicht (vgl. ferner S. 243).

Die Drehzahl darf nicht in die Nähe der gefährlichen (kritischen) Drehzahl rücken. Das gilt für Kraftmaschinen und Pumpen. Jede Maschinenwelle gerät bei einer bestimmten Drehzahl, der gefährlichen, in mitklingende Schwingungen. Sie fängt dann an zu schleudern. Unter Mitklingen (Resonanz) versteht man den Zustand, daß die erregende Kraft und der schwingende Körper die gleiche Schwingzahl (Frequenz) haben, so daß jeder Kraftstoß die Schwingung verstärkt.

Zum Antrieb langsam laufender Pumpen kann man auch langsam laufende Stromkraftmaschinen verwenden, um ein Übersetzungsgetriebe zu vermeiden. Diese sind aber erheblich teurer als gewöhnliche, da sie sehr groß ausfallen und keine marktgängige Ware sind. Es gibt ferner sog. Hochspannungskraftmaschinen, die z. B. Strom von 3000 V unmittelbar verwenden und daher keinen Umspanner, statt dessen eine Überspannungs-Schutzanlage brauchen. Sie bringen aber keine nennenswerte Ersparnis.

Die gewöhnlichen Stromkraftmaschinen sind billig in der Anschaffung, sie lassen sich namentlich leicht bedienen, was für den Betrieb sehr wichtig ist, und beanspruchen wenig Raum. Der Unterbau braucht nur klein zu sein. Ihre Betriebsicherheit kann als ausreichend bezeichnet werden. Störungen in der Leitung lassen sich meistens schnell beseitigen.

Die wichtigste Verbrennungskraftmaschine für Schöpfwerke ist die verdichterlose (kompressorlose) Dieselmachine. Sie wird mit den verschiedensten Schwerölen betrieben. Die Umlaufzahl der Dieselmachine kann man auf ungefähr 70% der größten dadurch verringern, daß man die Brennstoffzufuhr drosselt. Doch wird ihr Wirkungsgrad dann schlechter, indem sie je PSh mehr Brennstoff verbraucht als bei der Höchstleistung (S. 274). Eine nachträgliche Steigerung

der Umlaufzahl und damit der Leistung ist bei Dieselmotoren ebensowenig wie bei Stromkraftmaschinen möglich. Anwendbar sind auch die umschaltbaren Stufengetriebe.

Bei Dieselmotoren ist besonders darauf zu achten, daß die von den bewegten Massen ausgeübten Kräfte gut ausgeglichen sind, da sonst die Unterbauten sehr ungünstig beansprucht werden. Größere liegende Maschinen mit zwei oder drei Druckröhren (Zylindern) sind in dieser Hinsicht besonders ungünstig. Zweckmäßiger ist die stehende Anordnung mit sechs Druckröhren. Unter dem Ungleichförmigkeitsgrad einer Maschine versteht man den Ausdruck $\frac{2 \cdot \Delta v}{v}$, wenn die schwankende Umlaufgeschwindigkeit der Welle $v \pm \Delta v$ in m/s beträgt. Alle Dieselmotoren verlangen wesentlich stärkere und größere Unterbauten als gleich starke Drehstromkraftmaschinen. Auch ihr Raumbedarf ist ein größerer.

Außer den Dieselmotoren werden für kleine Anlagen auch Glühkopfmotoren gebraucht, die gleichfalls mit Schweröl angetrieben werden. Die mit Benzin, Benzol oder Erdöl betriebenen Leichtölmotoren kommen nur für sehr kleine Schöpfwerkeanlagen in Frage.

Alle Verbrennungskraftmaschinen bedürfen der Kühlung. Man rechnet im Durchschnitt etwa 30 l Kühlwasser je PSh. Das Kühlwasser muß möglichst frei von schädlichen Beimengungen sein, damit die Kühlmäntel nicht angegriffen werden. Unreines Kühlwasser kann zu Absetzungen in den Kühlmänteln führen und so die Kühlwirkung verschlechtern. Nötigenfalls ist daher reines Wasser im Kreislauf mit Rückkühlung zu verwenden. Größere Verbrennungskraftmaschinen läßt man mit Druckluft anlaufen.

Dampfmaschinen, auch fahrbare, werden im Schöpfwerkbetriebe nur noch selten verwendet (S. 264). Ihre Vorteile bestehen darin, daß man ihre Umlaufzahl durch Veränderung des Füllungsgrades leicht regeln, auch vergrößern kann, ohne daß ihr Wirkungsgrad merklich schlechter wird. Überlastungen sind unschädlich, Störungen sehr selten, die Wartung ist einfach, wenn auch nicht in gleichem Maße wie bei der Drehstromkraftmaschine, und die verschiedensten Brennstoffe können verwendet werden. Alle diese Vorteile sind aber in der Regel nicht imstande, die Nachteile auszugleichen: hohe Anschaffungskosten, großer Raumbedarf, erhebliche Kosten für die Anfuhr der Betriebsstoffe und für die ständige Wartung, Notwendigkeit der Kesselreinigung. Unbequem ist auch das häufige Anheizen, das Zeit und Kohlen kostet. Der Dampfbetrieb ist daher ungeeignet, wenn der Schöpfwerkbetrieb häufig unterbrochen werden muß. Die Unterhaltung der Dampfmaschine und der Kesselanlage ist teurer als die der Stromkraftmaschine.

Windkraftmaschinen finden zum Antrieb von Schöpfwerken namentlich dort Verwendung, wo nicht zu schwache Winde häufig sind, z. B. im Küstengebiet der Nord- und Ostsee. Ihr Vorzug liegt in der Ausnutzung der kostenlos zur Verfügung stehenden Windkraft. Nachteilig ist jedoch der Umstand, daß das Schöpfwerk still steht, wenn der Wind zu schwach ist. Je mehr es gelingt, auch schwache Winde auszunutzen, um so günstiger wird die Ausnutzung der Windkraft für Schöpfwerke. Neuerdings hat Stade (Stettin) Windschöpfwerke gebaut, die bei schwachem Winde eine kleinere und bei starkem eine größere Pumpe treiben, wobei die Ein- und Ausschaltung der beiden Pumpen selbsttätig erfolgt. Die Windkraftmaschine läuft zunächst bei kleinem Wind unbelastet an. Wichtige Verbesserungen sind von Bilau eingeführt (s. unten).

Da die Umlaufzahl der Windkraftmaschinen mit der Stärke des Windes wächst, so ändert sich auch die Umlaufzahl der Wasserhebemaschine ständig. Schleuderpumpen laufen daher zeitweise mit schlechtem Wirkungsgrad (S. 245), was jedoch in Kauf genommen werden kann, da die Antriebskraft nichts kostet. Die Windkraftmaschinen arbeiten vielfach auf Wasserschnellen, deren Wirkungsgrad von der Drehzahl fast unabhängig ist (S. 248).

Die Windräder (Windturbinen, Windmotoren) werden aus Stahl hergestellt und sitzen auf der Spitze eines Eisen- oder Stahlturmes (Abb. 166). Sie drehen sich selbsttätig vermittels einer Steuerfahne in den Wind. Eine Selbstregelung sorgt dafür, daß sich das Windrad bei stärkeren Winden schräg zur Windrichtung einstellt. Der Wind wirkt dann nicht mehr mit voller Kraft und die Drehzahl des Rades bleibt in zulässigen Grenzen. Der Turm soll so hoch sein, daß die Unterkante des Windrades alle Windhindernisse wie Bäume, Häuser, Berge usw., die im Umkreis von etwa 400 m liegen, um 3 bis 4 m überragt. Das Windrad besteht aus etwa 6 bis 30 strahlenförmig angeordneten Flügeln und wird mit einem Durchmesser bis zu 15 m hergestellt. Ausnutzbar sind die Windgeschwindigkeiten von 3 oder 4 bis 8 m/s. Im Küstengebiet muß die erforderliche Leistung des Windrades bei einer Windgeschwindigkeit von höchstens 5 bis 6, im Binnenlande von höchstens 4 bis 5 m/s erreicht werden, wenn kein Kraftersatz vorhanden ist.

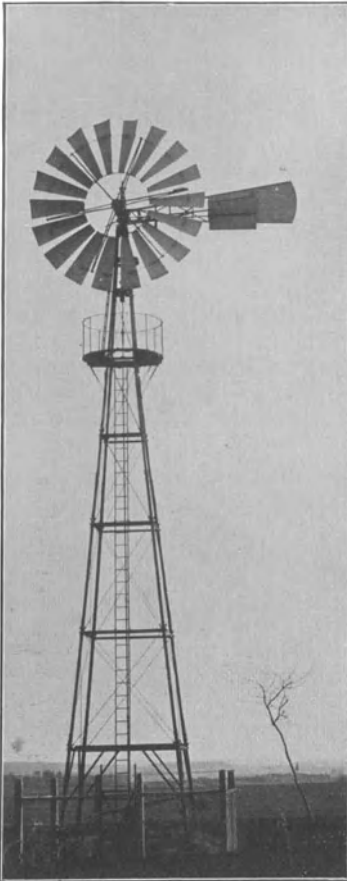


Abb. 166. Windrad von Herzog.

Die bekannten vierflügeligen Windmühlen werden für Schöpfwerke zur Zeit nicht mehr gebaut. Neuerdings hat Bilau (10) den Wirkungsgrad der Windmühlen dadurch erheblich vergrößert, daß er die zuerst den Wind durchschneidenden Kanten der Flügel stromlinienförmig ummantelt (Windkanten, Ventikanten). Diese Ummantelung wird an vorhandenen Flügeln nachträglich angebracht. Bei Neubauten verwendet Bilau den „Ventimotor“, eine Windmühle mit drei oder vier völlig stromlinigen Flügeln.

Die Unterhaltung der Windräder und Türme verlangt von Zeit zu Zeit einen Schutzanstrich gegen die Rostgefahr. Der Verschleiß der beweglichen Teile ist ziemlich stark. Die Bedienung ist einfach, doch bereitet das Schmieren der Lager an der Spitze des Turmes einige Schwierigkeiten.

Die Wirkung des Windes auf eine Windkraftmaschine ist rechnerisch noch nicht völlig geklärt. Ihr Wirkungsgrad η oder zum mindesten der einer bestimmten Bauart sollte daher grundsätzlich im Windrohr einer Versuchsanstalt festgestellt werden. Dabei ist $\eta = N : N_0$, wenn N die auf die waagerechte Welle der Windkraftmaschine übertragene Leistung, N_0 die Leistung des Windes vor der Maschine ist. Da alle Windkraftmaschinen (Mühlen, Windräder) eine Kreisfläche F (Durchmesser d in m) durchlaufen, so ist man übereingekommen, als N_0 das Arbeitsvermögen derjenigen Luftmasse anzusehen, die sich mit der Windgeschwindigkeit v (m/s) auf die Kreisfläche F zubewegt. Es ist daher $N_0 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ in mkg/s. Darin ist m die sekundlich zuströmende Luftmasse:

$$m = \frac{\text{Gewicht der Luftmasse}}{g} = \frac{F \cdot v \cdot \gamma}{g}$$

$$\gamma = \text{Stoffgewicht der Luft bei } 15^\circ = 1,22 \text{ kg/m}^3, \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

$$N_0 \text{ (in PS)} = \frac{d^2 \cdot v^3}{1536} \quad (127)$$

Der Wirkungsgrad ist am größten bei einem bestimmten Verhältnis $u : v$, wenn u die Umfangsgeschwindigkeit der Windkraftmaschine ist. Dieser größte Wirkungsgrad beträgt etwa

bei den holländischen Windmühlen	20 %,
bei den Windrädern (Abb. 166)	20 bis 30 %,
bei Windmühlen mit Windkanten	50 bis 60 %,
bei „Ventimotoren“	60 % und mehr.

Im Betriebe ist $u : v$ veränderlich und daher auch η .

Über die neue Kohlenstaubmaschine fehlt es zur Zeit noch an Erfahrungen.

2. Wasserhebemaschinen.

Die wichtigste Wasserhebemaschine für Schöpfwerke ist die Schleuderpumpe. Wesentlich seltener werden die übrigen Maschinen verwendet (S. 248f.).

Alle im Schöpfwerkbau verwendeten Schleuderpumpen sind Niederdruckpumpen. Nach der Bauart des Laufrades unterscheidet man Zellenräder, Schraubenräder und Flügelräder (Propellerräder, Schraubenschaufler). Die 6 bis 12 Schaufeln des Zellenrades a liegen zwischen einem inneren und äußeren Radkranz (Abb. 167), während diejenigen des Schraubenrades b (4 bis 8) an einer inneren Nabe befestigt sind. Die 3 oder 4 Flügel der Flügelräder c sitzen einzeln

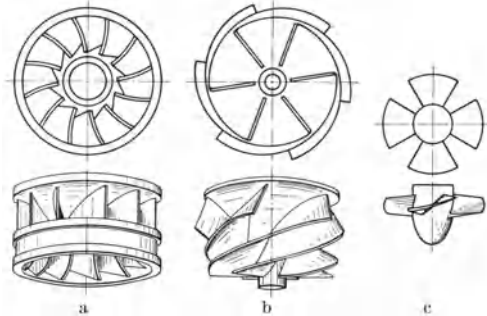


Abb. 167. Bauarten des Laufrades (Schöpfwerkausschuß).

an der Nabe und sind entweder fest oder drehbar angeordnet. Die Veränderung der Flügelstellung hat zur Folge, daß die Pumpe bei gleichbleibender Hubhöhe und Drehzahl eine andere sekundliche Wassermenge fördert. Je nach der Ausführung läßt sich die Flügelstellung entweder während des Betriebes oder nur bei stillstehender Pumpe ändern. Im zweiten Falle ist die bauliche Lösung einfacher als im ersten. Die Verstellung während des Betriebes verlangt auch gut geschulte Wärter, sie hat sich bisher nicht durchgesetzt. Betriebliche Bedeutung hat die Flügelverstellung namentlich bei elektrischem Antrieb mit unveränderlicher Drehzahl. Flügelräder mit verstellbaren Flügeln haben sich schon vielfach bewährt. Sie ermöglichen eine stufenlose, also sehr genaue Anpassung der sekundlichen Schöpfmenge an den jeweiligen Zufluß. Ihr Wirkungsgrad wird durch die Flügelumstellung nicht nennenswert beeinträchtigt.

Um dieselbe sekundliche Wassermenge auf die gleiche Förderhöhe zu heben, bedürfen die Flügelräder einer größeren Drehzahl als die Schraubenräder, diese wiederum einer größeren als die Zellenräder. Oder bei gleicher Drehzahl und gleicher Förderhöhe heben Zellenräder die größte, Flügelräder die kleinste Wassermenge in der Zeiteinheit.

Man unterscheidet ferner Pumpen mit liegender (waagerechter) und solche mit stehender (senkrechter) Welle, offene Pumpen und Gehäusepumpen, Pumpen mit und ohne Leitkranz. Die offenen Pumpen erhalten stets eine stehende Welle. Der über ihnen liegende Pumpendruckschacht wird kreisförmig (mit Zunge zwecks Führung des Wassers) oder schnecken(spiral)förmig hergestellt.

Die Gehäuse werden als Schneckengehäuse, achsige Gehäuse, Kreisgehäuse oder Schräggehäuse gebaut. Die offene unter Wasser liegende Pumpe mit stehender Welle und Zellenrad wird auch Kreisel genannt, heute aber kaum

noch verwendet. Das Schneckengehäuse läuft um das Laufrad der Pumpe herum, wobei es an Querschnitt gleichmäßig zunimmt, und gibt der Pumpe das Aussehen einer Schneckenwindung. Es läuft berührend (tangential) in die Druckleitung aus (Abb. 168). Schneckenpumpen mit Zellenrad nennt man „Zentrifugalpumpen“. Die Anordnung des achsigen Gehäuses ist aus Abb. 169 zu erkennen. Das Kreisgehäuse umgibt das Laufrad mit gleichem Querschnitt, es kommt bei Schöpfwerkpumpen nur selten zur Anwendung. Abb. 170 zeigt ein Schräggehäuse. Hier wird das aus dem Laufrad nach außen strömende Wasser in die Richtung der Achse zurückgeleitet.

Im Leitkranz wird das aus dem Laufrad der Pumpe kommende Wasser verzögert und dadurch

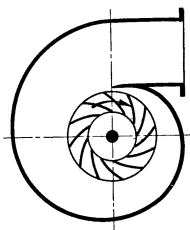


Abb. 168. Schneckengehäuse
(Schöpfwerkausschuß).

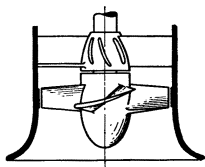


Abb. 169. Achsiges Gehäuse
(Schöpfwerkausschuß).

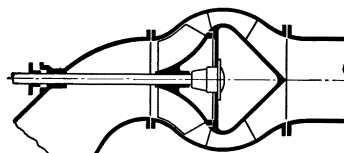


Abb. 170. Schräggehäuse
(Schöpfwerkausschuß).

seine Geschwindigkeit in Druck umgesetzt. Gleichzeitig wird das Wasser durch die Schaufeln des Leitrades in die Abströmrichtung gelenkt.

Beim Kreis- und Schneckengehäuse spricht man von einer oberflächigen oder unterschlächtigen Lage des Druckstutzens, je nachdem ob dieser ober- oder unterhalb der liegenden Welle angebracht ist.

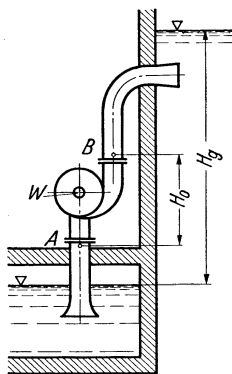


Abb. 171.
Hub- und Druckhöhe einer
Schleuderpumpe.

Man unterscheidet einströmige und zweiströmige Pumpen, je nachdem das Wasser nur von einer oder von zwei Seiten zugeführt wird. Die zweiströmige Pumpe besitzt zwei nebeneinander liegende Laufräder (Zellenräder) und leistet unter sonst gleichen Verhältnissen das Doppelte wie die einströmige. Ihr wird das Wasser entweder durch zwei getrennte Saugrohre mit je einem Saugkrümmer zugeführt oder durch zwei Saugkrümmer, die sich zu einem sog. Hosenrohr vereinigen, an das sich ein Saugrohr anschließt.

Für alle Schleuderpumpen gelten die folgenden wichtigen Beziehungen (213). In Abb. 171 ist H_g der Höhenunterschied zwischen Außen- und Binnenwasser, im folgenden kurz die Hubhöhe der Pumpe genannt (geodätische Förderhöhe). An den Stellen A (unterhalb der Saugöffnung) und B (oberhalb der Drucköffnung) sind Anschlußlöcher für Druckmesser vorgesehen. W ist die Pumpenwelle. Man nennt nun den Druckhöhenzuwachs ΔH [Gl. (89)], den das Wasser auf dem Wege von A nach B durch die Arbeit der Pumpe erfährt, kurz die Druckhöhe H_m der Pumpe (manometrische Förderhöhe). Wenn Q m³/s von der Pumpe gefördert werden, ist somit ihre Nutzleistung

$$N_n = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} = 13,33 Q \cdot H_m \quad (128)$$

Pferdestärken (PS). Die auf die Pumpenwelle zu übertragende Leistung N der Kraftmaschine ist größer als N_n , und zwar um die in der Pumpe auftretenden Verluste, die sich in innere (Strömungsverluste) und äußere (Gleitflächenverluste) trennen lassen. Das Verhältnis

$$\eta = \frac{N_n}{N} \quad (129)$$

nennt man den Wirkungsgrad der Pumpe. Unter einer verlustlosen (idealen) Pumpe versteht man eine gedachte, die keine Verluste aufweist. Der Wirkungsgrad einer verlustlosen Pumpe wäre also = 1.

Auf den vorstehenden Betrachtungen beruhen die Leistungsversuche, die auf den Prüfständen der Pumpenwerke angestellt werden. Durch verschiedene Drosselung eines in die Druckleitung der Pumpe eingebauten Schiebers wird die Förderleistung Q verändert. Man mißt Q durch Überfälle (S. 118), durch Düsen oder auf andere Weise. Für jeden Q -Wert findet man leicht v_0 und v mit Hilfe der Rohrquerschnitte an den Stellen A und B . Die Druckwerte p_0 und p werden durch Druckmesser (Manometer) ermittelt. Da H_0 leicht zu messen ist, ergibt sich somit $H_m = \Delta H$ aus Gl. (89) und N_n aus Gl. (128). Die Wellenleistung N wird entweder mittels eines zwischen Antriebseinrichtung und Pumpenwelle geschalteten, geeichten Kraftmessers (Dynamometers) oder mittels einer geeichten unmittelbar gekuppelten Stromkraftmaschine bestimmt, deren Kraftverbrauch zu messen ist und deren Wirkungsgrad η_m bei verschiedenen Belastungen bekannt sein muß (S. 273). Sehr genau arbeitet der Verdrehkraftmesser (Torsionsdynamometer). In diesem Meßgerät wird ein Stab durch das übertragene Moment verdreht und die Verdrehung durch Spiegelung gemessen. Werden der Stromkraftmaschine a kW zugeführt (S. 239), so werden $N = \frac{a \cdot \eta_m}{0,736}$ PS auf die Pumpenwelle übertragen. Der Wert η der Pumpe ist aus Gl. (129) zu berechnen. Bei jedem Versuch ist auch die Drehzahl n der Pumpe zu ermitteln.

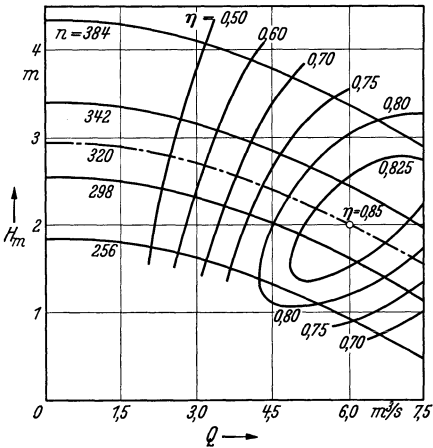


Abb. 172. Benutzungsfeld einer Schleuderpumpe.

Führt man derartige Versuche für mehrere Q -Werte durch und trägt man die zueinander gehörigen Werte H_m und Q nach Abb. 173 auf, so erhält man die Drossellinie, die auch $Q-H$ -Linie oder Pumpenkennlinie genannt wird. Im allgemeinen fördert jede Schleuderpumpe bei einer bestimmten Umlaufzahl n und einer bestimmten Druckhöhe H_m (m) eine ganz bestimmte Wassermenge Q (m^3/s). Verändert man die Umlaufzahl n der Pumpe, so ändert sich auch die Drossellinie. Es gilt die Beziehung

$$H_m = k_1 \cdot n^2 + k_2 \cdot n \cdot Q - k_3 \cdot Q^2. \tag{130}$$

k_1, k_2, k_3 sind Festwerte. Hat man auf dem Versuchstand bei irgendeiner Umlaufzahl n eine Drossellinie aufgenommen, so braucht man nur für 3 Punkte dieser Linie die zugehörigen Werte Q und H_m zu entnehmen. Man erhält dann 3 Gleichungen mit den 3 Unbekannten k_1, k_2 und k_3 . Zweckmäßig führt man diese Rechnung für 2mal 3 oder 3mal 3 Punkte durch und bildet die Mittelwerte der 2- oder 3mal gefundenen k -Werte. Diese Werte kann man als genügend genau ansehen, wenn man die Drehzahlen um nicht mehr als etwa $\pm 30\%$ gegenüber der zugrunde gelegten Drehzahl ändert. Aus Gl. (130) folgt für

$$Q = 0 : H_m \text{ verhältnisgleich } n^2.$$

$$H_m = 0 : Q \text{ verhältnisgleich } n.$$

Für verschiedene Drehzahlen stellt man die Kennlinien einer Schleuderpumpe nach Abb. 172 dar, indem man gleichzeitig die Stellen gleichen Wirkungsgrades durch Linien miteinander verbindet. Eine solche Darstellung wird als Benutzungsfeld der Pumpe bezeichnet. Abb. 173 zeigt, daß der Wirkungsgrad $\eta = 0$ ist für $Q = 0$ und für $H_m = 0$. Mit steigender Drehzahl wird der Größtwert

der Wirkungsgradlinie nach rechts verschoben und nimmt dabei etwas zu. Abb. 173 zeigt ferner, wie die strichpunktierten Linien gleichen Wirkungsgrades entstehen. Auch die Werte N pflegt man zeichnerisch darzustellen (Abb. 174). Die Leistung N ist von der Drehzahl n und dem Drehmoment M der Pumpe abhängig.

Drückt man M (mkg) als Kräftepaar aus (zwei gleichlaufende entgegengesetzt gerichtete Kräfte P im Abstände a), so legt jede Kraft P in 1 s den Weg $\frac{a \cdot \pi \cdot n}{60}$ zurück, leistet daher $\frac{a \cdot \pi \cdot n}{60} P$ mkg/s. Da nun

$M = P \cdot a$ ist und zwei Kräfte P Arbeit leisten, so wird

$$N = \frac{2 \pi \cdot n \cdot M}{60 \cdot 75} \text{ (PS)}. \quad (131)$$

Vervierfacht man das Moment M einer Pumpe, so wird n etwa doppelt so groß, d. h. die Momente verhalten sich wie die Quadrate der Drehzahlen:

$$M_1 : M_2 = n_1^2 : n_2^2. \quad (132)$$

Daher:

$$N_1 : N_2 = n_1^3 : n_2^3. \quad (133)$$

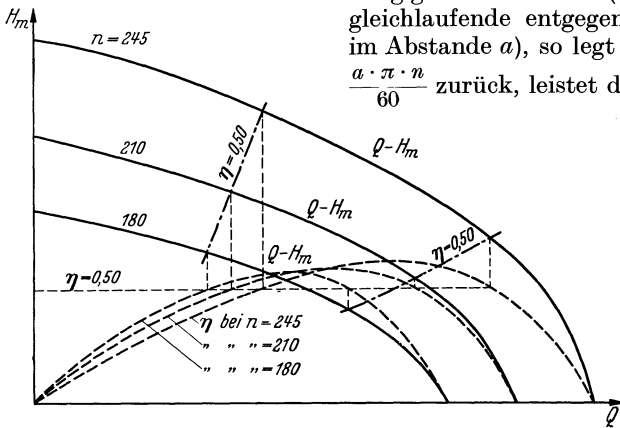


Abb. 173. Drossellinien und Wirkungsgrad.

Für manche Berechnungen ist es zweckmäßig, die Beziehung zwischen Q und der Hubhöhe H_g zu ermitteln. Gl. (89) besagt, daß die Pumpe imstande

ist, das Wasser auf die Höhe $H_m = \Delta H$ zu heben, wenn außerhalb der Pumpe keine Widerstände mehr zu überwinden sind. Man findet daher die Werte H_g aus den zugehörigen H_m dadurch, daß man die in m Wasserhöhe ausgedrückten Verluste H_r außerhalb der Pumpe von H_m in Abzug bringt. Zwischen den zu einem bestimmten Q -Wert gehörigen H_m , H_g und H_r besteht also die Beziehung:

$$H_g = H_m - H_r. \quad (134)$$

Bei der Pumpenanordnung nach Abb. 184 ist H_r annähernd gleich Null, somit $H_g = H_m$. Dagegen bewirken die Saug- und Druckrohre, Schieber usw. Widerstände H_r , die nach den Ausführungen auf S. 118 zu berechnen sind. Auch die Beziehung zwischen Q und H_g wird

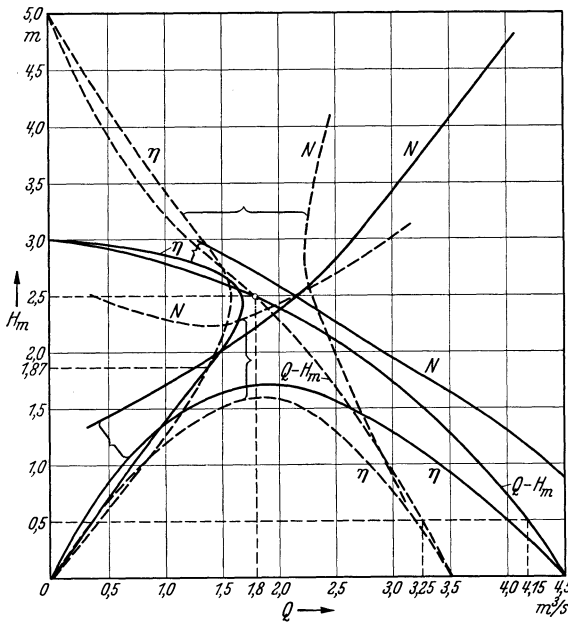


Abb. 174. Vergleich zweier Schleuderpumpen.

als $Q - H =$ Linie zeichnerisch aufgetragen. Will man die Höhen H_m (oder H_g) als Waagerechte haben, was sich für viele Schöpfwerkuntersuchungen empfiehlt, so ermittelt man aus der Darstellung der Abb. 174 die zusammengehörigen Werte Q , H_m (oder H_g), N und η und trägt zu H_m (oder H_g) als Waagerechter die zugehörigen Werte Q , N und η als Senkrechte auf. In Abb. 174 sind N und η sowohl auf Q als auch auf H_m bezogen (ohne H_m zur Waagerechten zu machen).

Eine im Pumpenbau häufig benutzte Zahl ist der Drehwert (spezifische Drehzahl) n_s der Pumpe. Man versteht darunter die Drehzahl einer Pumpe, die der betrachteten raummäßig ähnlich und so bemessen ist, daß sie bei 1 m Druckhöhe 75 l/s leistet, also 1 PS. Es ist dann

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_m^3}}. \quad (135)$$

$$\left. \begin{array}{l} n = \text{Drehzahl} \\ Q = \text{Fördermenge in m}^3/\text{s} \\ H_m = \text{Druckhöhe in m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{für die betrachtete Pumpe beim Bestwert} \\ \text{ihres Wirkungsgrades (vgl. Abb. 172).} \end{array}$$

Die Schöpfwerkumpen haben etwa folgende Drehwerte nach Gl. (135):

Zellenräder	300 bis 600
Schraubenräder	450 bis 900
Flügelräder	700 bis 1700

Der Drehwert ist ein wichtiges Kennzeichen der Schleuderpumpen. Je größer n_s ist, um so kleiner werden unter sonst gleichen Verhältnissen die Abmessungen der Pumpe und um so billiger wird die Kraftmaschine. Die schnell laufenden Flügelpumpen neigen bei größeren Hubhöhen zur Hohlraumbildung (S. 248). In Abb. 174 ist der kennzeichnende Verlauf der Drossellinie, des Wirkungsgrades und des Leistungsbedarfes dargestellt, und zwar für einen kleinen Drehwert mit ausgezogenen, für einen größeren mit gestrichelten Linien:

1. Drossellinie. Von jeder Schöpfwerkpumpe wird verlangt, daß sie bei einer bestimmten größten Druckhöhe H_m (hier 2,50 m) eine bestimmte sekundliche Wassermenge (hier 1,8 m³/s) fördert. Die Drossellinie verläuft zur Q -Achse um so flacher, je kleiner n_s ist. Umgekehrt ist ihr Verlauf zur H_m -Achse. Meistens steigt nun das Außenwasser etwas über den gewöhnlichen Binnenpeil (S. 265), bevor man mit dem Pumpen beginnt (hier um 0,50 m). Daher pumpt die langsam laufende Pumpe 1,80 bis 4,15, die schnellere 1,80 bis 3,25 m³/s. Letztere hat also den Vorzug, daß bei kleinen Hubhöhen nicht so übermäßig große Wassermengen gefördert werden wie bei der langsam laufenden. Die beiden dargestellten Drossellinien sind fest (stabil), d. h. Q wird mit wachsendem H_m kleiner. Das ist bei den meisten Schöpfwerkumpen der Fall. Nur bei sehr kleinem n_s kann die Drossellinie von $Q = 0$ ab zunächst steigen, um erst dann mit dem Fallen zu beginnen. Eine solche Drossellinie heißt kipplig (labil). Es gehören bei ihr zu verschiedenen H_m -Werten je zwei Q -Werte, was im Betrieb zu Schwingungen führen kann. Man darf die Pumpe in solchem kippligen Bereich nicht dauernd arbeiten lassen. Eine kipplige Drossellinie ist unzulässig, wenn mehrere Pumpen durch eine Leitung verbunden sind.

2. Wirkungsgrad. Auf Q bezogen liegt zwar die Wirkungsgradlinie der langsamen Pumpe höher als die der schnelleren. Betrachtet man aber den Arbeitsbereich der beiden Pumpen, so ergibt sich Folgendes:

Langsame Pumpe. $Q = 1,80$ bis 4,15 m³/s. $\eta = 68$ bis 14 %.

Schnellere Pumpe. $Q = 1,80$ bis 3,25 m³/s. $\eta = 64$ bis 17 %.

Noch deutlicher wird das Bild, wenn man die auf H_m bezogenen Wirkungsgradlinien miteinander vergleicht. Abb. 174 zeigt Folgendes:

Langsame Pumpe. η größer für $H_m = 1,87$ bis 2,50 m.

Schnellere Pumpe. η größer für $H_m = 0,50$ bis 1,87 m.

Man soll daher zwei miteinander zu vergleichende Wirkungsgradlinien stets auf die Förderhöhe, nicht aber auf die Fördermenge beziehen.

3. Leistungsbedarf. Die Linien des Leistungsbedarfes N (in PS) verlaufen sehr verschieden. Sie können dauernd steigen oder fallen, aber auch vom Steigen zum Fallen und umgekehrt übergehen. Auf Q bezogen steigt die N -Linie bei langsam laufenden Pumpen mit wachsendem Q , bei sehr schnell laufenden ist

es umgekehrt. In Abb. 174 zeigt die schnell laufende Pumpe eine günstigere N -Linie als die langsame, da der Leistungsbedarf sich nur in mäßigen Grenzen ändert. Man vgl. auch die auf H_m bezogenen N -Linien, die dasselbe ergeben.

Die Saughöhe einer Schleuderpumpe darf nicht zu groß sein, da sonst die gefürchtete Hohlraumbildung (Kavitation) auftritt. Man versteht darunter die Bildung eines mit verdünnter Luft gefüllten Hohlraumes im Innern des Rohres, der die Leistung der Pumpe stark verringern kann. Infolge des Unterdruckes verdampft Wasser in dem Hohlraum. Es bilden sich Dampfblasen, die mit großer Geschwindigkeit auf das Eisen prallen und dadurch schwammig-löcherige Anfrassungen bewirken. Für gute Pumpen kann man setzen:

$$h = B - k \cdot H_m. \quad (136)$$

h = zulässige (manometrische) Saughöhe in m. Bei liegenden Pumpen ist für h Oberkante Laufrad maßgebend.

B = Luftdruck in m (im Tieflande etwa 9,8 m).

H_m = (manometrische) Druckhöhe in m.

k ist von dem Drehwert n_s abhängig [Gl. (135)]:

$n_s = 200$	$k = 0,2$	$n_s = 1000$	$k = 2,6$
400	0,5	1200	3,7
600	1,0	1400	4,9
800	1,7	1600	6,2

Um das Absaugen der Luft aus dem Saugrohr mittels einer besonderen Entlüftungspumpe überflüssig zu machen, baut man selbstsaugende Schleuderpumpen, die möglicherweise auch im Schöpfwerkbau noch eine Zukunft haben. Bisher sind sie jedoch für Schöpfwerke

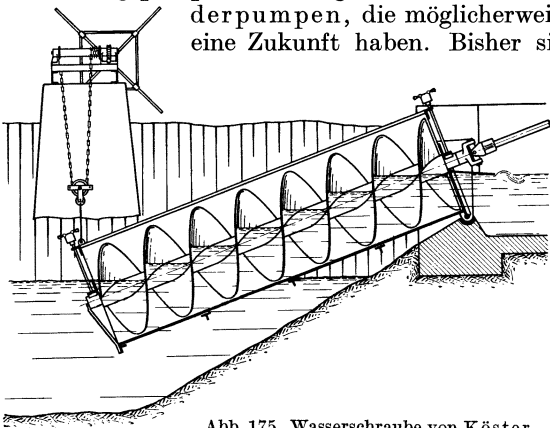


Abb. 175. Wasserschraube von Köster.

nicht verwendet worden (Sihi-Pumpe der Firma Siemens & Hirsch-Itzehoe).

In Verbindung mit Windkraftmaschinen werden vielfach Wasserschnecken (Tonnenmühlen) oder Wasserschrauben verwendet. Während die Wasserschraube in einem oben offenen Trog läuft (Abb. 175), ist die Wasserschnecke mit einem festen Mantel umgeben. Sie hat gegenüber der Wasserschraube den Vorteil, daß keine Spaltverluste eintreten, fördert

daher auch noch bei ganz geringen Drehzahlen. Ein Nachteil besteht aber darin, daß das Unterwasser den Lufteintritt am unteren Schneckenrand nicht absperren darf. Man muß daher die Schnecke unten beweglich anordnen, um sie heben zu können. Ihre größte Neigung beträgt etwa 30° . Als größte Hubhöhe kann man 4,5 m, als größten Durchmesser 1,2 m ansehen. Größte Länge etwa 9 m, Wirkungsgrad 85%. Dabei ist unter dem Wirkungsgrad das Verhältnis der Nutzarbeit in m gehobenen Wassers (Höhenunterschied h zwischen dem Schwerpunkt der Wasserschüttung und dem Unterwasser) zu der auf die Schneckenwelle übertragenen Arbeit der Kraftmaschine zu verstehen.

Für die Leistung der Schnecke hat Köpcke (98) auf Grund von Versuchen folgende Gleichung entwickelt:

$$M = z \cdot a \cdot F \cdot \left\{ \frac{\pi}{2} - \arccos(\alpha + \beta) \right\}. \quad (137)$$

M = Fördermenge der Schnecke bei einer Umdrehung in m^3 .

z = Anzahl der Schraubengänge.

a = lichte Weite zwischen den einzelnen Gängen in der Richtung der Achse in m.

α = Steigungswinkel der Schraubengänge.
 β = Neigungswinkel der Schnecke.

$$F \text{ (Abb. 176)} = R^2 \left(\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{r}{R} \right) + r \sqrt{R^2 - r^2} - r^2 \pi.$$

R = innerer Halbmesser der Schnecke in m.
 r = Halbmesser der Spindel in m.

Feinteilt (differentiert) man F nach r , so erhält man den Größtwert für F , wenn r etwa = $0,3 R$ ist: $F = 1,88 R^2$. Den Wert α setzt man vielfach = 30° . Da nun die Ganghöhe h der Schraubenwindung

$$h = \frac{R+r}{2} 2\pi \cdot \text{tg } \alpha \tag{138}$$

ist und $z \cdot a = h$ — der Dicke der Schraubengänge, so wird für $r = 0,3 R$ und $\alpha = 30^\circ$ $h = 2,358 \cdot R$. Gibt man den hölzernen Schraubengängen die Dicke $\frac{R}{18}$, so wird für eine dreigängige Schraube $z \cdot a = R (2,358 - \frac{3}{18}) = 2,191 \cdot R$. Man erhält mit diesen Werten aus Gl. (137) für

$$\begin{array}{ll} \beta = 20^\circ & M = 2,877 \cdot R^3 \\ 25^\circ & 2,516 \cdot R^3 \\ 30^\circ & 2,157 \cdot R^3 \end{array}$$

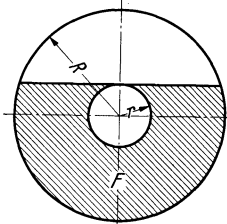


Abb. 176. Querschnitt einer Wasserschnecke.

Bei der Wasserschraube muß der Zwischenraum zwischen den Trogwänden und den Schraubengängen möglichst gering sein (5 mm), damit nicht zuviel Wasser zurückläuft. Die größte Länge beträgt etwa 10 m, der größte Durchmesser 2 m. Als größter Hub sind etwa 3 m anzusehen. Die Schrauben werden ebenso wie die Schnecken aus Holz oder Eisen, der Trog auch aus Mauerwerk oder Beton hergestellt. Die Holzbauweise hat den Nachteil, daß der Zwischenraum fast stets größer als 5 mm ausfällt. In Abb. 175 ist der eiserne Trog beweglich angeordnet. Die Fördermenge M der Wasserschraube kann ebenfalls nach Gl. (137) berechnet werden, jedoch unter Berücksichtigung des Umstandes, daß ein Teil des Wassers ins Unterwasser zurückfließt. Je kleiner die Drehzahl n der Schraube ist, um so größer ist dieser anteilige Wasserverlust. Man kann ihm dadurch Rechnung tragen, daß man bei gewöhnlicher Drehzahl η nur etwa = 75% setzt.

Die Umfangsgeschwindigkeit der Schnecken und Schrauben soll nicht größer als 2,5 m/s werden. Daraus ergibt sich die Bedingung

$$n < \frac{24}{R}. \tag{139}$$

Bei den Schrauben geht man mit n ungern unter den Wert $\frac{15}{R}$ hinab, damit die Spaltverluste nicht zu groß werden.

Die erforderliche Kraftleistung N in PS beträgt

$$N = \frac{M \cdot n \cdot h}{4,5 \cdot \eta}. \tag{140}$$

h = Hubhöhe in m (S. 248).

Nachteilig ist für alle Schnecken und Schrauben ein schwankender Außenwasserstand, weil dann das Wasser bei tiefer liegendem Außenwasser unnötig hoch gehoben werden muß. Dieser Nachteil kann dadurch gemildert werden, daß der Mantel oder Trog in der Nähe des Auslaufes Bodenklappen erhält, die jedoch gut schließen müssen.

Eine besondere Art der Wasserhebemaschine ist der Gefälleumformer von Lawaczek (Abb. 177). Er stellt eine Verbindung von Wasserkraftkreisel (Turbine) und Schleuderpumpe dar, die auf einer gemeinsamen Welle sitzen. Ein Teil des zur Verfügung stehenden Zuflusses wird zum Antrieb des Kreisels

verwendet, ein Teil wird gepumpt. Der Wirkungsgrad η der gesamten Anlage ist

$$\eta = \frac{q \cdot h}{Q \cdot H} \quad (141)$$

q = Leistung der Pumpe in l/s.

h = Druckhöhe der Pumpe in m.

Q = Schluckmenge des Kreisels in l/s.

H = Kreiselfälle in m (Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser).

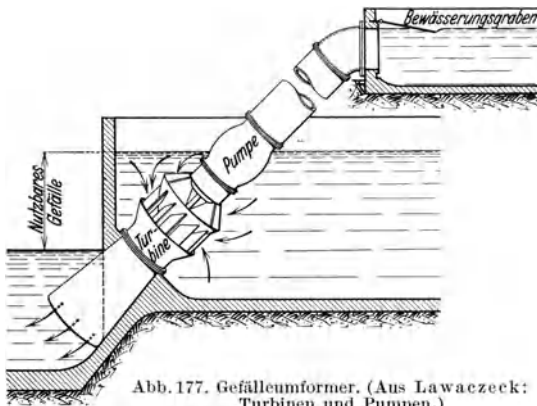


Abb. 177. Gefälleumformer. (Aus Lawaczek: Turbinen und Pumpen.)

Versuche ergaben einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 50%. Dabei waren (77)

q = 370 bis 400 l/s.

h = 2,0 bis 2,2 m.

Q = 1050 bis 1060 l/s.

H = 1,5 bis 1,6 m.

Gefälleumformer kommen nur in Sonderfällen zur Anwendung, und nur für Bewässerungszwecke. Voraussetzung ist, daß genügend Wasser zum Antrieb des Kreisels zur Verfügung steht.

Auch der Stoßheber (hydraulischer Widder) ist eine Verbindung von Kraft- und Wasser-

hebemaschine. Er dient zum Heben kleiner Wassermengen auf größere Höhen. In Abb. 178 ist eine solche Anlage umrißmäßig dargestellt. P ist der Stoßschalter, S der Steigschalter. Der Stoßschalter ist etwas schwerer als Wasser und öffnet sich infolgedessen in ruhendem Wasser, indem er herunterfällt. Er

schließt sich aber, sobald Wasser bei P ausströmt, da er dann hochgerissen wird. Daraus ergibt sich folgende Wirkung des Stoßhebers:

1. P fällt nach unten und gibt die Öffnung frei.

2. Das Wasser in l kommt in Bewegung und strömt bei P aus.

3. P wird mitgerissen und schließt die Öffnung.

4. Durch die plötzliche Absperrung des Wassers entsteht in der Leitung l ein Stoßdruck, durch den

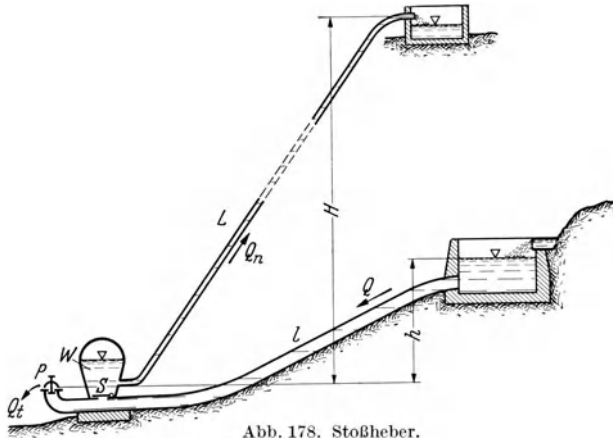


Abb. 178. Stoßheber.

der Steigschalter S nach oben geöffnet und Wasser in den Windkessel W und in die Leitung L gedrückt wird.

5. Durch das Abströmen von Wasser in den Windkessel geht der Druck in der Leitung l zurück, P fällt nach unten usw.

Am günstigsten ist es, wenn H etwa 3 bis 7mal so groß wie h ist. Das Triebgefälle h muß mindestens 1 m betragen. Bezeichnet man mit

Q die zur Verfügung stehende (meist kleine) Wassermenge in l/s,

Q_n die Nutzwassermenge, die gehoben wird,

Q_t die Triebwassermenge, die verloren geht,

η den Wirkungsgrad des Widders (50 bis 70 %).

so ist

$$Q = Q_n + Q_t \quad (142)$$

$$Q_n \cdot H = \eta \cdot Q \cdot h$$

$$Q_n = \eta \cdot Q \cdot \frac{h}{H}. \quad (143)$$

Der Stoßheber kann zur Bewässerung kleiner Flächen oder zum Heben von Tränkwasser für das Weidevieh verwendet werden. Seine Wartung ist denkbar einfach, es braucht nur von Zeit zu Zeit die Luft im Windkessel erneuert zu werden.

Der Triebrohrkreisel (Hydropulsor) von Abraham wirkt nach Abb. 179 wie folgt: Das in dem Brunnen an einer senkrechten Welle befindliche Laufrad besitzt abwechselnd nach oben offene Druckkammern d und nach unten offene Saugkammern c . Dem oberen Teil des Brunnens

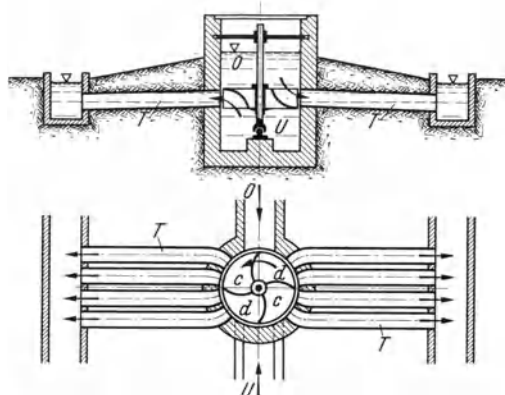


Abb. 179. Triebrohrkreisel von Abraham.
(Nach Vogdt.)

wird das Betriebswasser aus dem Oberwasser eines Staues zugeführt, dem unteren Teil das zu hebende Wasser einer zu entwässernden Fläche. Das Betriebswasser gelangt in die Druckkammern und aus diesen in die Triebrohre T , aus denen es in das Unterwasser des Staues abfließt. Da die Scheidewände zwischen den Kammern wie Kreiselschaufeln gekrümmt sind, dreht sich das Laufrad. Durch diese Drehung wird das Triebrohr, das soeben noch mit dem Oberwasser in Verbindung stand, von diesem plötzlich abgesperrt und gleichzeitig mit einer Saugkammer verbunden. Das in dem Triebrohr abfließende Wasser saugt dann Wasser aus der Saugkammer nach. Die Triebrohre fördern also abwechselnd Druck- und Saugwasser. Die Maschine arbeitet im Gegensatz zum Widder stoßfrei. Es gilt Gl. (142). Der Wirkungsgrad η beträgt 65 bis 70%. Der Triebrohrkreisel ist geeignet für kleine Förderhöhen und größere Wassermengen, wenn genügend Betriebswasser aus einem gestauten Wasserlauf zur Verfügung steht.

Man kann die Maschine auch so verwenden, daß man das Triebwasser durch die Triebrohre in die Kammern des Laufrades leitet. Es gelangt dann abwechselnd durch die Saugkammern in den unteren Teil des Brunnens und durch die Druckkammern in den oberen. Ein Teil des Wassers treibt demnach das Laufrad, der andere Teil wird nach oben gedrückt und kann zur Bewässerung verwendet werden.

Auch der gleichfalls von Abraham erfundene Kolbenheber (Aquapulsor) ist mit der von Knoch angegebenen Änderung eine vereinigte Wasserkraft- und Wasserhebemaschine (Abb. 180). In der umrißmäßigen Skizze ist L ein kreisrunder Schwimmerkolben, der mit einem Luftkasten versehen und so ausgeglichen ist, daß er gerade aufschwimmt. Der Schalter V_1 wird durch

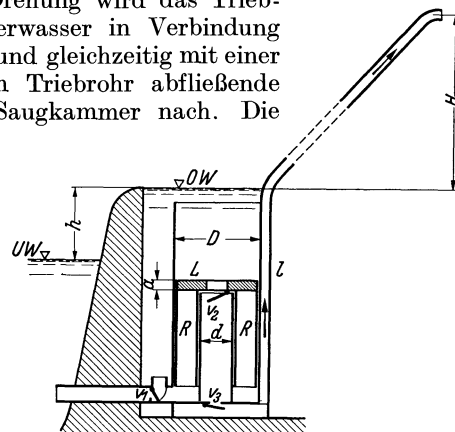


Abb. 180. Kolbenheber von Abraham.

den Kolben so gesteuert, daß er den Raum R unter dem Kolben bei tiefer Kolbenlage mit dem Oberwasser, bei hoher Kolbenlage mit dem Unterwasser verbindet. Daraus ergibt sich folgender Arbeitsvorgang:

1. V_1 sperrt das Unterwasser ab, Kolben L schwimmt auf.
2. V_1 wird umgesteuert und sperrt nunmehr das Oberwasser ab.
3. In R sinkt der Wasserdruck (Unterwasser).
4. L wird durch den Überdruck des Oberwassers nach unten gedrückt. Gleichzeitig schließt sich V_2 , während V_3 sich öffnet und das verdrängte Wasser in die Leitung l gedrückt wird.
5. V_1 wird bei tiefer Lage des Kolbens wieder umgelegt usw.

Damit der Kolben durch den Überdruck des Oberwassers nach unten gedrückt wird, muß die Bedingung erfüllt sein

$$(D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} (h - a) > \frac{d^2 \pi}{4} (H + a)$$

oder

$$d < D \sqrt{\frac{h - a}{h + H}}. \quad (144)$$

Der Durchmesser d muß den Grenzwert der Gl. (144) genügend unterschreiten, damit die Bewegung des Kolbens nicht zu langsam und die Fördermenge in der Zeiteinheit nicht zu gering ist. Der Kolbenheber kommt nur für kleine Bewässerungsanlagen in Frage, er ist bisher nur selten verwendet worden (139 und 224).

Die früher gebräuchlichen Wurf- und Pumpräder, die durch eine Kraftmaschine angetrieben wurden und zur Entwässerung von Niederungen dienten, werden heute nicht mehr gebaut (58, 33). Dagegen findet man bisweilen noch Schöpfräder für kleine Bewässerungsanlagen. Sie bestehen aus einem unterschlächtigen Wasserrade (bis zu 6 m Durchmesser), an dessen Umfang neben den Schaufeln Schöpfgefäße befestigt sind. Ihre Hubhöhe beträgt bis zu 5 m. Der Fluß selbst, aus dem geschöpft wird, treibt das Rad. In der tiefsten Stellung werden die Gefäße durch Untertauchen gefüllt und in der höchsten in eine Rinne ausgegossen, die das Wasser auf das zu bewässernde Land leitet. Der Betrieb der Schöpfräder ist billig, er erfordert nur Unterhaltungskosten, ihre Leistung ist jedoch gering. Sie werden aus Holz oder Eisen hergestellt.

3. Gesamtanordnung.

Die Gesamtanordnung der Schöpfwerkmaschinen ist zunächst durch die Art gekennzeichnet, wie die Kraft auf die Pumpe übertragen wird. In Frage kommen die unmittelbare Kupplung, der Riementrieb und das Zahnradvorgelege.

Bei der unmittelbaren Kupplung liegen die Wellen der Kraftmaschine und Pumpe in einer Achse. Daher müssen beide Maschinen stets mit der gleichen Drehzahl laufen. Da aber die wirtschaftlich günstigsten Drehzahlen der Kraftmaschine und der Pumpe häufig nicht übereinstimmen, kann man die unmittelbare Kupplung trotz ihrer Einfachheit oft nicht anwenden. Es kann z. B. der durch ein Zahnradvorgelege eintretende Kraftverlust dadurch wieder zurückgewonnen werden, daß die Pumpe mit einer günstigeren Drehzahl und daher mit einem besseren Wirkungsgrad läuft, als es bei unmittelbarer Kupplung der Fall sein würde.

Die Riemenübertragung kann bei Leistungen bis etwa 100 PS verwendet werden. Man unterscheidet den offenen Riementrieb und den Spannrollenantrieb. Der offene Riementrieb verlangt einen Mindestabstand zwischen Kraftmaschinen- und Pumpenwelle von etwa 3 bis 4 m. Dadurch entsteht ein nicht unerheblicher Raumbedarf. Für Schöpfwerke ist der Spannrollenantrieb vorzuziehen. Der Riemen läuft bei ihm über eine Spannrolle S nach Abb. 181.

Man kann auf diese Weise die beiden Wellen *I* und *II* dicht beieinander anordnen. Der Riemen erfährt in Schöpfwerkgebäuden infolge der wechselnden Luftfeuchtigkeit häufig Längenänderungen, die durch die Spannrolle unschädlich gemacht werden. Riemetrieb setzt voraus, daß Kraftmaschine und Pumpe liegende Wellen haben. Ausnahmen hiervon sind zwar möglich, sollten jedoch vermieden werden. Die Spannrolle hat in der Regel den Durchmesser der kleineren Scheibe. Der Riemenantrieb gibt die Möglichkeit, durch Auswechseln der Riemenscheibe gegen eine solche mit anderem Durchmesser die Drehzahl der Pumpe zu verändern. Er hat ferner den Vorteil, daß kleine Verschiebungen zwischen Kraftmaschine und Pumpe unbedenklich sind. Daher eignet er sich besonders für behelfmäßige Anlagen. Es empfiehlt sich, nur die besten Riemen zu verwenden. Die dadurch bedingten Mehrkosten sind immer lohnend. Die Riemen werden an beiden Enden mit langer Schräge abgeschnitten und gut vernäht. Sie sind stets gut gefettet zu halten, damit sie geschmeidig bleiben. Hart gewordene Riemen wäscht man in heißem Wasser (nicht in kochendem) und tränkt sie dann mit Riemenfett.

Große Verbreitung haben die Zahnradvorgelege (Zahnradgetriebe) gefunden, die heute fast ausnahmslos in besonderen Gehäusen angeordnet sind. Man unterscheidet Stirnrad- und Kegelradgetriebe. Die Stirnräder sind billiger, halten länger und haben einen besseren Wirkungsgrad als die Kegelräder. Erstere verbinden gleichlaufende, letztere sich schneidende Wellen. Über umschaltbare Stufengetriebe siehe S. 240. Die Zahnradgetriebe erhalten eine selbsttätige Umlaufölung und zweckmäßig auch eine Kühlvorrichtung für das Öl. Die Ölung wird durch eine Ölumlaufpumpe betrieben. Da diese erst bei voller Drehzahl ausreichend wirkt, ist Sorge zu tragen, daß die Ölung schon beim Anlassen der Kraftmaschine beginnt. Man bedient sich dazu bei größeren Anlagen einer besonders angetriebenen Anlaßschmierpumpe, sonst auch eines Ölbehälters, der einige Meter über dem Getriebe liegt. Bei Frost ist dickflüssig gewordenen Öl vorher zu erwärmen. Für Schöpfwerk-pumpen verwendet man in der Regel die doppelte Schrägverzahnung (Pfeilverzahnung). Da diese Zahnräder gegen Verlagerung der Achsen empfindlich sind, wird mindestens auf der einen Seite des Zahnradvorgeleges, entweder auf der Pumpen- oder der Kraftmaschinen-seite, eine nachgiebige (längsbewegliche) Kupplung eingeschaltet. Wenn der Ungleichförmigkeitsgrad einer Verbrennungskraftmaschine (S. 241) größer als etwa 1 : 100 ist, besteht die Gefahr, daß die Zähne der Zahnräder zu stark beansprucht werden.

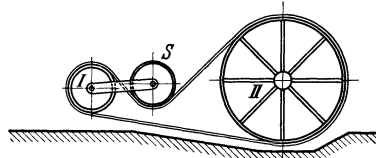


Abb. 181. Spannrollenantrieb.

Bei allen Antrieben und Übersetzungen ist darauf zu achten, daß die gefährlichen Drehzahlen (S. 240) nicht eintreten. Die unmittelbaren Kupplungen und die Zahnradgetriebe sind außerdem empfindlich gegen jede Verschiebung, die die Pumpe in ihrer Lage zur Kraftmaschine erfährt. Daher müssen gemeinsame eiserne Grundplatten für Kraftmaschine und Pumpe sehr kräftig sein, damit sie sich nicht verbiegen können.

Hinsichtlich der Aufstellungshöhe der Pumpen unterscheidet man die Tauch- und die Heberanordnung. Bei der Tauchanordnung liegt das Laufrad der Pumpe unter dem tiefsten Binnenwasserspiegel, so daß die Pumpe beim Anlassen ohne weiteres Wasser fördert. Das ist für den Betrieb äußerst bequem, Betriebsstörungen sind jedoch wegen der tiefen Lage der Pumpe schwieriger zu beheben als bei der Heberanordnung. Bisweilen entstehen erhebliche Gründungskosten für die baulichen Einrichtungen. Die Schöpfwerkgebäude brauchen meistens nur eine kleine Grundfläche zu erhalten. Damit bei stillstehender Pumpe das Außenwasser nicht rückwärts in den Polder läuft, ist eine selbsttätige Absperrvorrichtung in Form einer Rückschlagklappe oder eines

Stemmtore erforderlich. Häufig wird außerdem noch ein Schieber in das Druckrohr der Pumpe eingebaut oder ein Schützenverschluß vorgesehen. Sich nur auf einen Schieber oder eine Schütze zu beschränken, ist nicht ratsam, da das Schließen versehentlich unterbleiben könnte. Man wählt daher in der Regel eine selbsttätige und eine zu bedienende Absperrvorrichtung. Die Selbsttätigkeit der Rückschlagklappen und Stemmtore darf nur dann vorübergehend beseitigt werden, indem man sie hochwindet oder festlegt, wenn der Schöpfwerkwärter ständig anwesend ist. Das hat dann den Vorteil einer glatteren Wasserführung ohne Wirbelbildungen. Ist starker Eisgang im Außenvorfluter zu erwarten, so muß auf eine geschützte Lage der Absperrvorrichtungen Bedacht genommen werden. Auch sollte man Vorsorge treffen, um bei hohem Außenwasser Störungen beseitigen zu können.

Bei der Heberanordnung liegt der ganze Scheitelquerschnitt der Rohrleitung nebst Pumpe über dem höchsten Außenwasser, so daß kein Wasser von außen durch Pumpe und Rohrleitungen in den Polder fließen kann. Das setzt allerdings voraus, daß ein im Scheitel des Hebers befindlicher Belüftungshahn sich selbsttätig öffnet, sobald die Pumpe aufhört zu laufen. Denn sonst würde die Heberwirkung das Außenwasser nach binnen fließen lassen. Der Hahn muß vor der nächsten Inbetriebnahme der Pumpe wieder geschlossen werden. Da die Heberanordnung eine Saugleitung verlangt, ist stets eine Saugpumpe erforderlich, mit der vor dem Ingangsetzen der Schöpfwerkpumpe die Luft aus der Saugleitung abgesaugt wird. Heberanlagen versieht man nur dann mit einer Absperrvorrichtung (Schieber), wenn sonst die Rohrleitung infolge häufiger Betriebsunterbrechungen oft entlüftet werden müßte. Im Gegensatz zur Tauchanordnung können Ausbesserungen der über Wasser liegenden Pumpen leicht vorgenommen werden. Günstig ist auch die liegende Pumpenwelle, die sich mit der liegenden Welle der Kraftmaschine leicht kuppeln läßt, ferner der Umstand, daß der Deich durch das Druckrohr nur flach angeschnitten und daher kaum geschwächt wird. Im Gegensatz zur Tauchanordnung können aber Undichtigkeiten des Saugrohres den Wirkungsgrad des Schöpfwerkes beeinträchtigen.

Zwischen Tauch- und Heberanordnung gibt es zwei Zwischenformen. Man legt die Pumpe unter das niedrigste Binnenwasser und führt ihre Druckleitung als Heberleitung über das höchste Hochwasser hinaus. In diesem Falle spricht man von einer Tauchanordnung mit Heberleitung. Zu beachten ist, daß sich im Rohrscheitel kein Luftraum bilden darf. Da keine Entlüftung der Rohrleitung stattfindet, hat die Pumpe beim Anlaufen eine größere Druckhöhe zu überwinden als nach Eintritt der Heberwirkung. Dabei muß der Rohrscheitel völlig mit Wasser gefüllt werden. Die Anordnung vereinigt Vorteile der Tauch- und der Heberanordnung.

Die zweite Zwischenform besteht darin, daß man die Pumpe nur über *MHW* anordnet, nicht jedoch über *HHW*, wodurch die Heberanordnung in die Mittelanordnung übergeht. Diese kann zur Anwendung kommen, wenn bei der Heberanordnung die Saughöhe zu groß werden und dadurch die Gefahr der Hohlraumbildung entstehen würde. Um bei steigendem Außenwasser ein Rückwärtslaufen des Wassers zu verhindern, pflegt man nach dem Abstellen der Pumpe und dem Entleeren der Rohrleitung den Belüftungshahn der Heberleitung sofort wieder zu schließen. Die dann in der Leitung eingeschlossene Luft verhindert den Rückstrom des Außenwassers, jedoch nur dann, wenn der Druck des steigenden Außenwassers nicht imstande ist, die eingeschlossene Luft nach der Binnenseite hinauszudrücken (195).

Die bei Heberanordnungen erforderliche Luftpumpe soll imstande sein, die Luft in 5 bis 10 min anzusaugen. Empfehlenswert ist eine Ersatzluftpumpe, zum mindesten bei größeren Anlagen. Man betätigt die Luftpumpe entweder durch eine besondere Kraftmaschine oder durch einen ausrückbaren Riemenantrieb, der von der Welle der Kraftmaschine oder der Pumpe angetrieben

wird. Für eine sachgemäße Entlüftung ist es wichtig, daß die Luft an der richtigen Stelle (oder an mehreren Stellen) der Rohrleitung abgesaugt wird. Sonst kann es vorkommen, daß Wasser in die Luftleitung gelangt, bevor die Luft ausreichend entfernt ist. Bei Verwendung einer Dampfmaschine kann man zur Entlüftung der Pumpe einen Absauger (Exhaustor) benutzen.

Eine besondere Anordnung, die jedoch nur bei kleinen Anlagen in Frage kommt, ist die schwenkbare Köstersche Flügelpumpe (Abb. 182). Sie hat sich mehrfach gut bewährt. Die bauliche Anordnung ist einfach, ein besonderer Vorteil liegt darin, daß man die Pumpe auch während eines Hochwassers leicht hochwinden und Störungen beseitigen kann. Die schräge Lage der Stromkraftmaschine ist bei kleinen Anlagen unbedenklich.

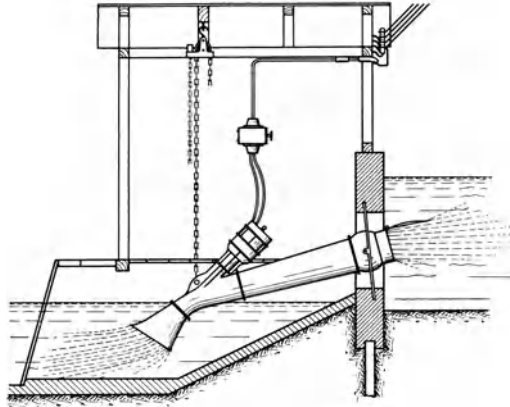


Abb. 182. Schwenkbare Flügelpumpe von Köster.

Günstig ist es, wenn das Wasser möglichst ohne schroffe Richtungswechsel die gesamte Anlage (Binnengraben—Saugrohr—Pumpe—Druckrohr—Außengraben) durchfließt, da der Kraftverbrauch um so größer wird, je schroffer die Fließrichtung des Wassers sich ändert.

Schleuderpumpen lassen sich mit allen Kraftmaschinen kuppeln. Wasserschnecken und Wasserschrauben werden dagegen nur mit Windkraft betrieben, da sie in Verbindung mit anderen Kraftmaschinen den Schleuderpumpen unterlegen sind.

C. Die Schöpfwerkgebäude und Nebenanlagen.

1. Die Bauweisen.

In baulicher Hinsicht unterscheidet man bei jeder Schöpfwerkanlage den Maschinenraum, in dem sich die Kraft- und häufig auch die Wasserhebe-
maschine befindet, das auf der Binnenseite liegende Einlaufbauwerk (Binnen-

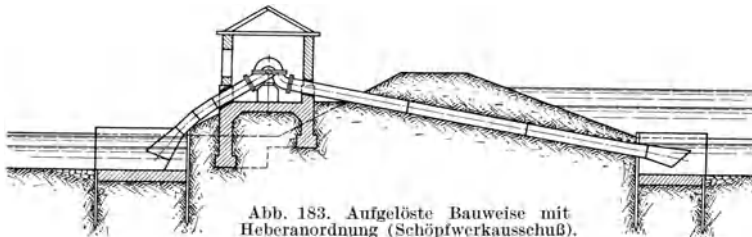


Abb. 183. Aufgelöste Bauweise mit Heberanordnung (Schöpfwerkaußenschuß).

sumpf), aus dem das Wasser entnommen wird, und auf der Außenseite das Auslaufbauwerk (Außensumpf), in das die Pumpe das Wasser drückt. Je nach der Anordnung dieser drei Teile erhält man Schöpfwerke in aufgelöster, halb aufgelöster oder Blockbauweise.

Bei der aufgelösten Bauweise liegen die drei Bauteile völlig getrennt voneinander (Abb. 183). Das Maschinenhaus wird zweckmäßig so angelegt, daß die Deichkrone für die Deichverteidigung frei bleibt. Seine Lage kann beliebig gewählt werden, also auch völlig außerhalb des Deichquerschnittes. Ein

weiterer Vorteil besteht darin, daß man, wenn das Wasser betonschädliche Stoffe enthält, den Binnen- und Außensumpf aus Holz herstellen kann, während das flach gegründete Maschinenhaus nicht gefährdet ist. Man verwendet die aufgelöste Bauweise in Verbindung mit der Heberanordnung oder mit der Mittelanordnung. Namentlich die erstere Verbindung gibt die Möglich-
 keit, die Druck-

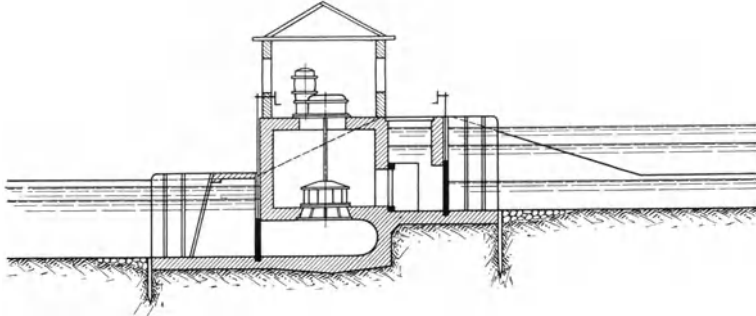


Abb. 184. Blockbauweise mit Tauchanordnung (Schöpfwerkaußschuß).

leitung ohne starkes Anschneiden des Deiches zu verlegen, was bei alten Deichen häufig ratsam ist. Bei kleinen Pumpen mit Heberanordnung kommt fast stets die aufgelöste Bauweise zur Ausführung. Nachteilig können die Rohrleitungs-

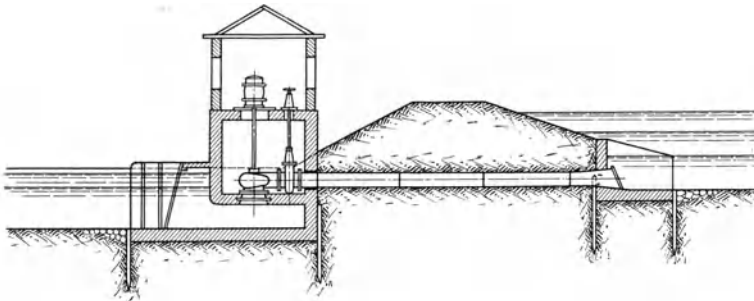


Abb. 185. Halbaufgelöste Bauweise mit Tauchanordnung (Schöpfwerkaußschuß).

widerstände werden, wenn die Hubhöhen klein und die Rohre lang sind. Die Grundfläche der Maschinenhäuser fällt in der Regel ziemlich groß aus, da die Maschinen mit waagerechten Wellen erheblichen Platz beanspruchen.

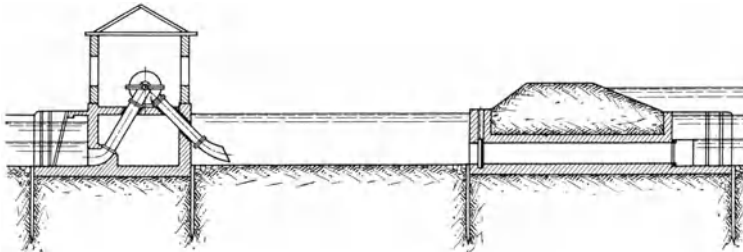


Abb. 186. Blockbauweise mit Mittelanordnung und Druckkammer (Schöpfwerkaußschuß).

Bei der Blockbauweise werden die beiden Sümpfe baulich mit dem Maschinenhaus vereinigt (Abb. 184). Diese Bauweise wird in Verbindung mit der Heberanordnung, Mittelanordnung, vorzugsweise aber mit der Tauchanordnung verwendet. Nachteilig kann das Anschneiden des Deiches werden (S. 257). Rohrleitungswiderstände fehlen ganz oder sind doch sehr gering. Die Grund-

mauern reichen tiefer hinab als bei der aufgelösten Bauweise. Die Grundfläche des Schöpfwerkes ist klein, besonders bei Verwendung von Stromkraftmaschinen mit senkrechter Welle. Daher entsteht häufig eine beachtliche Bodenpressung, die bei schlechtem Untergrunde die Gründung verteuert (Pfahlrost).

Die halb aufgelöste Bauweise besitzt ein Einlaufbauwerk, das mit dem Maschinenhaus verbunden ist, während das Auslaufbauwerk getrennt liegt (Abb. 185). Sie ist oft mit der Tauchanordnung verbunden.

Eine besondere Bauweise, die man bisweilen im Tidegebiet findet, besteht darin, daß zwischen Schöpfwerk und Siel eine Druckkammer eingeschaltet wird (Abb. 186). Dann wird bei Tidehochwasser nicht gepumpt. Man kann ein schon vorhandenes Siel verwenden, ohne daß an diesem etwas geändert zu werden braucht. Auch der Deich bleibt von dem Bau des Schöpfwerkes völlig unberührt. In der Druckkammer beruhigt sich das gepumpte Wasser, bevor es in das Siel fließt.

Es ist oft nicht leicht, die günstigste Bauweise des Schöpfwerkes und die günstigste Pumpenanordnung für den Einzelfall zu finden. Man wird sich stets fragen müssen, auf welche Gesichtspunkte jeweils besonderer Wert zu legen ist. Sind es lediglich die Kosten, so genügen Vergleichsrechnungen.

2. Das Maschinenhaus.

Die Maschinenhäuser werden in hölzerner oder Stein- (Beton-) Bauweise ausgeführt. Holz verwendet man jedoch nur bei behelfmäßigen Bauten oder wenn unbedingt an Baukosten gespart werden muß; auch dann, wenn nach einer

Reihe von Jahren eine wesentliche Änderung der Schöpfwerk-anlage zu erwarten ist. Holzbauten verlangen eine schnellere Abschreibung und höhere Unterhaltungskosten als Steinbauten. In der Regel werden diese wirtschaftlicher sein, jedoch nicht immer. Ist z. B. Holz in der Nähe sehr billig zu haben, so kann eine Vergleichsrechnung durchaus zugunsten der Holzbauweise ausfallen. Abb. 187 zeigt eine häufig angewandte Form der hölzernen Ausführung. Bei der Holzbauweise ist eine unverrückbare Lage zwischen Kraftmaschine und Pumpe schwer zu erreichen, wenn beide getrennt aufgestellt werden. Am anpassungsfähigsten ist dann noch der Riemenantrieb.

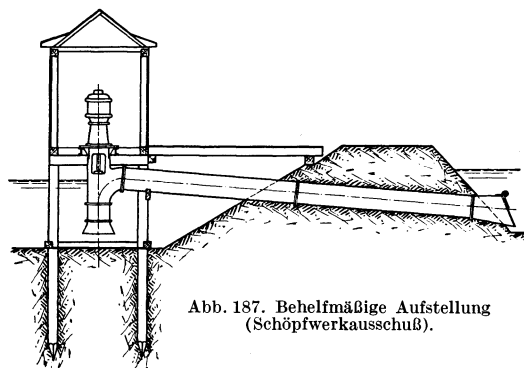


Abb. 187. Behelfmäßige Aufstellung (Schöpfwerkausschuß).

Gemauerte Maschinenhäuser müssen, wenn sie den Deich anschneiden, mit dem Deichboden durch Rippen verzahnt werden. Ihre Berührungsflächen mit dem Deich erhalten zweckmäßig einen geringen Anlauf nach Abb. 188, damit sich der Deichboden beim Setzen keilförmig gegen das Bauwerk legt und keine Hohlräume neben dem Bauwerk entstehen können. Häufig ist eine sorgfältige Gründung erforderlich (S. 237). Nötigenfalls ist eine durchlaufende Sohlplatte oder Pfahlgründung ohne oder mit Spundwandkasten zu verwenden. Wegen des Schutzes gegen betonschädliche Stoffe vgl. S. 372.

Die Maschinengrundbauten stellt man meistens aus Beton her. Sie werden bei der Heberanordnung oft getrennt von den Grundbauten des Maschinenhauses ausgeführt, damit die Erschütterungen, die der Maschinengrundbau erfährt, nicht auf das Haus übertragen werden. Das ist besonders wichtig für Dieselmotoren, auch für größere Stromkraftmaschinen. Oder man

trennt den Maschinengrundbau durch Kork oder Filz von dem Hausgrundbau, wodurch die Übertragung der Erschütterungen erschwert wird. Je nach Lage und Tragfähigkeit des Baugrundes sowie nach den aufzunehmenden Lasten gibt es für die Maschinengrundbauten verschiedene Ausführungsformen, deren Grundgedanken folgende sind:

1. Man setzt einen besonderen Maschinengrundbau auf die Fußbodenplatte des Maschinenhauses, die zu diesem Zwecke unter dem Maschinengrundbau durch größere Stärke, Eiseneinlagen oder Unterzüge besonders kräftig ausgeführt wird. Bei der Blockbauweise lassen sich in der Regel Haus- und Maschinengrundbau nicht voneinander trennen (Abb. 184). Dann ist der gesamte Bau als Einheit so zu berechnen, daß alle auftretenden Kräfte unschädlich abgeleitet werden.

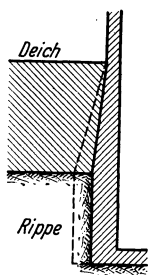


Abb. 188. Anschluß des Maschinenhauses an den Deich.

2. Man stellt einen vom Hausgrundbau getrennten Betonblock her, der möglichst bis zum gewachsenen Boden reicht. Ist ausnahmsweise eine Aufschüttung unter dem Block nötig, so muß sie in dünnen Lagen (20 bis 30 cm) gestampft und eingeschlämmt werden.

3. Man ordnet einen vom Hausgrundbau getrennten Betonblock auf Holz- oder Betonpfählen an, wenn der tragfähige Baugrund tief liegt und eine Aufschüttung vermieden werden soll.

Ob der Flur des Maschinenhauses über dem höchsten Hochwasser liegen soll, hängt zunächst von der Anordnung der Pumpen ab. Die Heberanordnung ist ja gerade durch eine solche Lage gekennzeichnet. Es ist jedoch zu beachten, daß die Saughöhe nicht zu groß sein darf (S. 248). Bei der Tauchanordnung hat die hohe Lage des Flurs den Vorteil, daß die Kraftmaschinenanlage bei Deichbrüchen über Wasser bleibt. Auf jeden Fall muß der Maschinenflur so hoch liegen, daß er bei einer längeren Störung des Schöpfwerkbetriebes nicht von dem steigenden Binnenwasser erreicht wird.

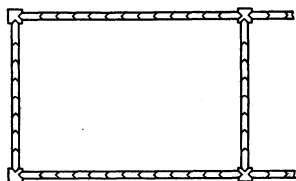


Abb. 189. Spundwandgründung für spätere Erweiterung.

Es kann sich empfehlen, von vornherein eine spätere Erweiterung des Schöpfwerkes in Erwägung zu ziehen, z. B. wenn die zweckmäßigste Größe der Anlage zunächst schwer zu ermitteln ist. In solchen Fällen ordnet man den Grundriß des Maschinenhauses so an, daß ein Anbau leicht zu bewerkstelligen ist. Bei Gründungen zwischen Spundwänden schlägt man dann zweckmäßig auf der Seite der späteren Erweiterung im Anschluß

an die Bundpfähle vorsorglich einige Spundbohlen (Abb. 189).

Wert ist auch auf das äußere Aussehen des Maschinenhauses zu legen, das sich namentlich seiner Umgebung anpassen soll.

Wenn Stromkraftmaschinen verwendet werden, die gegen Feuchtigkeit empfindlich sind, muß der Maschinenraum möglichst trocken sein. Hölzerne Schuppen sind dann besonders sorgfältig herzustellen, z. B. innen zu verputzen.

Helle Räume sind dringend erwünscht. Man Sorge daher für große Fenster, die zu vergittern sind. Ebenso ist eine ausreichende Beleuchtung vorzusehen. Muß der Schöpfwerkwärter sich häufig längere Zeit im Maschinenhause aufhalten, so empfiehlt sich die Herstellung eines besonderen Aufenthaltsraumes mit einfacher Ausstattung einschließlich Heizung und Waschgelegenheit sowie eines Abortes. Die Zweckmäßigkeit einer Fernsprechanlage ist zu prüfen. Je größer die Schöpfwerkanlage ist, um so umfangreicher müssen auch die Anlagen sein, die Ausbesserungen an Ort und Stelle ermöglichen, von einer einfachen Werkbank bis zu einer vollständigen Werkstatt. Zum Heben der größeren Maschinenteile sind Flaschenzüge oder ein Laufkran vorzusehen. Schon beim Entwerfen des Maschinenhauses ist auf die Anbringung

der Hebezeuge Rücksicht zu nehmen. Bei tiefliegenden Pumpen ist darauf zu achten, daß sie durch eine genügend große Öffnung im Flur des Maschinenhauses nach oben gehoben werden können. Dadurch werden Ausbesserungen sehr erleichtert.

Neuerdings haben die Siemens-Schuckert-Werke den Vorschlag gemacht, elektrische Schöpfwerke ohne Maschinenhaus, sog. Freiluft-Schöpfwerke, zu bauen. Die für derartige Schöpfwerke in Anwendung kommenden Einrichtungen haben sich für andere Verwendungszwecke schon häufig im Freien bewährt. Eine solche Anordnung dürfte auch für Schöpfwerke in Frage kommen (Abb. 190), soweit keine ständige Wartung erforderlich ist.

3. Nebenanlagen.

Für die Ein- und Auslaufbauwerke sind verschiedene Ausführungsarten üblich: einfacher Spundwandkasten mit unbefestigter Sohle, mit Beton- oder mit Pflastersohle. Dauerhafter sind Wände aus Beton oder Klinkern. Wenn das Wasser in größerem Ausmaße betonschädliche Stoffe enthält, sind Klinker zu wählen. Die Art der Sohlenbefestigung hängt von der Wasserbewegung ab, die bei einer günstigen Anordnung der Saug- und Druckrohre sehr gleichmäßig und ohne

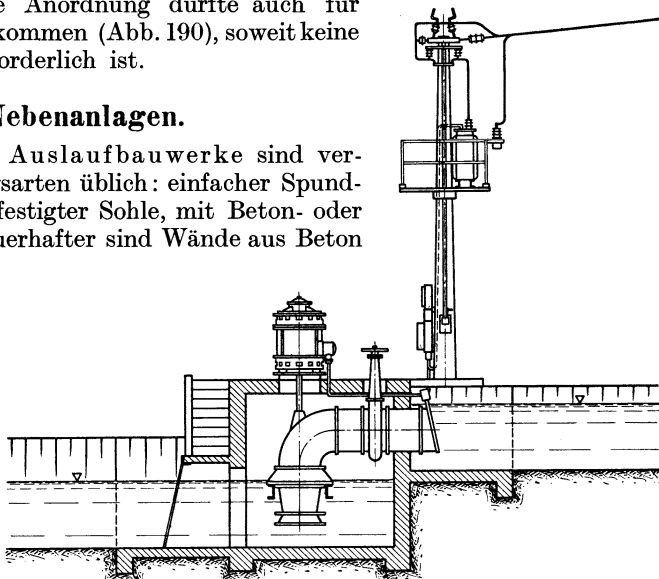


Abb. 190. Freiluft-Schöpfwerk von Siemens-Schuckert.

kolkende Wirbel sein kann (S. 261). Nötigenfalls hat man auch die Sohle und unteren Böschungsteile des Vorfluters am Auslaufbauwerk noch besonders zu befestigen, z. B. mit Steinschüttung. Spundwandkästen bedürfen unter Umständen einer Absteifung. Man führt hölzerne Spundwände keinesfalls über *MW*, besser nicht über *MNW* hinaus, da ihr oberer Teil sonst leicht fault. Darüber ist eine Böschung anzusetzen, die gut zu berasen oder besser noch zu pflastern ist. Die Sohle des Einlaufbauwerkes soll so tief liegen, daß der Binnenwasserstand auch für Grabenräumungen tief genug abgesenkt werden kann.

Ist das Einlaufbauwerk mit dem Maschinenhaus verbunden, so ist eine spätere Vertiefung seiner Sohle schwierig und kostspielig. Man gibt daher in solchen Fällen bei der Bemessung der Sohlenlage einen ausreichenden Sicherheitszuschlag. Um Betriebsstörungen der unter Wasser liegenden Pumpe schnell beseitigen zu können, muß die Einlaufkammer (der Pumpenschacht) gegen das Binnenwasser abgesperrt werden können, bei kleineren Anlagen mit Dammbalken, bei größeren mit Schützen oder Nadeln. Die Verschlußvorrichtungen sind möglichst so anzuordnen, daß man jede von mehreren Pumpen eines Schöpfwerkes für sich ausschalten kann, ohne daß der Betrieb der anderen gestört wird. Das Auspumpen des Pumpenschachtes geschieht mit einer vorzuhaltenden besonderen Hilfspumpe. Dammbalkenfalze sind auch sonst überall dort vorzusehen, wo man zu Ausbesserungszwecken das Wasser gelegentlich auspumpen will.

Die Schöpfwerke werden mit Pumpenrechen ausgestattet. Diese haben allerdings den Nachteil, daß sie die Hubhöhe der Pumpen vergrößern, da sich

am Rechen ein Stau bildet, namentlich, wenn er durch Kraut oder Eis zum Teil zugesetzt ist. Der Rechen wird in der Regel im Einlaufbauwerk untergebracht. Er ist für vollen Wasserüberdruck zu berechnen, damit er nicht eingedrückt wird, wenn er sich zusetzt. Man kann ihn auch vor dem Mahlbusen in den Zuleiter auf eine Querspundwand setzen. Das hat den Vorteil, daß das Wasser hinter dem Rechen nicht so schnell fällt, wenn dieser sich zusetzt. Die Anordnung ist aber teurer als wenn der Rechen im Einlaufbauwerk liegt. Sehr zweckmäßig ist es, wenn man den Rechen leicht hochziehen und über Wasser festlegen kann, um ihn so bequem zu reinigen. Bei großen Schöpfwerkanlagen kann eine elektrische Heizvorrichtung des Rechens in Frage kommen, um ein Verstopfen mit Eis zu verhindern. Bei der Tauchanordnung läßt sich das Einströmen kalter Luft in den Pumpenschacht und die damit verbundene Frostgefahr dadurch verhindern, daß der Einlauf zum Schacht und der Rechen ganz unter Wasser angeordnet werden.

Man unterscheidet Grob- und Feinrechen. Falls ein Schutz der Fischerei erforderlich ist, sind Feinrechen mit einer lichten Weite von höchstens 20 mm zu verwenden. Im übrigen soll die Rechenweite kleiner sein als die kleinste Lichtweite der Laufräder und Leitanlagen der Pumpe. Am empfindlichsten sind die Zellenräder, besonders bei kleineren Pumpen. Auch Flügelräder mit verstellbaren Flügeln bedürfen eines guten Schutzes. Man verwendet daher in diesen Fällen Feinrechen, während sonst oft Grobrechen genügen, die billiger sind und weniger stauen. Bisweilen ordnet man auch zwei Rechen an, einen Grob- und einen Feinrechen. Ersteren dann meistens in einfacher, billiger Holzbauweise, z. B. aus Rundhölzern; der Feinrechen wird so durch den Grobrechen entlastet und geschont.

Grundsätzlich soll jedes Schöpfwerk je einen Pegel im Binnenwasser und Außenwasser erhalten. Das ist schon deshalb nötig, damit dem Schöpfwerkwärter Vorschriften gegeben werden können, wie er das Schöpfwerk bei den verschiedenen Binnen- und Außenwasserständen zu bedienen hat. Die Pegel ermöglichen ferner die Feststellung der jeweiligen Hubhöhe H_q und damit eine Überwachung des Schöpfwerkbetriebes. So kann man beispielsweise prüfen, ob der Kraftbedarf bei gleicher Hubhöhe sich verändert; in solchen Fällen hat man der Ursache nachzugehen und etwaige Störungen oder Mängel zu beseitigen. Auch Leistungsprüfungen und Untersuchungen von allgemeinem Interesse sind ohne Pegel nicht durchzuführen.

Für die Druckrohrleitungen verwendet man Gußeisen, Flußstahl, Beton oder Eisenbeton. Auch eine Klinkerumkleidung um Betonrohre kommt in Frage, um die Lebensdauer der Rohrleitung zu erhöhen. Beton- und Eisenbetonrohre können auch über dem niedrigsten Wasserstand verwendet werden, wenn ein völliger Luftabschluß nicht erforderlich ist. Andernfalls (in Heberleitungen) kleidet man sie mit Blech aus. Sie verlangen eine sichere Gründung, damit keine Senkungen eintreten. Enthält das Wasser in nennenswertem Umfange betonschädliche Stoffe, so sind Betonrohre abzulehnen. Ein Schutzanstrich der Betonrohre ist stets ratsam (S. 372). Im übrigen ist es im wesentlichen eine Kostenfrage, ob Eisen oder Beton gewählt wird.

Gußeisen hat vor Flußstahl den Vorteil einer größeren Sicherheit gegen Rosten, weil es kohlenstoffreich ist, infolge seiner größeren Wandstärke und weil die Gußhaut einen Rostschutz bildet (191). Als Schutzanstrich hat sich ein Grundanstrich mit Mennige mit 2 bis 3 weiteren Teeranstrichen bewährt (Steinkohlenteer). Er ist besonders wichtig für Stahlrohre. Innere Schutzanstriche haben aber nur eine beschränkte Wirkungszeit, da sie den Angriffen des im Wasser mitgeführten Sandes nicht dauernd standhalten. Die Erneuerung des inneren Schutzanstriches ist nur möglich bei begehbaren Rohren. Diese kann man daher unbedenklich aus Stahl herstellen. Bei Senkungen sind

Muffenverbindungen nachgiebiger und daher zweckmäßiger als Flanschen, Stahlrohre widerstandsfähiger als gußeiserne, da sie zugfester als diese sind. Die Muffen werden meistens mit Hanfstrick und Bleiverstimmung gedichtet. Neuerdings sind Versuche mit Aluminiumwolle gemacht worden, die sich zu bewähren scheint. Bei großen Durchmessern ist zu prüfen, ob die Stahlblechrohre auch den äußeren Überdruck aushalten. Eiserne Rohre mit sehr großem Durchmesser (> 1 m) bedürfen häufig einer besonderen Unterlage, z. B. aus Beton. Tiefe Rohrleitungen können recht erhebliche Kosten für die Erdarbeiten verursachen.

Eine schlanke Linienführung der Rohre ist die Voraussetzung für geringe Rohrwiderstände. Wenn dadurch auch höhere Baukosten entstehen, so werden diese doch oft durch die Ersparnis an laufenden Betriebskosten mehr als aufgewogen. Auch Schieber verursachen Kraftverluste.

Man rechnet bei eisernen Saug- und Druckrohren mit einer größten Wassergeschwindigkeit von 2,0 bis 2,5 m/s und geht bei längeren Rohrleitungen nicht gern über 2,0 m/s hinaus. Für Beton- und Schleuderbetonrohre ist der Größtwert zu 1,5 m/s anzunehmen.

Im allgemeinen erhält jede Pumpe ein besonderes Druckrohr. Wird dieses infolge besonderer örtlicher Verhältnisse außergewöhnlich lang, so kann man die Rohrwiderstände dadurch herabsetzen, daß man entweder eine Druckkammer nach Abb. 186 einschaltet oder ein gemeinsames Druckrohr für mehrere Pumpen anordnet, an das die einzelne Pumpe durch ein Anschlußrohr mit Schieber angeschlossen wird. Wenn

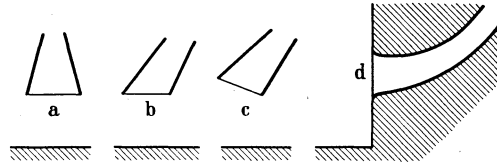


Abb. 191. Formen des Zulaufes.

dann nur eine Pumpe arbeitet, ist die Wassergeschwindigkeit im Druckrohr sehr gering und somit auch der Rohrwiderstand. Ein großes Rohr hat häufig auch den Vorzug, daß es begehbar ist. Nachteilig ist die Abhängigkeit des gesamten Betriebes von einem Rohr.

Von besonderer Bedeutung ist die Ausbildung sowie die Anordnung der Ein- und Auslaufstücke. Saug- und Druckrohre sollen an ihren Enden trichterförmig erweitert werden, um die Eintritt- und Austrittsgeschwindigkeit des Wassers zu verringern. Der höchste Punkt der Saugkante des Einlaufstückes soll mindestens um halbe Saugrohrstärke unter dem tiefsten Binnenpeil liegen.

Eingehende Lichtbilduntersuchungen über die im Zulauf von Schöpfwerken auftretenden Störungen hat Schulze-Pillot angestellt. Hierbei ergaben sich für die verwendeten Rohre a bis c (Abb. 191) drei Störungserscheinungen: Ablösung an umströmter Kante, Außendrall im Pumpenschacht und Innendrall im Saugrohr. Je schärfer die Kante des Saugtrichters ist, um so plötzlicher ist hier der Richtungswechsel zahlreicher Wasserteilchen. Die Strömung löst sich dann unter Wirbeln von der Wand ab. Dadurch wird der wirksame Querschnitt verengt, und es treten Verluste ein. Die Saugrohrkante ist daher kräftig abzurunden.

Der Außendrall entsteht dadurch, daß das zufließende Wasser durch das Saugrohr in zwei Äste geteilt wird, die sich hinter dem Saugrohr nicht wieder schließen. Es bilden sich Wirbel, die gegen die Rückwand des Schachtes stoßen. Der entstehende Drall umschließt einen Kern aus Luft, der bis an die Oberfläche reicht. Dieser Luftschlauch kann bis in das Saugrohr hinabgesogen werden. Die Pumpe saugt dann Luft, und ihr Wirkungsgrad fällt stark ab. Man rückt das Saugrohr möglichst nahe an die Rückwand des Pumpenschachtes heran, so daß diese den Wirbel abbremst, und bringt am unteren Saugrohrtrand eine ringförmige, waagerechte Blechblende an.

Der Innendrall wird dadurch bewirkt, daß das Wasser von allen Seiten dem Saugrohr zuströmt. Im Innern des Dralles bildet sich ein hohler, mit Luft und Wasserdampf gefüllter Kern. Auch der Innendrall hat Verluste auf Kosten der Nutzleistung der Pumpe zur Folge. Setzt man einen Kegel mit der Spitze nach oben gegenüber der Saugrohrachse auf den Boden des Pumpenschachtes, so wird der Wirbel schon im Zustande der Entstehung abgebremst.

Die vorstehend geschilderten Störungen werden vermieden, wenn man das Saugrohr nach Abb. 191d ausbildet, z. B. in Beton.

Die Rückschlagklappen bestehen aus Eisen oder Holz. Sie sind so auszuwiegen, daß sie sich schon bei geringem Überdruck öffnen, damit nicht unnötige Kraft zum Heben der Klappe verbraucht wird. Man erreicht das bei eisernen Klappen durch Gegengewichte, während hölzerne mit Eisen beschwert werden.

Selbsttätige Schalteinrichtungen werden durch Schwimmer betätigt, die ins Binnenwasser tauchen. Zwischen Anlasser und Schwimmer liegt ein Schwachstrom-Auslöser, die Ein- und Ausschaltung erfolgt selbsttätig. Falls der Wärter unmittelbar am Schöpfwerk wohnt, wird er im allgemeinen den Stand des Binnenwassers von seiner Wohnung aus beobachten können. Andernfalls ist eine Meldevorrichtung einzurichten, die ihm mitteilt, ob der zulässige Höchststand des Binnenwassers überschritten ist. Sehr zweckmäßig sind selbstschreibende Strommesser, aus denen man ersehen kann, wann die Pumpe gearbeitet hat und mit welcher Stromstärke. Eine ungewöhnliche Stromstärke läßt auf Störungen schließen.

Die selbsttätige Ein- und Ausschaltung hat sich nur bei unter Wasser liegenden Pumpen bewährt, da diese nicht entlüftet zu werden brauchen. Bei Heberpumpen muß man sich auf die selbsttätige Ausschaltung beschränken, mit der eine selbsttätige Belüftung zu verbinden ist, damit das Außenwasser nicht in den Polder zurückläuft. Eine weitere Voraussetzung des selbsttätigen Betriebes ist ein ausreichender Speicherraum am Schöpfwerk, damit die Schaltungen nicht zu häufig stattfinden. Aus demselben Grunde darf keine wesentliche Verstopfungsgefahr für den Rechen bestehen. Sind mehrere Pumpen vorhanden, so sieht man eine stufenweise Einschaltung vor, d. h. die zweite Pumpe schaltet sich erst bei einem höheren Binnenwasserstand ein als die erste, wenn also das Binnenwasser trotz der Pumparbeit der ersten Pumpe weiter ansteigt.

Betriebsöl lagert man in eisernen Behältern, die wegen der Feuergefahr außerhalb des Maschinenhauses und nicht unmittelbar neben diesem einzubauen sind. Kühlwasserbehälter werden im Maschinenhaus untergebracht.

Umspanner werden entweder in besonderen Umspannerhäuschen oder innerhalb des Maschinenhauses in einem getrennten Raum aufgestellt. Letzteres ist vorzuziehen, wenn der Strom in unmittelbarer Nähe des Schöpfwerkes umgespannt werden kann, da die Vereinigung des Umspanner- und Maschinenraumes in einem Gebäude meistens am billigsten ist.

Die bei elektrischem Antrieb erforderliche Schalttafel soll einen Voltmeter und Wattmesser sowie einen Größt- und Kleinstausschalter aufweisen. Mit Hilfe des Voltmeters wird die Spannung geprüft, bei deren Absinken die Stromstärke steigt und daher ein Warmwerden der Stromkraftmaschine droht. Der Wattmesser zeigt laufend den Kraftverbrauch an, somit auch eine etwa eintretende Überlastung der Kraftmaschine. Wenn eine solche eintritt, schaltet der Größtausschalter den Strom selbsttätig aus, während der Kleinstausschalter dieselbe Wirkung bei einer Unterbrechung der Stromzuführung ausübt. Dieser verhindert also, daß die Kraftmaschine beim Wiedereinsetzen des Stromes sofort mit voller Drehzahl zu laufen beginnt.

Zu den Nebenanlagen eines Schöpfwerkes gehört in der Regel auch ein Deichsiegel (S. 182). Es kann als besonderes Bauwerk ausgeführt oder baulich mit dem Schöpfwerk vereinigt werden. Letzteres ist oft bei der Blockbauweise der Fall.

D. Die Wahl der Schöpfwerkmaschinen.

Die Wahl der im Einzelfall zweckmäßigsten Schöpfwerkmaschinen muß stets auf einer Gemeinschaftsarbeit des Wasser- und Maschinenbauers beruhen. Dabei darf keinem der beiden das Gebiet des anderen fremd sein. Eine mündliche Besprechung der auftretenden Fragen ist dringend zu empfehlen. Man vgl. auch die Ausführungen im Abschnitt B.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Von großer Bedeutung für die Wahl der Kraftmaschinen sind die Jahreskosten (Abschnitt E). Denn die Wirtschaftlichkeit einer Schöpfwerkanlage hängt wesentlich von der jährlichen Belastung der zu entwässernden Flächen durch Zinsen, Tilgung, Betriebs- und Unterhaltungskosten ab. Die günstigste Kraftmaschine läßt sich daher in der Regel nur durch vergleichende Kostenberechnungen ermitteln. In den weitaus meisten Fällen sind es die Stromkraftmaschine und die verdichterlose Dieselmachine, die in Wettbewerb miteinander treten.

Beim Vergleich der Stromkraft- und der Dieselmachine ergibt sich hinsichtlich der Betriebskosten fast stets eine Überlegenheit der letzteren, es sei denn, daß die Kraftwerke einen sehr niedrigen Strompreis stellen. Wenn man bei derartigen Vergleichsrechnungen den billigen Nachtstrom zugrunde legen will, muß man beachten, daß dann das ganze Schöpfwerk stärker ausfällt, weil nur nachts gepumpt wird. Dabei ist auch zu prüfen, ob das Aussetzen des Pumpbetriebes während der Tagesstunden zulässig ist, weil eine ausreichende Speichermöglichkeit besteht. Der bloße Nachtbetrieb kostet weniger Bedienung als der doppelt so lange Tag- und Nachtbetrieb.

Einen Vergleich der Betriebskosten stellt man wie folgt an: 1 PSh an der Pumpenwelle sind 0,736 kWh. Rechnet man mit einem Gesamtwirkungsgrad der Stromkraftmaschine einschließlich der Hochspannungsanlage von 89%, so sind der Kraftmaschine $\frac{0,736}{0,89} = 0,827$ kWh zuzuführen. Somit kostet die PSh bei einem kW-Stundenpreis von 6 Pfg. 4,96 Pfg. Eine Dieselmachine verbraucht je PSh rund 200 g Brennstoff. Wenn 1 kg Öl 18 Pfg. kostet, so ergibt sich ein PS-Stundenpreis von 3,60 Pfg.

Die geringen Betriebskosten der Dieselmachine werden jedoch mehr oder weniger dadurch wieder ausgeglichen, daß sie wesentlich höhere Anschaffungskosten erfordert als die gewöhnliche Drehstromkraftmaschine, daher auch einen höheren Zins- und Tilgungsdienst. Je größer die Anzahl der jährlichen Betriebsstunden ist, um so mehr tritt der Vorteil der niedrigen Betriebskosten gegenüber dem höheren Zins- und Tilgungsdienst in Erscheinung. Aus diesem Grunde ist das durch eine Dieselmachine angetriebene Schöpfwerk in der Regel bei langer Betriebsdauer, das elektrisch betriebene bei kurzer Betriebszeit überlegen. Auch hohe Zins- und Tilgungssätze fördern den Einbau der billigeren Stromkraftmaschinen.

Bei dem Vergleich der Diesel- und Stromkraftmaschine können auch volkswirtschaftliche Gesichtspunkte mitsprechen. Während der Strom ein Inlandserzeugnis ist, mußte bisher noch der größte Teil des Treiböls aus dem Auslande bezogen werden.

Ferner müssen die Kosten, die für die Heranschaffung des Stromes oder des Öls aufzuwenden sind, berücksichtigt werden. Lange Zuleitungen und die Umspannung hochgespannten Stromes auf die Betriebspannung können hohe Kosten verursachen. Auf der anderen Seite kann bei langen und schlechten Zuwegungen auch das Anfahren des Öls beschwerlich und teuer werden.

In der Wartung zeichnet sich die Stromkraft- vor der Dieselmachine durch größere Einfachheit aus. Sie kann daher leichter als diese auch durch

ungeübte Leute bedient werden, was für Schöpfwerke deshalb von Bedeutung ist, weil häufig keine vollen Fachkräfte für ihre Bedienung zur Verfügung stehen. Ausbesserungen an den Stromkraftmaschinen, Umspannern und Leitungen werden in der Regel von den überall vorhandenen Fachkräften der Kraftwerke in kurzer Zeit erledigt, wenngleich bisweilen auch schädliche Zeitverluste vorgekommen sind. Bei Dieselmotoren kann es erforderlich werden, erst einen Fachmann des Lieferwerkes kommen zu lassen, wodurch wertvolle Zeit verloren geht.

Der selbsttätige Betrieb eines Schöpfwerkes verlangt stets elektrischen Antrieb. Wenn Wert darauf gelegt wird, die Umlaufzahl der Kraftmaschine weitgehend zu ändern, kann auch dieser Gesichtspunkt zur Wahl des elektrischen Antriebes führen, da man die Umlaufzahl der Dieselmotore nur bis auf etwa 70% der größten herabsetzen soll (S. 274).

Windkraftmaschinen kommen hauptsächlich in der Nähe der Meeresküsten zum Antrieb von Schöpfwerken in Betracht (S. 241). Die Unzuverlässigkeit der Windkraft kann um so eher in Kauf genommen werden, je seltener nach den örtlichen Verhältnissen mit Windklemmen zu rechnen ist, und je besser die in Frage kommenden Bestände vorübergehende Überschwemmungen vertragen. Man sollte daher die künstliche Entwässerung des Ackerlandes niemals allein auf die Windkraft abstellen, sondern höchstens Wiesen allein mit Windkraft entwässern. Denn auch auf Weiden können Überschwemmungen sehr störend für den Weidebetrieb werden. Um sicher zu gehen, kann man das Windschöpfwerk mit einer elektrischen oder Dieselmotore-Bereitschaft versehen. Dadurch werden aber die Anlagekosten erheblich erhöht. Lohnend kann eine solche Anlage infolgedessen nur dann sein, wenn ohne Windkraftmaschine die Betriebskosten einer Stromkraft- oder Dieselmotore im Vergleich zu den Anlagekosten ganz besonders hoch sein würden.

Die Verwendung von Dampfmaschinen ist auf besondere Fälle beschränkt. So kann im Moor die Ausnutzung des Torfes an Ort und Stelle den Anlaß geben, ein Dampfschöpfwerk zu bauen. Behelfmäßige Schöpfwerke werden bisweilen mit Fahrdampfmaschinen (Lokomobilen) betrieben, die ohnehin oft für landwirtschaftliche Zwecke vorhanden sind.

Auf die Kraftmaschinen, die gleichzeitig Wasserhebemaschinen sind (S. 249), soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie nur selten Verwendung finden.

Die Wahl der zweckmäßigsten Pumpen steht in enger Beziehung zur baulichen Anordnung der ganzen Schöpfwerkanlage. So können z. B. hohe Gründungskosten die Tauchanordnung verbieten, die Größe des Maschinenhauses ist stark von der Pumpenart abhängig usw. Man hat daher die Frage der zu wählenden Pumpen und ihrer Anordnung stets im Zusammenhang mit den baulichen Fragen zu prüfen.

Da die Frage der zweckmäßigsten Pumpen nur auf Grund maschinenbaulicher Sonderkenntnisse zu lösen ist, deren Kenntnis bei einem Wasserbauer nicht vorausgesetzt werden kann, so werden stets Angebote mehrerer Pumpenwerke eingeholt, die auch die Kraftmaschinen mit anbieten und liefern müssen, damit nur eine Stelle für die gesamte Maschinenanlage verantwortlich ist. Aufgabe des Wasserbauers ist es, alsdann die Wirtschaftlichkeit der Angebote miteinander zu vergleichen (S. 275). Daneben sind jedoch noch andere Gesichtspunkte auch für den Wasserbauer wichtig.

So ist abgesehen von ganz kleinen Anlagen stets zu überlegen, ob man eine oder mehrere Pumpen aufstellen will. Zwei und mehr Pumpen haben den Vorteil einer größeren Betriebssicherheit, da bei einer Störung an einer Pumpe nicht das ganze Schöpfwerk ausfällt. Mehrere Pumpen ermöglichen außerdem eine bessere Anpassung der Schöpfwerkleistung an den wechselnden Wasserzufluß als eine. Bei mehreren Pumpen gleicher Leistung brauchen weniger

Ersatzteile vorrätig gehalten zu werden, als wenn alle Pumpen verschieden groß sind. Demgegenüber gewähren aber Pumpen verschiedener Größe eine bessere Anpassung an den Wasserzufluß. Man kann mit drei Pumpen der Leistung 1, 2 und 4 eine Schöpfwerkeleistung von 1 bis 7 in gleichen Abstufungen erreichen, je nachdem man eine, zwei oder alle drei Pumpen arbeiten läßt. Bei vier Pumpen der Leistung 1, 2, 4 und 8 erhält man sogar die 15 Stufen 1 bis 15.

Ob Zellen-, Schrauben- oder Flügelräder gewählt werden, kann man im allgemeinen dem Pumpenwerk überlassen. Nur wenn zur Anpassung an den Wasserzufluß verstellbare Flügel gewünscht werden, müssen Flügelumpen zur Verwendung kommen.

Auch die Vor- und Nachteile der Heber- und Tauchanordnung sind für den jeweiligen Fall von vornherein zu prüfen. Selbsttätiger Betrieb macht die Tauchanordnung nötig oder erwünscht (S. 262). Auch bei häufigen Unterbrechungen des Betriebes ist die Tauchanordnung dringend zu empfehlen. Will man den Deich nicht tief anschneiden, so ist man gezwungen, zur Heberanordnung oder zur Tauchanordnung mit Heberleitung zu greifen, wenn nicht eine Druckkammer (S. 257) vorgeschaltet werden soll. Auch das Bestreben, Störungen an der Pumpe schnell beseitigen zu können, führt zur Heberanordnung. Sind große Wassermengen auf geringe Hubhöhen zu fördern, so sind möglichst geringe Rohrwiderstände erwünscht. Das bedingt offene Unterwasserpumpen ohne Rohrleitungen in Blockbauweise. So sind noch manche andere Überlegungen anzustellen, wenn die Wahl der Pumpe und ihre Anordnung zur Entscheidung stehen.

Von besonderer Bedeutung ist die Anpassung der Pumpenleistung an die wechselnden Zuflußmengen und Förderhöhen. Dabei sind folgende Umstände von Bedeutung:

1. Zahl, Größe und Art der Pumpen.
2. Änderung der Pumpendrehzahl.
3. Änderung der Flügelstellung bei Flügelumpen.
4. Änderung der Wirkungsgrade von Kraftmaschinen und Pumpen mit wechselnder Förderhöhe und Drehzahl.
5. Speichermöglichkeit für das Binnenwasser.
6. Betriebsdauer je Tag (24 h).

Die Förderhöhen sind bei allen folgenden Untersuchungen auf einen festen Binnenwasserstand (Binnenpeil) bezogen. Man unterscheidet den gewöhnlichen Binnenpeil (MW) und den höchsten. Letzterer liegt etwas unter Gelände. Bei den Untersuchungen über die Leistung und Jahreskosten eines Schöpfwerkes kommt man in vielen Fällen den wirklichen Verhältnissen des Schöpfwerkes am nächsten, wenn man das Mittel des gewöhnlichen und höchsten Binnenpeils (mittlerer Binnenpeil) als Ausgangspunkt für die Förderhöhe nimmt. Nur in Tiefpoldern mit ihrem Dauerbetrieb kann es sich empfehlen, die Förderhöhen vom gewöhnlichen Binnenpeil aus zu rechnen.

Um die von einem Pumpenwerk angebotene Anlage zu prüfen, trägt man die Kennlinien der Pumpen und den Arbeitsbereich des Schöpfwerkes (gestrichelte Fläche) nach Abb. 192 auf. Wegen der Ermittlung der Höchstmengen vgl. die Ausführungen auf S. 271 (Abb. 194). Die Kleinstmengen sind MNW und das den jeweiligen Hubhöhen entsprechende Drängewasser. Im vorstehenden Beispiel wird verlangt, daß bei einer Hubhöhe $H_g = 3,20$ m $Q = 3,75$ m³/s gepumpt werden. Mit dem Pumpen soll begonnen werden, wenn das Außenwasser um 0,50 m über den mittleren Binnenpeil gestiegen ist. Die beiden Pumpen *I* und *II* werden durch polumschaltbare Stromkraftmaschinen mit je zwei Drehzahlen a und b betrieben. Die gestrichelten Linien geben die Förderleistung Q an, wenn zwei Pumpen gleichzeitig arbeiten. Je enger die Kennlinien im Arbeitsbereich liegen, und je gleichmäßiger sie sich über ihn

2. Die Leistung der Maschinen.

Die erste beim Entwerfen von Schöpfwerken zu beantwortende Frage ist die nach der erforderlichen Leistung der Pumpen, d. h. die Ermittlung der sekundlich zu pumpenden Wassermengen und der Hubhöhen. Um den Lieferwerken einen vollständigen Überblick über die an die Pumpen zu stellenden Anforderungen zu geben, sind folgende Angaben erforderlich:

1. Die größten sekundlichen Wassermengen Q , die bei den verschiedenen Hubhöhen H_g zu heben sind (m^3/s).

2. Die gesamten Wassermengen M , die bei den verschiedenen Hubhöhen H_g im Mittel der Jahre zu pumpen sind (m^3).

Die erste Angabe ist unentbehrlich für eine richtige Leistungsbemessung der Pumpen, die zweite zeigt, in welchem Bereich der Förderhöhe der Hauptteil der Pumpenarbeit zu leisten ist und demnach der Wirkungsgrad der Anlage möglichst groß sein sollte, damit die Jahreskosten gering werden. In Abb. 193 sind zu den verschiedenen Bereichen der Hubhöhen H_g das zugehörige Vielfache aus Wassermenge M und Druckhöhe H_m , also die von der Pumpe zu leistende Arbeit, sowie die Wirkungsgradlinie der Pumpe aufgetragen. Wegen der Berechnung der Werte M vgl. S. 272, wegen der Ermittlung der Jahreskosten S. 275.

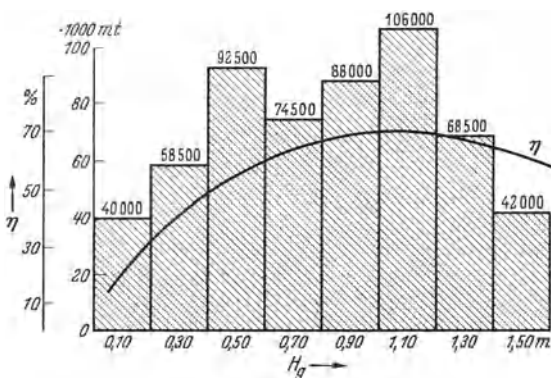


Abb. 193. Pumpenarbeit bei verschiedenen Hubhöhen.

Die dem Schöpfwerk zufließenden Wassermengen teilt man in vier Gruppen:

1. und 2. Abfluß der im Polder und im Fremdgebiet fallenden Niederschläge. Als Poldergebiet gilt dabei die unter der Flußhochwasserlinie im Deichschutz liegende Fläche. Polder und Fremdgebiet bilden zusammen das oberirdische Einzugsgebiet des Schöpfwerkes.

3. Qualm- und Kuverwasser (S. 139).

4. Sonstiges Wasser, das aus Niederschlägen stammt, die weder im Polder, noch im Fremdgebiet gefallen sind. Dabei handelt es sich um Quellen oder um Druckwasser, das von der Seite her in das oberirdische Einzugsgebiet des Schöpfwerkes einströmt (vgl. z. B. Abb. 35).

Bei der Bestimmung der größten sekundlichen Zuflußmenge zu einem Schöpfwerk geht man zweckmäßig zunächst davon aus, daß nur die Niederschläge im Polder und Fremdgebiet (Ziffern 1 und 2) einen Abfluß liefern, der fortlaufend entweder mit natürlicher Vorflut abfließt oder herausgepumpt wird. Es bedarf keiner Begründung, daß in solchen Fällen dieselben Abflußspenden anzuwenden sind wie bei der Grabenentwässerung ohne Schöpfwerke (S. 132). In diesen Abflußspenden müssen natürlich die Witterungsverschiedenheiten der einzelnen Gegenden sowie die Wirkung der Schneeschmelze zum Ausdruck kommen.

Nun ist der ständige auch im Winter durchgeführte Schöpfwerkbetrieb zum mindesten bei angespannter Wirtschaftsweise zwar zweckmäßig, um den Frost auf den Boden einwirken zu lassen. Trotzdem kommt er nicht immer zur Anwendung. Alsdann steigt im Winter das Grundwasser mancher Polder, namentlich der Tiefpolder, weit mehr, als dem allgemeinen winterlichen Anstieg entspricht, und muß vor Beginn des Wachstums wieder abgesenkt werden. Man hat daher in solchen Fällen vorübergehend mit einer gesteigerten Leistung

des Schöpfwerkes zu rechnen. In Norddeutschland muß diese Arbeit in etwa 15 bis 30 Tagen erledigt sein. Die zusätzliche Leistung des Schöpfwerkes, die die gewöhnlichen Abflußpenden des Frühjahrshochwassers übersteigt, kann nur ganz roh ermittelt werden. Wenn beispielsweise in den Monaten November bis März nicht gepumpt wird, würde sich in einem Tiefpolder, der keine freie Vorflut hat, folgende zusätzliche Leistung z des Schöpfwerkes in $l/s \cdot km^2$ ergeben:

$$z = (N - V - R) \frac{12}{t}. \quad (146)$$

N = Niederschläge von November bis März in mm.

V = Verdunstung „ „ „ „ „ „

R = Wasserspeicherung in mm, die dem allgemeinen winterlichen Steigen des Grundwassers sowie der Eis- und Schneedecke entspricht (Zahlen-tafel 65). Im großen Durchschnitt in den nord- und mitteldeutschen Niederungen mindestens 50 mm.

t = Anzahl der Tage (15 bis 30), in denen die zusätzliche Leistung erledigt werden soll. Jeder Tag zu 24 h gerechnet.

Daneben können Drängewasser und Druckwasser (Ziffern 3 und 4) zur Aufspeicherung kommen. Fließt im Winter ein Teil der Niederschläge N mit freier Vorflut ab, so kann man versuchen, diesen Abfluß zu schätzen. Wenn Erfahrungen darüber vorliegen, um welche Höhe h (in mm) das Grundwasser bei fehlendem Winterbetrieb in der kalten Jahreszeit über den allgemeinen winterlichen Anstieg hinaus zu steigen pflegt, so läßt sich auch hieraus in Verbindung mit der anteiligen Wasserlieferung φ des Bodens (S. 20) z ganz roh berechnen, indem man in Gl. (146) statt $(N - V - R)$ den Wert $h \cdot \varphi$ setzt.

Nennenswerte Drängewassermengen treten in der Regel erst dann auf, wenn das Außenwasser etwa 0,5 bis 1,0 m über das Gelände des Polders gestiegen ist. In besonders ungünstigen Fällen beginnt das Qualmen bereits, wenn das Außenwasser die Geländehöhe erreicht hat. Die kleineren Zahlen gelten für leicht durchlässigen, die größeren für schwer durchlässigen Untergrund. Die Erfahrung hat ferner gezeigt, daß die sekundliche Drängewassermenge etwa verhältnismäßig mit dem Steigen des Außenwassers wächst. Es sei:

H_0 die Höhe des Außenwassers über Binnenwasser, bei der das Qualmen beginnt, in m.

H_i die jeweilige Höhe des Außenwassers über Binnenwasser in m.

d_1 die Drängewassermenge in l/s je km Deichlänge für $H_i - H_0 = 1$ m.

Dann ist die sekundliche Drängewassermenge d in l je km Deich

$$d = d_1 (H_i - H_0). \quad (147)$$

Die Drängewasserspense d_1 ist in hohem Maße von den Bodenarten der Niederung abhängig. Leider sind wir zur Zeit noch auf rohe Schätzungen angewiesen. Eine besondere Schwierigkeit liegt darin, daß es in vielen Fällen sehr schwer ist, die in irgendeinem Polder gesammelten Erfahrungen auf einen anderen Polder zu übertragen, weil zu dem Zwecke sehr eingehende Untersuchungen der Untergrundverhältnisse in beiden Poldern erforderlich sein würden, die im Betriebe schon der Kosten wegen meistens unterbleiben. Nur dort, wo sehr gleichmäßige Bodenverhältnisse vorliegen, können derartige Rückschlüsse in Frage kommen. Wo aber die Beschaffenheit des Untergrundes stark wechselt, sind Vergleiche kaum möglich. Kann doch eine einzige Kiesader mehr Drängewasser liefern als viele km Deich mit günstigeren Bodenverhältnissen.

Die Drängewassermenge wird in der Hauptsache von der Durchlässigkeit des Untergrundes, weniger von der Beschaffenheit der Deiche selbst bestimmt. Daher wird der Wert d_1 um so größer, je durchlässiger der Untergrund in der Nähe der Deiche ist. Maßgebend sind namentlich diejenigen Bodenschichten, die von Entwässerungsgräben, Kolken, Teichen und anderen Vertiefungen angeschnitten und vom Drängewasser (Grundwasser) durchflossen werden.

Stark wechselnder Bodenbeschaffenheit ist Rechnung zu tragen. Denn Adern aus Kies und grobem Sand sind geeignet, auch in sonst wenig durchlässigen Poldern große Drängewassermengen zu liefern. Nennenswerter Schlickfall im Vorfluter kann die Durchlässigkeit des Flußbettes merklich verringern. Jedoch wirkt er sich in diesem Sinne auf den überströmten Vorländern weniger aus, weil seine dichtende Wirkung durch Rissebildung, durch die dauernde Tätigkeit der Kleinlebewesen, Tiere und Pflanzen sowie durch die landwirtschaftlichen Arbeiten beeinträchtigt wird.

Nach den Erfahrungen in Mitteldeutschland und in der norddeutschen Tiefebene kann man etwa mit folgenden Werten für d_1 rechnen:

Sehr wenig	5 l/s · km	Viel	30 l/s · km
Wenig	10 l/s · km	Sehr viel	50 l/s · km
Mittel	20 l/s · km		

Aufgabe des Entwurfbearbeiters ist es, auf Grund eingehender Erforschung der örtlichen Verhältnisse den Wert d_1 in Anlehnung an die obigen Zahlen einzuschätzen. Dabei sind zuverlässige örtliche Erfahrungen äußerst wertvoll.

Schließlich ist bisweilen noch der Zufluß von Grundwasser (Druckwasser) aus Nachbargebieten in das oberirdische Niederschlaggebiet eines Schöpfwerkes zu ermitteln (Ziffer 4). Man muß zu diesem Zweck unter Beachtung etwa vorliegender Beobachtungen die örtlichen erdkundlichen Verhältnisse prüfen (Abb. 35). Die Größe des Gebietes, aus dessen Versickerung das fremde Grundwasser stammt, kann in Verbindung mit der Jahresniederschlaghöhe eine überschlägliche Berechnung des gesamten Jahreszuflusses ermöglichen. Jedoch läßt sich der jeweilige sekundliche Zufluß überhaupt nicht berechnen, sondern höchstens aus Beobachtungen schätzen. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als die sekundliche Leistung des Schöpfwerkes in Ansehung der örtlichen Verhältnisse nötigenfalls gefühlmäßig zu vergrößern. Nur durchlässige, also sandige und kiesige Schichten können wirklich ins Gewicht fallende sekundliche Druckwassermengen liefern. In den meisten Fällen hat aber das fremde Grundwasser keinen nennenswerten Einfluß auf die größte sekundliche Zuflußmenge zum Schöpfwerk (S. 270).

Zusammenfassend ergibt sich mangels besserer Anhaltspunkte folgende Berechnungsart:

1. und 2. Polder und Fremdgebiet.

a) Schöpfwerk mit ununterbrochenem Winterbetrieb. Abflußspenden nach S. 132 (Frühjahrshochwasser).

b) Schöpfwerk ohne Winterbetrieb. Zu den Abflußspenden unter a) ist ein nach den jeweiligen örtlichen Verhältnissen zu bestimmender Zuschlag z zu geben, der so groß sein soll, daß die übergewöhnliche Winterspeicherung in 15 bis 30 Tagen entfernt wird [Gl. (146)].

3. Drängewasser.

a) Mit Winterbetrieb. d_1 s. oben.

b) Ohne Winterbetrieb. Zuschlag zu d_1 , der so zu schätzen ist, daß die winterliche Speicherung von Drängewasser in 15 bis 30 Tagen entfernt wird.

4. Sonstiges, meist Druckwasser. Ist nach örtlichen Beobachtungen und nach den erdkundlichen Verhältnissen zu schätzen (s. oben).

Allgemein bedürfen die bodenkundlich-erdkundlichen Verhältnisse des Gebietes einer eingehenden Berücksichtigung.

Bei der Schwierigkeit, die sekundliche Zulaufmenge zu den Schöpfwerken zutreffend zu bestimmen, ist es kein Wunder, daß sich im Schrifttum stark voneinander abweichende Angaben darüber finden. Der Fehler dieser Angaben liegt meistens darin, daß die in Einzelfällen gemachten Erfahrungen verallgemeinert werden. In Wirklichkeit sind die örtlichen Verhältnisse so verschieden, daß sie zu ganz verschiedenen Ergebnissen führen müssen.

Während Bertram für die Tiefpolder des Danziger Werders mit einer größten sekundlichen Pumpenleistung von $170 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ einschließlich Drängewasser rechnet, gibt es an anderen Stellen Schöpfwerke, die mit $50 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ allen Anforderungen genügen. Beide Zahlen sind auf einen Außenwasserstand bezogen, der das *MHW* etwas übersteigt, sowie auf das gesamte oberirdische Einzugsgebiet des Schöpfwerkes.

Der Deutsche Ausschuß für Kulturbauwesen (Schöpfwerkausschuß) gibt folgende Richtlinien (185 und 186):

1. Fremdgebiet. Bei sandiger Beschaffenheit Abfluß höchstens 20 bis $40 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, bei lehmiger Beschaffenheit ohne beträchtliche Höhenunterschiede nicht mehr als 40 bis 60. Diese Zahlen gelten für die norddeutsche Tiefebene. Bei stark eingeschnittenem, undurchlässigen Gelände, wie es oft an den diluvialen Höhenrändern vorkommt, sind größere Abflußspenden einzusetzen. Bewaldung verringert die vorstehenden Abflußspenden. Undurchlässiges, hügeliges Fremdgebiet kann größere Abflußspenden liefern als der Polder selbst. Von Bedeutung ist ferner, welche sekundlichen Wassermengen die Gräben des Fremdgebietes dem Polder zuführen können. Wenige und leistungsschwache Gräben wirken verzögernd und damit verringern auf den sekundlichen Höchstabfluß.

2. Polder. Größte Abflußspende vom Schlickboden $115 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, in regenreichen Gebieten der Nordseeküste und anderswo bei ungewöhnlichen Niederschlagverhältnissen $140 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Diese Zahlen enthalten noch nicht das Dränge- und Druckwasser (Ziffern 3 und 4).

Sandköpfe innerhalb des Poldergebietes, die so hoch über dem Polderwasserstand liegen, daß sie auch bei Übertreten der Poldergräben noch nicht eingestaut werden, und die kein Grabennetz besitzen, liefern nur 30 bis höchstens $50 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Dagegen werden bei flachen Sandfeldern mit engem Grabennetz die Abflußspenden der Schlickböden fast erreicht.

In großen flachen Tiefpoldern kann eine merkbare Verringerung der Abflußspenden dadurch eintreten, daß eine erhebliche Wassermenge im Grabennetz, auch in Seen und alten Flußschlenken vorübergehend gespeichert wird.

Der Schöpfwerkausschuß empfiehlt ferner, die Leistungsfähigkeit eines Schöpfwerkes nach den folgenden beiden Gesichtspunkten zu ermitteln:

a) Das Schöpfwerk muß imstande sein, zur Zeit der Schneeschmelze auch bei heftigen Niederschlägen und starkem Drängewasser infolge höherer Außenwasserstände den Zufluß so schnell zu bewältigen, daß eine Überstauung der Wintersaaten vermieden wird und die Flächen soweit abtrocknen, daß rechtzeitig mit der Frühjahrsbestellung begonnen werden kann.

b) Es müssen die größten Sommerabflußmengen in 1 bis 2 Tagen bei Acker und Weiden, in 3, äußerstenfalls 5 Tagen bei Wiesen ausgeschöpft werden können. Dabei darf das Grabenwasser bei Acker und Weiden keinesfalls austreten, bei Wiesen nur ausnahmsweise. Zu untersuchen ist aber von Fall zu Fall, ob es wirtschaftlich richtig ist, diese Fristen auch bei den selten auftretenden größten Niederschlägen zugrunde zu legen.

Zur Berechnung der größten sekundlich vom Schöpfwerk zu hebenden Wassermenge Q führen wir folgende Bezeichnungen ein:

Q_1 = sekundliche Drängewassermenge beim höchsten Außenhochwasser.

Q'_1 = sekundliche Drängewassermenge bei einem tieferen Außenhochwasser, das mehr oder weniger über *MHW* liegt.

Q_2 = größter sekundlicher Abfluß aus Polder und Fremdgebiet, abgeleitet aus den größten Abflußspenden dieser Gebiete (S. 132). Ohne Drängewasser.

Q'_2 = sekundlicher Abfluß aus Polder und Fremdgebiet, der aus den Abflußspenden eines mittleren Binnenhochwassers abgeleitet ist (S. 132). Ohne Drängewasser.

Bei spitzen Hochwasserwellen des Außenvorfluters, deren Höchststand nur kurze Zeit anhält, fallen nun Q_1 und Q_2 außerordentlich selten zeitlich zusammen. Es kann daher vielfach als ausreichend angesehen werden, wenn

man entweder $Q = 0,5 \cdot Q_1 + Q_2$ oder $Q = Q_1 + Q'_2$ setzt. Aus Sicherheitsgründen pflegt man den größeren der beiden Q -Werte, die sich aus den vorstehenden Gleichungen ergeben, zugrunde zu legen.

Häufig geht man auch davon aus, daß das HHW außendeichs außerordentlich selten zu erwarten ist und überdies noch erheblich höher liegt als die häufiger auftretenden größeren Hochwasser. In solchen Fällen kann es sich aus wirtschaftlichen Gründen empfehlen, eine sehr seltene kurze Überschwemmung, z. B. von Grünlandflächen, zuzulassen, indem man sich bei der größten möglichen Förderhöhe mit einer Minderleistung der Pumpen begnügt. Man legt daher der vollen Pumpenleistung ein Außenhochwasser zugrunde, das noch häufig genug vorkommt, um es beachten zu müssen. Bei dem so gewählten Außenhochwasser ist also die größte sekundliche Wassermenge $Q = Q'_1 + Q_2$ zu pumpen, während bei höheren Außenwasserständen der Q -Wert nach der Drossellinie kleiner wird.

Sodann ist die Frage zu beantworten, welche größten sekundlichen Wassermengen bei verschiedenen Förderhöhen zu heben sind. Wir wollen zunächst annehmen, daß der Binnenabfluß (Ziffern 1, 2 und 4) völlig unabhängig von den Wasserständen des Vorfluters sei, wie es bei Vorflutern mit sehr großem Einzugsgebiet der Fall ist. Während nämlich bei kleineren Wasserläufen größere örtliche

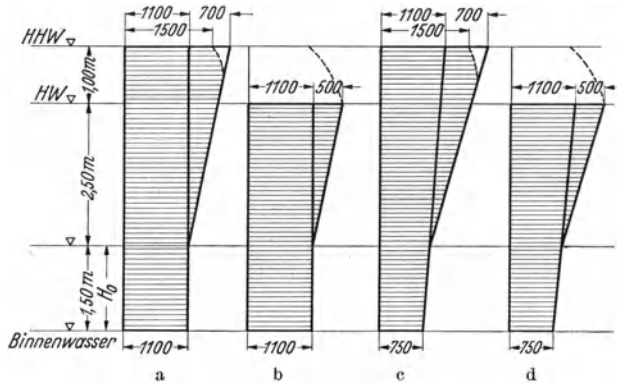


Abb. 194. Größte sekundliche Wassermengen bei verschiedenen Hubhöhen.

Niederschläge im Polder meistens mit höheren Außenwasserständen zeitlich zusammenfallen, fehlt eine solche Abhängigkeit bei größeren Wasserläufen in der Regel fast gänzlich. Denn in langen Zeiträumen kommt es ebenso häufig vor, daß starke örtliche Regenfälle im Einzugsgebiet des Polders auf niedrige Wasserstände des Flusses treffen, und daß umgekehrt der Fluß Hochwasser führt, während es im Polder selbst gar nicht oder nicht nennenswert regnet. Unter dieser Voraussetzung findet man die größten zu den verschiedenen Hubhöhen gehörigen sekundlichen Wassermengen mit den Bezeichnungen auf S. 270 wie folgt (Beispiel):

$$Q_1 = 700 \text{ l/s.} \quad Q'_1 = 500 \text{ l/s.} \quad Q_2 = 1100 \text{ l/s.} \quad Q'_2 = 800 \text{ l/s.}$$

$$Q = 0,5 Q_1 + Q_2 = 1450 \text{ l/s.} \quad Q = Q_1 + Q'_2 = 1500 \text{ l/s.}$$

Bei HHW sind demnach 1500 l/s zu pumpen. Abb. 194 a zeigt die zu den einzelnen Förderhöhen gehörigen sekundlichen Höchstmengen. Das Qualmen beginnt bei einem Außenwasserstand H_0 über Binnenwasser.

Geht man von dem in Abb. 194 dargestellten HW aus, wenn HHW äußerst selten eintritt, so ist

$$Q = Q'_1 + Q_2 = 1600 \text{ l/s.}$$

Die Höchstmengen sind in Abb. 194 b dargestellt.

Wenn bei kleinen Vorflutern der Binnenabfluß mit steigendem Außenwasser wächst, weil beide in örtlichen Niederschlägen ihre gleiche Ursache haben, so bewirkt dieser Umstand kleinere sekundliche Höchstmengen bei den niedrigen Außenwasserständen. Dieser Fall ist in Abb. 194 c dargestellt. Die Darstellungen c sind aus den Fällen a und b dadurch entstanden, daß bei den niedrigen Wasserständen im Außenvorfluter statt mit 1100 nur mit einem geschätzten Höchstabfluß Q von 750 l/s gerechnet ist.

Wird bei fehlendem Winterbetrieb eine zusätzliche Schöpfwerkleistung vor Beginn des Wachstums erforderlich (S. 269), so sind die Werte der Abb. 194 noch um diese zusätzliche Leistung zu erhöhen, da sie bei allen Außenwasserständen eintreten kann.

Die vorstehenden Höchstmengen Q bedürfen insofern noch einer Berichtigung, als man nicht mit einem 24stündigen Schöpfwerkbetrieb rechnen darf (S. 266). Sie sind z. B. bei 12stündiger Betriebszeit zu verdoppeln. In Zweifelfällen sollte man die sekundliche Leistung der Schöpfwerkspumpen lieber etwas stärker als zu schwach wählen, namentlich, wenn bei Ackerwirtschaft Überschwemmungen unter allen Umständen verhindert werden müssen. Man beachte jedoch, daß übermäßig große Pumpen die Anpassung des Betriebes an die veränderlichen Zuflußmengen erschweren können.

Die im Jahresdurchschnitt bei den verschiedenen Hubhöhen zu fördernden Wassermengen können wie folgt berechnet werden, wenn man wieder die Annahme macht, daß die Wasserstände im Vorfluter unabhängig von den Niederschlägen im Polder sind. Es läßt sich nachweisen (190), daß im Mittel einer genügend langen Reihe von Jahren abgesehen vom Drängewasser bei jeder der täglichen Hubhöhen H_i eines Monats täglich die gleiche Wassermenge $\frac{M}{n}$ zu pumpen ist oder (bei negativem H_i) frei abfließt, wenn M der Monatsabfluß in m^3 und n die Anzahl der Tage des Monats ist. Wir führen noch folgende Bezeichnungen ein:

- F = Niederschlagsgebiet des Polders und Fremdgebietes in ha.
 A = Monatliche Abflußhöhe von F in mm (ohne Drängewasser).
 M_i = Wassermenge in m^3 , die während eines Jahres bei der Hubhöhe H_i zu pumpen ist (ohne Drängewasser).
 t_i = Anzahl der Tage in den einzelnen Monaten mit der Hubhöhe H_i . Die Tage mit freiem Abfluß, an denen nicht zu pumpen ist, werden nicht mitgezählt.

Setzt man zur Vereinfachung n im Mittel = $365 : 12 = 30,4$, so wird

$$M_i = \frac{\sum M \cdot t_i}{30,4} = \text{rund } \frac{F}{3} \sum A \cdot t_i. \quad (148)$$

Das Summenzeichen ist über die 12 Monate zu nehmen.

Für das Drängewasser gilt im Hinblick auf Gl. (147) Folgendes. Wir setzen:

- L = Deichlänge in km.
 T_i = Anzahl der Tage im Jahr mit der Hubhöhe H_i .
 M'_i = Drängewassermenge in m^3 , die während eines Jahres bei der Hubhöhe H_i zu pumpen ist.

Dann kann man M'_i berechnen aus der Gleichung

$$M'_i = 86,4 \cdot L \cdot d_1 (H_i - H_0) \cdot T_i. \quad (149)$$

In Wirklichkeit ist das Drängewasser, das bei einer Hubhöhe H_i entsteht, infolge der eintretenden Abflußverzögerung erst später zu pumpen, und zwar mit einer größeren Hubhöhe, wenn das Außenwasser steigt, mit einer kleineren, wenn es fällt. Daher finden die in der Gl. (149) insoweit liegenden Fehler einen genügenden Ausgleich.

Die Häufigkeitszahlen t_i und T_i lassen sich nur dann ermitteln, wenn tägliche Wasserstandsbeobachtungen des Vorfluters für einen längeren Zeitraum (mindestens 10 bis 15 Jahre) vorliegen. Die monatlichen Abflußhöhen A sind auf Grund der Angaben im Teil II [Zahlentafel 71 und Gl. (102)] zu schätzen.

Die vorstehenden Ausführungen gelten nur für größere Vorfluter, deren Wasserstände von den Niederschlägen im Polder und in dessen näherer Umgebung so gut wie unabhängig sind. Wenn bei kleineren Vorflutern eine solche Unabhängigkeit nicht besteht, lassen sich mangels ausreichender Kenntnis der Abhängigkeitsbeziehungen genaue Berechnungen nicht durchführen; nur Gl. (149) ist auch in diesen Fällen anwendbar. Man kann jedoch die Monatswerte M_i wenigstens überschlägig ermitteln, wenn sich die Abhängigkeit zwischen

Binnenabfluß und Außenwasserständen aus örtlichen Beobachtungen einigermaßen zutreffend schätzen läßt. Die folgende Zahlentafel 88 zeigt die Art der Berechnung, die für jeden der 12 Monate durchzuführen ist. Es wurde angenommen, daß bei der größten Hubhöhe H_i im Mittel der Jahre etwa $2^{1/2}$ mal so viel Binnenwasser abfließt wie bei niedrigen Außenwasserständen ($H_i \leq 0$; freie Vorflut) und daß die Verhältniszahlen a_i zwischen diesen Grenzwerten (10 und 26) geradlinig wachsen. Bezeichnet man mit m_i die Wassermenge in m^3 , die in dem behandelten Monat bei der Hubhöhe H_i frei abfließt oder gepumpt werden muß, so ist mit den oben angegebenen Bezeichnungen

$$m_i = a_i t_i \frac{10 \cdot A \cdot F}{\sum a_i t_i} \quad (150)$$

In dem durchgerechneten Beispiel ist:

$$A = 16 \text{ mm. } F = 178 \text{ ha. } 10 A F = 28480 \text{ m}^3 \text{ (Monatsabfluß).}$$

$$\sum a_i t_i = 390 \text{ (s. Zahlentafel 88).}$$

Es sind also im betrachteten Monat 390 Wassereinheiten zu beseitigen, von denen z. B. bei $H_i = 0,40$ bis $0,59$ m 48 zufließen. Eine Einheit = $\frac{28480}{390} =$ rund 73 m^3 , $m_i = \sim 73 a_i t_i$. Führt man gleiche Rechnungen für die 12 Monate durch, so braucht man nur die zu denselben Hubhöhen H_i gehörigen Werte m_i zusammenzuzählen, um die Jahreswerte M_i zu erhalten.

Für die Leistungsberechnung der Schöpfwerkmaschinen sollen im folgenden noch einige Werte für die Wirkungsgrade gegeben werden:

1. Ungleichzeitige (asynchrone) Drehstromkraftmaschinen. Der Wirkungsgrad steigt mit der Leistung (s. Zahlentafel 89).

Für Teillasten ergeben sich etwa nebenstehende Werte für η und $\cos \varphi$ (siehe Zahlentafel 90).

2. Drehstrom-Wendermaschinen (S. 240). Die folgenden Zahlen gelten auch für Reihenschlußmaschinen:

	η
Kleine Maschinen	70%
Mittlere Maschinen (> 15 kW)	80%
Größere Maschinen	83%
Große Maschinen (mehrere 100 kW)	88%

Der Wirkungsgrad sinkt bei Teil- und Überbelastung wie folgt:

Bei 75 und 125 % Belastung um	5%
„ 50 %	„ 20%
„ 25 %	„ 50%

3. Fahrbare Verdichtungs-Verbund-Dampfmaschinen (Lokomobilen). Sie verbrauchen bei $3/4$ -Durchschnittbelastung einschließlich der

Zahlentafel 88.

Hubhöhe H_i in m	a_i	t_i in Tagen	$a_i t_i$	m_i in m^3
≤ 0	10	11	110	(8033)
0,01—0,19	12	7	84	6134
0,20—0,39	14	5	70	5112
0,40—0,59	16	3	48	3505
0,60—0,79	18	2	36	2629
0,80—0,99	20	1	20	1461
1,00—1,19	22	1	22	1606
1,20—1,39	24	—	—	—
1,40—1,59	26	—	—	—
Summe		30	390	28480

Zahlentafel 89.

kW bei Vollast	η %	kW bei Vollast	η %
1	74—80	30—50	87—90
1,5	76—82	100	88—92
3 — 5,5	79—86	150—250	91—93
7,5—15	84—87		

Zahlentafel 90.

	Belastung					
	$1/4$	$2/4$	$3/4$	$4/4$	$5/4$	$6/4$
η in %	69	78	80	80	78	75
	71	80	82	82	80	77
	76	83	85	85	83	81
	79	86	87	87	85	83
	83	89	90	90	89	87
	86	91	92	92	91	90
	89	93	94	95	95	94
	$\cos \varphi$	0,40	0,60	0,70	0,76	0,78
0,47		0,67	0,76	0,80	0,81	0,81
0,56		0,74	0,82	0,85	0,86	0,86
0,72		0,85	0,89	0,90	0,90	0,89

Zuschläge für Anheiz- und Stillstandsverluste etwa die untenstehenden Steinkohlenmengen von 7500 WE in kg je PSh (3, 106) (s. Zahlentafel 91).

4. Verdichterlose Dieselmotoren. Der Ölverbrauch je PSh (an der Pumpenwelle) beträgt bei Vollast etwa 170 bis 200 g und steigt gegenüber diesen Zahlen bei Teillasten um die Hundertsätze der Abb. 195. Er ist abhängig von der Bauart und Stärke der Maschine und im Einzelfall von dem Lieferwerk nicht nur für Vollast, sondern auch für Teilbelastungen anzugeben.

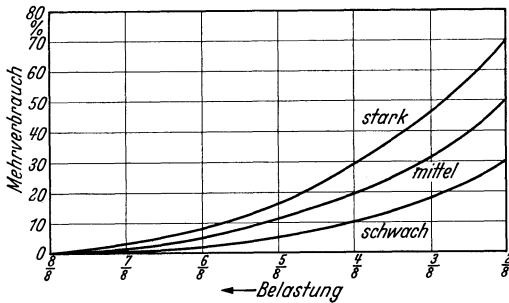


Abb. 195. Ölverbrauch der Dieselmotoren bei Teilbelastungen.

5. Schleuderpumpen. Der Höchstwert der Wirkungsgradlinie

Zahlentafel 91.

Tägliche Betriebsstunden	Handfeuerung		Selbsttätige Rostbeschickung			
	größte	Dauerleistung in PS	60	87	140	295
10	0,991	0,911	0,829	0,752		
8	1,014	0,932	0,848	0,770		
5	1,088	0,999	0,910	0,826		
4	1,134	1,042	0,948	0,861		

einer guten Schöpfwerkpumpe liegt bei 80% und etwas darüber. Einen Höchstwert von mindestens 70% sollte man stets verlangen. Der Verlauf der η -Linie ist zu verschieden, als daß bestimmte Werte dafür gegeben werden könnten. Er ist in jedem Einzelfall durch Prüfung der Pumpe auf dem

Zahlentafel 92.

Vollleistung kW	η %
10	95—96
50	96—97
100	97—98

Versuchstand festzustellen (S. 245).

6. Drehstrom-Umspanner. Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis des vom Umspanner abgegebenen zu dem ihm zugeführten elektrischen Arbeitsvermögen. Je nach der Größe des Umspanners kann man mit nebenstehenden Wirkungsgraden rechnen (s. Zahlentafel 92).

Mit fallendem $\cos \varphi$ sinkt η nur unbedeutend, desgleichen bei Teilbelastungen bis herunter zu $1/4$ der Volleistung. Umspanner mit hohen Eisen- (Leerlauf-) Verlusten haben bei $1/4$ -Belastung etwa 5% Abfall im Wirkungsgrad. Fällt die Belastung noch weiter, so wird η erheblich kleiner, z. B.

bei $1/10$ Belastung etwa 80 bis 85%,
 „ $1/20$ „ „ 70 bis 75%.

Dagegen besitzen Umspanner mit niedrigem Eisenverlust häufig den besten Wirkungsgrad bei $2/4$ -Belastung und bei $1/10$ -Belastung immerhin noch einen η -Wert von 92% und mehr. Sie sind daher für Schöpfwerke mit häufigen Teilbelastungen zu empfehlen.

7. Elektrische Freileitungen. Der Leistungsverlust einer Drehstrom-Freileitung ohne Abzweigungen beträgt

$$V = \frac{100 \cdot \rho \cdot L \cdot l}{q \cdot E^2 \cdot \cos^2 \varphi} \tag{151}$$

- V = anteiliger Leistungsverlust in % in den drei Drähten, bezogen auf die Leistung L .
- q = Querschnitt eines Drahtes in mm^2 .
- E = die am Ende der Leitung zwischen zwei Drähten bestehende Spannung in V.
- $\cos \varphi$ = Leistungswert am Ende der Leitung (S. 239).
- ρ = Stoffwiderstand (spezifischer) des Leitungstoffes (für Kupfer 0,0175, für Aluminium 0,03).
- l = Länge eines Drahtes in m.
- L = wirklich übertragene Leistung in W am Ende der Leitung.

Der gesamte Leistungsverlust beträgt also $10^{-5} \cdot L \cdot V$ kW, der Wirkungsgrad der Leitung $\frac{100}{100 + V}$.

8. Übersetzungen. Zahnradantriebe in Gehäusen mit selbsttätiger Ölung ergeben einen Kraftverlust von etwa 3%, somit $\eta = 97\%$. Bei Riemenantrieb kann man mit etwa 3 bis 4% Verlust rechnen.

Unter dem Gesamtwirkungsgrad einer Schöpfwerkanlage versteht man zuweilen auch das Verhältnis der in einer bestimmten Zeit geleisteten Nutzarbeit in mt gehobenen Wassers zu der dazu aufgewendeten Arbeit in mt [Gl. (126)].

E. Die Jahreskosten.

Die Jahreskosten einer Schöpfwerkanlage müssen bekannt sein, um die Wirtschaftlichkeit des Betriebes beurteilen zu können. Sie setzen sich zusammen aus der Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten, den Betriebs-, Unterhaltungs- und Verwaltungskosten.

Die Tilgungszeit darf keinesfalls länger sein als die Lebensdauer der Anlage. Letztere ist in erheblichem Umfange von der mehr oder weniger sorgfältigen Unterhaltung abhängig. Man tut gut, in dieser Hinsicht nicht zuviel vorauszusetzen, da die Wartung der Schöpfwerke häufig nur nebenberuflich und nicht von ersten Fachkräften ausgeübt wird. Man soll aber noch aus einem anderen Grunde die Lebensdauer nicht zu hoch ansetzen. Denn je schneller die Anlagekosten getilgt werden, um so früher wird man frei von der Tilgungslast und kann nötigenfalls veraltete Anlagen erneuern. Unter Berücksichtigung dieser Umstände können etwa folgende Werte für die Lebensdauer angenommen werden (in Jahren):

Schöpfwerkgebäude aus Stein oder Beton	40 bis 50
Hölzerne Schöpfwerkgebäude (Kiefer)	15 bis 20
Für die Nebenanlagen wie Ein- und Ausläufe, Umspannerhäuschen usw. gelten dieselben Zahlen. Eiche hat die doppelte Lebensdauer wie Kiefer.	
Pflaster	40
Fernleitungen (ohne Masten)	20 bis 30
Holzmasten (Kiefer)	15
Eisenmasten	20 bis 25
Umspanner	20 bis 25
Schleuderpumpen	25 bis 30
Eiserne Wasserschnecken und -schrauben	20
Hölzerne Wasserschnecken und -schrauben	10 bis 15
Gußeiserne Saug- und Druckrohre	40
Stahlmuffenrohre	20 bis 30
Stromkraftmaschinen	20 bis 25
Dieselmotoren	20
Fahrdampfmaschinen	25 bis 30
Windräder aus Stahl mit eisernem Gerüstturm	15 bis 20
Elektrische Geräte	15

Erdbauwerke wie Deiche und ähnliche haben bei sachgemäßer Unterhaltung eine unbegrenzte Lebensdauer.

Aus den Einzelposten der Schöpfwerkkosten und deren Lebensdauer ist eine durchschnittliche Lebensdauer des gesamten Schöpfwerkes mit allen Nebenanlagen zu berechnen. Beträgt diese n Jahre, so sind bei einem Zinssatz von $p\%$ jährlich $p_1\%$ der Baukosten n Jahre lang für Zinsen und Tilgung zu zahlen, wenn die Anlagekosten gerade nach n Jahren getilgt sein sollen:

$$p_1 = \frac{p \cdot q^n}{q^n - 1} \tag{152}$$

In dieser Gleichung ist $q = 1 + \frac{p}{100}$ zu setzen. Der Jahressatz $p_1\%$ ist der Mindestsatz, der einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegt werden muß. Die Kostendeckung der Arbeiten kann jedoch mit Hilfe eines Darlehens auch so erfolgen, daß jährlich mehr als $p_1\%$ an Zinsen und Tilgung zu zahlen sind. Dann ist also die Jahresbelastung höher als der Lebensdauer der Anlage entspricht.

Die Betriebskosten umfassen die Ausgaben für die Krafterzeugung (elektrischer Strom, Treiböl, Kohlen usw.), für Nebenkosten (Schmieröl, Fett, Putz- wolle usw.) und für Wartung. In manchen Fällen und für manche Zwecke (Überschlagrechnungen) ist es möglich und wird es genügen, die jährlichen Betriebskosten je ha Entwässerungsgebiet aus Erfahrungen zu bestimmen, die unter ähnlichen Verhältnissen in der Nachbarschaft gewonnen sind.

Zahrentafel 93.

Hubhöhe H_i		M_i nach Gl. (148) m ³	M'_i nach Gl. (149) m ³	Druckhöhe H_m m	Wirkungs- grad η der Pumpe	Nutzarbeit der Kraft- maschine mt
Bereich m	Mittel m					
0,01—0,19	0,10	56 300	—	0,71	0,21	(190 300)
0,20—0,39	0,30	65 700	—	0,89	0,41	142 700
0,40—0,59	0,50	87 400	—	1,06	0,55	168 400
0,60—0,79	0,70	61 000	—	1,22	0,64	116 300
0,80—0,99	0,90	43 100	20 500	1,38	0,69	127 200
1,00—1,19	1,10	29 100	40 100	1,53	0,71	149 200
1,20—1,39	1,30	14 800	26 200	1,67	0,68	100 700
1,40—1,59	1,50	6 900	16 300	1,81	0,62	67 700
Summe						872 200

In vielen Fällen genügt jedoch eine solche Schätzung nicht, so daß über- schlägliche rechnerische Ermittlungen für den Einzelfall dringend er- wünscht sind. Man stellt zu dem Zwecke die Wassermengen M_i und M'_i nach den

Zahrentafel 94.

Hub- höhe H_i m	Druck- höhe H_m m	Förder- menge Q m ³ /s	Wirkungs- grad η der Pumpe	N PS	Teilbe- lastung
0,30	0,89	0,900	0,41	26,0	0,87
0,50	1,06	0,860	0,55	22,0	0,73
0,70	1,22	0,810	0,64	20,6	0,69
0,90	1,38	0,750	0,69	20,0	0,67
1,10	1,53	0,680	0,71	19,5	0,65
1,30	1,67	0,580	0,68	19,0	0,63
1,50	1,81	0,460	0,62	17,9	0,60

Gl. (148) und (149), ferner die zu den Hubhöhen H_i gehörigen Werte H_m und η (der Pumpe) zusammen, wie es in Zahrentafel 93 geschehen ist. Die letzte Spalte enthält die Werte $(M_i + M'_i) \cdot H_m$, d. i. die auf die Pum-

penwelle zu übertragende Arbeit der Kraftmaschine in mt (vgl. Abb. 193). Die Pumparbeit beginnt mit $H_i = 0,20$ m (S. 265). Die dann verblei- bende Gesamtarbeit von 872 200 mt ergibt folgende jährliche Betriebs- kosten (als Beispiel):

1. Stromkraftmaschine. Da der Wirkungsgrad einer Drehstromkraft- maschine von seiner Belastung abhängig ist, so ist, wenn man sich nicht mit einer überschläglichen Rechnung begnügen kann, zunächst die Belastung bei den verschiedenen Hubhöhen zu ermitteln (Zahrentafel 94). N ist die auf die Pumpenwelle zu übertragende Leistung in PS [Gl. (128) und (129)]. Es soll eine Drehstromkraftmaschine von 30 PS verwendet werden, deren Leistung bei Vollast etwa 10 bis 15% über der verlangten Höchstleistung liegt. Das ist nötig, um eine Sicherheit zu haben. Der Wirkungsgrad bei Vollast sei 85%. Da die Teillast nur bis 0,60 sinkt, wird man im vorliegenden Fall mit einem mitt- leren Wirkungsgrad der Maschine von 84,5% rechnen können (Zahrentafel 90). Bei genauer Rechnung, die nötig wäre, wenn die Belastung noch weiter abfallen würde, wäre zu setzen (Zahrentafel 93):

$$\begin{aligned} 142\,700 : 0,850 &= 167\,900 \text{ mt} \\ 168\,400 : 0,848 &= 198\,600 \text{ mt} \\ 116\,300 : 0,845 &= 137\,600 \text{ mt} \\ &\text{usw.} \end{aligned}$$

$$1\,032\,500 \text{ mt}$$

Daher beträgt die gesamte Jahresleistung [Gl. (126)] $1032500 : 367 =$ rund 2800 kWh. Die vorstehende genaue Rechnung kommt jedoch fast nur dann in Frage, wenn die Kraftmaschine mit verschiedenen Drehzahlen arbeitet, da die Belastung nur in diesem Falle sehr stark zu fallen pfllegt.

Außer dem Strom sind Schmierstoffe und Zählermiete zu bezahlen. Die Kosten der Schmierstoffe sind bei Drehstromkraftmaschinen sehr gering. Über die Bedienungskosten lassen sich keine allgemeinen Angaben machen.

2. Dieselmachine. Wir wählen wiederum eine 30 PS-Maschine. Es ergeben sich im Jahresdurchschnitt [Gl. (126)] $872200 : 270 =$ rund 3200 PSh. Eine genaue Rechnung ergibt mit den Zahlen der Zahlentafeln 93 und 94 folgenden Brennstoffverbrauch, wenn die Kraftmaschine bei Vollast 185 g je PSh verbraucht und bei Teillasten den (starken) Mehrverbrauch der Abb. 195 aufweist:

für $H_i = 0,30$ m. Arbeit = 142700 mt.
 $142700 : 270 = 530$ PSh. Teillast = 0,87.
 Mehrverbrauch = 3,5%. Verbrauch = 192 g.
 $530 \cdot 0,192 = 102$ kg Treiböl usw.

An Schmieröl sind etwa 3 bis 5 g je PSh zu rechnen, 3 g bei den langsam, 5 g bei den schnell laufenden Maschinen.

In den vorstehenden Beispielen ist nur eine Wirkungsgradlinie zugrunde gelegt worden. Grundsätzlich ändert sich nichts an der Art der Rechnung,

wenn bei einer Änderung der Drehzahl oder bei Aufstellung mehrerer Pumpen mehrere Wirkungsgradlinien gültig sind. Eine Schwierigkeit liegt nur darin, daß in diesen Fällen für jeden Hubhöhenbereich mehrere η -Werte in Frage kommen, da bei jeder Hubhöhe je nach dem wechselnden sekundlichen Wasserzufluß mit mehreren Pumpen oder mit mehreren Drehzahlen gearbeitet wird. Man kann in diesen Fällen wie folgt vorgehen, sofern eine möglichst genaue Rechnung erwünscht ist. Abb. 196 stellt einen Ausschnitt aus dem Arbeitsbereich eines Schöpfwerkes dar (Abb. 192). Wir untersuchen den Hubhöhenbereich 0,5 bis 1,0 m. Liegt der Zufluß Q_z zum Schöpfwerk innerhalb der Fläche f_2 , so arbeitet das Schöpfwerk mit den Kennlinien Ia und Ib . Man erhält daher den mittleren Wirkungsgrad für alle Betriebspunkte H_g/Q_z der Fläche f_2 genau genug dadurch, daß man für die vier Eckpunkte i, k, i' und k' den Wirkungsgrad η_1 der Pumpe und η_2 der Kraftmaschine (je nach Belastung) ermittelt und aus den vier Werten $\eta_1 \cdot \eta_2$ das Mittel η bildet. Für die Fläche f_1 gelten nur die Eckpunkte i und i' . Wenn zwei Pumpen gleichzeitig arbeiten, I mit Q' (m^3/s), η'_1 und η'_2 , II mit Q'' , η''_1 und η''_2 , so ist für den betreffenden Eckpunkt $\eta_1 \cdot \eta_2 = \frac{Q' \eta'_1 \eta'_2 + Q'' \eta''_1 \eta''_2}{Q' + Q''}$. Verfährt man in dieser Weise für alle Flächen f (f_1 bis f_4), so ist der mittlere Wirkungsgrad η_m des untersuchten Hubhöhenbereiches

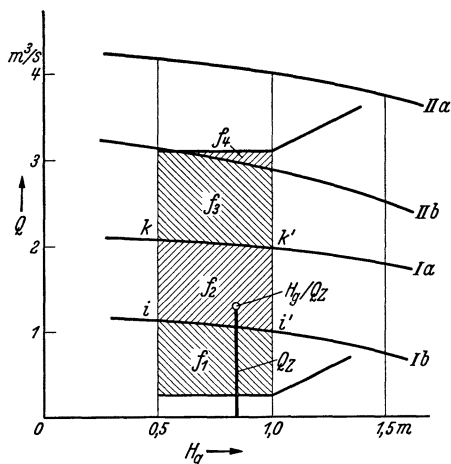


Abb. 196. Berechnung des mittleren Wirkungsgrades.

so arbeitet das Schöpfwerk mit den Kennlinien Ia und Ib . Man erhält daher den mittleren Wirkungsgrad für alle Betriebspunkte H_g/Q_z der Fläche f_2 genau genug dadurch, daß man für die vier Eckpunkte i, k, i' und k' den Wirkungsgrad η_1 der Pumpe und η_2 der Kraftmaschine (je nach Belastung) ermittelt und aus den vier Werten $\eta_1 \cdot \eta_2$ das Mittel η bildet. Für die Fläche f_1 gelten nur die Eckpunkte i und i' . Wenn zwei Pumpen gleichzeitig arbeiten, I mit Q' (m^3/s), η'_1 und η'_2 , II mit Q'' , η''_1 und η''_2 , so ist für den betreffenden Eckpunkt $\eta_1 \cdot \eta_2 = \frac{Q' \eta'_1 \eta'_2 + Q'' \eta''_1 \eta''_2}{Q' + Q''}$. Verfährt man in dieser Weise für alle Flächen f (f_1 bis f_4), so ist der mittlere Wirkungsgrad η_m des untersuchten Hubhöhenbereiches

$$\eta_m = \frac{\sum m \cdot \eta}{\sum m} \tag{153}$$

In dieser Gleichung ist m eine Wertzahl der Teilfläche f . Denn die Anteile der einzelnen Teilflächen an der Schöpfwerkarbeit sind nicht gleich groß. Sie verhalten

sich etwa wie die Zuflußmengen m (m^3), die bei den jeweiligen sekundlichen Zuflüssen Q_z (bei f_1 etwa 0,3 bis 1, bei f_2 etwa 1 bis 2 m^3/s usw.) dem Schöpfwerk zufließen. Man kann sie aus einer bekannten oder geschätzten Wassermengendauerlinie des Abflusses aus Polder und Fremdgebiet entnehmen. In Abb. 30 (rechts) ist m z. B. für den Bereich 6 bis 7 m^3/s gestrichelt dargestellt. D bedeutet das Drängewasser in m^3/s .

Zahlentafel 93 und Gl. (153) beruhen auf der Voraussetzung, daß die Wasserstände im Vorfluter so gut wie unabhängig sind von den Niederschlägen im Polder. Man kann, falls diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, nach S. 272 verfahren und Gl. (153) als Überschlagrechnung anwenden.

Die Unterhaltungskosten pflegt man als Hundertsätze der Baukosten zu veranschlagen. Im großen Durchschnitt kann mit etwa folgenden jährlichen Hundertsätzen gerechnet werden:

Bauten aus Stein oder Beton	0,5 bis 1,0
Hölzerne Bauten (Kiefer)	3 bis 4
Hölzerne Bauten (Eiche)	2 bis 3
Pflaster	1,5
Pumpen	1,5 bis 2
Stromkraftmaschinen	1 bis 1,5
Dieselmotoren	2
Fahrdampfmaschinen	2 bis 2,5
Windkraftmaschinen	2 bis 2,5
Eiserne Druckrohrleitungen	0,5 bis 1,5

Allgemein steigen die Unterhaltungskosten mit der jährlichen Betriebsdauer.

Die vorstehenden Angaben können dazu dienen, um die Angebote mehrerer Lieferwerke miteinander zu vergleichen. Solche Kostenvergleiche sind nur auf dem Wege über die Jahreskosten möglich.

Über die Verwaltungskosten der Deichverbände lassen sich keine zahlenmäßigen Angaben machen, da sie je nach der Größe des Verbandes und dem Ausmaß der ehrenamtlichen Tätigkeit sehr verschieden sind. Es empfiehlt sich daher, die bei gleichen oder ähnlichen Verbänden gemachten Erfahrungen festzustellen.

F. Der Schöpfwerkbetrieb.

In Poldern, in denen Ackerbau getrieben wird, ist auch im Winter der Binnenwasserstand so niedrig zu halten, daß Überschwemmungen verhindert werden. Wenn der Frost nicht zu stark ist, kann unbedenklich auch im Winter gepumpt werden. Man hat jedoch bei Frost die Pumpe vollständig vom Wasser zu entleeren, wenn der Betrieb ruht. Ob man bei Grünland im Winter an Betriebskosten sparen und eine vorübergehende Überschwemmung in Kauf nehmen soll, hängt in erster Linie von dem Zustand des Grünlandes ab. Bei minderwertigen Grünlandflächen kann eine solche Ersparnis berechtigt sein, dagegen wird es sich stets lohnen, wertvolle Grünländereien auch im Winter vor Überschwemmungen zu schützen, sofern es sich nicht um eine planmäßige, düngende Bewässerung handelt. Acker und hochwertiges Grünland sind auch stets für einen tiefen Grundwasserstand im Winter dankbar, damit der Boden durchlüften und durchfrieren kann.

Ein vorübergehendes Ansteigen des Binnenwassers in den Gräben etwa bis zur bordvollen Füllung ist ganz unbedenklich. Man macht davon Gebrauch, wenn man den Grabenraum über dem Mittelwasser als Speicher- raum ausnutzt, z. B. bei selbsttätigem Schöpfwerkbetrieb. Auch im Tidegebiet muß versucht werden, bei hohen Außenwasserständen die dann hohen Pumpkosten zu sparen und während dieser Zeit in den Gräben zu speichern. Ferner sucht man die Pumpkosten dadurch zu verringern, daß man mit dem Pumpen erst beginnt, wenn das Außenwasser eine gewisse Höhe über dem gewöhnlichen Binnenpeil erreicht hat, zumal der Wirkungsgrad der Pumpen bei den kleinen

Hubhöhen ein sehr schlechter ist. Das zunächst mitgestiegene Binnenwasser ist dann wieder abzusenken (S. 265).

Das Einlassen von Außenwasser in den Polder durch Rohrleitung und Pumpe, wie es z. B. bei der Heberanordnung vorkommt, sollte man besser unterlassen und statt dessen von vornherein eine besondere Einlaßvorrichtung vorsehen, sofern das Einlassen erwünscht ist.

Besondere Vorsicht ist beim Anlassen der Pumpen erforderlich. Man vermeide es, die Pumpen gegen einen geschlossenen Schieber anlaufen zu lassen. Bei der Heberanordnung und bei der Tauchanordnung mit Heberleitung kann man zunächst die Pumpe in Betrieb setzen, um erst dann das Wasser durch Absaugen der Luft anzuhebern. Das hat den Vorteil, daß die Belastung der Kraftmaschine allmählich größer wird. Beim Anlassen muß das Drehmoment der Stromkraftmaschine zum Drehmoment der Pumpe in bestimmter Beziehung stehen. Hat die Stromkraftmaschine zeitweise ein kleineres Moment als die Pumpe, so wird sie überlastet oder bleibt stehen. Hat sie dagegen ein wesentlich größeres Anlaufmoment, so kann die Drehzahl zu groß werden. In diesem Falle tritt auch ein starker Anlaßstrom auf, der im Leitungsnetz einen schädlichen Stromstoß bewirkt. Bei der Reihenschluß-Wendermaschine und bei Maschinen mit Schleifringen hat man es in der Hand, langsam anzulassen. Erstere ist ziemlich empfindlich, beide sind teurer als die Kurzschlußmaschinen, die man daher im allgemeinen bevorzugt. Die Kurzschlußmaschinen werden entweder unmittelbar in der Betriebschaltung (Dreieckschaltung) angelassen oder in Sternschaltung angeschaltet und dann auf Dreieck umgeschaltet. Sie haben den Nachteil, daß sie nicht allmählich angelassen werden können. Die Wahl der Kraftmaschinenart und des Anlaßverfahrens ist u. a. von der Schnelligkeit der Pumpe abhängig. Man mache dem Lieferwerk stets eine sorgfältige Beachtung dieser Gesichtspunkte zur Pflicht und vergewissere sich rechtzeitig der Zustimmung des den Strom liefernden Kraftwerkes.

Dieselmotoren sind bei Leerlauf oder schwacher Belastung in Gang zu setzen. Bei Heberanordnung läßt man daher zunächst die Pumpe leerlaufen (s. oben) und saugt erst dann die Luft ab. Anderenfalls ist das allmähliche Zuschalten der Pumpe dadurch zu bewirken, daß man zwischen Pumpe und Kraftmaschine eine Reibungskupplung legt, mit der man die Pumpe langsam anlaufen läßt, sobald die Kraftmaschine voll läuft.

Auf die Gefahr der Hohlraumbildung bei größeren Saughöhen wurde bereits hingewiesen (S. 248). Auch während des Betriebes ist auf verdächtige Erscheinungen in dieser Hinsicht zu achten. Flügelräder neigen unter sonst gleichen Verhältnissen am meisten zur Hohlraumbildung. Man Sorge auch für einen einwandfreien Zustand der Rechenanlage, damit keine Verstopfungen der Pumpe eintreten. Gehäusepumpen müssen einen Überwachungsdeckel haben, damit man eine trotzdem einmal eingetretene Verstopfung schnell beseitigen kann.

Sehr einfach ist der Betrieb der Stromkraftmaschinen, wenn man Drehstrom-Kurzschlußläufermaschinen hat, die keine Bürsten und Schleifringe besitzen. Sonst ist darauf zu achten, daß keine zu starke Funkenbildung auftritt (schlechte Bürsten, rauher Stromwender, Überlastung der Maschine). Nötigenfalls ist der Stromwender vorsichtig abzuschmirgeln. Man wähle grundsätzlich abhebbare Bürsten, die durch einen Hebelgriff abgehoben werden, sobald die Maschine voll läuft. Der sich während des Betriebes bildende Kupferstaub ist sorgfältig zu entfernen (mit Blasebalg und weichem Borstenpinsel). Nach längerem Betriebe kann ein Abdrehen des Stromwenders nötig werden. Seine Abnutzung wird verringert, wenn man ihn täglich leicht ölt, z. B. mit einem ölfeuchten Lappen überfährt. Für die Lager ist gutes dünnflüssiges Mineralöl zu verwenden. Verschmutzte Ölkammern werden mit Erdöl ausgespült. Brennbare Stoffe dürfen nicht in der Nähe der Stromkraftmaschinen

gelagert werden (Funkenbildung). Wegen der erforderlichen Meßgeräte vgl. S. 262. Bei kühler, feuchter Witterung ist es gut, die Stromkraftmaschinen gelegentlich leerlaufen zu lassen, damit sie warm und dadurch trocken werden.

Die Wartung der Dieselmotoren erfordert größere Kenntnisse als die der Stromkraftmaschinen. Der Schöpfwerkwärter muß über die Bedienung der Dieselmotoren durch einen Sachverständigen des Lieferwerkes genau unterrichtet werden. Im Maschinenraum soll die Wärme nicht unter 8° sinken, damit das Öl noch leicht durch die Leitungen fließt. Besonders wichtig ist eine gute Verbrennung des Öls. Der Auspuff muß stets unsichtbar bleiben. Auf Störungen lassen mancherlei Anzeichen schließen: Die Maschine pendelt beim Anlassen zurück, sie stößt im Betriebe, der Auspuff rußt, der Auspuffverschluß bleibt hängen, die Luftpumpe arbeitet ungenügend, der Regler schwankt stark oder die Maschine bleibt gar stehen. In allen diesen und ähnlichen Fällen muß der Wärter imstande sein, alsbald den Fehler ausfindig zu machen und zu beseitigen, soweit das überhaupt an Ort und Stelle möglich ist. Vor dem Abstellen ist die Dieselmotoren zunächst zu entlasten. Nach dem Abstellen soll man sich überzeugen, ob kein Maschinenteil heiß gelaufen ist. Alle blanken Teile sind sorgfältig zu fetten. Bestimmte Teile der Maschine müssen von Zeit zu Zeit nachgesehen werden, namentlich die Kolben und Verschlüsse, ganz besonders aber der Brennstoffverschluß. Man verwende nur solche Treib- und Schmieröle, die vom Lieferwerk als geeignet für die Dieselmotoren angegeben sind.

Zweckmäßig ist es, gelegentlich die Leistung und den Wirkungsgrad des Schöpfwerkes an Ort und Stelle festzustellen. Das ist jedoch leider in den meisten Fällen mit Umständen und Kosten verbunden, so daß eine solche Nachprüfung in der Regel unterbleibt. Man kann dabei so vorgehen, daß man den Hauptzubringer zum Schöpfwerk in gewisser Entfernung von diesem absperrt, seine genauen Querschnitte aufnimmt und mit einer Stoppuhr mißt, in welcher Zeit die sonach bekannte Wassermenge gefördert wird.

Wegen des Luftabschlusses bei der Mittelanordnung vgl. S. 254.

Nicht zuletzt ist die Anstellung eines tüchtigen, zuverlässigen Schöpfwerkwerkwärters von besonderer Wichtigkeit. Vielfach hat es sich bewährt, ihn auch bei den Unterhaltungsarbeiten an den Deichen und Gräben des Deichverbandes als Vorarbeiter zu beschäftigen. Er hat ein vorgeschriebenes Betriebsbuch zu führen, in das alle für den Schöpfwerkbetrieb wichtigen Angaben einzutragen sind: Zeit des Pumpens, Pegelstände, Öl- oder Stromverbrauch usw. Auf stets saubere Maschinen und Maschinenräume ist Wert zu legen.

VII. Die Bodenbewässerung.

A. Allgemeines.

Wir haben bereits im Teil I (S. 56) gesehen, daß das Wasser eine unentbehrliche Wachstumsbedingung der Pflanzen ist. Nach dem „Liebig'schen Gesetz vom Minimum“ können Höchsternten nur dann erzielt werden, wenn außer den übrigen Wachstumsbedingungen auch ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Das ist keineswegs überall oder zu jeder Jahreszeit der Fall. Man bewässert daher Wiesen, Weiden, Äcker und Gärten einschließlich der Obstgärten. Es kann nicht wundernehmen, daß die Bodenbewässerung in Gegenden entstanden ist, die in der Wachstumszeit besonders arm an Niederschlägen sind. In heißen und trockenen Ländern bildet die Bewässerung eine schon längst bekannte Form der Bodenverbesserung, die stellenweise bereits im frühen Altertum zu großer Berühmtheit gelangte.

Aber auch bei uns in Deutschland reichen die Niederschläge nicht überall aus, um den Wasserbedarf der Pflanzen zu decken, zumal dann nicht, wenn

unsere Landwirtschaft immer höhere Flächenerträge erzielen muß. Der Wasserbedarf einer hohen Ernte ist aus Zahlentafel 39 zu ersehen. Wenn kein Grundwasser zur Verfügung steht, müssen also die Niederschläge in der Wachstumszeit wegen der Verluste durch Versickerung und Bodenverdunstung noch höher sein, was in umfangreichen Gebieten nicht der Fall ist. So liegt der Sinn der anfeuchtenden Bewässerung darin, den Wassermangel der Trockengebiete dadurch zu beheben, daß man den aus niederschlagreichen Gegenden kommenden ober- oder unterirdischen Zufluß den niederschlagarmen Gebieten künstlich zuführt. In anderen Fällen wird das Wasser weniger um seiner selbst willen, sondern als Träger von Pflanzennährstoffen auf die zu bewässernden Flächen geleitet (düngende Bewässerung). Man unterscheidet vier Verfahren der oberirdischen Bewässerung, den *Einstau*, die *Überstauung*, die *Rieselung* und die *Beregnung*, sowie die unterirdische Bewässerung.

Der Umfang der noch bewässerungsbedürftigen Flächen Deutschlands wird zur Zeit auf etwa 9,5 Millionen ha geschätzt, er wächst jedoch mit den Ernteansprüchen. Etwa $\frac{1}{3}$ davon kommt bei dem heutigen Stande der Verfahren und der Wirtschaft für eine Bewässerung in Frage.

B. Die Wirkung der Bewässerung.

So vorteilhaft eine sachgemäß durchgeführte Bewässerung ist, so nachteilig kann andererseits manche Bewässerung sich auswirken, wenn die im folgenden dargelegten Gesichtspunkte nicht beachtet werden. Leider ist der Betrieb der Bewässerung noch keineswegs frei von schweren grundsätzlichen Fehlern.

Man muß sich zunächst stets vor Augen halten, daß bei den meisten Bewässerungen dem Boden weit mehr Wasser zugeführt wird, als die Pflanzen im Zeitabschnitt der Bewässerung verbrauchen. Daraus folgt, daß stets für die Ableitung des überschüssigen Wassers gesorgt werden muß, wenn die Entstehung schädlicher Bodennässe vermieden werden soll. Mit der Bewässerung ist daher in solchen Fällen stets eine einwandfreie Entwässerung zu verbinden. Lediglich bei der künstlichen Beregnung ist eine Vernässung des Bodens nicht zu befürchten (S. 323).

Bei der Überstauung einer Grünlandfläche wird der gesamte Pflanzenbestand zeitweise unter Wasser gesetzt und dadurch von der Luft abgeschlossen. Wenn daher die Überstauung, namentlich im Sommer, zu lange dauert, treten Schädigungen des Bestandes ein (S. 67). Man hat somit die Dauer der Überstauung den örtlichen Verhältnissen sorgfältig anzupassen.

Eine dritte Schädigung durch unsachgemäße Bewässerung ist dann zu erwarten, wenn das Bewässerungswasser dem Boden Wärme entzieht, die er für das Pflanzenwachstum benötigt. Solche Fälle können namentlich im Frühjahr eintreten, wenn die Wärme die für das Wachstum entscheidende Voraussetzung ist. Ob eine Wärmeentziehung stattfindet, läßt sich leicht dadurch feststellen, daß man die Wärme des Bewässerungswassers unmittelbar vor der Aufleitung und nach der Ableitung mißt. Eine Wärmezunahme des Wassers zeigt an, daß das Wasser entweder dem Boden Wärme entzogen oder Wärme aus der Luft aufgenommen hat, die sonst den Boden erwärmt haben würde. In dieser Hinsicht ist also bei der Frühjahrsbewässerung größte Vorsicht geboten. Andererseits kann die Aufleitung warmen Wassers im Frühjahr sehr günstig wirken, indem sie eine schnellere Erwärmung des Bodens zur Folge hat oder Fröste dem Boden fernhält (S. 56).

Die Vorteile der anfeuchtenden Bewässerung werden besonders groß in regenarmen Jahren, in denen meistens eine große Wärmemenge zur Verfügung steht, die jedoch aus Mangel an Wasser für das Pflanzenwachstum nicht ausgenutzt werden kann. Auch vermag eine rechtzeitig einsetzende anfeuchtende

Bewässerung dadurch erhebliche Vorteile zu bringen, daß sie entscheidende Trockenzeiten überbrückt (S. 65).

Neben der Anfeuchtung und Erwärmung des Bodens fördert die Bewässerung auch die Erneuerung der Bodenluft in gleicher Weise, wie es durch das in den Boden einsickernde Niederschlagwasser geschieht (S. 20 und 66). Bei der Berieselung und Beregnung nimmt auch das Wasser selbst durch Bindung Luft auf. So bereichert dringt es in den Boden und verdrängt dadurch gleichzeitig die an Kohlensäure überreiche Luft. König fand:

Zahlentafel 95.

	Kohlen- säure mg	Schwefel- säure mg
Im Bewässerungswasser .	121	59
Im Abfallwasser	273	128

Das in den Boden eindringende Bewässerungswasser wirkt ferner bodenreinigend, indem es Ungeziefer wie Mäuse, Engerlinge, Raupen, Rebläuse usw. vernichtet. Schädliche Stoffe wie Humussäuren, Kochsalz u. a. werden aus dem Boden ausgewaschen.

Schließlich wirkt die Bewässerung auch düngend, wenn das Wasser reich an Pflanzennährstoffen ist (S. 284). Die im Wasser enthaltenen Sinkstoffe sinken zu einem großen Teil im ruhenden oder langsam fließenden Wasser zu Boden und bleiben auf den bewässerten Flächen zurück. Die gelösten Stoffe werden im Boden selbst, an der Erdoberfläche und im Pflanzenbestand (Grünland) zum Teil gebunden und so zurückgehalten. Sehr wichtig ist auch die humusbildende Eigenschaft der städtischen und manch anderer Abwässer (S. 333).

Die Wirkung einer Bewässerung ist in hohem Maße von der Bodenart abhängig. Leichte nährstoffarme Böden haben von der düngenden Bewässerung einen größeren Vorteil als schwere. Die anfeuchtende Bewässerung wirkt um so günstiger, je mehr sie einen vorhandenen Wassermangel des Bodens beseitigt. Daher sind lehmige Sande für die Bewässerung besonders dankbar, weil sie einerseits wasserbedürftig sind, andererseits aber auch ein ausreichendes Wasserhaltevermögen besitzen, das ein zu schnelles Versickern des Bewässerungswassers wie bei den reinen Sanden verhindert.

Die Bewässerung von Moorböden ist mit Vorsicht zu handhaben. Eine lediglich anfeuchtende Bewässerung ist wegen der hohen wasserhaltenden Kraft des Moores meistens entbehrlich. Sie kann aber in besonderen Fällen durchaus erfolgreich sein, wenn das Wasser nur kurze Zeit aufgeleitet und alsdann durch eine gute Entwässerung schnell wieder beseitigt wird. Am besten wirkt die Rieselung (S. 304). Bewässert werden nur Grünlandflächen. Besser als die anfeuchtende hat sich die düngende Bewässerung der Moore mit Abwasser bewährt (S. 337).

Bei den schweren Lehm- und Tonböden ist gleichfalls Vorsicht geboten, namentlich dann, wenn im flachen Gelände unter einer verhältnismäßig durchlässigen oberen Schicht in geringer Tiefe ein schwer durchlässiger Untergrund liegt, auf dem das versickerte Bewässerungswasser leicht stauende Nässe bewirkt.

Hinsichtlich der Reinigung und Ausnutzung der Abwässer haben leichtere Bodenarten wie lehmiger Sand und stark sandiger Lehm noch den Vorteil, daß ihre rege Bakterientätigkeit eine gute Reinigung des Wassers und Verwertung der Pflanzennährstoffe sicherstellt.

Da sich unsere Nutzpflanzen der meist reichlichen künstlichen Wasserzufuhr anpassen, so muß bei der düngenden Bewässerung auch in Dürrezeiten Bewässerungswasser verfügbar sein. Manche Bewässerungen mit gewerblichen Abwässern leiden an dem Übelstande, daß die das Wasser liefernden Betriebe nur zeitweise arbeiten, wie Stärke- und Zuckerwerke.

Das Einlassen von Flußwasser in eingedeichte Niederungen (S. 304) wirkt nicht in gleicher Weise auf den Pflanzenbestand des Grünlandes wie die

natürliche Überschwemmung eines nicht eingedeichten Gebietes bei Hochwasser. Die Erfahrung zeigt, daß wertvolle Gräser des natürlichen Überschwemmungsbestandes wie *Phalaris arundinacea* (Rohrglanzgras) und *Glyceria*-Arten im Ertrage meistens stark zurückgehen. Der Grund dürfte zum Teil auch darin liegen, daß eingedeichte Niederungen fast stets stärker durch Gräben entwässert und daher auch die Grundwasserverhältnisse andere werden, als sie vor der Eindeichung waren. Außerdem ist in vielen Fällen die Wasserbewegung bei der künstlichen Überflutung weniger lebhaft als bei der natürlichen.

Die auch heute noch hier und da vertretene Ansicht, man solle Grünland im Winter unter Wasser setzen, damit es vor dem Frost geschützt werde, ist gänzlich irrig. Das Auffrieren des Moorbodens wird im Frühjahr weit zweckmäßiger mit der schweren Walze wieder ausgeglichen. Auch der Wiesenboden bedarf der die Pflanzennährstoffe abschließenden Wirkung des Frostes, mithin der winterlichen Durchlüftung.

Bei den meisten Bewässerungsanlagen (außer der Beregnung) muß man mit einem Ansteigen des Grundwasserspiegels rechnen, was zwar bei tiefem Grundwasserstand unbedenklich ist, bei hohem aber der Beachtung bedarf. Man sollte dann schon vor Durchführung der Bewässerung Grundwasserstandsbeobachtungen vornehmen, zumal ein schädliches Steigen des Grundwasserspiegels auch zu Schadenersatzforderungen der Nachbarn führen kann.

C. Die Beschaffenheit des Wassers.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Zur Bewässerung ist nur Wasser geeignet, das frei von schädlichen Stoffen und Unkrautsamen ist. Unmittelbar schädlich für das Pflanzenwachstum sind alle Säuren und starken Salzlauge, z. B. die Abwässer von Papierwerken, Verzinkereien, Kaliwerken, Bleichereien, Gerbereien, Gasanstalten, vielfach auch aus Bergwerken. Ablagerungen von Schwefelkies führen zur Bildung von Schwefelsäure (S. 48). Die an Humussäure reichen Gewässer aus Mooren und Waldgebieten sind im allgemeinen nicht schädlich. Auf armem Sandboden können sie sogar von Vorteil sein, da sie die in ihm enthaltenen schwerlöslichen Nährstoffe in aufnehmbare Form überführen. Wasser mit größeren Mengen gelöster Humusstoffe enthält aber in der Regel wenig Sauerstoff.

Mittelbar schädlich für das Pflanzenwachstum ist ein Wasser, das die Bodeneigenschaften ungünstig beeinflusst. Eisenhaltiges Wasser verschlammte und verstopft die Bodenporen. Man kann es jedoch zur Bewässerung verwenden, wenn man es vorher durch einfache Belüftungsverfahren vom Eisen befreit, z. B. in dünner Schicht über Steine oder Wassertreppen rieseln läßt. Kochsalz wirkt schädlich auf den Wasserhaushalt der schweren Böden (S. 21) und lösend auf die Pflanzennährstoffe. Das kann günstig sein, aber auch zu Nährstoffverlusten führen. Eine solche lösende Wirkung haben auch alle saueren Wasser. Nach König schädigt Kochsalz die Pflanzen, wenn in 1 l Wasser mehr als 0,5 g NaCl enthalten sind. Besonderer Erwähnung verdienen die Abwässer von Schlachthäusern. Sie sind zwar im hohen Maße dungreich, führen aber bisweilen Milzbrandsporen mit sich. Diese sind von sehr langer Lebensdauer und können mit dem auf der Bewässerungswiese gewonnenen Heu die gefährliche Krankheit übertragen.

In Zweifelfällen muß Wasser, das zur Bewässerung verwendet werden soll, vorher auf seinen etwaigen Gehalt an pflanzen- und bodenschädlichen Stoffen untersucht werden. Auch ein Berieselungsversuch kann wertvolle Aufschlüsse ergeben. Im allgemeinen wird man ein Wasser als brauchbar anzusehen haben, wenn Frösche, Lurche und Fische darin leben und wenn in und an dem Gewässer

Pflanzen üppig wachsen, die ein gutes, nährstoffreiches Wasser bevorzugen. Zu ihnen gehören u. a.:

Ácorus Cálamus (Echter Kalmus),
 Aldrovándia vesiculósa (Blasige Aldrovandie),
 Bérula angustifólia (Schmalblättrige Berle),
 Bútomus umbellátus (Doldiger Wasserliesch),
 Callitriche-Arten (Wasserstern),
 Ceratophýllum demérsum (Rauher Igellock),
 Elodéa canadénsis (Kanadische Wasserpest),
 Glycéria-Arten (Schwaden),
 Hydrócharis Mórsus ranae (Schwimmender Froschbiß),
 Isóetes lacústris (Sumpf-Brachsenkraut),
 Lémna minor (Kleine Wasserlinse),
 Litorélla lacústris (See-Strandling),
 Myriophýllum-Arten (Tausendblatt),

Nájas-Arten (Nixkraut),
 Nastúrtium amphibium (Wasserkresse),
 Nastúrtium officinále (Brunnenkresse),
 Nastúrtium palústre (Sumpfkresse),
 Núphar lúteum (Gelbe Nixblume),
 Nymphaéa-Arten (Seeblume),
 Phálaris arundinácea (Rohrglanzgras),
 Polygónum amphibium (Wasser-Knöterich),
 Potamogéton-Arten (Laichkraut),
 Ranúnculus aquátilis (Wasser-Hahnenfuß),
 Ranúnculus flúitans (Flutender Hahnenfuß),
 Sagittária sagittifólia (Spitzes Pfeilkraut),
 Stratiótes aloídes (Wasserschere),
 Utriculária-Arten (Wasserhelm),
 Verónica Beccabúnga (Bach-Ehrenpreis).

Bisweilen kann man schädliche Stoffe ohne zu hohe Kosten dadurch beseitigen, daß man die schwebenden Bestandteile durch Absetzen in Teichen, die gelöst wie beim Eisen durch Belüftung (Oxydation) in ausreichendem Maße ausscheidet.

Auch die Wärme des Wassers darf nicht unberücksichtigt bleiben (S. 281). Kaltes Quell- oder Flußwasser ist im Frühjahr und Sommer nötigenfalls in Teichen oder Becken vorzuwärmen. Je flacher diese sind, um so schneller erfolgt die Vorwärmung. Grundwasser ist im Sommer kälter als Oberflächenwasser. Bei der künstlichen Beregnung wird kaltes Wasser im Sommer durch die Luft erheblich erwärmt. Im Herbst kann die Bewässerung die Wärmeabstrahlung des Bodens verlangsamen, da Luft sich schneller abkühlt als Wasser.

2. Der Dungwert des Wassers.

Bei der düngenden Bewässerung soll das Wasser genügenden Reichtum an den wichtigsten Pflanzennährstoffen aufweisen: Stickstoff, Kali, Phosphorsäure und Kalk. Fehlt es an einem dieser Stoffe, so muß er dem Boden in Handelsdüngern zugeführt werden. Bisweilen werden nährstoffarmem Wasser Düngstoffe auch künstlich zugesetzt.

a) **Fluß- und Seewasser.** Im allgemeinen kann man aus der Beschaffenheit des Sammelgebietes auf den Wert des Wassers schließen. Entscheidend sind die Bodenarten, aus denen das Wasser kommt, die Oberflächengestalt des Sammelgebietes, die Nutzungsarten und der Anbauzustand des Bodens. Man vergleiche dazu die Ausführungen über die stoffliche Zusammensetzung der verschiedenen Gesteine (S. 23). Gebiete mit starker Bebauung und mit viel Ackerland liefern nährstoffreicheres Wasser als Wälder und Moore. Günstig ist hängiges Gelände, in dem das abfließende Oberflächenwasser wertvolle Bestandteile der Ackerkrume (Dünger) mit zu Tal führt.

Die Nährstoffe sind in zwei verschiedenen Formen vorhanden: als Schwebstoffe (Sinkstoffe) und in Lösung, erstere sichtbar, letztere unsichtbar. Man darf daher ein klares, farbloses Wasser nicht ohne weiteres als arm bezeichnen, wenn auch das mit Schwebstoffen beladene in der Regel reicher ist. Das aus Mooren stammende braune Wasser ist meistens wertlos. Während die aus feinen Schlammteilen bestehenden Schwebstoffe erst durch Umformung für die Pflanzen nutzbar gemacht werden, sind die in Lösung befindlichen Nährstoffe meist unmittelbar aufnahmefähig. Soweit die Pflanzen sie nicht unmittelbar aufnehmen, werden sie mehr oder weniger durch Bodenbindung festgehalten. Die Bindungskraft des Bodens ist in hohem Maße von seinem Gehalt an Quellstoffen (S. 15) und Zeolithen (S. 27) abhängig. Quellstoffe sind in Ton und

Humus enthalten. Da wir nun durch die Bewässerung mit den Schwebestoffen Ton und Humus zuführen, so wird dadurch die Bindungskraft des Bodens verbessert. Die mit der Bewässerung zugeführten Schwebestoffe dienen also hauptsächlich zur Verbesserung der zuständlichen (physikalischen) Eigenschaften des Sandbodens, da sie dessen von Natur mäßige wasserhaltende und bindende Kraft verbessern.

Die im Wasser gelösten Stoffe lassen sich mit dem Wasser auf beliebige Entfernungen fortleiten und auf große Flächen gleichmäßig verteilen, was bei den Schwebestoffen nicht der Fall ist. Diese halten sich nur solange schwebend, wie das Wasser genügende Geschwindigkeit hat, sonst bleiben sie als Sinkstoffe liegen.

Der Gehalt an Nährstoffen im Flußwasser schwankt in weiten Grenzen, sowohl bei den verschiedenen Flüssen als auch mit der jeweiligen Wasserführung des Flusses; er pflegt bei Hochwasser am größten zu sein. Denn dann vollzieht sich der oberirdische Zufluß stärker und verursacht Bodenabspülungen. Besonders günstig ist der Herbst (S. 315). Anders bei Wasserläufen, die eine größere Menge Abwässer aufzunehmen haben. Die darin enthaltenen Nährstoffe werden natürlich bei Hochwasser verdünnt.

Die von den Flüssen mitgeführten Nährstoffmengen sind sehr groß. Nach Ermittlungen von Harlacher (112, 134) flossen durch die Elbe bei Lobositz im Jahre 1866 etwa 4750 Millionen m³ Wasser ab. Diese enthielten 455000 t Schwebestoffe und 519000 t gelöste Stoffe. Darin waren an wichtigen Pflanzennährstoffen enthalten (s. Zahlentafel 96):

Man sieht, wie erheblich der Wert der gelösten Nährstoffe (85%) dem der schwebenden (15%) überlegen sein kann. In der Regel fehlt es an Phosphorsäure, so daß sie durch Handelsdünger zugeführt werden muß. In zweifelhaften Fällen ist eine Untersuchung des Wassers anzuraten, da es sich bei Bewässerungen meistens um erhebliche Anlagekosten handelt. Die Untersuchungen müssen sich auf verschiedene Jahreszeiten und Wasserstände erstrecken. Es liegt auf der Hand, daß man bei düngender Bewässerung von reichem Wasser geringere Mengen aufzuleiten braucht als von armem. Je üppiger die auf S. 284 genannten Pflanzen gedeihen, um so mehr kann man damit rechnen, daß das Wasser wertvolle Pflanzennährstoffe enthält. Mit noch größerer Sicherheit kann man den Wert des Wassers nach dem Einfluß beurteilen, den Überschwemmungen auf das Pflanzenwachstum der überschwemmten Flächen ausüben.

Das Wasser aus Seen ist an Schwebestoffen und damit auch an Nährstoffen ärmer als Flußwasser, weil sich die Schwebestoffe bei der im See verminderten Wassergeschwindigkeit absetzen.

b) **Grund- und Quellwasser.** Grund- und Quellwasser ist meistens ganz frei von Schwebestoffen und auch arm an gelösten Nährstoffen, ausgenommen an Kalk, der oft reichlich in ihm gefunden wird. Quellwasser ist arm an Sauerstoff; man muß es also, bevor es zur Bewässerung verwendet wird, durch Berührung mit der Luft mit Sauerstoff anreichern. Dränwasser ist reich an Stickstoff, Kali und Kalk, wenn es einem Boden entstammt, der sich in hohem Anbauzustand befindet. Vgl. die Ausführungen auf S. 69 über die Nährstoffverluste durch Sickerwasser.

c) **Abwasser.** Für die düngende Bewässerung kommt sowohl städtisches Abwasser als auch solches der verschiedensten Gewerbebetriebe in Frage. Dabei ist zu beachten, daß auch das städtische Abwasser die Abflüsse aus Gewerbebetrieben enthalten kann. Der Gehalt der verschiedenen Abwässer an Pflanzennährstoffen schwankt in ziemlich weiten Grenzen. Je mehr Wasser einem

Zahlentafel 96.

	Schwebestoffe t	Gelöste Stoffe t
Kalk	2480	114500
Kali	20280	25150
Phosphorsäure	1250	—
	24010	139650

Betriebe zur Verfügung steht, um so stärker pflegt die Verdünnung, um so geringer also der Nährstoffgehalt je m³ Abwasser zu sein. Im Einzelfall ist daher stets eine Untersuchung erforderlich. Sehr eingehende Untersuchungen sind von König angestellt (96, Band II). Für ganz überschlägliche Berechnungen können die Zahlen der Zahlentafel 97 (nach König) einen Anhalt geben. Der Gehalt ist in g/m³ angegeben. In der Regel sind die Nährstoffe im Abwasser

Zahlentafel 97.

Art der Abwässer		Schwebestoffe		Gelöste Stoffe					Insgesamt	
		im ganzen	N	im ganzen	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	N	P ₂ O ₅
Städtisches Abwasser ohne Aborte	Essen	319	19	843	50	65	13	77	69	?
	Braunschweig	1082	55	857	93	29	42	122	148	?
	Dortmund . .	430	18	966	53	50	13	127	71	?
Städtisches Abwasser mit Aborten	Berlin	1084	?	1088	109	73	32	107	?	?
	Breslau . . .	405	?	773	92	60	20	82	?	?
	Halle (Saale)	594	38	2794	148	180	43	232	186	?
	Mittelwerte .	700	—	1100	—	70 ¹	—	120 ¹	90	25
Schlachthäuser		1254	88	1920	172	118	?	110	260	32
		8954	517	3197	354	165	?	401	871	137
Brennerei		476	?	814	36	37	17	170	?	?
Stärkewerke		165	11	2353	56	58	28	114	67	?
		298	15	2870	23	90	19	294	38	?
Zuckerwerke		191	8	651	30	28	5	163	38	?
		4433	40	908	19	34	10	198	59	?
Brauereien		196	8	571	15	21	10	128	23	?
		497	43	1170	14	100	14	155	57	?
Molkereien		565	18	835	40	68 ¹	?	183 ¹	58	17
		82	?	790	?	24 ¹	?	275 ¹	7	5

nicht in dem Verhältnis vorhanden, wie sie zum Aufbau der Pflanzen nötig sind. Meistens ist der Stickstoff gegenüber Kali und Phosphorsäure vorherrschend. Will man ihn als Pflanzennahrung ausnutzen, so muß man die anderen Nährstoffe in Düngesalzen zufügen. Doch ist zu beachten, daß von dem in den Abwässern enthaltenen Stickstoff ein Teil nicht ausgenutzt wird (S. 335).

Außer den in Zahlentafel 97 aufgeführten Gewerbebetrieben kommen noch die Abwässer der folgenden Betriebe für die düngende Bewässerung in Frage: Abdeckereien, Hefewerke, Flachsrostereien, Konservenwerke, Mälzereien, Leimwerke und Kartoffelflockenwerke. Auch bei den gewerblichen Abwässern ist stets zu untersuchen, welche Pflanzennährstoffe und möglicherweise pflanzen- oder bodenschädliche Stoffe ein Abwasser enthält. So ist bei den Abwässern der Zuckerwerke besonders auf die schädliche Buttersäure zu achten. Der Karbolsäuregehalt eines Abwassers (Phenole) darf nicht höher als 2% sein. Die gewerblichen Abwässer werden zweckmäßig noch durch Zugabe von Reinwasser verdünnt, wenn sie sehr stark sind. Bei sauerstoffarmem Wasser kann man leicht eine Sauerstoffzunahme von etwa 3 g/m³ erzielen, wenn man es in ganz dünner Schicht über einen Absturz leitet.

D. Die Wassergewinnung.

Anhaltspunkte für den Wasserbedarf sind weiter unten bei den einzelnen Bewässerungsverfahren gegeben. Sind unter ähnlichen Verhältnissen betriebene Anlagen vorhanden, so ist dringend zu empfehlen, die dabei gemachten Erfahrungen auszunutzen.

¹ Gesamtgehalt einschließlich der Schwebestoffe.

1. Die Wasserentnahme.

Die Gewinnung des erforderlichen Bewässerungswassers stößt nicht selten auf rechtliche Schwierigkeiten, da ja die Entnahme von Wasser aus einem Wasserlauf den Wasserzufluß zu den Unterliegern vermindert (S. 294). Daher sind vor dem Bau einer Bewässerungsanlage alle mit der Wasserentnahme verbundenen Rechtsfragen entsprechend den wassergesetzlichen Bestimmungen zu klären. Nötigenfalls sind entgegenstehende Wasserrechte abzulösen.

Wenn unterhalb des zu bewässernden Gebietes bereits ältere Bewässerungsanlagen bestehen, wird man ihnen das unbedingt erforderliche Bewässerungswasser nicht entziehen dürfen.

Will man Bewässerungswasser aus Flüssen oder Bächen entnehmen, so ist stets zu prüfen, ob das Wasser mit natürlichem Gefälle auf die Bewässerungsfläche gelangen kann oder ob es künstlich gehoben werden muß.

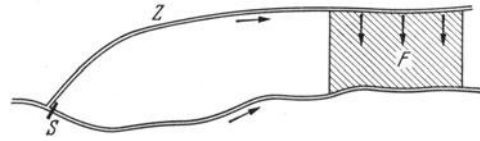


Abb. 197. Zuleitung des Bewässerungswassers.

Für die Ausnutzung des natürlichen Gefälles ist von der Höhenlage der Bewässerungsfläche und dem Wasserstand im Wasserlauf, bei dem bewässert werden soll, auszugehen. Die anfeuchtenden Stau- und Rieselfverfahren (S. 297) verlangen meistens den Einbau eines Stauwehres in den Wasserlauf, da sonst in trockener Zeit, wenn einerseits die Bewässerung besonders wichtig, andererseits der Wasserstand im Fluß besonders niedrig ist, ein ausreichendes Gefälle nicht zur Verfügung stehen würde oder mit einem sehr langen und in seinem oberen Teil tief eingeschnittenen Hauptzuleiter erkauft werden müßte. Das Stauwehr S muß so weit oberhalb der Bewässerungsfläche F liegen, daß der Hauptzuleiter Z das Wasser mit dem nötigen Gefälle der Fläche zuleiten kann (Abb. 197). Günstig kann die Mitbenutzung einer vorhandenen Stauanlage sein. Wasserableitungen ohne Stauwehr haben auch den Nachteil, daß Veränderungen am Wasserlauf, z. B. eine Vertiefung der Sohle, die Wasserentnahme erheblich beeinträchtigen können.

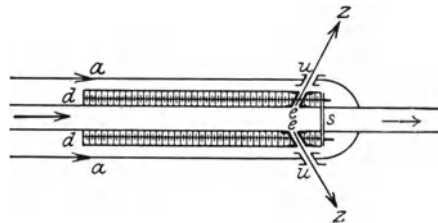


Abb. 198. Stauwehr mit Rückstaudämmen, Zu- und Ableitern. (Nach Krüger.)

Der Aufstau darf nur soweit getrieben werden, wie es für die Vorflut der oberhalb liegenden Grundstücke zulässig ist. Auch in dieser Hinsicht sind die wassergesetzlichen Bestimmungen zu beachten. Wenn ein höherer Aufstau unvermeidlich ist, so muß das Gelände oberhalb durch gleichlaufende Gräben, die ins Unterwasser münden, entwässert werden, und wenn der Stau das Gelände oberhalb übersteigt, so ist dieses außerdem noch durch Seitenverwallungen zu schützen. Ein solcher Fall ist in Abb. 198 dargestellt. Darin bedeuten: s das Stauwerk im Wasserlaufe, d die Seitendämme, z die Bewässerungszuleiter mit den Einlaßschleusen e . Die Entwässerungsgräben a sind mit Unterleitungen u den Zuleitern unterführt und münden ins Unterwasser der Stauschleuse s .

Ist die Wasserführung des speisenden Wasserlaufes nur klein oder sehr schwankend, so kann das Wasser in Seen, Stauweihern oder Talsperren aufgespeichert werden, von wo es nach Bedarf abgelassen wird. Der Bau der Stauwehre, Talsperren usw. bietet auch bei Bewässerungsanlagen nichts Besonderes gegenüber den allgemein üblichen Ausführungsarten.

Die Wasserabgabe aus Schiffahrtskanälen zu Bewässerungszwecken läßt sich nur in den seltensten Fällen ermöglichen. In der Regel ist die Wasserknappheit in den Kanälen gerade dann am größten, wenn die Bewässerung am dringlichsten ist. Auch wirkt die durch die Wasserentnahme entstehende Geschwindigkeit in dem Schiffahrtskanal unter Umständen störend auf den Schiffahrtbetrieb.

Die Beschaffung des Wassers aus Dränen und Quellen gestaltet sich einfach, weil nur kleine Wassermengen abzuleiten sind. Wenn deren Abflußmenge so gering ist, daß ihre Fortleitung und Verwendung nicht möglich ist, weil sie durch Versickerung verlorengehen würde, so muß sie zunächst in einem Sammelbecken aufgespeichert werden, um von diesem aus in größeren Mengen verwendet zu werden. Die Sammelbecken sind wasserdicht anzulegen, da die kleine Fördermenge keine Verluste verträgt. Am besten, aber auch am teuersten sind Becken aus Steinen oder Beton. Billiger sind Erdbecken, die durch Tonschlag, Pflaster usw. genügend gedichtet werden müssen. Zur Entleerung nach jedesmaliger Füllung dienen selbsttätige Heberanlagen.

Es wurde bereits erwähnt, daß unter Umständen auch eine künstliche Wasserhebung zur Heranschaffung des Bewässerungswassers in Frage kommt. Im Zweifelfalle wird man stets durch vergleichende Kostenberechnungen (Bau-, Unterhaltungs- und Betriebskosten) die günstigste Lösung zu ermitteln haben. Wenn die Fläche F in Abb. 197 mit natürlichem Gefälle berieselt werden soll, kann das mit Hilfe der Stauschleuse S und des Hauptzuleiters Z geschehen.

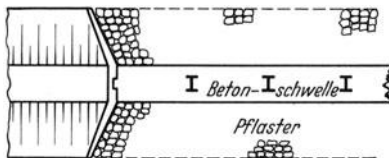


Abb. 199. Einlaßbauwerk mit Dammbalkenverschluß.

Wenn aber diese Anlagen sehr teuer werden, wird zu prüfen sein, ob die Aufstellung einer Pumpe auf der Fläche F und die künstliche Wasserhebung wirtschaftlicher sind. Je größer die Wassermengen sind, die jährlich zur Bewässerung benötigt werden, um so mehr pflegt sich der Bau des Wehres und Hauptzuleiters zu lohnen. Man findet daher die künstliche Wasserhebung für die

Stau- und Rieselfverfahren mit ihrem erheblichen Wasserbedarf weniger bei der Verwendung von Flußwasser, sondern meistens nur dann, wenn eine Anfeuchtung und Düngung mit nährstoffreichem Abwasser vorgenommen werden soll und dadurch der größte Teil der sonst erforderlichen Düngungskosten gespart wird. Die Pumpkosten rechtfertigen sich besonders dann, wenn das Abwasser sonst durch besondere Anlagen geklärt und beseitigt werden müßte.

Zur Wasserhebung dienen dieselben Maschinen, die im Teil VI (S. 243) besprochen sind. Bei größerem Wasserbedarf sind Schleuderpumpen mit Antrieb durch Stromkraft- oder Dieselmotoren am besten geeignet, zumal sie auch unreines Wasser ohne Betriebsstörung zu fördern vermögen. Alle übrigen Anlagen (Windkraftmaschinen, Schöpfräder usw.) kommen nur für kleinere Bewässerungsanlagen in Betracht. Nötigenfalls ist ein Sammelbecken zwischenschalten (s. oben).

Grundwasser ist nur dann zur Bewässerung heranzuziehen, wenn anderes Wasser nicht erreichbar ist. Denn Wasser aus Flüssen und Seen ist schon seiner Beschaffenheit nach stets besser. Dazu kommt noch, daß die Beschaffung des Grundwassers kostspieliger ist als die des oberirdischen, weil es besonders gefaßt und fast stets künstlich gehoben werden muß (Ausnahme S. 8). Die Fassung des Grundwassers geschieht durch die gleichen Einrichtungen, die zur Beschaffung von Gebrauchswasser angewandt werden: Brunnen, Sickerschlitze usw.

Zum Einlassen von sinkstoffreichem Hochwasser eines Flusses in bedeckte Niederungen (S. 304) bedarf es in der Regel nur der Herstellung eines oder mehrerer Ein- und Auslaßbauwerke in den Deichen. Diese Bauwerke werden aber infolge der erforderlichen großen Durchflußquerschnitte oft recht teuer. Bei kleinen Deichhöhen bis 1,5 m genügen bisweilen auch einfache mit Dammbalken verschließbare und mit einem Gehsteg versehene Deichlücken nach Abb. 199.

Bei der Gartenbewässerung (Obstgärten) wird das entnommene Wasser häufig zunächst einem Hochbehälter und von diesem aus durch ein Rohrnetz den einzelnen Teilen des Bewässerungsgebietes zugeführt. Der Hochbehälter

wird zweckmäßig als einfaches Sammelbecken auf einer ausreichend hohen Geländestelle errichtet und braucht gegen Verunreinigungen nicht geschützt zu werden, wenn das Wasser lediglich Bewässerungszwecken dienen soll.

2. Der Hauptzuleiter.

Der Hauptzuleiter hat den Zweck, das Wasser von der Entnahmestelle zur Bewässerungsfläche zu leiten. Er beginnt vielfach schon weit oberhalb des Bewässerungsgebietes und wird meistens mit schwachem Gefälle dem Verlauf der Höhenlinien angepaßt. Man findet daher die Hauptzuleiter in der Regel an den Höhenrändern der Niederungen. Infolgedessen wird die Vorflut vom Hochlande zur Niederung häufig unterbrochen. Ist das Fremdwasser zur Bewässerung geeignet, ist auch nicht zu befürchten, daß es bei Hochwasser den Zuleiter überlasten oder mit Sinkstoffen füllen könnte, so kann es in den Zuleiter aufgenommen werden, wenn dessen Wasserstand genügende Vorflut gewährt. Oder man ordnet an der Bergseite des Hauptzuleiters einen Seitengraben an, der die Vorflut des vom Hauptzuleiter durchschnittenen Gebietes auf der Bergseite sicherstellt.



Abb. 200. Kreuzung eines Überschwemmungsgebietes mit einem Hauptzuleiter. (Nach Krüger.)

Muß mit dem aufgedämmten Zuleiter eine breite Niederung gekreuzt werden, die bei Überschwemmungen Wasser abzuführen hat, so muß die Kreuzung mit einer Rohrleitung bewirkt werden, die den Zuleiter aufnimmt, da sonst der Hochwasserabfluß in unzulässiger Weise behindert würde (Abb. 200). In anderen Fällen genügt es, den Hauptzuleiter mittels Düker unter einen ihn kreuzenden Wasserlauf hindurchzuführen oder umgekehrt, je nachdem, welche Anordnung im Einzelfall die günstigste und billigste ist. Die Lage des Hauptzuleiters ist nach Möglichkeit so zu wählen, daß er ganz im Einschnitte liegt, weil dann sein Bestand gesicherter ist und die Versickerungsverluste geringer zu sein pflegen als bei einem aufgedämmten Zuleiter.

Aufdämmung ist jedoch nicht immer zu vermeiden. Am billigsten wird die Anlage dann, wenn der aus dem Einschnitte gewonnene Boden zur Herstellung der Dämme gerade ausreicht (Abb. 201). Nicht immer ist eine Linienführung mit einigermaßen gleichmäßigem Gefälle möglich. Man ist dann bisweilen gezwungen, Gefällstufen (Abstürze) einzubauen, die bei ausreichender Höhe zur Kraftgewinnung ausgenutzt werden können, um Bewässerungswasser auf besonders hochliegende Flächen zu pumpen, die vom Hauptzuleiter aus nicht beschickt werden können.

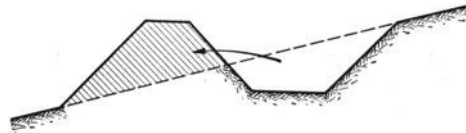


Abb. 201. Hauptzuleiter mit Bodenausgleich.

Je schwächer das Gefälle des Hauptzuleiters ist, um so schneller gewinnt er eine ausreichende Höhe über dem Wasserstand des Flusses, aus dem das Wasser entnommen wird. Indes darf die Wassergeschwindigkeit nicht zu gering werden. Als untere Grenze der mittleren Geschwindigkeit v rechnet man bei Flußwasser 0,3 m/s, wenn noch die feineren Schwebstoffe mit dem Wasser fortbewegt werden sollen (S. 341). Daraus folgt, daß das Gefälle um so geringer sein darf, je größer die Wasserführung ist, weil v mit der Wassermenge Q zunimmt. So geht das Gefälle der Hauptzuleiter bis 0,1‰ herab. Auf der anderen Seite darf die Geschwindigkeit die zulässige Höchstgrenze nicht überschreiten, oder Sohle und Böschungen müssen besonders befestigt werden (S. 147).

Ist eine Führung auf Dämmen nicht zu vermeiden, so muß für eine gute Dichtung der Dammstrecken mit Ton, Beton oder anderen Mitteln gesorgt

werden. Bisweilen genügt eine gut gepflegte Grasnarbe. Am sichersten wirkt aber die Auskleidung mit einer 5 bis 8 cm starken Betonschicht. Etwa alle 6 bis 10 m ist eine durchgehende Dehnungsfuge anzuordnen, da sonst unter dem Einfluß der Wärmeänderungen Risse entstehen. Beton leidet durch Frost. Neuerdings verwendet man auch 4 bis 7 cm starke Decken aus Asphaltbeton (Mineralstoffe und Erdpech, S. 24). Die Korngrößen der einzelnen Mineralstoffe müssen so gewählt werden, daß ein Mindestmaß an Hohlräumen entsteht. Tonauskleidung (5 bis 15 cm stark) muß fest eingestampft und 10 bis 15 cm hoch mit Boden bedeckt werden, weil sie sonst nach Leerlaufen des Zuleiters rissig wird. Aber auch eine richtig angelegte Tondichtung ist nicht völlig zuverlässig, da sie von den die Seitendämme mit Vorliebe bewohnenden Wühl-tieren oft undicht gemacht wird. Das Einschlämmen von Ton in die Wasserfüllung ist meistens wirkungslos. Die auf den Grabenumfang gelagerte dünne Tonschicht wird bei dem nächsten Leerlaufen des Zuleiters unter dem Einfluß von Wind und Sonne abgeblättert und fällt dann zum Teil von der Böschung herab. Nur die mit Abwasser beschickten Hauptzuleiter pflegen im Laufe der Zeit von selbst dichter zu werden, da dauernd viele Dichtungstoffe durch das Abwasser herangebracht werden. Die durch sinkstoffreiches Wasser abgelagerte Schlammschicht bewirkt oft eine besonders starke Verkrautung, ein Umstand, den man bei der Berechnung der Querschnitte zu beachten hat. Die Krone der Seitendämme sollte mindestens 0,3 m, bei größeren Zuleitern bis 0,5 m über dem gewöhnlichen Wasserstande liegen. Ihre Breite soll 0,5 bis 1,5 m betragen, je nach der Bedeutung des Zuleiters und der für die Dämme verfügbaren Bodenart. Im übrigen gelten für seine Ausbildung die Ausführungen des Teiles III (S. 144).

Bei der Entnahmestelle ist der Hauptzuleiter mit einer Einlaßschleuse zu versehen, um den Bewässerungsbetrieb unabhängig von den Flußwasserständen zu machen. Unterhalb der Schleuse ordnet man bisweilen einen Sandfang an (S. 151). Die Versandung der Einlaufstelle des Hauptzuleiters läßt sich dadurch verhindern, daß man seine Sohle etwas höher legt als die Flußsohle und daß das Stauwehr im Fluß an der Seite des Hauptzuleiters einen Grundablaß erhält, mit dem die Flußsohle von Zeit zu Zeit gespült wird.

Unterhalb der Stellen, wo Nebenzuleiter abzweigen, sind in dem Hauptzuleiter Stauschleusen (Abteilungsschleusen) vorzusehen, die den Wasserbezug unter ausreichender Stauhöhe unabhängig von der jeweiligen Wasserführung im Hauptzuleiter sicherstellen. Außerdem sind nach Bedarf Brücken im Zuge gekreuzter Wege oder für neue Abfuhrwege herzustellen, deren Anlage wegen der zu erwartenden Steigerung des Wirtschaftsbetriebes vielfach nötig wird.

E. Die Zu- und Ableiter.

Die Zuleiter haben den Zweck, das Bewässerungswasser dem Hauptzuleiter zu entnehmen und den verschiedenen Bewässerungsabteilungen zuzuleiten. Daneben müssen auch Ableiter vorhanden sein, und zwar Neben- und Hauptableiter, die das überschüssige Wasser aus den einzelnen Abteilungen sammeln und nach dem Hauptvorfluter abführen. Die Gräben sollen nach Möglichkeit auf Eigentums Grenzen angelegt werden, um unwirtschaftliche Durchschneidungen der Grundstücke zu vermeiden. Häufig sind aber die Forderungen der Bewässerung damit nicht vereinbar, so daß dann diese für die Lage der Gräben maßgebend sein müssen. Bei Berechnung der Querschnitte für die Zu- und Ableiter ist an der Hand des Betriebsplanes zunächst zu ermitteln, welche Wassermengen von den Gräben in ihren verschiedenen Abschnitten bei größter Belastung geführt werden müssen. In der Regel nimmt die Wassermenge bei den Zuleitern von oben nach unten ab, umgekehrt bei den Ableitern. Das kommt in den Querschnitten durch Einschränkung der Sohlenbreite und Verminderung der Wasser-

tiefe zum Ausdruck. Zur Berechnung dienen die Abflußformeln (S. 118). Im übrigen sind die Ausführungen über den Hauptzuleiter sinngemäß zu beachten.

1. Die Zuleiter.

Die Zuleiter müssen ganz den jeweiligen Geländeverhältnissen angepaßt werden. Ihre Lage ist durch die höchsten Geländelinien ziemlich fest vorgezeichnet, meistens wird eine Unterteilung in Zuleiter zweiter, dritter Ordnung usw. erforderlich. Der Wasserstand muß überall mindestens 5 bis 10 cm über dem zu bewässernden Gelände liegen, um das Wasser unter genügendem Druck abziehen zu können. Daraus folgt, daß die Zuleiter mit aufgedämmtem Querschnitt angelegt werden müssen. Die Dammkrone sollte mindestens 0,3 m, besser 0,5 m breit sein und mindestens 0,2 m über dem gewöhnlichen Wasserstande liegen. Man macht den Querschnitt der Zuleiter gern flach, um das zufließende Wasser in recht breiter Schicht mit der Luft in Berührung zu bringen.

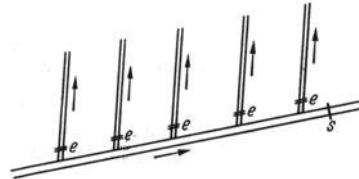


Abb. 202. Abzweigung von Zuleitern.

Einlaßschleusen *e* sind überall dort einzubauen, wo aus einem Zuleiter höherer Ordnung ein solcher niederer Ordnung abzweigt, Stauschleusen *s* dort, wo in einem Zuleiter höherer Ordnung ein Anstau des Wassers nötig ist, um den oberhalb abzweigenden Zuleitern niederer Ordnung ausreichende Wassermengen zuführen zu können (Abb. 202). Die Einlaß- und Stauschleusen, die meistens in großer Anzahl erforderlich sind, müssen zur Kostenersparnis in möglichst einfacher Bauart ausgeführt werden. Kleinere Schleusen werden daher häufig in Holz erstellt. Wichtigere Bauwerke sollte man jedoch möglichst in Stein (Beton) errichten, um an Unterhaltungskosten zu sparen. Auch bei dieser Bauart kann man durch einfache und einheitliche Bauweise die Kosten gering halten.

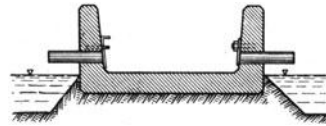


Abb. 203. Verteilrinne aus Beton mit Rohrauslässen. (Nach Krüger.)

In kleineren Zuleitern wendet man statt der festen Stauschleusen auch die verlegbaren Schürzenwehre an, die nach Bedarf eingebaut und entfernt werden (S. 156).

Durch die Dämme der kleinen Zuleiter wird das Wasser mittels einfacher kleiner Kasten-schleusen oder Röhren aus Ton, Zement oder Holz in die Verteilgräben oder Rieselrinnen (S. 306) geleitet und von diesen über das Bewässerungsgebiet verteilt.

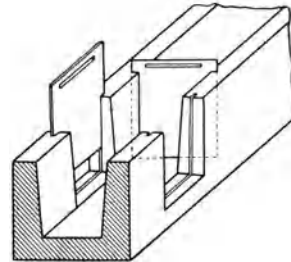


Abb. 204. Verteilrinne aus Beton mit Schiebern. (Nach Krüger.)

Bei der Bewässerung von Gärten verwendet man bisweilen kleine Zuleiter aus Beton oder Holz, deren Kosten bei guten Absatzverhältnissen der Gartenerzeugnisse durchaus tragbar sind. Sie haben den Vorteil, daß kaum Wasser aus ihnen verloren geht. Die Betontröge verlegt man auf dem Gelände, um mit natürlichem Druck Wasser aus ihnen abziehen zu können. Für kleine, seitwärts abzuziehende Wassermengen baut man in die Trogwände kurze Eisenrohrstücke von 20 bis 40 mm Weite ein (Abb. 203), die unmittelbar in eine Bewässerungsfurche ausgießen. Die Ausflußmenge kann durch einen Schieber innen vor dem Rohr geregelt werden. Sind größere Wassermengen seitwärts abzunehmen, so ordnet man kleine Schieberschützen in den Seitenwänden an (Abb. 204). Um den Seitenabzug sicher in der Hand zu haben, wird unterhalb desselben ein Querschieber eingelegt. Derartige Betontröge setzt man aus einzelnen Abschnitten

mit Stoß zusammen und deckt diesen durch Falze oder übergeklebte Streifen aus geteertem Hanfgewebe (Jute). Auf alle Fälle sollte man sie mit Eiseninlagen herstellen.

Hölzerne Rinnen bestehen meistens aus zwei unter rechtem Winkel zusammengenagelten Brettern, deren winkelrechte Form durch quergenagelte Lattenstücke gesichert wird. Die Nagelfuge wird durch einen in sie gelegten Streifen geteeterter Pappe oder Filz gedichtet. Die Rinnen dienen als Zuleitungs- und Verteilrinnen auf durchlässigem Boden oder zur Führung über Strecken mit starkem Gefälle, wo das Wasser wegen zu großer Geschwindigkeit sonst Auspülungen verursachen würde. Wenn es gilt, eine kurze Geländefalte zu überschreiten, so stellt man die Rinne auf kleine Gerüstböcke (Abb. 205). Die auf der Erde liegenden Rinnen werden in eine mit dem Pfluge vorgezogene Rille gelegt. Sie werden in handlich tragbaren Längen von 3 bis 5 m gefertigt. Die eine Länge lagert immer auf einer überstehenden Leiste, die an das

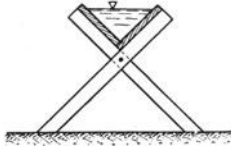


Abb. 205. Hölzerne Verteilrinne auf Gerüstböcken.
(Nach Krüger.)

vorhergehende Stück angenagelt ist. Die Fuge wird durch Umpackung mit Boden gedichtet.

Bei Verteilrinnen werden die Bretter an den Punkten, wo sie Wasser abgeben sollen, mit einem Randeinschnitte versehen, dessen Ergiebigkeit durch einen Blechschieber geregelt werden kann. Durch Einlegen von Abflußhindernissen in Gestalt von Steinen unterhalb der Abzüge kann die abgeleitete Wassermenge noch weiter geregelt werden. Vor der Beackerung des Bodens sind die Holzrinnen beiseite zu legen.

2. Die Ableiter.

Ableiter können allenfalls dann entbehrt werden, wenn eine nur kleine durchlässige, sandige Fläche bewässert wird, weil dann die Versickerung allein für die Entwässerung genügt. Sonst müssen sie das Abwasser aus allen Teilen des Bewässerungsgebietes schnell und gründlich abführen. Sie müssen daher ein weit verzweigtes Grabennetz bilden, das sich schließlich zu einem Hauptableiter vereinigt. Ihre Lage ist durch die tiefsten Geländelinien vorgezeichnet, und ihr Gefälle ist so stark wie möglich und zulässig zu gestalten. Die Ableiter sind so zu berechnen, daß während der Bewässerungspausen eine gründliche Entwässerung stattfindet; während des Bewässerungsbetriebes dürfen sie volllaufen. Stauungen werden nur dann in die Ableiter eingebaut, wenn in trockenen Zeiten auch durch Anstauen angefeuchtet werden soll.

Bei Kreuzungen von Zu- mit Ableitern, die recht häufig vorkommen, sind folgende Lösungen möglich:

- a) Der Ableiter wird dem Zuleiter mit Düker unterführt.
- b) Der Zuleiter wird dem Ableiter mit Düker unterführt.
- c) Der Zuleiter wird mit einem Gerinne über den Ableiter geführt.

An sich ist es am natürlichsten, den tieferliegenden Ableiter zu unterführen. Zu berücksichtigen ist der mit der Unterdükerung verbundene Aufstau. Im Fall c) soll das Überleitungsgerinne nicht in den Spiegel des Ableiters eintauchen.

F. Die Wasserverluste.

1. Verluste in den Zuleitern.

In den Zuleitern einschließlich des Hauptzuleiters treten Wasserverluste ein, die auf Versickerung und Verdunstung zurückzuführen sind und in der Regel so hoch werden, daß sie nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. Am genauesten lassen sich noch die Verdunstungsverluste berechnen, indem man die Angaben auf S. 96 benutzt. Wesentlich unsicherer ist die Einschätzung

der Sickerverluste, die dann zu erwarten sind, wenn der Grundwasserspiegel tiefer liegt als der Wasserspiegel des Zuleiters. Die Versickerung hängt in erster Linie von der Bodenbeschaffenheit (Sand, Lehm, Ton) ab, in zweiter Linie davon, ob der Zuleiter im gewachsenen oder aufgeschütteten Boden liegt, drittens von der Beschaffenheit des Bewässerungswassers. Bei der gleichen Bodenbeschaffenheit versickert im aufgeschütteten und daher gelockerten Boden wesentlich mehr Wasser als im gewachsenen, namentlich solange sich der Boden noch nicht gesetzt hat. Ist das Wasser stark sinkstoffführend, so werden auch Sandböden im Laufe der Zeit weniger durchlässig, weil die feinen Schlammteilchen die Bodenporen zum Teil verstopfen. Ein längere Zeit im Betriebe befindlicher Zuleiter erfährt noch eine weitere Dichtung dadurch, daß sich auf seiner Sohle und seinen Böschungen eine Schlamm- oder Schlickschicht absetzt, die die Versickerung erschwert, aber in ihrer dichtenden Wirkung nachläßt, wenn der Zuleiter trocken läuft (S. 290). Künstliche Dichtungen mit Ton oder Beton sind recht teuer. In vielen Fällen muß und kann man sich mit einer dichten Berasung des Grabenumfanges begnügen. Bei tiefstehendem Grundwasser und nicht völlig (z. B. durch Beton) gedichteten Gräben sind die Sickerverluste in der ersten Zeit nach der Füllung des Grabens am größten, weil dann der Boden noch einen wasseraufnahmefähigen Porenraum besitzt. Mit der allmählichen Füllung der Poren läßt die Versickerung nach. Daß Mäuse- und Maulwurflocher erhebliche Verluste bringen können, liegt auf der Hand. Die Sickerverluste wachsen mit der Druckhöhe h der Abb. 206.



Abb. 206. Sickerverluste.

Über die zahlenmäßige Größe der Sickerverluste liegen nur vereinzelte Untersuchungen vor. Krüger hat unbefestigte Versuchsgräben in Sand und Lehm angelegt (110, 315). Der Graben im Sandboden hatte 0,5 m Tiefe, 0,5 m Sohlenbreite und $1\frac{1}{2}$ fache Böschungen. Eine Bohrung bis 2,5 m Tiefe ergab nur Sand. Im Lehm wurde ein Versuchsgraben von 0,4 m Tiefe, 0,4 m Sohlenbreite und einfachen Böschungen angelegt. Unter 0,8 m humushaltigem Lehm lagerte schwerer Ton. Bezeichnet man die Wasserspiegelbreite im Graben mit B , die Grabenlänge mit L und die in t min auf der Länge L versickerte Wassermenge mit Q (m^3), so ergab sich für die Fläche $B \cdot L$ (m^2) nach der Sättigung des den Graben umgebenden Bodens eine etwa gleichmäßige Versickerungsgeschwindigkeit $v = \frac{1000 \cdot Q}{t \cdot B \cdot L}$ in mm/min, und zwar für den

Sandboden $v = 2,0$,

Lehmboden $v = 0,3$.

Die in diesen Zahlen enthaltene Verdunstung spielt bei der Kürze der Versuchszeit keine Rolle.

Krüger hat ferner auf dem Versuchsfelde bei Dratzig an der Netze Sicker- versuche angestellt (111, 83). Der Boden bestand bis 0,4 m aus Sand mit tonigen Teilchen, von 0,4 bis 1,5 m aus eisenschüssigem Sand, darunter aus reinem Sand. Der 380 m lange Hauptzuleiter hatte 0,5 m Sohlenbreite und $1\frac{1}{2}$ fache Böschungen. Sohle und Böschungen waren mit einer 20 cm starken, gestampften Tonschale versehen, die mit einer 10 cm starken Bodenschicht und Flachrasen bedeckt war. Die Dämme des Hauptzuleiters wurden von Mäusen und Maulwürfen ziemlich stark durchlöchert. Trotz der sorgfältigen Dichtung ergab sich daher bei einem Füllungsversuch des Hauptzuleiters bei etwa 2 m Wasserspiegelbreite in 50 min ein Verlust von $77 m^3$, d. h. eine Versickerungsgeschwindigkeit $v =$ rund 2 mm/min. Die hierin enthaltene Verdunstung ist bedeutungslos. Etwa 20% können jedoch auf die unvermeidlichen Undichtigkeiten an den geschlossenen Auslaßschleusen gerechnet werden.

Bei gleicher Versickerungsgeschwindigkeit v ist der anteilige Wasserverlust der den Zuleiter durchfließenden Wassermenge um so kleiner, je größer die sekundlich zugeleitete Wassermenge ist. Eine sorgfältige Dichtung der Zuleiter in durchlässigen Böden ist um so wichtiger, je knapper oder teurer das Wasser ist und je weniger mit einer natürlichen Dichtung durch Schlamm- bildung gerechnet werden kann.

2. Verluste auf der Bewässerungsfläche.

Die auf der Bewässerungsfläche selbst entstehenden Wasserverluste sind in zweifacher Hinsicht von Bedeutung. Zunächst wollen die Unterlieger häufig wissen, mit welcher endgültigen Wasserentziehung sie zu rechnen haben. Der durch Pflanzenverbrauch und Verdunstung von Boden- und Wasserflächen verlorengelende Anteil des Bewässerungswassers ist je nach der Art der Bewässerung sehr verschieden. Wenn das Bewässerungsgebiet im Niederschlaggebiet des Wasserlaufes liegt, gelangt alles Sickerwasser wieder in ihn zurück. Während der Wachstumsruhe entfällt der Pflanzenverbrauch. Den größten anteiligen Wasserverlust bringt die Beregnung während der Wachstumszeit. Man kann annehmen, daß das gesamte verregnete Wasser alsdann verbraucht wird. Am geringsten sind die Verluste beim einfachen Grabeneinstau (S. 297). Sie bestehen darin, daß die verdunstende Wasseroberfläche vergrößert wird und daß geringe Wassermengen zu beiden Seiten der Gräben in den Boden eindringen und hier von den Pflanzenwurzeln verbraucht werden. Bisweilen wird auch der Abfluß des Grundwassers in die Gräben unterbunden oder verringert, so daß die Pflanzenwurzeln dem Grundwasser mehr Wasser entnehmen können, als es ohne den Grabeneinstau möglich sein würde. Alles in allem kann aber der so eintretende Wasserverlust nur als gering bezeichnet werden.

Die Einschätzung des Wasserverlustes bei den übrigen Bewässerungsverfahren ist außerordentlich schwierig. Der Verlust setzt sich zusammen aus der Verdunstung der freien Wasserflächen, der Verdunstung des Bodens und dem Wasserverbrauch der Pflanzen. Die Verdunstungsverluste der Wasserflächen in den Zu- und Ableitern sowie auf den überstauten Flächen sind nach den Angaben auf S. 96 einzuschätzen. Nach Ablassen des Wassers ist der Boden zunächst weitgehend durchfeuchtet. Er verdunstet dann auf einige Zeit mehr Wasser als unter gewöhnlichen Verhältnissen. Die Bodenverdunstung ist um so größer, je weniger der Boden von einer schützenden Pflanzendecke bedeckt ist. Sehr gering ist daher die Bodenverdunstung des Grünlandes. Im Sommer tritt noch der Wasserverbrauch der Pflanzen hinzu. Den durch die Bewässerung bewirkten Mehrverbrauch der Pflanzen berechnet man am besten dadurch, daß man den Mehrertrag an Trockenmasse schätzt und daraus den Mehrverbrauch an Wasser mit Hilfe der auf S. 64 angegebenen Zahlen berechnet. Folgendes Beispiel möge die Art der Rechnung erläutern: Ein Wiesengebiet von 100 ha (2 ha Zu- und Ableiter, 4 ha Wege und Dämme, 94 ha Bewässerungsfläche) soll in den Monaten April bis Oktober durch Überstauung (S. 299) bewässert werden. Jede Fläche wird durchschnittlich 2mal im Monat je 2 Tage überstaut. Die Zu- und Ableiter sind dauernd (210 Tage) im Betrieb. Die Wasserverluste betragen:

a) Verdunstung der freien Wasserflächen. Nach Zahlentafel 63 verdunsteten vom April bis Oktober 605 mm, im Durchschnitt also 2,8 mm je Tag.

$$\begin{array}{r} 2 \text{ ha } 210 \text{ Tage} = 420 \text{ ha-Tage} \\ 94 \text{ ha } 28 \text{ „} = 2632 \text{ „ „} \\ \hline 3052 \text{ ha-Tage.} \end{array}$$

$$\text{Verlust} = \frac{3052 \cdot 10000 \cdot 2,8}{1000} = 85000 \text{ m}^3.$$

b) Zusätzliche Bodenverdunstung. Wir nehmen unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse (Bodenart) an, daß die Bodenverdunstung in den 7 Monaten infolge der wiederholten Durchfeuchtung etwa 100 mm größer ist als sonst.

$$\text{Verlust} = \frac{94 \cdot 10000 \cdot 100}{1000} = 94000 \text{ m}^3.$$

c) Zusätzlicher Wasserverbrauch der Pflanzen. Geschätzter Mehrertrag = 50 dz/ha an lufttrockenem Heu = $94 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 0,85 = 400000$ kg Trockenmasse. Nach S. 64 wird angenommen, daß 500 l Wasser nötig sind, um 1 kg Trockenmasse zu erzeugen. Verlust also = $400000 \cdot 0,5 = 200000$ m³.

Gesamtverlust = rund 380 mm auf einer Fläche von 100 ha, d. s. als Durchschnitt der gesamten Zeit (April bis Oktober) 21 l/s.

Sinngemäß ist die Berechnung durchzuführen, wenn es sich um die Berieselung einer Grünlandfläche handelt (S. 304). Je nachdem, ob das Rieselwasser in kurzem Gras dem Wind und der Sonne stark ausgesetzt ist oder im Schutze eines höheren Pflanzenbestandes fließt, wird die Verdunstung freier Wasserflächen oder eine geringere anzunehmen sein. Bei der Ackerbewässerung ist die zusätzliche Bodenverdunstung infolge Durchfeuchtung meistens erheblich größer als auf der Wiese, weil die Ackerpflanzen in der Regel nicht denselben Schutz gewähren wie die Grasnarbe der Wiese. So läßt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Verhältnisse mangels anderer Unterlagen wenigstens überschläglich ermitteln, welche Wassermenge durch eine Bewässerung dem Flußgebiet endgültig entzogen wird.

Da die Grundwasserbewegung zum Flusse sich nur langsam vollzieht, so tritt durch die Bewässerung auch eine zeitliche Verschiebung in der Wasserführung des Flusses ein, die dann besonders groß werden kann, wenn bei Beginn der Bewässerung im Herbst der ausgetrocknete Boden erstmalig wieder mit Wasser gefüllt werden muß. Eine solche zeitliche Verschiebung findet auch dann statt, wenn die in den Gräben vorhandenen Stau geschlossen werden, um einen Grabeneinstau durchzuführen. Die Wasserentnahme aus einem Bach oder Fluß entzieht daher den Unterliegern vorübergehend mehr Wasser in der Zeiteinheit, als den endgültigen Wasserverlusten bei der Bewässerung entspricht.

Beim Entwerfen einer Bewässerungsanlage ist zweitens die Kenntnis erwünscht, welcher Anteil des auf eine Fläche geleiteten Bewässerungswassers dem Ableiter dieser Fläche wieder zufließt. Denn nach diesem Zufluß richten sich die Abmessungen der Ableiter sowie der Umfang, in dem das Wasser nochmals zur Bewässerung einer anderen Fläche verwendet werden kann (S. 316). Die hier in Frage kommenden Verluste schließen also das auf der Bewässerungsfläche versickernde Wasser mit ein, auch wenn es den Ableitern auf unterirdischem Wege nach längerer Zeit wieder zufließt. Da die Versickerung in hohem Maße von der Bodenart abhängig ist, so schwankt sie und mit ihr der gesamte Wasserverlust in weiten Grenzen, wie aus den folgenden Angaben hervorgeht.

An der Rögwitz (Mecklenburg) wurden von Heß Untersuchungen über die Wasserverluste einer Wiesenberieselung angestellt (79, 165). Im wesentlichen war es eine Stauberieselung. Grundwasser etwa 0,3 bis 0,4 m unter Gelände (!). Durchlässiger Sandboden. Das Abwasser der oberen Abteilung (80 ha) diente zum Bewässern der unteren (98 ha). Nach Eintreten eines gewissen Beharrungszustandes ergab sich: Zufluß und Abfluß der oberen Abteilung 1,130 und 0,864 m³/s, der unteren 0,796 und 0,486 m³/s. Mithin Wasserverlust 3,3 und 3,2 l/s · ha. Bewässert wurde Mitte Mai. In einem anderen Jahr (Anfang Mai) erhielt die obere Abteilung 1,168 m³/s, von der unteren flossen 0,457 ab. Daher Verlust 4,0 l/s · ha.

König fand in der Bokerheide bei der Stauberieselung von Wiesen folgende Zahlen (97, 505):

1. 0,3 bis 0,7 m Schlick auf kiesigem Sand oder grobkörnigem Diluvialsand. 74 ha. Zuleitung 1,138, Abfluß 0,933 m³/s. Verlust = 2,8 l/s · ha. August. Vor dem Versuch starke Regenfälle, während des Versuches warmes trockenes Wetter bei ziemlich starkem Wind.

2. 0,6 bis 0,7 m sandiger Lehm auf reinem Sand. 8,5 ha. Zuleitung 0,598, Abfluß 0,548 m³/s. Verlust = 5,9 l/s · ha. August. Dabei mäßig warm und Regenschauer. Zweiter Versuch auf derselben Fläche mit 1,480 m³/s Zuleitung und 1,340 Abfluß. Verlust = 16,5 l/s · ha. April bei Sonnenschein und leichtem Wind.

3. Sehr feiner Sand mit Lehmbeimischung, 2,29 ha. Zuleitung 141 l/s · ha, Abfluß 131. Verlust = 10 l/s · ha. Mitte November, bewölkt und neblig. Zweiter Versuch auf einer Teilfläche von 0,378 ha. Zuleitung 0,072, Abfluß 0,067 m³/s. Verlust = 13,2 l/s · ha. Ende Juli, bewölkt mit zeitweise feinem Nebelregen.

Überstauungsversuche von Krüger (111, 96) auf dem Sandboden des Dratziger Versuchsfeldes (S. 293) in einem 1,00 ha großen Polder ergaben sehr erhebliche Verluste. Die Versuche wurden im Juni und August durchgeführt, sie dauerten 6 bis 10 h. Zuleitung 2700 bis 4800 m³. Verluste = 100 bis 117 l/s · ha.

Allgemeine Angaben über die Wasserverluste bei der Berieselung von Wiesen stammen von der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Münster i. W. (25, 24). Danach

Zahlentafel 98.

Monate	l/s · ha	mm/Tag
November, Dezember, Februar	1—4	8—35
Oktober, April, Mai	5—8	43—69
Juni, Juli	9—15	78—130

soll man bei einer Zuleitung von 100 l/s · ha im Mittel mit den nebenstehenden Verlusten rechnen (s. Zahlentafel 98). Diese Zahlen lassen jedoch nicht genügend den Einfluß der Bodenart erkennen. Auch

ist der jahreszeitliche Unterschied geringer als die Zahlen aufweisen. Man nehme bei der Wiesenberieselung mangels genauerer Unterlagen im großen Durchschnitt etwa die in Zahlentafel 99 angegebenen Gesamtverluste in l/s · ha.

Zahlentafel 99.

Jahreszeit	Bodenarten		
	schwer	mittel	leicht
Winter	2—4	5—8	9—16
Frühjahr, Herbst	3—5	6—9	10—17
Sommer	4—6	7—10	11—18

Doch können die Verluste bei grobem Sand noch höher werden. Je größer die dem ha sekundlich zugeführte Wassermenge ist, um so größer sind im allgemeinen auch die in l/s · ha ausgedrückten Verluste bei der Berieselung, wenngleich sie bei weitem nicht im selben Verhältnis wachsen wie die Zuleitung größer wird.

Bei der Überstauung leichter Böden treten wesentlich größere Verluste ein als nach Zahlentafel 99, namentlich auf brachliegendem Acker, dessen obere Schicht stets lockerer ist als beim Grünland. Auch der dichte Pflanzenbestand des letzteren erschwert die Versickerung. Die Sickerverluste bei der Überstauung sind nicht von der sekundlich zufließenden Wassermenge je ha abhängig, sondern im wesentlichen von der Zeitdauer der Überstauung, wobei der mittlere Verlust je Zeiteinheit um so kleiner ist, je länger die Überstauung dauert. Denn mit zunehmender Zeit füllen sich die Bodenporen mit Wasser, wodurch die weitere Versickerung erschwert wird.

Allgemein wächst die Versickerung je ha mit abnehmender Größe des Bewässerungsgebietes, weil das versickerte Wasser den nicht bewässerten Nachbargebieten ausgleichend zufließt. Die Aufnahmefähigkeit des Bodens wird durch häufige Bewässerungen geringer; man hat daher die größten Wasserverluste zu Beginn eines Bewässerungszeitraumes zu erwarten.

Bei der Schwierigkeit, die Wasserverluste für die Entwurfbearbeitung richtig einzuschätzen, ist es stets zu empfehlen, entweder die unter ähnlichen Verhältnissen etwa in der Nachbarschaft gemachten Betriebserfahrungen auszunutzen oder zunächst einen Bewässerungsversuch in kleinem Umfange durchzuführen, wenn Zeit und Kosten es zulassen.

G. Die Stau- und Rieselverfahren.

Während die oben besprochenen Zuleiternetze dazu dienen, das Wasser nach allen Punkten des Bewässerungsfeldes zu schaffen, ist es die Aufgabe des inneren Ausbaues, das Wasser nach Möglichkeit gleichmäßig über die einzelnen Flächen zu verteilen. Zu diesem Zwecke haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Bewässerungsverfahren herausgebildet. Die Wahl des richtigen Verfahrens für den gegebenen Fall ist für den Erfolg von großer Bedeutung. Maßgebend dabei sind folgende Erwägungen:

1. Die verfügbare Wassermenge. Beispielsweise erfordert die Überstauung leichter Böden wesentlich mehr Wasser als der Grabeneinstau.

2. Der Zweck der Bewässerung. Bei der düngenden Bewässerung mit Flußwasser ist eine ausreichende Düngung oft nur durch Überstauung zu erreichen.

3. Das Geländegefälle. Während die Rieselung ein nicht zu kleines Geländegefälle verlangt, ist für die Überstauung ein gefällearmes Gelände Voraussetzung.

4. Die Bodenart. Zum Beispiel eignet sich die Furchenbewässerung nicht für sehr leichte Böden.

5. Die Nutzungsart der Bewässerungsfläche. Grünlandereien vertragen eine nicht zu lange dauernde völlige Überstauung, die Ackerpflanzen dagegen nicht.

6. Die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Die Kosten der einzelnen Verfahren für Anlage, Betrieb und Unterhaltung sind sehr verschieden. Der durch die Bewässerung erzielte Mehrertrag hängt u. a. stark von der Bodenart, seine Verwertung von den Marktverhältnissen ab. Daher spielt bei der Wahl des Bewässerungsverfahrens auch die zu erwartende Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage eine entscheidende Rolle.

1. Der oberirdische Einstau.

a) **Der Grabeneinstau.** Der gewöhnliche Grabeneinstau und seine Wirkung sind bereits auf S. 146 behandelt worden. Die Durchlüftung des Bodens wird nicht beeinflußt. In schwer durchlässigen Böden ist die anfeuchtende Wirkung sehr gering. Der Wasserbedarf des Grabeneinstaus ist in der Regel nur klein, in durchlässigen Böden größer als in schweren. Während der zu füllende Stauraum aus der Breite und dem Gefälle der Gräben leicht überschläglich berechnet werden kann, ist die versickernde Wassermenge stark von der Bodenart und der Höhe des Grundwasserspiegels abhängig und im voraus schwer zu schätzen. Bei sehr tiefem Grundwasserstand ist der Grabeneinstau zwecklos, da das Sickerwasser der Niederschläge ohnedies nicht in die Gräben fließt, sein Abfluß also durch den Einstau nicht verhindert werden kann, und da das aus den eingestauten Gräben versickernde Wasser fast senkrecht ins Grundwasser absinkt. Eine (überschlägliche) Berechnung des Wasserbedarfes erübrigt sich meistens, kann sich aber empfehlen, wenn eine Zuleitung fremden Wassers in Frage kommt. Der Grabeneinstau dient lediglich Anfeuchtungszwecken, und zwar ebenso für Grünland wie für Äcker.

b) **Die Furchenbewässerung.** Ein zweites Verfahren des oberirdischen Einstaus ist die Furchen- (Einstau-) Bewässerung. Während beim Grabeneinstau nur die ohnehin erforderlichen Entwässerungsgräben verwendet werden,

verteilt man bei der Furchenbewässerung das Wasser noch durch besondere Bewässerungsgräben und durch zahlreiche Furchen. Die Gräben und Furchen werden jedoch nicht zum Überlaufen gebracht, das Wasser soll lediglich aus ihnen versickern. Je bindiger der Boden ist, um so mehr ziehen auch die seitlich von der Furche liegenden Bodenschichten das Wasser an. In Sandböden sickert der größte Teil des Wassers fast senkrecht in die Tiefe. Abgesehen von sehr leichtem Boden zieht sich das Wasser etwa 0,3 bis 0,5 m weit seitlich in den Boden hinein. Eine wirksame Anfeuchtung der oberen Bodenschichten erhält man daher nur, wenn man Furchen in etwa 0,6 bis 1,0 m Abstand verwendet. Je durchlässiger der Boden ist, um so enger sind die Furchen anzuordnen. Man nennt diese Art der Bewässerung auch Beetbewässerung. Die Furchen werden mit dem Häufelpfluge hergestellt. Furchenbewässerung findet nur auf Acker- und Gemüseland, nicht auf Grünland Anwendung, sowohl zur anfeuchtenden als auch zur düngenden Bewässerung (Abwasser). Die zu bewässernden Ackerfrüchte sind in Reihenpflanzung anzulegen. Bei dem jährlichen Pflügen des Bodens wird der Schlick, den das düngende Abwasser in den Furchen zurückgelassen hat, ausreichend verteilt.

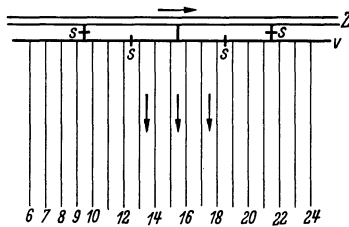


Abb. 207. Furchenbewässerung.

Die Furchen legt man möglichst in schwaches Gefälle, etwa 0,3 bis 0,5%, höchstens jedoch 2%. Auf steileren Hängen hat man es in der Hand, Furchen in beliebigem Gefälle herzustellen, je nach dem Winkel, unter dem sie die Höhenlinien des Geländes schneiden. Je länger die Furchen sind, um so größer muß ihr Gefälle sein, da sonst kein Wasser mehr bis an ihr Ende

gelangt. Größere Längen als 150 m sind nicht zu empfehlen. In leichten Böden sind kürzere Längen zu wählen, da in ihnen das Wasser versickert, bevor es 150 m durchlaufen hat. Abwasser bildet allerdings bald eine etwas dichtende Schlammschicht. Unten aus der Furche austretendes Wasser ist unerwünscht. Will man bei knappem oder teurem Wasser eine Furchenbewässerung anlegen, so sollte man möglichst durch einen Versuch vorher feststellen, wie lang man die Furchen unter den gegebenen Verhältnissen (Bodenart, Menge des Speisewassers) anzulegen hat.

Der Betrieb gestaltet sich so, daß man das Bewässerungswasser aus dem Zuleiter Z (Abb. 207) zunächst in einen kleinen Verteilgraben v leitet, aus dem es in die Furchen fließt. Jede Furche braucht eine bestimmte sekundliche Wassermenge entsprechend der auf ihrer gesamten Länge sekundlich stattfindenden Versickerung. Dieser Furchenbedarf kann nur von Fall zu Fall aus der betrieblichen Erfahrung abgeleitet werden. Je mehr Wasser der Zuleiter sekundlich heranzuführt, um so mehr Furchen lassen sich gleichzeitig beschicken. Man stellt daher zunächst Versuche an, in welchen Abständen der Zuleiter zweckmäßig mit dem Verteilgraben zu verbinden ist. Diese Verbindungsstellen können als einfache Grabenstückchen ausgeführt und mit einem Stechschütz verschlossen werden. Die Stechschützen bestehen aus Blech oder blechbeschlagenem Holz und werden einfach in die Sohle und Böschungen eingedrückt. Oder man verbindet den Zuleiter mit dem Verteilgraben durch Tonrohre, die man mit Holzstöpseln verschließt. In Abb. 207 ist dargestellt, wie gerade die Furchen 13 bis 18 beschickt werden. Alle übrigen sind durch Stechschützen s vom Zuleiter getrennt. Zu Beginn jeder Füllung ist der Wasserverbrauch stärker als später, wenn der Untergrund erst mit Wasser durchtränkt ist. Man gibt daher zuerst eine größere Wassermenge auf die Furche und drosselt nach Füllung der ganzen Länge den Zufluß soweit, daß nur die Versickerung gedeckt wird.

Da der sekundliche Wasserverbrauch der einzelnen Furche gering ist, kann man sich der sekundlich verfügbaren Wassermenge jederzeit anpassen. Der

Wasserbedarf einer anfeuchtenden Furchenbewässerung läßt sich wie folgt ermitteln. Wenn z. B. bei tiefstehendem Grundwasser vom April bis September im Mittel nur 250 mm Regen fallen, aber 400 mm erwünscht sind (Zahlentafel 40), so wären 150 mm zuzüglich eines Aufschlages für Versickerungs- und Verdunstungsverluste aufzubringen. Die Verdunstungsverluste sind bei der Furchenbewässerung nur gering. In mittelschweren Böden ist jedoch zu berücksichtigen, daß schätzungsweise $\frac{1}{3}$ des Bewässerungswassers so schnell aus den Furchen fast senkrecht in die Tiefe sinkt, daß es für die Pflanzen verloren ist. Rechnet man im obigen Beispiel mit 100 mm Sickerzuschlag einschließlich der Verluste in den Zuleitern, so sind 250 mm in 6 Monaten aufzuleiten, das entspricht einem ständigen Zufluß von $0,16 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$. Im großen Durchschnitt nimmt man bei der anfeuchtenden Furchenbewässerung $0,15$ bis $0,20 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ als ständigen Zufluß an (127, 11). Der Wasserbedarf der düngenden Furchenbewässerung hängt außerdem vom Düngwert des Abwassers ab.

Eine besondere Art der Furchenbewässerung sind die Hanggräben (Horizontalgräben), die man in Wäldern und Obstgärten anlegt. Auf Steilhängen fließt das Regenwasser schnell zu Tal, ohne Zeit zum Einsickern zu haben. Diese Wasserverhältnisse kann man wesentlich dadurch verbessern, daß man zwischen den Bäumen kleine waagerechte Furchen zieht, die das Wasser aufhalten, zur völligen Versickerung nötigen und zur Tränkung der Bäume nutzbar machen.

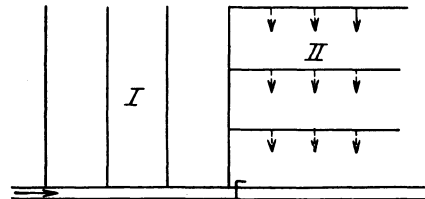


Abb. 208. Eintaubewässerung mit Gruppen.
(Nach Krüger.)

Die Furchenbewässerung wird hauptsächlich bei Hackfrüchten, Gemüse

und in Obstgärten angewendet, seltener bei Halmfrüchten. Voraussetzung ist ein ziemlich ebenes Feld mit gleichmäßigem Gefälle, das ohne Umbau die Anlage langer Furchen gestattet. Das Verfahren wird umständlich in Anlage und Betrieb, wenn das Gelände nur kurze, unregelmäßig liegende Furchen zuläßt. Die lediglich anfeuchtende Furchenbewässerung ist ungeeignet für sehr durchlässige Böden, während die düngende Furchenbewässerung mit Abwasser auf allen Böden möglich ist. Die Vorteile der Furchenbewässerung bestehen in ihrem geringen Wasserbedarf sowie darin, daß der Boden auf den Beeten zwischen den Furchen nicht verkrustet. Sie hat aber den Nachteil, daß die nutzbare Landfläche durch die Gräben und vielen Furchen verkleinert wird, und daß die Erntearbeiten erschwert werden. Auch müssen die Furchen jedes Jahr wieder neu hergestellt werden.

Eine Eintaubewässerung ohne Furchen, lediglich mit den in größeren Abständen angelegten Bewässerungsgräben hat in der Regel eine so geringe Wirkung, daß sie kaum angewendet wird. Kommt sie doch einmal zur Ausführung, so empfiehlt es sich, die Bewässerungsgräben nur als kleine Gruppen ($20 \cdot 20 \text{ cm}$) herzustellen und sie durch Anstauen eines Entwässerungsgrabens mit Wasser zu besicken (Abb. 208). Bei der Anordnung II kann man aus einer Stauschleuse trotz erheblichem Geländegefälle eine große Fläche speisen, die Schleusen können also in größeren Abständen liegen. Bei dieser Anordnung findet auch eine vorteilhafte Bewegung des Grundwassers nach dem Unterwasser der Schleuse statt (durch Pfeile angedeutet).

2. Die Überstauung.

a) **Die einfache Überstauung.** Eine Überstauungsanlage wird dadurch geschaffen, daß man die Bewässerungsfläche durch kleine Dämme d in einzelne Abteilungen (Polder) einteilt, die meistens nacheinander überstaut werden. In Abb. 209 ist eine Anlage mit den drei Abteilungen I bis III dargestellt, die

mittels des Zuleiters *Z* aus dem Oberwasser der Stauschleuse *S* mit Wasser beschickt werden. Etwa an den höchsten Geländestellen der Abteilungen liegen die Einlaßschleusen *e*, an den tiefsten die Auslaßschleusen *a*. Innerhalb jeder Abteilung wird durch Anlage von dem Gelände angepaßten Verteil- und Entwässerungsgräben *g* die Überflutung der Fläche unterstützt, namentlich aber dafür gesorgt, daß das Bewässerungswasser nach dem Öffnen der Auslaßschleuse möglichst schnell wieder abfließt.

Die Überstauung setzt voraus, daß das Gelände wenigstens annähernd waagrecht ist. Geländeerhöhungen sind möglichst einzuebnen, der Mutterboden ist dabei wieder aufzubringen. Das Geländegefälle muß um so kleiner sein, je größer der Polder werden soll. Sonst würden die unteren Abschlußdämme unverhältnismäßig hoch und teuer werden, und die Sinkstoffablagerung würde sehr ungleichmäßig, da sie um so größer ist, je tiefer die Wasserschicht. Stärker geneigtes Gelände verlangt außerdem verhältnismäßig viel Wasser für die Überstauung. Man rechnet im Durchschnitt mit einer Überstauungshöhe von etwa 0,2 bis 0,3 m.

Im unteren Teil der Fläche soll die Wassertiefe 0,5 m nicht übersteigen (S. 301).

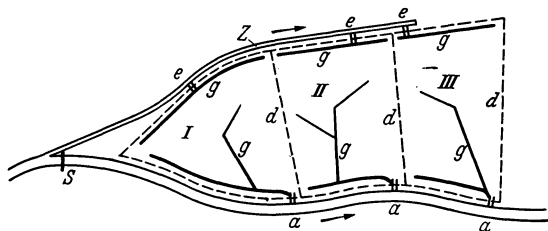


Abb. 209. Überstauungsanlage.

Die Größe der Abteilungen liegt je nach den örtlichen Verhältnissen zwischen weiten Grenzen, sie schwankt meistens etwa zwischen 1 und 10 ha. Es kommen aber auch größere Abteilungen von 20 und mehr ha

vor. Sehr große Abteilungen haben den Nachteil, daß erheblicher Wellenschlag entstehen kann, der höhere Dämme verlangt und das Absetzen der Sinkstoffe erschwert. Ferner ist zu beachten, daß überstautes Grünland nur eine bestimmte Höchstzeit unter Wasser stehen darf (S. 301). Man hat daher die Zeit vom Beginn des Füllens bis zum Ende des Entleerens unter Berücksichtigung der Sickerverluste zu berechnen und danach die Abteilungsgröße so festzulegen, daß jedenfalls die zulässige Wasserzeit nicht überschritten wird. Die Wasserverteilung kann durch ein Netz von Verteilgräben gefördert und dadurch die gleichmäßige Füllung beschleunigt werden. Die Abteilungen brauchen keineswegs regelmäßige Formen zu haben. Man spart vielmehr an Kosten, wenn man für die Abschlußdämme höhere Geländestellen ausnutzt, ohne freilich die Dämme dadurch wesentlich zu verlängern. Günstig ist es, wenn man für die Lage der Dämme Eigentumsgrenzen benutzen kann, um die Bewirtschaftung der Grundstücke nicht zu erschweren.

Die Dämme erhalten eine waagrechte Krone von 0,6 bis 1,5 m Breite, die 0,3 bis 0,5 m über dem Stauspiegel liegt. Der Boden für die Dämme ist wenn möglich aus den Gräben zu entnehmen. Die Böschungen werden in der Regel zwei- bis dreifach angelegt und mit Rasen befestigt. Diese Befestigung muß besonders sorgfältig hergestellt werden, wenn in großen Poldern mit nennenswertem Wellenschlag zu rechnen ist.

Die in den Dämmen anzulegenden Ein- und Auslaßschleusen (S. 291) sind in Zweifelfällen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu berechnen.

Da man sich bei der düngenden Bewässerung mit Flußwasser in der Regel des Hochwassers bedienen muß, um eine ausreichende Wirkung zu erzielen, und da die Hochwasser sehr unregelmäßig eintreten, soll man die Wassermengenganglinie des Flusses für einen möglichst langen Zeitraum feststellen und aus ihr ermitteln, welche Wassermengen in diesem Zeitraum für die beabsichtigte Bewässerung zur Verfügung gestanden hätten.

Der Bewässerungsbetrieb gestaltet sich am einfachsten, wenn im Winter unbestelltes Ackerland düngend bewässert wird. Zu beachten ist nur, daß man dem Boden auch genügend Zeit zum Durchfrieren gibt und daß er zum Frühjahr wieder ausreichend entwässert wird. Grünlandbewässerungen sind jedoch mit großer Vorsicht zu handhaben, da die guten Wiesengräser in der Wachstumszeit eine lange Überstauung nicht vertragen. Sie werden dann leicht von lästigen Unkräutern verdrängt. Im Winter kann dem Grünland eine längere Überflutung als im Sommer zugemutet werden. Bei der Sommerbewässerung sollte man Grünland höchstens 2 bis 3 Tage unter Wasser setzen, gerechnet vom Beginn des Füllens bis zum Entleeren. Auf schweren Böden ist die Grünlandüberstauung so kurz wie möglich zu halten. Auch auf Moorböden ist Vorsicht bei der Überstauung geboten und die Zeit möglichst abzukürzen. Nach jeder Überstauung ist dem Boden genügend Zeit zur Entwässerung zu geben. Im allgemeinen wird man mit einer Pause von etwa 1 bis 2 Wochen auskommen, je nach der Schwere des Bodens. Wegen der Wasserzeiten und der wiederholten Benutzung des Wassers vgl. S. 314 ff. Bei der Überstauung des Grünlandes ist zu berücksichtigen, daß das Wasser in der ersten Wasserabteilung an Luft verarmt. Man läßt es daher in die nächste Abteilung möglichst in dünner Schicht abfließen, damit es belüftet und wieder mit Sauerstoff bereichert wird. Bei gleich großen Abteilungen muß der zweiten und dritten Zuschußwasser gegeben werden, um die entstandenen Verluste auszugleichen. Die Wiederverwendung des Bewässerungswassers setzt voraus, daß die Abteilungen stufenweise in verschiedener Höhe angeordnet werden können.

Für die Berechnung des Wasserbedarfes eines Polders ist zu unterscheiden, ob alles oder nur ein Teil des Stauwassers im Polder versickert und der Rest aus den Auslaßschleusen wieder abgelassen wird. Das zweite Verfahren sollte stets bei der anfeuchtenden Überstauung angewendet werden, um an Wasser zu sparen. Denn eine Füllung enthält stets mehr Wasser, als die Pflanzen jeweils brauchen, auch wenn man auf waagerechtem Gelände die Stauhöhe auf 10 bis 15 cm einschränken kann. Man pflegt daher mit dem Entleeren sofort zu beginnen, sobald die gewünschte Füllhöhe erreicht ist. Mit den Bezeichnungen auf S. 316 werden dem Polder zwar jedesmal h_0 mm Wasser zugeleitet, aber nur h_1 mm bleibend. Aus den Gl. (154) und (156) ist zu entnehmen, daß h um so größer wird, je größer der Verlust z_v und je kleiner die Umlaufzahl n ist. Je durchlässiger also der Boden ist, um so kleiner hat man die gleichzeitig bewässerte Fläche zu machen, wenn h klein bleiben soll. In sehr durchlässigen Böden würde sonst die Füllung infolge starker Sickerverluste auch zu lange dauern, das Grünland daher zu lange unter Wasser bleiben. In schweren Böden besteht der Vorteil der kleinen Polder darin, daß die Durchlüftung des Bodens nur kurze Zeit unterbrochen wird (S. 337). Wegen der Sickerverluste vgl. die Angaben auf S. 295. Den Wasserbedarf h der anfeuchtenden Überstauung berechnet man nach der gewünschten Häufigkeit a der Bewässerungen und der jedesmal erforderlichen Wasserhöhe h_0 [Gl. (160)]. Bei der düngenden Überstauung wird auch die Vollversickerung angewendet (S. 338). Je mehr Wasser im Verhältnis zur Durchlässigkeit des Bodens versickern soll, um so wichtiger ist die Prüfung, ob der Boden zu dränen ist (S. 338). Die jährliche Wasserhöhe hängt in erster Linie von dem ausnutzbaren Nährstoffgehalt des Bewässerungswassers ab. Abwasser braucht nur in verhältnismäßig kleinen Mengen gegeben zu werden (S. 334). Flußwasser dagegen enthält auch bei Hochwasser so geringe Sinkstoffmengen (S. 285), daß jährlich erhebliche Wassermengen nötig sind, um eine einigermaßen gute Düngung zu erzielen. Auch für die einfache düngende Überstauung gelten die Angaben auf S. 303. Man tut gut, im Einzelfall das Flußwasser auf seinen Gehalt an Sinkstoffen untersuchen zu lassen. Auch empfiehlt sich häufig eine Probebewässerung auf einer kleinen Fläche, bevor man die gesamte Anlage erstellt. Man kann so am sichersten die Wirkung der

Bewässerung und den Wasserbedarf erkennen. Dieser ist natürlich keine mit Sicherheit zu berechnende Größe. Auch wenn man eine jährliche Wasserhöhe von beispielsweise 3 m nach dem Nährstoffgehalt des Flusses als erwünscht ermittelt hat, wird man sich unter Umständen mit weniger begnügen müssen und trotzdem einen wirtschaftlichen Teilerfolg erreichen können.

Die Vorteile der Überstauung bestehen in geringen Bau- und Unterhaltungskosten. Die Polder können ohne Schwierigkeit beweidet werden. Beim Weidebetrieb entstehen jedoch besondere Kosten durch die Einzäunung, die um so größer sind, je kleiner die Polder angelegt werden. Leichte Sandböden erfahren durch die Schlickablagerung eine wesentliche zuständige und stoffliche Verbesserung. Das Ungeziefer wird gut vernichtet, durchgreifender als durch die Rieselung. Man verwendet die Überstauung namentlich zur düngenden Bewässerung des Grünlandes, um die schlickhaltigen Hochwasser der Flüsse auszunutzen. Ein Nachteil liegt darin, daß das ruhende Stauwasser an Sauerstoff verarmt. Mit Abwasser wird namentlich Brachland überstaut. Die Anwendung der anfeuchtenden Überstauung im Sommer stößt häufig auf rechtliche Schwierigkeiten, da verhältnismäßig große Wassermengen benötigt werden und die Unterlieger der starken Wasserentziehung widersprechen.

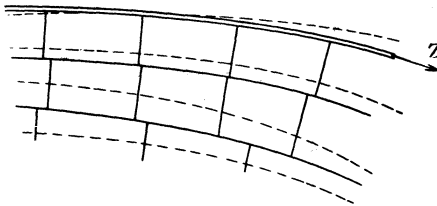


Abb. 210. Beckenverfahren. (Nach Krüger.)

hergestellt werden und der Richtung der Höhenlinien folgen, wird das Feld in Staubecken geteilt, deren Größe von dem Geländegefälle und der zu ihrer Füllung verfügbaren Wassermenge abhängt (Abb. 210). Die Becken sind bisweilen nur wenige ar groß, damit die Wasserverluste gering bleiben. Oberflächeneinebnung in den Becken muß vermieden werden, weil die dadurch bedingten Kosten zu hoch sind, auch die Güte der Ackerkrume beeinträchtigt wird. Die 30 bis 50 cm hohen Dämme werden bisweilen mit ganz flachen Böschungen (1 : 5) angelegt, um sie mit Ackergeräten überfahren und mitbestellen zu können.

Am oberen Rande der höchsten Beckenreihe liegt der Zuleiter Z, aus dem die Becken gefüllt werden. Danach wird das Wasser in die nächst unterhalb liegende Reihe abgelassen usw. Zur Überleitung dienen Öffnungen in den Dämmen, die in einfachster Weise nach Bedarf verschlossen werden. Man kann auch jede Beckenreihe durch einen besonderen Nebenzuleiter anschließen, der es ermöglicht, jedem Becken frisches Wasser zuzuleiten. Für eine einmalige Bewässerung rechnet man 15 cm Stauhöhe. Man verwendet die Beckenbewässerung auf Ackerland, Grünland und in Obstgärten. In Deutschland kommt sie in erster Linie bei der Abwasserwertung in Frage (S. 337). Sie erschwert unter Umständen infolge der zahlreichen Dämme die Bewirtschaftung, falls nicht die einzelnen Becken etwa im Gartenbetrieb ohnehin von Hand bestellt oder die Dämme mit beackert werden. Wiesen müssen mit der Hand gemäht werden. Der Wasserbetrieb ist einfach.

b) Die Stauberieselung. Auch die Stauberieselung (besser Rieselüberstauung) rechnet man zu den Überstauungen. Sie vermeidet den Nachteil der gewöhnlichen Überstauung des Grünlandes dadurch, daß sie nicht mit stillstehendem, sondern mit langsam bewegtem Wasser arbeitet. Die baulichen Anlagen sind ganz ähnliche wie bei der oben behandelten einfachen Überstauung. So kann die Anlage der Abb. 209 auch zur Stauberieselung verwendet werden, indem man die Polder zunächst bis zu einer bestimmten Höhe mit Wasser füllt und danach durch Regelung der Auslaßschleusen *a* dafür sorgt, daß der Zufluß

bei e ebenso groß wird wie der Abfluß bei a und die im Polder eintretenden Wasserverluste. Die Ein- und Auslässe sind so anzuordnen, daß möglichst alle Teile des Polders vom Wasser durchflossen werden und keine toten Winkel entstehen. Durch Verbauung flacher Mulden mit niedrigen und flach geböschten Dämmen oder durch Leitdämme kann die gleichmäßige Überströmung aller Flächenteile noch wirksam gefördert werden.

Während in Abb. 209 das Bewässerungswasser aus den einzelnen Poldern sofort wieder in den Fluß zurückfließt, wird es in anderen Fällen mehrfach verwendet (S. 316). Man leitet dann bei der düngenden Bewässerung bisweilen das Wasser aus größeren Abteilungen in kleinere, damit seine verringerte Güte durch die größere Menge wenigstens zum Teil wieder ausgeglichen wird. Die wiederholte Verwendung des Wassers wird dadurch erreicht, daß man die unteren Abschlußdämme der Polder mit zahlreichen Dammsielen oder mit breiten Überläufen versieht. Letztere haben den Vorteil, daß sie das in etwa 5 cm Stärke hinüberfließende Wasser gut belüften und so mit neuem Sauerstoff versorgen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß zu große Polder nicht zweckmäßig sind, weil das Wasser sich in ihnen zu langsam fortbewegt. Man müßte denn schon sehr große sekundliche Wassermengen aufleiten, was aber große Abmessungen der Zuleiter und Bauwerke und daher hohe Kosten bedingt. Im allgemeinen sollte man bei Verwendung von Flußwasser über eine Poldergröße von etwa 15 bis 20 ha nicht hinausgehen. Bei derselben sekundlichen Aufleitung fließt das Wasser um so schneller, je schmaler der Polder quer zur Fließrichtung ist.

Die mittlere Wassertiefe kann bei der Stauberieselung kleiner als bei der einfachen Überstauung gewählt werden, soll aber mindestens 10 bis 15 cm betragen.

Für die Ausführung der Dämme und Schleusen gilt das auf S. 300 Gesagte. Die Überfälle erhalten auf der Unterwasserseite eine sehr flache Böschung, die besonders gut mit Rasen zu befestigen ist. Wegen ihrer Berechnung vgl. S. 128. Aus Sicherheitsgründen empfiehlt sich ein Zuschlag von etwa 30% zu der errechneten Überfalllänge. Überläufe legt man möglichst an solchen Stellen an, an denen das Gelände hoch, der Damm also niedrig ist. Die Polder sind von größeren Hindernissen (höheren Wegen usw.) zu befreien, damit das Bewässerungswasser frei durchfließen kann. Sonst ist die Wirkung der Bewässerung eine sehr unregelmäßige. Die Entwässerungsgräben sind so anzulegen, daß sie den Polder nach Beendigung einer Überstauung und bei Niederschlägen schnell entwässern. Statt der Gräben werden auch flache Mulden verwendet.

Der Wasserbedarf der düngenden Stauberieselung schwankt in sehr weiten Grenzen und ist weitgehend von dem Dungehalt und der verfügbaren Menge des Flußwassers abhängig. Versuche sind sehr zu empfehlen, bevor man größere Anlagen errichtet. Die jährliche Wasserhöhe liegt in der Regel etwa zwischen 3 und 10 m, doch kann sie sogar auf 20 m und mehr steigen. Der Zufluß z (S. 316) kann in den meisten Fällen zu 10 bis 30 l/s · ha angenommen werden. Bei der anfeuchtenden Stauberieselung kommt man mit 1 bis 3 m jährlicher Wasserhöhe aus, ferner mit $z = 2$ bis 5 l/s · ha. Die vorstehenden Zahlen sind nur Mittelwerte, von denen nicht selten abgewichen werden muß, wenn man gezwungen ist, sich den sehr verschiedenen örtlichen Verhältnissen anzupassen.

Die Stauberieselung ist zuerst von Heß mit großem Erfolge in Hannover durchgeführt worden. Sie dient namentlich dazu, das Hochwasser der Bäche und Flüsse zur düngenden Bewässerung des Grünlandes auszunutzen. In trockenen Sommern sollte die Möglichkeit bestehen, auch eine anfeuchtende Bewässerung durchzuführen. Auf diesen Gesichtspunkt ist von vornherein bei der Anordnung der ganzen Anlage Bedacht zu nehmen.

Erfahrungsgemäß liefert die Stauberieselung im allgemeinen ein besseres Futter als die einfache Überstauung, da das Wasser besser belüftet wird. Besonders schwierig ist jedoch eine gleichmäßige Verteilung der Sinkstoffe. Der Vorteil der einzelnen Teilflächen ist daher oft ein recht verschiedener und erst nach einigen Jahren zu erkennen, wenn Beobachtungen vorliegen. Ebenso wie bei der einfachen Überstauung sind auch bei der Stauberieselung die Bau-, Unterhaltungs- und Betriebskosten gering, obwohl mehr Ein- und Auslässe, daneben auch Überläufe benötigt werden. Auch die Wirtschafterschwernis ist nicht erheblich. Zur düngenden Bewässerung des brach liegenden Ackers wird nur die einfache Überstauung verwendet, nicht die Stauberieselung.

c) **Das Fluten eingedeichter Niederungen.** Auch das Einlassen von Flußwasser in eingedeichte Niederungen ist zu den Überstauungen zu rechnen. Es dient in der Regel der Düngung, bisweilen auch der Anfeuchtung. Bei der düngenden Bewässerung wird Hochwasser durch Einlaßbauwerke, die in den Deichen liegen, am oberen Ende des Polders in diesen eingelassen, durchfließt ihn langsam und tritt durch Auslaßbauwerke am unteren Ende wieder in den Fluß zurück. Es handelt sich also um eine natürliche Stauberieselung, die sehr billig in der Anlage ist, weil meistens nur ein oder mehrere Einlaßbauwerke erforderlich sind. Die Deiche und Auslaßbauwerke pflegen vorhanden zu sein, letztere für die Entwässerung des Polders.

Dem Verfahren haften jedoch mehrere Nachteile an. Da man die Dauer eines Hochwassers nicht voraussehen kann, muß man unter Umständen eine sehr lange Überstauung des im Polder vorhandenen Grünlandes in Kauf nehmen, die schädlich wirkt. Ferner wird in derartigen größeren Poldern der Schlick fast stets sehr ungleichmäßig abgesetzt. Meistens erhalten die Flächen, die in der Nähe der Einlaßschleusen liegen, die beste Düngung. Eine etwas bessere Verteilung des Wassers läßt sich durch Quer- und Leitdämme im Polder erreichen. Im Betriebe stößt das Fluten häufig deshalb auf große Schwierigkeiten, weil die eingedeichte Niederung zum Teil als Acker genutzt wird. Dieser verträgt eine Überstauung nur, wenn er brach liegt. Es darf also nur dann, und zwar im Winter, geflutet werden, wenn alle Beteiligten den Anbau von Winterung unterlassen. Eine Einigung darüber ist nur schwer zu erreichen. Über die Wirkung des Flutens auf den Pflanzenbestand vgl. S. 282.

Im Sommer kann auch ein anfeuchtendes Fluten in Frage kommen. Dieses läßt sich bisweilen so durchführen, daß nur tiefer liegende Grünlandflächen überflutet werden, während die in der Regel höher liegenden Äcker wasserfrei bleiben. Man muß dann versuchen, einen vorübergehenden höheren Wasserstand des Flusses auszunutzen, da bei niedrigen Wasserständen ein Einlassen von Flußwasser meistens nicht möglich ist. Eine künstliche Wasserhebung ist fast niemals lohnend.

Die Niederung muß gut durch Gräben aufgeschlossen sein, da sonst das Bewässerungswasser leicht in tieferen abflußlosen Mulden lange stehen bleibt und hier zur Versumpfung führt.

3. Die Rieselung.

a) **Die wilde Rieselung.** Die einfachste Form der Rieselung besteht darin, daß man das Bewässerungswasser durch Zuleiter auf die höchsten Geländestellen leitet und von hier aus mehr oder weniger unregelmäßig in dünner Schicht verrieseln läßt. In der Regel werden aus den Zuleitern Rieselrinnen abgezweigt, die den höchsten Geländelinien fast waagrecht folgen. Indem man mit Stechschützen oder durch Steine Hindernisse in die Rieselrinnen baut, wird das Wasser genötigt, die Furchenkanten zu überschlagen und in breiter Bahn über die Flächen zu rieseln. Die in den Geländemulden gelegenen Entwässerungsgräben nehmen das abgerieselte Wasser auf, soweit es ihnen zufließt. Sonstige Einrichtungen werden nicht getroffen. Diese sog. wilde Riese-

lung ist daher billig in Anlage und Betrieb. Die einzelnen Flächenteile werden jedoch meistens sehr verschieden angefeuchtet und gedüngt, da sich das Wasser nach den etwas tiefer liegenden Flächen hinzieht. Kleine Unebenheiten des Geländes können ausgeglichen werden. Wegen der erforderlichen Geländeneigung siehe S. 307. Günstig ist es, wenn Höhen und Mulden in nicht zu großen Abständen aufeinander folgen, so daß die Hänge kurz sind. Unter diesen Voraussetzungen kann die wilde Rieselung infolge ihrer geringen Kosten sogar wirtschaftlicher sein als der unten behandelte natürliche Hangbau. Ihr Anwendungsgebiet ist dasselbe wie bei diesem. Ein Nachteil ist oft das ungleichmäßige Wachstum der berieselten Pflanzenbestände. Die Bewirtschaftung der Flächen wird nur sehr wenig behindert.

Da den Nachteilen der wilden Berieselung der große Vorteil der geringen Kosten gegenübersteht, sollte man bei der Bearbeitung eines Bewässerungsentwurfes stets prüfen, ob nicht die Voraussetzungen für eine lohnende wilde Rieselung gegeben sind.

Ein besonderes Rieselverfahren, das seiner ganzen Art nach zur wilden Rieselung gehört, ist die namentlich in Bayern (Franken) seit Jahrzehnten mit bestem Erfolg angewandte Staugrabenrieselung. Bei diesem Verfahren werden die Zuleiter durch kleine Stauschützen in einzelne Haltungen eingeteilt. Die Grabenkanten des Zuleiters werden im Bereiche jeder Haltung nahezu waagrecht angelegt, soweit erforderlich, durch kleine Dämme, damit das Wasser beim Anstauen gleichmäßig über die Grabenkante rieselt. Liegt der Zuleiter auf einem Geländerücken, so wird nach beiden Seiten geriesel, liegt er am Hang, so braucht nur eine Grabenkante waagrecht angelegt zu werden. Die Grabenkanten sollen nicht genau waagrecht liegen, da auch der Stauwasserspiegel ein, wenn auch sehr geringes Gefälle besitzt. Es ist Sache des Rieselwärters, nach Inbetriebnahme der Anlage die Grabenkanten so abzugleichen, daß das Wasser überall gleichmäßig überfließt.

Die Länge der Haltungen ist in erster Linie vom Gefälle der Zuleiter abhängig. Lange Haltungen erschweren einen gleichmäßigen Wasserübertritt über die Grabenkanten und verlangen höhere Dämme. Man geht ungern über 50 cm Dammhöhe hinaus, zumal die überrieselten Dammböschungen möglichst flach anzulegen sind, 2 bis 4fach je nach der Bodenbeschaffenheit. Aus diesen Gründen sind längere Haltungen als 100 m nicht zweckmäßig. Kleine Haltungen haben andererseits den Nachteil, daß viele Stauschützen nötig werden, wodurch bei größeren Zuleitern erhebliche Kosten entstehen können. Sind aber die Stau klein und billig, so empfiehlt es sich, die Haltungen nicht länger als 50 m anzulegen. Je durchlässiger der Boden, je schwächer das Hanggefälle und je breiter der Hang ist, um so mehr Wasser muß je m Grabenlänge überschlagen, um so kürzer müssen daher bei gleicher sekundlicher Wasserlieferung die Haltungen sein. Wassermangel bedingt also kurze Haltungen. Die Dämme erhalten meistens eine Kronenbreite von etwa 0,5 m. Der gestaute Wasserspiegel soll überall mindestens 5 cm über Gelände liegen.

Kleine Einebnungsarbeiten auf den zu berieselnden Hängen können ohne nennenswerte Kosten durchgeführt werden. Bei sorgfältiger Einebnung der Hänge reicht erfahrungsgemäß noch ein Hanggefälle von 0,8 bis 1,0% aus. Bei sehr ebenen Hängen sind Hangbreiten bis etwa 70 m zulässig. Zu breite Hänge haben den Nachteil, daß die von den Zuleitern weiter abliegenden Flächenteile zu wenig Wasser und Düngstoffe erhalten und sehr ungleichmäßig bewässert werden. Man kann dann waagerechte Sammelrinnen einschalten (S. 307). Auch dauert die Bewässerung im allgemeinen um so länger, je breiter die Hänge sind. Eine zu lange Bewässerung ist aber für unsere Nutzpflanzen nicht günstig.

Die Staugrabenrieselung dient in der Hauptsache der Wiesenbewässerung, sie kann düngende und anfeuchtende Zwecke verfolgen. Doch läßt sich auch Ackerland nach diesem Verfahren bewässern. Bei allen Ackerrieselungen

darf das Geländegefälle nur klein sein, damit die Krume nicht abgespült wird. Die Anordnung einer Staugrabenrieselung ist aus Abb. 211 zu ersehen.

Der Wasserbedarf der wilden Rieselung ist etwas größer als der des natürlichen Hangbaues (S. 307).

b) Der natürliche Hangbau. Der natürliche Hangbau unterscheidet sich von der wilden Rieselung nur dadurch, daß durch Anlegen von Verteilgräben, Rieselrinnen und Ableitern eine größere Gleichmäßigkeit der Bewässerung erzielt wird. Es gibt daher keine scharfe Grenze zwischen der wilden Rieselung und dem natürlichen Hangbau.

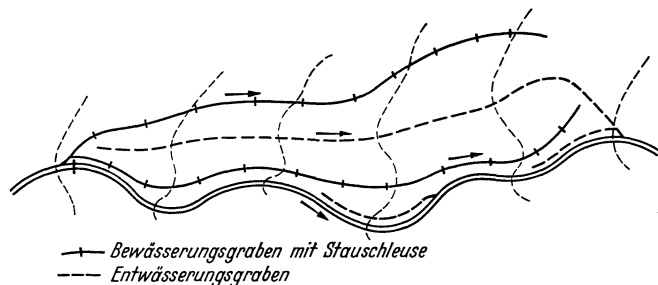


Abb. 211. Staugrabenrieselung.

Abgesehen von unbedeutenden Einebnungsarbeiten sollte eine Umformung des Geländes wie beim künstlichen Hangbau und Rückenbau (s. unten) nicht vorgenommen werden. Man spricht aus diesem Grunde von einem „natürlichen“ Hangbau.

Abb. 212 zeigt mehrere Anordnungen einer natürlichen Hangberieselung. Vor der Stauschleuse *s* wird der Zuleiter *Z* abgeleitet. Das Wasser wird durch verschließbare Einlässe auf die Bewässerungsfläche abgezogen. Die oberste Rieselrinne liegt dicht neben dem Zuleiter. Über die untere Kante der Rieselrinne *r* schlägt das Wasser über und rieselt über den darunterliegenden Hang.

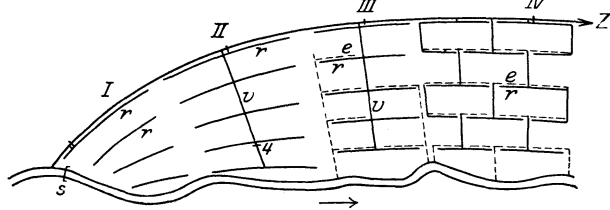


Abb. 212. Natürlicher Hangbau. (Nach Krüger.)

Man unterscheidet mehrere Unterarten:

I. Mit unbeschränkter Wieder-

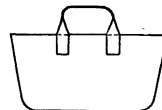


Abb. 213. Stechschütz.

benutzung des Wassers. Das über den ersten Hang gerieselte Wasser wird von der zweiten Rinne (Sammelrinne) aufgefangen und über den zweiten Hang gerieselte usw. Hier fehlt die Verteilrinne *v*.

II. Mit beliebiger Wiederbenutzung. Will man das abgerieselte Wasser nicht stets wieder benutzen, so schließt man die Verteilrinne *v* unterhalb der Rieselrinne mit einem Stechschütz (Abb. 213), auch mit eingelegten Steinen oder Rasenstücken, und die Rieselung vollzieht sich wie bei I. Will man z. B. Hang 4 mit Frischwasser versorgen, so baut man nur das Stechschütz 4 ein.

III. Mit Entwässerung. Erfordert die Schwere des Bodens eine besondere Entwässerung, so werden unmittelbar oberhalb der Rieselrinnen *r* Abzugrinnen *e* angelegt, die das über einen Hang abgerieselte Wasser unmittelbar zum Bache leiten. Man kann so eine Entwässerungsrinne über jeder Rieselrinne anlegen, wobei dann das Wasser immer nur auf einem Hange benutzt wird (Abb. 212 III links), oder man legt die Entwässerungsrinnen *e* bei jeder *n*-ten Rieselrinne *r* an, womit eine *n*-fache Benutzung des Wassers verbunden ist (Abb. 212 III rechts).

IV. Wechselweise wiederholte Benutzung des Wassers auf der ganzen Hangbreite.

Die Hangtafeln erhalten eine Länge von 20 bis 25 m an jeder Seite der Verteilrinne und 5 bis 30 m Breite. Länge und Breite dürfen um so größer sein, je stärker das Hanggefälle, je ebener das Gelände, je weniger durchlässig der Boden ist und je mehr und je besseres Wasser zur Verfügung steht. Sind auf den Hängen merkliche Unebenheiten vorhanden, oder wurden die Hänge zu breit angelegt, so daß das Wasser nicht in gleichmäßiger Schicht über sie fließt, so stellt man auf ihnen gefällelose Sammelrinnen her, ohne Zusammenhang mit den Verteilrinnen, in denen sich das Rieselwasser sammelt, um von neuem in gleichmäßiger Schicht überzuschlagen (Abb. 218). Der unterste Hang darf sein Abwasser nicht breit über die Bachböschung zurückfließen lassen, weil dadurch die Böschung beschädigt werden würde. Man muß vielmehr das Wasser an einzelnen, besonders zu sichernden Stellen zurückleiten. Die Zuleiter können wie bei der Staugrabenrieselung auch unmittelbar zur Verrieselung verwendet werden.

Die Verteil- und Rieselrinnen erhalten rechteckige Querschnitte. Die Breite der Verteilrinnen beträgt 15 bis 30 cm, ihre Tiefe 10 bis 15 cm. Die entsprechenden Abmessungen der Rieselrinnen liegen zwischen 10 und 20 sowie 8 und 15 cm. Nach dem Ende hin kann der Querschnitt der Rieselrinnen entsprechend der verminderten Wasserführung abnehmen. Häufig werden aber die Rieselrinnen mit einem besonderen Rieselrinnenpflug in gleichbleibendem Querschnitt hergestellt. Gute Dienste leistet auch der Rieselrinnenstecher (Abb. 214). Dadurch, daß man während des Ausstechens der Rieselrinne sofort Wasser in die Rinne leitet, kann man ohne Höhen-

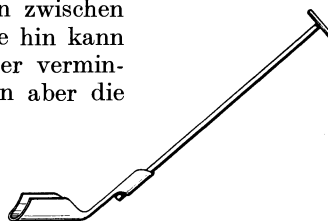


Abb. 214. Rieselrinnenstecher.

messung waagerechte Rinnen herstellen. Im übrigen gehört es zu den Aufgaben des Rieselwärters, für ein gleichmäßiges Überschlagen der Rieselrinnen zu sorgen. Als größte Länge einer Rieselrinne sind etwa 25 m anzunehmen. Bei größerer Länge ist ein gleichmäßiges Überschlagen des Wassers schwer zu erreichen. Der gegenseitige Abstand der Rieselrinnen wechselt erheblich, etwa zwischen 5 und 30 m (s. oben). Wenn die Verteilrinnen in stärkerem Gefälle liegen, befestigt man sie nötigenfalls mit Rasenstücken, um Bodenausspülungen zu verhindern. Die Fangrinnen (Sammelrinnen) liegen waagrecht und sind 10 bis 15 cm breit und tief. Die Entwässerungsrinnen erhalten Breiten und Tiefen von etwa 20 bis 25 cm, von oben nach unten zunehmend.

Im Durchschnitt kann man 2% als das für den natürlichen Hangbau erforderliche Mindestgefälle des Geländes ansehen. Auf sehr durchlässigen Böden reicht jedoch häufig dieses Gefälle nicht aus, weil bei der langsamen Rieselung zuviel Wasser versickert. Auf schweren Böden kann es dann zu schwach sein, wenn das Gelände etwas uneben ist und daher viel Wasser in kleinen abflußlosen Mulden stehen bleibt, wo es schädliche Bodennässe hervorruft. Gegebenenfalls sind Einebnungsarbeiten durchzuführen, wenn sie nicht zu kostspielig werden. Unter sehr günstigen Verhältnissen (nicht zu leichter Boden und sehr ebenes Gelände) kann noch bei einer Geländeneigung von 1% gerieselt werden. Wesentlich günstiger sind aber Gefälle von 3 bis 6%. Bei der Ackerbewässerung darf die Neigung des Hanges nicht zu groß sein, da sonst Feinerde mit abgeschwemmt wird, und zwar ist diese Gefahr um so größer, je stärker gerieselt wird. Bei stärkeren Gefällen als 5% ist jedenfalls Vorsicht geboten.

Der Wasserbedarf einer anfeuchtenden Berieselung ist außerordentlich verschieden. Man muß beachten, daß nicht die aufgeleitete Wasserrhöhe (in mm) für die Wirkung der Anfeuchtung entscheidend ist, sondern diejenige Wassermenge, die von den Pflanzenwurzeln und Blättern ausgenutzt wird. Weder das abfließende noch das in tiefere Bodenschichten versickernde Wasser kommt den Pflanzen zugute. Die Wirkung der Berieselung auf einer bestimmten

Fläche hängt daher namentlich von der Durchlässigkeit des Bodens und von dem Geländegefälle ab. Schwerer Boden darf nicht stärker mit Wasser belastet werden, als dem jeweiligen Bedarf der Pflanzen entspricht, während leichte Böden bei tiefem Grundwasserstand auch überschüssiges Wasser vertragen können, das sie durch Versickerung schnell wieder abgeben. Ist reichlich Wasser vorhanden, so kann man monatlich im großen Durchschnitt etwa folgende Wasserhöhen h für die anfeuchtende Berieselung des Grünlandes annehmen (S. 316):

Schwerer Lehmboden . . 100 mm. Gewöhnlicher Lehmboden . . . 150 mm.
Sandiger Lehmboden . . 200 mm. Lehmiger Sandboden und Sand-
boden 250 mm.

Das ergibt nach Gl. (155) einen dauernden Zufluß z von etwa 0,4 bis 1,0 l/s · ha. Im allgemeinen liegt die einzelne Rieselung h_0 zwischen 50 und 150 mm. In den drei Sommermonaten Juni bis August, die vorzugsweise für eine anfeuchtende Grünlandberieselung in Frage kommen, beträgt der durchschnittliche Wasserbedarf also 300 bis 750 mm.

Derartig große Wassermengen wie 750 mm in 3 Monaten sind nun aber keineswegs auf leichten Böden unter allen Umständen erforderlich. Die Kunst der Bewässerung besteht gerade darin, mit dem Wasser sparsam umzugehen. Will man Wasserverluste weitgehendst verhindern, so darf man auch leichten Böden nicht zuviel Wasser auf einmal geben, muß daher jedesmal nur kurze Zeit wässern sowie die ganze Anlage darauf einstellen. Will man z. B. je Monat zwei Rieselungen von je 75 mm durchführen mit einer Dauer von jedesmal 12 h ohne Wiederbenutzung, so erhält man mit den Bezeichnungen auf S. 316:

$$\begin{aligned} h &= 150. \quad h_0 = 75. \quad a = 2. \quad t = 0,5. \quad p = 0. \\ z &= 0,58 \text{ [Gl. (155)].} \quad n = 30 \text{ [Gl. (156)].} \\ z_1 &= 17,4 \text{ [Gl. (157)].} \end{aligned}$$

So läßt sich bei ausreichend geneigten und ebenen, nicht zu breiten Hängen auch auf leichten Böden ein sparsamer Anfeuchtungsbetrieb durchführen, der mit Einzelwassergaben von 50 bis 75 mm auskommt. Das gilt für Grünland und Acker. Nun kann man freilich im Einzelfall die günstigsten Werte h , h_0 , a und t nicht im voraus rechnerisch bestimmen, muß vielmehr die ganze Anlage so herstellen, daß man die Größe der jeweils zu berieselnden Teilfläche in gewissen Grenzen wählen kann. Das ist ohne Schwierigkeit möglich, da sich der Abstand der Rieselrinnen beim natürlichen Hangbau ohne große Arbeit auch später noch verändern, somit den betrieblichen Erfahrungen anpassen läßt (Abb. 212). Bei der wilden Rieselung ist jedoch ein so sparsamer Betrieb, der eine weitgehende Planmäßigkeit erfordert, nicht durchzuführen. Bei ihr ist daher auf leichten Böden stets mit einem größeren Wasserbedarf zu rechnen.

Der Wasserbedarf für die düngende Rieselung ist weitgehend vom Nährstoffgehalt des Wassers abhängig. Über den Bedarf an Abwasser vgl. die Ausführungen auf S. 334. Wesentlich mehr Wasser ist erforderlich, wenn mit Flußwasser (Hochwasser) gerieselt werden soll. Man braucht dann auch bei der Rieselung mehrere m Wasserhöhe im Jahr. Vgl. die Ausführungen auf S. 303 über die jährliche Wasserhöhe und den Zufluß z .

Der natürliche Hangbau hat vor den künstlichen Verfahren, dem künstlichen Hangbau und dem Rückenbau (s. unten), große Vorzüge. Er ist billiger und einfacher als diese. Die Bewirtschaftung der berieselten Flächen wird durch die Riesel-, Verteil- und Entwässerungsrinnen kaum beeinträchtigt, da die Maschinenarbeit anwendbar bleibt. Das Verfahren gibt die Möglichkeit einer weitgehenden Anpassung an die örtlichen Verhältnisse, was bei der Entwurfbearbeitung geschickt auszunutzen ist. In der Wachstumszeit wird es namentlich

für Wiesen und Weiden angewendet, in besonderen Fällen aber auch für Ackerfrüchte. Im Winter berieselt man Grünland mit Abwasser, solange kein Frost herrscht.

c) **Der künstliche Hangbau.** Wenn das zu bewässernde Gelände zu gefällearm ist, um einen natürlichen Hangbau einzurichten, besteht die Möglichkeit, das fehlende Gefälle künstlich zu schaffen, indem man die Hangtafeln sägezahnartig übereinander anordnet (Abb. 215). Dieses Verfahren des künstlichen Hangbaues wird heute jedoch nur noch selten angewendet, da es erhebliche Anlage- und Unterhaltungskosten verursacht. Auch die Wartung ist verhältnismäßig teuer und die Bewirtschaftung der Flächen wird sehr erschwert. Man soll daher den künstlichen

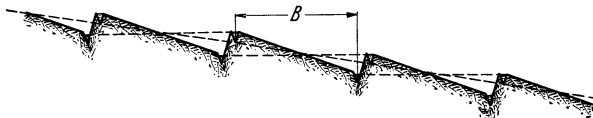


Abb. 215. Schnitt durch künstlichen Hangbau. (Nach Krüger.)

Hangbau möglichst vermeiden und zunächst prüfen, ob nicht ein anderes Bewässerungsverfahren einen genügenden Erfolg verspricht.

Das Gefälle der künstlichen Hänge darf nicht zu klein sein, da der Boden durch den Umbau zum Teil aufgelockert und dadurch die Versickerung vermehrt wird. Man sucht in schweren Böden ein Gefälle von mindestens 4% zu erreichen, in leichten möglichst das Doppelte. Doch muß man sich häufig der Kosten wegen auch mit weniger begnügen. Man kann dann so vorgehen, daß man im Abtrag 2 bis 3% nimmt, im Auftrag aber mehr (Abb. 216). Das kleinste Gefälle unter



Abb. 216. Künstlicher Hang mit verschiedenem Gefälle.

günstigen Umständen beträgt 1,5%. Um die Bodenbewegung einzuschränken, sollen Auf- und Abtrag einander tunlichst ausgleichen. Der Mutterboden muß unbedingt wieder auf die Oberfläche gebracht werden. Besonderer Überlegung bedarf die Frage, wie breit die Hangtafeln B anzulegen sind (Abb. 215). Eine große Breite hat den Vorteil, daß die Wirtschafterschwernisse geringer werden, dagegen den Nachteil einer größeren Erdbewegung. Der zu leistende Abtrag ist bei der regelmäßigen Anlage der Abbildung 215 $12,5 \cdot B \cdot (J-i)$ in m^3/ha . Darin bedeuten J das neue und i das alte Geländegefälle in %. Beispielsweise ergibt sich für

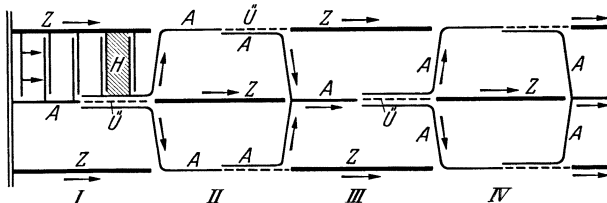


Abb. 217. Künstlicher Hangbau mit Wiederbenutzung des Wassers.

$B = 15 \text{ m}$, $J = 6\%$ und $i = 0,7\%$ bereits die ansehnliche Bodenbewegung von $990 \text{ m}^3/\text{ha}$. Man begnügt sich daher fast stets damit, die Hangtafeln nur so breit anzulegen, daß sie von einer an ihrer oberen Kante liegenden Rieselrinne aus in ihrer ganzen Breite ohne Einschaltung weiterer Rieselrinnen berieselt werden können. An der unteren Kante der Hangtafel liegt die Entwässerungsrinne.

Die Hangtafeln H werden nach Abb. 217 zwischen einem Zuleiter Z und Ableiter A angeordnet. Um an Wasser zu sparen, muß der Rieselwärter den Zufluß aus den Zuleitern zu den Rieselrinnen so regeln, daß nur kleine Wassermengen den Entwässerungsrinnen zufließen. Das ist bei den schmalen Hangtafeln nicht immer einfach. Man kann aber die Anordnung auch so treffen, daß eine doppelte oder mehrfache Verwendung des Wassers möglich ist. Zu dem Zwecke ist das abgerieselte Wasser durch den Ableiter auf eine Fläche zu leiten, auf der es weiteren Rieselrinnen zugeführt werden kann. Eine

Schwierigkeit liegt jedoch darin, daß die Ableiter tiefer als die Zuleiter liegen, so daß man den Ableiter erst nach Einschaltung eines Zwischenstückes zum Zuleiter machen kann. In Abb. 217 ist eine solche Anordnung dargestellt. Die Übergangstrecken \ddot{U} führen die Ableiter A mit schwachem Gefälle auf die für die Zuleiter Z nötige Höhe. Neben den Übergangstrecken liegen Ableiter. Am unteren Ende jeder Zuleiterstrecke wird ein kleiner Absturz angelegt, um jeder Abteilung auch Frischwasser zuführen zu können. Das Gelände fällt gleichmäßig und schwach von links nach rechts.

Der Wasserbedarf des künstlichen Hangbaues ist nach den Ausführungen auf S. 307 u. 308 zu ermitteln. Mit Rücksicht auf den zum Teil lockeren, aufgeschütteten Boden kann noch ein Zuschlag von 10 bis 30% nötig werden, damit auch die unteren Teile der Hangtafeln genügend Wasser erhalten.

Ob es im Einzelfall vorzuziehen ist, unebenes Gelände mit einem für die Berieselung ausreichenden Gesamtgefälle im ganzen einzuebnen, um eine natürliche Hangberieselung einrichten zu können, oder einzelne Hangtafeln

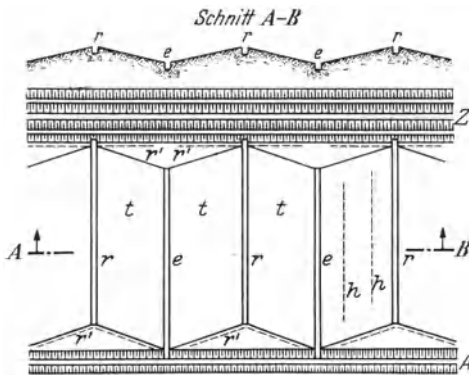


Abb. 218. Künstlicher Rückenbau. (Nach Krüger.)

oder Rücken (s. unten) herzustellen, bedarf besonderer Prüfung. Bei etwa gleichen Kosten ist der natürliche Hangbau dem künstlichen vorzuziehen. Werden die Erdarbeiten zu groß, ist die Möglichkeit einer Überstauung zu untersuchen.

Bezüglich der Einzelheiten gelten singemäß die Ausführungen beim natürlichen Hangbau.

d) Der Rückenbau. Der Rückenbau kann angewendet werden, wenn das Geländegefälle für einen natürlichen Hangbau nicht ausreicht.

In der Regel muß der Rückenbau durch Ab- und Auftrag künstlich hergestellt werden. Ein Rücken besteht aus zwei Tafeln t (Abb. 218), die auf den Längsseiten von einer gemeinsamen Rieselrinne r und je einer Abzugrinne e begrenzt werden, auf den Schmalseiten durch 2 dreieckige Zwickel. Die Rieselrinnen werden durch den Zuleiter Z gespeist, die Abzugrinnen münden in den Ableiter A .

Die Rieselrinne liegt entweder in sehr schwachem Gefälle oder oft ganz ohne solches, ebenso der First der Rückentafeln, den man in Richtung des natürlichen Geländegefälles zu legen pflegt. Die Abzugrinne und mit ihr die Entwässerungskante werden dagegen mit größerem Gefälle angelegt. Da nun die Rückentafeln im Grundriß die Form eines Gleisecks (Parallelogramms) haben, so ist ihre Oberfläche eine windschiefe Fläche, deren Gefälle nach dem unteren Ende hin zunimmt.

Die Länge der Rücken treibt man nicht gern über 30 m, weil bei größerer Länge das gleichmäßige Überschlagen des Wassers über die Rieselkante erschwert und daher kein gleichmäßiger Graswuchs erreicht wird. Beschränkt wird ferner die Rückenlänge durch das Geländegefälle. Sie muß um so kleiner sein, je stärker das Gefälle ist, weil sonst die Erdarbeiten für Auf- und Abtrag zu groß und teuer würden. Schließlich ist auch noch die Bodenbeschaffenheit von Einfluß, da bei langen Rieselrinnen in stark durchlässigem Boden zu große Versickerungsverluste entstehen.

Als Rückenbreite bezeichnet man die Entfernung zwischen zwei benachbarten Abzugrinnen. Diese verteilt sich auf die zwei Rückentafeln, deren Breite man bei Wiesen als ein Vielfaches aus der Schwadenbreite bestimmt, um die Arbeit der Mäher voll auszunutzen. Eine Schwadenbreite beträgt etwa 1,85 m. Daher wechselt die Rückenbreite etwa zwischen 7 und 33 m. Sie ist in der

Hauptsache von der Durchlässigkeit des Bodens, dem Seitengefälle der Rücken und dem Zweck der Bewässerung abhängig, nicht zum mindesten aber auch von den Kosten der Erdarbeiten. Denn diese wachsen mit der Rückenbreite, und zwar um so mehr, je stärker das Seitengefälle der Rücken ist. Auf sehr durchlässigen Böden schränkt man die Rückenbreite ein, wenn man mit dem Wasser sparsam umgehen muß. Denn breite Rücken verlangen um so mehr Wasser, je mehr bereits auf dem oberen Teil des Rückens versickert. Auf schweren Böden dagegen haben breite Rücken den Vorteil, daß das Rieselwasser auf der größeren Fläche besser ausgenutzt wird. Dasselbe wird durch eine wiederholte Wasserverwendung erreicht. Für düngende Bewässerung haben schmalere Rücken den Vorteil einer gleichmäßigeren Verteilung der Pflanzennährstoffe.



Abb. 219. Rücken mit Verteilgraben.

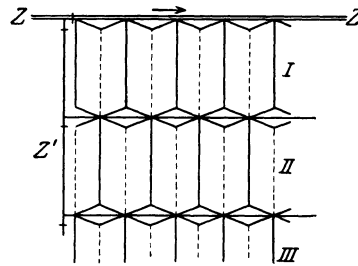
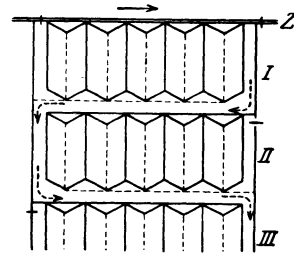
Auf breiten Rücken fördert man die gleichmäßige Rieselung wie beim Hangbau dadurch, daß man auf der Rückentafel zwischen Riesel- und Abzugrinne noch besondere Fangrinnen h (Abb. 218) gleichlaufend zum Rückenfirst einschneidet. Die beiden dreieckigen Zwickel des Rückens werden aus besonderen Seitenrinnen r' beirieselt, in die man kleine Hindernisse (Steine) legt, um das Wasser zum Überschlagen zu bringen.

Will man die Rücken in besonderen Fällen länger als 30 m anlegen, so ist auf dem First ein kleiner Verteilgraben v anzuordnen, der sein Wasser an mehreren Stellen an die neben ihm liegenden Rieselrinnen r abgibt (Abb. 219).

Man kann alsdann auch mehrere kurze Firstrieselrinnen hintereinander herstellen, aus denen das Wasser gleichmäßig überschlägt. Die Rückenlänge findet jedoch stets in den Kosten der Erdarbeiten eine Grenze. Mit abnehmender Breite und Länge der Rücken steigt infolge der engen Lage der Rinnen die Wirtschafterschwernis, der Landverlust und die Unterhaltungslast.

Ist das zu bewässernde Gelände breiter als die zulässige Rückenlänge, so werden mehrere Rückenreihen untereinander angeordnet. Ist das ursprüngliche Geländegefälle so stark, daß die Rieselrinnen der Staffel *II* dieselbe Höhe erhalten wie die Abzugrinnen der Staffel *I*, so kann das Abwasser der letzteren unmittelbar von den Rieselrinnen *II* aufgenommen werden (Abb. 220). Es ist aber durch einen Zuleiter Z' dafür zu sorgen, daß den unteren Staffeln auch frisches Wasser gegeben werden kann. Wenn dagegen das Gefälle so schwach ist, daß bei diesem Verfahren die Vorflut für die obere Staffel leiden müßte, so erfolgt die Wiederbenutzung des Wassers erst in der dritten oder vierten Staffel (Abb. 221). Zwischen diesen Staffeln pflegt man die Heuabfuhrwege anzulegen.

Eine für die Bewirtschaftung sehr bequeme Form bildet der Stockwerk-rückenbau. Bei ihm liegen die Rücken in der Richtung des Geländegefälles, teils im Einschnitt, teils im Auftrage in großer Länge durch das ganze Bewässerungsgebiet reichend. Jeder Rücken ist für sich derart gestaffelt, daß der Übergang zur anderen Höhe mit einem sanft geneigten Hange vermittelt wird (Abb. 222). Auf dem First liegt ein durchgehender Verteilgraben v . Die

Abb. 220. Staffelrückenbau.
(Nach Krüger.)Abb. 221. Staffelrückenbau in
schwachem Gefälle.
(Nach Krüger.)

zwischen den Rücken vorhandene Abzugrinne a ist durch eine fast waagrecht liegende Querrinne r' mit dem Verteilgraben v unterhalb des Hanges verbunden, so daß das abgerieselte Wasser der oberen Staffel in der zunächst unteren benutzt werden kann.

Die Zuleiter Z (Abb. 220) werden im Bereich einer Rückengruppe meistens mit schwachem Gefälle (etwa $0,5\text{‰}$) angelegt. Wegen der Querschnitte der Riesel-, Entwässerungs- und Sammelrinnen vgl. S. 307. Den Entwässerungsrinnen gibt man Gefälle von mindestens $0,5\%$.

Das Quergefälle der Rücken ist am Anfang am geringsten und am Ende am größten. Als durchschnittliches Quergefälle wählt man etwa 4 bis 6%.

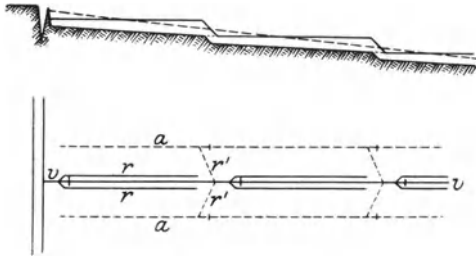


Abb. 222. Stockwerkkrückenbau. (Nach Krüger.)

Das geringste Quergefälle erhalten schmale Rücken in schwerem Boden, das größte breite Rücken in leichtem Boden. Bei der Planbearbeitung ist es wichtig, Länge, Breite und Gefälle der Rücken so zu bestimmen, daß die Erdarbeiten tunlichst gering werden.

Der Wasserbedarf des Rückenbaues kann dem des künstlichen Hangbaues gleichgesetzt werden (S. 310).

Um an Erdarbeiten zu sparen, geht man bei der Anlage der Rücken bisweilen schrittweise vor. An der Stelle, wo die Abzugrinnen liegen sollen, schält man den Rasen in größerer Breite (1 bis 2 m) und baut aus den Rasenstücken in der Mitte zwischen zwei Abzugrinnen eine Rieselrinne auf. Dieser Aufbau wird verstärkt mit dem Aushub aus einem sanft geböschten flachen Graben, der an den Stellen des abgestochenen Rasens ausgehoben wird. Die Verstärkung wird ebenfalls flach geböscht, die Rückentafeln vorbereitend. Von Zeit zu Zeit wird der Ausbau mit der Räumungserde aus den Gräben oder mit besonders angefahrner Erde fortgesetzt. Der sehr langsame Baufortschritt wird etwas beschleunigt, wenn das Rieselwasser viele Sinkstoffe mit sich führt, wie es bei der Rieselung mit Abwasser der Fall ist.

Der Rückenbau wird ebenso wie der künstliche Hangbau wegen seiner hohen Kosten und wegen seiner Wirtschafterschwernisse heute nur noch selten angewendet. Maschinenarbeit und Weidebetrieb sind kaum möglich.

4. Der unterirdische Einstau (Dränbewässerung).

Dem oberirdischen Verfahren des Grabeneinstaus entspricht das bereits auf S. 189 erwähnte unterirdische Verfahren der Dränbewässerung, das aber mit Nachteilen verbunden ist und daher nur selten verwendet wird. Abb. 223 stellt eine Staudränung mit Speisung aus einem Teiche T dar. Der Einlaß E ist gut zu sichern, damit der Sammler sich nicht verstopft. Dieser mündet in einen Vorfluter A und enthält die Stauverschlüsse v , die in verschiedenen Formen hergestellt werden. Abb. 224 zeigt einen Stauverschluß (Bauart Krause) aus Beton ohne Gefälleverlust, wie er von der Firma Haßermann & Guckes-Liebold in Holzminden angefertigt wird. Über dem Verschluß sitzt das Rohr, in dem das Wasser ansteigen und seine Standhöhe beobachtet werden kann. Das Rohr reicht nicht in die vom Frost berührte Bodenschicht hinauf, damit es nicht durch den Frost gehoben werden kann. Zu diesem Zwecke ist ein Aufsatzrohr lose übergeschoben. Das durch die Stauverschlüsse gestaute Wasser tritt aus den Stoßfugen der Dräne in den Untergrund. Vgl. auch die Ausführungen S. 196. Zur Bewässerung kann auch das in den Rohren sich sammelnde Grundwasser dienen. Wenn der Untergrund unter den Rohren zu durchlässig ist, sinkt der Hauptteil des aus den Fugen austretenden Wassers leichter in die Tiefe, als daß es in anderer Richtung den Boden durchdringt.

hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen. Die wiederholte Durchlüftung und Erwärmung des Bodens spielt dabei eine wesentliche Rolle.

Das Verfahren von Wichulla (112, 210) bezweckt ebenfalls eine Anfeuchtung des Untergrundes, ist aber von dem vorstehenden dadurch unterschieden, daß es für Be- und Entwässerung zwei getrennte Scharen von Dränen anwendet. Es hat sich im Betriebe nicht durchgesetzt, ist auch sehr teuer.

In welchem Umfange die Dränbewässerung Erfolg hat, hängt in hohem Maße von der Bodenbeschaffenheit ab. Sehr durchlässiger Boden mit tiefem Grundwasserstand ist gänzlich ungeeignet, da in ihm der größte Teil des Bewässerungswassers fast senkrecht in die Tiefe sickert und daher die Stauverschlüsse wirkungslos sind. Umgekehrt ist in sehr schweren Böden die Wasserbewegung eine so langsame, daß schon hierdurch der Erfolg stark beeinträchtigt wird, obwohl die Entstehung schädlicher Bodennässe wegen der gründlichen Entwässerung nicht zu befürchten ist. Günstig sind die Untergrundverhältnisse dann, wenn in etwa 1,5 bis 2,0 m Tiefe unter leichteren Bodenarten schwer durchlässige Schichten liegen, durch die die Wasserverluste verringert werden. Ebenso wirkt ein etwa in Dräntiefe liegender Grundwasserspiegel. Unter diesen Voraussetzungen können auch leichte Böden in der dargestellten Weise bewässert werden, während sonst mittelschwere am geeignetsten sind. Statt der Hangberieselung kann auch die Überstauung angewendet werden, die ohnehin häufig mit einer Dränung verbunden wird. Sowohl die anfeuchtende als auch die düngende Bewässerung kommt in Frage.

Der Wasserbedarf der einfachen Dränbewässerung ist gering. Man muß den Dränsträngen um so mehr Wasser zuleiten, je durchlässiger der Boden ist. Beim Petersenschen Verfahren nimmt man dieselbe Wassermenge wie bei der mit ihr verbundenen Oberflächenbewässerung (Hangberieselung oder Überstauung).

Auch die auf S. 194 erwähnten Kluckhuhn-Rohre sind in Gärtnereibetrieben zur Untergrundbewässerung verwendet worden, wobei nur der obere Teil der Rohre porig hergestellt wurde. Die Rohre werden etwa 0,4 m tief in Abständen von 0,5 bis 2 m verlegt. Versuche zeigten auch hier die allgemeinen Nachteile der Untergrundbewässerung: erhebliche Wasserverluste nach unten und geringe anfeuchtende Wirkung nach den Seiten.

Um diese Nachteile zu beseitigen, ist neuerdings von Janert vorgeschlagen, dem Boden nur so viel Wasser zuzuführen, wie er mittels seiner Saugkräfte aufnehmen und weiterleiten kann. Bei den Versuchen wurden Rohre mit porigen Wandungen in 35 bis 50 cm Tiefe und in 1,5 bis 3,0 m Abstand verwendet. Die Rohre wurden mit einem Maulwurfspflug eingebracht, sie dürfen niemals volllaufen. Das Wasser muß sehr rein sein, da sonst die Poren der Rohre sich zusetzen. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

Die Verwertung von Abwasser mittels des unterirdischen Einstauens ist auf S. 340 behandelt.

5. Bewässerungszeiten und Bewässerungsbetrieb.

Die Bewässerung wird zu allen Jahreszeiten ausgeübt. Je nach der Jahreszeit, in der bewässert wird, ist Folgendes zu beachten:

Eine anfeuchtende Winterbewässerung findet bei uns in Deutschland nicht statt. Sie würde auch in der Wachstumsruhe keinen Zweck haben, da die Pflanzen dann mit ganz geringen Wassermengen auskommen. Die Berieselung von Grünland würde bei Frost nur Schaden bringen und sich wegen der Eisbildung von selbst verbieten. Dagegen wird eine düngende Überstauung oder Furchenbewässerung auch im Winter häufig durchgeführt, namentlich auf brach liegendem Acker, die Überstauung auch auf Grünland. Man ist oft dazu gezwungen, weil man anfallendes Abwasser unterbringen muß oder weil man die düngende Wirkung eines zu Ausgang des Winters eintretenden Hochwassers

ausnutzen möchte. Eine zu lange dauernde Überstauung im Winter hat den Nachteil, daß die günstige Wirkung des Frostes dem Boden vorenthalten wird. Man muß daher auch im Winter stets ausreichend lange Entwässerungszeiten einschalten. Zur Frage der Grünlandüberstauung im Winter vgl. die Ausführungen auf S. 283.

Die Frühjahrsbewässerung des Grünlandes ist mit der größten Vorsicht zu handhaben. Im März und April ist in der Regel noch ausreichend Bodenfeuchtigkeit für das Wachstum vorhanden, viel wichtiger pflegt dann die Wärme zu sein. Will man trotzdem wässern, z. B. zum Zwecke der Düngung oder Bodenreinigung oder zum Schutz gegen Spätfröste, dann darf die Bewässerung nur durchgeführt werden, wenn das Wasser wärmer als die Luft ist. Im Frühjahr soll auch nicht lange hintereinander bewässert werden, vielmehr empfiehlt es sich, nach nur einem Wässertage mindestens 6 Tage zu entwässern (S. 301). Die Bewässerung ist um so kürzer und seltener zu geben, je wärmer die Luft und je schwerer der Boden ist. Um die Bodenerwärmung durch die warme Luft zu fördern, bewässert man gern während der Nacht und bekämpft damit gleichzeitig die gefährlichen Spätfröste, die besonders in hellen Nächten aufzutreten pflegen. Sobald die Gräser schossen, ist die Bewässerung einzustellen und erst wieder aufzunehmen, wenn Wassermangel eintritt. Man soll im Frühjahr auch nur rieseln und nicht überstauen.

Auf noch nicht bestellten Äckern kann man auch im Frühjahr jede Art der düngenden Bewässerung anwenden, sofern nur die Flächen bis zur Bestellung wieder ausreichend trocken werden. Dem Grünland pflegt jedoch die Bewässerung mit Frühjahrshochwasser unmittelbar vor dem Erwachen des Wachstums mehr zu schaden als zu nützen.

Im Sommer hat die anfeuchtende Bewässerung eine besondere Bedeutung. Wiesen dürfen unmittelbar vor dem Mähen durch die Bewässerung nicht zu weich werden. Gründliche Anfeuchtung nach der ersten Aberntung ist ratsam. Sie verhindert zu starke Ausdörrung des Bodens durch die Sonnenstrahlen. Auch nach der Grummeternte empfiehlt sich in trockener Zeit eine Anfeuchtung. Nur soll man nicht unmittelbar nach dem Schnitt bewässern, da die Pflanzen in dieser Zeit das Wasser nicht so gut auszunutzen scheinen wie einige Tage später. Die Frage ist allerdings noch nicht völlig geklärt.

Eine Bewässerung mit Abwasser unmittelbar vor dem Schnitt des Grases ist bedenklich, weil die Pflanzen durch anhaftende Schmutzteile minderwertig werden können. Zu Ackerfrüchten wird die düngende Bewässerung, die ja gleichzeitig anfeuchtend wirkt, im Sommer in der Form der Furchenbewässerung, ausnahmsweise auch der Rieselung durchgeführt (S. 337).

Jede Bewässerung in der Wachstumszeit (außer der Beregnung) verlangt eine anschließende gründliche Entwässerung, die um so länger dauern muß, je schwerer der Boden und je nasser die Witterung ist (S. 301). Die Entwässerung ist unbedingt jedesmal so lange auszudehnen, bis der Boden wieder gut durchlüftet und erwärmt ist.

Der Herbst ist die beste Zeit für die düngende Bewässerung mit Bach- und Flußwasser, das in dieser Jahreszeit am meisten Pflanzennährstoffe enthält. Denn der Acker ist zur Winterung frisch gedüngt und aufgelockert, jeder Regen bringt daher Nährstoffe vom Acker in die Gewässer. In der Hauptsache bewässert man im Oktober und November. Auch die düngende Bewässerung mit Abwasser auf Äckern und Grünland ist im Herbst besonders wirksam, da die abgesetzten Sinkstoffe durch den Frost des kommenden Winters mürbe werden. Vor Beginn des Frostes ist die Berieselung des Grünlandes einzustellen, weil die Wiesenpflanzen leiden, wenn sie mit Eis bedeckt werden. Im Herbst ist eine längere Bewässerungszeit t (S. 316) nicht so gefährlich wie im Sommer, da die Wiesenpflanzen in der Wachstumsruhe weniger empfindlich sind als in der Wachstumszeit.

Um mit einer gegebenen Wassermenge eine möglichst große Fläche zu bewässern, braucht man dasselbe Wasser wiederholt derart, daß man das bei der ersten Bewässerung in den Ableitern (Entwässerungsgräben) gesammelte Wasser von neuem auf tiefer liegende Flächenteile leitet. Dies Verfahren macht keine Schwierigkeiten, wenn die ganze Bewässerungsfläche in starkem Gefälle liegt. Bei schwächerem Gefälle kann man schädlichen Rückstau dadurch vermeiden, daß man das Wasser der ersten Abteilung nicht auf der darunterliegenden zweiten, sondern erst auf der dritten oder vierten wieder benutzt (Abb. 221). Die weitere Leitung des Wassers ist sogar von Vorteil, wenn das durch die erste Bewässerung an Sauerstoff verarmte Wasser auf dem weiteren Wege wieder mit Sauerstoff aus der Luft bereichert wird.

Die Wiederbenutzung des Wassers kommt häufig auch bei der düngenden Bewässerung in Frage. Im allgemeinen ist aber das Wasser bei der ersten Bewässerung an Nährstoffen ärmer geworden. Das muß dadurch berücksichtigt werden, daß man bei der Wiederbenutzung mehr m^3 Wasser je ha verwendet als bei der ersten Bewässerung. Außerdem ist es ratsam, Einrichtungen zu treffen, vermittels derer die in der Hauptsache mit benutztem Wasser versorgten Gebiete ab und an auch frisches Wasser erhalten.

Für den Betrieb der Bewässerung ist es im allgemeinen vorteilhaft, wenn die einzelnen Abteilungen nahezu dieselbe Größe erhalten.

Da jede Bewässerung nur dann in vollem Maße wirkt, wenn dem Boden nach erfolgter Durchfeuchtung auch wieder Gelegenheit zum Entwässern und Durchlüften gegeben wird, so ist niemals das ganze Bewässerungsgebiet gleichzeitig unter Bewässerung zu setzen, sondern nur teilweise, während der andere Teil entwässert wird. Man nennt das den Wechsel der Bewässerung oder die Bewässerung im Umlauf. Man spricht z. B. von dreifachem Umlauf, wenn gleichzeitig $\frac{1}{3}$ des ganzen Gebietes bewässert, $\frac{2}{3}$ dagegen entwässert werden. Man ist auf die Bewässerung im Umlauf auch dann angewiesen, wenn das Bewässerungsgebiet so groß ist, daß die gleichzeitige Verteilung einer verhältnismäßig kleinen sekundlichen Wassermenge auf das ganze Gebiet Schwierigkeiten bereiten würde. Die Umlaufzahl ist von großer Bedeutung für die Gestaltung der Bewässerungsanlagen und muß meistens auf die gewöhnlich zur Verfügung stehende Wassermenge von vornherein abgestellt werden. Allerdings werden Änderungen der Umlaufzahl nötig, sobald die Wassermenge von der gewöhnlichen abweicht; denn sie muß z. B. bei *NW* oft vergrößert werden. Wird die Bewässerung durch Frost unterbrochen, so wird nach dessen Beendigung der Umlauf dort fortgesetzt, wo er vorher aufhörte.

Die Umlaufzahl n liegt in den meisten Fällen etwa zwischen 5 und 20. Da schwerer Boden langsamer trocknet und durchlüftet als leichter, so muß man bei ersterem besonders darauf achten, daß n nicht zu klein wird. Die jedesmalige Bewässerung dauert in der Regel $t = 0,5$ bis 3 Tage.

Die im vorstehenden dargelegten Beziehungen lassen sich formelmäßig ausdrücken. Wir führen zu dem Zwecke folgende Bezeichnungen ein:

- F = gesamte Bewässerungsfläche in ha.
 $f_1 + f_2$ = gleichzeitig bewässerte Teilfläche in ha, davon f_1 mit Frischwasser, f_2 mit wiederholter Verwendung.
 p = $f_2 : f_1$.
 z = dauernder Zufluß zur Fläche F (ohne Verluste in den Zuleitern) in $l/s \cdot ha$.
 z_1 = Zufluß zur Fläche f_1 in $l/s \cdot ha$.
 z_v = Verlust auf der jeweils bewässerten Fläche ($f_1 + f_2$) in $l/s \cdot ha$.
 h = der Fläche F zugeführte monatliche Wasserhöhe in mm.
 h_0 = der Fläche f_1 bei jeder Einzelbewässerung zugeführte Wasserhöhe in mm. Davon bleibt h_1 auf der Fläche, h_2 fließt nach f_2 ab.
 t = Zeit der Einzelbewässerung der Teilfläche f_1 (ohne Unterbrechung) in Tagen.
 a = Anzahl der monatlichen Einzelbewässerungen jeder Teilfläche.
 n = Umlaufzahl.

Der Monat wird zu 30 Tagen gerechnet. Der Zufluß z soll gleichmäßig auf der Fläche F verteilt und restlos auf ihr verbraucht werden. Bei der Überstauung ist angenommen, daß jeder Polder der Fläche f_1 sofort nach dem Füllen schnell entleert wird (S. 301). Dann bestehen folgende Beziehungen:

$$h = 8,64 \cdot a \cdot t \cdot z_v. \quad (154)$$

z_v ist nach den Bodenverhältnissen einzuschätzen (S. 294). Gl. (154) dient dazu, die Größen h , a und t miteinander abzustimmen. Gegeben ist ferner F , versuchsweise anzunehmen p . Zur Prüfung der Annahmen stehen folgende Gleichungen zur Verfügung:

$$z = \frac{h}{259}, \quad (155)$$

$$n = \frac{30}{a \cdot t}, \quad (156)$$

$$z_1 = n(p+1) \cdot z, \quad (157)$$

$$f_1 = \frac{F}{n(p+1)}, \quad (158)$$

$$f_2 = p \cdot f_1. \quad (159)$$

Ferner sind:

$$h_1 = \frac{h}{a}; \quad h_0 = (p+1) \cdot h_1; \quad h_2 = p \cdot h_1; \\ h = \frac{a \cdot h_0}{p+1}. \quad (160)$$

Findet keine Wiederbenutzung des Wassers statt, so ist $p = 0$.

Der Betrieb größerer Bewässerungsanlagen ist ohne die Anstellung eines tüchtigen Wärters und die Aufstellung einer Bewässerungsordnung nicht durchzuführen. Jeder einzelne Grundstückbesitzer muß aus der Bewässerungsordnung ersehen können, zu welchen Zeiten bei ihm bewässert werden soll, damit er seinen ganzen landwirtschaftlichen Betrieb darauf einstellen kann. Dem Wärter liegt neben dem Bewässerungsbetrieb auch die Unterhaltung der Bewässerungsanlagen ob. Je nach Bedarf wird er zu diesem Zwecke Hilfskräfte annehmen müssen.

Bei der Verteilung der Bewässerungskosten pflegt man sich, wenn irgend möglich, mit überschläglichen Verteilungsmaßstäben zu begnügen. Der Wärter hat über die Bewässerung genau Buch zu führen. Häufig werden die bewässerte Fläche und die Dauer der Bewässerung zugrunde gelegt. Das setzt aber voraus, daß jeder ha in der Zeiteinheit etwa die gleiche Wassermenge derselben Beschaffenheit erhält. Andernfalls muß nach der Wassermenge abgerechnet werden. Dabei ist zu beachten, ob in größeren Gebieten für die weit unterhalb liegenden Flächen mit langer Zuleitung verhältnismäßig hohe Sickerverluste eintreten. Außerdem ist fast stets der Wert des Wassers bei seiner Wiederverwendung geringer als bei der ersten Benutzung, namentlich bei allen düngenden Bewässerungen. Bei der einfachen Überstauung nimmt der Sauerstoffgehalt des nicht bewegten Wassers ab, was für seine Wiederverwendung nicht günstig ist. Daher muß bisweilen auch die Beschaffenheit des Wassers berücksichtigt werden.

Eine gerechte Wasserverteilung wird man in großen Gebieten nur dann vornehmen können, wenn man an einzelnen, besonders geeigneten Stellen Vorrichtungen für eine Messung des sekundlichen Zuflusses einbaut. Als solche

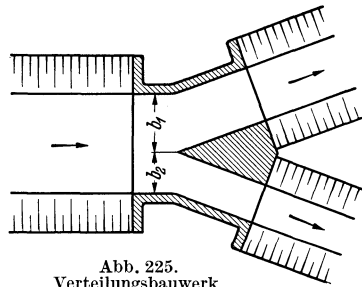


Abb. 225.
Verteilungsbauwerk.

sind üblich: Rinnen von bestimmter Breite und bestimmtem Gefälle, Öffnungen bestimmter Abmessungen (Moduli) und Meßwehre (S. 118). Hat man beispielsweise an zwei Stellen des Bewässerungsgebietes zwei gleich lange hölzerne Rinnen gleichen Querschnittes und gleichen Gefälles eingebaut, so kann man den Zufluß so regeln, daß beide Rinnen etwa gleich hoch mit Wasser gefüllt sind und daher, wenn kein Rückstau besteht, den angeschlossenen Abteilungen auch dieselbe sekundliche Wassermenge zuleiten. Auch an der Gabelung eines Zuleiters läßt sich ein einfaches Verteilungsbauwerk errichten (Abb. 225), indem man die beiden Abzweigungen unter dem gleichen Winkel anordnet. Bei senkrechten Wänden rechnet man alsdann genau genug, wenn man eine Wasser- verteilung nach dem Verhältnis $b_1 : b_2$ annimmt.

H. Die künstliche Beregnung.

1. Die Bestandteile einer Regenanlage.

In den letzten 20 Jahren hat eine besondere Art der Bodenbewässerung, die künstliche Beregnung, sich aus einfachen Anfängen stark entwickelt. Jede Regenanlage besteht aus vier Teilen, der Kraftmaschine, der Pumpe, der Druckrohrleitung und den Regnern. Die von der Kraftmaschine betriebene Pumpe drückt das Wasser durch die Rohrleitung zu den Regnern, die es mittels besonderer Düsen ausspritzen und verteilen.

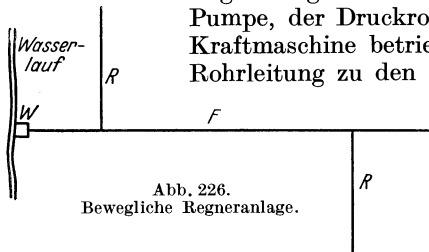


Abb. 226.
Bewegliche Regenanlage.

Für die Wahl der Kraftmaschine ist neben den Anlage- und Betriebskosten namentlich der Umstand von Bedeutung, ob sie ortsfest oder beweglich sein soll. Bei beweglichen Anlagen müssen Kraftmaschine und Pumpe häufig an

verschiedene Wasserentnahmestellen gebracht werden. Man kann sie zu diesem Zwecke auf einem Wagen anordnen, falls sie nicht zu schwer sind. Verhältnismäßig leicht ist die Glühkopfmachine, die für Beregnungsanlagen viel verwendet wird. Auch die Leichtölmachines haben nur ein geringes Gewicht, verursachen jedoch ziemlich hohe Brennstoffkosten und werden stark abgenutzt. Wegen ihrer hohen Drehzahl kann man sie mit der Pumpe unmittelbar kuppeln. Leider läßt sich die sehr leichte Stromkraftmaschine bei beweglichen Anlagen selten verwenden, weil die Zuleitung des elektrischen Stromes meistens Schwierigkeiten macht. Sie wird aber bei ortsfesten Anlagen sehr gern gebraucht, desgleichen die Dieselmachine. Auch die Fahrdampfmaschine kommt in Frage. Wenn eine solche schon vorhanden ist, kann man sie doch nur selten auch für die Beregnung nutzbar machen; dasselbe gilt vom Trecker. Nähere Ausführungen über Kraftmaschinen findet man auf S. 238 ff. Man beachte, daß die Lebensdauer beweglicher Anlagen kürzer ist als diejenige ortsfester.

Als Pumpen werden ausschließlich Schleuderpumpen verwendet. Da meistens große Druckhöhen zu überwinden sind, wählt man mehrstufige Pumpen. Bei beweglichen Anlagen, bei denen die Pumpe fast stets über Wasser liegt, ist die Beschaffung einer von der Kraftmaschine anzutreibenden Entlüftungspumpe nötig. Als solche eignen sich besonders die Wasserring-Luftpumpen. Vor die Öffnung des Saugrohres setzt man als Filter einen Weidenkorb.

Die Druckrohrleitung kann oberirdisch, unterirdisch oder zum Teil ober-, zum Teil unterirdisch verlegt werden. Man spricht dann von beweglichen, ortsfesten oder halbbeweglichen Anlagen. Die bewegliche Anlage besteht in einer von der Wasserentnahmestelle W (Abb. 226) ausgehenden oberirdischen Feldleitung F , von der rechts und links die Zweig- oder Regnerleitungen R abzweigen, die die Regner tragen und nach Beregnung eines Flächenstreifens an

einer anderen Stelle der Feldleitung angeschlossen werden, um einen neuen Streifen zu beregnen. Derartige bewegliche Anlagen werden bis zu etwa 80 m^3 Stundenleistung gebaut. Eine halbbewegliche Anlage ist in Abb. 227 dargestellt. Hier werden die beweglichen Feldleitungen F an die mit Zapfrohren (Hydranten) H versehene unterirdische Stammlleitung S angeschlossen, und zwar nacheinander an die verschiedenen Zapfrohre, um alle Schläge zu beregnen. Mit den halbbeweglichen Anlagen kann man Stundenleistungen bis zu etwa 125 m^3 erreichen. Die ortsfeste Anlage besteht aus lauter unterirdischen Rohrleitungen und Zapfrohren H , von denen aus man mit Weitstrahlregnern (S. 320) die ganze Beregnungsfläche bestreichen kann (Abb. 228). Ihre Stundenleistung läßt sich fast beliebig steigern.

Da die beweglichen Leitungen häufig von einer Stelle des Feldes zur nächsten geschafft werden müssen, dürfen die einzelnen Rohrteile nur so schwer sein, daß sie noch ohne zu große Kraftanstrengung von zwei Leuten getragen werden können. Die 5 bis 8, in der Regel 6 m langen Rohre werden aus Stahl oder Stahlblech mit 1 bis 2 mm Wandstärke oder aus Aluminium (Wandstärke 2 bis 5 mm) hergestellt. Der Vorteil der Aluminiumrohre ist ihr geringes Gewicht. So wiegt ein 6 m langes Stahlrohr von 100 mm Durchmesser etwa 30 bis 34 kg, ein ebenso starkes Aluminiumrohr dagegen nur 20 kg. Die einzelnen Rohre werden durch Schnellkupplungen miteinander verbunden, um sie schnell an- und abkuppeln zu können. Dieser von Krause stammende Gedanke hat die Feldeberegnung außerordentlich gefördert.

Die Rohrleitungen legt man meistens auf etwa 60 cm hohe eiserne Böcke (Spreizfüße). Die Regnerwerke haben verschiedene Arten von Schnellkupplungen herausgebracht, von denen diejenigen von Krause, Lanninger, Hydor, Siemens-Schuckert, Calw und Lochbihler die bekanntesten sind. Wegen der Ausführung im einzelnen wird auf die Druckschriften der Werke verwiesen.

Als ortsfeste Leitungen werden in der Hauptsache gußeiserne oder Stahlmuffenrohre verwendet (S. 260). Ob Zementrohre (Humerohre, Asbestzementrohre) sich bewähren und ob mit ihnen eine Kostenersparnis gegenüber den eisernen erzielt wird, läßt sich noch nicht abschließend beurteilen. Die unterirdischen Leitungen sind an den tiefsten Stellen mit Entleerungsvorrichtungen zu versehen, um sie bei Ausbesserungen und im Winter entleeren zu können. Dann genügt es, die eisernen Leitungen etwa 0,5 bis 0,6 m tief zu verlegen, da Frostschäden bei ihnen nicht vorkommen können. Eine tiefere Lage ist aber geboten, wenn sie auch im Winter zur Verrieselung von Abwasser verwendet werden sollen. Zementrohre sollten stets frostfrei liegen, also mindestens 0,8 bis 1,0 m tief (S. 212). Absperrschieber sind nach Bedarf einzubauen, ihre Lage richtet sich nach der Art des Beregnungsbetriebes (S. 321).

Die Regner bestehen aus einfachen Düsen oder aus besonderen Geräten. Man unterscheidet Kurz-, Mittel- und Weitstrahldüsen, je nach der

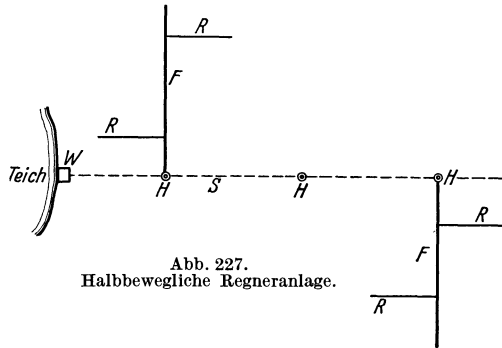


Abb. 227.
Halbbewegliche Regenanlage.

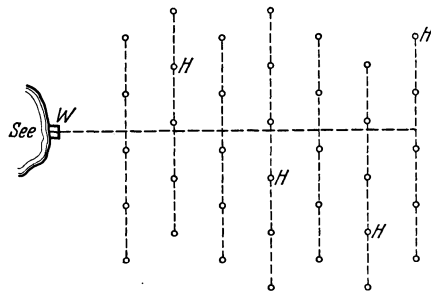


Abb. 228. Ortsfeste Regenanlage.

Wurfweite des Wasserstrahles. Diese ist um so größer, je größer der Düsendruck ist (S. 126). Nach ihrer Anordnung spricht man von Düsenflügelregnern und Weitstrahlregnern. Bei den ersteren sitzen Kurz- oder Mittelstrahldüsen auf den Rohren der Regnerleitung. Kuppelt man beispielsweise zehn Düsenrohre,

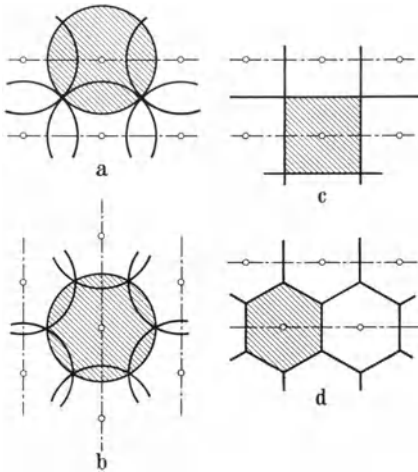


Abb. 229. Kreis-, Quadrat- und Sechseckdüsen.

deren jedes 6 m lang ist und in der Mitte eine Kurzstrahldüse trägt, zusammen, so erhält man eine 60 m lange Regnerleitung. Die einzelne Düse kann als Kreis-, Quadrat- oder Sechseckdüse ausgebildet sein, d. h. sie beregnet entweder eine Kreisfläche, ein Quadrat oder ein Sechseck. Die Kreisflächen müssen sich überschneiden, damit jeder Flächenteil beregnet wird (Abb. 229).

Während die Kurzstrahldüsen eine große Anzahl feststehender Düsenöffnungen haben, aus denen das Wasser gleichzeitig nach allen Richtungen austritt, sind die Weitstrahldüsen nach einem anderen Grundsatz gebaut. Sie bestehen aus einem einzigen drehbar angeordneten Düsenrohr (Abb. 230), das unter starkem Druck einen Wasserstrahl

auf weite Entfernung, etwa 30 bis 80 m verspritzt. Es kommen sogar Wurfweiten bis 120 m vor. Die meisten Weitstrahlregner beregnet Kreisflächen. Siemens-Schuckert baut auch Regner, die eine quadratische Fläche bis zu 30 m Seitenlänge bewässern. Die Weitstrahldüse muß in langsame Drehung versetzt werden. Außerdem muß erreicht werden, daß auch die Flächen in nächster Nähe des Regners Wasser erhalten, da der starke Wasserstrahl sich erst in einiger Entfernung vom Regner aufzulösen beginnt und als feiner Regen zu Boden fällt. Zur Drehung des Weitstrahlregners benutzt man die Kraft des ausströmenden Wassers. So arbeitet der Phönix-Weitstrahlregner mit der Rückstoßkraft des Wassers.



Abb. 230. Weitstrahlregner.

Durch zwei regelbare Kolbenölbremsen läßt sich die Drehgeschwindigkeit des Regners beliebig einstellen. Siemens-Schuckert leitet den austretenden Wasserstrahl auf einen kleinen Kreisel, dessen Drehung auf den Regner übertragen wird. Besonders einfach wird die Drehung bei dem (Propeller-) Regner von Märten erreicht. Die in Abb. 230 erkennbare zweiflügelige Treibschraube wird zunächst mit der Hand angeworfen. Bei ihrem Durchgang durch den Wasserstrahl erhält sie jedesmal einen Stoß, so daß sie dauernd in Bewegung bleibt. Jeder Stoß drückt den drehbaren Regner etwas zur Seite, bewirkt also eine ruckartige

Drehung. Die Unterbrechung des Strahles beim Durchgang der Treibschraube hat gleichzeitig die Wirkung, daß auch die in der Nähe des Regners liegenden Flächen genügend Wasser erhalten.

Es gibt noch andere Verfahren, um die dem Regner nahen Flächen mit Wasser zu versorgen (Nahberegnung). Der Regnerbau Calw-Württemberg verwendet einen Draht, der vor der Düse sitzt und in den Strahl eintaucht. Der Draht bewirkt eine Störung des Wasserstrahles und somit eine Nahzerstäubung. Beim Weitstrahlregner von Hüdig-Berlin taucht ein Spritzblech in den Strahl ein. Der Hydor-Regner (Berlin) besitzt ein Hauptstrahlrohr für die äußere Kreisberegnung und ein besonderes Verteilerrohr für die Innenberegnung. Lan-ninger-Frankfurt a. M. erreicht die Zerstäubung des Wassers zum Zwecke der Nahberegnung durch ein Kreiselrädchen.

Eine besondere Art der Weitstrahlregner ist die Regenkanone von Michaelis, die nach dem Speicherverfahren arbeitet. Sie besitzt einen Druckkessel, in den das Wasser langsam einströmt und dadurch die Luft verdichtet. Sobald eine einstellbare Druckhöhe erreicht ist, öffnet sich ein Schalter. Dadurch wird das Strahlrohr freigegeben und das im Kessel angesammelte Wasser schießt so lange hinaus, bis der Druck im Kessel wieder auf eine bestimmte Höhe gesunken ist. Während des Schusses erfährt das Strahlrohr durch Rückstoß eine kleine ruckartige Drehbewegung, so daß im Laufe der Zeit eine Kreisfläche beregnet wird. Man kann also bei diesem Verfahren mit geringen Rohrdurchmessern der Zuleitung auskommen, weil die Regenkanone auch bei sehr kleiner sekundlicher Wasserzuführung arbeitet. Eine untere Grenze findet der Rohrdurchmesser nur in der gesamten Wassermenge, die in einer bestimmten Zeit auf eine bestimmte Fläche gebracht werden soll.

2. Der Betrieb.

Der Betrieb einer Beregnungsanlage soll so vor sich gehen, daß während der Arbeitszeit möglichst wenig Regnpausen entstehen. Denn alle Pausen kosten Löhne und, wenn die Pumpe zeitweise gegen geschlossenen Schieber arbeitet, auch Kraft, ohne daß diesen Ausgaben die Beregnung als Wert gegenüber steht. Der Betrieb soll ferner so eingerichtet werden, daß man mit einer Mindestzahl an Arbeitskräften auskommt, soweit es bei der jeweiligen Anlage möglich ist. Das bedingt die Vermeidung unnötiger Wege und die Verwendung nicht zu schwerer Rohre und sonstiger Bauteile, soweit sie häufig versetzt werden müssen.

Die Anzahl der täglichen Betriebsstunden schwankt in weiten Grenzen, etwa von 6 bis 24 h. Die Nachtberegnung (S. 324) führt zu kurzer, die Ausnutzung der Anlage zu langer Betriebszeit.

Eine bei den Düsenflügelregnern von Krause angewendete Betriebsart ist der Wechselbetrieb mit Schaltleitung. Von der festen Stammleitung *S* oder unmittelbar von der Pumpe (Abb. 231) zweigt die fliegende Feldleitung *F* ab, die in bestimmten Abständen Anschlußstutzen *a* trägt. An diese werden Schaltleitungen *s* angeschlossen, aus denen die Regnerleitungen *R* ihr Wasser entnehmen. Durch die Schaltleitungen spart man bei langen Feldleitungen an Anlagekosten, weil erheblich weniger Anschlußstutzen *a* erforderlich sind. Die

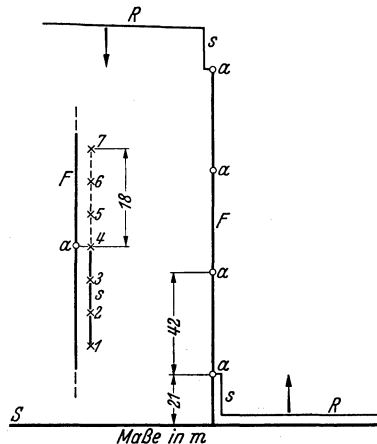


Abb. 231. Wechselbetrieb mit Schaltleitung.

Regnerleitung wird nacheinander an die Anschlußstutzen 1, 2, 3, 4 der Schaltleitung angeschlossen und nach Umsetzen der Schaltleitung in die gestrichelte Lage an 5, 6 und 7. Eine Betriebsunterbrechung wird erst dann erforderlich, wenn die Schaltleitung an den nächsten Anschlußstutzen a umgesetzt werden muß. An jeder Seite der Feldleitung arbeitet ein Regnerflügel, wobei abwechselnd rechts und links geregnet wird. Der Betrieb geschieht meistens nach Abb. 234b. Man macht die Schaltleitung statt 18 m auch 24 m lang.

Eine andere, von Lanninger entwickelte Betriebsart ist in Abb. 232 dargestellt. Von der Feldleitung F zweigt die Regnerleitung R_1 ab, die die Düsen trägt. Es mögen 20 Düsen in 12 m Abstand vorhanden sein, von denen jeweils 4 gleichzeitig regnen. Lanninger bringt dann einen

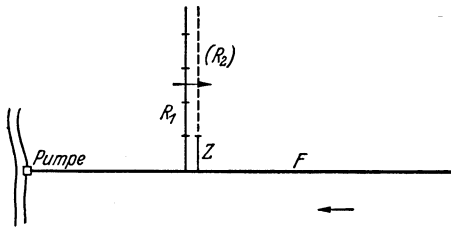


Abb. 232. Betrieb mit Zusatzflügel.

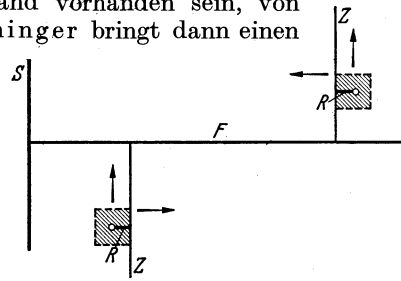


Abb. 233. Betrieb mit Weitstrahlregnern.

Zusatzflügel Z an, der gleichfalls 4 Düsen trägt. Sobald nun alle 20 Düsen der Leitung R_1 beregnet haben, werden die Düsen des Zusatzflügels in Tätigkeit gesetzt und der Flügel wird durch Abbau der Leitung R_1 zur vollen Regnerleitung R_2 ausgebaut. Die Anordnung setzt voraus, daß alle Rohre denselben Durchmesser haben, damit sie beliebig aneinander gekuppelt werden können. Man kann auf diese Weise ohne Regenpause auf einer oder zu beiden

Seiten der Feldleitung regnen.

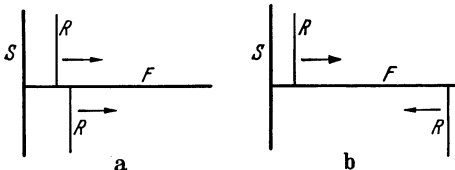


Abb. 234. Einfluß der Betriebsart auf die Betriebskosten.

Eine dritte Art des Betriebes hat das Regnerwerk Phönix bei seinen Weitstrahlregnern vorgeschlagen. Das Grundsätzliche dieser Betriebsart ist in Abb. 233 dargestellt. An die unterirdische Stammleitung S oder unmittelbar an die Pumpe wird eine Erd- oder Feldleitung F angeschlossen, an diese ein oder zwei wandernde Zweigleitungen Z .

An jeder Zweigleitung wandern ein oder zwei kurze Regnerleitungen R , die am Ende den Weitstrahlregner tragen. Dieser beregnet die gestrichelte Fläche unter der Annahme einer Quadratdüse. Wenn an einer Zweigleitung nur ein Regner arbeitet, dann läßt man ihn auf der einen Seite hin- und auf der anderen zurücklaufen. Zwei Regner sollen, jeder auf je einer Seite der Zweigleitung, einander entgegenlaufen, indem sie an den beiden Enden beginnen. Dieselben Grundsätze gelten für das Wandern einer oder zweier Zweigleitungen längs der Leitung F (Abb. 234b). Für die Zweigleitungen nimmt man Längen bis zu 300 m. Sobald ein Regner eine Fläche ausreichend beregnet hat, wird er mitsamt der Regnerleitung weiter gesetzt. Um die dadurch eintretende Regenpause zu vermeiden, kann man zwei Regner mit je einer Regnerleitung unmittelbar nebeneinander anordnen, von denen immer der eine arbeitet, während der andere umgesetzt wird.

Bei Weitstrahlregnern mit sehr großer Wurfweite verlegt man das ganze Rohrnetz auch unterirdisch nach Abb. 228. Die hier dargestellte versetzte Anordnung der Zapfrohe (Abb. 229b) hat vor der quadratischen (Abb. 229a) eine Reihe von Vorteilen. Letztere erfordert 6% mehr Zweigleitungen, 30%

mehr Zapfrohre und hat etwa $2\frac{1}{2}$ mal soviel an doppelt beregneter Fläche wie die versetzte Anordnung, gleiche Wurfweite der Weitstrahlregner vorausgesetzt.

Die Art des Beregnungsbetriebes ist auch von Einfluß auf die Betriebskosten. Wenn zwei Regnerflügel oder zwei Weitstrahlregner an einer Feldleitung in derselben Richtung wandern (Abb. 234a), so ist der mittlere Druckhöhenverlust in der Feldleitung F um 33%, der größte sogar um 100% größer als bei einem Vorrücken nach Abb. 234b [Gl. (61)]. Das Verfahren *a* hat aber den Vorteil, daß die Bedienungsleute nicht so weite Wege zurückzulegen haben wie bei *b*, wenn beide Regnerflügel von denselben Leuten bedient werden.

Der Beregnungsbetrieb erfordert eine besondere Ausrüstung der Bedienungsleute. Sie sollten eine wasserdichte Kleidung erhalten, zum mindesten aber einen solchen Schurz. Bei warmem Wetter können sie barfuß gehen, müssen aber die Füße einfetten. Sonst sind wasserdichte Stiefel erforderlich. Lanninger erreicht das Vorbringen der Rohre im Trockenem dadurch, daß er mit jeder Düse eines Düsenflügelregners nur eine Drittelkreisfläche beregnen läßt (Abb. 235).

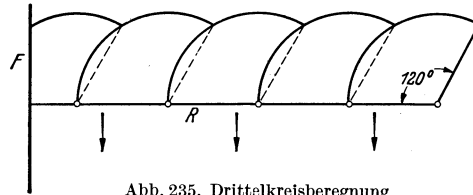


Abb. 235. Drittelkreisberegnung.

Zeit und Umfang der Beregnung sind weiter unten behandelt. Sie sind wichtig für die Aufstellung des Beregnungsplanes, der bei keinem Entwurf fehlen darf, zumal die Beschaffung einer Regenanlage meistens erhebliche Betriebsumstellungen nach sich zieht.

Will man die Vorteile der Beregnung für kleine landwirtschaftliche Betriebe ausnutzen, so empfiehlt sich in der Regel ein genossenschaftlicher Zusammenschluß. Bei Ackerberegnung wird dann unter Umständen auch ein gewisser Flurzwang nicht zu vermeiden sein.

3. Die Wirkung der künstlichen Beregnung.

Die künstliche Beregnung ist zwar dem natürlichen Regen ähnlich, unterscheidet sich aber doch von diesem in mancherlei Hinsicht und erreicht ihn nicht in ihrer Wirkung auf das Pflanzenwachstum. So ist die Dichte des künstlichen Regens eine erheblich größere als die eines Landregens (S. 326). Das ist ein Nachteil, da bei bindigen Böden leicht eine Verschlammung der Oberfläche eintritt.

Keine andere Bewässerungsart besitzt eine so gute Ausnutzung des Bewässerungswassers wie die künstliche Beregnung, vorausgesetzt, daß man nicht zu kleine Regengaben gibt, von denen dann ein verhältnismäßig hoher Anteil wieder verdunstet. Sickerverluste treten fast überhaupt nicht ein, so daß besondere Entwässerungsanlagen entbehrlich sind. Doch sind dränbedürftige Flächen zunächst zu dränen, bevor man sie beregnet. Das Wasser darf nicht zu stark zerstäubt werden, da die ganz kleinen Wassertropfen vom Winde zu weit verweht werden.

Das Wasser des Kunstregens erfährt schon auf dem kurzen Wege, den es durch die Luft zurücklegt, eine merkliche Erwärmung und eine für das Pflanzenwachstum vorteilhafte Anreicherung mit Sauerstoff. Die Sauerstoffanreicherung fördert den Abbau schädlicher Abwässersäuren. Die Erwärmung des künstlichen Regens an der Luft reicht jedoch nicht aus, um die günstige Wirkung der warmen Landregen herbeizuführen. In der Regel bewirkt die starke Dichte des Kunstregens infolge der Verdunstungskälte eine stärkere Abkühlung des Bodens, als es beim Landregen der Fall ist. Bei diesem kann man gelegentlich

sogar eine Erwärmung des Bodens beobachten. Es empfiehlt sich daher, Kunstregen möglichst nur dann zu geben, wenn die Luftwärme mindestens 17 bis 18° beträgt.

Welche unterschiedliche Wirkung die künstliche Beregnung bei trübem Wetter und bei Sonnenschein hat, bedarf noch weiterer Klärung. Es scheint so, als ob die Beregnung bei trübem Himmel am vorteilhaftesten ist. Die Beregnung bei Sonnenschein hat jedenfalls erhebliche Verluste an Beregnungswasser durch Verdunstung zur Folge. Auf der anderen Seite hat man die Frage aufgeworfen, ob nicht eine Beregnung während der Mittagstunden den Sättigungsfehlbetrag der Luft verkleinere, dadurch die mittags besonders starke Blattverdunstung verringere und so den Kohlenstoffeinbau fördere. Die Frage ist noch nicht geklärt (Einfluß des Windes?). Als vorteilhaft hat sich die Beregnung in den Nachtstunden erwiesen, da die Pflanzen das Wasser nachts besser ausnutzen als tags. Ein großer Teil des Wassers wird während der Nacht bei Wassermangel im Boden oberirdisch durch die Blätter aufgenommen (S. 62). Ein Versuch mit Buschbohnen ergab bei Nachtberegnung etwa 30% mehr an reifen Körnern als bei Tagberegnung.

Die Wirkung der Beregnung ist in hohem Maße von der richtigen Wahl der Beregnungszeit abhängig. Untersuchungen von Brouwer (14) haben gezeigt, daß der günstigste Beregnungszeitpunkt bei den verschiedenen Nutzpflanzen ganz verschieden liegt. Schon eine geringe Regengabe vermag zu günstiger Zeit viel wirksamer zu sein als eine wesentlich größere Gabe zu einem anderen Zeitpunkt (Zahlentafel 100). So kann eine unzeitige Beregnung sogar Schaden bringen durch zu kaltes Wasser, Störungen der Befruchtung in der Blütezeit, zu starke Blattentwicklung, Förderung des Unkrautes usw.

Zahlentafel 100.

Bestand	Wichtige Beregnungszeiten	Jährliche Regenhöhe mm
Halmfrüchte	2 bis 3 Wochen vor dem Schossen (Mai) 15 bis 30 mm	30 bis 50
Kartoffeln	Im Beginn der Blüte (Juni oder Juli) 20 bis 30 mm	50 bis 80
Zucker- und Futterrüben . . .	Anfangend etwa Mitte Juli, fortlaufend bis Anfang September	60 bis 120
Luzerne, Klee, Wiese	2 Wochen vor jedem Schnitt je 15 bis 30 mm	50 bis 150
Dauerweiden	Während der gesamten Wachstumszeit	100 bis 250
Zwischenfrüchte	Während der gesamten Wachstumszeit	60 bis 80
Möhren	Anfangend etwa Mitte Juli, fortlaufend bis Mitte August	60 bis 80
Kohl	Anfangend etwa Mitte Juli, fortlaufend bis Anfang September	60 bis 100

Im großen Durchschnitt ist die Wirkung der künstlichen Beregnung um so besser, je unzureichender die Niederschläge in der Wachstumszeit sind. Einen Anhalt bietet in dieser Hinsicht die Zahl der Dürremonate (S. 89).

Daneben ist aber auch die Bodenart von Bedeutung. Humushaltige und lehmige Sandböden scheinen nach den bisherigen Erfahrungen die Beregnung am besten zu lohnen. Sie leiden ja auch bei Trockenheit mehr als die schwereren Bodenarten. Humusarme reine Sandböden sind so durchlässig, daß im Ackerboden bei stärkeren Regengaben ein Teil des Beregnungswassers durch Versickerung verlorengehen kann. Sehr schwere Böden haben bei der Beregnung den Nachteil, daß sie leicht verkrusten und daher wiederholt durch Bearbeitung gelockert werden müssen. Während man früher die künstliche

Beregnung auf schweren Böden fast ganz verwarf, haben neuere Erfahrungen gezeigt, daß kleine Regengaben zur Überbrückung einer entscheidenden Zeit auch auf schweren Böden äußerst lohnend sind. Sie können auch die Rüben-ernte durch Aufweichen des harten Bodens erleichtern.

Der etwas ungleichmäßigen Wasserverteilung ist kein nennenswerter Einfluß auf die Gesamtwirkung der Beregnung beizumessen. Am Rande der von einer Düse beregneten Fläche wird die Regendichte geringer, so daß man die einzelnen Flächen sich etwas überschneiden läßt (S. 320). Das ist auch bei Quadrat- und Sechseckdüsen zweckmäßig. Im übrigen werden benachbarte Unregelmäßigkeiten in der Beregnung zu einem Teil schon dadurch ausgeglichen, daß das Wasser sich im Boden verteilt. Schwacher Wind pflegt die Wasserverteilung nicht in störender Weise zu beeinflussen. Starker Wind dagegen kann die feinen Wassertropfen weit fortführen, namentlich bei Weitstrahlregnern. Er stört auch die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung. Die von einer Düse beregnete Fläche verliert unter der Wirkung des Windes ihre ursprüngliche Form. Bei Wind ist daher die Überschneidung der Kreisflächen von Vorteil. Übrigens wird auch die gleichmäßige Verteilung des Naturregens durch stärkeren Wind beeinträchtigt.

Der sekundliche Wasserverbrauch derselben Düse wächst mit dem Düsendruck. Da dieser um so größer ist, je näher die Pumpe und je niedriger das Gelände ist, so ist die Regendichte auf den einzelnen Flächen verschieden. Der sekundliche Wasserverbrauch einer Düse ändert sich im Verhältnis der Quadratwurzeln aus den Düsendrücken. Innerhalb eines Regnerflügels von 200 bis 300 m Länge sind die Unterschiede nicht groß. Am Anfang und Ende langer Feldleitungen herrschen jedoch bei Düsenflügelregnern häufig sehr verschiedene Düsendrücke. Sinkt z. B. der Druck von 60 auf 20 m, so nimmt die Dichte der Beregnung im Verhältnis 100 : 58 ab. Bei Weitstrahlregnern sind wegen des an sich schon höheren Betriebsdruckes die Schwankungen weniger merkbar. Man kann die geringere Regendichte durch eine längere Beregnungsdauer ausgleichen, oder man versieht die einzelnen Düsen mit Regler-verschlüssen, um ihren Wasserverbrauch einstellen zu können. Der verschiedene Düsendruck beeinflußt jedoch die Wasserverteilung der Düsenflügelregner. Je kleiner er ist, um so größer sind die Wassertropfen, so daß in der Nähe der Düse verhältnismäßig wenig Wasser fällt. Mit wachsendem Druck entstehen mehr feinere Tropfen, die nahe der Düse niederfallen, da das Verhältnis ihrer leibigen Kraft zum Luftwiderstand sehr gering ist.

Die düngende Wirkung der Abwasserverregnung ist weiter unten behandelt (S. 339).

4. Wasserbedarf und Wasserbeschaffung.

Der Wasserbedarf bei der anfeuchtenden künstlichen Beregnung ist im Vergleich zu anderen Bewässerungsarten sehr gering. Er ist abhängig von den natürlichen Niederschlägen der Wachstumszeit, der Bodenbeschaffenheit, der Pflanzenart und dem Zeitpunkt der Beregnung. Je geringer die natürlichen Niederschläge sind, um so mehr Kunstregen ist erforderlich. Leichtere Böden beregnet man etwas stärker als schwerere, weil sie unter sonst gleichen Verhältnissen in Trockenzeiten weniger Bodenwasser zur Verfügung haben als die bindigen Böden.

Die Wassermengen, die man den einzelnen Nutzpflanzen zur Anfeuchtung gibt, sind wesentlich von Fragen der Wirtschaftlichkeit abhängig. Am besten pflegen Hackfrüchte und Kohl die Beregnung zu lohnen, es folgen Grünland, Klee, Sommerung und Winterung. Allerdings sind die Ansichten über den Wert der Grünlandberegnung, namentlich der Wiesen, zur Zeit noch geteilt. Ein zur richtigen Zeit gegebener Kunstregen braucht weniger Wasser zu vermitteln, als wenn der günstigste Zeitpunkt nicht eingehalten wird. Vgl. auch die Ausführungen auf S. 324 über Tag- und Nachtregen.

Im großen Durchschnitt kann man nach den vorliegenden Erfahrungen etwa mit den Regengaben der Zahlentafel 100 rechnen. Die Zahlen gelten jedoch nur für den Fall, daß die angegebenen Berechnungszeiten beachtet und daß auch im übrigen die einzelnen Regengaben so gegeben werden, daß keine Wachstumsstockungen durch Dürre eintreten.

Die in der Zeiteinheit gegebene Regenmenge nennt man die Regendichte (S. 90). Sie wird in mm je min ausgedrückt. Im Vergleich zum Naturregen ist die Dichte des Kunstregens eine recht erhebliche. Nach Zahlentafel 61 liegt die Dichte der Dauerregen etwa zwischen 0,02 und 0,03 mm/min. Eine so geringe Regendichte ist beim Kunstregen nicht erreichbar, was ein Nachteil des Kunstregens gegenüber dem natürlichen ist. Die kleinste Regendichte d erzielt man mit der Regenkanone. Unter Einrechnung der Pausen zwischen den einzelnen Schüssen kann hier d kleiner als 0,05 mm/min werden. Trotzdem ist die Wirkung eine andere als beim Naturregen, der ja nicht schußweise, sondern fortlaufend gleichmäßig niederfällt. Als größte zulässige Regendichten kann man etwa folgende annehmen:

auf leichten Böden	1,25 mm/min,
auf mittleren Böden	0,75 bis 1,00 mm/min,
auf schweren Böden	0,60 mm/min.

Weitstrahlregner besitzen eine kleinere Regendichte als Kurzstrahldüsen. Bei ersteren liegt d im allgemeinen zwischen 0,2 und 0,5, bei letzteren zwischen 0,6 und 1,2 mm/min.

Das für eine Beregnung erforderliche Wasser kann aus Wasserläufen, Seen oder aus dem Grundwasser beschafft werden. Auch Abwasser wird mit bestem Erfolg verwendet (S. 339). Bei der Wasserentnahme aus Wasserläufen ist stets zu prüfen, ob auch in trockener Zeit die erforderliche Wassermenge zur Verfügung steht, und ob der Entnahme etwa Rechte Dritter entgegenstehen. Die Entnahme aus zuflußlosen kleineren Seen oder Teichen findet eine Grenze in dem vorhandenen Wasservorrat, soweit nicht durch die Absenkung ein Zufluß von Grundwasser bewirkt wird. Oberflächenwasser verdient den Vorzug vor Grundwasser, weil es wärmer und billiger ist als dieses, häufig auch noch Pflanzennährstoffe enthält. Das Grundwasser ist aus Brunnen zu entnehmen, die in der Regel für Beregnungsanlagen besonders hergestellt werden müssen. Man ordnet sie möglichst im Mittelpunkt der zu beregnenden Fläche an, um die Kosten für das Rohrnetz und den Pumpbetrieb zu verringern. In Zweifelfällen wird man die Ergiebigkeit der Brunnen durch Pumpversuche feststellen müssen (S. 100).

5. Berechnungen.

Zur Berechnung einer Regenanlage ist zunächst der gesamte jährliche Wasserbedarf zu ermitteln. Es sollen beispielsweise beregnet werden:

30 ha Sommergetreide	mit 30 mm
25 ha Wintergetreide	„ 20 mm
10 ha Kartoffeln	„ 50 mm
15 ha Rüben	„ 80 mm
10 ha Wiese	„ 50 mm
20 ha Weide	„ 60 mm

110 ha

Dazu sind jährlich 48000 m³ Wasser erforderlich. Man hat alsdann den Regenbetrieb nach Zahlentafel 100 festzulegen und den größten gleichzeitigen Wasserbedarf zu berechnen. Dieser möge sich im vorliegenden Beispiel für 10 Tage (10. bis 20. Juni) wie folgt ergeben:

10 ha Kartoffeln	mit 25 mm	2500 m ³
10 ha Wiese	„ 20 mm	2000 m ³
20 ha Weide	„ 25 mm	5000 m ³
		<hr/>
		9500 m ³

Bei 16stündigem Betrieb und durchschnittlich 3stündiger Unterbrechung der Beregnung durch Betriebspausen stehen etwa $10 \cdot 13 = 130$ Regenstunden zur Verfügung, so daß sekundlich

$$\frac{9500 \cdot 1000}{130 \cdot 3600} = \sim 20 \text{ l/s}$$

verregnet werden müssen. Zur Berechnung der Rohrweiten bedient man sich der Gleichung

$$d = 40 \sqrt{\frac{q}{v}}. \quad (161)$$

d = innerer Rohrdurchmesser in mm. Etwa 10% Verringerung des Durchmessers durch Verkrustungen usw. sind in der Gleichung bereits berücksichtigt.

q = Wassermenge in l/s.

v = Wassergeschwindigkeit in m/s.

Somit ist $d = 40 \sqrt{\frac{20}{2,25}} = 120$ mm. Wählt man ein Lanningersches Aluminiumrohr von 127 mm lichter Weite (vgl. die Druckschriften der Werke), so ergibt sich nach Gl. (161) eine Wassergeschwindigkeit

$$v = \frac{1600 \cdot 20}{127^2} = \sim 2,0 \text{ m/s}.$$

Größere Wassergeschwindigkeiten als 2,5 m/s sind unerwünscht, da die Druckverluste im Rohr um so größer werden, je größer v ist. Im äußersten Fall geht man bis 3 m/s. Ein 6 m langes Aluminiumrohr von 127 mm Durchmesser wiegt etwa 30 kg, so daß es bequem durch zwei Leute vorgetragen werden kann. (Die Rohrgewichte sind aus den Druckschriften zu entnehmen.)

Die von der Pumpe zu überwindende Druckhöhe setzt sich zusammen aus der Hubhöhe, dem Widerstand in den Rohrleitungen und dem Düsendruck. Die Hubhöhe ist der Höhenunterschied zwischen dem Unterwasserspiegel der Pumpe und den Düsen.

Für die Berechnung des Widerstandes in den Rohrleitungen geht man von Gl. (61) aus. Oehler (168, 150) hat Versuche über die Leitwiderstände von Schnellkupplungsrohren angestellt und dabei den Wert λ_1 nach Lang gewählt mit $a = 0,020$ [Gl. (74)]. Für $l = 100$ m erhält man

$$h = \varrho \frac{v^2}{d}, \quad (162)$$

$$\varrho = \frac{100 \lambda_1}{2g}.$$

Die Werte ϱ sind aus der nebenstehenden Zahlentafel zu entnehmen.

Oehler fand folgende Abweichungen ε als Verhältnis der gemessenen zu den nach Gl. (162) berechneten Werten:

Der Widerstand in den Regnerleitungen ist nicht nur von der Wandreibung, sondern auch von den Druckverlusten in den Kupplungen abhängig. Ungünstig wirken Schweißnähte, desgleichen die Innenteerung der Rohre. Oehler fand bei Lichtweiten von 70 bis 100 mm und $v = 2,80$ m/s eine Widerstandsvergrößerung durch die Innenteerung um etwa 10% (168, 161). In den Kupplungen sind es die mehr oder minder

Licht- weite des Rohres in mm	Wasser- geschwindigkeit in m/s		
	2,0	2,5	3,0
40	0,134	0,131	0,129
60	0,129	0,126	0,124
80	0,125	0,123	0,121
100	0,123	0,120	0,119
120	0,121	0,119	0,117

starken Wirbelbildungen, die den Druckverlust erzeugen.

Licht- weite des Rohres in mm	Werte ε für ein		
	geschweißtes Blechrohr	nahtloses Rohr	nahtloses Rohr
40	1,23	0,88	0,81
60	0,91	0,81	0,76
80	0,84	0,75	0,72
100	0,82	0,72	0,69
120	—	0,70	0,67

Besondere Widerstände entstehen in den Formstücken. Nach den Untersuchungen Oehlers kann man bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 1 m/s für Bogenstücke sowie in gerader Richtung durchströmte T- und Kreuzstücke je Formstück mit etwa folgenden Druckverlusten rechnen:

Lichtweite	Lichtweite
40 mm 5 cm	80 mm 2 cm
60 mm 3 cm	100 mm 1,5 cm

Das sind Durchschnittszahlen, da die verschiedenen Erzeugnisse Abweichungen zeigen. Werden T- und Kreuzstücke in der Abzweigung durchflossen, so kann man im Durchschnitt etwa die dreifachen Verluste annehmen. Die Verlusthöhen wachsen allgemein mit dem Quadrat der Durchflußgeschwindigkeit, sind also bei $v = 2$ m/s 4mal so groß wie oben angegeben. Wenn zahlreiche Formstücke vorkommen, können ihre Druckverluste beachtlich werden. Man sieht jedoch in der Regel von einer getrennten Berechnung der Druckverluste in den geraden Rohren und in den Formstücken ab und begnügt sich für die Formstücke mit einem Zuschlag für λ_1 . Man kann das unbedenklich auch deshalb tun, weil man ohnehin die Leistung der Pumpe reichlich bemessen soll. Unter Berücksichtigung der Zahlen der Zahlentafeln 101 und 102 kann man daher den ρ -Wert der Gl. (162) zu 0,15 annehmen, wodurch bei gewöhnlichen Verhältnissen die Widerstände der Formstücke ausreichend berücksichtigt sind. Nur bei geschweißten Blehrohren von 40 mm Durchmesser wird $\rho = 0,20$ zu setzen sein (S. 125).

Ludin (169, 32) fand für Asbestzementrohre

$$v = 50 \cdot d^{0,65} \cdot J^{0,54} \tag{163}$$

v = Geschwindigkeit in m/s, d = innerer Rohrdurchmesser in m, $J = h:l$ [Gl. (61)].

Die Berechnung des Kraftbedarfes der Pumpe setzt voraus, daß man vorher den Betrieb der Beregnungsanlage genau festlegt (S. 321 und Abb. 234).

Die Pumpe muß drittens noch den Düsendruck erzeugen. Seine Größe kann aus den Druckschriften der Regnerwerke entnommen werden. Düsenflügelregner brauchen einen Düsendruck von etwa 8 bis 35 m, Weitstrahlregner bis zu 80 m. Die Wurfweite einer Weitstrahldüse hängt von der Strahlstärke und dem Düsendruck ab. Oehler fand folgende Beziehungen (167, 112):

Dabei betrug die Düsenrichtung 30° über der Waagerechten, die Düsenhöhe 2 m über dem Boden. Die Wurfweite bezieht sich auf die äußersten Tropfen.

Zahlentafel 103.

Düsen- druck in m	Wurfweite in m bei einer Strahlstärke von			
	20 mm	30 mm	37 mm	48,5 mm
10	17	17	17	17
20	32	33	33	34
40	46	57	62	67
60	53	69	76	87
80	57	77	81	101

Bei der Berechnung einer Regenanlage ist darauf Bedacht zu nehmen, daß die Jahreskosten (S. 329) möglichst niedrig werden. Man ist daher häufig genötigt, Vergleichsrechnungen anzustellen. Größere Rohrdurchmesser erhöhen die Anlagekosten der Rohrleitung, unter Um-

ständen auch die Lohnkosten, weil mehr Leute für das Vortragen erforderlich sind. Sie haben aber den Vorteil kleinerer Pumpanlagen und geringerer Pumpkosten. Ortsfeste Anlagen sind teuer in der Anlage und billig in der Bedienung. Weitstrahlregner erfordern einen großen Düsendruck, somit starke Pumpen und hohe Pumpkosten, aber geringe Löhne. Nur bei Abwägung aller dieser Gesichtspunkte wird man zu einer nach den örtlichen Verhältnissen möglichst wirtschaftlichen Regenanlage kommen.

Die Berechnung der Pumpe und Kraftmaschine soll an einem Beispiel erläutert werden. Angenommen, es seien folgende Druckhöhen gefunden:

	Größte	Mittlere
Hubhöhe	8 m	5 m
Widerstandshöhe der Rohrleitung	43 m	27 m
Düsendruck	<u>35 m</u>	<u>35 m</u>
	86 m	67 m

Es wurde angenommen, daß die Druckhöhen 8 und 43 m gleichzeitig eintreten. Bei einer Leistung von 20 l/s und einem Wirkungsgrad der Pumpe von 65% müssen dann höchstens

$$\frac{86 \cdot 20}{75 \cdot 0,65} = \sim 35 \text{ PS}$$

auf die Pumpenwelle übertragen werden. Mit einem Sicherheitszuschlag von 10 bis 15% wählt man eine Kraftmaschine von 40 PS Nutzleistung. Überschläglich sind an der Pumpenwelle jährlich a PSh zu leisten:

$$a = \frac{M \cdot H_m}{270 \cdot \eta} \quad (164)$$

M = Jahreswassermenge in m^3 (48000), H_m = mittlere Druckhöhe in m (67),
 η = Wirkungsgrad der Pumpe (0,65).

Man beachte, daß einer Leistung von 20 l/s bei 86 m Druckhöhe eine größere bei 67 m entspricht und daß auch η sich mit der Druckhöhe (H_m) ändert (S. 245). Der Wirkungsgrad der Beregnungspumpen ist sehr verschieden. Bei einer sekundlichen Wassermenge von 10 bis 20 l liegt η meistens zwischen 60 und 65%, kann aber bei kleinen Pumpen bis 40% fallen und bei großen bis 75% steigen. Bei Übersetzungen treten weitere Verluste ein (S. 275). Der Wirkungsgrad der Schmutzwasserpumpen bei der Abwasserverregnung pflegt kleiner als der einer entsprechenden Reinwasserpumpe zu sein.

6. Vorzüge, Kosten und Mehrerträge.

Die künstliche Beregnung besitzt vor den anderen Bewässerungsarten eine Reihe von Vorzügen. Sie ist völlig unabhängig von der Geländegestaltung, eine besondere Herrichtung der zu beregnenden Flächen erübrigt sich. Sie kann während der Wachstumszeit zu allen Beständen angewendet werden und gewährleistet daher die größtmögliche Ertragsicherheit, ganz besonders deshalb, weil man entscheidende Dürrezeiten sofort mit geringen Wassergaben überbrücken kann. Ferner erreicht man durch Kunstregen die sofortige Wirkung der Düngemittel. Die Vermehrung des Zwischenfruchtbaues ist ein weiterer Vorteil. Die Wasserverteilung ist gleichmäßiger als bei dem Rieselfverfahren. Der Wasserbedarf ist außerordentlich niedrig, Wasserverluste durch Oberflächenabfluß und Versickerung treten so gut wie gar nicht ein, wenn die Anlagen sachgemäß betrieben werden. Daher ist auch die Gefahr der Auswaschung von Bodennährstoffen wesentlich geringer als bei allen anderen Bewässerungsverfahren. Schließlich hat die künstliche Beregnung den Vorteil, daß sie den Pflanzen das Wasser in der natürlichen Form des sauerstoffreichen und in der Regel auch ausreichend warmen Regens vermittelt.

Die Jahreskosten einer Beregnungsanlage setzen sich aus folgenden Teilen zusammen:

1. Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten (feste Kosten).
2. Antriebskosten der Kraftmaschine.
3. Löhne.
4. Unterhaltungskosten (z. T. feste Kosten).

Die Anlagekosten lassen sich im Einzelfall nur auf Grund eines eingehenden Kostenanschlages genau berechnen. Bewegliche Anlagen kosten etwa 150 bis 300 RM/ha, halbbewegliche 250 bis 500 und ortsfeste 800 bis 1100 RM (1936). Die Tilgung sollte man stets so ansetzen, daß die gesamte Anlage in spätestens etwa 10 bis 15 Jahren abgeschrieben ist. Je weniger bewegliche Teile die Anlage enthält und je sorgfältiger sie unterhalten wird, um so länger ist ihre Lebensdauer. Mangelhaft unterhaltene bewegliche Anlagen sind meistens nach etwa 10 Jahren verbraucht, während ortsfeste 15 bis 20 Jahre und länger halten. Wegen der Lebensdauer der Maschinen vgl. S. 275. Die Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten K (in RM/ha) ist in jedem Jahre erforderlich ohne Rücksicht

darauf, ob viel oder wenig beregnet wird (feste Kosten). Setzt man dafür rund 10% ein und bezeichnet man mit h die jeweilige Jahresregenhöhe in mm, so wird 1 m³ verregnetes Wasser mit K/h Pfg. belastet. Je kleiner also h ist, um so mehr muß man bestrebt sein, auch K niedrig zu halten, um nicht zu hohe feste Kosten zu bekommen. Daher sind die teuren ortsfesten Anlagen nur dann lohnend, wenn eine große jährliche Regenhöhe h gegeben werden soll und wenn gleichzeitig gegenüber einer beweglichen Anlage noch besonders an Bedienungskosten gespart wird, da häufige kleine Einzelregengaben beabsichtigt sind.

Die Antriebskosten der Kraftmaschine ergeben sich aus Gl. (164). Sie werden außerdem von den Kosten der Betriebsmittel (elektrischer Strom, Brennstoffe) wesentlich beeinflusst. Der Nachtbetrieb hat neben seiner günstigen Wirkung (S. 324) auch den Vorteil, daß Nachtstrom billiger als Tagstrom ist. Die Antriebskosten schwanken etwa zwischen 2 und 7 Pfg. je m³ Wasser.

Die Höhe der Lohnkosten ist in erster Linie von der Betriebsart abhängig. Ortsfeste Anlagen mit Weitstrahlregnern und elektrischem Antrieb bedürfen meistens nur eines Mannes, der die Stromkraftmaschine anstellt sowie auf dem Felde die Absperrschieber und Regner bedient. Nur bei großer Regendichte d und kleinen Einzelgaben wird man bisweilen mit zwei Bedienungsleuten rechnen müssen. Bei Dieselantrieb braucht man in der Regel noch einen besonderen Maschinenwärter.

Wesentlich größer sind die Lohnkosten bei beweglichen Anlagen. Sie entstehen durch den Umbau und Vorschub. Unter Umbau versteht man die Beförderung der beweglichen Teile bei Verlegung der Feldleitung. Die Kosten sind von Fall zu Fall zu ermitteln und fallen sehr verschieden aus, da sie von der Häufigkeit des Umbaues und von den Entfernungen abhängig sind. Man setzt dabei in der Regel eine besondere Mannschaft ein, die die Rohre auf einen Wagen verlädt und so zur neuen Stelle schafft. Schonopp ermittelte bei beweglichen Anlagen von etwa 50 m³ Stundenleistung Umbaukosten von 1,0 bis 2,4 Pfg./m³. Im großen Durchschnitt kann man annehmen, daß die Umbaukosten beweglicher Anlagen unter gewöhnlichen Verhältnissen 10 bis 20% der gesamten Betriebskosten (Antriebskosten, Löhne, Fahren) betragen. Bei halb-beweglichen Anlagen können sie auf einige Hundertteile sinken.

Der Vorschub ist das Vortragen der Regnerleitungen und Regner längs der Feldleitung. Man trägt entweder die Rohre einzeln vor oder 2 bis 4 zusammen, um an Kupplungsarbeit zu sparen. Bei einer sekundlichen Leistung bis zu etwa 20 l braucht man bei einer zweiflügeligen Düsenregneranlage 2 bis 3 Mann. Das setzt aber voraus, daß 1 Mann nicht mehr als etwa 35 kg zu tragen hat. Die Verwendung der leichten Aluminiumrohre kann die Lohnkosten herabsetzen. Verlegbare Weitstrahlregner bedürfen zum Vorschub bei 20 bis 30 l sekundlicher Leistung nur etwa halb so hohe Bedienungskosten. Man kommt bei ihnen mit 1 bis 2 Bedienungsleuten aus, mit 1 Mann jedoch nur dann, wenn die Rohre von ihm ohne Überanstrengung getragen werden können. Bei der großen Mannigfaltigkeit der Anordnungen wird man, sofern nicht betriebliche Erfahrungen aus gleichen Anordnungen vorliegen, sich ein genaues Bild über die von den Bedienungsleuten beim Vorschub zurückzulegenden Wege machen müssen, desgleichen über die Gewichte, die von 1 oder 2 Mann zu tragen sind. Als mittlere Wegegeschwindigkeit unter Einschluß der Zeit für Ab- und Ankuppeln können bei eingearbeiteten Leuten 2,5 bis 3,5 min für je 100 m gerechnet werden. Aus der Höhe der Regengabe und aus der Regendichte ergibt sich die Zeit, die für den Vorschub zur Verfügung steht. Wenn z. B. ein aus 6 m langen Düsenrohren bestehender 120 m langer Regnerflügel um 12 m vorgetragen werden soll, so sind die in Abb. 236 durch eine strichpunktierte Linie dargestellten Wegestrecken zurückzulegen, d. s. rund 500 m, wozu etwa 13 bis 17 min erforderlich sind. Sollen 15 mm Regen mit einer Regendichte von 0,6 mm/min gegeben werden, so bleibt ein Regnerflügel jedesmal 25 min in seiner

Stellung. Es ist daher hinreichend Zeit für den Vorschub vorhanden. Nach den Gewichten der Rohre ist weiter zu untersuchen, ob für den Vorschub 2 Leute nötig sind oder aber einer die Arbeit mit ausreichenden Ruhepausen leisten kann. Im großen Durchschnitt kostet der Vorschub bei beweglichen und halbbeweglichen Anlagen 1,5 bis 4,5 Pfg./m³.

Die gesamten Betriebskosten (Antrieb, Umbau und Vorschub) einer Beregnungsanlage liegen meistens zwischen 5 und 10 Pfg./m³.

Die Unterhaltung setzt sich zusammen aus der Unterhaltung der Pumpanlage einschließlich eines etwaigen Maschinenhauses (S. 278), der unterirdischen Rohrleitungen und der oberirdischen Teile. Für die unterirdischen Leitungen rechnet man mit 0,5 bis 1,5%, für die oberirdischen Teile mit 1,5 bis 2,5% des Anschaffungswertes als durchschnittliche jährliche Unterhaltungskosten.

Die Zahlen über die Kosten eines m³ verregneten Wassers liegen zwischen so weiten Grenzen, daß sie für Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Einzelfall nicht brauchbar sind. Man prüft vielmehr die Wirtschaftlichkeit einer Regenanlage auf Grund der Jahreskosten je ha, die man wie folgt ermittelt:

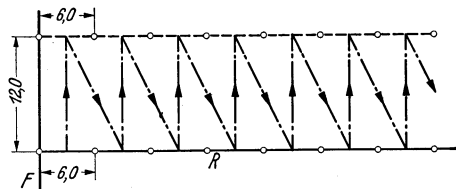


Abb. 236. Wegestrecken beim Vorschub.

1. Anlagekosten einer halbbeweglichen Anlage gemäß Angebot = 480 RM/ha. Bei 4% Zinsen und 12jähriger Tilgungszeit sind jährlich 10,66% zu zahlen = 51,20 RM/ha.

2. Betriebskosten. Weitstrahlregner mit 70 m gesamter mittlerer Druckhöhe. Durchschnittliche Regenhöhe = 50 mm = 500 m³/ha. Wirkungsgrad der Pumpe = 60%, der Stromkraftmaschine = 80%. Eine kWh kostet 8 Pfg. [Gl. (126)].

$$\text{Kosten} = \frac{500 \cdot 70}{367 \cdot 0,60 \cdot 0,80} \cdot 0,08 = 15,90 \text{ RM/ha.}$$

3. Lohnkosten. Durchschnittliche Regengaben = 15 bis 20 mm, also im Mittel 175 m³/ha. Zwei Weitstrahlregner mit je 6 l/s sind gleichzeitig in Tätigkeit. Berechnungszeit für 1 ha daher $\frac{175 \cdot 1000}{12 \cdot 3600} = 4$ h, mit Zu- und Abgang sowie Betriebsunterbrechungen 5 h. Erforderlich zwei Mann. Löhne = 10 · 0,50 = 5,00 RM/ha. Durchschnittlich ist alle 16 ha ein Umbau nötig, der von vier Leuten in 6 h einschließlich Zu- und Abgang bewerkstelligt wird. Gespannkosten sollen nicht gerechnet werden. Daher Umbaukosten = $\frac{24 \cdot 0,50}{16} = 0,75$ RM/ha. Die vorstehenden Zahlen beziehen sich auf einen Umlauf mit durchschnittlich 175 m³/ha. Da im Durchschnitt aber 500 m³/ha gegeben werden, betragen die gesamten Lohnkosten

$$\frac{500}{175} (5,00 + 0,75) = 16,40 \text{ RM/ha.}$$

Voraussetzung der Lohnkostenberechnung ist, daß die Löhne nicht ohnehin in den landwirtschaftlichen Betrieben anfallen.

4. Unterhaltungskosten. Je ha entfallen auf

Maschinenhaus	40 RM	zu 0,6% =	0,24 RM/ha
Maschinenanlage	70 RM	zu 2,0% =	1,40 RM/ha
Unterflurleitung	110 RM	zu 0,8% =	0,88 RM/ha
Bewegliche Leitung	260 RM	zu 1,8% =	4,68 RM/ha
	<u>480 RM</u>		<u>7,20 RM/ha</u>

Daher betragen die gesamten Jahreskosten etwa 91 RM/ha.

Für die durch anfeuchtende künstliche Beregnung erzielten Mehrerträge liegen zahlreiche Ermittlungen vor. In der folgenden Zahlentafel sind einige Ertragsteigerungen zusammengestellt:

Beim Getreide liegt der Mehrertrag zum Teil auch in den Erträgen des Zwischenfruchtbaues, was in der Zahlentafel nicht zum Ausdruck kommt. Eine erfolgreiche Weideberegnung verlangt einen leistungsfähigen Viehstand. Zu beachten ist, daß der Mehrertrag einer Beregnung bisweilen nicht so sehr durch die Höhe der gesamten Regengabe als vielmehr von den Einzelgaben und deren Zeitpunkt beeinflußt wird. Es ist selbstverständlich, daß der durch die Beregnung bewirkte Mehrertrag auch eine entsprechend stärkere Düngung erfordert. Bei Hackfrüchten erreicht man durch Hacken nach der Beregnung eine Verringerung der Verdunstung und dadurch eine besonders gute Ausnutzung der gegebenen Wassermengen.

I. Die Bewässerung mit Abwasser.

Auch für die Bewässerung mit Abwasser gelten die Ausführungen der vorausgehenden Abschnitte. Daneben sind aber die im folgenden dargelegten Besonderheiten zu beachten.

1. Allgemeines.

Alle aus den Städten stammenden Abwässer sind stark verunreinigt und müssen vielfach schon aus gesundheitlichen Gründen besonders gereinigt werden, bevor sie in die Wasserläufe gelangen. Dasselbe gilt für viele gewerbliche Abwässer. Die Verwendung des Flußwassers zum Baden und Viehtränken, die Fischerei und der Naturschutz verlangen dringend eine solche Reinigung. Häufig treten auch starke Schlammablagerungen ein, die die Vorflut empfindlich verschlechtern. Es sind also für die Reinigung ohnehin Kosten aufzuwenden. Die meisten Abwässer enthalten nun eine erhebliche Menge an Pflanzennährstoffen (Zahlentafel 97), deren landwirtschaftliche Verwertung naheliegt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil vieler Abwässer ist ihre humusbildende Kraft und vermutlich auch ihr Gehalt an Ergänzungs- und Reizstoffen, die für das Pflanzenwachstum wertvoll sind. Wichtige Wachstumsbedingungen sind ferner das Wasser als solches und die Wärme des Abwassers, besonders im Frühjahr zur Förderung des Frühgemüsebaues. Das städtische Abwasser kommt in dieser Jahreszeit meist wärmer als 10° C auf dem Felde an. Wenn eine landwirtschaftliche Verwertung nach den jeweiligen örtlichen Verhältnissen wirtschaftlich vertretbar ist, dann sollte man sie stets durchführen, namentlich dort, wo es in der Wachstumszeit auch an Wasser fehlt. Denn es gibt keine bessere Ausnutzung des Abwassers als die landwirtschaftliche, und es ist größter wirtschaftlicher Unverstand, wertvolle Pflanzennährstoffe durch künstliche Belebungsverfahren auch in solchen Fällen zu vernichten, in denen sie mit bestem Erfolge wirtschaftlich ausgenutzt werden können. Man soll vielmehr bemüht sein, dem Boden dieselben Nährstoffe, die ihm durch die Ernten entzogen sind, im Kreislauf zurückzugeben. Eine landwirtschaftliche Ausnutzung des Abwassers verbilligt nicht nur in vielen Fällen die Reinigung, sondern bewirkt auch die gründlichste Reinigung überhaupt, die es gibt. Sie besteht in der Zurückhaltung der in dem Wasser vorhandenen Schmutzstoffe durch Filterung und Bindung im Boden sowie durch Umbau dieser Stoffe in Pflanzennahrung.

Ob im Einzelfall die Möglichkeit einer landwirtschaftlichen Abwasser-Verwertung gegeben ist, bedarf stets einer sorgfältigen Prüfung. Die erste Voraussetzung ist, daß das Abwasser keine pflanzenschädlichen Stoffe enthält, oder daß solche doch zum mindesten ohne erhebliche Kosten unschädlich gemacht werden können. Sehr zweckmäßig ist es, den landwirtschaftlichen Wert eines Abwassers vorher durch Wachstumsversuche festzustellen. Sodann müssen in erreichbarer Nähe geeignete Flächen für die Verwertung der Abwässer vorhanden sein. Früher pflügten die Städte die erforderlichen Grundstücke anzukaufen und so auf eigenen Rieselfeldern ihre Abwässer zu verwerten.

Hohe Kosten des Landerwerbes und der Herrichtung des Geländes (Aptierung) haben dieses Verfahren in den meisten Fällen sehr teuer gestaltet. Um an Kosten für den Grunderwerb zu sparen, wurden die städtischen Rieselfelder in der Regel viel zu stark mit Abwässern belastet. Man geht daher neuerdings nach dem Vorschlag von Kreuz immer mehr dazu über, Abwassergenossenschaften zu bilden, indem entweder die das Abwasser liefernde Stadt und die es ausnutzenden landwirtschaftlichen Grundstücke sich in einer öffentlich-rechtlichen Genossenschaft zusammenschließen, oder indem eine nur aus den landwirtschaftlichen Grundstücken bestehende Genossenschaft einen langjährigen Vertrag mit der Stadt abschließt. Der Grundgedanke ist dabei stets folgender: Die Stadt müßte, wenn ihre Abwässer nicht von der Landwirtschaft übernommen würden, eine andere Art der Reinigung wählen und für diese eine zu erreichende Summe a für Zinsen, Tilgung, Betrieb und Unterhaltung jährlich aufbringen. Die beteiligten Landwirte können jährlich entsprechend ihrem aus der Bewässerung entstehenden Vorteil die Summe b übernehmen. Wenn also die gesamten Jahreskosten der Anlage kleiner als $a + b$ sind, dann ist die landwirtschaftliche

Zahlentafel 105.

	Baukosten	Jahreskosten	
		Zins und Tilgung	Betrieb und Unterhaltung
Rechen und Sandfang. .	1,5—2,0	0,12	0,10
Absatzbecken (Faulräume)	4,0—6,0	0,35	0,15
Belebungsverfahren . . .	6,5—10,0	0,58	0,65
Summe	12,0—18,0	1,05	0,90

Verwertung unbedingt geboten.

Die Reinigung des städtischen Abwassers verursacht etwa die nebenstehenden Kosten je Einwohner in RM.

Rein rechnerisch tritt zunächst die Frage auf, welche jährliche Abwassermenge je ha er-

forderlich ist, um den Bedarf der Pflanzen und die Verluste des Bodens an Nährstoffen zu decken. Angenommen, das zur Verwendung gelangende städtische Abwasser habe nach einer durchgeführten Untersuchung (Mischprobe aus verschiedenen Tagesstunden) im Mittel etwa folgenden Nährstoffgehalt in g/m^3 (S. 336):

$$N = 100. \quad K_2O = 60. \quad P_2O_5 = 25. \quad CaO = 120.$$

Eine hohe Heuernte von 150 dz/ha, wie sie durch eine Bewässerung zu erwarten ist, entzieht dem Boden jährlich nach Zahlentafel 43 etwa folgende Nährstoffe in kg/ha:

$$N = 225. \quad K_2O = 300. \quad P_2O_5 = 100. \quad CaO = 200.$$

Dazu treten Sickerverluste, die nach Zahlentafel 44 (Boden Nr. 4) wie folgt eingeschätzt werden (kg/ha):

$$N = 20. \quad K_2O = 25. \quad P_2O_5 = 0. \quad CaO = 140.$$

Stellt man den vorstehenden Bedarf der Nährstofflieferung von 250 mm Abwasser gegenüber, so ergibt sich Folgendes:

Bedarf	Lieferung
N = 245 kg/ha	250 kg/ha
K ₂ O = 325 kg/ha	150 kg/ha
P ₂ O ₅ = 100 kg/ha	60 kg/ha
CaO = 340 kg/ha	300 kg/ha

Da aber ein Teil der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe schon in den Zuleitern durch Ablagerungen zurückbleibt, beim Mischverfahren auch aus den Notauslässen abfließt, da mit Ausnahme der Beregnung wegen der starken künstlichen Wassergaben größere Sickerverluste als unter gewöhnlichen Verhältnissen zu erwarten sind, und da der Stickstoff schon an sich nicht restlos ausgenutzt wird, so kann man annehmen, daß etwa $\frac{1}{3}$ des oben errechneten Stickstoffes nicht zur Wirkung kommt. Es rechtfertigt sich daher ein Zuschlag von 50%.

Man kann somit in dem behandelten Beispiel etwa 4000 m³/ha Abwasser jährlich rechnen, um den Stickstoffgehalt des Bodens zu erhalten.

Über die zahlenmäßige Ausnutzung des Stickstoffes im Boden (Stickstoffverluste) herrscht übrigens noch keine völlige Klarheit (S. 31). Nach den von Zunker in Schebitz angestellten Versuchen ist ein Verlust von 33% als hoch anzusehen. Wieweit Zusatzdüngungen mit Kali, Phosphorsäure und Kalk erforderlich sind, muß im Einzelfall der Versuch ergeben. Je größer die nachschaffende Kraft des Bodens ist (S. 33), um so geringer ist die Notwendigkeit einer solchen Zusatzdüngung.

Führt man eine Rechnung wie oben auch für eine hohe Zuckerrüben- und Luzernernte nach den Zahlentafeln 43 und 44 (Boden Nr. 5) durch, so findet man:

Zuckerrüben.		Luzerne.	
Bedarf	Lieferung (250 mm)	Bedarf	Lieferung (450 mm)
N = 240	250	N = 440	450
K ₂ O = 330	150	K ₂ O = 255	270
P ₂ O ₅ = 90	60	P ₂ O ₅ = 110	110
CaO = 320	300	CaO = 630	540

In den vorstehend durchgerechneten Fällen wären also etwa 400, 400 und 700 mm Abwasser je Jahr aufzuleiten. Man gewinnt auf diese Weise einen Anhalt für die Deckung des Stickstoffbedarfes und für die erforderliche Zusatzdüngung. Derartige Rechnungen sind zu empfehlen, da der Stickstoffbedarf der Nutzpflanzen und der Stickstoffgehalt der gewerblichen Abwässer in weiten Grenzen schwankt (Zahlentafel 97). Bei der Aufstellung eines Entwurfes wird man wegen des von Jahr zu Jahr wechselnden Anbaues (Fruchtwechsel) mit Durchschnittszahlen rechnen entsprechend den vorherrschenden Anbaufrüchten. Nur für Dauergrünland bedarf es einer solchen Durchschnittrechnung nicht.

Bei der landwirtschaftlichen Verwertung der städtischen Abwässer wird der Flächenbedarf häufig so ausgedrückt, daß 1 ha für die Unterbringung des Abwassers einer bestimmten Personenzahl erforderlich ist, wobei man davon ausgeht, daß eine Person durchschnittlich etwa 2,5 kg ausnutzbaren Stickstoff (N) im Jahr liefert. In unserem Beispiel entfällt dann auf 1 ha das Abwasser von folgenden Personen: Wiese 100, Zuckerrüben 100, Luzerne 180. Allgemein kann man zur Erhaltung des Stickstoffgleichgewichtes etwa 75 bis 200 Personen je ha Ackerland und 100 bis 150 je ha Grünland rechnen. Da der mittlere jährliche Trockenwetterabfluß in der Regel zwischen 100 und 200 l je Kopf und Tag liegt, so hat das ohne Regenwasser eine Jahreswasserhöhe von 275 bis 1460 mm zur Folge.

Derartige jährliche zusätzliche Wasserhöhen sind auf leichten Böden ohne jede Schwierigkeit unterzubringen. Daneben können meistens auch noch erhebliche Regenwassermengen aus der Stadtentwässerung aufgenommen werden. Auf leichten Sandböden kann sogar der Fall eintreten, daß die für die Düngung erforderlichen Abwassermengen den sommerlichen Anfeuchtungsbedarf nicht einmal decken, so daß man zu prüfen hat, ob nicht noch eine zusätzliche Reinwassergabe möglich ist. Handelt es sich dagegen um schwere Böden, so ist bei der Aufstellung des Betriebsplanes sorgfältig darauf Bedacht zu nehmen, daß der Boden nicht mit Wasser überlastet wird.

Von besonderer Bedeutung ist die Frage der Vorreinigung der Abwässer. Die Sperrstoffe der städtischen Entwässerung (Lappen, Papier, Laub, Stroh, Holzspäne, Kotballen, Obstschalen usw.) sind durch Stabrechen (20 bis 60 mm), der Sand ist durch einen Sandfang abzufangen, bevor das Abwasser in die Druckrohrleitung oder in den Hauptzuleiter gelangt. Auch gewerbliche Abwässer sind entsprechend grob zu reinigen, soweit es erforderlich ist. Im übrigen scheint es nach den bisher vorliegenden Erfahrungen zum mindesten

auf leichten und mittelschweren Böden sowie bei langen Rohrzuleitungen am günstigsten zu sein, wenn auf jede weitere Vorreinigung verzichtet wird. Pumpbetrieb bewirkt eine starke Zerkleinerung der gröbereren Stoffe. Bei der Vorreinigung im Absitzbecken bleibt ein nicht unbedeutender Teil der Pflanzennährstoffe im Becken zurück. Nach Prüß kann man mit folgendem Durchschnittsgehalt des städtischen Abwassers rechnen:

Gelöste Stoffe	mineralische	33 Teile
	organische	17 „
Ungelöste Stoffe	mineralische	15 „
	organische	35 „
		100 Teile

Durch Entschlammung werden etwa 32 ungelöste Teile abgesetzt, durch Belebung der Rest der ungelösten und 13 gelöste organische Teile entfernt. Im Mittel enthält das Abwasser bei 100 l Trockenwetterabfluß je Kopf und Tag etwa folgende Dungstoffe in g/m³:

Zahlentafel 106.

	N	K ₂ O	P ₂ O ₅
Rohwasser	100	60	25
Nach Entschlammung	90	54	19
Nach Belebung	75	48	13

Durch die Schlammmentziehung wird auch die humusbildende Kraft des Abwassers wesentlich verringert. Außerdem tritt, da das Wasser sich im Becken nur sehr langsam fortbewegt, Fäulnis und Sauerstoffverarmung ein, so

daß das Abwasser bereits in angefaultem und sauerstoffarmem Zustande auf dem Bewässerungsfelde ankommt. Verzichtet man dagegen auf die Vorklärung im Absitzbecken und schickt man das Abwasser ohne Unterbrechung so auf das Feld, daß es durch seine fließende Bewegung dauernd belüftet wird, hält man es ferner auch auf dem Felde ständig in Bewegung (durch Verrieselung oder Verregnung), so lassen sich Fäulnis, Sauerstoffzehrung und Geruchsbelästigung unter Umständen ganz vermeiden oder zum mindesten stark verringern. Doch hindert ein langer Aufenthalt des Wassers in vollaufenden Rohrleitungen gleichfalls die Belüftung und bewirkt daher Fäulnis. Angefaultes Abwasser ist insofern weniger wertvoll als frisches, als ja das Faulen mit Stickstoffverlusten verbunden ist. Bisher ist es nicht gelungen, Abwasser ohne nennenswerte Stickstoffverluste ausfaulen zu lassen. Im übrigen sind aber die Ansichten über den Wert des Frischschlammes und Faulschlammes für Boden und Pflanzen noch geteilt.

Gegen den Verzicht auf die Vorklärung ist geltend gemacht worden, daß die Rieselfelder dann leicht „totgerieselt“ würden. Diese Befürchtung stammt jedoch lediglich aus den Erfahrungen, die man mit überlasteten städtischen Rieselfeldern gemacht hat. Bei Aufleitung zu großer Wassermengen je ha bildet sich nämlich auf der Erdoberfläche eine speckige Schicht, die den Pflanzenwuchs schädigt. Sie hindert die Durchlüftung des Bodens und die Entwicklung der nützlichen Kleinlebewesen, wird aber vermieden, wenn man mit dem Wasser nur soviel Schmutzstoffe zuführt, wie die Kleinlebewesen des Bodens verarbeiten und die Pflanzen aufnehmen können. Absitzbecken sind daher in der Regel entbehrlich, zumal sie auch die ganze Anlage nur noch verteuern.

Die vorstehenden Ausführungen gelten in erhöhtem Maße für die künstlichen Belebungsverfahren. Diese entziehen dem Abwasser noch mehr Nährstoffe als die Reinigung in Absitzbecken (s. oben). Vor allem würde aber die landwirtschaftliche Verwertung eines Abwassers in den meisten Fällen schon an den hohen Kosten der Belebungsverfahren scheitern.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn ausnahmsweise so große Abwassermengen auf die Flächeneinheit aufgeleitet werden müssen, daß Boden und Pflanzen die zugeführten Stoffe nicht verarbeiten können, oder wenn das Abwasser, z. B. gewerbliches, aus irgendwelchen Gründen einer besonderen

Vorbehandlung bedarf, die nötig ist, um es überhaupt landwirtschaftlich nutzen zu können. In solchen Fällen kann eine Vorklärung durch Absitzen erforderlich werden. Der anfallende Schlamm ist ebenso wie der Grabenaushub der Zuleiter ein wertvoller Dünger.

Auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Abwassers auf der jeweils bewässerten Fläche ist Bedacht zu nehmen, damit die Pflanzenbestände nicht einen zu ungleichmäßigen Stand bekommen.

Über die Bewässerung von Moorboden mit Abwasser liegen zur Zeit nur wenige Erfahrungen vor. Im Kreise Delitzsch hat sich die Hangberieselung gut zersetzten Niedermoores mit Leipziger Abwasser bisher bewährt (S. 346). Die Flächen waren mit Gräben und Dränungen gut entwässert. Das Moor war besonders dankbar für einen starken Schlammgehalt des Abwassers. Als wichtig haben sich ferner erwiesen: gleichmäßige Wasserverteilung und gute Durchlüftung. Letztere verlangt, daß immer nur kurze Zeit gerieselt wird, damit bald wieder frische Luft in den Boden eindringen kann. Ein längeres Stehenbleiben von Rieselwasser auf einzelnen Teilflächen wirkt schädlich. Der Unkrautbekämpfung ist besondere Beachtung zu schenken.

2. Die Bewässerungsverfahren.

a) **Die Furchenbewässerung.** Die Furchenbewässerung (S. 297) wird häufig bei Hackfrüchten und Gemüse angewendet, auch auf unbestelltem Acker. Wenn die Furchen zeitweise stark beschickt werden sollen, ist auf schweren Böden in der Regel eine Dränung erforderlich. Schwere Böden dürfen aber nicht zu stark belastet werden. Man rechne bei ihnen nicht mehr als $0,15 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ Dauerzufluß in der Wachstumszeit, das sind durchschnittlich 40 mm im Monat. Im Winter kann mehr gegeben werden. Leichte Böden vertragen wesentlich größere Wassermengen.

Die Furchenbewässerung ist das ganze Jahr möglich. Man verbindet sie auch mit der Überstauung, indem man die Stauabteilungen im Sommer durch Furchen bewässert und im Winter die ganzen Flächen einschließlich der Beete überstaut.

b) **Die Überstauung.** Die Überstauung (S. 299) ist möglichst einzuschränken. Die weitgehendste Ausnutzung der Nährstoffe erreicht man, wenn alles Wasser versickert. Läßt man einen Teil des Abwassers aus den Staubecken wieder herausfließen, so gehen namentlich die gelösten Stoffe des ausfließenden Wassers der Fläche verloren. Dann ist eine nochmalige Verwendung des Abflusses zweckmäßig oder gar nötig. Da man bei jeder Überstauung etwa 150 bis 200 mm und mehr geben muß (100 mm reichen nur ausnahmsweise aus), so würden häufig schon 2 bis 4 Überstauungen mit Vollversickerung den Nährstoffbedarf der Pflanzen decken. Andererseits wird aber bei einer solchen Überstauung das Wasser zur Anfeuchtung sehr schlecht ausgenutzt, weil der größte Teil durch Versickerung verlorengeht. Gibt man aber zu Anfeuchtungszwecken mehr Überstauungen, so findet leicht eine Überdüngung statt, es sei denn, daß Reinwasser zur Verfügung steht. Gemildert werden diese Nachteile, wenn man einen Teil des Abwassers nach Absetzen der Sinkstoffe wieder aus den Stauabteilungen abläßt, weil man dann häufiger Anfeuchtungswasser geben kann, ohne daß eine Überdüngung eintritt.

Der Verzicht auf die Vollversickerung hat bei schweren Böden noch den großen Vorteil, daß die Durchlüftung des Bodens schon nach kurzer Zeit wieder einsetzt. Denn es ist ein besonderer Nachteil der Überstauung, daß sie die Bodendurchlüftung völlig unterbindet. Der Abbau der Schmutzstoffe verlangt eine außergewöhnlich starke Tätigkeit der Kleinlebewesen, die an eine gute Durchlüftung des Bodens gebunden ist.

Man muß daher im Sommer die Überstauungszeit auf allen Böden möglichst einschränken, auf leichten, um Düngung und Anfeuchtung aufeinander abzustimmen, auf schweren, um die Durchlüftung zu fördern. Daher arbeitet die Überstauung mit Abwasser häufig mit wesentlich kleineren Abteilungen als sonst, etwa mit einer Größe von 2 bis 0,1 ha und weniger (S. 302). Nur auf sehr ebenen, fast waagerechten Flächen sind unter Umständen auch größere Abteilungen am Platze. Je kleiner und je schwächer geneigt die Abteilung ist, und je mehr Einlaßschleusen vorhanden sind, um so gleichmäßiger und schneller wird die ganze Fläche gedüngt. Sehr kleine Abteilungen verteuern jedoch die Anlage, bringen große Flächenverluste durch Gräben und Dämme und erschweren die Bewirtschaftung.

Im Winter wird auch die Vollversickerung angewendet, und zwar auf brach liegendem Acker und auf Grünland mit durchlässigem Boden.

Wenn bei der Überstauung viel Abwasser versickern soll, müssen die Flächen in der Regel gedränt werden. Nur bei sehr durchlässigem Untergrund ist ausnahmsweise die Dränung entbehrlich. Da die Dräne erhebliche Wassermengen

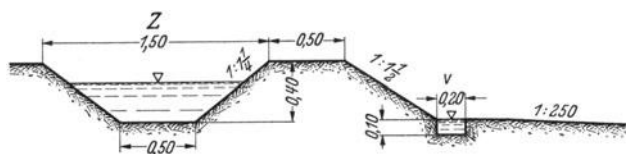


Abb. 237. Zuleiter einer Stauabteilung mit Verteilrinne. (Nach Kreuz.)

abzuführen haben, gibt man zu den Abflußpenden der Zahlentafel 81 einen Zuschlag von etwa 50 bis 75%. Die Sauer erhalten mindestens

5 cm Lichtweite. Auch die Dränabstände werden enger als sonst gewählt, bewährt haben sich Abstände von 6 bis 12 m. Je höher die Überstauung (meistens 15 bis 30 cm) und je bindiger der Boden ist, um so enger ist zu dränen. Wegen der starken Wasserbewegung im Boden ist die Gefahr von Einschlammungen besonders groß. Man schützt daher häufig die Stoßfugen durch Umpackungen (S. 224).

Eine einmalige Versickerung auf gedränten Flächen genügt nicht immer, um Abwasser einwandfrei zu klären. Der Weg des Wassers bis zu den Dränsträngen ist bei stärkerer Belastung des Bodens zu kurz, um stets eine völlige Klärung herbeizuführen. In Dülmen blieben von 156 g/m³ Schwebestoffen noch 18 g, von 895 g gelösten Stoffen noch 361 g im Dränabfluß. Man kann daher das Dränwasser nochmals zur Berieselung verwenden oder auch in Fischteiche leiten.

Aus den an den beiden Längsseiten der Stauabteilung angeordneten Zuleitern Z gelangt das Abwasser durch kleine Einlaßschleusen von 0,1 bis 0,2 m Lichtweite in die Verteilrinnen v, aus denen es in die Abteilung überschlägt. Diese hat ein schwaches Quergefälle (1 : 250) erhalten (Abb. 237). Die Kosten einer Überstauungsanlage sind im Vergleich zur Hangberieselung recht hoch. Da das Abwasser stillsteht, tritt Fäulnis und Geruchsbelästigung ein, namentlich im heißen Sommer.

Trotz ihrer Nachteile kann man die Überstauung namentlich in den Wintermonaten häufig nicht entbehren, da sie die Möglichkeit bietet, in kurzer Zeit verhältnismäßig große Wassermengen unterzubringen.

Die Zeit der Überstauung ist von der Nutzungsart abhängig. Während Grünland die Überstauung zu jeder Jahreszeit verträgt, notfalls auch bei Frost, pflegt man für Ackerpflanzen folgende Zeiten zu wählen:

Wintergetreide	Herbst	Kartoffeln	Winter
Sommergetreide	Winter	Gemüse	Winter und Frühjahr
Rüben	Winter und Sommer		

Bei der Flächeneinteilung ist also zu beachten, daß je nach der Nutzungsart mehr oder weniger Monate für die Überstauung ausfallen.

c) **Die Rieselung.** Die Rieselung (S. 304) ist auf allen, auch schweren Bodenarten recht gut anwendbar, da die Reinigung des Abwassers bei ihr nicht so sehr durch die Vorgänge im Boden, sondern im wesentlichen durch die starke Belüftung und die so durch Belegung eintretenden Abbauvorgänge bewirkt wird. Man verwendet fast nur Grünland für die Rieselung. Das abgerieselte und in einem Ableiter aufgefangene Wasser wird häufig zum zweiten oder dritten Male nochmals auf andere Flächen oder in Fischteiche geleitet. In der Abwassergenossenschaft Dülmen ergab eine zweimalige Hangberieselung, daß von 156 g/m^3 Schwebstoffen 22 g, von 895 g gelösten Stoffen 475 g im Abwasser blieben. Das Abwasser wird um so besser gereinigt, je länger die Strecke ist, die es durchrieselt; eine lange Strecke kann also dieselbe Wirkung haben wie zwei kurze. In leichten Böden wird stets ein Teil des Abwassers im Boden selbst geklärt. Die Versickerung ist aber nicht so groß, daß eine Dränung erforderlich wird.

Am billigsten stellt sich auch bei der Abwasserverwertung die wilde Rieselung. Da die Rieselrinnen durch Abwasser stark verschlammten, empfiehlt es sich, von Zeit zu Zeit neben der alten Rinne eine neue anzulegen und die dabei ausgestochenen Rasenstücke in die alte Rinne zu bringen. Jede Rinne soll nach Möglichkeit unmittelbar vom Zuleiter mit Abwasser beschickt werden können, damit alle Flächenteile gleichmäßig gedüngt werden.

Die für die Pflanzen erforderlichen Stickstoffmengen können auf allen Bodenarten verrieselt werden, ohne daß eine Überlastung des Bodens mit Wasser eintritt. Daneben lassen sich auf leichten und mittelschweren Böden (sandigem Lehm) auch noch erhebliche Regenmengen aus der Stadtentwässerung ohne Schwierigkeit unterbringen. Bei der Grünlandberieselung auf leichten Böden reicht sogar die zu einer Voldüngung erforderliche Abwassermenge auch bei sparsamem Betriebe oft nicht aus, um eine ausreichende Anfeuchtung in der Wachstumszeit sicherzustellen (S. 308). Da die städtische Entwässerung in trockenen Sommern nur wenig Regenwasser liefert, ist zu prüfen, ob Reinwasser für Anfeuchtungszwecke im Sommer beschafft werden kann. Man kommt sonst leicht zu einer Überdüngung der Wiesen, da der Pflanzenbestand sich auf die künstliche Bewässerung einstellt und daher lange Trockenzeiten schlecht übersteht. Eine solche Überdüngung läßt sich leider auf leichten Böden häufig nicht vermeiden.

Der Rieselbetrieb auf Grünland spielt in der Abwasserbewässerung eine wichtige Rolle, da das Grünland die Bewässerung nicht nur sehr gut lohnt, sondern auch fast während des ganzen Jahres aufnahmefähig ist. Ein erheblicher Teil der gesamten Bewässerungsfläche wird daher in der Regel als Grünland genutzt. Bei reinem Rieselbetrieb müssen mindestens 40 bis 50% der Gesamtfläche Dauergrünland sein. Wenn das Gefälle ausreicht, sollte man auf Grünland stets die Rieselung anwenden. Bei Frost muß die Rieselung unterbrochen werden. Wird das abgerieselte Abwasser in Fischteiche geleitet, so kann man je ha unbedenklich den Trockenwetterabfluß von 200 bis 250 Personen einsetzen, da nur ein Teil der Pflanzennährstoffe auf dem Lande, der übrige im Fischteich ausgenutzt wird.

Ausnahmsweise ist auch eine Ackerberieselung möglich. Doch ist nicht zu rieseln, solange die Bestände noch sehr jung sind, also in der ersten Zeit nach dem Auflaufen.

d) **Die Beregnung.** Die Abwasserverregnung (S. 318) hat den großen Vorteil, daß sie völlig unabhängig von der Geländegestaltung ist. Man verwendet Weitstrahlregner mit weiten Düsen, so daß keine Verstopfungsgefahr besteht. Auch der Antrieb für die Drehbewegung des Regners muß so ausgebildet sein, daß die Betriebsicherheit nicht durch Schmutzstoffe im Abwasser gefährdet wird. Die Pflanzennährstoffe des Abwassers werden sehr gleichmäßig auf der ganzen Fläche verteilt. Es findet eine wirkungsvolle Belüftung des Abwassers statt, so daß fast keine Geruchsbelästigung auftritt. Die Beregnung ist auch

auf schweren Böden anwendbar. Allerdings ist der Geländebedarf erheblich, da schon der Betriebskosten wegen keine großen Wassermengen verregnet werden können. Man wird kaum über 250 bis 300 mm hinausgehen. Das entspricht bei 100 bis 200 l täglichem Brauchwasser je Kopf einer Höchstbelastung des ha mit dem Abwasser von 35 bis 80 Personen. Man beachte, daß für die Anfeuchtung vielfach Regenhöhen von 50 bis 100 mm im Jahr ausreichen. Die 250 bis 300 mm Abwasser decken nicht den Stickstoffbedarf. Da außerdem die künstliche Beregnung auf unbestellten Flächen unwirtschaftlich ist, beschränkt man sie auf fünf Sommermonate (Mai bis September). In der übrigen Zeit muß daher das erforderliche Abwasser mittels einer anderen Bewässerungsart zugeführt werden.

Man verregnet nur den Trockenwetterabfluß. Für Regenzeiten ist Vorsorge zu treffen, daß das Abwasser dann nicht verregnet zu werden braucht.

Neuerdings werden Beregnungsanlagen auch so eingerichtet, daß man die beweglichen Leitungen als Rieselrohre verwenden kann. Oder man stellt besondere Rieselrohre zur Furchenrieselung her, die im Abstände der Furchen Ausgüsse besitzen. Die Rieselrohre werden auf Schlitten gelagert (Rieselschlitten), ihr Betrieb ist billiger als der einer Beregnung, da die Pumpe wegen des fehlenden Düsendruckes weniger Kraft braucht.

e) **Die Dränbewässerung.** Schließlich besteht noch die Möglichkeit, das Abwasser den Pflanzen unterirdisch zuzuleiten (S. 312). Die Stadt Köln betreibt nach den Angaben von Bethge seit 1930 eine solche Anlage. Sie besteht aus luftabgeschlossenen Faulkammern mit anschließenden Belüftungskammern und einem belüfteten Drännetz. Die 10 cm weiten Dränrohre liegen in Kiespackung mit 0,8 bis 1,6 m Dränabstand und mit einer Überdeckung von etwa 0,5 m. Das Dungwasser tritt durch die Stoßfugen aus. Die Anfaulung kann beliebig weit getrieben werden. Besonders wichtig ist die richtige Belüftung und Beschickung der einzelnen Dränfelder. Die Belüftung wird durch einige von den Dränen nach oben führende Belüftungsrohre sowie dadurch erreicht, daß die waagerecht angeordneten Dränrohre niemals vollaufen. Für das Abwasser einer Person sind nach den bisherigen Erfahrungen etwa 15 bis 20 m Dränlänge erforderlich. Das ergibt z. B. bei 1,2 m Dränabstand einen Landbedarf von 1 ha für etwa 400 bis 500 Personen. Die Pflanzenwurzeln sind bei der Kölner Anlage bisher nur bis in die Kiespackung vorgedrungen, nicht aber in die Rohre hineingewachsen. Die Anlagekosten sind wegen der engen Dränung recht hoch. Der Boden darf nicht zu schwer sein. Ähnliche Untergrundbewässerungen sind zahlreich in Siedlungen ausgeführt und unter der Bezeichnung „Verfahren Friedersdorff“ bekannt geworden. Vgl. auch die Ausführungen auf S. 346 über die erzielten Ernteerträge. Die Dränbewässerung hat den Nachteil, daß ein erheblicher Teil der Pflanzennährstoffe des Rohabwassers nicht ausgenutzt wird.

3. Betrieb und Verteilung des Abwassers.

Die allgemeinen Ausführungen auf S. 314ff. sind zu berücksichtigen. Bei manchen gewerblichen Abwässern ist dem Umstand Rechnung zu tragen, daß sie nur zeitweise anfallen (S. 282).

Das Abwasser ist dem Bewässerungsgebiet durch einen offenen Hauptzuleiter oder eine Rohrleitung zuzuführen, nötigenfalls mittels Pumpwerk. Wegen der Vorreinigung vgl. S. 335. Treten beim Mischverfahren die Notauslässe in Tätigkeit, wenn die Entwässerungsrohre z. B. das Fünffache der Brauchwassermenge führen, so müßten die Pumpen die fünffache Arbeit der gewöhnlichen leisten, wenn man nicht ein Klärbecken für Regenzeiten einrichten und das durch Regen verdünnte und grob entschlammte Abwasser zum Teil unmittelbar dem Vorfluter übergeben würde. Auch kann die Unterbringung der großen Wassermengen im Bewässerungsgebiet unbequem werden.

Ein solches Klärbecken dient gleichzeitig als Ausgleichbecken für den wechselnden Zufluß des Brauchwassers. Bei Störungen in der Rohrleitung läßt sich das Abwasser wenigstens grob entschlammten, bevor es in den Vorfluter gelangt. Die Becken sind zweiteilig anzulegen, um sie abwechselnd reinigen zu können. Man kann für das Zwei- bis Dreifache des Trockenwetterabflusses eine Durchflußzeit von 1 h und eine Durchflußgeschwindigkeit von 5 bis 10 mm/s annehmen. Eine Ersatzpumpe soll stets vorhanden sein. Die Druckrohrleitung wird aus eisernen oder den wesentlich billigeren Holzrohren hergestellt. Wenn nicht zwei Leitungen verlegt werden, ist Vorsorge für die Unterbringung des Abwassers bei Rohrausbesserungen zu treffen (s. oben). An den Hochpunkten der Leitung ist für Entlüftung, an den Tiefpunkten für Entleerung zu sorgen. Ferner ist stets zu prüfen, ob die Überdrücke in der Leitung so groß werden können, daß sie durch sogenannte Standrohre abgefangen werden müssen. Durch Einpressen von Luft kann man das Abwasser länger frisch erhalten. Es wird durch die Pumpen und durch die Bewegung in der Rohrleitung so durcheinander gewirbelt, daß die größeren Schmutzstoffe genügend zerkleinert werden. Am Auslauf der Druckleitung ist ein Beruhigungsbecken anzuordnen. Hier soll die höchste Stelle des Bewässerungsgebietes sein, damit das Abwasser nunmehr mit natürlichem Gefälle überallhin geleitet werden kann.

Rohrleitungen sind teuer, offene Gräben haben aber mehrere andere Nachteile: Geruchsbelästigung, starke Schlammablagerung und daher hohe Reinigungskosten, wenn die Landwirte sich nicht den Grabenaushub auf eigene Kosten als Dünger abfahren; ferner Stickstoffverluste und Schwierigkeiten in strengen Wintern durch Frost. Denn das Abwasser friert trotz seiner anfänglichen Wärme bei starkem Frost, wenn es lange offene Zuleiter zu durchfließen hat. Man muß in solchen Fällen für eine schnelle Verwendung (in der Nähe der Rohrleitung) Vorsorge treffen, nötigenfalls ausreichende Rohrleitungen verlegen. Man wird daher Verrohrung und Gräben in zweckmäßiger Verbindung verwenden müssen. Tonmuffenrohre sind teuer, aber sehr haltbar. Auch Schleuderbetonrohre werden verwendet. In den Gräben soll die mittlere Wassergeschwindigkeit möglichst so groß sein, daß nicht zu große Ablagerungen entstehen, aber auch die Böschungen nicht angegriffen werden. Man wird daher versuchen müssen, $v = 0,5$ bis $0,6$ m/s zu machen. Da sich auf der Sohle und den Böschungen der Zuleiter Schlamm ablagert, sind die wasserführenden Querschnitte reichlich zu bemessen, während n in Gl. (62) wegen der glatten Wände zu $0,025$ angenommen werden kann. Die Schlammablagerung bewirkt eine gute Dichtung der Sohle und Böschungen.

Der Trockenwetterabfluß der Städte ist sehr verschieden groß, auch innerhalb derselben Stadt unterliegt er erheblichen monatlichen und jährlichen Schwankungen. In trockenen Sommern kann der Wasserverbrauch stark steigen. Das Brauchwasser wird dann dünner, enthält also trotz seiner größeren Menge insgesamt nicht mehr Pflanzennährstoffe. Da aber auch die Wassermenge als solche von Bedeutung ist, muß man sich stets ein möglichst genaues Bild über den zeitlichen Verlauf des Trockenwetterabflusses in Durchschnittsjahren machen, indem man die vorliegenden Betriebserfahrungen der Stadt (Wasserverbrauch) auswertet. Es kann auch Grundwasser in das städtische Rohrnetz fließen. Ferner ist beim Mischverfahren festzulegen, ob und welchen ungefähren zusätzlichen Regenabfluß aus dem Rohrnetz die Bewässerungsfläche in den einzelnen Monaten aufnehmen soll. Dabei ist auch die Höhe der örtlichen Niederschläge zu berücksichtigen.

Bei starken Regen geht ein Teil der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe verloren, da er durch die Regenauslässe in den Vorfluter gelangt. Ein weiterer Verlust kann dadurch entstehen, daß ein Klärbecken für Regenzeiten betrieben wird. Man pflegt diese Verluste dadurch zu berücksichtigen, daß man die Düngung der Flächen nicht zu knapp bemißt (S. 334).

Außer den verschiedenen Bewässerungsarten werden zur Unterbringung der Abwässer auch die Bodenfilterung und die Abwasserfischteiche herangezogen. Die Bodenfilterung bezweckt eine Reinigung des Abwassers dadurch, daß es den Boden durchsickert. Ist dieser sehr durchlässig (Kies und grober Sand) und liegt der Grundwasserspiegel mindestens 2 m unter Gelände, so genügt es, etwa vorhandene weniger durchlässige Mutterbodenschichten abzugraben, die zum Bau der Dämme verwendet werden. Der Betrieb gestaltet sich wie bei der einfachen Überstauung. Weniger durchlässiger Boden muß gedränt werden, schwerer ist ungeeignet. Die jedesmalige bei einer Überstauung aufzuleitende Wassermenge wählt man höchstens so groß, daß sie die über dem Grundwasserspiegel vorhandenen Hohlräume des Bodens etwa ausfüllt. Da die Bodenporen stets mehr oder weniger Wasser enthalten, darf man nur 0,15 bis 0,25% der gesamten Bodenmasse als aufnahmefähig zugrunde legen. Wenn beispielsweise der Boden auf 1,5 m Tiefe gedränt ist und das Grundwasser im Mittel etwa in 1,3 m Tiefe steht, können jedesmal $10000 \cdot 1,3 \cdot (0,15 \text{ bis } 0,25) =$ rund 2000 bis 3000 m³/ha aufgeleitet werden, das sind 200 bis 300 mm Wasserhöhe. Die nächste Überstauung soll erst vorgenommen werden, wenn der Boden die zuletzt aufgeleitete Wassermenge durch die Dränung im wesentlichen wieder abgegeben hat, was man an dem Nachlassen des Dränausflusses erkennt. Man kann bei sehr leichten Böden etwa alle 5, bei mittelschweren alle 15 Tage überstauen, wenn jedesmal etwa 2500 m³/ha gegeben werden. Das entspricht einer monatlichen Wassermenge von 15000 bis 5000 m³/ha. In den Wintermonaten Dezember bis Februar rechnet man zweckmäßig 20% weniger. Es können demnach im Jahr 6 bis 17 m Abwasser untergebracht werden. Somit schwankt die Flächenbelastung in der Regel zwischen 800 und 4500 Personen je ha. Die Dränung ist dann für eine Wasserspende von etwa 2 bis 6 l/s · ha zu berechnen. Die Dränabstände sind bis zu $\frac{1}{3}$ der sonst üblichen zu verringern. Mit der Zeit bildet sich auf den Staupoldern eine Schlickschicht, die ab und an zu entfernen ist, da sonst das Abwasser zu langsam versickert. Der Schlick kann mit bestem Erfolg zur Düngung abgefahren werden. Sehr zweckmäßig ist es, vor der Entwurfaufstellung die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens durch einen Versuch im Kleinen an Ort und Stelle zu ermitteln. Bisweilen bietet sich die Möglichkeit, alte Kiesgruben zur Bodenfilterung zu verwenden. Die Bodenfilterung soll bei der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung als Bereitschaft dienen, um das Abwasser auch in solchen Zeiten unterbringen zu können, in denen seine landwirtschaftliche Ausnutzung Schwierigkeiten macht. Dazu können auch Waldstücke wertvolle Dienste leisten. Stehen genügend Flächen für die Bodenfilterung zur Verfügung, so kann man abwechselnd jedes Jahr die Hälfte beschicken und die andere Hälfte landwirtschaftlich nutzen.

Die Reinigung des Abwassers in Fischteichen beruht auf der Tätigkeit der Kleinlebewesen, die sich jedoch nur dann ausreichend entwickeln, wenn das Teichwasser genügend Sauerstoff enthält. Indem die kleineren Lebewesen den größeren zur Nahrung dienen, wachsen zahlreiche Schnecken, Larven, Würmer, Wasserkrebse, Algen usw., die wiederum von den Süßwasserfischen verzehrt werden. Nicht nur städtisches Abwasser, sondern auch solches vieler gewerblicher Betriebe ist in Abwasserfischteichen verwertbar. Geruchsbelästigungen treten nicht ein. Ein ausreichender Sauerstoffgehalt des Teichwassers kann auf verschiedene Art erreicht werden. Einmal dadurch, daß man einem m³ Abwasser 3 bis 5 m³ reines Wasser zusetzt. Die Sauerstoffanreicherung wird noch wesentlich gefördert, wenn man das Abwasser und Reinwasser vor ihrer Einleitung in den Teich in dünner Schicht verrieseln oder über Wassertreppen laufen läßt. Eine ausgedehnte „Vorieselung“ des Abwassers kann die Frischwasserzufuhr sogar vollständig ersetzen, da sie eine beachtliche Sauerstoffanreicherung und Vorreinigung bewirkt. Schließlich kann man das Abwasser ohne Reinwasser und ohne Vorieselung auch in Teiche oder Seen bringen,

wenn diese im Verhältnis zur Menge des Abwassers sehr groß sind. Bisweilen ist es zweckmäßig, den Abfluß aus einem Abwasserfischteich noch zu verrieseln.

Das Abwasser ist einer Vorreinigung durch Rechen und Absitzbecken zu unterwerfen, und zwar so schnell, daß es nicht in angefaultem Zustande in den Fischteich gelangt. Es ist vor der Einleitung in den Teich mit dem Reinwasser zu verdünnen. Als solches nimmt man möglichst Oberflächenwasser, da Grundwasser sauerstoffarm ist. Bei der Vorrieselung sind Absitzbecken zur Vorklärung des Abwassers nicht erforderlich. Im übrigen wird wegen der Einzelheiten, die bei der Herstellung der Abwasserfischteiche zu beachten sind, auf das Schrifttum verwiesen (z. B. 23 und 106). Auch die Nebenanlagen, die für den Betrieb nötig sind (Hälterteiche usw.), dürfen nicht vergessen werden.

Im Winter werden die Lebensvorgänge in den Teichen geringer, unter einer Eisdecke kann auch der Sauerstoffgehalt des Wassers abnehmen und dadurch ein Fischsterben eintreten. Ferner muß die Vorrieselung bei Frost unterbrochen werden. Man hat daher die Möglichkeit einer anderweitigen Unterbringung des Abwassers im Winter (Überstauung, Bodenfilterung) vorzusehen. Die fischereiliche Ausnutzung des Abwassers ist in der kalten Jahreszeit nur mangelhaft.

Bei Frischwasserzufuhr kann man etwa 2000 bis 2500 Personen je ha Teichfläche rechnen. Neuerdings sind noch stärkere Belastungen mit Erfolg durchgeführt worden. Wird mangels Frischwasser eine Vorrieselung vorgeschaltet, so pflegt man den Trockenwetterabfluß von etwa 1000 bis 1500 Personen je ha Teichfläche einzusetzen. In den Wintermonaten Dezember bis Februar ist die Belastung der Fischteiche allgemein um 25% geringer als im Sommer anzunehmen.

Um eine Überdüngung des Bodens möglichst zu vermeiden, ist nun vorerst zu bestimmen, welche Abwassermengen je ha und Jahr rein rechnerisch nötig sind, um das Stickstoffgleichgewicht des Bodens zu erhalten (S. 334). In der Regel wird sich eine Zusatzdüngung mit Kali und Phosphorsäure als nötig erweisen. Außerdem ist fast stets eine besondere Kalkung erforderlich. Neben der düngenden ist auch die anfeuchtende Wirkung der Bewässerung zu berücksichtigen.

Die Verwertung des Abwassers ist auch in der Weise möglich, daß man mit der Zuleitung von Abwasser nicht bis an die Grenze der Aufnahmefähigkeit des Bodens geht. Dieses Verfahren erleichtert die Unterbringung des Abwassers und die Umstellung der landwirtschaftlichen Betriebe auf die Bewässerung erheblich. Der Landwirt ist dann in der Lage, das ihm zufallende Abwasser ganz nach Bedarf auf diejenigen Flächen zu leiten, auf denen er es jeweils am besten verwenden kann, und er braucht jedes Jahr nur einen Teil seiner Flächen auf die Aufnahme von Abwasser einzurichten (Wechselflächen). Bei der Verwertung der Leipziger Abwässer durch die Delitzscher Wasserverwertungsgenossenschaft hat man diesen Weg beschritten. Je weiträumiger das Abwasser verwertet wird, um so geringer ist auch die Beeinflussung des Grundwasserstandes (S. 283). Andererseits hat eine zu weiträumige Verwertung auch Nachteile: großes Grabennetz, starke Wasser- und Nährstoffverluste und größere Schwierigkeiten bei Frost. Eine Beseitigung dieser Nachteile durch Rohrleitungen wird sehr teuer.

Je mehr Abwasser nun die insgesamt zur Verfügung stehende Fläche einschließlich etwaiger Wechselflächen je ha aufnehmen muß, um so wichtiger ist es, bei der Aufstellung des Entwurfes eine Flächeneinteilung vorzunehmen, die die Möglichkeit der Unterbringung nachweist. Denn die Abwasser müssen so, wie sie anfallen, auch abgenommen werden. Dabei sollen sowohl die jeweils zugeführte Wassermenge als auch die zugeführte Stickstoffmenge möglichst einen Bestwert darstellen. Die Bewässerung der verschiedenen Bestände (Getreide, Hackfrüchte, Gemüse, Grünland) ist von der Jahreszeit und der Art der Bewässerung abhängig. Die folgende Zahlentafel 107 zeigt eine Verteilung

Zahlentafel 107.

		Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Jahr
Branchwasser	b	120	120	120	120	120	120	130	130	140	150	150	130	— 1510
	B (1000 m ³)	119	119	119	119	108	119	125	129	134	149	149	125	
Regenwasser Z (1000 m ³)		44	38	32	17	15	58	38	42	52	56	49	39	480
Düngereinheiten D		2720	2630	2720	2720	2440	2720	2630	2720	2630	2720	2720	2630	32000
Winterweizen $F = 40$ ha	D								300	300		250	2150	3000
	Z h_1 h_2								35 R	35 R		35 W	250 W	355
Hafer $F = 24$ ha	D	650		750					200	200				1800
	Z h_1 h_2	120 W		140 W					40 R	40 R				340
Kartoffeln $F = 49$ ha	D				2720		935		230	215	300			4400
	Z h_1 h_2				250 W		85 W		20 R	20 R	35 R			410
Futterrüben $F = 23$ ha	D					2300					150	250	100	2800
	Z h_1 h_2					405 W					35 R	60 R	20 R	520
Wiese $F = 165$ ha	D	2070	2630	1970		140	1785	2630	1990	1915	2270	2220	380	20000
	Z h_1 h_2	44 55 H 25 H	38 70 H 25 H	32 55 H 20 H	17 10 H	15 5 H 10 H	58 50 H 35 H	38 75 H 25 H	42 60 H 25 H	52 60 H 30 H	56 75 H 35 H	49 75 H 35 H	39 10 H 25 H	480 590 295

des städtischen Abwassers für ein bestimmtes Anbauverhältnis. Derartige Zusammenstellungen sollten für die wichtigsten jeweils in Betracht kommenden Anbauverhältnisse angefertigt werden, da man häufig nur auf diese Weise die zweckmäßigste Abwasserverteilung und die sich etwa ergebenden Schwierigkeiten erkennt. In Zahlentafel 107 bedeuten:

- b = Brauchwasser in l/Tag und Kopf.
 B = Brauchwasser in 1000 m³/Monat.
 Z = Zusätzliches Regenwasser aus der Stadtentwässerung in 1000 m³.
 D = Düngereinheit, diejenigen Pflanzennährstoffe, die durch das Brauchwasser einer Person während eines Jahres geliefert werden.
 F = mit der jeweiligen Pflanzenart bestellte Fläche in ha.
 h_1 = Bewässerungshöhe der Fläche F in mm aus dem Brauchwasser.
 h_2 = Bewässerungshöhe der Fläche F in mm aus dem Regenwasser.
 R = Beregnung.
 W = Furchenbewässerung.
 H = Hangberieselung.

Dem Beispiel ist eine Stadt von $E = 32000$ Einwohnern mit Mischverfahren zugrunde gelegt. Nach der Stickstoffbestimmung sollen je ha gerechnet werden für

Winterweizen und Hafer	75 Personen
Kartoffeln	90 „
Futterrüben und Wiese	120 „

Die Zahlentafel darf nicht als starre Vorschrift angesehen werden, sie soll lediglich nachweisen, daß die Unterbringung des Abwassers in zweckmäßiger Weise ohne Schwierigkeiten möglich ist und daß auch im Betriebe noch Raum für Änderungen bleibt. Wenn man D und Z auf die Fläche F bezieht, so ist genau genug

$$h_1 = \frac{1200 \cdot B \cdot D}{E \cdot F}, \quad (165)$$

$$h_2 = \frac{100 \cdot Z}{F}. \quad (166)$$

Die letzte Spalte der Zahlentafel 107 zeigt, daß die einzelnen Bestände etwa folgende Wassermengen erhalten:

Winterweizen	355 mm	Hafer	340 mm
Kartoffeln	410 mm	Wiese	885 mm
Futterrüben	520 mm		

Das Regenwasser aus dem Rohrnetz wird restlos der Wiese zugeleitet. Bei leichtem Boden würde aber trotzdem der Anfeuchtungsbedarf der Wiese nicht gedeckt werden. Man müßte dann noch mit Reinwasser berieseln oder eine Überdüngung in Kauf nehmen, indem man weniger als 165 ha berieselt. Das um so mehr, als in sehr trockenen Sommern unter Umständen ein Teil des für die Wiese vorgesehenen Wassers noch auf Ackerflächen verwendet werden muß, wenn kein Reinwasser zur Verfügung steht. Starke Zuflüsse werden durch ein Regenbecken aufgefangen (S. 340). Dieses kann unter Umständen auch den Zufluß einiger Nachtstunden aufnehmen.

Sehr wichtig ist die Anstellung eines oder mehrerer geschickter Rieselwärter. Im Durchschnitt kann ein Rieselwärter etwa 150 ha betreuen.

4. Wirtschaftlicher Erfolg.

Die Wirtschaftlichkeit der Abwasserverwertung ist abhängig von den Jahreskosten für Verzinsung, Tilgung, Unterhaltung, Betrieb und Verwaltung sowie von dem erzielten Mehrertrag. Als besonders lohnend ist die Bewässerung anzusehen für Grünland, Gemüse und Futterpflanzen (Mais, Sonnenblumen, Luzerne, Klee, Futterrüben). Nach Wintergetreide ist Zwischenfruchtbau zu empfehlen. Auf Grünland und für Frühgemüse wirkt die Wärme des

Abwassers im Frühjahr sehr günstig. Auf Weiden hält sich ein guter Pflanzenbestand besser als auf Wiesen, letztere sollten daher von Zeit zu Zeit geweidet werden.

In allen denjenigen Fällen, in denen die Abwässer eines Betriebes ohnehin gereinigt werden müßten, werden die sonst erforderlichen Kosten der Reinigung gespart (S. 334). Die Stadtverwaltung, die sich in einer solchen Lage befindet, kann daher in der Regel nennenswerte Zuschüsse zu den Kosten der landwirtschaftlichen Verwertung leisten.

Die Anlage- und Betriebskosten der landwirtschaftlichen Abwasser-
verwertung sind je nach den örtlichen Verhältnissen außerordentlich verschieden und bedürfen daher in jedem einzelnen Fall der besonderen Berechnung. Allgemein gültige Zahlen können nicht gegeben werden. Am teuersten ist im allgemeinen die Verregnung, dagegen kann eine wilde Hangberieselung bei günstigen Gelände-
verhältnissen schon recht billig hergestellt werden. Bei den Betriebskosten ist auch die durch das Abwasser bewirkte starke Unkrautwüchsigkeit zu berücksichtigen. Die Kosten einer Abwasserfischteichanlage hängen in erster Linie davon ab, ob man vorhandene Teiche, auch natürliche Geländemulden ausnutzen kann, oder ob der Teich mit erheblichen Erdarbeiten erst hergestellt werden muß.

Über die durch Abwässer bewirkte Steigerung der Roherträge je ha liegen bisher nur wenige zuverlässige Ermittlungen vor (Zahlentafel 108). Daß aber allgemein mit sehr erheblichen Ertragsteigerungen gerechnet werden kann, steht fest. Die Wirkung der Abwasserbewässerung hängt auch von dem Zeitpunkt ihrer Anwendung ab. Die Versuche darüber sind aber noch nicht abgeschlossen. Für die hohen Erträge, die mit Abwasser erzielt wurden, mögen noch folgende Beispiele dienen:

Delitzsch-Schenkenberg (216). Verrieselung von 1280 mm städtischem Abwasser auf sehr leichtem Boden. Erträge in dz/ha:

Grünland (Gras)	919	Luzerne (Heu)	147
Klee (grün)	783	Roggen	28
Hafer	25	Kartoffeln	422
Grün-Mais	769	Möhren	776
Zwiebeln	337	Sellerie	186
Rote Rüben	390	Kohlrabi (Marktware)	514

Schebitz (243). Verregnung von städtischem Abwasser auf feinsandigem, humusarmen Lehm. Im Durchschnitt von 8 Jahren brachten 1 kg Abwasserstickstoff 0,36 dz und 1 m³ Abwasser 0,029 dz sehr eiweißreiches Heu. Der Mehrertrag gegenüber unberechneten, gedüngten Flächen betrug 0,26 bzw. 0,0215 dz. Bei 500 mm Abwasser wurden also im Durchschnitt 145 dz Heu je ha geerntet.

In der Delitzscher Wasserverwertungsgenossenschaft wurden bereits in den ersten Jahren sehr erhebliche Ertragsteigerungen festgestellt. Auf 0,2 ha konnte 1 Stück Großvieh bei ausgezeichneten Milcherträgen und starken Gewichtszunahmen ernährt werden. Luzerne brachte 150 dz Heu je ha, Wiesen 4 bis 5 gute Schnitte mit 15 bis 16% Roheiweiß. Auch ein lohnender Zwischenfruchtbau war möglich. So ergaben Futtermöhren nach Wintergerste noch 200 dz/ha und Futterkartoffeln nach gleicher Vorfrucht 150 dz/ha (31). Besonders bemerkenswert sind die Erträge auf bewässertem Niedermoor (S. 337). Auf einer Viehweide konnte 1 Stück Großvieh je 0,5 Morgen vom April bis Oktober ohne Zufütterung ernährt werden. Niedermoorwiesen lieferten etwa 160 dz Heu je ha.

Die Untergrundbewässerung bei Köln brachte einen Kartoffelertrag von 430 bis 440 dz/ha (7).

Bei den Abwasserfischteichen kann man mit einem Zuwachs von jährlich etwa 10 Zentnern Karpfenfleisch je ha Teichfläche rechnen.

Zahlentafel 108.

Ort	Bestand	Abwasser je Jahr mm	Art der Bewässerung	Erträge in dz/ha		Mehr- ertrag dz/ha	Schriften- ver- zeichnis	Bemerkungen
				ohne Abwasser	mit Abwasser			
Delitzsch-Schenkenberg	Runkelrüben	1280	Berieselung	686	1393	707	216	Sand mit Kiesuntergrund. Städtisches Abwasser
	Wiese	280	Beregnung	34	104	70	242	Heu. Die nicht berechneten Flächen erhielten K_2O , P_2O_5 und N
		560	"	34	144	110		
	Weißkohl	200	Beregnung	102	477	375		Köpfe. Die nicht berechneten Flächen erhielten K_2O , P_2O_5 und N
		300	"	102	476	374		
	Futterrüben	180	Beregnung	388	641	253		Die nicht berechneten Flächen erhielten K_2O , P_2O_5 und N
		320	"	388	909	521		
	Zuckerrüben	180	Beregnung	221	357	136		Die berechneten Flächen erhielten P_2O_5 , die nicht berechneten K_2O , P_2O_5 und N
		320	"	221	350	129		
	Kartoffeln	180	Beregnung	247	309	62		Knollen. Die nicht berechneten Flächen erhielten K_2O , P_2O_5 und N
280	"	247	318	71				
Winterweizen	145	Beregnung	38	31	-7	Die nicht berechnete Fläche erhielt K_2O , P_2O_5 und N		
Spandau (städtisches Abwasser auf leichtem Sandboden)	Hafer	35	Beregnung	24	34	10	169 (S. 155)	
		10	"	24	36	12		
	Kartoffeln	20	Beregnung	247	327	80		
		60	"	247	294	47		
18	"	294	397	103	Heuertrag des dritten Schnittes. Die nicht berechnete Fläche erhielt Kaliumsalpeter			
Grünland	45	Beregnung	17	20	3	Lehmboden, 1929. Abwasser der Heilanstalt		
105	"	17	48	31				
Allenberg (Ostprenußen)	Klee	80	Beregnung	31	50	19	189 (S. 58)	
Tapiau (Ostprenußen)		80	Beregnung	12	42	30	Sandboden, 1929. Abwasser der Heilanstalt	

VIII. Die Moorerschließung.

Die Entstehung der Moore, ihre Arten (Niederungs-, Übergangs- und Hochmoore) sowie ihre Eigenschaften sind auf S. 41 ff. eingehend behandelt worden. Man beachte auch die Ausführungen über das Wasser als Wachstumsbedingung (S. 56).

Über die in Deutschland vorhandenen Moorflächen fehlt bisher ein zuverlässiger Zahlennachweis. Nach einer Zusammenstellung des Vereins zur Förderung der Moorkultur verteilen sich die Moore auf die verschiedenen Reichsgebiete etwa wie folgt (201, 768):

Brandenburg	374 000 ha
Ostpreußen	361 000 ha
Pommern	315 000 ha
Hannover	300 000 ha
Schleswig-Holstein	150 000 ha
Schlesien	87 000 ha
Westfalen	60 000 ha
Grenzmark Posen-Westpreußen	48 000 ha
Rheinprovinz	30 000 ha
Hessen-Nassau	1 000 ha
Preußen	1 726 000 ha
Bayern	197 000 ha
Mecklenburg	150 000 ha
Oldenburg	120 000 ha
Württemberg	26 000 ha
Baden	17 000 ha
Sachsen	9 000 ha
Reich	2 245 000 ha

Nur 15 bis 20% dieser Flächen dürften bisher erschlossen sein. In Hannover, Oldenburg und Schleswig-Holstein überwiegen die Hochmoore, in den übrigen Gebieten die Niedermoores. Über den Anteil der Moorarten liegen nur sehr rohe Schätzungen vor. Etwa die Hälfte bis zwei Drittel aller Moore werden im Schrifttum als Niedermoores angegeben.

A. Die Entwässerung der Moore.

Bezüglich der Vorflutbeschaffung und Entwässerung gelten im wesentlichen dieselben Gesichtspunkte, die im Teil III bereits erörtert wurden. Hier sind daher nur diejenigen Maßnahmen zu besprechen, die durch die besonderen Eigenschaften des Moorbodens bedingt sind, durch seine hohe wasserhaltende Kraft, seine große Empfindlichkeit gegen zu starke Entwässerung, seine lose Beschaffenheit und die damit in Zusammenhang stehenden Sackungen sowie sein meistens nur geringes Oberflächengefälle.

Wegen der Dränung der Moorböden wird auf S. 230 verwiesen.

1. Allgemeines.

Fast stets ist eine sorgfältige Entwässerung der Moore die unerläßliche Voraussetzung für ihre Erschließung. Denn das rohe, unentwässerte Moor ist wegen seines großen Wassergehaltes für unsere Nutzpflanzen kein geeigneter Standort. Die Entwässerung hat das Eindringen von Luft und Wärme in den Moorboden zur Folge und damit auch eine Beschleunigung der Vererdung. Da vererdete (zersetzte) Moore durchlässiger sind als wenig zersetzte, so muß man damit rechnen, daß ein Moor nach seiner Entwässerung allmählich durchlässiger wird.

Die durch Entwässerung bewirkte Durchlüftung des Moores hat auch eine Aufschließung der vorhandenen Pflanzennährstoffe zur Folge und einen Abbau pflanzenschädlicher Stoffe wie Schwefelwasserstoff und anderer, die sich unter

dem früheren Luftabschluß gebildet haben. Auch die Tätigkeit der nützlichen Kleinlebewesen wird durch die Luftzufuhr gefördert.

Eine weitere Folge der Entwässerung sind die Moorsackungen (S. 44). Da die Frage ihrer Größe noch keineswegs geklärt ist, sollte man bei der Durchführung einer Moorentwässerung stets Beobachtungen darüber anstellen. Zu dem Zwecke sind Festpfähle bis in den festen Untergrund einzuschlagen. In etwa je 2 m Abstand von einem Festpfahl schlägt man zwei kleine Sackungspfähle b , die die Sackungen mitmachen. Eine quer darüber gelegte Setzlatte B gibt dann an dem Festpfahl die jeweilige Moorhöhe an (Abb. 238).

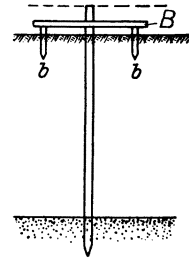


Abb. 238. Messen der Moorsackung. (Nach Krüger.)

Ein sehr weiches, wasserhaltiges Moor gleicht einer zähflüssigen Masse. Sobald man einen Graben einschneidet, kann es leicht vorkommen, daß das Moor in Bewegung gerät. Dabei wird die Moorfaser zerrissen. Das einmal zerrissene und in eine zusammenhanglose Masse verwandelte Moor ist nur sehr schwer wieder zur Ruhe zu bringen. Die Zerstörung der in weiches Moor unvorsichtig eingeschnittenen Gräben vollzieht sich durch Zusammenklappen oder Sohlenaufbruch. Beide wirken auch wohl zusammen. Oft bilden sich seitwärts vom Graben Risse r im Moor (Abb. 239), die sich bis oben mit Wasser füllen und infolge des Wasserdruckes das Zusammenklappen noch beschleunigen. Derartige Risse sind meistens nur schmal und kaum zu sehen, wenn das Moor stark mit Heide bewachsen ist. Sie können leicht unschädlich gemacht werden, indem man sie durch eine schmale, genügend tiefe Grube mit dem Graben in Verbindung bringt und dadurch entwässert.

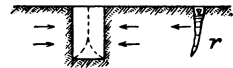


Abb. 239. Zusammenklappen eines Moorgrabens. (Nach Krüger.)

Der Sohlenaufbruch entsteht durch Wasserdruck von unten gegen die Sohle (Abb. 240). Dieser treibt die Sohle auf oder durchbricht sie. Dabei klappen die Böschungen nach außen um. Der Sohlenaufbruch tritt um so leichter ein, je breiter die Sohle angelegt wurde. Daher bietet eine anfänglich schmale Sohle das wirksamste Mittel gegen ihren Aufbruch.

Eine zu weitgehende Entwässerung der Moore kann deren Puffigwerden zur Folge haben (S. 46), namentlich dann, wenn das Moor als Acker genutzt wird und infolgedessen der gegen die austrocknenden Witterungseinflüsse schützenden Grasdecke entbehrt. Man muß daher bei allen Moorentwässerungen eine zu tiefe Absenkung des Grundwassers sorgsam vermeiden. Nach neueren Versuchen scheint Kupfersulfat (50 bis 100 kg/ha) das Puffigwerden der Moorböden zu erschweren.

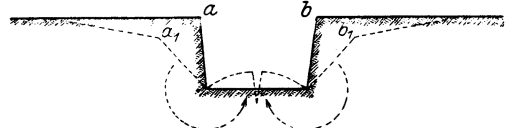


Abb. 240. Sohlenaufbruch im Moorgraben. (Nach Krüger.)

Dringend zu empfehlen ist, vor Beginn aller Arbeiten in einem Moor Proben des Moores in einer Moorversuchsanstalt untersuchen zu lassen. Dabei sind insbesondere Aufbau, Zersetzungsgrad, Durchlässigkeit und Nährstoffgehalt des Moores festzustellen. Man sollte auch stets die Bodenbeschaffenheit des Untergrundes ermitteln, ob aus leicht oder schwer durchlässigen Bodenarten bestehend. Wenn in flachen Mooren ein Anschneiden des Untergrundes durch die Gräben zu erwarten ist oder wenn der Untergrund als Bodenverbesserungsmittel (Sand, Schlick, Kuhlerde) in Frage kommt, ist auch eine Untersuchung auf pflanzenschädliche Stoffe erforderlich.

2. Die Beschaffung der Vorflut.

Bei allen Moorentwässerungen, ganz gleich, ob nur offene Gräben oder auch Dräne verwendet werden sollen, sind zunächst die Hauptvorfluter zu

entwerfen. Hochmoore liegen in der Regel so hoch, daß sie mit natürlicher Vorflut entwässern können, während in Niederungsmooren die Schaffung einer künstlichen Vorflut durch Schöpfwerke häufig nicht zu entbehren ist. Für die Lage der Hauptvorfluter sind nun keineswegs immer die tieferen Stellen der unentwässerten Mooroberfläche maßgebend. Denn wenn der Untergrund in stark wechselnder Tiefe liegt, was häufig der Fall ist, sacken die Flächen mit größerer Tiefe am stärksten, so daß Flächen, die ursprünglich höher lagen, aber eine größere Moortiefe besaßen als andere, nach der Entwässerung tiefer liegen können als diese. Man muß sich daher vor der Entwässerung eines Moores stets Aufschluß über die Lage des Mooruntergrundes verschaffen, was durch Bohrungen oder Peilungen geschieht (S. 50). Die Oberfläche des Untergrundes wird dann, wenn sie starke Höhenunterschiede aufweist, am besten auf dem Lageplan durch Höhenlinien dargestellt, damit man die Hauptvorfluter möglichst dort vorsieht, wo die tiefsten Stellen der Mooroberfläche nach der Sackung zu erwarten sind, im allgemeinen also in den Tälern des Mooruntergrundes.

Die Hauptvorfluter müssen auch noch nach der Sackung des entwässerten Moores eine ausreichende Vorflut gewähren. Im Moor selbst kann man meistens noch nachträglich eine Vertiefung der Vorfluter vornehmen, ohne daß dadurch untragbar hohe Kosten entstehen, wenn man nur von vornherein die Bauwerke mit ausreichend tiefen Sohlen angelegt hat. Weit schwieriger können aber die Verhältnisse werden, wenn ein größerer Wasserlauf die Vorflut für das Moor bildet, sein Ausbau aber der hohen Kosten wegen nicht möglich ist. In solchen Fällen ist besondere Vorsicht geboten. Denn falls das Moor stärker sackt, als man angenommen hat, kann unter Umständen die ursprünglich vorhanden gewesene natürliche Vorflut verlorengehen und sich nachträglich noch die Notwendigkeit ergeben, ein Schöpfwerk zu errichten, dessen Bau- und Betriebskosten eine sehr unliebsame Mehrbelastung zur Folge haben. Schwimmende Moore, wie man sie häufig am Rande von Seen antrifft, haben schon mehrfach zu solchen Überraschungen geführt. Derartige Schwingwiesen haben meistens eine Stärke bis zu etwa 2 m, darunter befindet sich bisweilen eine Wasserschicht von 0,5 bis 1 m, unter dem Wasser eine mehr oder weniger starke Schlammschicht.

In flachen Mooren mit durchlässigem Sanduntergrund sollte der tiefste Wasserstand der Hauptvorfluter, wenn möglich, noch über dem Sanduntergrund liegen, damit nicht die unmittelbar unter dem Moor liegenden Sandschichten trockenlaufen und dadurch dem Moor der Aufstieg des Saugwassers entzogen wird. Wenn der Hauptvorfluter auch in trockener Zeit ständig Wasser führt, läßt sich einem zu weitgehenden Fallen des Wasserstandes durch Einbau von Stauen begegnen.

In den meisten Hochmooren und in weichen Niederungsmooren kann eine bisweilen jahrelange Vorentwässerung nötig werden. Sie besteht darin, daß man die Vorfluter, anfangend mit kleinen Gruppen, schrittweise vertieft und verbreitert. Je wasserreicher das Moor ist, um so langsamer ist dabei vorzugehen. In sehr wasserreichen Mooren kann es nötig werden, bei der Vorentwässerung auch noch kurze Seitengräben von 5 bis 10 m Länge in den nach und nach zu vertiefenden Vorfluter einzuführen, damit auch seine nähere Umgebung ausreichend entwässert wird. Die Höhenmessungen der Mooroberfläche führt man zweckmäßig erst nach der Beendigung der Vorentwässerung aus, weil die dann noch zu erwartende Sackung geringer und daher leichter einzuschätzen ist.

Die Stauanlagen sind nach Möglichkeit in den Hauptvorflutern anzuordnen, da ihr Wirkungsbereich dann größer ist, als wenn sie in den Nebengräben liegen. Ihre Wirkung ist aber in hohem Maße von der Durchlässigkeit des Mooruntergrundes abhängig. Denn da die Moore das Wasser nur schwer durchlassen,

kann sich ein hoher Grabenwasserstand nur dadurch nach beiden Seiten auf das Moor auswirken, daß der Wasserdruck sich im durchlässigen Untergrund mit einem nur geringen Druckverlust fortpflanzt und das Moor von unten unter Druck setzt. Voraussetzung ist weiter, daß die Grabensohlen in den Sanduntergrund eingeschnitten sind (S. 146). In allen anderen Fällen ist mit einer nennenswerten Wirkung der Grabenstau nicht zu rechnen. Ist nun eine solche nach dem Vorstehenden zu erwarten, so sind Stauanlagen vorzusehen, weil man die Wirkung des Grabenwasserstandes auf das Grundwasser unter derartigen Verhältnissen nicht mit Sicherheit voraussagen und weil eine zu weitgehende Grundwassersenkung gerade in Mooren für das Pflanzenwachstum sehr gefährlich werden kann. Außerdem schwankt auch der allgemeine Grabenwasserstand mit den wechselnden jährlichen Niederschlägen und kann nach längerer Trockenzeit wesentlich tiefer liegen als er entwurfmäßig unter Zugrundelegung eines gewöhnlichen Jahres festgelegt wurde.

Bei der Entwässerung größerer, zusammenhängender Moorflächen tritt in der Regel die Frage auf, wie sich die Erschließung des Moores auf den Wasserabfluß weiter unterhalb auswirken wird. Die Entwässerung und der Anbau eines Moores haben zur Folge, daß der Abfluß aus dem Moor einerseits durch die neuen Gräben beschleunigt, andererseits aber auch verzögert und verringert wird, da das Moor infolge Absenkung des Grundwasserspiegels und infolge Lockerung durch die Anbaumaßnahmen mehr Niederschläge als vorher zu speichern vermag und da die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen mehr Wasser verbrauchen als der wilde Pflanzenwuchs. Daß der Bau von Gräben in einem unberührten, größeren Moor, das nur ein geringes oder stellenweise überhaupt kein Oberflächengefälle besitzt, den Abfluß beschleunigt, ist durch zahlreiche Erfahrungen bewiesen. Die beiden entgegengesetzt wirkenden Folgen der Moorerschließung können nun durchaus verschiedene Gesamtwirkungen haben, je nachdem die beschleunigende oder verzögernde Wirkung überwiegt. Bei der Vielgestaltigkeit der mitwirkenden Umstände ist eine Vorausberechnung der Gesamtwirkung bisher nicht möglich gewesen. Ausreichende Versuche liegen nicht vor. Die im Kehdinger Moor vorgenommenen Messungen (205) umfassen leider nicht den Zustand des unberührten Moores. Es ist dringend zu empfehlen, bei größeren Moorerschließungen Abflußmengenmessungen schon vor der Herstellung der ersten Entwässerungsgräben vorzunehmen. Auf jeden Fall muß aber der Auffassung entgegengetreten werden, daß jede Moorerschließung eine Abflußverschlechterung für die Unterlieger nach sich zieht.

3. Die Gräben.

Über die Vor- und Nachteile der offenen Gräben gegenüber einer Dränung gelten die auf S. 188 gemachten Ausführungen.

Während die Lage der Hauptvorfluter in der Regel nach der allgemeinen Form der zu entwässernden Flächen, nach dem vorhandenen Gefälle und gegebenenfalls auch nach der Lage des Untergrundes bestimmt werden muß, sind die kleineren Gräben mehr nach den betrieblichen Rücksichten einer zweckmäßigen Flächenaufteilung anzuordnen. Man braucht sich also mit ihnen der Geländegestaltung nicht so weitgehend anzupassen wie bei den größeren Vorflutern.

Besonders wichtig für die Anordnung des Grabennetzes ist die Prüfung der Frage, auf welche Ursachen die Versumpfung des Moores zurückzuführen ist. Sie kann darauf beruhen, daß die im Moor fallenden Niederschläge aus Mangel an Gräben nicht abfließen können. Bei Niederungsmooren, die oft kesselförmig in Flußtälern liegen, wird die Versumpfung aber häufig auch dadurch verursacht, daß dem Moore von den höher gelegenen Randgebieten ober- oder unterirdisches Fremdwasser zufließt (Abb. 241). Besteht der Moorunter-

grund aus durchlässigem Boden, so drückt das von den Hängen kommende Grundwasser von unten gegen das Moor und dringt in dieses ein. In solchen Fällen pflegt man am Rande des Moores Fanggräben *g* oder Fangdräne *d* anzulegen, um das Fremdwasser vor seinem Eintritt in das Moor abzufangen. Ist das Moor sehr weich, wie es häufig verlandete Seen sind, dann kann es erforderlich werden, mit der Anlage der Randgräben zu beginnen und mit fortschreitender Entwässerung des Moores nach und nach weitere Gräben gleichlaufend zu den Randgräben anzulegen. Denn wenn man gleich zu Anfang einen Hauptvorfluter in der Mitte des Moores herstellen wollte, so würde dieser in dem noch viel zu weichen Moor keine ausreichende Standfestigkeit besitzen.

Die Linienführung der Gräben hängt auch davon ab, wie man ihnen ein ausreichendes Gefälle geben kann. Im Hochmoor ist ein Gefälle von $0,2\text{‰}$ noch als ausreichend zu bezeichnen, im Notfall muß man sich sogar mit $0,1\text{‰}$ begnügen. Niedermoores sind oft sehr gefällearm. Sie haben auch den Nachteil, daß sich die Grabenböschungen im Gegensatz zum Hochmoor bald mit

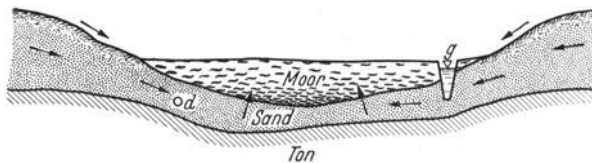


Abb. 241. Zufluß von Fremdwasser in ein Niedermoor.

üppigem Pflanzenwuchs bedecken, wodurch der Wasserabfluß erschwert wird. Daher sind stärkere Gefälle besonders erwünscht, aber meistens nicht erreichbar. An sich sind schwache Gefälle in

Moores deshalb vertretbar, weil die Moorteilchen sehr leicht sind und infolgedessen vom Wasser, namentlich bei stärkeren Niederschlägen, mitgeführt werden, so daß sie schwer zur Ablagerung kommen. In allen gut zersetzten Böden, insonderheit also im Niedermoor, sind flache Böschungen erforderlich, etwa $1 : 1,5$, in sehr erdigen Moores sogar $1 : 2$. Die flachen Böschungen sind auch leichter anzusäen als steile und erheblich leichter zu unterhalten als diese. Doch haben sich in standfesten Niedermoores auch Böschungsneigungen $1 : 1$ bewährt, insbesondere, wenn sie bald begrünen und dadurch eine gute Festigkeit erlangen. Bei steileren Böschungen sind Bodenaushub und Landverlust kleiner. Sie werden auch nicht so leicht vom Weidevieh zertreten wie flache. Allerdings sollten alle wichtigeren Gräben auf Weiden eingezäunt werden. Für die Wahl des Böschungsverhältnisses ($1 : 1$ bis $1 : 2$) der Niedermoorgräben sind örtliche Erfahrungen besonders wertvoll.

Im Gegensatz zum Niedermoor verwendet man in Hochmoores, deren obere Schicht aus fast unzersetztem, faserigem, jüngerem Moostorf besteht, nahezu senkrechte Böschungen, etwa $1 : 0,1$ bis $1 : 0,2$. Zahlreiche Erfahrungen haben gezeigt, daß solche steilen Böschungen im faserreichen Hochmoor sogar besser halten als flache, was anscheinend darauf beruht, daß sie den zerstörenden Einflüssen von Sonne und Niederschlägen weniger ausgesetzt sind. Im Laufe der Zeit kann sich aber die Notwendigkeit ergeben, die Böschungen abzuflachen, da auch das Hochmoor nach und nach durch Verwitterung seinen faserigen Zustand immer mehr verliert. Ist ein Hochmoorgraben sehr tief, so unterbricht man seine Böschungen gern durch $0,3$ bis $0,5$ m breite Bermen, die den durch Regen und Frost an den Böschungen entstehenden Moorschlamm auffangen und so von der Grabensohle fernhalten. Der Schlamm muß von Zeit zu Zeit von den Bermen entfernt werden. Diese erhalten eine schwache Querneigung nach dem Graben hin, damit kein Wasser auf ihnen stehen bleibt.

Da die Böschungsneigung von dem Zersetzungsgrad des Moores abhängt, so ist es wichtig, daß auch dieser in dem Gutachten der Moorversuchsanstalten behandelt wird, sofern Zweifel darüber bestehen (S. 349).

Zum Ansäen der Böschungen von Niedermoorgräben empfiehlt Brüne folgendes Samengemisch (20, 36):

Agróstitis álba	1 kg/ha	Lólium perénne	6 kg/ha
Agróstitis vulgáris	2 kg/ha	Phléum praténse	3 kg/ha
Cynosúrus cristátus	2 kg/ha	Póa praténis	12 kg/ha
Festúca praténis	4 kg/ha	Trifólium répens	6 kg/ha
Festúca rúbra	4 kg/ha		40 kg/ha
	<u>13 kg/ha</u>		

Vgl. S. 359.

Wegen der anzustrebenden Tiefe des Grundwasserspiegels in der Wachstumszeit wird auf Zahlentafel 37 und die anschließenden Ausführungen sowie auf S. 142 verwiesen. Daß man Weiden stärker als Wiesen entwässert, hat besonders im Moor noch den Vorteil, daß die Oberfläche mehr Widerstandsfähigkeit gegen den Tritt der Weidetiere erhält. Im Winter ist eine stärkere Absenkung des Grundwassers erwünscht als in der Wachstumszeit. Gegen eine zu starke Grundwassersenkung sind die Hochmoore empfindlicher als die Niedermoore, da die Pflanzenwurzeln in dem sauren Hochmoorboden dem absinkenden Grundwasser nicht folgen können. Sanddeckanlagen verlangen einen tieferen Grundwasserstand als unbesandetes Moor, und zwar um so tiefer, je gröber der Decksand ist und um so mehr er dadurch die Verdunstung des Bodenwassers verhindert (S. 46).

Ebenso wie bei den Hauptvorflutern ist auch bei den Binnengräben in flachgründigen Mooren mit durchlässigem Untergrund, wenn möglich, zu vermeiden, daß der Grabenwasserspiegel tiefer als der Untergrund liegt (S. 350). Wegen der geringen Durchlässigkeit der Moore legt man den mittleren Wasserstand der Gräben im großen Durchschnitt etwa 20 cm tiefer als den angenommenen günstigsten Grundwasserstand nach Zahlentafel 37. Diese Tiefe ergibt bei den zeitweilig trocken liegenden kleineren Binnengräben im allgemeinen auch die Grabentiefe. Die vorstehenden Angaben gelten für den endgültigen Zustand der Mooroberfläche nach beendeter Sackung. Unter Umständen sind aber die Grabentiefen zu verringern, damit der Sanduntergrund nicht zu sehr angeschnitten wird. Vorübergehende höhere Wasserstände in den Gräben kann man in Kauf nehmen, wenn sie nur einige Tage dauern.

In enger Beziehung zum mittleren Grabenwasserstand der Wachstumszeit steht der Abstand der gleichlaufenden kleinen Beetgräben. Dieser kann um so größer sein, je tiefer der Grabenwasserstand liegt. Man wählt im allgemeinen im tiefen Niedermoor Grabenabstände von 30 bis 60 m, im tiefen Hochmoor solche von 25 bis 40 m, wobei zu beachten ist, daß Äcker den geringsten, Weiden einen mittleren und Wiesen den größten Abstand verlangen. Auf besandeten Niedermoores ist der Abstand der Beetgräben noch um 20 bis 30% zu verkleinern. In flachgründigen Mooren, deren Gräben in einen durchlässigen Untergrund einschneiden, kann der Abstand der Gräben gegenüber den obigen Zahlen oft erheblich vergrößert werden. Man tut in solchen Fällen gut, zunächst nur schwach zu entwässern und nötigenfalls später weitere Gräben einzuschalten.

Die Länge der Beetgräben sollte 200 bis 300 m möglichst nicht überschreiten.

Die im Mineralboden, z. B. bei Vorkommen von Trieb sand, angewendete Befestigung der Böschungsfüße mit Pfählen und Strauchbündeln versagt in weichen, tiefen Mooren, weil in diesen die Pfähle nicht feststehen. Man muß in solchen Fällen durch eine langsame, schrittweise Entwässerung (Vorentwässerung) zunächst die Standfestigkeit des Moores verstärken.

Der Grabenaushub darf nicht unmittelbar neben den Grabenrändern abgelagert und muß alsbald eingeebnet werden. Soweit er aus Moor besteht, muß die Einebnung noch in erdfeuchtem Zustande erfolgen, damit das Moor nicht zu festen Ballen zusammentrocknet. Bezüglich des Sandaushubes ist zu

prüfen, ob er für eine Besandung verwendet werden soll. Die baldige Entfernung des Aushubes ist nötig, da sonst die Einsturzgefahr der Gräben durch den Druck der Aushubmassen noch vergrößert werden würde. Wenn die Gräben den Untergrund des Moores anschnitten, ist dieser auf seinen etwaigen Gehalt an pflanzenschädlichen Stoffen, z. B. Schwefeleisen, zu untersuchen (S. 48). Man entnimmt zu dem Zwecke Durchschnittsproben des Untergrundes und schickt sie an eine Moorversuchsanstalt. Nach dem Vorschlage von Fleischer kann man die Untersuchung auf Schwefeleisen auch selbst durchführen, indem man Proben des Untergrundes mit Haferkörnern besät. Die Spitzen der jungen Haferblätter werden nämlich gelb, falls der Boden Schwefeleisen enthält. Diese Untersuchungen des Untergrundes sind deshalb wichtig, weil das Einebnen schwefeleisenhaltigen Bodens auf dem Moor ein Absterben der Pflanzen bewirken würde. Durch reichliches Kalken kann die schädliche Wirkung des Schwefeleisens verhindert werden. Denn der Kalk bindet die schädlichen Zerfallstoffe des Schwefeleisens im schwefelsauren Kalk.

Die starke Graswüchsigkeit der Niederungsmoore hat einen sehr üppigen Graswuchs auf den Grabenböschungen und oft auch auf der Sohle der Gräben zur Folge, so daß häufige Krautungen erforderlich sind. Im Hochmoor dagegen ist viel weniger Krautungsarbeit nötig.

B. Die Erschließung der Niederungsmoore.

Sachgemäß entwässerte und angebaute Niederungsmoore können außerordentlich ertragreiche Wiesen und Weiden liefern, namentlich wegen ihrer sicheren Versorgung mit Wasser und Stickstoff. Daher ist die Erschließung unserer Niederungsmoore für die Erzeugung wirtschaftseigenen Futters von großer Bedeutung.

1. Allgemeines.

Nach Durchführung der Entwässerung ist zunächst der wilde Pflanzenbestand des Moores zu beseitigen. Denn nicht in allen Fällen kann der Pflug sofort angesetzt werden. Häufig ist das Moor dicht mit großen Bülden (Kaupen) besetzt, die mit einem starken Wiesenhobel oder mit einer Scheibenegge beseitigt oder zerkleinert werden müssen. Auch Rodungsarbeiten sind oft erforderlich. Durch Abbrennen des trockenen Grasses und der Sträucher läßt sich die Arbeit erleichtern. Die günstigste Zeit dafür ist im allgemeinen der März. Beim Abbrennen ist Vorsicht geboten, damit nicht Teile des entwässerten Moores selbst in Brand geraten.

Nach diesen vorbereitenden Arbeiten erfolgt der Umbruch, der mit dem Pfluge oder der Fräse vorgenommen werden kann. Damit die Pferde in das meistens noch weiche Moor nicht einsinken, werden an ihren Hufen sog. Moorschuhe aus Pappel- oder Birkenholz befestigt. Zweckmäßig ist der verstellbare schwedische Bügelschuh, der auf verschiedene Hufgrößen eingestellt werden kann. Voraussetzung für seine Anwendung ist, daß die Pferde beschlagen sind. Eine einwandfreie Pflugarbeit ist für die Herstellung eines guten Keimbettes von größter Wichtigkeit. Man verwendet daher besondere Pflüge (Wiesenspflüge, Moorpflüge), die die Scholle um 180° wenden und jeden Pflugstreifen glatt neben den anderen legen. Die Pflugtiefe darf nicht zu gering sein und soll 25 bis 30 cm betragen. Nur ist darauf zu achten, daß durch das tiefe Pflügen nicht Moorschichten an die Oberfläche kommen, die verhältnismäßig schlecht zersetzt sind. Gefährlich ist das Unterpflügen einer dichten starken Moosdecke, die, auf der Pflugsohle liegend, den Wasseraufstieg behindert. In solchen Fällen ist zunächst das Moos mit Krümmern zu entfernen.

Die Bodenfräse bewirkt eine weitgehende Zerkleinerung der Narbe und dadurch oft eine starke Lockerung der oberen Bodenschicht, die durch starkes

Walzen wieder beseitigt werden muß. Man verwendet daher die Fräse gern im Herbst, damit sich das gelockerte Moor im Winter noch wieder setzen kann. Ein Nachteil des Fräsens besteht darin, daß die unterirdischen Ausläufer mancher Unkräuter in viele einzelne Stücke zerschlagen werden, die dann jedes für sich weiter wachsen können.

Bei Ackernutzung läßt man zweckmäßig neben den Grabenrändern einen Schutzstreifen von etwa 30 cm Breite stehen, während bei Wiesen und Weiden bis an den Grabenrand zu pflügen ist, damit die ganze Fläche einschließlich der Grabenböschungen einen einheitlichen Pflanzenbestand erhält. Sonst besteht die Gefahr einer Verunkrautung und Schädlingverbreitung von den Grabenrändern aus.

Der Umbruch im Herbst hat den Vorteil, daß der Frost des Winters den Boden mürbe macht. Vorsicht ist aber dann geboten, wenn ein Moor infolge starker Vererdung zum Puffigwerden neigt. Dann muß im Frühjahr für eine frühzeitige Bestellung und Beschattung des Bodens gesorgt werden.

Größere Unebenheiten der Mooroberfläche sind möglichst durch Einebnen zu beseitigen. Denn stark unebene Flächen haben den Nachteil einer sehr verschiedenen Tiefe des Grundwasserspiegels unter Gelände und einer schwereren Bearbeitung mit Maschinen. Daß ein um wenige dm wechselnder Grundwasserstand den Pflanzenwuchs erheblich zu beeinflussen vermag, wurde bereits erwähnt (Zahlentafel 32). Die zur Einebnung erforderliche Bodenbewegung kann bei kürzeren Wegen bis zu etwa 75 m und bei nicht zu großen Bodenmengen mit der Erdschaufel vorgenommen werden, die meistens von zwei Pferden gezogen wird. Bei längeren Wegen sind leichte Feldbahngleise zu verlegen und Kippwagen zu verwenden. Der Füllboden soll möglichst von der gleichen Beschaffenheit sein wie das gewachsene Moor, damit die Einheitlichkeit des Pflanzenbestandes nicht beeinträchtigt wird. Beim Auffüllen ist auch darauf zu achten, daß nicht schlecht zersetztes Moor an die Oberfläche gelangt.

Nach dem Pflügen oder Fräsen ist der gelockerte Moorboden durch eine schwere Walze wieder zu festigen. Das Gewicht der Walze soll mindestens 1 t je m Arbeitsbreite betragen. Die schwere Moorwalze ist auch später bei der Pflege der Flächen unentbehrlich (S. 362). Man stellt sie zweckmäßig aus Beton in einer Länge von 1,1 bis 1,2 m und mit 0,8 m Durchmesser her, möglichst mit einem Mantel aus Eisenblech (4 mm). Im Herbst umgebrochene Flächen werden meistens erst im nächsten Frühjahr gewalzt, damit der Frost besser in den Boden eindringen kann. Die Walze kann auch dazu dienen, diejenigen Pflugschollen, die beim Pflügen nicht völlig umgelegt sind, anzudrücken. Zur Zerkleinerung der Pflugschollen bedient man sich der Scheibenegge.

Auf die zahlreichen bei der Moorerschließung verwendeten Geräte kann hier nicht näher eingegangen werden. Man tut gut, sich bei Bedarf die Druckschriften der in Frage kommenden Werke schicken zu lassen, von denen hier folgende genannt seien:

Deutzer Motorenfabrik A.G., Köln-Deutz.
Eberhardt, Ulm.
Kemna, Breslau.
Kirmis, Küstrin.
Lanz, Mannheim.
Odin-Werk, Königsberg i. Pr.

Pommersche Eisengießerei, Stralsund.
Rudolf Sack, Leipzig.
Siemens-Schuckert, Berlin.
Union-Gießerei, Königsberg i. Pr.
Wermke, Heiligenbeil.
Westphal, Bremen.

Bei der Düngung der Niederungsmoore kann man sich im allgemeinen auf eine Kali-Phosphor-Düngung beschränken, weil Kalk und Stickstoff ausreichend in den meisten Niederungsmooren vorhanden sind, zum mindesten anfänglich. Eine mäßige Stickstoffgabe kann aber die Pflanzen über entscheidende Zeiten hinwegbringen. Wenn später dem Moore durch die Ernten immer mehr Stickstoff entzogen wird, kann eine Stickstoffersatzdüngung erforderlich werden. Auch Stalldung oder Kompost sind auf Niederungsmooren nützlich, da sie die

Tätigkeit der Kleinlebewesen fördern, namentlich auf noch wenig vererdeten, rohen Flächen. Der Kompost muß aber so weitgehend zersetzt sein, daß er keine keimfähigen Unkrautsamen oder lebensfähige Wurzelstücke mehr enthält. Zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses kann man sich auch des Feldversuches bedienen. Schließlich sind die Regeln des Düngens zu beachten: Verwendung von Maschinen, Rücksicht auf Witterung, Vorsicht beim Mischen verschiedener Dünger usw.

2. Die Ackerwirtschaft.

Man unterscheidet drei Arten der Ackerwirtschaft auf Niedermoorböden, das Schwarzverfahren, das Deckverfahren und das Mischverfahren.

a) **Das Schwarzverfahren.** Unter dem Schwarzverfahren versteht man die Bewirtschaftung des reinen Moores, das nicht durch Sandbeigaben verändert ist. Infolge der besonderen Eigenschaften des Moorbodens (S. 41 ff.) ist eine dauernde Ackerwirtschaft in Form des Schwarzverfahrens sehr schwierig. Das Auffrieren der Oberschicht, die gefürchteten Spätfröste und das Puffigwerden des Moores können zu großen Schäden führen. Man findet daher das Schwarzverfahren auf Niedermoor nur selten. Es kann vorübergehend von Wert sein, wenn man ein stark verunkrautetes Moor vor der Anlage von Grünland möglichst unkrautrein machen will.

Bei der Bewirtschaftung ist besonders darauf zu achten, daß die Oberschicht nicht zu trocken wird und dadurch ihre quellstofflichen Eigenschaften verliert. Der Pflanzenbestand soll daher die Mooroberfläche in den wasserarmen Zeiten gut beschatten.

Mit Erfolg werden auf Schwarzanlagen insbesondere Kartoffeln (außer Frühkartoffeln), die verschiedensten Rübenarten (außer Zuckerrüben), Sommerroggen, Winterroggen (Frostgefahr in der Blütezeit), Gemenge von Hafer und Sommerroggen, Hanf und weißer Senf angebaut. Meistens wechselt man Hackfrüchte und Getreide. In den Hackfruchtjahren ist dann das Unkraut kräftig zu bekämpfen. Dem Puffigwerden und der überhandnehmenden Verunkrautung kann man erfolgreich auch dadurch begegnen, daß man für 2 oder 3 Jahre eine Grünlandnutzung einschiebt.

Als Vorratsdüngung empfiehlt Freckmann (49, 83) im großen Durchschnitt 100 kg Phosphorsäure (P_2O_5) und 150 kg Kali (K_2O) je ha, als Ersatzdüngung die folgenden Mengen:

Zahlentafel 109.

	Bedarf in kg/ha	
	P_2O_5	K_2O
Getreide und Hülsenfrüchte	30—40	60—80
Kartoffeln . . .	40—50	150—170
Rüben	50—60	250

Die Zahlen der Zahlentafel 109 beruhen auf der Annahme, daß folgende Durchschnitterten dem Moor die Nährstoffe entziehen:

Getreide	20 bis 30 dz/ha
Stroh	40 bis 60 dz/ha
Kartoffeln . . .	200 bis 300 dz/ha
Rüben	500 dz/ha.

Die Vorratsdüngung wird bisweilen nicht nur im ersten, sondern auch im zweiten oder gar noch im dritten Jahr verabfolgt und bis auf 150 kg P_2O_5 und 180 kg K_2O je Jahr gesteigert. Man verwendet in der Hauptsache hochwertige Kalisalze, bei Getreide aber besser Kainit. Auf kalkarmen Niedermooresen ist Thomasmehl wegen seines Kalkgehaltes zu empfehlen. Eine stark alkalische Wasserspaltung (Reaktion) des Moores kann durch gepulverten Schwefel gemildert werden. Bei Getreide und Hülsenfrüchten hat man durch einen Zusatz von 30 kg Kupfersulfat je ha (alle 3 bis 4 Jahre) beachtliche Ertragssteigerungen erreicht, die auf eine Kräftigung der Pflanzen durch Erhöhung ihres Blattgrüngehaltes zurückgeführt werden. Im Havelländischen Luch sind auf Schwarzanlagen gute Erfahrungen mit der Düngung durch städtischen Müll gemacht worden.

b) **Das Deckverfahren.** Die ungünstigen Eigenschaften des Moorbodens lassen sich dadurch mildern, daß man ihn mit einer Schicht von Mineralboden bedeckt. Dieses Verfahren wurde bereits 1817 vom Gutsbesitzer Pogge in Mecklenburg angewandt, kam dann aber wieder in Vergessenheit. Es wurde neu belebt durch Rimpau-Cunrau und wird nach ihm das Rimpausche Deckverfahren genannt. Es besteht im wesentlichen darin, daß das entwässerte und eingeebnete Moor 12 bis 15 cm hoch mit Mineralboden bedeckt wird, so daß nach dem Setzen des Bodens noch eine Schicht von 10 bis 13 cm bleibt. Nur diese Deckschicht darf mit dem Pfluge umgebrochen werden, ohne sie mit dem darunter befindlichen Moore zu vermischen, da sonst die Wirkung der Schicht verloren geht. Die Pflanzenwurzeln dringen durch die Deckschicht in das Moor ein und entnehmen ihm Wasser und Nährstoffe. Namentlich bei sehr feinsandigem Decksand ist damit zu rechnen, daß ein Teil des Sandes nach und nach in das Moor versinkt, z. B. durch Ausfüllen der Wurzellöcher. In die größeren Wurzellöcher der Rüben wird jede Deckschicht eingebracht, wenn auch nur geringen Teil ihres Bodens verlieren. Man hat daher bisweilen die Deckschicht bis zu 20 cm erhöht. Je höher die Sanddecke ist, um so sicherer wird auch bei weniger sorgfältigem Pflügen ein Vermischen des Moores mit dem Sande vermieden. Die Befürchtung, daß bei einer hohen Deckschicht von 20 cm die Wurzeln der jungen Keimpflanzen zu lange Zeit brauchen, um die Nährstoffe des Moores zu erreichen, und sich daher in der ersten Zeit nicht kräftig genug entwickeln, scheint nach manchen Erfahrungen nicht begründet zu sein.

Die Wirkung der Deckschicht (S. 46) besteht darin, daß die Spätfröste und das Auffrieren des Moores verringert werden und daß den Pflanzen ein sicherer Standort gegeben wird (keine Vermullungsgefahr). Die Sandschicht ist leicht zu bearbeiten und früher zu bestellen als das unbesandete Moor. Sie erhöht die Tragfähigkeit des Moores und wirkt namentlich auf seine Wasser- verhältnisse dadurch ein, daß die Verdunstung des Moores verringert und der Aufstieg des Saugwassers infolge der Belastung, die das Moor zusammendrückt, vergrößert wird. Der Einfluß der Deckschicht auf die Verdunstung hängt wesentlich von ihrer Beschaffenheit ab. Zehnmonatige Versuche Krügers ergaben folgende Verhältniszahlen für die Verdunstung:

Unbesandetes Moor.	100
Moor mit 8 cm Feinsand	80
Moor mit 8 cm Grobsand	50

Die stärkste Wirkung wird also mit grobem Sand erzielt, der zur besseren Bearbeitung am zweckmäßigsten etwas lehmhaltig sein sollte. Grober Sand verhindert infolge seiner geringen Saugkraft weitgehend die Verdunstung des Moores, läßt aber alles Regenwasser in das Moor eindringen, wo es für die Pflanzenwurzeln zur Verfügung bleibt. Feiner Sand wird leicht vom Winde verweht und kann auch den Luftwechsel im Boden beeinträchtigen. Wenn es sich darum handelt, Bodenfeuchtigkeit zu sparen, sollte man nach Möglichkeit groben Sand zur Deckung verwenden, während feiner Sand für feuchtere Moore in Betracht kommt.

Die Wärme der sandbedeckten Moore ist höher und daher günstiger für das Pflanzenwachstum als die der unbesandeten (S. 46).

Das Deckverfahren setzt voraus, daß das Moor ausreichend entwässert und in seinen oberen Schichten auch gut zersetzt ist (S. 353). In Cunrau hält man noch heute Entwässerungstiefen von etwa 1,0 m für zweckmäßig. Ein nicht genügend entwässertes Moor bleibt nach Aufbringen der Sanddecke zu feucht und wird auch leicht durch das Gewicht der Deckschicht zu stark zusammengedrückt, so daß sein Luftgehalt zu gering wird. Wenn man ein schlecht zersetztes Moor besandet, ist ferner zu befürchten, daß die für das Pflanzenwachstum wichtige weitere Zersetzung durch Luftabschluß verzögert wird und daß

pflanzenschädliche Gase (z. B. Schwefelwasserstoff) schwerer als sonst entweichen können. Eine gute Zersetzung ist um so notwendiger, je höher die Deckschicht ist. Bei zu stark entwässerten Mooren kann man durch Aufbringen einer Sanddecke die Feuchtigkeitsverhältnisse nachträglich verbessern.

Zu empfehlen ist, das Moor vor dem Besanden ordnungsmäßig um zu brechen. Man wird dann von Anfang an mit größerer Sicherheit gute Erträge erwarten können als ohne Zerstörung der Narbe.

Tiefgründige Moore können durch die schwere Sanddecke eine starke Sakkung erfahren, was häufig wegen der Vorflut ungünstig ist. Geeignet sind Moorstärken von 1 bis 1,5 m. Man kann aber auch Moore bis hinab zu 40 cm Stärke noch als besandungswert ansehen.

Die Sanddecke soll überall möglichst gleich hoch sein, damit ein gleichmäßiger Pflanzenbestand erzielt wird. Denn dieser wechselt leicht mit der Höhe der Deckschicht.

Sanddeckenanlagen erfordern die Bewegung recht großer Sandmengen und sind daher in der Regel sehr kostspielig, es sei denn, daß billige Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, etwa weil der Landwirt die Ausführung mit seinen Familienangehörigen nach und nach selbst übernimmt. Man muß daher von Fall zu Fall berechnen, ob die Besandung einen höheren Reinertrag verspricht als das nicht besandete Moor. In flachen Mooren kann der Grabenaushub verwendet werden, wenn er geeigneten Sand liefert. Allerdings führt dieses Verfahren oft zu sehr breiten Gräben, die unnötigen Landverlust und unnötig hohe Unterhaltungskosten mit sich bringen. Bei einer Entwässerung durch Dräne ist es überhaupt nicht durchführbar. Man ist daher häufig genötigt, den Sand aus Sandhorsten, die im Moor liegen, oder aus den sandigen Randgebieten des Moores zu entnehmen, was bei größeren Entfernungen erhebliche Kosten verursacht. Der Sand darf keine pflanzenschädlichen Stoffe enthalten und ist nötigenfalls vorher zu untersuchen. Sand aus dem Untergrunde enthält häufig den gefährlichen Schwefelkies, während Sande, die über dem Grundwasser liegen, meistens davon frei sind. Auch Sand mit Unkrautsamen oder Unkrautausläufern (Quecken) ist zu vermeiden.

Trotz der hohen Kosten kann eine Sanddeckenanlage auf Niedermoor dann erforderlich werden, wenn man Neusiedlungen auf Moor nicht lediglich auf Grünlandwirtschaft abstellen will und mineralische Flächen zur Ackerntzung in der Nähe nicht zur Verfügung stehen. Man wird dann einen verhältnismäßig kleinen Teil der ganzen Siedlerstelle mittels einer Besandung als Acker nutzen, damit der Siedler in der Lage ist, wenigstens seinen Eigenbedarf an Kartoffeln, Getreide und Gemüse ohne ein zu großes Wagnis auf dem Moor zu erzeugen.

Sanddeckenanlagen brauchen nicht so schwer gewalzt zu werden wie unbesandete Flächen. Das halbe Gewicht der schweren Moorwalze (S. 355) wird in der Regel genügen.

Über die Düngung der Sanddeckenanlagen gilt das oben für die Schwarzanlagen Gesagte (S. 356), nur wird die Düngung mit Kali und Phosphorsäure im allgemeinen etwas größer sein müssen, weil auch die Ernten größer sind. Die Sanddeckenanlagen in Cunrau haben in den 40 bis 70 Jahren ihres Bestehens keinen Stickstoff erhalten, auch keinen Stalldünger.

Während auf Schwarzanlagen nur wenige Feldfrüchte mit Erfolg angebaut werden können, gedeihen auf Deckanlagen fast alle Früchte des Mineralbodens, wenigstens diejenigen Arten, die sich den Witterungsverhältnissen des Moores angepaßt haben. Im Zweifelsfalle muß ein Anbauversuch entscheiden. Sommerung ist im allgemeinen sicherer als Winterung.

Auch die Sanddeckenanlagen unterliegen einer starken Verunkrautungsgefahr. Man wechselt daher ständig zwischen Halm- und Hackfrüchten und hackt bisweilen auch die ersteren.

Die Lebensdauer einer Deckanlage ist keine unbeschränkte, weil es sich trotz größter Vorsicht nicht vermeiden läßt, daß beim Pflügen etwas Moor in die Sandschicht gelangt, und weil ein Teil des Sandes auch in tiefere Moorschichten gelangen kann (S. 357). Ein schwaches Ritzen der oberen Moorschicht kann insofern sogar günstig sein, als dadurch die Mooroberfläche etwas gelockert wird. In der Regel muß nach etwa 30 Jahren eine neue dünne Sandschicht aufgebracht werden.

In Cunrau brachten die besandeten Moorweiden bei 8 bis 10 Ztr. schweren Ochsen einen durchschnittlichen Fleischzuwachs von 1,5 Pfd. je Tag. Auf im Frühjahr 1933 angelegten Neubesandungen, die erst am 21. und 22. Juni bestellt werden konnten, wurden 160 dz Kartoffeln und 16 bzw. 24 dz Hafer je ha geerntet. Eine späte Bestellung scheint bei Sanddeckenanlagen unschädlich, vielleicht sogar günstig zu sein. Allgemein kann man bei Ackernutzung auf Sanddeckenanlagen mit etwa 20 bis 25% höheren Erträgen als auf Schwarzanlagen rechnen. Moritz (137) nennt als Durchschnittserträge auf Moordammanlagen im Havelländischen Luch folgende Zahlen in dz/ha:

Kartoffeln	260	
Sommerroggen	24	
Weizen	20	} in den ersten Jahren nach der Übersandung
Gerste	30	
Hafer	30	
Futterrüben	600	

c) **Das Mischverfahren.** Das Mischverfahren nimmt in seiner Wirkung eine Mittelstellung zwischen dem Schwarz- und Deckverfahren ein. Es besteht darin, daß man eine Mineralbodenschicht auf das Moor bringt und sie durch Pflügen und Eggen mit dem Moor gut vermischt. Je niedriger die Schicht ist, um so geringer ist ihre Wirkung. Schon 3 bis 4 cm können das Moor beachtlich verbessern, im allgemeinen wird man aber eine nachhaltige, jahrelange Wirkung nur mit höheren Schichten von etwa 10 cm erreichen. Zum Mischen kann man Sand verwenden, noch besser aber sandigen Lehm oder Lehm, deren Nährstoffe dann neben der zuständigen Verbesserung des Moorbodens mit ausgenutzt werden. Auf kalkarmen Niederungsmooren ist auch Mergel ein geeignetes Mittel für das Mischverfahren. Dieses kommt ferner dann zur Anwendung, wenn eine Sanddecke auf sehr feuchten Mooren nicht angelegt werden darf.

3. Die Grünlandwirtschaft.

a) **Das gewöhnliche Grünlandverfahren.** Die Grünlandwirtschaft ist die von Natur gegebene Nutzung der Niederungsmoore. Das ergibt sich einmal aus der starken Graswüchsigkeit aller Niederungsmoore, sodann aber auch daraus, daß ein ständiger, dichter Grasbestand das Puffigwerden der Mooroberfläche verhindert und daß die Spätfröste dem Grünland im Gegensatz zu den Ackerpflanzen keinen nennenswerten Schaden zufügen können.

Die wichtigsten für die Ansaat in Frage kommenden Gräser und Kleearten sind folgende:

1. *Agróstis álba*, weißes Straußgras, Fioringras. Untergras mit Ausläufern. Auf Wiesen und Weiden. Feuchtigkeitsliebend, Blüte spät.
2. *Alopecúrus praténsis*, Wiesenfuchsschwanz. Obergras mit Ausläufern. Auf Wiesen. Feuchtigkeitsliebend, hält auch Überschwemmungen aus. Blüte früh. Wertvoll und ausdauernd.
3. *Avéna elátior*, Glatthafer. Obergras, bildet Horste. Auf Wiesen. Bevorzugt trockene Lagen.
4. *Avéna flavéscens*, Goldhafer. Kein ausgesprochenes Ober- oder Untergras. Wegen seiner Empfindlichkeit auf Niederungsmooren nicht häufig.
5. *Cynosúrus cristátus*, Kammgras. Untergras, bildet kleine Horste und blüht spät. Liefert gutes aber wenig Futter.
6. *Dáctylis glomeráta*, Knautgras. Obergras mit starken Horsten. Auf Wiesen und Weiden. Empfindlich gegen Frost, da es früh austreibt. Verdrängt leicht andere Gräser.

7. *Festuca pratensis*, Wiesenschwingel. Obergras, horstbildend. Auf Wiesen und Weiden. Feuchtigkeitsliebend, unempfindlich gegen nicht zu lange Überschwemmungen. Wertvoll und ausdauernd.

8. *Festuca rubra* var. *genuina*, ausläufertreibender Rotschwingel. Untergras. Auf Wiesen und Weiden. Sehr anpassungsfähig an feuchte und trockenere Lagen. Wertvoll und ausdauernd.

9. *Lolium multiflorum* (*italicum*), welsches Weidelgras. Obergras, horstbildend. Auf Wiesen. Nicht ausdauernd und nicht häufig verwendet.

10. *Lolium perenne*, deutsches Weidelgras. Untergras mit lockeren Horsten. Auf Weiden. Nicht sehr frostbeständig.

11. *Phalaris arundinacea*, Rohrglanzgras (Militz). Obergras, starke Ausläufer treibend. Namentlich auf Wiesen. Liebt zeitweise Überschwemmungen, aber auch anpassungsfähig an trockenere Lagen. Ausdauernd und wertvoll. Muß rechtzeitig gemäht werden.

12. *Phleum pratense*, Wiesensieschgras. Obergras, horstbildend. Besonders auf Wiesen, gelegentlich auch auf Weiden. Feuchtigkeitsliebend, verträgt auch nicht zu lange Überschwemmungen. Blüte spät.

13. *Poa palustris* (*serotina*, *fertilis*), fruchtbares Rispengras. Untergras, bildet Horste. Hält Überschwemmungen aus. Frostsicher. Wertvolles Futter.

14. *Poa pratensis*, Wiesenrispengras. Untergras mit Ausläufern. Auf Wiesen und Weiden. Sehr widerstandsfähig. Ausdauernd und wertvoll.

15. *Poa trivialis*, gemeines Rispengras. Untergras mit oberirdischen Ausläufern. Auf nassen Flächen.

16. *Lotus corniculatus*, gehörnter Schotenklee. Auf Wiesen und Weiden. Auf nicht zu feuchten Böden. Ausdauernd und anpassungsfähig.

17. *Lotus uliginosus*, Sumpf-Schotenklee. Bevorzugt nasse Flächen.

18. *Trifolium hybridum*, Bastardklee.

19. *Trifolium repens*, Weißklee. Auf Wiesen und namentlich auf Weiden wertvoll.

Für die Anlage von Grünland auf Moorböden ist die Verwendung von widerstandsfähigen Züchtungen von besonderer Bedeutung. Daher sind deutsche Saaten vor ausländischen auch schon deshalb zu bevorzugen, weil sie unseren Witterungsverhältnissen besser angepaßt sind.

Man düngt die Wiesen und Weiden in den ersten 2 bis 3 Jahren in der Regel mit etwa 100 bis 125 kg K_2O und 100 kg P_2O_5 . Doch sind bisweilen mit Erfolg auch größere Mengen, bis 180 kg K_2O und 150 kg P_2O_5 je ha verwendet worden. Auf kalkarmen Niederungsmooren wird meistens das basische Thomasmehl, auf sehr kalkreichen das saure Superphosphat verwendet. Stickstoff zu geben, ist im allgemeinen nicht wirtschaftlich. Auch eine Kalkdüngung kommt nur ausnahmsweise in Frage, z. B. um die Zersetzung des Moores zu beschleunigen. Zu beachten ist noch, daß nur eine Kali-Phosphor-Düngung die Erträge steigert, nicht aber eine einseitige Düngung mit nur einem der beiden Dünger. Ein Düngungsversuch ergab (49, 51):

Ungedüngt	36 dz Heu je ha	Nur Phosphorsäure	42 dz Heu je ha
Nur Kali	32 dz Heu je ha	Kali und Phosphorsäure . . .	98 dz Heu je ha

Als Ersatzdüngung verwendet man auf Wiesen für je 10 dz geerntete Heumenge 20 kg K_2O und 6 bis 7 kg P_2O_5 . Die Wiesenpflanzen entziehen nämlich dem Boden etwa 3mal so viel Kali wie Phosphorsäure. Weiden brauchen nur 50 bis 60 kg K_2O und 30 kg P_2O_5 je ha, weil sie weniger Masse als Wiesen erzeugen und den Dung der Weidetiere erhalten.

Stalldung und Kompost sind namentlich dann anzuwenden, wenn man aus besonderen Gründen das Wachstum fördern will, z. B. auf wenig vererdeten Flächen oder bei Saaten, deren Entwicklung infolge Trockenheit zurückgeblieben ist.

Die wichtigste Forderung bei allen Ansaaten besteht darin, möglichst schnell einen geschlossenen Bestand zu erreichen. Die Saatmenge schwankt zwischen 35 und 55 kg/ha. Das Saatgemisch ist der Beschaffenheit des Moores und seinen Wasserverhältnissen anzupassen. Die Wahl eines geeigneten Saatgemisches ist für den Erfolg der Ansaat von großer Bedeutung. Man tut gut, sich dabei von einer Moorversuchsanstalt beraten zu lassen. Sehr wichtig zur

Erzielung eines lückenlosen Bestandes ist die gleichmäßige Verteilung des Samens auf der ganzen Fläche. Vielfach geht man so vor, daß man zunächst die Fläche mit einer Ringelwalze abwalzt, dann ansät und die Ringelspuren schließlich mit der Glattwalze (in der Spurrichtung) wieder zudrückt. Die in die Ringelspuren gefallenen Samen erhalten dadurch eine günstige Bodenüberdeckung. Man kann mit der Hand oder mit Säemaschinen säen. Bei der Handsaat empfiehlt es sich, den Samen mit der fünffachen Sandmenge zu vermischen, was eine gleichmäßige Aussaat ermöglicht. Die Saatzeit soll etwa zwischen dem 1. Mai und 1. August liegen.

Umstritten ist die Frage, ob man mit oder ohne Deckfrucht (Überfrucht) säen soll. Diese hat den Zweck, die jungen Graspflanzen zu schützen. Sie darf aber nur dünn gesät werden, damit sie die Grassaat nicht unterdrückt. Man bemißt sie daher auf 30 bis 40 kg/ha Hafer oder am besten Sommerroggen. Sobald sie etwa 10 cm lang ist, wird das Klee grasgemenge gesät. Die Deckfrucht soll grün gemäht werden. Im allgemeinen ist aber eine Deckfrucht nicht zu empfehlen, weil sie die Bildung eines geschlossenen Klee grasbestandes verlangsamt. Nur in besonderen Fällen, so bei Frost- oder bei Vermullungsgefahr, ist sie angebracht.

Häufig ist die Frage zu entscheiden, ob man eine entwässerte Moorbiese umbrechen und neu ansäen soll oder ob es gelingen wird, den ursprünglichen Pflanzenbestand durch Düngung, Walzen und andere Maßnahmen in einigen Jahren ausreichend zu verbessern und so an Kosten zu sparen. Am schnellsten führt der Umbruch zum Ziele. Er wird immer dann anzuwenden sein, wenn der vorhandene Pflanzenbestand im wesentlichen aus saueren Gräsern und Unkräutern besteht und daher nur eine sehr langsame Bestandsverbesserung durch bloße Pflege zu erwarten ist. Letztere erfordert auch erhebliche Kenntnisse in der Grünlandwirtschaft, die man nicht ohne weiteres bei jedem Grünlandbesitzer voraussetzen kann. Nur eingehende Beratung durch sachverständige Stellen kann dann helfen. Fehlt es auch an dieser, so ist immer der Umbruch vorzuziehen. Auf der anderen Seite kann aber auch die bloße Pflege der entwässerten Moorbiesen zum Erfolge führen, falls gute Gräser, wenn auch nur spärlich, in dem natürlichen Bestande vorhanden sind und ihr Wachstum durch geschickte landwirtschaftliche Maßnahmen gefördert wird.

Auch die Erhaltung einer Neuansaat ist keineswegs leicht. Jedes Grünland sucht sich mit urwüchsiger Gewalt, oft nur langsam, einen ganz bestimmten Pflanzenbestand zu schaffen, der seinem Boden und seinen Wasserhältnissen sowie der gesamten Witterung entspricht. Je mehr aber diese natürliche Pflanzengemeinschaft von der durch Menschenhand geschaffenen künstlichen Ansaat abweicht, um so schwerer ist es, den künstlichen Bestand zu halten. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß man mit starken Veränderungen des Bestandes nach spätestens etwa 8 bis 10 Jahren rechnen muß. Bei ungenügender Pflege kann eine nachteilige Bestandsveränderung sogar schon nach wenigen Jahren eintreten. Geringer ist diese Gefahr für Weiden, bei denen der Tritt und Biß der Weidetiere die dagegen empfindlichen Unkräuter stark zurückhält. Man kann die Ertragsrückgänge durch ein- bis zweijähriges vorübergehendes Beweiden der Wiesen oder Mähen der Weiden mit Erfolg bekämpfen, daneben durch geschickte Anwendung der Dünger und der schweren Walze. Ferner kommt die Nachsaat in Frage, entweder mittels einer Wiesenritzerdrillmaschine oder nach gründlicher Verwundung der Narbe, die z. B. mit dem Federzahnkrümmer aufgerissen wird. Wenn alle anderen Mittel versagen, um eine im Ertrage stark zurückgegangene Grünlandfläche wieder ausreichend zu verbessern, bleiben nur Umbruch und Neuansaat übrig.

Die Ertragsrückgänge zeigen sich in der Regel in dem Überhandnehmen bestimmter Unkräuter, von denen besonders die folgenden vorkommen:

Aíra caespitosa (Rasenschmiele).	Juncáceae (Binsen).
Alectorólophus (Klappertopf-Arten).	Méntha (Minze-Arten).
Anthriscus silvéstris (Wilder Kerbel).	Polygonum (Knöterich-Arten).
Átriplex (Melde-Arten).	Potentilla anserína (Gänse-Fingerkraut).
Bidens tripartítus (Dreiteiliger Zweizahn).	Ranúnculus (Hahnenfuß-Arten).
Chaerophýllum (Kälberkropf-Arten).	Rúmex acetosa (Sauerampfer).
Círsium (Distel-Arten).	Rúmex obtusifólius (Stumpflättriger Ampfer).
Equisétum arvéense (Ackerschachtelhalm).	Scutellária galericuláta (Kappen-Helmkraut).
Equisétum palústre (Sumpfschachtelhalm).	Stellária média (Vogelmiere).
Galeópsis (Hohlzahn-Arten).	Úrtica dióica (Große Brennessel).
Heracleúm Sphondýlium (Bärenklau).	

Man bekämpft die Unkräuter meistens durch wiederholtes Abmähen und Abwalzen.

Auch tierische Schädlinge können die Erträge des Grünlandes stark vermindern. Namentlich ist es die *Tipula*, die Larve der Wiesenschnake, die bisweilen so massenhaft auftritt, daß sie ganze Flächen völlig vernichtet. Die Larve ist etwa 2 bis 4 cm lang, sie hält sich während des Tages im Boden auf, wo sie an den Wurzeln frißt, und kommt nachts an die Oberfläche, um sich über die Blätter herzumachen. Wenn die Pflanzennarbe an einzelnen Stellen abgestorben ist und sich leicht abheben läßt, besteht Verdacht auf *Tipula*. Man bekämpft die *Tipula* vorbeugend durch Ansiedlung von Staren, bei starkem Auftreten durch 15 bis 20 cm tiefe und ebenso breite Gräben mit senkrechten Wänden. Die nachts hineinfallenden Larven werden dann am nächsten Morgen vernichtet. Auch arsenikessigsaurer Kupfer, sog. Schweinfurter Grün, hat sich als Gift gegen die *Tipula* bewährt.

Für die Pflege des Grünlandes auf Niedermoor ist die schwere Walze (S. 355) unentbehrlich, namentlich auf Wiesen, auf denen der Tritt der Weidetiere fehlt. Das Zusammendrücken des Moores begünstigt den Aufstieg des Saugwassers und vermehrt das Wasserhaltevermögen der oberen Moorschichten. Das Saugwasser fördert auch den Wärmenachschub nach oben und verringert so die Frostgefahr. Das Auffrieren der Mooroberfläche im Winter (S. 46) muß im zeitigen Frühjahr durch die schwere Walze wieder ausgeglichen werden. Das Walzen beeinflußt auch den Pflanzenbestand in günstiger Weise, indem es die Unkräuter zurückhält und eine zu starke Horstbildung der Obergräser verhindert. Wiesen darf man nur dann walzen, wenn die Gräser noch nicht zu hoch sind. Auf trockenem Niedermoor wirkt die Walze nicht genügend, weil trockenes Moor federt. Das Walzen nassen Moores kann dazu führen, daß das Moor zu stark zusammengedrückt und sein Luftgehalt zu sehr vermindert wird. Man muß daher walzen, wenn das Moor einen mittleren Feuchtigkeitsgehalt aufweist, was im allgemeinen einen mittleren Grundwasserstand zur Voraussetzung hat. Stark zersetzte Moore besitzen bei hohem Grundwasserstand schon an sich nur einen geringen Luftgehalt und sind dann gegen starkes Zusammendrücken durch die schwere Moorwalze oft besonders empfindlich (S. 46). Man sieht auch aus diesen Zusammenhängen, wie wichtig es ist, die Gräben und Staue leistungsfähig zu erhalten.

Im übrigen ist für die Pflege der Wiesen noch mancherlei zu beachten. Die Wiese muß unbedingt dann gemäht werden, wenn das vorherrschende Gras zu blühen beginnt, da später gemähtes Gras an Futterwert verliert. Vermooste oder stark verunkrautete Stellen sind zu eggen und nachzusäen. Kahlstellen müssen durch Düngung und Nachsaat möglichst schnell wieder geschlossen werden. Maulwurfhaufen sind zu verteilen. Auf Weiden gilt das gleiche für den Dünger der Weidetiere. Hier sind auch die Geilstellen abzumähen.

Ist das Moor noch nicht genügend zersetzt, so ist die Herstellung eines hinreichend festen Grünlandes nicht erreichbar. Man tut in solchen Fällen gut, die Gräsensaat noch hinauszuschieben und einige Jahre Ackerbau zu treiben (Hafer, Kartoffeln), unter deren Anbau eine beschleunigte Vererdung eintritt.

b) **Das Deckverfahren.** Die Besandung der Niederungsmoore, die zwar im wesentlichen für Ackerbau in Frage kommt, kann auch bei Weiden angewendet werden. Die Sandschicht wird in einer Stärke von 5 bis 8 cm aufgebracht. Wenn man eine fertige Weide noch nachträglich besanden will, ist die Schichtstärke auf 2 bis 3 cm einzuschränken, damit die Pflanzen durchwachsen können. Man kann dann später nochmals 2 bis 3 cm aufbringen. Auch sandiger oder mergeliger Lehm sind als Deckschicht geeignet. Wiesen werden im allgemeinen nur dann besandet, wenn ihre zu starke Entwässerung wieder ausgeglichen werden soll. Sonst lohnt sich meistens die Besandung nicht, es sei denn, daß sie besonders billig ausgeführt werden kann. Wegen der Wirkung der Besandung und der erforderlichen Voraussetzungen wird auf S. 357 verwiesen. Nach Moritz (137) wurden auf Sanddeckanlagen im Havelländischen Luch durchschnittlich 80 dz Heu je ha geerntet. Ein Stück Großvieh konnte auf 1,5 Morgen Weide ernährt werden.

C. Die Erschließung der Hochmoore.

1. Allgemeines.

Man unterscheidet drei Verfahren der Hochmoorerschließung: das Brennverfahren (Brandverfahren), die Verfehnung und das reine (deutsche) Hochmoorverfahren. Das Brennverfahren dient lediglich der Ackerwirtschaft und ist daher weiter unten behandelt (S. 366).

a) **Die Verfehnung.** Die Verfehnung wurde im 17. Jahrhundert von Holland nach den benachbarten Gebieten Preußens übernommen. Bei ihr werden die Hauptentwässerungsgräben für kleine Schiffahrt eingerichtet und erhalten Anschluß an einen vorhandenen Schiffahrtweg. Von der Hauptwieke (Hauptkanal) zweigen Neben- und Inwieken (Nebenkanäle) ab, die jeder Siedlung Anschluß an den Wasserweg geben. Dieser dient zur Ausfuhr von Brenntorf und Ernteerzeugnissen sowie zur Einfuhr von Düngemitteln usw. Die kleineren Entwässerungsgräben münden in die Wieken.

Der gewöhnliche Wasserstand muß unter der Oberfläche des Sanduntergrundes liegen, und zwar noch etwas tiefer als der angestrebte Grundwasserstand. Für diesen kann man die Zahlen der Zahlentafel 37 (unbesandetes Moor) wählen, meistens etwa 50 cm für Wiesen und etwa 80 cm für Acker, wobei von der völlig gesackten Oberfläche der mit Sand vermischten Bunkerde auszugehen ist (s. unten). Größere Höhenunterschiede in verschiedenen Teilen des Fehngebietes bedingen Kammerschleusen zur Vermittlung des Schiffsverkehrs. Da das Sammelgebiet der Wieken meistens nur klein ist, muß häufig Betriebswasser vom Unterwasser der Schleuse ins Oberwasser hochgepumpt werden. Neben den Wieken liegen Wege zur Vermittlung des Ortsverkehrs.

Von den Wieken ausgehend beginnt das Abtorfen, nachdem das zunächst abzutorfende Land durch Entwässerungsgräben trockengelegt wurde. Der Torf wird in großen Mengen gestochen, um für den Anbau auf der abgetorften Fläche möglichst bald Raum zu schaffen. Aus dem Erlös für den verkauften Torf nimmt der Siedler seine ersten Einnahmen, die ihm Lebensunterhalt bieten und die Mittel für den Anbau liefern. Die aus jüngerem Moostorf bestehende Oberschicht, die Bunkerde, wird nicht zu Torf verarbeitet, sondern vor dem eigentlichen Abtorfen abgestochen und auf die davor bereits abgetorfte Fläche, das Leegmoor, gleichmäßig verteilt. Ist der Untergrund des Moores in seiner Höhenlage ziemlich unregelmäßig, so empfiehlt sich sein Einebnen, bevor die Bunkerde aufgebracht wird. Denn sonst würde der Grundwasserspiegel später sehr verschieden tief unter Gelände liegen, was wegen der ungleichmäßigen Wasserversorgung der Pflanzen unerwünscht ist. Mindestens 40 cm Bunkerde im abgelagerten Zustande müssen auf dem Untergrunde zurückgelassen werden.

Die ausgebreitete Bunkererde wird mit dem aus dem Untergrunde gewonnenen Sande, der in einer Stärke von etwa 10 cm aufzubringen ist, gut vermischt, wodurch die zuständlichen Eigenschaften des Moorbodens wesentlich verbessert werden. Die Verfehnung ist somit eine Art Mischverfahren (S. 359). Sie bedarf einer ausreichenden Kalkung und Zufuhr von Kunstdünger oder Kompost (städtischem Abfalldünger) und eignet sich besonders für gärtnerische Nutzung.

Die Abhängigkeit der Verfehnung von der Gewinnung und Verwertung des Torfes einerseits und die Notwendigkeit andererseits, unsere Hochmoore möglichst bald der landwirtschaftlichen Nutzung zu erschließen, haben zur Folge gehabt, daß die Nutzung der nicht abgetorften Hochmoore im Laufe der Zeit immer mehr an Bedeutung gewonnen hat.

b) Das deutsche Hochmoorverfahren. Die Anfänge des deutschen Hochmoorverfahrens lassen sich etwa bis zum Jahre 1750 zurückverfolgen. Dieses Verfahren nutzt das Hochmoor selbst, ist also unabhängig vom Torfstechen und kann sich daher viel schneller ausbreiten als die Verfehnung. Zur Bewältigung des Verkehrs genügen Wege, nötigenfalls mit Feldeisenbahnen. Solange man nur mit tierischem Dünger arbeitete, war die Ausdehnung des Wirtschaftsbetriebes abhängig von der Entwicklung des Viehbestandes und ging dementsprechend langsam voran. Das änderte sich jedoch mit der Einführung des Kunstdüngers.

Da man mit der Möglichkeit rechnen muß, daß auch reine Hochmooranlagen später einmal verfehnt werden, so ist es ratsam, beim Entwerfen der Besiedlungspläne den Übergang zur Verfehnung offenzuhalten.

Für die Bearbeitung des Hochmoores kommt menschliche, tierische oder Maschinenkraft in Frage. Bei der tierischen Pflugarbeit müssen die Zugtiere in weichem Moor mit Moorschuhern ausgerüstet werden (S. 354). Manche Hochmoorflächen sind jedoch so stark mit Kaupen besetzt, daß Pferde nicht verwendet werden können. Man muß dann entweder zur Hackarbeit greifen, die im Kleinbetriebe meistens von den Besitzern selbst in einer Zeit ausgeführt wird, in der Mangel an anderen landwirtschaftlichen Arbeiten ist, oder zur Benutzung von Großkraftgeräten. Das Hacken geschieht im Kleinbetrieb mit der Moorhandhacke. Gewöhnlich muß das wilde Moor 3mal gehackt werden, bevor es genügend zerkleinert ist. Die sperrigen Heidepflanzen erschweren die Bearbeitung und die nötige Festigung des Bodens. Es ist daher empfehlenswert, sie vor der Bodenbearbeitung abzubrennen. Wegen der Lieferwerke für Geräte vgl. S. 355. Die wichtigsten Kraftgeräte für die Erschließung der Hochmoore sind die Dampfpflüge und die Fräsen. Die Bearbeitungstiefe soll mindestens 20 cm betragen. Sehr bewährt hat es sich, die Pflanzennarbe des Hochmoores vor dem Umpflügen mit einer scharf schneidenden Egge (Scheibenegge, Flüegegge usw.) in verschiedenen Richtungen zu bearbeiten und zu zerkleinern, weil diese Zerkleinerungsarbeit nach dem Pflügen kaum noch möglich ist. Wenn auf der Pflugssole eine schlecht zerkleinerte Pflanzennarbe liegt, so leidet darunter der Wasseraufstieg aus tieferen Schichten. Auch im Hochmoor ist die schwere Glattwalze (S. 355) für die Verdichtung der Oberflächenschicht unentbehrlich.

Da die obere Schicht der Hochmoore, d. h. der jüngere Moostorf, in der Regel nur wenig zersetzt ist, so ist es in Hochmooren oft viel schwieriger, das für das Gedeihen der Nutzpflanzen nötige Krümelgefüge zu erzielen als in Niederungsmooren. Man sollte sich daher bei der Bodenbearbeitung der schlecht zersetzten Hochmoore etwas Zeit lassen, damit nach einer sorgfältigen Zerkleinerung der Oberflächenschicht die Witterung (Frost) und Kalkung ihre Zersetzungsarbeit leisten können. Es ist besser, ein Jahr später mit der Nutzung zu beginnen, als die Nutzpflanzen einem zu wenig gekrümelten Moorboden anzuvertrauen.

Die Hochmoore sind arm an Pflanzennährstoffen (S. 42). Ihr Kalkgehalt reicht bei weitem nicht aus, um die vorhandenen freien Humussäuren zu binden.

Der Hochmoorboden ist daher in natürlichem Zustande stets sauer. Versuche mit der Untergrundkalkung, d. h. mit der Zuführung von Kalk in tiefere Moorschichten (bis zu etwa 40 cm), haben noch nicht zu einem abschließenden Ergebnis über die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens geführt. Man hat die Beobachtung gemacht, daß eine zu starke Kalkung auch schädlich wirken kann. Das hängt wahrscheinlich zum Teil damit zusammen, daß sie die Tätigkeit der salpeterzersetzenden Bakterien (S. 31) so weitgehend steigert, daß erhebliche Salpeterverluste eintreten. Mit starken Kalkverlusten durch Auswaschung ist nach Versuchen der Moorversuchsanstalt Bremen nicht zu rechnen. Vgl. die Ergebnisse der Gerlachschen Versuche mit Niedermoorboden (Zahlentafel 44). Übrigens ist die Kalkfrage für Hochmoorböden noch keineswegs gelöst.

Der Kalk muß ebenso wie die künstlichen Dünger in der vom Pfluge oder von anderen Geräten gelockerten oberen Moorschicht (20 cm) möglichst gleichmäßig verteilt werden, da er sonst nicht hinreichend entsäuernd wirken kann. Das läßt sich nur dann erreichen, wenn er sehr feinpulverig und völlig trocken ist. Man verwendet Brandkalk, Ätzkalk (Löschkalk) oder kohlen-sauren Kalk, letzteren in der Form des Kalkmergels, der am besten als sog. Feinmergel wirkt. Bei diesem müssen mindestens 80% durch ein Sieb mit 0,3 mm Maschenweite hindurchgehen, während der Rest nicht gröber als 1 mm sein darf. Da der Kalkmergel wesentlich weniger CaO besitzt als Brandkalk, so muß bei gleicher Kalkwirkung die Mergelmenge etwa doppelt so groß sein wie die Brandkalkmenge, was die Beförderungskosten beeinflußt. In 1 kg CaCO_3 sind nur 0,56 kg CaO enthalten. Im Brandkalk ist 1 kg CaO billiger als im Ätzkalk. Ein Vorzug des Kalkmergels besteht darin, daß er bei weitem nicht so ätzend wirkt wie die beiden anderen Kalkarten. Daher wird auch der feine Kalkmergel im allgemeinen bei der Erschließung der Hochmoore bevorzugt.

Man streut den Kalk am zweckmäßigsten mit einer Düngerstreumaschine, sonst auch mit der Hand, und zwar in völlig trockenem Zustande. Die beste Vermischung mit dem Moor wird durch Einfräsen erreicht. Oder man pflügt einen Teil des Kalkes unter und streut den Rest erst nach dem Umpflügen.

Die bei der Erschließung der Übergangsmoore erforderlichen Kalkmengen sind in der Regel geringer als bei Hochmooren. Da aber der Kalkgehalt der Übergangsmoore ein sehr verschiedener ist, so ist bei ihnen eine Untersuchung des Nährstoffgehaltes vor der Kalkung unerlässlich.

Die Stickstoffarmut der Hochmoore macht eine kräftige Stickstoffdüngung erforderlich, zumal der organisch gebundene Stickstoff der Hochmoore von den Pflanzen nur schlecht verwertet wird. Eine Ausnahme bilden nur verschiedene Schmetterlingblütler, die mit Hilfe der Knöllchenbakterien den Luftstickstoff ausnutzen können (S. 32) und daher auch ohne Stickstoffgaben auskommen. Dann ist allerdings Voraussetzung, daß das Hochmoor entweder die Knöllchenbakterien bereits in ausreichender Menge enthält, was meistens nicht der Fall ist, oder daß man eine Impfung mit Reinzüchtungen der gewünschten Bakterienart vornimmt. Bisweilen sind geringe Stickstoffgaben allerdings auch zu Schmetterlingblütlern zu empfehlen, wenn zu Anfang die Tätigkeit der Knöllchenbakterien noch gering ist.

Nach den Untersuchungen der Moorversuchsanstalt Bremen hat sich der Kalkstickstoff auf Hochmoorböden nicht bewährt. Zu beachten ist auch im Hochmoor die langsame Wirkung der Ammoniak- und die schnelle Wirkung der Salpeterdünger. Auf stark gekalkten Hochmooren wirken die sauren Stickstoffdünger (schwefelsaures Ammoniak, Leunasalpeter) am besten, auf schwach gekalkten die basischen Salpeter (Natronsalpeter, Kalksalpeter, Kalkammonsalpeter).

Das Kali wird im Hochmoor von den Pflanzenwurzeln leicht aufgenommen. Ohne Kalidüngung würde daher das Moor seinen geringen natürlichen Kali-

gehalten sehr schnell verlieren. Nennenswerte Auswaschungsverluste sind anscheinend nur dann zu befürchten, wenn die Quellstoffteilchen des Moores mit Kali gesättigt sind. Man soll daher Vorratsdüngungen mit Kali vermeiden und jährlich nach Bedarf düngen. Verwendet werden sowohl die Rohsalze (Kainit, Carnallit usw.) als auch die hochwertigen Düngesalze. Brüne empfiehlt für die ersten 3 Jahre je Jahr und ha 160 bis 180 kg K_2O für Acker und Grünland. Bemerkenswert ist die Beobachtung, daß die Kalidünger einen gewissen Schutz gegen Frostschäden gewähren. Die Gründe dieser Erscheinung sind jedoch noch nicht geklärt. Eine gleiche Wirkung wird dem Kupfervitriol zugeschrieben.

Auch an Phosphorsäure ist das Hochmoor arm. Die Phosphorsäure der Hochmoore ist außerdem sehr fest an die Humusstoffe gebunden und daher den Pflanzenwurzeln nur schwer zugänglich. Auswaschungsverluste sind nicht zu befürchten. Als Düngemittel werden vorzugsweise Thomasmehl, Rhena-niaphosphat und Rohphosphate verwendet. Letztere werden durch die freien Humussäuren aufgeschlossen, die trotz der Kalkung immer noch im Hochmoor vorhanden sind. Auf eine feine Mahlung der Phosphordünger ist Wert zu legen. Superphosphat hat sich im Hochmoor nicht bewährt, da es schwefelsauren Kalk enthält und seine Umsetzung leicht zu freier Schwefelsäure führt, die ein starkes Pflanzengift ist. Im großen Durchschnitt kann man für Acker und Grünland in den ersten 3 Jahren je Jahr und ha mit 125 bis 150 kg P_2O_5 düngen.

Die organischen Dünger (Stallmist, Kompost, Jauche) sind für die Erschließung der Hochmoore von großer Bedeutung. Ihr Hauptwert liegt in der Erzielung der Bodengare. Sie führen dem Hochmoor große Mengen Kleinlebewesen zu, die im unerschlossenen, sauren Hochmoorboden nur in geringer Zahl vorhanden sind. Die Jauche wird zweckmäßig in Verbindung mit Torfstreu verwendet, die in den Hochmooren leicht zu beschaffen ist. Die organischen Dünger müssen aber stets zusammen mit Kunstdünger und Kalk Anwendung finden, da sie allein nicht ausreichen, um den nährstoffarmen, sauren Hochmoorboden anbaufähig zu machen, wie auch umgekehrt Kunstdünger und Kalk allein ohne organischen Dünger nicht zum Erfolge führen würden.

Man kann bei Neuanlagen auf Hochmoor auch die Gründüngung anwenden. Besonders zweckmäßig ist ein Gemenge von etwa 100 kg gelber Lupine und 40 kg Serradella je ha.

Sanddeckenlagen, die auf Niederungsmooren sehr lohnend sind, haben sich im allgemeinen auf Hochmoor nicht bewährt. Dagegen hat man mit einem Mischen der oberen Moorschicht mit Sand (etwa 10 cm) günstige Erfahrungen gemacht. Auch bei dem Mischverfahren auf Hochmoor ist für eine stärkere Entwässerung Sorge zu tragen, als sie ohne Sandbeimengung nötig sein würde. In Schweden und Finnland hat man mit bestem Erfolge auch Lehm verwendet, wobei schon eine Lehmschicht von nur 1 cm Stärke ausreichte, um erhebliche Mehrerträge zu liefern. Ferner sind Naturmergel, Schlick und Kuhlerde in gleicher Weise verwendet worden. Kalkhaltige Kuhlerde in etwa 3 cm Schichtstärke kann unter Umständen auch die Kalkung ersetzen.

2. Die Ackerwirtschaft.

a) **Das Brennverfahren.** Die ursprünglichste, aber heute nur noch ausnahmsweise angewandte Form der Ackerwirtschaft auf Hochmooren ist das Brenn- oder Brandverfahren. Das Moor ist für dieses Verfahren reif, sobald es mit Heide (*Calluna vulgaris*) bewachsen ist. Das zu brennende Land wird dann durch 30 bis 40 cm tiefe und ebenso breite Gräben in 10 bis 15 m Abstand entwässert und mitsamt der Heide durch schwere Hacken von dreieckiger Form im Herbst umgehackt. Nachdem es im Frühjahr (Mai) oberflächlich

abgetrocknet ist, wird es gebrannt. Das geschieht in der Weise, daß an der dem Winde abgekehrten Kante des Feldes Feuer gemacht wird, damit man Herr des Feuers bleibt und dieses nicht „fortläuft“. In einem Haufenfeuer aus Torfstücken werden glühende Torfstücke gewonnen und mit einer langstieligen eisernen Pfanne verteilt. So wird das Feuer nach und nach gegen den Wind vorgetragen. Wenn das Moor nicht nur ganz oberflächlich abgetrocknet ist, so besteht namentlich im trockenen Frühjahr die Gefahr eines Schadenfeuers. Solche kommen vor in Gestalt von Flächenbränden und Tiefenbränden. Letzteren kann man nur durch Umzingelung mit tiefen Gräben bekommen, die bis auf das Grundwasser hinabreichen. Sie wüten oft monatelang, verlöschen erst dann, wenn der Vorrat an brennbarem Moor erschöpft ist und vernichten das Moor als Brennstoff und Nutzland.

Unmittelbar nach beendetem Brennen erfolgt die Saat. Sie besteht meistens in Buchweizen, seltener in Hafer oder Kartoffeln. Eine Düngung wird nicht gegeben. Die Wirkung des Brennens beruht auf einer teilweisen Entsäuerung des Bodens und in der Aufschließung und Verdichtung der geringen Nährstoffmengen, die in der verbrannten Moormenge enthalten sind. Dazu kommt noch die zuständige Verbesserung des Moorbodens durch Beimengung der Asche. Jungfräuliches Moor kann etwa 6 bis 10 Jahre hintereinander gebrannt werden, doch lassen die Erträge von Jahr zu Jahr nach. Dann muß das Moor 20 bis 30 Jahre ruhen, bis es wieder mit Heide bewachsen ist und sich Heidehumus gebildet hat.

In nassen Jahren gelingt das Brennen nur unvollkommen und die Saatzeit fällt sehr spät. Mißernten sind die Folge. Ein weiterer Nachteil ist die Einseitigkeit der anzubauenden Früchte (Buchweizen). Für die nächste Umgebung bringt der Brandbau die Gefahr des Schadenfeuers mit sich und für die weitere Umgebung die Belästigung durch Moorrauch (Höhenrauch), der die Sonnenscheindauer beeinträchtigt.

Der Brandbau hat seine frühere Bedeutung völlig verloren und wird nur noch ausnahmsweise zur vorübergehenden Nutzung eines Hochmoores verwendet, dessen Anbau bisher nicht möglich war. Wir sind heute auch auf eine stärkere Ausnutzung unserer Moore angewiesen. Das Brennen dient ferner als vorbereitende Maßnahme für das deutsche Hochmoorverfahren (S. 364).

b) Das deutsche Hochmoorverfahren. Bei dem deutschen Hochmoorverfahren ist hinsichtlich der Kalkung und Düngung außer den Ausführungen auf S. 365 noch Folgendes zu beachten. Über die günstigste Kalkmenge, die dem Hochmoorboden bei seiner Urbarmachung zuzuführen ist, sind die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen. Man rechnet zur Zeit mit etwa 2500 bis 3000 kg CaO je ha unter Zugrundelegung einer Krumentiefe von 20 cm. Eine spätere Nachkalkung erübrigt sich, wenn man dem Moor durch kalkhaltige Phosphordünger ständig Kalk zuführt. Allerdings kann die Verwendung saurer Kunstdünger (schwefelsaures Ammoniak) eine gelegentliche Nachkalkung erforderlich machen. Die Schaffung eines richtigen Kalkzustandes auf Hochmoor wird dadurch erleichtert, daß die meistens angebauten Früchte (Roggen, Hafer und Kartoffeln) keine sehr verschiedene Wasserspaltung des Bodens (Bodenreaktion) verlangen.

Als Stickstoffdüngung auf Neuanlagen verwendet man bei Halmfrüchten 40 bis 60 kg und bei Hackfrüchten 80 bis 100 kg N je ha. Die spätere Nachdüngung kann wesentlich geringer sein, namentlich wenn größere Mengen organischen Düngers zur Anwendung kommen.

Wegen der Kali-Phosphor-Düngung in den ersten Jahren wird auf S. 366 verwiesen. Als regelmäßige Nachdüngung nimmt man je ha etwa 80 bis 100 kg K₂O und 50 bis 70 kg P₂O₅. Hackfrüchte erhalten außerdem noch eine kräftige Stallmistdüngung. Für Kartoffeln ist das schwefelsaure Kali oder die schwefelsaure Kalimagnesia (Patentkali) zu bevorzugen. Beide sind chlorfrei.

Auch auf Hochmooren birgt die dauernde Ackernutzung die Gefahr der Vermullung in sich, wenngleich bei weitem nicht in demselben Umfange wie auf Niederungsmooren. Man kann dieser Gefahr aber dadurch begegnen, daß man zeitweise kleine Mengen unzersetzten Moores aus dem Untergrund nach oben pflügt und daß man reichlich mit Stallmist düngt. Die ständige Anwendung der Fräse scheint die Vermullung des Hochmoores zu fördern, was wohl darin seinen Grund hat, daß die Fräsarbeit den Boden besonders stark durchlüftet und so seine Zersetzung begünstigt.

Das Auffrieren der Hochmoorböden kann den Wintersaaten erheblichen Schaden bringen. Ein rechtzeitiges Anwalzen ist daher meistens unerläßlich.

Die wichtigsten Nutzpflanzen sind Winter- und Sommerroggen, Hafer und Kartoffeln, in zweiter Linie auch Runkel- und Steckrüben, Futterkohl, Erbsen und Pferdebohnen. Besonders wichtig ist die Sortenwahl. Man bevorzugt wenig frostempfindliche Kartoffelsorten, die aber nicht zu früh gepflanzt werden dürfen, ferner den nordwestdeutschen Moorroggen und verschiedene Arten des Moorhafers. Pflanzensorten, die auf Mineralboden gezüchtet sind, müssen sich häufig den Verhältnissen im Moor erst anpassen. Die auf Hochmoor gebauten Kartoffeln sind fast stets verhältnismäßig arm an Stärke, so daß man besonders stärkereiche Sorten pflanzen soll.

Zahlentafel 110.

	Ernten in dz/ha		
	Korn	Stroh	Knollen
Winterroggen . . .	20—24	50—60	—
Sommerroggen . . .	18—20	35—40	—
Hafer	22—26	45—50	—
Kartoffeln	—	—	200—250

Der mittlere Jahresertrag der Hochmoorpflanzen wird durch die unvermeidlichen Frostgefahren herabgedrückt. Brüne rechnet in Nordwestdeutschland höchstens mit den nebenstehenden Mittelträgen in dz je ha.

Wichtig zur Bekämpfung der Unkräuter ist auch auf

dem Hochmooracker eine zweckmäßige Fruchtfolge als Wechsel von Halm- und Blattfrüchten. Als häufigste Unkräuter trifft man u. a. folgende:

Galeópsis Tétrahit (Stechender Hohlzahn).
Hólcus móllis (Weiches Honiggras).
Polýgonum Persicária (Floh-Knöterich).
Rúmex acetosélla (Kleiner Sauerampfer).

Senécio silváticus (Wald-Kreuzkraut).
Senécio vulgáris (Gemeines Kreuzkraut).
Stellária média (Vogelmiere).

3. Die Grünlandwirtschaft (als deutsches Hochmoorverfahren).

Die Anlage von Wiesen und Weiden ist auch auf Hochmoor die von Natur gegebene Nutzungsart (S. 359).

Um möglichst bald einen geschlossenen Pflanzenbestand zu erhalten, ist zunächst ein feinkrümeliges Saatbett herzustellen, in dem die nur angewalzte Saat lückenlos keimt. Das feine Krümelgefüge ist bei Grünland mit seinen zarten Sämereien wichtiger als bei Ackernutzung. Größere Unebenheiten der Mooroberfläche sind vor der Saat einzuebnen, da später ein Einebnen beim Grünland im Gegensatz zum Acker nicht mehr möglich ist. Aus dem gleichen Grunde müssen auch Kalk und Kunstdünger bei Grünlandneuanlagen von Anfang an sehr gut im Boden verteilt werden, weil eine spätere Vermischung durch Pflügen wie beim Acker fortfällt.

In der Regel schiebt man der Einsaat einen zwei- bis dreijährigen Vorfrucht- bau voraus. Man erreicht durch die mehrmalige Bearbeitung des Bodens die Beseitigung von Unebenheiten, die Verteilung von Unkräutern, eine gute Krümelung, gute Verteilung des Kalkes und der Kunstdünger sowie überhaupt eine bessere Bodengare. Als Vorfrüchte dienen Hafer und Kartoffeln.

Für die Einzelheiten der Ansaat gilt auch beim Hochmoor das auf S. 360 Gesagte. Eine Deckfrucht (Überfrucht) hat sich im Hochmoor nicht bewährt. Man wird erfahrungsgemäß nur dann schnell einen lückenlosen guten Bestand erhalten, wenn man vor der Ansaat mit der schweren Walze eine dichte Lagerung des Moores erzielt und wenn man die junge Saat mitsamt den Unkräutern schon nach einigen Wochen mäht. Denn gerade die Unkräuter werden durch das Mähen in ihrem Wachstum erheblich gestört, viel mehr als die Gräser.

Wiesen und Weiden sind für eine starke Kalkung besonders dankbar, namentlich die Schmetterlingblütler des Grünlandes. Man gibt daher den Grünlandneuanlagen mehr Kalk als den Ackerneuanlagen, etwa 4000 bis 4500 kg CaO je ha. Dabei wird eine Krumentiefe von etwa 20 cm vorausgesetzt. Als Nachkalkung genügt dann der Kalkgehalt der kalkhaltigen Phosphordüngung.

Als einmalige Stickstoffdüngung zu Grünlandneuanlagen kann man etwa 30 bis 40 kg N je ha wählen, um die junge Saat zu kräftigen. Dagegen ist die Frage, ob Hochmoorwiesen einer laufenden Stickstoffdüngung bedürfen, noch nicht geklärt. Ein siebenjähriger Versuch der Moorversuchsanstalt Bremen mit 30 kg N je ha ergab keinen wirtschaftlichen Erfolg. Ob größere Stickstoffgaben sich lohnen, bleibt noch festzustellen. Auf Weiden scheinen die Aussichten für einen Erfolg der laufenden Stickstoffdüngung günstiger zu liegen als auf Wiesen. Doch fehlt es auch hierüber noch an ausreichenden Versuchen. Zur Zeit ist man daher auf eigene Feldversuche angewiesen.

Auch Stalldünger und Jauche sind auf Hochmoorgrünland mit bestem Erfolg zu verwenden. Das gilt unbeschränkt für Neuanlagen, während später darauf Bedacht zu nehmen ist, daß die Kleearten durch starke Stickstoffgaben nicht zu sehr unterdrückt werden. Stalldünger wird auf Wiesen zweckmäßig im Februar und März gegeben, auf Weiden später, etwa im Juni, da das Weidevieh die im Februar oder März gedüngten Flächen offenbar aus Geschmackgründen meidet.

Die erstmalige Kali-Phosphor-Düngung wurde bereits auf S. 366 behandelt. Laufend gibt man auf Wiesen und Weiden dieselben Mengen wie im Niederungsmoor (S. 360).

Für die Pflege der Hochmoorwiesen (Walzen, Beweiden usw.) gelten die Ausführungen auf S. 361ff. Zahlreiche Beobachtungen weisen darauf hin, daß Hochmoorwiesen im allgemeinen ohne gelegentliches Beweiden überhaupt nicht auf der Höhe des Ertrages zu halten sind. Umgekehrt ist auch eine vorübergehende Heunutzung auf Weiden durchaus zweckmäßig.

Das lästigste Unkraut auf dem Hochmoorgrünland, namentlich auf Weiden, sind die Binsen. Bei Neuanlagen kann man sie durch einen mehrjährigen Vorfruchtbau unterdrücken, im übrigen hilft oft die schwere Walze, ein Dränen der verbinsten Flächen oder ein häufiges Abmähen. Einzelne Binsenhorste kann man auch mit Staubkainit oder ähnlichen Mitteln vernichten. Mit Binsen durchsetzter Grabenaushub darf nicht auf dem Moor verteilt werden, ist vielmehr zu kompostieren. Bemerkenswert ist, daß man auf Hochmoorweiden weder den giftigen Sumpfschachtelhalm (*Equisétum palústre*) noch den Leberegel findet, letzteren deshalb nicht, weil sein Zwischenwirt, die kleine Schlammschnecke, in dem sauren Wasser des Hochmoores nicht leben kann. Über die Bekämpfung der *Tipula*, die erhebliche Schäden auf Wiesen und Weiden, aber auch an Wintersaaten anrichten kann, wurde bereits auf S. 362 das Wichtigste ausgeführt.

Gut gepflegte Hochmoorwiesen liefern hohe Massenerträge eines sehr nahrhaften Futters. Nach Ermittlungen des „Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche“, die in den Jahren 1909—1911 in den verschiedensten Moorgebieten angestellt wurden, ergab sich ein mittlerer Heuertrag von 68 dz je ha. Für das Futter einer Hochmoorweide fand die Moorversuchsanstalt Bremen als Durchschnitt einer Weidezeit, auf 85%

Zahlentafel 111.

	Hochmoor- weide %	Fettweide (nach Kellner) %
Rohfaser . . .	15,12	15,60
Fett	3,53	3,90
Roheiweiß . . .	23,41	17,55
Kali	2,54	3,40
Kalk	1,48	1,01
Phosphorsäure .	1,00	0,75

Trockenmasse berechnet (S. 63), die nebenstehenden Werte (s. Zahlentafel 111). Ein Vergleich mit den Kellnerschen Zahlen für Fettweiden zeigt den Vorsprung der Hochmoorweide beim Eiweiß, Kalk und bei der Phosphorsäure. Der hohe Kalk- und Phosphorgehalt dürfte der Grund dafür sein, daß gerade das Jungvieh, wie die Erfahrung zeigt, auf Hochmoorweiden ganz besonders gut gedeiht.

D. Bauten im Moor.

Vor der Erschließung größerer Moorflächen muß man sich darüber klar werden, wie die Flächen später genutzt werden sollen. Namentlich ist es von Bedeutung, ob die das Moor nutzenden landwirtschaftlichen Betriebe mit ihren Gebäuden bereits vorhanden sind oder ob sie als Neusiedlungen erst geschaffen werden müssen. Bei einer großen Flächenausdehnung des Moores ist zu prüfen, ob vielleicht ein Teil des zu erschließenden Moores soweit von den bestehenden Betrieben entfernt liegt, daß die Nutzung wegen dieser großen Entfernung mit erheblichen Unkosten verbunden ist und daß aus diesem Grunde neue Stellen im Moor selbst einzurichten sind. Das kann auch dann nötig werden, wenn vorhandene Betriebe so große Moorflächen besitzen, daß sie in absehbarer Zeit nicht in der Lage sind, die bisher schwach genutzten Flächen in nachhaltige Nutzung zu nehmen. Von der Beantwortung der vorstehenden Fragen ist die Anordnung des Wegenetzes abhängig, das von Anfang an auf eine etwaige Besiedlung abgestimmt werden muß. Dasselbe gilt für einen Teil der Gräben, die die späteren Siedlungsgrundstücke nicht wild durchschneiden dürfen, sondern im allgemeinen auf die Grundstücksgrenzen zu legen sind. Da vielfach der Grabenaushub, soweit er aus Sand besteht, für den Wegebau Verwendung findet, ist es erforderlich, die nötigen Wegebauten in den Entwässerungsplan hineinzuarbeiten und zusammen mit den Vorflutern und Gräben auszuführen. Der Erfolg einer umfangreichen Moorerschließung hängt häufig entscheidend davon ab, daß ausreichende Wegeverbindungen und Siedlerstellen geschaffen werden.

1. Wegebauten.

Keine Schwierigkeiten bietet der Wegebau bei der Verfehnung, da ja hier die Wege auf dem freigelegten Untergrund des Moores angelegt werden können.

Auch in flachgründigen Mooren bis zu etwa 1 m Stärke sind besondere Schwierigkeiten beim Wegebau in der Regel nicht zu erwarten. Befestigte Straßen sollte man in solchen Fällen tunlichst auf den Untergrund legen, nachdem das Moor im Zuge der Straße entfernt und wenn möglich als Torf verwertet ist. Nur ist zu beachten, daß der Wasserstand der Straßengräben in flachgründigen Mooren mit durchlässigem Untergrund nicht zu tief liegen darf (S. 353). Man kann aber trotzdem meistens mit vertretbaren Kosten eine ausreichende Entwässerung der Straße erreichen, wenn man ihre Oberfläche durch eine Sandschüttung über den Untergrund hinaushebt. Der Sand läßt sich bisweilen aus benachbarten Gräben oder aus Sandhorsten im Moor gewinnen. Bei besonders wichtigen Straßen darf man auch höhere Kosten nicht scheuen, um das Moor zu entfernen und durch eine Sandschüttung zu ersetzen. Letztere ist jedoch entbehrlich, wenn das Moor zu beiden Seiten der Straße in absehbarer Zeit abgetorft werden soll.

In tiefgründigen Mooren ist in der Regel eine Entfernung des Moores über dem Wege mit entsprechender Sandschüttung nicht durchzuführen, es sei

denn, daß die Bedeutung einer Straße es trotz der hohen Kosten erfordert. Es bleibt dann oft nichts anderes übrig, als den Weg auf dem Moor selbst anzulegen. Das bedingt zunächst eine gründliche Entwässerung des Wegekörpers durch beiderseitige Wegegräben, die eine Tiefe von 1,0 bis 1,3 m erhalten. Eine schrittweise Vertiefung der Gräben und die Anordnung von Bermen sind bisweilen erforderlich, damit die Grabenböschungen standfest werden. Der Abstand der Gräben richtet sich nach der gewünschten Breite des Weges. Diese muß größer sein als auf Mineralboden, weil die Wagenräder den Grabenböschungen nicht zu nahe kommen dürfen. Hauptwege erhalten eine Breite zwischen den oberen Grabenrändern von 10 bis 12 m. Am zweckmäßigsten ist es, den zwischen den Gräben stehenbleibenden Moorkörper sich allmählich entwässern zu lassen, ohne diese Entwässerung durch besondere Quergräben zu beschleunigen. Denn letztere geben später leicht den Anlaß zu einem unregelmäßigen Setzen

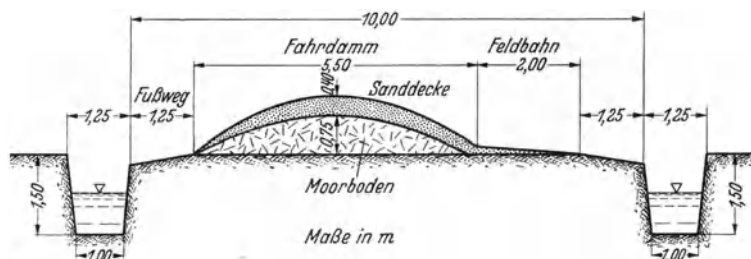


Abb. 242. Hauptweg im Moor. (Nach Brüne.)

des Moorkörpers und damit auch des Weges. Nur wenn eine schnelle Fertigstellung des Weges unbedingt nötig ist, wird man solche Quergräben ziehen und sie später wieder sorgfältig mit Moorboden, der festzustampfen ist, verfüllen.

Der Moorkörper ist zunächst mit Moorboden so aufzuwölben (Abb. 242), daß nach der Sackung eine ausreichende Wölbung bleibt. Der für die Aufwölbung nötige Moorboden kann in der Regel aus den Wegegräben gewonnen werden.

Alle Hauptwege erhalten über dem aufgewölbten Moorboden eine Besandung. Die Sanddecke ist um so stärker herzustellen, je schwerer der Wagenverkehr und je feiner der Sand ist. Bei etwas lehmhaltigem, groben Sand wird man häufig schon mit einer 30 bis 40 cm starken Decke auskommen, bei feinem Sand können 50 bis 60 cm erforderlich werden. Man kann statt des Sandes auch Schlacke verwenden, wenn diese mit vertretbaren Kosten zu beschaffen ist. Je stärker die Sanddecke ist, um so größer ist ihr Druck auf die Grabenböschungen. Daher ist auf eine ausreichende Breite der Seitenwege (Bankette) Bedacht zu nehmen.

Die Unterbettung der Sanddecke mit Strauchbündeln oder Knüppeln ist nur ein Notbehelf, wenn wegen der Eilbedürftigkeit des Wegebauens die Entwässerung eines sehr weichen Moores nicht abgewartet werden kann. Man legt dann die Stammenden in die Mitte des Weges, damit die Zugtiere hier eine möglichst starke Unterlage finden.

Bei weniger wichtigen Wegen kann man auf die Sanddecke verzichten. Die mit Moorboden hergestellte Überhöhung ist dann gut auszugleichen sowie nach Kalkung und Düngung mit einem Kleegrasgemenge anzusäen. In dem Saatgemisch sind solche Gräser zu bevorzugen, die reichlich Ausläufer treiben und dadurch der Wegedecke eine gewisse Festigkeit geben.

Untergeordnete Wirtschaftswege erhalten bisweilen überhaupt keine Wegegräben. Das hat den Vorteil, daß man von jeder Stelle auf das Feld abbiegen kann und daß die Kosten für Überfahrten gespart werden. Als Breite genügen 5 m. Die Befestigung geschieht mit einer Sanddecke von 15 bis 20 cm oder durch Ansaat.

Zweckmäßig ist das Anpflanzen von Wegebäumen, zum mindesten an den Hauptwegen. Die Pflanzlöcher sind in Würfelform von 60 bis 80 cm Kantenlänge auszuheben und mit gutem Boden zu füllen. Hierfür hat sich ein Gemisch von Mineralboden mit etwas Moor und Kompost bewährt. Die Löcher sind tunlichst nahe an die Grabenkante zu rücken, um die Nutzbreite des Weges nicht zu sehr einzuschränken. Es empfiehlt sich, sie über Eck anzuordnen (Abb. 243), weil dann der weiche Grabenrand der schweren Lochfüllung und dem Druck des vom Winde bewegten Baumes besser widersteht.

Neben den in tiefgründigen Mooren vorherrschenden Sand-, Kies- und Schlackenwegen kann auch der Bau von Straßen in Frage kommen. In den Hochmooren Nordwestdeutschlands findet man besonders Klinkerstraßen, die sich bei sachgemäßer Herstellung durchaus bewährt haben. Voraussetzung für den Bau einer Klinker-, Schotter- oder Pflasterstraße ist jedoch, daß sich das Moor vorher ausreichend gesetzt hat. Man wird daher in der Regel zunächst Sandwege anlegen und erst nach einer längeren Reihe von Jahren zur Beschotterung oder Pflasterung schreiten. Schotterstraßen vertragen noch eher kleine Sackungen als Pflasterstraßen, da die Schotterdecke durch Aufhacken und Nachfüllen der gesackten Stellen verhältnismäßig leicht wieder ausgeglichen werden kann.

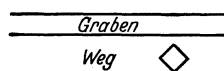


Abb. 243. Anordnung der Pflanzlöcher.

2. Brücken und Durchlässe.

Brücken von geringerer Bedeutung sollten im Moor weitgehend aus Holz hergestellt werden. Man kann mit hölzernen Ramppfählen auch noch in ziemlich tiefgründigen Mooren den tragfähigen Untergrund erreichen. Das Holz hat außerdem, soweit es im Moor steht, eine befriedigende Lebensdauer und läßt sich auch oberhalb des Moores durch eine gelegentliche Erneuerung des Schutzanstriches ausreichend lange erhalten.

Demgegenüber besteht bei Betonbauten im Moor häufig die Gefahr einer Zerstörung durch Säuren (S. 28). Will man Beton verwenden, so ist stets eine Untersuchung des Moores und seines Wassers auf betonschädliche Stoffe erforderlich. Der Beton ist nötigenfalls durch eine Klinkerverblendung oder durch einen besonders dichten Vorsatzbeton mit Schutzanstrich gegen den Angriff der Säuren zu schützen. Dichter Beton muß möglichst wenig Hohlräume enthalten, was durch richtige Wahl der Korngrößen der Zuschlagstoffe erreicht wird. Am meisten gefährdet sind diejenigen Betonteile, die ständig mit fließendem Wasser und dadurch dauernd mit neuen Säuren in Berührung kommen. Es empfiehlt sich, die Durchlässe aus Tonrohren herzustellen, die auch im Moor unbegrenzt haltbar sind. Allenfalls kann man zur Kostenersparnis auch die geschleuderten Zementrohre verwenden, die infolge der Art ihrer Herstellung ein sehr dichtes Gefüge besitzen. Sie sind innen und außen mit einem Schutzanstrich zu versehen.

Die Versuche des Moorausschusses über die zerstörende Wirkung des Moores auf Beton (24) haben ergeben, daß ein möglichst dichter Beton besonders wichtig ist. Bei fetter Mischung kann man Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement verwenden. Schutzanstriche halten länger auf rauhen als auf glatten Flächen und sind erst aufzubringen, wenn der Beton genügend erhärtet ist. Bewährt haben sich Anstriche mit Preolit und Awa-Asphalt, weniger solche mit Teerasphalt. Auch Inertol ist zu empfehlen.

Liegt der mineralische Untergrund sehr tief, so greift man zur sog. schwimmenden Gründung, d. h. man setzt die Brückenpfeiler und Durchlässe auf eine waagerechte Unterlage aus Eisenbeton oder Holz. Wichtig ist, daß die Unterlage ein in sich starrer Bauteil ist, der die Sackungen des Moores mitmacht und sich dabei, ohne zu kanten, nach unten bewegt. Das läßt sich nur dann

erreichen, wenn die Unterlage durch das Bauwerk so belastet wird, daß in jeder waagerechten Richtung eine spiegelbildliche Druckverteilung auf das Moor stattfindet (S. 374).

3. Hausbauten.

Während die Errichtung von Häusern bei der Verfehnung keine Schwierigkeiten bereitet, bedarf ihre Gründung namentlich auf tieferen Mooren besonderer Maßnahmen. Man prüft zunächst, ob Siedlungshäuser für Mooregebiete nicht auf mineralischem Boden gebaut werden können, d. h. entweder unmittelbar am Rande des Moores oder auf im Moore befindlichen Sandhorsten. Man ist aber häufig gezwungen, den Bau auf mehr oder weniger tiefem Moor durchzuführen. Bei der Auswahl der Baustelle sind folgende Forderungen zu stellen: gesicherte Entwässerung, genügende Tragfähigkeit des Baugrundes und nicht zu hohe Gründungskosten. Man baut entweder mit fester oder mit schwimmender Gründung.

Die feste Gründung erreicht man dadurch, daß man Pfähle oder Pfeiler durch das Moor hindurch bis auf den Untergrund hinabtreibt und auf ihnen das Bauwerk errichtet, oder daß man das Moor bis auf den Untergrund abgräbt und das Bauwerk auf diesen stellt. Bei letzterem Verfahren erhält das Gebäude eine so tiefe Lage, daß seine Entwässerung schwierig und seine Lüftung in einer Vertiefung mangelhaft werden kann. Gegen das erste Verfahren besteht das Bedenken, daß das Moor ringsherum mit dem Fortschreiten der Entwässerung sackt, während das Haus unverrückbar stehen bleibt, also schließlich auf einem kleinen Hügel liegt, der bei allen Wirtschaftsfuhren überwunden werden muß. Dagegen bietet die feste Gründung den Vorteil, daß man das Haus fester und schwerer bauen kann, es daher eine längere Lebensdauer besitzt und geringere Abschreibungen erfordert als bei der schwimmenden Gründung. Ein weiterer Vorteil ist die feste Höhenlage des Hauses und daher eine sichere Beurteilung der Entwässerung. Bei tiefem Moorstande können aber die Kosten der festen Gründung so hoch werden, daß die schwimmende vorteilhafter wird. Man muß daher im Einzelfall durch vergleichende Kostenüberschläge prüfen, welche Gründungsweise am wirtschaftlichsten ist.

Bei der festen Gründung kann man folgende Verfahren anwenden:

1. Sandschüttung bis auf den Mooruntergrund. Die ganze Moormasse unter dem Hause ist fortzubaggern. Die Sandschüttung muß etwa 2 m vor die Mauerflucht vorspringen, um spätere Abrutschungen unter der Baulast zu vermeiden. Wenn man an Kosten sparen will, unterschüttet man nicht die ganze zu bebauende Fläche, sondern nur die einzelnen Gründungsmauern. Bei Berechnung der erforderlichen Sandmasse ist zu berücksichtigen, daß die Seitenwände des Schüttungskörpers weit in das weiche Moor auszubauchen pflegen.

2. Hölzerner Pfahlrost muß dauernd und ganz unter Wasser liegen, da er andernfalls durch Fäulnis zu schnell zerstört wird. Man hat daher die Rostoberfläche von vornherein so tief anzuordnen, wie später nach vollendeter Sackung und Entwässerung des Moores der tiefste Grundwasserstand liegen wird. Entweder unterrostet man die ganzen Mauerlängen, oder man bildet aus dem Pfahlrost einzelne Pfeiler, deren Zwischenraum mit Trägern aus Eisen oder Eisenbeton oder mit Mauerbögen überspannt wird. Der Pfahlrost unter den Gründungsmauern wird am besten aus zwei Pfahlreihen hergestellt (Abb. 244).

3. Unmittelbare Mauerung von Pfeilern, die oben durch Träger oder Bögen miteinander verbunden werden.

4. Betonpfähle sind im Moor nicht zu verwenden, wenn es betonschädliche Stoffe in größerer Menge enthält. In kalkreichen Niederungsmooren besteht im allgemeinen keine Gefahr. Man kann die Pfähle entweder als fertige Eisen-

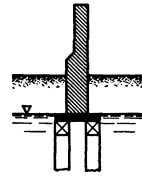


Abb. 244. Hausgründung auf Pfahlrost.
(Nach Krüger.)

betonpfähle rammen oder an Ort und Stelle stampfen, indem man 50 cm weite genietetete Blechröhren ins Moor bis auf den Sanduntergrund versenkt, das Moor aus ihrem Innern ausbohrt und sie beim Betonstampfen wieder herauszieht (Abb. 245). Die Eisenbetonpfähle haben den Vorteil, daß man sie zum Schutz gegen betonschädliche Stoffe mit einem sehr dichten Zementglattstrich versehen kann.

Das Wesen der schwimmenden Gründung besteht darin, daß man das Haus oben auf dem Moor errichtet, so daß es die Moorsackungen mitmachen muß. Sie sind unbedenklich, wenn sie allmählich und für das ganze Bauwerk gleichmäßig eintreten. Daher muß auf gleichmäßige Belastung der ganzen Baufläche Bedacht genommen werden. Den dennoch auftretenden kleineren Ungleichmäßigkeiten der Sackung ist durch ein besonders festes Gefüge des Hauses Rechnung zu tragen. Bei Steinbauten wendet man zu diesem Zweck Eiseneinlagen an, bei Fachwerkbauten muß die Verzimderung besonders stark sein. Unter ganz schwierigen Verhältnissen hat sich Eisenfachwerk gut bewährt. Unzulässig ist es, dasselbe Bauwerk teils fest, teils schwimmend zu gründen. Dabei sind Verschiebungen und Risse unvermeidlich.

Bei der schwimmenden Gründung muß man die voraussichtliche Sackung des Hauses, die bei großer Moortiefe recht erheblich sein kann (Abb. 246), einschätzen. Durch die Auflast des Hauses entsteht um dasselbe eine Mulde, von der das seitlich zufließende Wasser durch eine das Haus ringförmig umgebende Entwässerung fernzuhalten ist. Diese wirkt am besten als offener Grabenzug, der aber zur Vermeidung einer Wirtschafterschwernis unter Umständen auch mit Strauch- oder anderen Dränen zu gelegt werden kann. Er muß von der Hausflucht überall 5 bis 10 m entfernt sein, damit keine Verdrückungen durch die Hauslast eintreten.

Auf eine frostfreie Lage der Gründungssohle wird verzichtet. Die durch Frost verursachten Bewegungen spielen gegenüber den sonst auftretenden keine Rolle. Eine anfängliche Überhöhung des Bauplatzes ist empfehlenswert, um nach beendeter Sackung eine angemessene Höhenlage des Hauses zu dem

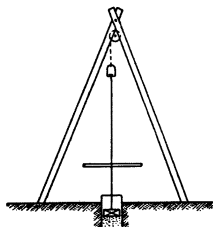


Abb. 245. Stampfen von Betonpfählen. (Nach Krüger.)

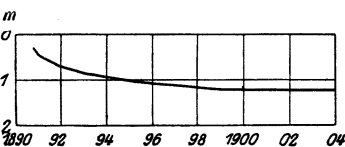


Abb. 246. Sackung eines Fachwerkhauses in Marcardsmoor auf 4 m tiefem Hochmoor. (Nach Krüger.)



Abb. 247. Verhalten des Moores bei Belastung. (Nach Krüger.)



Abb. 248. Ring- und Flächenschüttung. (Nach Krüger.)

umgebenden Moor zu erhalten. Die zähe, auf der Baustelle vorhandene Heideschicht muß unversehrt bleiben, da sie die Tragfähigkeit des Moores erhöht. Als Verfahren der schwimmenden Gründung kommen in Frage:

1. Die Sandschüttung dient zur besseren Druckverteilung. Die Mitte der beschütteten Fläche wird bei gleichmäßig starker Schüttung mehr belastet als die Ränder und sackt daher auch mehr. Die Hauslast wirkt in demselben Sinne. Das Moor wird also zur Seite gedrückt (Abb. 247). Dem läßt sich dadurch entgegenarbeiten, daß man zuerst eine Ringschüttung *I* herstellt und dann die Flächenschüttung *II* (Abb. 248, stark verzerrt gezeichnet). Unmittelbar auf der Sandschüttung kann man die Mauern errichten, deren Unterfläche durch starke Abtreppung je nach Belastung auf 0,5 bis 1,0 m Breite vergrößert wird. Oder man bringt unter den Wänden einen hölzernen Schwellrost an, der auf der Sandschüttung oder in ihrem oberen Teil liegt. Die Roste müssen durch einzelne, den ganzen Grundriß durchquerende Hölzer miteinander ver-

bunden werden, damit sie auf dem nachgiebigen Moore bei Schiefsackungen nicht auseinanderweichen. Man verwendet zur Kostenersparnis zu den Schwellhölzern meistens entrindetes Rundholz. Zwei Langschwellen werden mit darunter liegenden, etwa 2 m langen Querschwellen verkämmt. Die Lebensdauer der Rosthölzer ist durch eine Tränkung zu verlängern.

2. Sandgräben. Unter den Mauern werden 0,8 bis 1,1 m breite Gräben bis auf das festere Moor ausgehoben und mit Sand zugeschlämmt. Darüber liegt der Mauersockel aus Eisenbeton, der durch einzelne Platten oder Eisenbetonschwellen unterstützt wird (Abb. 249).

3. Schwellrost aus Eisenbetonbalken. Die Balken erhalten einen T-förmigen Querschnitt und werden zwecks Druckverteilung quer unter die Gebäudemauern geschoben (Abb. 249). Man kann auch zuvor auf der Mooroberfläche noch große Soden aus dem zähen, weißen Torf verlegen.

4. Eisenbetonplatten. Man stellt entweder eine zusammenhängende Platte aus Beton mit Eisenbewehrung unter dem ganzen Gebäude her oder unterstützt die einzelnen Wände durch einzelne Platten. Eine zusammenhängende Eisenbetonplatte ist die sicherste Art der schwimmenden Gründung.

Unter den vorstehend genannten Gründungsarten sind auch Verbindungen möglich. Das Moor darf den Beton nicht gefährden.

Für die Bauweise der Häuser selbst kommen in Frage: Holz, Fachwerk und Steinbau. Holzbau (in ostpreußischen Mooren in Form von Blockhäusern) hat den Vorteil, daß er das Moor nur sehr wenig belastet und sich etwaigen Schiefsackungen von allen Bauformen am besten anzupassen vermag, ohne Schaden zu nehmen. Doch ist der Holzbau leicht vergänglich und feuergefährlich.

Der Fachwerkbau ist, abgesehen von der Gründung, nicht viel billiger als der Steinbau. Bei sehr schwierigem Baugrunde können aber die Gesamtkosten für Fachwerk erheblich niedriger werden als für Steinbau, da die Gründung leichter und daher billiger zu sein pflegt. Das Fachwerk ist gut geeignet, die infolge von Schiefsackungen entstandenen Spannungen ohne Schaden für den Bestand des Bauwerkes aufzunehmen, besonders Eisenfachwerk. Dadurch, daß man das Fachwerk mit einem Stein- (Beton-) Sockel untermauert, hebt man das Holzwerk aus der tieferen und feuchteren Lage heraus. In den nassen und stürmischen norddeutschen Hochmooren ist Holzfachwerk nicht recht geeignet, da in die Fugen zwischen Holz und Steinen leicht Schlagregen eindringt und die frühzeitige Zerstörung des Holzes begünstigt. Mindestens sollte in den Außenwänden nur Eichenholz verwendet werden.

Auch der Steinbau verträgt unter nicht ausnahmsweise ungünstigen Bodenverhältnissen eine schwimmende Gründung, wenn durch Eiseneinlagen für Aufnahme der Zugspannungen Sorge getragen wird. Besonders wirkungsvoll ist die Eiseneinlage in einem aus Beton gestampften Mauersockel (Abb. 249). Der Steinbau hat aber bei schwimmender Gründung den Nachteil eines erheblichen Gewichtes.

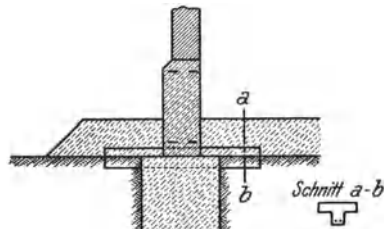


Abb. 249. Hausgründung auf Sandgräben.
(Nach Krüger.)

IX. Die Landgewinnung.

Unter Landgewinnung versteht man die Verwandlung bisher vom Wasser bedeckter Flächen in Nutzland. Wir können drei Gruppen dieser Art unterscheiden. Zunächst die Aufspülung von Wassertümpeln, alten Flußschlenken, Seen oder Teilen davon mit Baggergut, das in der Nähe gewonnen wird. Wichtig

ist eine vorausgehende Untersuchung des Baggerbodens auf pflanzenschädliche Stoffe. Solche bilden sich durch stoffliche (chemische) Umsetzungen zuweilen auch erst dann, wenn das Baggergut mit der Luft in Berührung kommt. Der tote Baggerboden ist für das Wachstum unserer Nutzpflanzen in der ersten Zeit meistens ungeeignet. Es bedarf dann geraumer Zeit und erheblicher Anstrengungen, bis der Boden genügend zersetzt und mit Humus und Kleinlebewesen angereichert ist. Zu beachten sind die häufig auftretenden Fischereischäden.

Eine zweite Gruppe bilden die Seesenkungen. Sie gehören zu den schwierigsten Bodenverbesserungen, weil ihre Wirkung meistens sehr schwer vorherzusagen ist. Die Tieferlegung des Seespiegels oder gar die gänzliche Trockenlegung des Sees hat eine Absenkung des Grundwasserspiegels in der näheren Umgebung des Sees zur Folge, die um so größer ist, je tiefer der See abgesenkt wird und je durchlässiger der Boden ist. Die Absenkung des Grundwasserspiegels kann für die vorhandenen Nutzungsarten (Acker, Grünland, Wald) günstig oder ungünstig sein. Ihr Umfang läßt sich nur auf Grund eingehender Kenntnis der erdkundlichen (geologischen) Verhältnisse einschätzen. Neben der Durchsicht der erdkundlichen Karten sind in der Regel besondere Bohrungen und Bodenuntersuchungen unentbehrlich. Die ständige Absenkung des natürlichen Grundwasserspiegels ist häufig nur durch Schöpfwerke zu erreichen. Die von ihnen zu pumpende Wassermenge und die daraus sich ergebenden Pumpkosten sind schwer zu berechnen. Außer dem oberirdischen Zufluß fließt dem Schöpfwerk auch das Sickerwasser des unterirdischen Sammelgebiets (S. 114) zu, soweit es nicht durch die Pflanzenwurzeln oder auf andere Weise, z. B. durch Brunnen, verbraucht wird. Wie sich dieser unterirdische Zufluß durch die Seesenkung vergrößert, läßt sich nur roh schätzen. Besonders schwierig liegen im allgemeinen die Verhältnisse in unmittelbarer Nähe der Meeresküste, wo bereits kleine Adern von Kies oder grobem Sand ein starkes, unberechenbares Durchquellen des Meerwassers bewirken können. Wichtig ist eine eingehende zuständige und stoffliche Untersuchung des Seeuntergrundes. Es ist festzustellen, ob er sich für die landwirtschaftliche Nutzung eignet und in welchem Umfange er durch die Wasserentziehung sacken wird. Sackungen der auf dem Boden des Sees lagernden Schlammschicht um 30 bis 50% ihrer ursprünglichen Höhe sind keine Seltenheit. Schließlich muß bei jeder Seesenkung auch der für die Fischerei entstehende Schaden berücksichtigt werden (S. 170).

Im folgenden soll uns nun die dritte Gruppe der Landgewinnungsarbeiten kurz beschäftigen, soweit es im Rahmen dieses Buches möglich ist. Es ist die Landgewinnung an unserer Nordseeküste. Ihre Besonderheit besteht darin, daß die gestaltenden Kräfte der Natur der Landgewinnung dienstbar gemacht werden.

A. Die gestaltenden Kräfte.

Die an der Nordseeküste wirkenden Naturkräfte äußern sich in Bewegungen des Wassers, der Luft und der Erde. Diese Kräfte haben im Laufe der Jahrhunderte erhebliche Veränderungen der Küste bewirkt. So hat das Meer in den letzten 300 Jahren die schleswig-holsteinische Westküste stark angegriffen und zurückgedrängt. Die das Bild der Küste gestaltenden Kräfte sind aufbauender und zerstörender Art. Das Überwiegen der einen oder der anderen bestimmt die Gesamtwirkung. Nur wenn man diese Kräfte, ihr Zusammen- und Gegenspiel kennt, wird man sie durch wasserbauliche Maßnahmen so lenken können, wie es für die Landgewinnung günstig ist.

Die zerstörende Kraft der Meereswellen ist auch dem Nichtfachmann zur Genüge bekannt. Die gewaltigen Sturmfluten, die an unserer Nordseeküste im großen Durchschnitt etwa alle 5 bis 7 Jahre einmal eintreten, können große

Landmassen verschlingen. Ihre Kraft pflegt um so stärker zu sein, je weniger schräge sie die Küste treffen. Aber nicht minder gefährlich können die ständig nagenden kleinen und mittleren Meereswellen werden. Ihr unablässiger Angriff entreibt dem Lande ein Bodenteilchen nach dem anderen und saugt sie mit dem Rückstrom ins Meer. Auch die Meeresströmungen können Gefahren bringen, wenn sie gleichlaufend mit der Küste in deren unmittelbarer Nähe verlaufen (Küstenströmung) und auf ihrem Wege ständig Bodenteilchen entführen. Denn je tiefer das Meer vor der Küste ist, um so größer ist die Gefahr des Abbruchs, um so schlechter sind die Aussichten der Landgewinnung.

Der zerstörenden Tätigkeit des Meeres stehen jedoch zum Glück auch stark aufbauende Eigenschaften gegenüber. So können z. B. die vorstehend genannten Küstenströmungen auch Sand heranzuführen und vor der Küste abwerfen. Diese Strömungen sind übrigens nach Richtung und Stärke keineswegs unveränderlich. Schon geringe Ursachen können eine bislang günstige Strömung zur schädlichen umgestalten. Derartige Vorgänge entziehen sich bisher jeder Berechnung. Von größter Bedeutung ist der Schlickgehalt des Nordseewassers, der in Verbindung mit Ebbe und Flut die Landgewinnung überhaupt erst ermöglicht. Der Schlick (S. 38) ist in großen Mengen während der Eiszeiten entstanden. Die Flüsse haben ihn in gewaltigen Massen ins Meer geführt und tun das auch heute noch. Doch scheinen auch noch andere Ursachen bei der Entstehung des Schlicks mitzuwirken, wie z. B. die Tätigkeit der Kleinlebewesen im Wattenmeer selbst. Infolge seiner sehr geringen Korngröße genügen schon geringe Wasserbewegungen, um den Schlick mitzuführen und im Wasser lange Zeit schwebend zu halten. Schon kleine Wellen erschweren daher die Ablagerung. Die zwischen Niedrig- und Hochwasser liegenden Watten werden nun bei jeder Flut, also zweimal in 24 h, von dem schlickreichen Meerwasser überströmt, das überall dort, wo es, z. B. in geschützten Buchten, kurze Zeit zur völligen Ruhe kommt, den Schlick absetzt und nach seinem Wiederabfließen (Ebbe) auf dem Watt zurückläßt. Das Meerwasser strömt an den tieferen Stellen der Watten, den sog. Prielen (S. 378), ein und aus und überschwemmt von hier aus auch die höheren Flächen. Dieser ununterbrochene Vorgang führt im Laufe der Jahre zu erheblichen Auflandungen. Sobald das Watt eine Höhe von etwa 0,50 m unter *GHW*¹ erreicht hat, siedelt sich als erste Salzpflanze der Queller (*Salicornia herbacea*) an, namentlich an ruhigen Stellen und dort, wo der Schlick mit etwas Sand vermischt ist. Seine Wurzeln befestigen den Boden und seine oberirdischen Teile verlangsamen die Wasserbewegung, so daß der Schlick im Schutze der Quellerpflanzen besonders stark zur Ablagerung kommt. Erreicht das Watt die Höhe des *GHW*, so wird es nur noch bei höheren Fluten überschwemmt, dadurch werden die Lebensbedingungen des Quellers ungünstiger. Er weicht immer mehr einer anderen Pflanzengemeinschaft, die durch den Strand-Salzschwaden oder Andel (*Átropis marítima*) gekennzeichnet ist. Daneben findet man unter anderen

Arméria marítima (Strand-Grasnelke),
Artemisia marítima (Strand-Beifuß),
Átriplex litorále (Strand-Melde),
Glaux marítima (Strand-Milchkraut),
Plantágo marítima (Strand-Wegerich),

Sagina marítima (Strand-Knebel),
Sálsola Káli (Salzkraut),
Suáeda marítima (Strand-Sode),
Triglóchin marítima (Strand-Dreizack).

Je höher nun das Watt über *GHW* wächst, um so seltener wird es durch höhere Hochwasser überströmt, um so langsamer wächst es also weiter. Bei 0,30 m über *GHW* hört der Quellerwuchs im wesentlichen auf. Als deichreif bezeichnet man das Gelände, wenn es eine Höhe von 0,40 bis 0,50 m über *GHW* erreicht hat. Dann pflegt man es einzudeichen. Doch scheint nach neueren Feststellungen bei künstlicher Entwässerung auch eine frühere Eindeichung und landwirtschaftliche Nutzung möglich zu sein. In der hier

¹ *GHW* = gewöhnliches Hochwasser = *MThw* (S. 109).

geschilderten Weise sind auch unsere heutigen Marschen entstanden. Nicht überall sind jedoch die Voraussetzungen für eine solche Bildung neuen Landes gegeben. Namentlich können ungünstige Strömungsverhältnisse das Absetzen des Schlicks ganz oder teilweise verhindern.

Einen großen unmittelbaren Einfluß auf die Gestaltung der Nordseeküste übt auch der Wind aus. Die Dünen verdanken ihm ihre Entstehung. Wesentlich ist die vorherrschende Windrichtung. Da an der Nordseeküste westliche und nordwestliche Winde am häufigsten sind, sucht der Wind im allgemeinen den Sand der Küste zuzutreiben, was für die Verlandung vorteilhaft ist. Der Vorgang spielt sich häufig so ab, daß die durch Meeresströmungen (Küstenströme, Flutstrom) herangetragenen Sandmassen sich vor der Küste als Sandbänke ablagern, bei NW zum Teil trocken laufen, und daß dann die an der Sonne sehr schnell völlig trocken werdende obere Sandschicht vom Winde landwärts getrieben wird. Diese vorwiegend landwärts gerichtete Sandbewegung ist überall dort von Bedeutung, wo das Meer Sand an die Küste heranträgt.

Drittens sind es Bewegungen der festen Erdrinde, die naturgemäß einen Einfluß auf die Gestaltung der Küste ausüben müssen. Unmittelbar dadurch, daß das Küstenland und der davorliegende Meeresboden, also auch das Watt, durch Bewegungen der Erdkruste eine Senkung oder Hebung erfahren, mittelbar dadurch, daß derartige Veränderungen des Meeresbodens die Meeresströmungen für die Bildung neuen Landes günstig oder ungünstig beeinflussen. Nach den bisherigen Untersuchungen kann man annehmen, daß die Nordseeküste in der Gegend des Jadebusens in den letzten Jahrhunderten durchschnittlich je Jahr um etwa 3 mm gesunken ist. Von hier aus nach Norden und Westen scheint die Senkung geringer zu sein.

B. Die fachlichen Maßnahmen.

1. Allgemeine Gesichtspunkte.

a) **Die Landerhaltung.** Eine planmäßige Landgewinnung ist undenkbar ohne die Sorge für die Erhaltung des neu geschaffenen Landes. Kann doch die ständige Kleinarbeit vieler Jahrzehnte durch eine einzige Sturmflut in wenigen Tagen wieder vernichtet werden. Die Zerstörungsarbeit einer solchen Sturmflut wächst lawinengleich, sobald die erste Bresche in die Hochwasserverteidigung gelegt ist. Diese Erwägungen gelten auch für den Schutz des bereits seit langer Zeit bestehenden alten Landes.

Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die dem Festlande vorgelagerten Inseln, die die lebendige Kraft des von der See kommenden Flutstromes und der Wellen stark schwächen. Ein Teil der Brandung zerbricht an ihnen, sie schaffen an ihrer dem Festlande zugekehrten Seite verhältnismäßig stilles Wasser, in dem der Schlick sich absetzen kann, und sie zwingen den Flutstrom, sich zu teilen und so in geschwächtem Zustande dem Festland zuzufließen. Diese günstigen Wirkungen werden auch von den sog. Halligen ausgeübt, wenngleich natürlich in geringerem Maße als von den größeren Inseln. Die Halligen sind Reste alten Marschlandes, die dem Angriff des Meeres bisher standgehalten haben. Ihre Fläche verringert sich aber ständig. Sie ist vor 200 Jahren noch etwa doppelt so groß gewesen wie heute. Die zum Teil unbedeichten Halligen sind den Angriffen des Meeres völlig schutzlos preisgegeben. Sie sind von zahlreichen Prielen durchzogen. Unter Prielen versteht man kleinere Rinnen, während die größeren Tiefs genannt werden. Die begrünte Oberfläche der Halligen liegt etwa 0,80 bis 1,20 m über *GHW*. Die Befestigung der Halligen besteht in der Sicherung ihrer abbrüchigen Ufer durch Deckwerke und Buhnen und in dem Durchdämmen der Priele, in denen eine zu starke Flut- und Ebbeströmung umfangreiche Uferabbrüche bewirkt. Diese Arbeiten

lassen in Verbindung mit den unten behandelten Landanschlußdämmen eine dauernde Sicherung der Halligen erwarten, solange die Strömungsverhältnisse der Nordsee im wesentlichen die gleichen bleiben wie heute.

Auch die Festlandküste selbst muß gegen die höchsten Sturmfluten durch genügend hohe und starke Deiche gesichert werden. Denn sie ist der Ausgangs- und Stützpunkt der Landgewinnungsarbeiten. Von hier aus werden diese vorgetrieben. Ganz abgesehen davon, daß ja auch die landwirtschaftliche Nutzung des Festlandes den Hochwasserschutz erfordert. Die besonders gefährdeten schaar liegenden Deiche sucht man durch Schaffung eines breiten Vorlandes zu sichern. Dieses soll mindestens 50 m breit sein, über *GHW* liegen und begrünt werden.

Auch das neu gewonnene, deichreif gewordene Land bedarf natürlich in gleicher Weise wie das alte Festland der Deichsicherung.

b) Die Landgewinnung. Das Ziel der Landgewinnung besteht darin, die Wattflächen zwischen dem Festlande und den Inseln bis zur Deichreife aufzulanden, dann einzudeichen und landwirtschaftlich zu nutzen. Eine möglichst schnelle Auflandung ist an zwei Voraussetzungen gebunden. Erstens muß das schlickhaltige Wasser möglichst gleichmäßig und ruhig auf die aufzulandenden Flächen geleitet und von ihnen wieder abgeleitet werden. Denn je gleichmäßiger der Wasserzu- und -abfluß ist, um so weniger treten unregelmäßige Querströmungen und Wirbelbewegungen des Wassers auf, durch die die Schlickablagerung gestört wird. Auch die Wellen verringern das Absetzen des Schlicks. Zweitens ist dafür Sorge zu tragen, daß der abgesetzte Schlick schon bis zur nächsten Überflutung durch Sonne und Wind gut getrocknet wird, da ausgetrockneter fester Schlick auch bei späteren Überflutungen liegen bleibt, während die frischen unter Wasser liegenden Schlickschichten, die noch lange Zeit eine lockere, schlammige Masse bilden, bei der nächsten Überflutung leicht wieder aufgerührt und vom Wasser mitgeführt werden.

Zur Verhinderung von Querströmungen an der Küste, die in ihrem Auftreten und ihrer Größe ganz unberechenbar sind, sind Verbindungsdämme vom Festlande zu den größeren Inseln und Halligen ein ausgezeichnetes Mittel. Die Verbindungsdämme zu den Halligen können als große Bühnen angesehen werden, deren Kopf die Hallig bildet. Ihre Dammkronen legt man etwa 2,50 bis 3,00 m über *GHW*, damit die Dämme möglichst selten überströmt werden. Je seltener eine Überströmung stattfindet, um so günstiger ist es für die Verlandung der zwischen den Dämmen liegenden Wattflächen.

Die Frage, ob auch einzelne Inseln und Halligen durch Dämme miteinander zu verbinden sind, kann stets nur nach der Lage des Einzelfalles beurteilt werden. Größere Wassertiefen können solche Arbeiten außerordentlich verteuern. Daneben ist aber auch der Einfluß solcher Dämme auf die Flut- und Ebbeströmung von der größten Bedeutung. Denn die Verbauung einer Durchflußöffnung zwischen zwei Inseln kann eine Verstärkung des Flut- und Ebbestromes an anderen Stellen zur Folge haben, und es ist sorgfältig zu untersuchen, ob das unbedenklich zugelassen werden kann.

Die Anordnung der kleineren Landgewinnungsbauten ist in Abb. 250 dargestellt. Die Dämme werden als Lahnungen bezeichnet. Man legt ihre

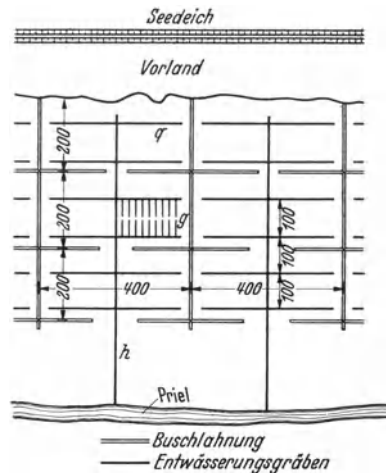


Abb. 250. Anordnung der Lahnungen und Gräben. (Nach Heiser.)

Krone etwa 0,30 bis 0,40 m über *GHW*, so daß sie nur bei höheren Hochwassern überströmt werden. Die senkrecht zum Vorland angeordneten Dämme verhindern die schädlichen Querströmungen, alle Dämme verringern den Wellenschlag. Das Flutwasser tritt langsam und gleichmäßig von der Seeseite her in die Lahnungsfelder ein, wobei die Gräben die gleichmäßige Überflutung noch fördern. Bei Ebbe findet durch dieselben Gräben eine gründliche Entwässerung der Felder statt. Die Lahnungen werden vom Vorland aus schrittweise immer weiter, bisweilen kilometerweit ins Watt vorgetrieben. Die Anordnung der Dämme und Gräben ist nicht starr an das Vorbild der Abb. 250 gebunden, Abweichungen unter Wahrung des Grundsätzlichen sind durchaus möglich und bisweilen auch nötig, wenn in der Nähe eines Priels das Netz der Lahnungen den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden muß und dann unregelmäßig ausfällt.

In den einzelnen Feldern legt man ein enges Grabennetz an, bestehend aus den Gruppen *g*, den Quergräben *q* und den Hauptgräben *h* (Abb. 250). Die Anordnung der Gruppen ist aus Abb. 251 zu ersehen. Die gewölbten

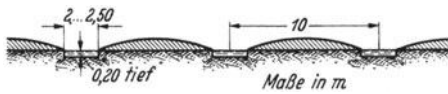


Abb. 251. Anordnung der Gruppen.

Beete gewährleisten eine gute Entwässerung. Die Gruppen verschlickten mit der Zeit und müssen daher alle 1 bis 3 Jahre neu ausgeworfen werden. Die Beete sind recht haltbar, wenn sie aus fettem Schlick bestehen, halten

sich aber weniger gut, wenn der Schlick sehr sandhaltig ist.

Der Erfolg der Arbeiten ist nicht überall der gleiche. Die Verhältnisse liegen z. B. an der schleswig-holsteinischen Westküste im Durchschnitt viel günstiger als an der ostfriesischen Küste. Namentlich nördlich von Husum besteht eine ziemlich starke Neigung zur Verlandung. Heiser (72, 383) hat folgenden mittleren Landzuwachs über *GHW* seit 1900 errechnet, bezogen auf die Küstenlänge und auf 1 Jahr:

nördlich Husum	9,50 m	Wilhelmshaven bis Emden	3,60 m
Husum bis Elbe	4,20 m	Ley-Bucht	10,00 m

Die Zahlen sind jedoch nicht unmittelbar vergleichbar, da nicht überall planmäßige Landgewinnungsarbeiten durchgeführt worden sind. Im örtlichen Bereiche solcher Arbeiten sind wesentlich größere Erfolge erzielt worden, jährlich 25 bis 50 m. Dabei hängt die Schnelligkeit der Verlandung von der bei jedem *HW* abgesetzten Schlickschicht ab, die um so dicker ist, je höher das Wasser auf der Fläche steht, je mehr absetzbaren Schlick es enthält und je ruhiger es ist. Sehr feine Schlickteilchen bleiben lange im Wasser schwebend und gehen mit dem Ebbestrom ins Meer zurück. An günstigen Stellen der schleswig-holsteinischen Westküste rechnet man damit, daß etwa 30 bis 40 Jahre vergehen, bis eine größere Wattfläche, deren Eindeichung sich lohnt, deichreif geworden ist. Man kann daher Landgewinnungsarbeiten nur auf lange Sicht durchführen.

Die beste Bauzeit sind die Monate Juni bis September. Die möglichst frühzeitige Herstellung der Lahnungen ist deshalb nötig, damit noch vor dem Herbst die Grassoden anwachsen und die Buschdämme verlanden (S. 384). Wichtig ist die sorgfältige Unterhaltung der Lahnungen und Entwässerungsgräben, da vernachlässigte Anlagen sofort stark an Wirkung verlieren.

c) Die Nutzung des Neulandes. Die Nutzung des neu gewonnenen Landes beginnt bereits, wenn es etwas über *GHW* hinausgewachsen, aber noch nicht deichreif geworden ist. Derartige Flächen werden als „Vorland“ oder „Heller“ bezeichnet. Da sie noch verhältnismäßig häufig von höheren Fluten überschwemmt werden, ist der Boden noch salzhaltig. Trotzdem liefert der Pflanzenbestand ein recht gutes Futter. Besonders geschätzt wird der Andel (*Átropis*

marítima). Man beweidet die Flächen in der Hauptsache mit Schafen und Gänsen. Für eine gute Entwässerung durch Gräben ist zu sorgen, da sonst das Flutwasser nicht ausreichend wieder abfließen kann. Wichtig ist auch die Anlage von Tränken. Das erforderliche Süßwasser wird entweder durch Rohrleitungen herangeführt oder als Regenwasser an Ort und Stelle gesammelt, indem man die etwa 0,9 m tiefe Tränke mit einem Ringdeich umgibt. Die Inanspruchnahme des Regens ist natürlich in trockener Zeit unsicher. Bei höheren Fluten muß das Vieh entweder über den nahen Winterdeich oder auf einer sog. Wurt in Sicherheit gebracht werden. Als Wurt bezeichnet man einen künstlich hochwasserfrei aufgeschütteten Platz mit sehr flachen Böschungen, auf dem in der Regel auch Gebäude zur Unterbringung von Menschen und Vieh errichtet werden.

Das Vorland wächst nun durch gelegentliche Überflutungen langsam höher, auch wird sein Salzgehalt allmählich durch die auslaugende Wirkung des Regens geringer. Durch Eindeichung des deichreif gewordenen Landes entstehen die Köge, Polder oder Groden. Man unterscheidet Winterdeiche (Haupt-, Bann-, Schaudedeiche) und Sommerdeiche. Letztere haben den Nachteil, daß sie bisweilen (im Winter) überflutet werden, aber den Vorteil der geringeren Kosten. In den Sommerpoldern wird Grünlandwirtschaft getrieben. Sommerdeiche werden meistens dann errichtet, wenn sich die Wintereindeichung kleinerer Flächen noch nicht lohnt. Man sollte die Sommerdeiche wenn möglich so führen, daß sie wenigstens streckenweise später in Winterdeiche umgebaut werden können. Eine schlanke Linienführung der Deiche ist dringend erwünscht. Vorspringende Deichecken bieten den Wellen eine gute Angriffsmöglichkeit, während zurückspringende Winkel die Höhe der auflaufenden Wellen vergrößern. Vor den Deichen soll ein mindestens 50 m breiter grüner Vorlandstreifen liegen.

Zu beachten ist, daß eingedeichte Neulandflächen mit der Zeit noch etwas zu sacken pflegen. Da der Salzgehalt des Schlicks erst viele Jahre nach der Eindeichung völlig verschwindet, wird auch der Wassergehalt des Bodens erst nach langer Zeit geringer (S. 21). So tritt allmählich ein Schwinden des Bodens und daher eine Sackung ein, namentlich dort, wo fetter Schlick im Untergrund liegt, weniger bei stärkerem Sandgehalt des Schlicks. Man hat diesen Umstand bei der Entwässerung der Polder und bei der Höhe der Deiche zu beachten.

Der Schlick liefert einen ausgezeichneten Boden, der in gleicher Weise für Acker- und Weidewirtschaft geeignet ist. Neben dem Kalkgehalt ist eine geringe Sandbeimengung günstig, weil sie den sonst übermäßig schweren Boden milder macht. In den ersten Jahren nach der Eindeichung empfiehlt sich in Winterpoldern der Ackerbau. Ernten von 80 Zentnern Korn und mehr je ha sind dann keine Seltenheit. Die Kosten der Landgewinnung sind allerdings sehr erhebliche. An der schleswig-holsteinischen Westküste rechnet man zur Zeit (1936) je ha für die Landgewinnung selbst im Mittel etwa 1000 bis 1200 RM ohne den Zinsverlust und für die Wintereindeichung unter mittleren Verhältnissen (10 lfd. m Deich für 1 ha) etwa 3000 RM/ha. Zu diesen Beträgen kommen noch etwa 300 bis 400 RM/ha für den Binnenausbau des bedachten Neulandes (Sielzüge, Gräben usw.). Die Deichkosten liegen meistens zwischen 250 und 350 RM/m. Eine erhebliche Verbilligung kann bei Ausführung durch den Arbeitsdienst erreicht werden. Bezüglich der Wirtschaftlichkeit ist zu berücksichtigen, daß das neu gewonnene Land gleichzeitig auch einen erhöhten Schutz des alten Nutzlandes bewirkt und die Unterhaltungskosten der älteren Schutzanlagen (Deiche, Uferschutzwerke) erheblich verringert.

2. Fachliche Einzelheiten.

a) **Deiche.** Die gelegentlich der Überströmung ausgesetzten Sommerdeiche erhalten eine Kronenbreite von 1 bis 2 m. Die Krone liegt 2,5 bis 3,5 m

über *GHW*, sie wird gewölbt angelegt und mit Rasen geschützt. Die Böschungen legt man außen 4 bis 8fach an, und zwar um so flacher, je mehr der Deich den Angriffen des Wassers ausgesetzt ist, innen 5 bis 10fach. Steilere Binnenböschungen werden durch überströmendes Wasser leicht beschädigt.

Die Krone der Winterdeiche soll 0,3 bis 0,5 m höher liegen als der Wellenkamm bei der höchsten Sturmflut, die bisher beobachtet wurde. Den Wasserstand, den die Flut ohne Wellenschlag haben würde, nennt man Wasserpaß.

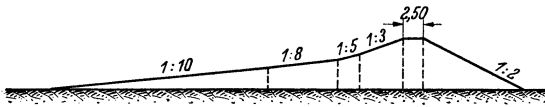


Abb. 252. Querschnitt eines Winterdeiches.

Die Wellenhöhe über dem Wasserpaß, wie sie unmittelbar vor dem Deich auftritt, hängt wesentlich davon ab, welche Wellen sich überhaupt im freien Meer vor dem Deich entwickeln können, von der Lage des Deiches zur Windrichtung sowie von der Breite und Höhe des Vorlandes. Bei derselben Windstärke entstehen um so höhere Wellen, je länger die Streichweite des Windes, d. h. je größer die in der Windrichtung gemessene Entfernung von Land zu Land ist, längs der der Wind auf das Wasser drückt. Vorgelagerte Inseln wirken

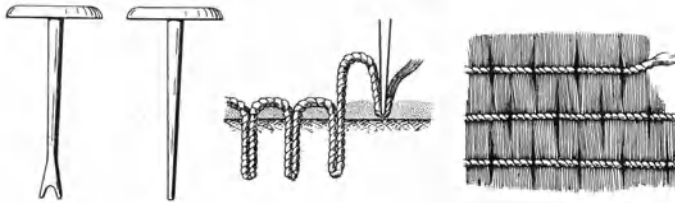


Abb. 253. Strohbekleidung. (Nach Garbe.)

daher stark verringern auf die Wellenhöhe. Je schräger die Küste zur Wind- und Wellenrichtung liegt, um so niedriger werden die Wellen vor der Küste. Schließlich wirkt auch ein breites, hohes Vorland stark bremsend auf die Wellenhöhe. An unserer deutschen Nordseeküste liegen die Kronen der Winterdeiche im allgemeinen etwa 1 bis 3 m über der höchsten bekannten Sturmflut.

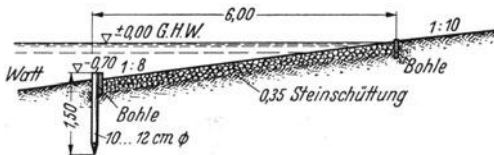


Abb. 254. Sicherung eines Deichfußes. (Nach Heiser.)

wird dadurch widerstandsfähiger gegen den Wellenschlag. Man legt den oberen Teil der Außenböschung 3 bis 4fach, den unteren bei Klaiboden (Ton) 6 bis 8fach, bei stark sandigem Boden dagegen 8 bis 12fach an.

Ist mit einer nennenswerten Sackung des Neulandes zu rechnen (S. 381), so genügt es in der Regel, die Deiche 15 bis 20% höher zu bauen, als es ohne die Sackung nötig sein würde. Deiche ohne Vorland müssen häufig noch besonders gegen Unterspülung ihres Fußes gesichert werden. Diesem Zweck dienen Strohbekleidungen oder Steinböschungen. Die Strohbekleidung ist nur eine vorübergehende Sicherung, da sie nur eine kurze Lebensdauer besitzt. Die auf dem unteren Teil der Außenböschung verlegte Strohlage wird mit 3 bis 4 cm starken Strohseilen in der Weise auf dem Klaiboden der Böschung befestigt, daß das Strohseil mittels einer Sticknadel alle 10 bis 15 cm etwa 10 cm tief in den Boden hineingedrückt wird (Abb. 253). Bisweilen wird auf der Strohbekleidung noch eine Spreutlage verlegt (S. 174). Steinböschungen führt man als

Sie haben fast durchweg eine Breite von 2,5 m. Die Binnenböschung wird meistens 2fach angelegt, nur bei weichem Untergrunde flacher. Häufig dient eine etwa 7 m breite Binnenberme als Fahrweg. Die Außenböschung ist unten flacher als oben (Abb. 252). Der Deich

Steinschüttungen oder als Pflaster aus (S. 149). Abb. 254 zeigt eine Steinschüttung zur Sicherung des Deichfußes. Das Plaster wird an weniger gefährdeten Deichstrecken auch aus Ziegelsteinen hergestellt, die an der Küste

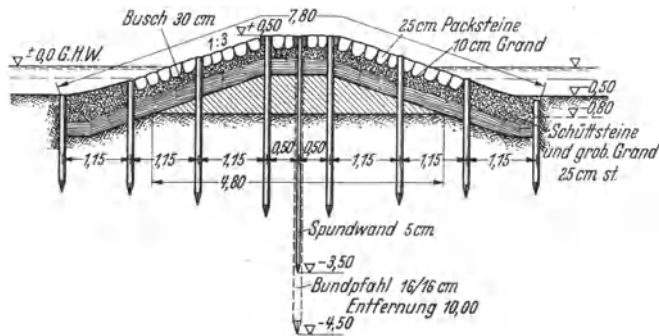


Abb. 255. Damm Festland—Nordstrand.

weit billiger als natürliche Steine sind, allerdings auch nicht so widerstandsfähig wie diese. Der beste Schutz des Deichfußes ist ein sorgfältig verzwicktes Trockenpflaster aus möglichst schweren Natursteinen.

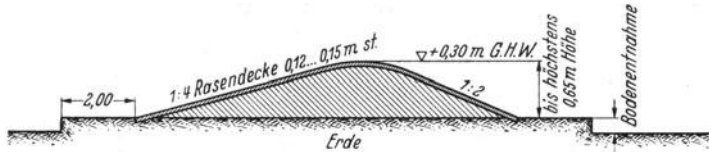


Abb. 256. Erddamm. (Nach Heiser.)

b) Dämme. Die Verbindungsdämme zwischen dem Festlande und den Inseln erhalten eine Kronenhöhe von etwa 2,5 bis 3,0 m über *GHW*, damit sie, von seltenen Fällen abgesehen, nicht überströmt werden. Denn häufige Über-

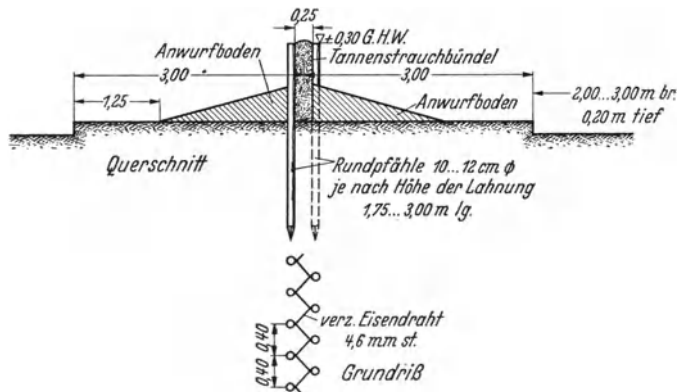


Abb. 257. Schlickfänger. (Nach Heiser.)

strömungen würden den erst vor kurzem abgesetzten und daher noch nicht hinreichend festen Schlick aufrühren und wieder fortspülen. Die Dämme werden als Erddämme gebaut und müssen gegen den Angriff der Wellen besonders geschützt werden. Das geschieht in der Regel dadurch, daß der Erdkörper zunächst mit einer 20 bis 30 cm starken Buschlage abgedeckt wird, die dann ihrerseits mit Schütt- und Packsteinen bedeckt wird. Abb. 255 stellt den Querschnitt des Verbindungsdammes vom Festland zur Insel Nordstrand dar, dessen Krone aber nach neueren Erfahrungen nicht hoch genug über *GHW* liegt.

Die Lahnungen werden als Erd- oder Buschdämme errichtet. Die Erd-dämme (Abb. 256) verwendet man in der Nähe des Ufers, wo das Watt nur noch wenig unter *GHW* liegt. Ihre Krone legt man im Mittel etwa 0,30 bis 0,40 m über *GHW*. Die Höhe der Erddämme beträgt höchstens 0,60 bis 0,70 m. Als Baustoff nimmt man den vorhandenen Schlick, der mit Rasensoden abgedeckt wird. Die Böschungen werden 2 bis 4fach angelegt, um so flacher, je mehr sie dem Angriff der Wellen ausgesetzt sind. Weiter seewärts auf tieferem Watt würden Erddämme nicht widerstandsfähig genug sein. Hier verwendet

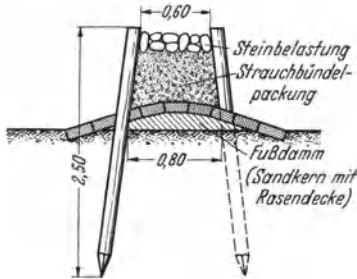


Abb. 258. Schwere Buschlahnung. (Nach Heiser.)

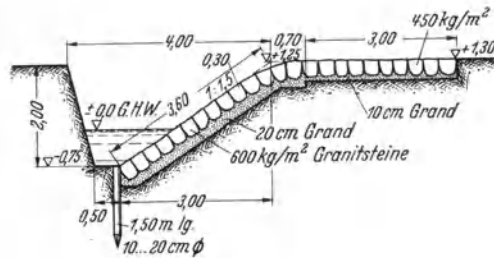


Abb. 259. Steindeich. (Nach Heiser.)

man daher Buschdämme, auch Schlickfänger genannt (Abb. 257). Die 1,50 bis 3,00 m langen Pfähle rammt man am besten mit der Kopframme. Zwischen ihnen werden Tannenstrauchbündel eingebracht, die sich im Seewasser besonders gut halten. Abb. 257 stellt eine leichte Bauart dar. Schwere Buschlahnungen erhalten statt 0,25 m einen Pfahlabstand von 0,60 bis 0,80 m. Auch belastet man bei ihnen die Strauchbündelpackung mit schweren Steinen, damit die Strauchbündel im Wasser nicht hoch treiben. Bei leichten Werken erübrigt

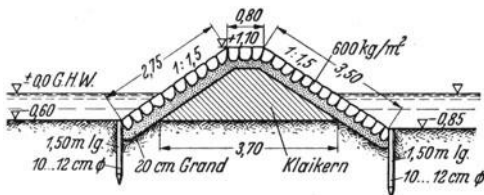


Abb. 260. Buhne auf Hallig Oland.

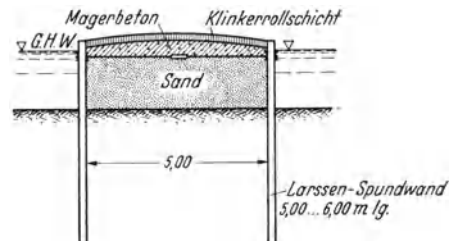


Abb. 261. Buhne auf Norderney.

sich die Steinbelastung, man sichert sie aber durch Anwurfboden. Die Höhe der Buschdämme über dem Watt beschränkt man auf 1,0 bis 1,2 m. Als Fußsicherung sind auch kleine Spundwände mit Erfolg verwendet worden. Abb. 258 zeigt den Querschnitt einer schweren Buschlahnung. Der kleine mit Rasen abgedeckte Fußdamm schützt gegen Unterspülung. Die Unterspülungsgefahr ist um so größer, je mehr Sand das Watt enthält.

e) Uferschutzwerke. Die Ufer der Halligen werden durch schwere Deckwerke aus Granit- oder Basaltplaster, sog. „Steindeiche“, gesichert (Abb. 259). Vor diesen Deckwerken ordnet man zu ihrem Schutz gegen Unterspülung bisweilen noch Buhnen an (Abb. 260). Die gleiche Bauart wie diese Buhnen zeigen die Dämme, mit denen man die Priele auf den Halligen durchbaut. Die größeren Inseln werden streckenweise mit schweren Strandmauern und Buhnen (Abb. 261) geschützt.

Wegen weiterer Einzelheiten muß auf das einschlägige Schrifttum verwiesen werden (58, 552 und 72).

Schriftenverzeichnis.

<p>Bi. = Der Bauingenieur. Bt. = Die Bautechnik. D.L. = Deutsche Landeskulturzeitung. D.L.G. = Mitteilungen der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft. D.L.P. = Deutsche Landwirtschaftliche Presse. D.W. = Deutsche Wasserwirtschaft. K.T. = Der Kulturtechniker. L.J. = Landwirtschaftliche Jahrbücher.</p>	<p>M.E. = Die neuzeitliche Moorkultur in Einzeldarstellungen. M.V.M. = Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im deutschen Reiche. M.Z. = Meteorologische Zeitschrift. R.K. = Schriften des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft. Z.B. = Zentralblatt der Bauverwaltung</p>
--	---

Klammer im Text, z. B. (15, 64) = Nr. 15 des Schriftenverzeichnisses, S. 64.

1. Aereboe: Die Beurteilung von Landgütern und Grundstücken, 1919.
2. Ball: Betrachtungen über die pflanzenphysiologischen Grundlagen der künstlichen Beregnung. K.T. 1934 S. 1.
3. Barth: Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen, 1914.
4. Bernbeck: Der Wind als pflanzenpathologischer Faktor. Diss. Bonn: Straßburger 1907.
5. Bertram: Die Auswirkung von Grundwasserstandsschwankungen in künstlich entwässerten Poldern. K.T. 1931 S. 194.
6. — Neuere Grundsätze für Schöpfwerksbauten, 1925.
7. Betge: Nicht Abwasserbeseitigung, sondern Abwasserverwertung. Gesundh.-Ing. 1935 Nr. 5.
8. Beyerhaus: Geschwindigkeitsformeln für Wasserläufe und maßgebendes Gefälle; Mängel der Ganguillet-Kutterschen Formel und Darlegung eines geeigneten Ersatzes. Bi. 1921 S. 485, 523.
9. Bilau: Die Ausnutzung der Windkräfte. Z.B. 1925 S. 393.
10. — Die Windkraft in Theorie und Praxis, 1927.
11. Borchers: Zweckmäßige Bohrwerkzeuge für kulturtechnische Zwecke. K.T. 1932 S. 487.
12. Brandt u. Romig: Das neue Entwässerungspumpwerk am Borßumer Siel bei Emden. D.W. 1933 S. 243.
13. Breitenbach: Die Bestimmung der Drän-Entfernung auf Grund der Hygroskopizität des Bodens. Diss. Königsberg 1911.
14. Brouwer: Beregnungszeitpunkt und Beregnungserfolg. R.K. 1933 Heft 49.
15. Brüne: Die Entnahme von Moorproben für landwirtschaftliche oder torftechnische Zwecke. M.V.M. 1934 S. 3.
16. — Die Düngung der Moorböden nach neuzeitlichen Grundsätzen. M.V.M. 1933 S. 179.
17. — Bemerkungen der Preußischen Moor-Versuchsstation in Bremen zu den vorstehenden Ausführungen des Professors Dr.-Ing. M. Schirmer-Magdeburg (Betr. Rimpausehe Besandungsanlagen). D.L. 1935 S. 10.
18. — Grundsätzliches über die Regelung des Wasserhaushaltes in landwirtschaftlich genutzten Moorböden. D.W. 1936 S. 21.
19. — u. Igel: Wichtige Fragen der Hochmoordränung. M.V.M. April 1933.
20. — Grundsätze für die Regelung des Wasserhaushaltes in landwirtschaftlich genutzten Moorböden und ihre technische Durchführung. M.E. 1929.
21. — Die Kultur der Hochmoore. M.E. 1931.
22. Butz: Ein neues Verfahren zur Entwässerung tiefgründiger Moore. K.T. 1911 S. 126.
23. Demoll: Das Abwasserfischteichverfahren, 1920.
24. Deutscher Ausschuß für Eisenbeton (Moorausschuß). Versuche über das Verhalten verschiedener Zemente und Betonschuttmittel im Moor, 1931.
25. Die Entwicklung der Landeskultur in der Provinz Westfalen im 19. Jahrhundert, 1900.
26. Dilger: Noch Einiges über Dränage. K.T. 1900 S. 10.
27. Düll: Graphische Berechnung der Seerückhaltung. D.W. 1927 S. 37.
28. Duysen: Unkräuter. Bücherei für Landwirte, 1925.
29. Ehlers: Regulierung geschiefbeführender Flüsse, insbesondere der Weichsel, 1913.

30. Endell: Beitrag zur chemischen Erforschung und Behandlung von Tonböden. Bt. 1935 S. 226.
31. Engel: Die landwirtschaftliche Verwertung der Abwässer der Stadt Leipzig im Gebiet der „Delitzscher Wasserverwertungsgenossenschaft“. D.L. 1936 S. 18.
32. — Die landwirtschaftliche Verwertung städtischer Abwässer. D.L.P. 1935 S. 233.
33. Engels: Handbuch des Wasserbaues, 1921.
34. — Weitere Versuche über Streichwehre. Z. VDI 1920 S. 101.
35. Ermert: Der Einfluß der Dränungen auf die Hochwasserführung der Wasserläufe. D.L.P. 1935 S. 271.
36. Fabian: Die Verdunstungsmessungen auf der Scheitniger Schleuseninsel in Breslau. K.T. 1926 S. 377.
37. Fauser: Eine verfehlte Dränierung in schwerem Tonboden. K.T. 1910 S. 179 und 1911 S. 139.
38. — Kulturtechnische Bodenverbesserungen. Slg. Göschen 1935 Nr. 691.
39. — Bodenuntersuchungen auf dem Dränungsversuchsfelde Ellwangen. K.T. 1933 S. 438.
40. Ficker, v.: Wetter und Wetterentwicklung. Verständliche Wissenschaft, Bd. 15 (1932).
41. Fischer: Niederschlag und Abfluß. In „Die Wasserkraftwirtschaft Deutschlands“, 1930.
42. — Die Seeverdunstungsmessungen der preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde. M.Z. 1922 S. 337.
43. — Abflußverhältnis, Abflußvermögen und Verdunstung von Flußgebieten Mitteleuropas. Z.B. 1925 Heft 41.
44. — Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes eines Flußgebietes. Z.B. 1925 Heft 18.
45. — Niederschlag, Abfluß und Verdunstung des Weserquellgebietes. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besondere Mitteilungen Bd. 4 (1925 u. 1928) Nr. 3.
46. Fleischer: Anlage und Bewirtschaftung von Moorwiesen und Moorweiden, 1921.
47. Foerster: Taschenbuch für Bauingenieure, 1921.
48. Francé: Das Leben der Pflanze, Bd. 1 (1906).
49. Freckmann: Die Kultur der Niederungsmoore. M.E. 1930.
50. — u. Schonopp: Neuere Erfahrungen mit der Feldberegnung. D.L.P. 1935 Nr. 18 u. 19.
51. — Versuche über den Wasserbedarf verschiedener Gräser. L.J. Erg.-Bd. 1 (1926) S. 51.
52. — Versuche über den Einfluß verschieden hoher Grundwasserstände auf das Gedeihen eines Klee grasbestandes. L.J. Erg.-Bd. 1 (1926) S. 38.
53. — Brouwer: Untersuchungen über den Einfluß der Düngung, der künstlichen Beregnung und des Grundwasserstandes auf einen Klee grasbestand. Pflanzenbau, Januar 1934.
54. Friedrich: Messungen der Verdunstung von freien Wasserflächen. Z.B. 1930 Nr. 3.
55. — Über die Verdunstung vom bewachsenen und unbewachsenen Erdboden. D.W. 1933 Heft 4.
56. — Messungen der Verdunstung vom Erdboden. K.T. 1935 S. 234.
57. Gallenkamp: Über den Zusammenhang von Windgeschwindigkeit und Verdunstung. M.Z. 1917 S. 24.
58. Gerhardt: Landwirtschaftlicher Wasserbau. Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, III. Teil, Bd. 7. 1924.
59. — Kulturtechnik. In Vogler: Grundlehren der Kulturtechnik, 1909.
60. Gerlach: Untersuchungen über die Menge und Zusammensetzung der Sickerwässer. L.J. 1926 S. 701.
61. — Welche Ertragssteigerung kann durch Ackerbewässerung in unserem Klima erzielt werden? D.L.G. 1906 Stück 40.
62. Gisiger: Die Staubrechnung für das Wasserkraftwerk Safe Harbor im Susquehanna-strom. D.W. 1936 S. 8.
63. Haeuser: Kurze starke Regenfälle in Bayern. Abhandlungen der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, 1919.
64. — Kurze starke Regenfälle in Bayern, Erg.-Bd. 1. 1922.
65. Hagenbucher: Erfahrungen der Praxis mit dem Krause-Regner. Der praktische Ratgeber im Obst- und Gartenbau, 1921 S. 143.
66. Hann u. Süring: Lehrbuch der Meteorologie, 1926.
67. Hartung: Die Sackung der Moore. K.T. 1934 S. 184.
68. Haselhoff-Blanck: Lehrbuch der Agrikulturchemie, 1929.
69. Hegi: Illustrierte Flora von Mitteleuropa, 1906.
70. Heinemann: Sind die guten Gräser Flachwurzler? D.L. 1934 Heft 4.
71. Heinrich: Bodenverbesserung der Geestländereien durch Schlickgaben. D.L.P. 1934 Nr. 24.
72. Heiser: Landerhaltung und Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste. Bt. 1933 S. 179 u. 371.
73. Hellmann: Klimaatlas von Deutschland, 1921.
74. — Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten, 1906.

75. Hellmann: Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. M.Z. 1915 S. 1.
76. Hellriegel: Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues, 1883.
77. Helmrich: Die Bewässerungsgenossenschaft Schwarzer Winkel. K.T. 1927 S. 1.
78. Hermann: Die Betriebseigenschaften von Pumpen verschiedener Schnelligkeit und deren Regulierung. D.W. 1934 S. 92.
79. Heß: Über die Wasserverluste bei Bewässerungsanlagen. Z. Archit.- u. Ing.-Ver. Hannover 1883.
80. Hinz: Die Mängel bei Moordrängen und ihre Beseitigung. M.V.M. 1928 S. 140 u. 160.
81. Hütte: 26. Aufl., 1931.
82. Janert: Neue Methoden zur Bestimmung der wichtigsten physikalischen Grundkonstanten des Bodens. L.J. 1927 S. 425.
83. — u. Schönfeldt: Die Luftströmung in Drängen. K.T. 1934 S. 338.
84. Kahle: Die Einwirkung des Hochwasserüberschwemmungsgebietes auf den Abfluvorgang eines Flusses. Z.B. 1927 S. 402.
85. Karsten: Untersuchungen über die Wärmeleitungsfähigkeit einiger Bodenarten. Internat. Mitt. Bodenkde. Bd. I (1912) S. 524.
86. Keutner: Die Verwendung von Drahtnetzkörpern im Wasserbau. Mitt. Forsch.-Inst. Wasserbau u. Wasserkraft München 1935.
87. — Bühnenbauten aus Drahtnetzkörpern. Bt. 1936 S. 513.
88. Kittlitz, Freiherr v.: Mein Hydropulsor-Werk an der Lausitzer Neiße. K.T. 1920 S. 117.
89. Kleinogel: Einflüsse auf Beton, 1930.
90. — Zementbeton in Moorböden. K.T. 1927 S. 49.
91. Kleinschmidt: Die Häufigkeit dürre und nasser Monate in Württemberg und Hohenzollern. Württembergische Jb. Statistik u. Landeskd. 1928.
92. Koehne: Das unterirdische Wasser. Handbuch der Geophysik, Bd. 7. 1933.
93. — Grundwasserkunde, 1928.
94. — Die Kräfte, durch die die Pflanzen Wasser aus dem Boden aufnehmen. K.T. 1933 S. 4.
95. Könekamp: Beitrag zur Kenntnis des Wurzelwachstums einiger Klee- und Gräserarten. L.J. 1934 Heft 4.
96. König: Die Verunreinigung der Gewässer, 1899.
97. — Untersuchungen über quantitative und qualitative Veränderungen von Rieselswasser bei öfterer Benutzung. L.J. 1879.
98. Köpcke: Die steuerfreie Niederlage zu Harburg. Z. Archit.- u. Ing.-Ver. Königreich Hannover, 1860 S. 222.
99. Kopecky: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Internat. Mitt. Bodenkde. Bd. 4 (1914) S. 138.
100. — Neue Erfahrungen auf dem Gebiete der Bodenentwässerung mittels Drainage. K.T. 1908 S. 9.
101. Kötting: Die Verwertung der städtischen Abwässer durch die Landwirtschaft. D.L.P. 1935 Nr. 16.
102. Krafft-Fruwirth: Lehrbuch der Landwirtschaft, Bd. 1 u. 2. 1927.
103. Krause: Über den Einfluß der Drängen auf das Hochwasser der Flüsse. K.T. 1898 S. 1.
104. Kreuz: Die landwirtschaftliche Verwertung der Stadtabwässer. D.L. 1933 Heft 12.
105. — Deutschlands Stadtabwässer. D.L. 1936 S. 4.
106. — Teichbau und Teichwirtschaft, 1928.
107. Kröhnke: Ein paar Formeln für den Bau von Wasserschnellen. Dtsch. Bauztg. 1876 S. 377.
108. Krüger: Bauten im Moor. Die Entwicklung der Moorkultur in den letzten 25 Jahren, 1908 S. 178.
109. — Beobachtungen über die Bewegungen des Grundwassers im Kehdinger Hochmoor. Protokoll der 48. Sitzung der Zentral-Moor-Kommission, 1901 S. 239.
110. — Über Einstaubewässerung und Grabenversickerung. Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Landwirtsch. Bromberg Bd. I (1908).
111. — Das Versuchsfeld bei Dratzig für Wiesenbewässerung. Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Landwirtsch. Bromberg Bd. 4 (1911).
112. — Kulturtechnischer Wasserbau. Handbibliothek für Bauingenieure, 1921.
113. — Für und wider die Drainage. K.T. 1914 S. 302.
114. Krügge: Krautungsgeräte. K.T. 1906 S. 303.
115. Kuhlewind: Die Maulwurfsdränung ohne und mit Tonröhren, 1932.
116. Lau: Beiträge zur Kenntnis der im Ackerboden befindlichen Luft. Diss. Rostock 1906.
117. Leiner: Verfahren zur Untersuchung von Wasserspeichern. Seerückhalt. Bi. 1925 S. 175.
118. Lemmermann: Methoden für die Untersuchung des Bodens, 1932.
119. Letsch: Zur Ertragsteigerung durch Dränanlagen. K.T. 1919 S. 171.

120. Linstow, v.: Bodenanzeigende Pflanzen. Abh. Preuß. Geol. Landesanst., N. F. 114 (1929).
121. Lippke: Beitrag zur Kenntnis des Abflußgesetzes in den natürlichen Strömen. Z.B. 1934 S. 423 u. 440.
122. — Beitrag zur Kenntnis der Geschwindigkeitsformel von Ganguillet und Kutter. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. 1934 S. 259, 274, 290, 298.
123. Löbbecke, v.: Bericht über die Drainage-Anlage mit künstlicher Entwässerung in Groß-Neudorf bei Brieg, Bezirk Breslau. K.T. 1909 S. 5.
124. Löhnis: Die Biologie des Bodens. Handbuch der Landwirtschaft, Ackerbaulehre, 1929.
125. Lorke: Die Bodenkarte für kulturtechnische Zwecke. Diss. Breslau 1934.
126. Lüdecke: Über die Größe der Bodenverdunstung bei verschiedener Tiefe des Grundwasserspiegels. K.T. 1904 S. 195.
127. — Über die zur Anfeuchtung ausgedehnter Landstriche erforderlichen Wassermengen. K.T. 1905 S. 9.
128. Lueger-Weyrauch: Die Wasserversorgung der Städte. Städt. Tiefbau Bd. IIa. Bd. I (1914).
129. Meinardus: Eine einfache Methode zur Berechnung klimatologischer Mittelwerte von Flächen. M.Z. 1900 S. 241.
130. Michaelis: Die Wasserstoffionenkonzentration, 1922.
131. Milch: Die Zusammensetzung der festen Erdrinde als Grundlage der Bodenkunde, 1926.
132. Mirtsch: Eine Bestimmung der Benetzungswärme des Bodens. Bot. Arch. 1930 S. 451.
133. Mises, v.: Elemente der technischen Hydromechanik, 1914.
134. Mitscherlich: Untersuchungen über die Ermittlung des Wasserbedarfs unserer wichtigsten Kulturpflanzen. K.T. 1926 S. 46.
135. — Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 1923.
136. Moeller: Die Wirkungsgrade der Windkraftmaschinen. Tech. in d. Landwirtsch. 1925 S. 239.
137. Moritz: Moordammkultur seit 1888. M.V.M. 1927 S. 182.
138. Münzinger: Das Klima in landwirtschaftlicher Beziehung. Handbuch der Landwirtschaft, Ackerbaulehre, 1929.
139. Neue Wasserkraftmaschine für Be- und Entwässerung und Kraftversorgung. D.W. 1927 S. 136.
140. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie, 1920 u. 1926.
141. Nolte: Biologische Stickstoffbindung im Boden. D.L.G. 1933 S. 1130.
142. Odén: Die Huminsäuren, 1919.
143. Oehler: Grundzüge der Entwicklung der Feldberegnung in Deutschland. ATL-Schriftenreihe, 1928 Heft 3.
144. — Erfahrungen mit der Maulwurfdränung auf Hochburg. K.T. 1933 S. 9.
145. Pennink: Über die Bewegung von Grundwasser. J. Gasbeleuchtg. u. Wasserversorgg. 1907 S. 69.
146. Pfeiffer: Ertragsteigerung durch Dränung. K.T. 1924 S. 153.
147. Pilaski: Über den Wasserverbrauch der hauptsächlichsten Kulturpflanzen. Bot. Arch. Bd. 15 (1926).
148. Pilzwucherungen in Dränagen. K.T. 1911 S. 278.
149. Pollex: Arbeitsleistungen im Dränungsbau. K.T. 1930 S. 557.
150. Potonié-Seitz: Geologie. Bücherei für Landwirte, 1925.
151. Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde. Die wichtigsten Regeln für Abflummengenenmessungen mit dem Flügel.
152. Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde. Pegelvorschrift, 1935.
153. Preußisches Landwirtschaftsministerium. Dränanweisung, 1934.
154. Preußisches Meteorologisches Institut. Anleitung zur Anstellung meteorologischer Beobachtungen, Teil II. 1913.
155. Preußisches Meteorologisches Institut. Anleitung zur Messung und Aufzeichnung der Niederschläge, 1927.
156. Preußische Moorversuchsstation in Bremen. Anweisung zur Entnahme von Moorbodenproben für die physikalische und chemische Untersuchung.
157. Preußische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau. Bestehen Zusammenhänge zwischen Rutschneigung und Chemie von Tonböden? 1935.
158. Prinz: Handbuch der Hydrologie, 1923.
159. Ramann: Forstliche Bodenkunde und Standortslehre, 1893.
160. Ramshorn: Neuartige Absturzbauwerke in offenen mit Betonplatten ausgekleideten Bachläufen. Techn. Gemeindebl. 1933 Nr. 5.
161. Rehbock: Die Bekämpfung der Sohlensaukolkung bei Wehren durch Zahnschwellen. Schweiz. Bauztg. 1926 S. 27 u. 44.
162. — Wassermessung mit scharfkantigen Überfallwehren. Z. VDI 1929 S. 817.
163. — Brückenstau und Walzenbildung. Bi. 1921 S. 341.
164. — Der Abfluß von Wasser über Wehre verschiedenen Querschnittes. Z. Verb. dtsh. Arch.- u. Ing.-Ver. 1913 S. 4.
165. Reichel: Grabenbagger. K.T. 1924 S. 6.

- 165a. Reichsamt für Wetterdienst. Anleitung für die Beobachter an den Niederschlagsmeßstellen des deutschen Reichswetterdienstes, 1936.
166. Reichsfinanzministerium. Schätzungsrahmen mit Erläuterungen, 1935.
167. RKTL-Schriften, Heft 13. Die Feldberegnung und ihre Bedeutung für Landwirtschaft und Gartenbau, 1930.
168. RKTL-Schriften, Heft 30. Neue Beiträge aus Wissenschaft und Praxis der Beregnung in Landwirtschaft und Gartenbau, 1932.
169. RKTL-Schriften, Heft 38. Die Feldberegnung, zweite Folge, 1933.
170. Reichsleitung des Arbeitsdienstes und Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit. Handbuch der Arbeitstechnik, Heft 3, Erdarbeiten, 1935.
171. Reincke: Über die Zusammenhänge zwischen Grundwasserstand und Ertrag auf Niederungsmoorwiesen. D.L.G. 1932 S. 299.
172. Richter: Verstopfungen in Dränagen. K.T. 1914 S. 217.
173. Rinne: Gesteinskunde, 1921.
174. Rothe: Über den Wasserhaushalt der Marschböden im niederelebischen Obstbaugebiet. Arb. biol. Reichsanst. Land- u. Forstwirtsch. 1933 Heft 5 S. 603.
175. Rothe: Die Strangentfernung bei Dränungen im Mineralboden. K.T. 1929 S. 155.
176. — Meliorationen. Handbuch der Landwirtschaft, Ackerbaulehre, 1929.
177. — Verdunstungs- und Druckwassermengen im Haffdeichverband im Memeldelta. K.T. 1922 S. 55.
178. Rotmistroff: Das Wesen der Dürre, 1926.
179. Ruschmann: Bedeutung des Humus im Boden. Mitt. Landwirtsch. 1935 S. 655.
180. Salfeld: Erfahrungen und Winke bei der Neukultur der Hochmoore. M.V.M. 1896 S. 189.
181. Schäfer: Beitrag zur Bestimmung der Durchflußöffnung bei Wehranlagen und Brücken. D.W. 1935 S. 207.
182. Schewior: Hilfstafeln zur Bearbeitung von Meliorationsentwürfen, Kanalisationen und anderen wasser- und tiefbautechnischen Aufgaben, 1930.
183. Schildknecht: Die Bestimmung der Bewässerungsbedürftigkeit in der Landwirtschaft. K.T. 1932 S. 133.
184. Schirmer: 70 Jahre Rimpause Moordammkulturen. K.T. 1934 Heft 2.
185. — Die Nachprüfung der vom Unterausschuß für Schöpfwerke aufgestellten „Richtlinien I für die Berechnung der Zulaufmengen zu den Schöpfwerken“ vom Herbst 1929 an Hand der von den Kulturbaubehörden gelieferten Fragebögen über bestehende Schöpfwerke. K.T. Sonderh. vom 30. Okt. 1934.
186. — Vorläufige Richtlinien des deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen für die Berechnung der Zulaufmengen zu den Schöpfwerken. K.T. 1930 S. 27.
187. — Vorläufige Richtlinien des deutschen Ausschusses für Kulturbauwesen für die Anlage und Ausrüstung von Schöpfwerken. K.T. 1932 S. 305.
188. Schlipfs Handbuch der Landwirtschaft, 1929.
189. Schneider: Die rationelle Verwertung der Stadtabwässer in der Landwirtschaft, 1931.
190. Schroeder: Beitrag zur Bearbeitung von Schöpfwerksentwürfen. K.T. 1927 S. 223, 1928 S. 278.
191. — Die Verwendung von nahtlosen Stahlmuffenrohren für Wasserleitungen. K.T. 1932 S. 216.
192. — Schrittweise Dränung. K.T. 1928 S. 463.
193. Schucht: Grundzüge der Bodenkunde, 1930.
194. Schulze: Wurzelatlas, 1911 u. 1914.
195. Schulze-Pillot: Sicherung von Heberleitungen an Schöpfwerken durch Einschließen von Luft. K.T. Sonderh. 30. Okt. 1934.
196. Schüngel: Tafeln zur graphischen Ermittlung der Wassergeschwindigkeit v für trapezförmige Fluß- und Grabenprofile, 1900.
197. Seelhorst, v.: Handbuch der Moorkultur, 1914.
198. — Der Wasserverbrauch von Wiese und Weide. J. Landwirtsch. 1910.
199. Seifert-Liebs: Zur Frage der Übertragbarkeit der Flügeleichen auf Wassermessungen. Mitt. Preuß. Versuchsanst. Wasserbau u. Schiffbau 1931.
200. Sellke: Fortschritte der Wiesenwirtschaft im Weichseldelta auf der Grundlage tieferer Entwässerung. Danz. statist. Mitt., Mai 1929.
201. Sering: Die deutsche Landwirtschaft unter volks- und weltwirtschaftlichen Gesichtspunkten, 1932.
202. Stahlschmidt: Die zweckmäßigsten Holzkastendräs für Moorboden. M.V.M. 1928 S. 203.
203. Strate: Herstellung von Drängräben durch Dampfgeräte. K.T. 1908 S. 179.
204. Streckler: Erkennen und Bestimmen der Wiesengräser, 1927.
205. Tacke: Einfluß der Moore auf die Wasserverhältnisse der Unterlieger. D.W. 1935 S. 115.
206. — Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Moorkultur. M.E. 1929.
207. — Über die bei der Entwässerung und Kultivierung des Moorbodens eintretenden Sackungen. Jb. Moorkde. 1912 S. 35.

208. Tillner: Neue Bauweise von HolzkastendrÄns. K.T. 1928 S. 267.
209. Trabert: Neuere Beobachtungen über die Verdampfungsgeschwindigkeit. M.Z. 1896 S. 261.
210. Troßbach: Die Häufigkeit dürre- und nasser Monate im oberen Donaugebiet. K.T. 1930 S. 236.
211. Uhl: Grundsätzliches über Bachdüker. Bt. 1933 S. 675.
212. Vageler: Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens, 1932.
213. V.D.I.-Verlag, Berlin: Regeln für Leistungsversuche an Kreiselpumpen, 1928.
214. Verband deutscher Landeskulturgenossenschaften: Bedeutung und Umfang der Meliorationen in Deutschland, 1931.
215. Vogt: Eisenbakterien und Grünland-Dränung. D.L.P. 1930 Nr. 2.
216. Weber: Die landwirtschaftliche Abwasserwertung in der Rieselfeldgenossenschaft Delitzsch-Schenkenberg. K.T. 1934 S. 151.
217. Weiland: Die Vorgänge im Kapillarwasser des Bodens bei Veränderung der Grundwasserspiegelhöhenlage. K.T. 1933 S. 147.
218. Weise: Die Fortentwicklung der landwirtschaftlichen Bewässerung unter Verwertung der städtischen Abwässer. Bt. 1935 S. 527 u. 601.
219. Weiß: Staukurvenberechnung für natürliche Wasserläufe. Wasserkr. 1921 S. 300.
220. Weyrauch: Hydraulisches Rechnen, 1921.
221. Wießmann: Einfluß des Lichtes auf Wachstum und Nährstoffaufnahme bei verschiedenen Getreidegattungen. L.J. 1921/22.
222. Wilharm: Straßen- und Wegebau im Moor. Druckerei der deutschen Tageszeitung, 1930.
223. Winkel: Die Grundlagen der Flußregelung, 1934.
224. — Eine neue Wasserkraftmaschine „Äquapulsor“. Glasers Ann. 1922 S. 92.
225. Witte: Beitrag zu den Grundlagen des Grasbaues. Diss. Bonn-Poppelsdorf 1928.
226. Wohltmann: Die Möglichkeit der Ackerbewässerung in Deutschland. Arb. D.L.G. 1904 Heft 97.
227. Wrangell, v.: Ernährung und Düngung der Pflanzen. Handbuch der Landwirtschaft, Ackerbaulehre, 1929.
228. Wussow: Die Häufigkeit zu nasser und zu trockener Sommermonate (Dürremonate) in Ostpreußen. K.T. 1926 S. 191.
229. — Die Häufigkeit nasser und dürre- Sommermonate in Nordwestdeutschland. K.T. 1932 S. 20.
230. — Die Häufigkeit nasser und dürre- Sommermonate in Westdeutschland. K.T. 1933 S. 14.
231. — Die Häufigkeit nasser und dürre- Sommermonate in Mitteldeutschland. K.T. 1931 S. 30.
232. — Die Häufigkeit nasser und dürre- Sommermonate in Schlesien. K.T. 1934 S. 63.
233. — Die Häufigkeit nasser und dürre- Sommermonate im mittleren Norddeutschland. K.T. 1930 S. 243.
234. — Stark- und Dauerregen auf Grund fünfjähriger Registrierungen. M.Z. 1933 S. 67.
235. Zentral-Moor-Kommission. Protokoll der 87. Sitzung 1926.
236. Zunker: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Handbuch der Bodenlehre, 1930.
237. — Beziehung zwischen Bodenbeschaffenheit und Entfernung der Sauger von DrÄnungen. L.J. 1921/22.
238. — Die spezifische Oberfläche des Bodens als Grundlage für die Normung der DrÄnentfernung. K.T. 1923 S. 89.
239. — Hygroskopizität und Benetzungswärme. K.T. 1928 S. 80.
240. — Über das Schwinden und Quellen der Böden und ein neues Bodenuntersuchungsverfahren. K.T. 1928 S. 527.
241. — Gebrauchsanweisung zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche des Bodens. K.T. 1926 S. 157.
242. — Vorläufiger Bericht über die Abwasserberegnungsversuche in Schebitz im Jahre 1933. K.T. 1934 Sonderheft S. 189.
243. — Landwirtschaftliche Verwertung der Abwässer. Gesh.-Ing. 1936 Nr. 24 u. 25.

Sachverzeichnis.

- Aalfang 169.
Abflußberechnungen 176.
Abflußgesetz eines Pegels 112.
Abflußhöhe 129.
Abflußjahr 108.
Abflußmengendauerlinie 114.
Abflußmengenlinie eines Pegels 112.
Abflußmessungen 115.
Abflußspenden, Dränbewässerung 313.
—, Dränrohre 198.
—, Hochwasser 133.
—, Wasserläufe 115, 129.
Abflußveränderung, Moor 351.
Abflußverhältnis 135.
Abflußzahl 135.
Ableiter 292.
Absetzverfahren 53.
Absitzbecken 343.
Absturz, Dränung 196.
Abteilungsgröße, Überstauung 300.
Abwasserbetrieb 340.
Abwassergenossenschaften 334.
Abwasserklärung 338, 339.
Abwasserverregnung 339.
Abwasserverteilung 340.
Abwasserverwertung, Moor 337.
—, Wirtschaftlichkeit 345.
Abweichung des Jahresniederschlages, mittlere 88.
Aerobe s. Luftbrauchende.
Altarme 169.
Aluminiumrohre 330.
Ammoniak 31.
Anaerobe s. Luftentbehrende.
Andel 377, 380.
Anemometer s. Windmesser.
Anlassen, Pumpen 279.
Ansaat, Moor 360.
Aquapulsor s. Kolbenheber.
Arbeitsvermögen, elektrisches 239.
Artenverhältnis 60.
Assimilation s. Kohlenstoffeinbau.
Atmung der Pflanzen 67.
Aufbrauch 97.
Aufhöhung des Geländes 143.
Aufkadung 185.
Auflandung 143.
Aufspülung 375.
Auslaßbauwerk 182.
Auslaufbauwerk 259.
Ausmündungen, Sämmler 195, 210.
Austropfung 57.
Auswaschböden 33, 47.
Auswaschung, Pflanzennährstoffe 68.
Außendeich 179.
Außengraben 238.
Baggerkasten 162.
Baggerschaufel 162.
Basen 27.
Basenaustausch 27.
Basengehalt 20.
Bauweise, aufgelöste 255.
—, halb aufgelöste 257.
Bauwerkverzeichnis 168.
Bazin, Formel 121.
Beckenverfahren 302.
Bedarfräne 207, 216.
Beetbewässerung 298.
Beetgräben 152.
—, Moor 353.
Beetgrabendränung 226.
Belüftung, Wasser 284.
Benetzbarkeit des Bodens 10, 21.
Benetzungsdauer 110.
Benetzungswärme, 3, 4, 34.
Benetzungswasser 3.
Benutzungsfeld, Pumpen 245.
Beregnung 318.
—, Anlagekosten 329.
—, Berechnungen 326.
—, Betriebskosten 323.
—, Mehrerträge 331.
—, Unterhaltung 331.
—, Vorzüge 329.
—, Wasserbedarf 325.
—, Wirkung 323.
—, Wirtschaftlichkeit 331.
Beregnungsbetrieb 321.
Beregnungsplan 323.
Beregnungszeit 324.
Bermen 150, 173.
Bernoullische Gleichung 125.
Bestandsveränderung, Grünlandmoor 361.
Betonbauten, Moor 372.
Betonpfähle, Moor 373.
Betonplatten 150.
Betriebsdauer, Schöpfwerke 266.
Bewässerung, Abwasser 333.
—, Wirkung 281.
Bewässerungsbedürftige Flächen Deutschlands 281.
Bewässerungsbetrieb 314.
—, Furchenbewässerung 298.
—, Überstauung 301.
Bewässerungsordnung 317.
Bewässerungsversuch 297.
Bewässerungszeiten 314.
Bezugpegel 110.
Bindungsvermögen 15, 36, 38, 40, 47.
Binnendeich 179.
Binnenentwässerung 144.
Binnenpeil 265.
Blattverdunstung 56, 99.
Bleicherde 47.
Blockbauweise 256.
Boden, anmooriger 47.
Bodenabschwemmungen, Dränung 197.
Bodenbänder 52, 206, 216.
Bodenbearbeitung 66.
Bodenbenetzung 3, 4, 34, 36, 43.
Bodendurchschnitte 218.
Bodenfilterung 342.
Bodenfräse 354.
Bodenhorizonte s. Bodenbänder.
Bodenkarten 205, 218.
Bodenkrümel 12.
Bodennässe 138, 206.
—, Nachteile 140.
Bodenoberfläche 2.
—, spezifische s. Vergleichsbodenoberfläche.
Bodenproben 53.
Bodenreaktion s. Wasserspaltung.
Bodenschichten 52.
Bodenuntersuchungen 49, 205.
Bodenwaagen 63, 94.
Bodenwasser, aufnehmbares 59.
Bodenzeolithe 27.
Böschungen, Moorgräben 352.
—, Seedeiche 382.
Böschungssicherungen, Wasserläufe 148.
Böschungsneigung, Wasserläufe 147, 173.
Böschungsrutschungen 16.
Bohrungen 49, 205.
Brandverfahren 366.
Braunerden 33.
Brennverfahren 366.
Bruchlast, Dränrohre 190.
Bruchzuschlag, Dräne 217.
Brücken 155, 159.
—, Moor 372.
Brückenstau 129.
Brunnen, artesischer 8.
Brunnenpfeife 98.

- Brunnenstube 195.
 Bühnen 175, 384.
 Bühnenfelder 169.
 Bunkerde 363.
 Buschdämme 384.
 Buttersäure 286.
- Checksystem s. Beckenver-
 fahren.
- Dämme, Überstauung 300.
 Dampfdruck, Luft 81.
 Dampfmaschinen 241, 264,
 273, 318.
 Dampfplug 364.
 Darcy, Filtergesetz 100.
 Dauerlinie der Wasserstände
 110.
 Dauerregen 92.
 Deckanlagen, Moor 357, 363,
 366.
 Deckfrucht 361, 369.
 Deckschicht, Dräne 222.
 —, Moor 357.
 Deiche 179, 381.
 —, Ausführung 183.
 —, Linienführung 181.
 Deichlücke 182, 288.
 Deichquerschnitt 181.
 Deichrampe 182.
 Deichschloß 237.
 Deichunterhaltung 184.
 Deichverteidigung 184.
 Denitrifikation s. Salpeterzer-
 setzung.
 Dichtemesser 5.
 Dichtung von Dämmen 289.
 Dieselmotoren 240, 274, 277,
 279, 280, 318.
 Dissimilation s. Atmung.
 Doppelquerschnitt 119.
 Dränabstand 214, 226, 232.
 —, Dränbewässerung 313.
 Dränabteilung 186, 208.
 Dränbewässerung 312, 340.
 Drängefälle 226, 232.
 —, künstliches 212, 216.
 Drängewasser 140, 268, 272.
 Dränggräben 219.
 Dränhammer 222.
 Dränrohre 189.
 —, Kosten 202.
 Dränsackung 233.
 Dränschächte 154, 195.
 Dränspaten 220.
 Dräntiefe 212, 226, 232.
 Dränung 186.
 —, Abwasser 338.
 —, Ausführung 218, 233.
 —, Kostenanschlag 217.
 —, Lagepläne 217.
 —, Marschböden 226.
 —, Massenberechnung 217.
 —, Mehrertrag 203.
 —, Moorböden 230.
 —, natürliche 215.
 —, schrittweise 201, 207.
- Dränung:
 —, Stundenleistung 202.
 —, Übersichtskarte 218.
 —, Unterhaltung 229.
 —, Vorteile 187.
 —, Wirkung 186.
 —, Wirtschaftlichkeit 204.
 Dränungstücklohn 203.
 Drahtnetzkörper 174.
 Drehmoment, Pumpe 246.
 Drehstromkraftmaschinen
 273.
 Drehstrom-Regelsatz 240.
 Drehwert, Pumpe 247.
 Drehzahl 239.
 —, gefährliche 240.
 —, kritische s. gefährliche.
 —, spezifische s. Drehwert.
 Drehzahlregelung 239.
 Drossellinie 245.
 Druckhöhe 244.
 Druckhöhenverluste, Rohr-
 leitung 121.
 Druckkammer 257.
 Drucklinie 126.
 Druckmesser 126.
 Druckrohrleitung, Abwasser
 341.
 —, Beregnung 318.
 —, Schöpfwerke 260.
 Druckverluste, Beregnung 327.
 Druckwasser 139.
 —, Schöpfwerke 269.
 Düker 155.
 Düngung, Hochmoor 365, 367,
 369.
 —, Moorgrünland 360.
 —, Niederungsmoor 355.
 —, Schwarzanlagen 356.
 Dürremonate 65, 89.
 Düsen 320.
 —, Wasserverbrauch 325.
 Düsendruck 328.
 Düsenflügelregner 320.
 Düngwert des Wassers 284.
 Durchfahrten 155.
 Durchlässe 159.
 —, Moor 372.
 Durchlässigkeitsziffer, Boden
 17.
 —, Luft 20.
 Durchlüftungsdränung 187.
- Edaphon 28.
 Eindeichungen 112.
 Einheitsergiebigkeit 105.
 Einlaßbauwerk 183.
 Einlaßschleuse 291.
 Einlaufbauwerk 259.
 Einstau, unterirdischer 312.
 Einwirkungsbreite, Brunnen
 103.
 Einzelkorngefüge 16, 141.
 Einzelsauger 231.
 Einzugsgebiet 114.
 Eisen, Boden 48, 51.
 —, Grundwasser 106.
 Eisenbakterien 32, 224.
- Eisenbetonplatten, Moor 375.
 Eisenocker 48, 200, 224.
 Eisenortstein 48.
 Eisenvitriol 48.
 Eiweißbildung im Boden 31.
 Elektromotor s. Stromkraft-
 maschine.
 Entnahmegebiet, Brunnen
 103.
 Entwässerungsbedürftige
 Flächen Deutschlands 140.
 Entwässerungsrinnen 307,
 310.
 Erdbohrer 49.
 Erddämme, Landgewinnung
 384.
 Erddräne 228.
 Erdschaufel 355.
 Ergänzungstoffe 333.
 Ergußgesteine 23.
 Ernten, Hochmoor 368, 369.
 —, Moor 356, 359.
 Erträge, Abwasser 346.
- Fäulnis 30, 336.
 Fangdräne 207, 216, 231, 352.
 Fanggräben 145, 352.
 Fangrinnen 311.
 Faschine s. Strauchbündel.
 Faschinendräne s. Strauch-
 dräne.
 Fechnersche Formel 86.
 Feinboden 2.
 Feinsande, tonige 37.
 Feldaufnahmen, Wasserläufe
 158.
 Festpunktverzeichnis 160,
 217.
 Feuchtigkeitsgrad, Boden 52.
 Filmwasser 11.
 Filterstoffe 224.
 Fischereischutz 150, 169.
 Fischerzüge 169.
 Fischteiche 342.
 Fischtreppe 169.
 Fischwanderung 150.
 Flachrasen 148.
 Flächenbedarf, Abwasser 335.
 Flächeneinteilung, Abwasser
 343.
 Flächenmessungen, Dränung
 205.
 Flechtzaun 149.
 Fließsand 49.
 Fließfähigkeit 120.
 Floßverdunstungskessel 94.
 Flügelmessung 116.
 Flügelpumpe, schwenkbare
 255.
 Flügelrad 243.
 Flurbereinigung 172.
 Flurzwang 323.
 Flußbegradigung 170.
 Flußbetten, undichte 99.
 Flußdeiche 179.
 Flußdurchstich 171.
 Flußkrümmung 163, 165, 170.
 Flußquerschnitte 164, 172.

- Flußverlegung 172.
 Fluten einer Niederung 282, 304.
 Flutmulde 172.
 Förderhöhe, geodätische 244.
 —, manometrische 244.
 Folgeeinrichtungen, landwirtschaftliche 143.
 Formstücke 190.
 Fräse 364.
 Freileitungen, elektrische 274.
 Freiluft-Schöpfwerke 259.
 Fremdgebiet 234.
 Frostgefahr 56.
 Frühjahrsbewässerung 315.
 Furchen 298.
 Furchenbewässerung 297, 337.
 Furten 155.
- Ganguillet und Kutter,**
 Formel 120.
 Gartenbewässerung 288.
 Gefälle, Moorgräben 352.
 Gefälleumformer 249.
 Gefäßzellen 2, 6.
 Geländeneigung, Hangbau 307, 309.
 —, Rieselung 305.
 Geruch, Böden 52.
 Geruchsbelästigung, Abwasser 336.
 Geschiebe 135.
 Geschiebemergel 40.
 Geschwindigkeit des Bodengewässers, scheinbare 17.
 Geschwindigkeitsmessungen 115.
 Gesteine 23.
 Gewicht, spezifisches s. Stoffgewicht.
 Gifterde 48.
 Gipstreifen 28.
 Glühkopfmachines 241, 318.
 Grabenaushub, Berechnung 161.
 —, Kosten 153.
 Grabenbagger 220.
 Grabeneinstau 297.
 Grabenpflug 153.
 Gräser, Moor 359.
 Grassamenmischung, Böschungen 149, 184.
 —, Moorgräben 353.
 Grenzflächenkräfte 3.
 Grenzhorizont s. Grenzschicht.
 Grenzschrift, Moor 42.
 Grenztorf 42.
 Grobboden 2.
 Groden 381.
 Gründung, feste 373.
 —, schwimmende 372, 374.
 Grünlandpflege 361, 362.
 Grünlandumbruch 361.
 Grünlandwirtschaft, Niedermoor 359.
 Gruppen 153.
 Grundablaß 290.
- Grundbruch 185.
 Grundluft 11, 187.
 Grundschwelle 175.
 Grundstoffe 68.
 Grundwasser 8.
 Grundwasserabsenkung, Brunnen 101.
 —, Dränstränge 106.
 —, Gräben 105.
 Grundwasserbecken 8.
 Grundwasserbeobachtungen 98.
 Grundwasserbeschaffenheit 106.
 Grundwasserbewegung 100.
 — nach Pennink 102.
 Grundwasserpegel 98.
 Grundwassersee 8.
 Grundwassersenkung, Wasserläufe 168.
 Grundwasserspeisung 134.
 Grundwasserspiegel, gespannter 8.
 —, Moor 45.
 Grundwasserstände 59, 99.
 Grundwasserstand, günstigster 61, 142.
 —, Moor 353.
 Grundwasserstockwerke 8.
 Guttation s. Austropfung.
- Haarröhrchen** 9.
 Hacken, Boden 66.
 —, Moor 364.
 Härte des Wassers 107.
 Häufelpflug 298.
 Häufigkeitszahlen, Wasserstände 109.
 Häutchenwasser 11.
 Haftwasser 11.
 Hagel 83.
 Halligen 378.
 Haltungen, Staugrabenrieselung 305.
 Hangbau, künstlicher 309.
 —, natürlicher 306.
 Hanggräben 299.
 Hangtafeln 307, 309.
 Hauptbeobachtungen, Wasserstände 108.
 Hauptsammler 208.
 Hauptziel 236.
 Hauptvorfluter 144.
 —, Moor 350.
 Hauptzahlen, Abflußmengen 114.
 —, Wasserstände 108.
 Hauptzuleiter 289.
 Hausbauten, Moor 373.
 Heberanordnung 254, 265.
 Heidetorf 47.
 Heller 380.
 Herbstbewässerung 315.
 Herddamm 183.
 Hochmoore, Erschließung 363.
 Hochmoorverfahren, deutsches 364, 367, 368.
- Hochspannungskraftmaschine 240.
 Hochwassermarke 134.
 Hochwassermelddienst 186.
 Hochwasserwelle 113, 165.
 —, Umformung 180.
 Höhenmessungen 159.
 Höhenrauch 367.
 Hohlkelle 221.
 Hohlraumbildung 248, 279.
 Hohlraumvolumen s. Porenraum.
 Holzkastendräne 191, 231.
 Horizontalgräben s. Hanggräben.
 Hubhöhe 244.
 Humus 47.
 Humusbildung 30, 38.
 Humusböden 41.
 Humusgehalt 51.
 Humussäuren 28, 47.
 Hydrant s. Zapfrohr.
 Hydraulischer Radius s. Wasserhalbmesser.
 Hydropulsor s. Triebrohrkreisel.
 Hygrophyten 80.
 Hygroskopizität s. Bodenbenetzung.
- Isohyeten s. Regengleichen.
- Jahresniederschlag**, mittlerer 86.
Jahresverdunstung, mittlere 95.
Janertsches Bewässerungsverfahren 314.
- Kältestarre** 29.
Kahnschleuse 237.
Kalkböden 41.
Kalkgehalt 51.
Kalknieren 190.
Kalkpflanzen 80.
Kalkung, Hochmoor 365, 367, 369.
Kalorimeter s. Wärmemesser.
Kapillarsaum s. Saugsaum.
Kapillarwasser s. Saugwasser.
Karbolineum 225.
Karbolsäure 286.
Kastenschleusen 291.
Kavitation s. Hohlraumbildung.
Keimwärme 56.
Kellersche Gleichungen 95.
Klärbecken 340.
Klammerwirkung 21.
Clappdränung 194.
Kleinbewesen 28.
Kluckhuhn-Rohre 194, 314.
Knick 48.
Knöllchenbakterien 32, 365.
Kochsalz 107.
Köge 381.

- Kohlensäure 28, 30, 32, 54, 67, 107.
 Kohlensäure-Assimilation s. Kohlensäureverbrauch.
 Kohlensäureverbrauch im Boden 30.
 Kohlenstoffeinbau 54.
 Kolbenheber 251.
 Kolkbildung 156.
 Kolke 181.
 Kollektor s. Stromwender.
 Kolloide s. Quellstoffe.
 Kolmation s. Auflandung.
 Kommutator s. Stromwender.
 Kondensationswärme s. Verdichtungswärme.
 Korngrößen 1, 34, 35, 37, 39, 40, 51.
 Kraftmaschinen 238.
 Krautfang 161.
 Krautharke 162.
 Krautmesser 178.
 Krautsäge 178.
 Krautsense 162.
 Krautung 161.
 Krautwuchs 146, 165.
 Kreisel 243.
 Kristallische Schiefer 24.
 Kronenbruch 185.
 Krümelbildung 9, 21, 187.
 Krümelgefüge 16, 141.
 Krümelung 38.
 Kühlung 241.
 Küstensenkung 378.
 Kupplung 252.
 Kutter, einfache Gleichung 121.
 Kuverwasser 139.

 Längsdränung 210.
 Lagerungsdichte, Boden 52.
 Lahnungen 379.
 Laichzeit 150.
 Landerhaltung 378.
 Landgewinnung 375, 379.
 —, Kosten 381.
 —, Naturkräfte 376.
 Landzuwachs 380.
 Laufentwicklung, Fluß 164.
 Lebensdauer, Schöpfwerke 275.
 Leegmoor 363.
 Legehaken 221.
 Lehm Böden 39.
 Leichtölmotoren, 241, 318.
 Leistungsbedarf, Pumpen 247.
 Leistungsfähigkeit, Schöpfwerke 270.
 Leistungsfaktor s. Leistungswert.
 Leistungsversuche, Pumpen 245.
 Leistungswert 239.
 Leitkranz 244.
 Leitpflanzen 69.
 Leitwerk 175.
 Lentokapillarer Punkt s. Trägheitspunkt.

 Letten 37.
 Licht 54.
 Lichtpflanzen 55.
 Litergewicht s. Trockenraumgewicht.
 Lößböden 39.
 Lößlehm 39.
 Lößmergel 39.
 Löß-Schwarzerde 39.
 Lot 167.
 Luft 66.
 Luftbildaufnahmen 159.
 Luftbrauchende 29.
 Luftdruck 82.
 Luftdurchlässigkeit, Boden 20.
 Luftentbehrende 29.
 Luftfeuchtigkeit, anteilige 82.
 —, wirkliche 82.
 Luftgehalt, Boden 12, 36, 67.
 Lufthaltevermögen 13, 36, 38, 40, 43, 46.
 Luftpumpe 254.
 Luftwechsel im Boden 20.
 Lysimeter s. Bodenwaagen.

 Mahlbussen 236.
 Maibolt 48.
 Maschinengrundbauten 257.
 Maschinenhaus 257.
 Maulwurfdräne 216, 231.
 Maulwurfdränung 227.
 Maulwurfpflug 227.
 Meedjeschlootdränung 226.
 Meeresströmungen 377.
 Meereswellen 376.
 Mergelböden 41.
 Mergelton 38.
 Meßwehr 118, 318.
 Milzbrandsporen 283.
 Minerale 25.
 Mischanlagen, Moor 359, 366.
 Missenböden 48.
 Mittelanordnung, Schöpfwerke 254.
 Moduli 318.
 Mönche 156.
 Molkenböden 48.
 Monatsniederschläge, mittlere 87.
 Moorböden 41.
 Moorbrände 367.
 Moorentwässerung 348.
 Moorerde 47.
 Moorererschließung 348.
 Moorflächen Deutschlands 348.
 Moorgräben 351.
 Moorhandhacke 364.
 Moorpflug 354.
 Moorrauch 367.
 Moorsackungen 43, 349, 358.
 Moorschuhe 354, 364.
 Moorunkräuter 361, 368, 369.
 Moorwalze 355, 362.
 Moorwege 370.
 Moostorf 42.
 Muddebildungen 45.
 Mulde, abflußlose 145.

 Muldenfrost 56.
 Musterstrecken, Fluß 168.

 Nachtberegnung 324, 330.
 Nachtfrost 46.
 Nährstoffbedarf 68.
 Nässe, stauende 142.
 Nahberegnung 321.
 Nebel 83.
 Nebensammler 210.
 Nebensiel 236.
 Nebenvorfluter 151.
 Niederschlaggebiet 114.
 Niederschlaghäufigkeit 89.
 Niederungsmoore 41.
 —, Erschließung 354.
 Nummersteine 210.
 Nutzpflanzen, Hochmoor 368.

 Oberflächenabfluß 134.
 Oberflächengeschwindigkeit 116.
 Ölung 253.
 Ortsbesichtigung 158.
 Ortstein 36, 47, 230.
 Osmose s. Säfteaustausch.

 Packwerk 174.
 Pegel, Schöpfwerke 260.
 Pegellatten 107.
 Pegelstände, gleichwertige 111.
 Peilstange 50, 167.
 Petersenscher Wiesenbau 313.
 Pfahlbühne 175.
 Pfahlrost, Moor 373.
 Pflanzennährstoffe 68.
 —, Abwasser 334.
 —, Boden 35, 37, 40, 42.
 Pflanzenwurzeln 52.
 Pflaster 174.
 Phenole 225, 286.
 Piezometer s. Druckmesser.
 Pilzwucherungen in Dränen 226.
 Plattendurchlässe 154.
 Platzregen 90.
 Podsolböden s. Auswaschböden.
 Polder 381.
 Poldergröße, Stauberieselung 303.
 Polumschaltung 239.
 Porenraum 6, 34, 43.
 —, kleinster 6, 7, 14.
 —, scheinbarer 7.
 —, spannungsfreier 7, 38.
 Porenvolumen s. Porenraum.
 Porenwinkelwasser 11.
 Priele 377.
 Probenstecher 50.
 Propellerrad s. Flügelrad.
 Pufferung 28, 37.
 Puffigwerden des Moores 46.
 Pulvererde 48.
 Pumpenanzahl 264.

- Pumpengehäuse 243.
 Pumpenkennlinie 245.
 Pumpenleistung, Anpassung an Betrieb 265.
 Pumpenrechen 259.
 Pumpräder 252.
 Pumpversuche 19, 100.
 Pyknometer s. Dichtemesser.
- Qualmwasser** 139.
 Quellen des Bodens 16.
 Queller 377.
 Quellstoffe 15, 39.
 Quellungsdruck 16.
 Quellungsvermögen 14.
 Querdränung 210.
- Räumung, Wasserläufe** 178.
 Räumungskraft 135.
 Randgräben 145, 197, 234.
 Rasenmesser 148.
 Rauheitsgrad 120.
 Rauhwehr 174.
 Raumgewicht 43.
 Rechen 259.
 Rechenstau 129.
 Regelquerschnitt, Fluß 173.
 Regenbedürfnis 65.
 Regenbildung 92.
 Regendichte 90, 326.
 Regengleichen 85.
 Regenhaltevermögen 15.
 Regenkanone 321.
 Regenkapazität s. Regenhaltevermögen.
 Regenkarten 87.
 Regenmesser 84.
 Regenschattenseite 83.
 Regenverteilung 87.
 Reichsbodenschätzung 33.
 Reif 83.
 Reinigungschächte 154.
 Reizstoffe 333.
 Reversibel s. rückquellbar.
 Reynoldssche Zahl 119.
 Riemenübertragung 252.
 Rieselrinnen 307, 310.
 Rieselrinnenpflug 307.
 Rieselrinnenstecher 307.
 Rieselung 339.
 —, wilde 304.
 Ringdeich 237.
 Rohhumus 47.
 Rohrdurchlässe 153.
 Rohrlegen 221.
 Rohrleitungen 152, 154.
 Rohrlieferung, Dräne 221.
 Rohrsaugkraft 9.
 Rohrweiten, Berechnung 198.
 —, Beregnung 327.
 Rückenbau 310.
 Rückenbreite 310.
 Rückengefälle 312.
 Rückenlänge 310.
 Rücklage 97.
 Rückquellbarer Zustand, Boden 16.
- Rückschlagklappen 262.
 Rückstau in Dräne 225, 226, 231.
- Sackbagger 162.
 Sacken der Moore 43.
 Sackmaß, Deiche 184.
 Säfteaustausch 56.
 Sättigungsfehlbetrag 82.
 Sättigungspunkt 82.
 Säuren 27.
 Salpeter 31.
 Salpeterbakterien 31.
 Salpetersäure 32.
 Salpeterersetzung 31.
 Salze 25.
 Salzpflanzen 81.
 Sammelbecken, Bewässerung 288.
 Sammelgebiet 114.
 Sammelrinnen 305, 307.
 Sammler 209.
 Sandböden 35.
 —, lehmige 37.
 Sandfang 151, 163, 335.
 Sandgräben, Moor 375.
 Sandschüttung, Moor 373, 374.
 Sauergräser 80.
 Sauerstoffzehrung, Abwasser 336.
 Sauger 210.
 Saugeranschlüsse 222.
 Saugerlänge 231.
 Saugsaum 9, 10, 59.
 Saugwasser 8.
 Saumlattendräne 193.
 Schädlinge 141.
 Schalteinrichtungen, selbsttätige 262.
 Schalttafel 262.
 Schauordnungen 161.
 Schichtgesteine 24.
 Schlämmflasche 51.
 Schlammgerät 54.
 Schlammbelebungsverfahren 336.
 Schleppkraft 135.
 Schlepplänge 178.
 Schleuderpumpen 243, 274, 318.
 —, selbstsaugende 248.
 Schlick 37, 377.
 Schlickfänger 384.
 Schliefsand 48, 51.
 Schloothacke 162.
 Schlucker 197.
 Schnee 83.
 Schneedichte 85.
 Schneemesser 85.
 Schnellkupplungen 319.
 Schöpfräder 252.
 Schöpfwerkbetrieb 278.
 Schöpfwerke 234.
 —, Betriebskosten 263, 276.
 —, Jahreskosten 275.
 —, Tilgungszeit 275.
 Schöpfwerkstelle 236.
 Schrägdränung 211.
- Schraubenrad 243.
 Schraubenschaufler s. Flügelrad.
 Schreibpegel 107.
 Schrumpfen, Boden 16.
 Schrumpfung, Moor 43.
 Schürfruben 49, 205.
 Schürzenwehr 156.
 Schuttpflanzen 81.
 Schwanenhals 221.
 Schwandendräne 193.
 Schwarzanlagen, Moor 356.
 Schwarzerden 33.
 Schwebende Bauten 176.
 Schwebestoffe 135.
 Schwefel 48.
 Schwefelalgen 32, 201.
 Schwefelbakterien 32.
 Schwefelsäure 32, 48.
 Schwefelwasserstoff 67.
 Schweißwasser 139.
 Schwemmsand 49.
 Schwimmermessung 116.
 Schwindung, räumliche 16.
 Sedimentierverfahren s. Absetzverfahren.
 Seedeiche 381.
 Seeschlick 38.
 Seesenkung 167, 170, 376.
 Seespeicherung 176.
 Senkbrunnen 158, 197.
 Senkstrauchbündel 174.
 Senkungsgebiete, Dränung 226.
 Senkungslinie 126.
 Senkwasser 11.
 Sensenkette 178.
 Sickergeschwindigkeit 11.
 Sickerlinie 182.
 Sickerverluste, Bewässerung 293.
 Sickerwasser 11, 62.
 Sickerzeitbestimmungen 20.
 Siedlungen, Moor 358, 370.
 Siel 182.
 Sinkbaum 175.
 Sinkmatte 175.
 Sinkstoffe 135.
 Sinkstück 175.
 Sinkwalze 174.
 Sohlenabsturz 147, 156, 197, 289.
 Sohlenaufbruch, Moorgräben 349.
 Sohlenauskolkung 165.
 Sohlengefälle, Wasserläufe 147.
 Sohlensicherungen 147.
 Sohlenübergänge 148, 197.
 Sohlpfähle 162, 197.
 Sohlschweller 147, 162, 197.
 Sommerbewässerung 315.
 Sommerdeiche 180.
 Sorptionsvermögen s. Bindungsvermögen.
 Spannrolle 252.
 Speicherraum, Schöpfwerke 238, 266.

- Spezifische Ergiebigkeit s. Einheitsergiebigkeit.
 — Wärme s. Stoffwärme.
 Spreutlage 174.
 Spülung, Dränrohre 230.
 Spülverfahren 53.
 Stärke 54.
 Staffelfrühenbau 311.
 Stangendräne 193, 231.
 Stauanlagen, Moor 350.
 Stauberieselung 302.
 Stau 129, 146, 155, 159.
 Staugrabenrieselegung 305.
 Stauhaltung 238.
 Staulinie 126.
 Stauschleusen 290.
 Stauverschluß 189, 196, 312.
 Stauwerke 167.
 Steiggeschwindigkeit 10, 38.
 Steighöhe 9, 34, 36, 38.
 Steinböschungen 382.
 Steindeiche 384.
 Steindräne 191, 216.
 Steingehalt, Boden 12.
 Steinpackung 148, 149.
 Steinpflaster 149.
 Stickstoffverluste 31, 335, 336.
 Stockwerkfrühenbau 311.
 Störungen, Pumpeneinlauf 261.
 Stoffgewicht 5, 34, 43.
 —, scheinbares 5.
 Stoffwärme 22, 35, 43.
 Stoßheber 250.
 Straffheit der Zelle 57.
 Strauchbündel 174.
 Strauchdräne 193, 231.
 Streichwehr 128.
 Streichweite, Wind 382.
 Strohbestückung 382.
 Stromkraftmaschine 238, 276, 279.
 Stromleitung 237.
 Stromschatten 165.
 Stromstrich 164.
 Stromwender 240.
 Stützmauern 158.
 Stufengetriebe 240.
 Sturzbecken 157.
 Sumpfgas 30, 67.
- Tagesgrößtwerte, Niederschlag 89.
 Talweg 164.
 Tau 62, 83.
 Tauchanordnung 253, 265.
 — mit Heberleitung 254.
 Taupunkt 82.
 Teildrängung 201, 207.
 Teilnehmerverzeichnis 217.
 Tiefengeschwindigkeitslinie 115.
 Tiefengesteine 23.
 Tiefengrundwasser, gespanntes 139.
 Tipula 362.
 Tonböden 37.
 Tongehalt 2.
- Tonmergel 38.
 Tonnenmühle 248.
 Torfarten 42.
 Torfdräne 194.
 Trägheitspunkt 8.
 Tränke 381.
 Transpiration s. Blattverdunstung.
 Triebrohrkreisel 251.
 Triebsand 49, 200, 223.
 Trockengebiete 87.
 Trockenlegung durch Anpflanzen 143.
 Trockenraumgewicht 5.
 Trockenrisse 215.
 Trockenwetterabfluß 341.
 Tschernosiom s. Schwarzerden.
 Turgor s. Straffheit.
- Überbreiten, Wasserläufe 173.
 Überdeckung, Sammler 210.
 Überfall von Thompson 118.
 —, unvollkommener 128.
 —, vollkommener 127.
 Überfrucht 361.
 Übergänge, Fluß 164.
 Übergangsbogen, Wasserläufe 170.
 Übergangsmoore 41.
 Überlaufpolder 181.
 Überschwemmungen 142, 144, 166.
 Übersetzungen 275.
 Überstauung 299, 337.
 Überstauungshöhe 300.
 Uferabbrüche 164.
 Uferreihen 165.
 Umbau, Beregnung 330.
 Umbruch, Moor 354.
 Umfang, benetzter 119.
 Umlauf, Bewässerung 316.
 Umlaufzahl 239.
 Umlegung der Grundstücke 172.
 Umspanner 262, 274.
 Unbenetzbarkeit, Boden 10.
 Ungleichförmigkeitsgrad 241.
 Unkräuter 141.
 Untergrundkalkung 365.
 Untergrundlockerer 66.
 Unterhaltungskosten, Schöpfwerke 278.
 Urstromtäler 100.
- Ventikanten s. Windkanten.
 Verbindungsdämme 379, 383.
 Verdichtung, Bodenwasser 3, 34.
 Verdichtungswärme 23.
 Verdunstung 46, 62, 93, 96.
 Verdunstungsgeschwindigkeit 93.
 Verdunstungskälte 22, 37.
 Verdunstungsvermögen 95.
 Vererdung, Moor 348.
 Verfehnung 363.
- Vergleichsbodenoberfläche 3, 4, 35.
 Verhauen, Dränrohre 222.
 Verkräutung 290.
 Verhandlungen 165.
 Vermüllung, Moor 368.
 Verteilrinnen 307.
 Verteilungsbauwerk, Bewässerung 318.
 Verwachsungen, Dräne 224.
 Verwesung 30.
 Viehtränke 163.
 Viskosität s. Zähigkeit.
 Volldrängung 207.
 Volumengewicht s. Trockenraumgewicht.
 Vorentwässerung, Moor 233, 350.
 Vorentwurf, Drängung 217.
 Vorflut 138.
 Vorflutdräne 154.
 Vorfruchtbau 368.
 Vorgewende 152.
 Vorland 172, 179, 380.
 Vorlandbreite 181.
 Vorreinigung, Abwasser 335.
 Vorrieselegung 342.
 Vorschub, Beregnung 330.
- Wachstumsgefäße 63.
 Wachstumszeit 55.
 Wärme 55.
 —, Regen 83.
 Wärmeausstrahlung 22, 37.
 Wärmebedarf, Pflanzen 56.
 Wärmeemission s. Wärmeausstrahlung.
 Wärmeentziehung, Bewässerung 281.
 Wärmefassungsvermögen 22, 36, 38.
 Wärmekapazität s. Wärmefassungsvermögen.
 Wärmeleitfähigkeit 22, 35, 36, 43.
 Wärmemesser 4.
 Wärmeschwankungen, Boden 55.
 Walze s. Moorwalze.
 Walzen des Bodens 12, 46, 66.
 Wasser 56.
 —, hygroskopisches s. Benetzungswasser.
 —, osmotisches s. Zellwasser.
 Wasserbedarf, Dränbewässerung 314.
 —, Furchenbewässerung 299.
 —, Hangbau 307, 310.
 —, Rückenbau 312.
 —, Stauberieselung 303.
 —, Überstauung 301.
 Wasserbeschaffenheit 283.
 Wasserbewegungsarten 119.
 Wasserbremsen 157.
 Wasserdruck 125.
 Wasserdurchlässigkeit 17, 18, 36, 40, 45.

- Wasserentnahme, Bewässerung 287.
 Wasserentziehung, Bewässerung 294.
 Wasserfurche 197.
 Wassergehalt, Boden 12.
 —, Pflanzen 63.
 Wassergeschwindigkeit, mittlere 118.
 —, zulässige 147, 289, 341.
 Wasserhalbmesser 119.
 Wasserhaltende Kraft 36, 38.
 Wasserhaltevermögen 12, 40.
 —, absolutes s. kleinstes.
 —, größtes 14.
 —, kleinstes 13, 14, 34, 43.
 Wasserhebe­maschi­nen 243, 288.
 Wasserkapazität s. Wasserhaltevermögen.
 Wasserläufe, Entwurfbearbeitung 158.
 —, Erläuterung 160.
 —, Höhenpläne 168.
 —, Instandsetzung 151.
 —, Längsschnitte 160.
 —, Lagepläne 160, 167.
 —, Querschnitte 147, 160.
 —, Übersichtskarte 160.
 —, Unterhaltung 161, 178.
 —, Vorarbeiten 166.
 Wasserlieferung, anteilige 20.
 —, spezifische s. anteilige.
 Wassermangel, vorübergehender 65.
 Wassermengenganglinie 300.
 Wasserpaß 382.
 Wasserpolster 157.
 Wasserscheiden 114.
 Wasserschnecke 248.
 Wasserschraube 249.
 Wasserspaltung 27, 30.
 Wasserstände 107.
 Wasserstandsänderungen 111.
 Wasserstandsdauerzahlen 110.
 Wasserstandsganglinien 112.
 Wasserstoffionendichte 27.
 Wasserstoffzahlen 28.
 Wassertiefe, mittlere 119.
 Wassertriebwerke 159.
 Wasserverbrauch, Pflanzen 63, 64.
 —, Waldbäume 65.
 Wasserverluste, Berieselung 296.
 —, Bewässerung 292.
 Wasserversenkung 157.
 Wasserverteilung, Beregnung 325.
 —, Bewässerung 317.
 Wechselbetrieb, Beregnung 321.
 Wechselflächen, Abwasser 343.
 Weitstrahlregner 320.
 Welken, Pflanze 57.
 Wichullas Bewässerungsverfahren 314.
 Widder, hydraulischer 250.
 Wieken 363.
 Wiesen­kalk 41.
 Wiesenpflug 354.
 Wildsche Schale 94.
 Wind 136, 378.
 Windgeschwindigkeit 137.
 Windkanten 242.
 Windkraft 138.
 Windkraftmaschinen 241, 264.
 Windmesser 136.
 Windmühlen 242.
 Windräder 242.
 Windschutzstreifen 63.
 Winterbewässerung 314.
 Wippen 174.
 Wirkungsgrad, mittlerer, Schöpfwerke 277.
 —, Pumpen 247.
 Wirkungsgrade 273.
 Wolkenbildung 82.
 Wollhandkrabbe 170.
 Wünschelrute 207.
 Würste 174.
 Wurf­räder 252.
 Wurfweite, Düse 328.
 Wurmlöcher 52.
 Wurt 381.
 Wurzel­druck 57.
 Wurzelhaare 58.
 Wurzel­tiefgang 58.
 Wurzel­verbreitung 58.
 Xerophyten 80.
 Zähigkeit des Wassers 17, 18.
 —, kinematische s. Fließ­zähigkeit.
 Zahnradvorgelege 253.
 Zahnschwellen 183.
 Zapfrohre 319.
 Zellenrad 243.
 Zellwasser 12.
 Zementbazillus 28.
 Zucker 54.
 Zuflußmenge, Schöpfwerke 267, 270.
 Zuggräben 152.
 Zuleiter 291.
 Zusammenklappen, Moorgräben 349.
 Zusatzschöpfwerk 236.
 Zwischenbunnen 169.

Berichtigung zu Seite 19.

Die beiden Gleichungen müssen lauten:

$$Q = v' \cdot F \cdot \frac{p''}{100} = k \cdot J \cdot F.$$
$$k = \frac{v' \cdot p''}{100 \cdot J}. \quad (21)$$

Handbibliothek III. 7.