

Drän- anleitung

R. Eggelsmann



2. Auflage

Paul Parey

Rudolf Eggelsmann

Dränenanleitung

für Landbau,
Ingenieurbau und Landschaftsbau

Zweite, neubearbeitete und ergänzte Auflage
mit über 260 Einzeldarstellungen in 155 Abbildungen,
davon 15 Nomogramme, und 62 Tabellen



1981

Verlag Paul Parey · Hamburg und Berlin

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Eggelsmann, Rudolf:

Dränanleitung : für Landbau, Ingenieurbau u.
Landschaftsbau / Rudolf Eggelsmann. – 2., neu-
bearb. u. erg. Aufl. – Hamburg ; Berlin :
Parey, 1981.

ISBN 3-490-15216-6

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach §54 Abs.1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, über deren Höhe der Verlag Auskunft gibt. © 1981 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. Anschriften: Spitalerstraße 12, 2000 Hamburg 1; Lindenstraße 44–47, 1000 Berlin 61. Satz: Maschinensetzerei Robert Hurler GmbH, 73111 Notzingen. Printed in Germany by Schüthe-Druck, 2102 Hamburg-Harburg. Einbandgestaltung: Karl-Heinz Engert, Hamburg.

ISBN 3-490-15216-6

Geleitwort zur 2. Auflage

Wie groß die Nachfrage nach einem Werk wie der „Dränanleitung“ ist, beweist nicht nur die Tatsache, daß bereits eine 2. Auflage dieses Werkes notwendig wird, sondern auch die große internationale Verbreitung, die dieses Buch gefunden hat. In 24 europäischen und 14 außereuropäischen Staaten ist die „Dränanleitung“ bei den Fachleuten in Gebrauch. Im Jahre 1978 veröffentlichte die Arbeitsgruppe für Internationale Zusammenarbeit (AIZ) im Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen (KWK) – heute Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) – eine englischsprachige Ausgabe dieses Buches. Und noch im selben Jahr erschien auch eine russische Lizenzausgabe dieses Werkes von Herrn Eggelsmann in einer Auflage von 10 000 Exemplaren, die auf großes Interesse gestoßen ist.

Zur Sicherung der Ernährung der Weltbevölkerung, aber auch zur Sicherung von Bauwerken der verschiedensten Art sind Dränungen notwendig. Möge das Handbuch dazu beitragen, daß diese Arbeiten auch künftig ökonomisch sinnvoll unter Berücksichtigung der ökologischen Notwendigkeiten geplant und durchgeführt werden können.

Bonn, im Frühjahr 1981

Dipl.-Ing. Heinrich Zölsmann

Ministerialdirektor und Leiter der Abteilung
„Entwicklung des Ländlichen Raumes“
im Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten.

Vizepräsident des Deutschen Verbandes für
Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK)

Geleitwort zur 1. Auflage

1857 – also vor 116 Jahren – erschien in Preußen das erste Handbuch für Dränung, die „Instruktionen der Königl. Preußischen Generalkommission für Schlesien für Feldmesser und Dräntechniker zur Entwerfung und Ausführung von Dränplänen“. Diese Instruktionen, die Bedeutung in ganz Deutschland gewannen, waren fast ein Jahrhundert lang in mehreren Auflagen den Fachleuten der Dränung das Handbuch, mit dessen Hilfe Fragen der Dränbe-

dürftigkeit beantwortet, Dränungen geplant, gebaut und unterhalten werden konnten. 1934 kam die 6. Auflage erstmalig als DIN 1185 „Dränanweisung“ heraus, die in unveränderter Fassung 1950 letztmalig im Format eines Handbuches erschien.

Die rasche Weiterentwicklung auf allen Gebieten der Dränung nach dem zweiten Weltkrieg (erinnert sei hier, stellvertretend für viele, an die Professoren Dr.-Ing. Billib und Dr.-Ing. Baitsch, Obleute des einschlägigen KfK-Forschungs- bzw. -Normenausschusses), vor allem neue Erkenntnisse in der Bodenkunde und im Grundwasserhaushalt, Mechanisierung der Dränarbeit (ich denke hier besonders an meinen Vorgänger als Obmann des KfK-Ausschusses Dränhydraulik und Dräntechnik, Prof. Dr.-Ing. Gallwitz) und gewandelte Wünsche der Landwirtschaft an den Bodenwasserhaushalt haben u. a. zu einer Aufteilung der Wissensgebiete in den neuen Normen geführt. So erscheinen jetzt die Normen über Hinweise zur Bodenkundlichen Standortuntersuchung und -beurteilung genauso gesondert von der neuen DIN 1185 Dränung (Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration) wie die Normen für Dränrohre aus Ton und aus Kunststoff.

Auch die bekannten Fachbücher von Schroeder (Landwirtschaftlicher Wasserbau), Uhdén (Taschenbuch Landwirtschaftlicher Wasserbau) und Press (Taschenbuch der Wasserwirtschaft) konnten nur Teilgebiete der Dränung behandeln.

Ich freue mich, daß es Eggelsmann gelungen ist, mit dieser „Dränanleitung“ wieder alle für den Dränpraktiker notwendigen Arbeitsgrundlagen handlich und übersichtlich zusammenzustellen. Das alle Themenbereiche der Dränung erfassende Handbuch ist damit wieder verfügbar.

Ich wünsche dem Benutzer dieses Handbuches vollen Erfolg bei der Bewältigung der Planung und Ausführung einer Dränung.

Deutsch Evern, im August 1973

Dr.-Ing. Kurt Bellin

Obmann des Ausschusses
„Dränhydraulik und Dräntechnik“
des Kuratoriums für Kulturbauwesen

Vorwort zur 2. Auflage

Die 1. Auflage der „Dränanleitung“ ist nicht nur im deutschen Sprachraum überaus positiv aufgenommen worden, sondern auch in zahlreichen weiteren Ländern der Erde, wie eine große Anzahl von Leserzuschriften beweist.

Die 2. Auflage ist vollständig überarbeitet, zum Teil gestrafft und, wo notwendig, erweitert nach den letzten Erkenntnissen der Praxis und Wissenschaft. Es sind neu aufgenommen ökologische Aspekte der Dränung sowie Dränprobleme bei Mülldeponien und Spülfeldern, bei der Abwasserverrieselung, Hausentwässerung und Bodenheizung (Agrotherm); wesentlich ergänzt sind die Kapitel über Filterhydraulik, Dränung von rutschgefährdeten Gebieten, Moordränung und Dränmaterialien.

Im Hinblick auf die seit dem Erscheinen der 1. Auflage inzwischen vorliegenden Lizenzausgaben der Dränanleitung in englischer und russischer Sprache, sowie der in Aussicht genommenen weiteren fremdsprachigen Buchausgaben sind die seinerzeit in die 1. Auflage zusätzlich aufgenommenen englisch- und französischsprachigen Versionen des Inhaltsverzeichnisses sowie der Bild- und Tabellentexte in die vorliegende 2. Auflage nicht wieder übernommen worden; sie wurden jedoch gemäß der Überarbeitung der 2. Auflage neu übersetzt – durch Herrn Dipl.-Ing. I.-L. Devillers, Paris, ins Französische und durch Herrn Ing. agr. F. Peña Royo, San Fernando/Chile, ins Spanische – und können im Bedarfsfall gesondert über die Anschrift des Verlages Paul Parey in Hamburg angefordert werden.

Um die Benutzbarkeit des Werkes bei der praktischen Arbeit noch zu verbessern, wurde in die vorliegende Auflage zusätzlich ein umfangreiches Sachregister aufgenommen.

Das in der 1. Auflage zusammenhängende und sehr umfassende Literaturverzeichnis ist unter gleichzeitiger Kürzung auf den neuesten Stand gebracht und dabei zur besseren Übersicht nach den Themenschwerpunkten des Werkes unterteilt worden. Die Literaturhinweise stehen nun jeweils am Schluß der einzelnen Hauptkapitel.

Für Ergänzungs- und Änderungsvorschläge danke ich aufrichtig:
Dozent Dr. M. Bahtiyar (Erzurum/Türkei), Ing. (grad.) M. Behnsen (Persepolis/Iran), Prof. Dr.-Ing. H.-J. Collins (Braunschweig), Prof. Dr. H. Ford (Florida/USA), Prof. Dr. W. Müller (Hannover), Prof. Dr.-Ing. W. Kemmerling (Wien), Prof. Dr. H. Kuntze (Bremen), Dipl.-Ing. J. Lotz (Sombathely/Ungarn), Prof. Dr. H. Okruszko (Warschau), Dr. M. Otowa (Sapporo/Japan), Dr. H. Schulte-Karring (Bad Neuenahr, Ing. (grad.) W. Schulz (Nordhorn), Prof. Dr. P. Widmoser (Zürich), Prof. Dr. F. R. Zeidemann (Moskau).

Für überlassenes Informations- und Bildmaterial danke ich wiederum

vielen Firmen, Institutionen und Kollegen. Mein besonderer Dank gilt dem Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, hier vor allem Herrn Benedict Georgi, für das Entgegenkommen bei allen Wünschen für den völligen Neudruck der 2. Auflage der Dränanleitung.

Bremen, im Frühjahr 1981

Rudolf Eggelsmann

Inhalt

1	Allgemeines	15
1.1	Geschichte	15
1.2	Dränbedürfnis	17
1.3	Dränumfang der Landwirtschaft	18
1.3.1	Bundesrepublik Deutschland	18
1.3.2	Salzböden	19
1.4	Dränung im Ingenieur- und Landschaftsbau	20
1.5	Ökologische Aspekte der Dränung	20
2	Wasser und Boden	23
2.1	Wasserkreislauf	23
2.2	Wasser im Boden	26
2.3	Bodenart und Bodentyp	28
2.3.1	Mineralböden	28
2.3.2	Hydromorphe Mineralböden	33
2.3.3	Moorböden	33
2.3.4	Salzböden	34
2.4	Bodengefüge	36
2.5	Eisen im Boden und Grundwasser	38
3	Felduntersuchungen	41
3.1	Hilfsmittel	43
3.2	Geländeoberfläche – im Moor auch mineralischer Untergrund	44
3.3	Bodenansprache	47
3.3.1	Mineralböden	47
3.3.2	Moorböden	48
3.4	Grundwasser – Stauwasser – Haftwasser	52
3.4.1	Grundwasser	53
3.4.2	Gespanntes Grundwasser	55
3.4.3	Stauwasser (Stauñasse)	56
3.4.4	Haftwasser (Haftñasse)	57
3.5	Bodenphysikalische Feldmethoden	57
3.5.1	Durchlässigkeits-Schätzung	57
3.5.2	Bohrlochmethode	59
3.5.3	Sickerrohrmethode	62
3.5.4	Infiltrations-Messung	65
3.5.5	Luftdurchlässigkeit	66
3.5.6	Abscherwiderstand	66

3.5.7	Spatendiagnose	66
3.6	Zeigerpflanzen und Wurzelbild	66
3.6.1	Zeigerpflanzen	67
3.6.2	Wurzelbild	67
3.7	Verockerungsgefahr	70
3.7.1	Merkmale im Gelände	70
3.7.2	Fe-Bestimmung im Wasser	71
3.7.3	pH-Bestimmung	71
3.7.4	Beurteilung	72
3.8	Salzgehalt im Boden und Wasser	72
3.9	Labor-Methoden	73
3.9.1	Bodenphysikalische Laboranalysen (DIN 19683)	73
3.9.2	Chemische Laboranalysen (DIN 19684)	73
4	Dränmethoden	76
4.1	Rohrdränung	76
4.1.1	Allgemeines	76
4.1.2	Einzelheiten	76
4.1.3	Anwendung	77
4.2	Rohrlose-Dränung (Maulwurfdränung)	77
4.2.1	Allgemeines	77
4.2.2	Einzelheiten	78
4.2.3	Anwendung	79
4.3	Tieflockern	80
4.3.1	Allgemeines	80
4.3.2	Einzelheiten	81
4.3.3	Anwendung	82
4.4	Tiefpflügen	83
4.4.1	Allgemeines	83
4.4.2	Einzelheiten	84
4.4.3	Anwendung	86
4.4.4	Wühlflug	86
4.5	Dränkosten	87
5	Dränwirkung	91
5.1	Rohrdränung	91
5.1.1	Potentialströmung im Grundwasserboden	91
5.1.2	Haftnässeboden	95
5.1.3	Wassereintritt in das Dränrohr	95
5.2	Rohrlose-Dränung	104
5.3	Tieflockern	106
5.4	Tiefpflügen	108
5.4.1	Moorböden	108
5.4.1.1	Grundwassertyp	109
5.4.1.2	Stauwassertyp	109

5.4.1.3	Haftwassertyp	110
5.4.2	Mineralböden	110
5.5	Bodennutzung	110
5.5.1	Rohrdränung	111
5.5.2	Rohrlose-Dränung	111
5.5.3	Tieflockern	111
5.5.4	Tiefpflügen	112
5.6	Dränverockerung	112
5.6.1	Wie kommt es zur Verockerung?	112
5.6.2	Haftung von Eisenocker	113
5.6.3	Verockerung und Dränfilter	113
5.6.4	Dränverockerung und Selbstreinigungskraft	114
5.6.5	Derzeitiger Stand der Erkenntnisse	115
5.7	Dränversuchswesen	115
5.7.1	Labortest	115
5.7.2	Dränrinne	116
5.7.3	Dränkasten	116
5.7.4	Dränfeldversuch	116
6	Hydraulische Berechnung	119
6.1	Abflußspenden	119
6.2	Sammler-Rohrweiten	120
6.2.1	Theoretische Fließformel	120
6.2.2	Potenzformel	124
6.2.3	Teilgefüllte Rohrleitungen	125
6.3	Dränabstand im Grundwasserboden	126
6.3.1	Formel nach Hooghoudt	127
6.3.2	Formel nach Ernst	132
6.4	Dränabstand im Stauwasserboden	133
6.5	Dränabstand im Haftnässeboden	134
6.6	Dränabstand bei gespanntem Grundwasser	135
6.6.1	Druckwasser ohne Niederschlag	135
6.6.2	Druckwasser mit Niederschlag	136
6.7	Dränabstand bei Salzboden-Bewässerung	138
6.7.1	Undurchlässige Schicht in großer Tiefe	139
6.7.2	Dräne auf undurchlässiger Schicht	140
6.8	Entwässerungszeit	140
7	Dränentwurf – Technische Planungsgrundsätze	143
7.1	Vorflut	143
7.1.1	Natürliche Vorflut	144
7.1.2	Dränschöpfwerk	144
7.2	Rohrdränung – Allgemein	147
7.2.1	Dränabteilung	147
7.2.2	Sammler	148

7.2.3	Sauger	149
7.2.4	Quellen und Fremdwasser	152
7.2.5	Oberflächenmulden	152
7.2.6	Abflußstörung	153
7.3	Besonderheiten der Rohrdränung	155
7.3.1	Moordränung	155
7.3.2	Marschdränung	160
7.3.3	Weingarten-Dränung	161
7.3.4	Dränung in rutschgefährdeten Gebieten	162
7.3.5	Dränung von Salzböden	162
7.3.6	Dränung von Mülldeponien	164
7.3.7	Dränung von Spülfeldern	165
7.3.8	Agrotherm (Bodenheizung)	166
7.4	Rohrdränung im Landschaftsbau	166
7.4.1	Gärten, Parks und Baumschulen	167
7.4.2	Spiel-, Liege- und Freizeitflächen	167
7.4.3	Sportplätze	167
7.4.4	Sport- (Feld-)flugplätze	169
7.4.5	Friedhöfe	169
7.5	Rohrdränung im Ingenieurbau	170
7.5.1	Filterregel	170
7.5.2	Rohrdränung im Tiefbau	172
7.5.3	Rohrdränung im Straßenbau	173
7.5.4	Rohrdränung im Hochbau	173
7.6	Rohrlose-Dränung (Maulwurfsdränung)	176
7.7	Tieflockern	177
7.8	Tiefpflügen	178
7.8.1	Tiefpflügen im Mineralboden	178
7.8.2	Tiefpflügen von Moor und Anmoor	179
7.9	Dränentwurf	181
7.9.1	Erläuterungsbericht	182
7.9.2	Übersichtsplan	182
7.9.3	Lageplan	182
7.9.4	Bodenkarte	185
7.9.5	Längsschnitte der Sammler	185
7.9.6	Hydraulische Berechnungen	186
7.9.7	Verzeichnisse	186
7.9.8	Kostenvoranschlag (Kostenanschlag)	186
8	Dränmaterial	189
8.1	Dränrohre aus Ton	189
8.2	Dränrohre aus Kunststoff	192
8.3	Dränfilter – warum, wo, wann?	199
8.3.1	Definition	199
8.3.2	Eigenschaften	200

8.3.3	Anwendung	201
8.4	Vollfilterrohr	204
8.5	Dränmuffe	207
8.6	Dränplatte, Filtermatte	208
8.6.1	Drän-/Sicherplatte	208
8.6.2	Filtermatte	208
8.7	Sicherrohre	208
8.7.1	Betonfilterrohr	209
8.7.2	Gelochtes Steinzeugrohr	209
8.7.3	Kunststoff-Sickerrohr	210
8.8	Ausmündung, Anschlußrohre, Zubehör	211
8.9	Dränschächte	212
9	Bau der Dränung	216
9.1	Bodenzustand während der Bauzeit	216
9.2	Dränmaschinen	218
9.3	Rohrdränung	221
9.3.1	Dränmaschinen mit Grabenaushub	221
9.3.2	Dränmaschinen ohne Grabenaushub	228
9.3.3	Rohrdränung in Handarbeit	232
9.4	Rohrlose-Dränung	233
9.5	Tieflockern	234
9.6	Tiefpflügen	236
9.7	Verdingung	237
9.7.1	Ausschreibung	238
9.7.2	Angebot	240
9.7.3	Zuschlag	241
9.7.4	Ausführung	241
9.8	Bauleitung	241
9.8.1	Allgemeines	241
9.8.2	Baustelleneinrichtung	241
9.8.3	Vorbereitende Arbeiten	242
9.8.4	Maschineneinsatz	242
9.8.5	Aufmaß und Bestandspläne	243
10	Unterhaltung der Dränung	245
10.1	Kosten	245
10.2	Überwachung	247
10.3	Instandhaltung	248
10.4	Abflußstörung bei Rohrdränung	248
10.4.1	Ursache	248
10.4.2	Feststellung	248
10.4.3	Beseitigung	248
10.4.3.1	Vakuumfaß	249
10.4.3.2	Hochdruckspülung	249

Zu beachtende DIN-Blätter	252
Quellennachweis	254
Sachregister	256
Inserentenverzeichnis	269

1 Allgemeines

Dränung ist eine Anlage künstlicher unterirdischer Wasserabzüge (verrohrt oder rohrlos), die überschüssiges Wasser beseitigen sollen. Da bei schweren (stau- und haftnassen) Böden nach neueren Erkenntnissen der Bodenkunde und Kulturtechnik häufig an Stelle einer Dränung oder ergänzend dazu Maßnahmen der Unterbodenmelioration (Tiefpflügen, Tieflockern) notwendig sind, werden diese einbezogen. Auch DIN 1185 und DIN 4047 definieren Dränung als „Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration“ [1.5].

Das Wort „Dränung“ (früher auch Drainage, Dränage oder Dränierung) leitet sich aus dem englischen Wort „drainage“ ab. Im englischen und französischen Sprachgebrauch bedeutet es allgemein „Entwässerung, Ableitung, Abfluß“, in diesem Sinne benutzt es auch der Mediziner. Wir sprechen heute von Drän (nicht Drain), Mehrzahl Dräne (nicht Dräns) bzw. von dränen (nicht dränieren).

Hier wird nicht nur die Dränung von landwirtschaftlich genutzten Böden behandelt, sondern auch die im Tief-, Hoch- und Straßenbau sowie im Landschaftsbau (Park, Garten, Freizeit-, Sport- und Flugplatz, Friedhof, Mülldeponie u. a.). Während diese Dränmaßnahmen vorwiegend unter mitteleuropäischen Aspekten betrachtet werden, wird für die Dränung von Salzböden in semiariden und ariden Bewässerungsgebieten überwiegend auf ausländische Erfahrungen zurückgegriffen.

Eine Dränung soll den Bodenwasserhaushalt eines Standortes verbessern. Dieser ist entweder aus klimatischen oder geohydrologischen Gründen vernäßt oder – z. B. in ariden Bewässerungsgebieten – zum Schutz gegen Versalzung übermäßig mit Wasser versorgt, oder ein Standort kann bodenbedingt Wasser stark festhalten. Noch mehr als früher muß daher heute gefordert werden, daß **vor** jeder Dränung beim vernäßten Boden möglichst klar **Ursache** und **Wirkung** der Vernässung festgestellt wird, weil sich danach die Dränmethode zu richten hat (Bild 1.1).

1.1 Geschichte

In der Entwicklung der Dränung lassen sich drei Perioden unterscheiden.

Erste Stein- und Rohrdränungen sind aus der Zeit vor Christigeburt historisch überliefert oder durch Ausgrabungen belegt. Sie waren im Mittelalter vergessen. Erst ab 1650 entstanden erneut Dränsysteme aus Holz, Faschinen oder Steinen (Kies), zunächst in England. Schon bald dränzte man in Schottland und später auch in Deutschland mit Dachfirstziegeln, die als

die Wegbereiter der Dränrohre aus Ton angesehen werden. Die Erfindung der Dränrohrpresse für Ton um 1840 in England brachte der Dränung einen raschen Aufschwung in Europa [1.4].

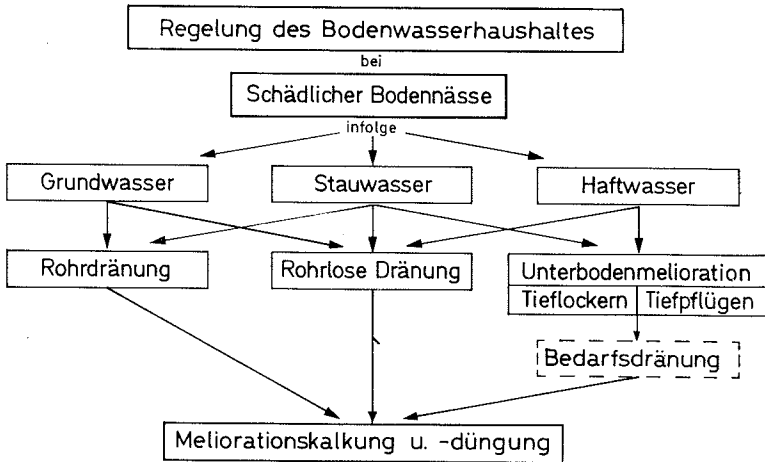


Bild 1.1 Moderne Dränmethoden in Abhängigkeit von der Ursache der Bodenver-nässung

In der nun folgenden mehr als einhundertjährigen Periode mit maschinell gefertigten Dränrohren aus gebranntem Ton, im Felde von Hand verlegt, wurde die Dränung empirisch, d. h. durch landwirtschaftlich-kulturtechnische Feldversuche und bodenkundliche Erfahrungen weiterentwickelt.

Der „Deutsche Ausschuß für Kulturbauwesen“, ab 1952 „Kuratorium für Kulturbauwesen (KfK)“ bzw. „Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen (KWK)“, seit 1978 „Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK)“ hat sich der Dränprobleme besonders angenommen. Das zeigen deren Jahresberichte und Aufsätze in den Zeitschriften „Der Kulturtechniker“ (1897–1944), „Wasser und Boden“ (seit 1949) sowie „Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung“ (seit 1960) und nicht zuletzt die „Dränanweisung“ [1.1, 1.6].

Seit etwa 1940 wurden in den Niederlanden und USA, aufbauend auf deutschen und schweizerischen Untersuchungen, die mathematisch-physikalische Theorie der Bodenentwässerung weiter entwickelt. Fortschreitend setzte sich in der Dränung die Theorie der hydraulischen Strömungsvorgänge im Boden mehr und mehr durch [1.11, 1.12].

Nach 1950 wurden verstärkt Dränmaschinen zum Verlegen von Rohren angesetzt, zunächst durch steigende Lohnkosten, später durch fehlende Arbeitskräfte verursacht. Um 1960 kamen die ersten Dränrohre aus Kunst-

stoff auf den Markt. Die anfangs glatten PVC-Rohre mit eingesägten Längsschlitzten wurden ab 1962 durch PVC-Dränrohre mit wellenförmiger Wandung und eingestanzten Öffnungen für den Wassereintritt abgelöst [1.3]. Die zunehmende Mechanisierung der Dränarbeiten sowie Wandlungen beim Dränmaterial führten einerseits zu Kostenminderungen, andererseits aber – so nach dem Dräneinsatz in zu nassen Böden – zu bis dahin nicht gekannten Schwierigkeiten, die teilweise örtlich soweit gingen, daß trotz technisch einwandfreier Dränung manche Flächen zu naß waren. Der weiterhin akute Mangel an Fachkräften und neue bodenmechanische Erkenntnisse zum Dränmaschineneinsatz haben nach 1972 Entwicklung und Einsatz von grabenfrei arbeitenden Dränmaschinen gefördert und verstärkt. Diese rationelle Dränmethode setzt allerdings voraus, daß eine sicher wirkende Tiefensteuerung das planmäßige Drängefälle und die verlangte Dräntiefe gewährleistet. Dies ist heute bei zuverlässigem und sachverständigem Personal erreichbar.

In haftnassen (schwerdurchlässigem, verdichteten) Böden mit gehemmter Wasserbewegung ist es wichtig, neben oder an Stelle einer Entwässerung das Bodengefüge (Bodenstruktur) zu verbessern. Dies geschieht durch mechanische Maßnahmen (Erddränung, Tieflockern oder Tiefpflügen) in Verbindung mit chemischen (Kalkung, Düngung) und biologischen (Anbau tiefwurzelnder Pflanzen).

Bei Beachtung der heutigen Erkenntnisse und Regeln kommt die derzeitige Drän- und Meliorationstechnik einem Optimum sehr nahe, und zwar im Hinblick auf Ausführung, Wirklichkeit, Nutzen und Kosten.

1.2 Dränbedürfnis

Das Dränbedürfnis ergibt sich aus den vielfältigen Erscheinungsformen schädlicher Bodennässe. Sie sind unter mitteleuropäischen Verhältnissen Ausgang des Winters am besten erkennbar. Geländelage, Klima, Witterung und Nutzungsansprüche, Vorkommen sowie Tiefe des Grundwassers, ferner Profilaufbau des Bodens und seine Durchlässigkeit sind entscheidende Kriterien für die Gefährdung eines Standortes durch Nässe. Diese Standortmerkmale geben Auskunft über Dränfähigkeit und zweckmäßiges Dränverfahren. Während die Dränfähigkeit also als ein bodenkundliches Problem angesehen werden muß, ist die Dränwürdigkeit ein betriebswirtschaftliches, im weiteren Sinne auch ein volkswirtschaftliches und agrarpolitisches Problem. Die Dränwürdigkeit ist von der Kosten-Nutzen-Relation abhängig.

Bei der Dränung landwirtschaftlicher Böden ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Landwirt, Bodenkundler und Wasserwirtschaftler wichtig und daher notwendig.

1.3 Dränumfang der Landwirtschaft

In fast allen Staaten der Erde werden Maßnahmen der Landeskultur ausgeführt, um die Fruchtbarkeit des Bodens zu erhalten und seine Ertragsfähigkeit zu steigern. Im humiden Klima gehören dazu vor allem die Entwässerung durch Gräben und Dränung. Die entwässerungsbedürftigen Flächen verschiedener europäischer Staaten sind nach dem prozentualen Anteil, bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF), geordnet (Tabelle 1.1). Der Entwässerungsbedarf nimmt – klimatisch bedingt – vom Westen nach Osten und vom Norden nach Süden ab.

Tabelle 1.1 Entwässerungs- und dränbedürftige Fläche verschiedener europäischer Staaten [1.7]

Staat	Fläche	
	Mio ha	% LF *)
England und Wales	3,4	75
Finnland	2,1	67
Dänemark	1,4	45
Dt. Demokrat. Republik	2,4	38
Bundesrepublik Deutschland	4,4	31
Schweden	1,0	23
Österreich	0,5	21
Niederlande	0,7	17
Schweiz	0,2	9

*) LF = Landwirtschaftlich genutzte Fläche

1.3.1 Bundesrepublik Deutschland

Für die Bundesrepublik Deutschland wurde nach bodenkundlichen Merkmalen die entwässerungs- und dränbedürftige Fläche ermittelt und nach Bodentypen gegliedert (Tabelle 1.2). Sie beträgt 4,4 Mio ha, das sind rd. 31% LF. Für Nordwestdeutschland ergibt sich sogar ein Anteil von rd. 60% LF, was der Grünlandfläche entspricht. Nach allgemeinen Erfahrungen bedürfen mehr als $\frac{2}{3}$ davon im engeren Sinne einer Dränung. Das ergibt einen Dränbedarf von etwa 2,6 Mio ha LF.

Tabelle 1.2 Meliorationsbedürftige Böden der Bundesrepublik Deutschland [1.7]

Bodentypen	Fläche	
	Mio ha	% LF
Staunässeböden (Pseudogleye u. a.)	1,4	9,9
Grundwasserböden		
(Gleye, Marschen, Auenböden)	2,2	15,5
Moorböden	0,8	5,6
Insgesamt	4,4	31,0

Die Dränkosten in öffentlich-rechtlichen Verbänden (Wasser- und Bodenverbände, Teilnehmergeinschaften von Flurbereinigungen) werden regelmäßig durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [1.9] publiziert. Seit 1955 wurden mehr als 2,5 Mrd. DM in der Dränung investiert; es wurden damit rd. 1,4 Mill. ha Fläche durch Dränung verbessert. Nach 1971 nahm der Anteil an Verbandsdränungen deutlich ab, der an privaten Dränungen erheblich zu.

Es werden seit 1971 für jährlich etwa 100 Mill. DM durchschnittlich rd. 65 000 ha gedränt, d. s. im Mittel 1500 DM/ha.

Vergleicht man die meliorationsbedürftigen Böden mit der seit 1955 meliorierten Fläche, so sind in der Bundesrepublik Deutschland noch rund 1,2 Mio ha dränbedürftig. Für die Restfläche wäre ein Zeitraum von 20 bis 25 Jahren erforderlich, wenn der Dränumfang künftig gleichbleibt. Nimmt man für eine Dränung eine Lebensdauer von 25 Jahren an, so müßte der gegenwärtige Dränaufwand um etwa die Hälfte erhöht werden, um Aufwand und Bedarf in Einklang zu bringen. Dabei muß offen bleiben, wie die zukünftigen Ansprüche an eine rationelle Bodennutzung einerseits und eine Stilllegung von LF andererseits dieser Ansatz verändern. Entwässerung und Dränung in der Landwirtschaft werden gegenwärtig und künftig weniger als ertragssteigernde, sondern vielmehr als diejenige Meliorationsmethode angesehen, die bei nicht wenigen Böden die heute unumgängliche mechanisierte Nutzung überhaupt erst ermöglichen. Vor allen Dingen beseitigt die Dränung Nutzungserschwerisse und dient gleichzeitig der Bodenentwicklung und -erhaltung und damit der Ertragssicherung.

Das Dränbedürfnis unserer Böden hat im letzten Jahrzehnt eindeutig zugenommen und wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit noch steigern, weil die landwirtschaftlichen Betriebe heute hoch technisiert sind.

1.3.2 Salzböden

Ungefähr $\frac{1}{4}$ der Landfläche der Erde liegt im ariden Klima. Dort können sich Bodensalze bei der Bewässerung anreichern. Tabelle 1.3 vermittelt einen Überblick über Länder mit Salzböden [1.8], wobei quantitative Flächenangaben fehlen.

In vielen Ländern mußte wegen sekundärer Versalzung nach Bewässerung auf 40 bis 60% der Fläche die landwirtschaftliche Nutzung wieder aufgegeben werden. In ähnlichen Gebieten sollte **vor** jeder **Bewässerungsplanung** die Notwendigkeit und Möglichkeit der **Entwässerung** gründlich geprüft werden, anderenfalls kann eine rasche Versalzung des Bodens zur Verödung und Unfruchtbarkeit führen. Daher durfte ein Hinweis in dieser Dränanleitung nicht fehlen (Kap. 2.3.4, 3.8 und 7.3.5).

Tabelle 1.3 Vorkommen von Salzböden [1.8]

Kontinent	Länder (Gebiete)
Europa	Ungarn, Rumänien, UdSSR, Mittelmeerländer
Asien	Türkei, Israel, Arabische Länder, Iran, Indien, Pakistan, China
Afrika	Mittelmeerländer, westl. und südwestl. Afrika, Somali, Abessinien, Südafrika
Amerika	USA westl. 100. Meridian, Mexico, westl. Argentinien, Pazifik-Länder
Australien	Südl. und östl. Gebiete

1.4 Dränung im Ingenieur- und Landschaftsbau

Im humiden Klima spielt die Dränung im Tief-, Hoch- und Straßenbau sowie im Landschaftsbau eine wichtige Rolle, jene zur Sicherung und Erhaltung der betreffenden Ingenieurbauten, diese zu erleichterten, oft sogar zur überhaupt erst möglichen Flächennutzung der verschiedenen Art (Gärten, Parks und Baumschulen, Freizeit-, Sport- und Feldflugplätze, Friedhöfe und dgl. m.).

Über den Umfang der dränbedürftigen Wirtschaftsfläche der Bundesrepublik Deutschland gibt es keine Zahlenangaben. Unter den gleichen Bodenverhältnissen wie im Kap. 1.3 kommt man auf einen Dränbedarf dieser Art von etwa 0,5 Mio ha. Er nimmt künftig eher zu als ab.

Soll die dränbedürftige Wirtschaftsfläche in etwa 25 Jahren gedränt werden, so ergibt das eine jährliche Dränfläche von etwa 20 000 ha. Deren Kosten können mit 3000,- bis 5000,- DM/ha veranschlagt werden, im Mittel 4000,- DM/ha. Daraus errechnen sich Dränkosten von rd. 80 Mio DM je Jahr.

1.5 Ökologische Aspekte der Dränung

Viele menschliche Maßnahmen haben unsere Landschaft verändert. Wir leben weitgehend in einer Kulturlandschaft, die nicht mehr urtümlich, aber noch natürlich ist. Sie wurde von Menschen in Jahrhunderten allmählich geschaffen. Ein „Zurück zur Natur“ kann es in einem so dicht besiedelten und industrialisierten Gebiet, wie dem der Bundesrepublik Deutschland, nur im Ausnahmefall geben. Künftig sollten jedoch auch Dränmaßnahmen daraufhin geprüft werden, ob und welche ökologischen Auswirkungen zu erwarten sind (Bild 1.2).

Entwässerung dient nicht nur der Landwirtschaft, wie es oft behauptet

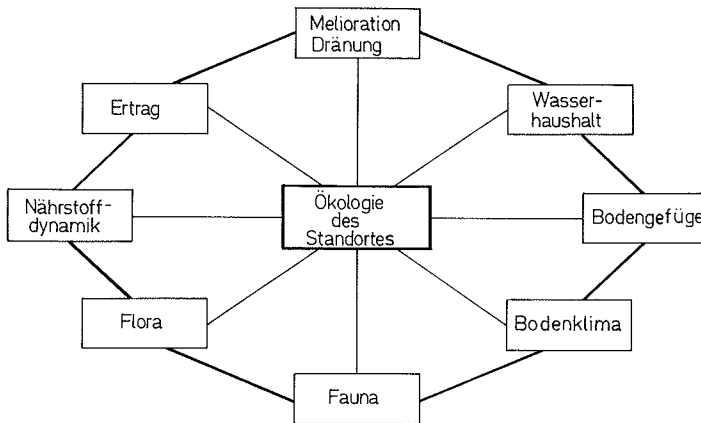


Bild 1.2 Problemkreis der Ökologie eines Standortes

wird, sondern sie schützt auch Siedlungs-, Industrie-, Erholungs-, Sport- und Verkehrsanlagen, d. h. sie schafft oft überhaupt einen Lebensraum für den Menschen.

Nach 1970 wurden durch Bundes- und Ländergesetze die Probleme des Natur- und Landschaftschutzes neu geregelt. Es ist verboten, erhaltenswerte Feuchtbiotope zu entwässern, dazu gehören: Unkultivierte Moore, Seen, Kleingewässer, Bruch- und Auenwälder. Im grundwasserabhängigen, natürlichen oder naturnahen Landschaftsteilen hat der Natur- und Landschaftschutz künftig Vorrang. Sind Dränmaßnahmen in der Nähe solcher Gebiete geplant, so sind hydrologische Schutzzonen vorzusehen (Kap. 7.1), für Moore wird auf Kap. 7.3.1 verwiesen.

Im Drängebiet selbst können folgende bodenkundliche und hydrologische Aspekte ökologisch relevant sein (Bild 1.2):

- Verstärkte Durchwurzelung verbessert das Bodengefüge;
- im durchlüfteten Boden wird die erwünschte Oxidation gefördert anstelle der Reduktion;
- Bodennährstoffe tieferer Schichten werden erschlossen und von den Pflanzen aufgenommen;
- Schrumpfung und Quellung erhöht die Durchlässigkeit in kalkreichen, bindigen Böden;
- Erosionsgefahr vermindert sich, da weniger Oberflächenabfluß;
- die Abflußspende der Gewässer wird ausgeglichen, weil ein gedränkter Boden als Speicherraum wirkt, sich daher der Oberflächenabfluß verringert;
- in bisher abflußlosem Gelände kann der Abfluß örtlich beschleunigt und vergrößert werden;

- infolge intensiver Landnutzung nach der Dränung besteht Gefahr der Nährstoffauswaschung (Gewässer-Eutrophierung);
 - tiefer Grundwasserstand schafft größeren Speicherraum für Niederschläge im Unterboden, dadurch vermehrte nutzbare Bodenfeuchte;
 - höhere Evapotranspiration kann Abflußmenge vermindern.
- Eine sachgemäße Rohrdränung beseitigt schädliche Bodennässe mit folgenden **Vor- und Nachteilen** gegenüber dem ursprünglichen Zustand (Tabelle 1.4).

Tabelle 1.4 Vor- und Nachteile der Rohrdränung

Vorteile	Nachteile
Flächen trocknen gleichmäßig ab, Wurzelraum vertieft, Befahrbarkeit erhöht, Trittfestigkeit verbessert, Pflanzenwuchs gleichmäßig, Erträge erhöht und ausgeglichen, Erosionsgefahr verringert, Unterhaltung relativ gering, lange Wirksamkeit.	Hohe Investitionskosten, großer Gefällebedarf, Störanfällig durch Setzung, Verockern, Verschlammen oder Verwachsung (Wurzeln), Abflußstörungen verzögert erkennbar und schwer zu beseitigen, Änderungen verursachen hohe Kosten.

Literatur

- [1.1] Anweisung für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von Dränanlagen. 6. Aufl. Herausg. Reichsministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin: Julius Springer 1941.
- [1.2] Baitsch, B.: Gesichtspunkte der Neugestaltung von DIN 1185. DIN-Mitt. 49, (Heft 8), S. 303–305, Berlin 1970.
- [1.3] Bellin, K.: Zehn Jahre Dränrohre aus Kunststoff. Wasser und Boden, 24, S. 333–336, Hamburg 1972.
- [1.4] Bohn, R.: Das Dränrohr in seiner Entwicklung und Verschiedenheit der Form und des Werkstoffes. Mitt. Reichsverband Dt. Wasserwirtschaft, Heft 49, Berlin 1939.
- [1.5] DIN 1185: Dränung – Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration. Blatt 1–5. Beuth-Vertrieb GmbH Berlin-Köln 1973.
- [1.6] Dränanweisung. 8. Aufl. (DIN 1185). Beuth-Vertrieb GmbH Berlin-Köln 1959.
- [1.7] Eggelsmann, R.: Umfang und bodenbedingter Bedarf der Landeskultur-Maßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland. Zeitschr. f. Kulturtechnik u. Flurbereing. 12, S. 153–162, Berlin 1971.
- [1.8] Ganssen, R.; Hädrich, F.: Atlas zur Bodenkunde. Bibliograph. Institut Mannheim 1965.
- [1.9] Jahresbericht der Wasserwirtschaft für die Bundesrepublik Deutschland in: Wasser und Boden seit 1955.
- [1.10] Schilfgaard, J. van (Ed.): Drainage for Agriculture. American Society of Agronomy, Inc. Publ. Madison, Wisconsin/USA 1974.
- [1.11] Staveren, J. M. van (Editor): Drainage Principles and Applications. Vol. I–IV. Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement. Publ. 16. Wageningen 1972/74.

2 Wasser und Boden

Eine Dränung soll den Wasserhaushalt des Bodens nachhaltig verbessern. Der Dränpraktiker, der erfahrungsgemäß aus ganz verschiedenen Fachrichtungen (Wasser- oder Landwirtschaft, Bau-, Maschinen- oder Kulturtechnik) zur Dränung kommt, sollte daher die Zusammenhänge zwischen Wasser und Boden kennen. Sie werden hier kurz dargelegt.

2.1 Wasserkreislauf

Der Wasserkreislauf der Erde ist – langfristig betrachtet – in sich ausgeglichen, denn das gesamte aus dem natürlichen Niederschlag der Atmosphäre stammende Wasser wird vom Land und Meer ständig als Verdunstung an sie zurückgegeben. Für einen bestimmten Standort gibt die Wasserbilanzformel aus Niederschlag (= N), Verdunstung (= V) und Abfluß (= A) erste Hinweise auf eine Ent- oder Bewässerung. Bei

$N > V$ (humides Klima) ist Entwässerung,

$N < V$ (arides Klima) ist Bewässerung

erforderlich.

In der allgemeinen Bilanzformel $N - V = A$ (Niederschlag minus Verdunstung gleich Abfluß) sind die Einzelwerte in mm Wassersäule einzusetzen.

Während der Niederschlag allgemein bekannt ist oder für bestimmte Orte beim Deutschen Wetterdienst leicht erfragt werden kann, ist die mittlere Verdunstung (Evaporation + Transpiration) eines Standortes recht ungewiß. Sie ist überdies je nach Vegetation, Boden, Nutzung, Hangneigung und -richtung (Exposition) usw. unterschiedlich hoch. Weniger variabel ist die potentielle (mögliche) Verdunstung, denn sie ist weitgehend abhängig von den meteorologischen Bedingungen und kann aus dem mittäglichen Sättigungsdefizit der Luft mit Hilfe empirischer Faktoren berechnet werden [2.7].

Tabelle 2.1 Wasserbilanz deutscher Flußgebiete (in mm)

Flußgebiet	Niederschlag N	Verdunstung V	Abfluß A
Spree	645	455	190
Obere Ems	730	455	275
Neckar	845	545	300
Isar	1070	490	580

Die mittlere jährliche potentielle Verdunstungshöhe [2.4] für Deutschland (1891–1930) ist an der Küste und im Gebirge mit 350 mm am geringsten, beträgt in großen Gebieten Deutschlands zwischen 400 mm und 500 mm und steigt nur in Mitteldeutschland sowie in Südwest- bis Südostdeutschland teilweise bis 550 mm und mehr an (Bild 2.1).

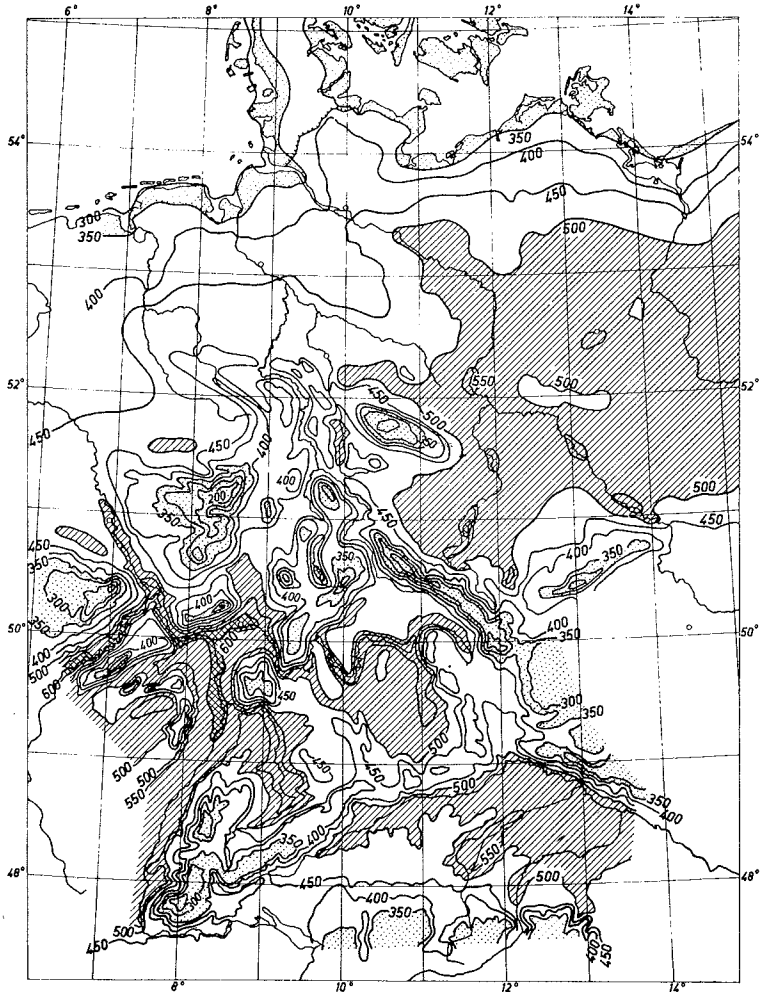


Bild 2.1 Mittlere jährliche potentielle Verdunstung in Deutschland [2.4]

Die Schwankungsbreite der Verdunstung ist wesentlich geringer als die der Niederschlags- und Abflußhöhe, wie z. B. die Wasserhaushaltsdaten von den vier Flußgebieten Spree, obere Ems, Neckar und Isar beweisen (Tabelle 2.1). Damit ist zugleich der überwiegende Einfluß der Niederschläge auf den Abfluß und damit auch auf die Entwässerungs- bzw. Dränbedürftigkeit bestimmter Standorte dargelegt.

Andererseits gibt es am Mittelrhein (bei Koblenz), in der Pfalz, in Hessen, Franken und anderenorts sowie verbreitet in Mitteldeutschland auch verhältnismäßig trockene Gebiete mit jährlicher Niederschlagshöhe um 550 mm und weniger, so daß in diesen oder ähnlichen Gebieten die oben genannte Differenzrechnung $N - V = A$ mit Hilfe von Bild 2.1 im Zweifelsfalle immer zu empfehlen ist.

Jedoch nicht nur die Jahreswerte der Wasserbilanz eines Standortes sind wichtig, viel aufschlußreicher ist der Jahresgang. Dafür wird die Bilanzgleichung um die Glieder R (= Rücklage) und B (= Bedarf) ergänzt, welche die Vorratsänderung an Bodenwasser (Bodenfeuchte, Grundwasser, Schnee) bezeichnen. Die Gleichung lautet dann

$$N = A + V + (R - B) \text{ in mm WS.}$$

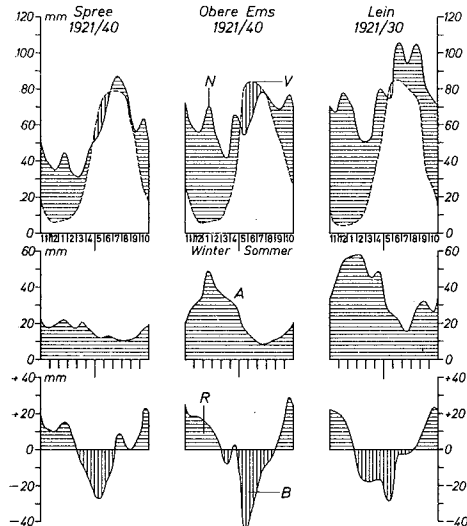


Bild 2.2 Mittlerer Jahresgang der Wasserbilanz von Spree, Oberer Ems und Lein/Württ. [2.1]

Die mittleren Monatswerte der Wasserbilanz für drei Einzugsgebiete Mittel-, West- und Südwestdeutschlands lassen den gegenseitigen Einfluß von Niederschlag und Verdunstung im Jahresverlauf auf den Abfluß und die Zu- und Abnahme der Wasservorräte in Boden und Grundwasser erkennen

(Bild 2.2). Bei geringer Verdunstung im Winter speist der überschüssige Niederschlag den Abfluß, erhöht aber auch gleichzeitig Bodenfeuchte und Grundwasser. Mit steigender Verdunstung im Frühjahr und Sommer vermindern sich Abfluß und Bodenwasservorräte. Niederschlag und Abfluß nehmen von Osten nach Westen – klimatisch bedingt – zu (Tabelle 2.1); sie wirken sich – je nach Bodenart und Bodengefüge – jedoch verschieden aus.

2.2 Wasser im Boden

Der auf den Boden gelangende Niederschlag wird entweder oberflächlich durch Abfluß oder Verdunstung abgeführt oder dringt in den Boden ein (Bild 2.3). Hier wird das Sickerwasser entgegen der Schwerkraft bis zur Feldkapazität als Haftwasser festgehalten oder versickert darüber hinaus ins Grundwasser. Wird das Sickerwasser durch schwerdurchlässige, über dem eigent-

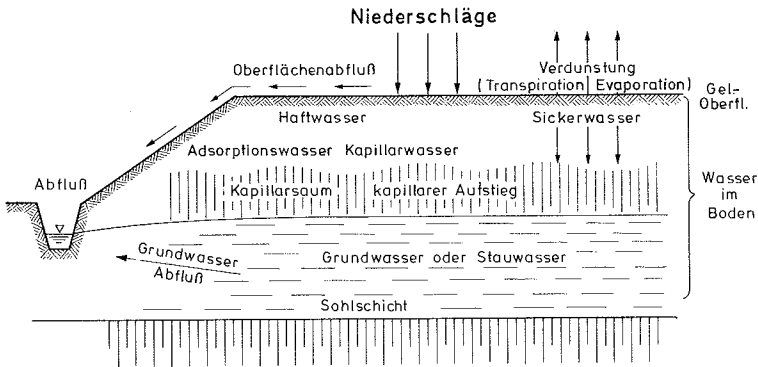


Bild 2.3 Wasser im Boden

lichen Grundwasser liegende Bodenschichten oder -horizonte gehemmt, so entsteht Stauwasser (Definitionen für das Wasser im Boden nach DIN 4047 und DIN 4049).

Grundwasser (1) und Stauwasser (2) können in ebener Lage oder am Hang vorkommen oder auch zeitweilig als Quelle (Q) zu Tage treten (Bild 2.4). Unter einer Deckschicht, hier z. B. aus Lehm, kann das Grundwasser gespannt sein. Der hydrostatische Druck kann sich bis in den Talgrund (linker Bildteil) fortsetzen, so daß er dort zeitweise oder ständig als Druckwasser (artesisches Wasser) austritt oder die Geländeoberfläche vernäßt.

Stauwasser (2) ist über einer Stausohle gestautetes freibewegliches Wasser, das sich vom Grundwasser dadurch unterscheidet, daß es niederschlagsbe-

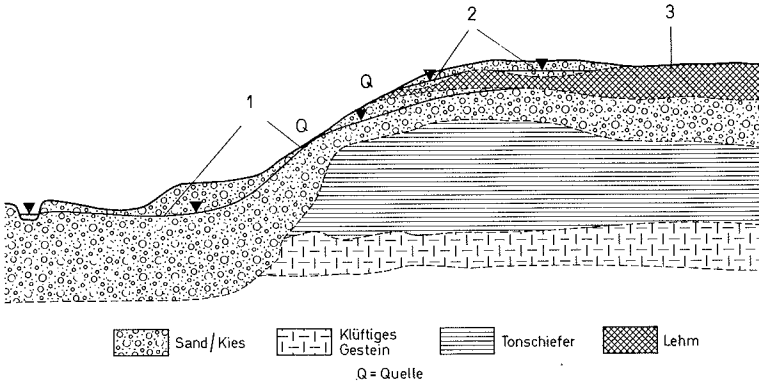


Bild 2.4 Grundwasser (1), Stauwasser (2) und Haftwasser (3)

dingt nur kurzzeitig (vorübergehend) vorkommt. Bei sehr hohen Niederschlägen kann es zu Tage treten.

Haftwasser (3), hier in der Lehmschicht, ist überwiegend gebundenes, z. T. auch kapillares Wasser; bei Übersättigung kann ebenfalls Oberflächenwasser vorkommen.

Nach neueren Erkenntnissen der Bodenkunde und Kulturtechnik muß sich zweckmäßig die Dränmethode nach der Art der Bodenvernässung richten (Grund-, Stau- oder Haftwasser). Daher ist die Unterscheidung von großer praktischer Bedeutung (Bild 1.1).

Das bei Dränungen wichtige Grundwasser der obersten geologischen Schichten (Stratum) steht nicht ständig in bestimmter Tiefe, sondern

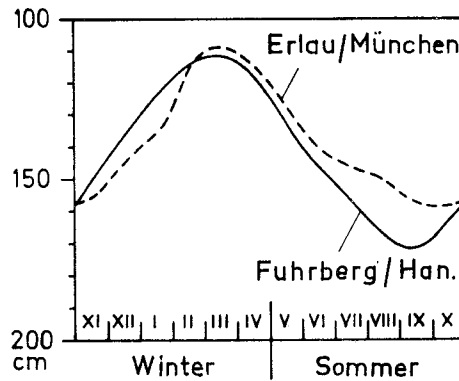


Bild 2.5 Grundwasser-Jahresgang

schwankt jahreszeitlich und witterungsbedingt. Im Frühjahr und Sommer zehrt die Verdunstung, im Herbst und Winter nährt der Niederschlag das Grundwasser.

Für je einen Standort in Norddeutschland (Fuhrberg bei Hannover) und Süddeutschland (Erlau bei München) sind aus 30jährigen, dreifach übergreifenden Monatsmittelwerten die Grundwasser-Jahresganglinien unter Geländeoberfläche dargestellt, die den klimatischen Einfluß widerspiegeln (Bild 2.5). Der Jahresgang kann durch Witterungseinflüsse mehr oder wenig überlagert oder verdeckt sein.

2.3 Bodenart und Bodentyp

Unter Boden versteht man die zu oberst anstehende, belebte und durchwurzelte Verwitterungsschicht der Erde in einer Tiefe von etwa 1 m bis 2 m. Sie wird in der älteren Literatur untergliedert in Oberboden (= Krume), Unterboden (noch verwurzelter, verwitterter Boden) und Untergrund (kaum verwittertes Gestein).

Ein Boden setzt sich zusammen aus mineralischen und organischen Bestandteilen sowie aus Wasser und Luft, die in wechselnden Anteilen die Hohlräume füllen. Dabei müssen wir die Hauptgruppen der Mineralböden und Moorböden unterscheiden. Im Rahmen einer Dränung bzw. Unterbodenmelioration sind vor allem die folgenden Böden wichtig.

2.3.1 Mineralböden

Durch physikalische und chemische Verwitterung sind aus den verschiedenen Fest- und Lockergesteinen die Mineralböden entstanden. Im Bodenprofil sehen wir erstens die Ergebnisse der Verwitterungsvorgänge und zweitens des Transportes feiner und feinsten Bodenteilchen vor uns. Die verlagerten Bodenteilchen sind entweder (mechanisch) durchschlämmt oder nach vorheriger (chemischer) Auflösung verfrachtet bzw. wieder ausgefällt.

Nach ihrer Entstehungsart unterscheidet man Verwitterungs- und Sedimentböden. Im gemäßigten Klima wird der Bodentyp vor allem durch die mineralische Zusammensetzung des Muttergesteins geprägt. Der klimatische Einfluß wird vor allem durch Niederschlagshöhe und Temperatur deutlich. In langen Zeiträumen waren auch die dominierenden Pflanzengesellschaften bedeutungsvoll (Laub- und Nadelwälder, Steppe, Sumpf).

Die Mineralböden werden nach der Korngröße (Kornfraktion) untergliedert und nach DIN 19 682, Bl. 2 angesprochen (Bild 2.6). Steine und Kies werden unter der Bezeichnung **Skelettboden** zusammengefaßt (Teilchen > 2 mm), bei ihnen ist auch die Kornform wichtig (z. B. gerundet, eckig, kantig). Zum **Feinboden** (Teilchen < 2 mm) werden Sand, Schluff und Ton gerechnet. In Bild 2.6 sind für die Bodenarten vergleichend die Bezeichnung

gen (logarithmischen) Unterteilungen und Bestimmungsmethoden graphisch dargestellt [3.16].

Die Körnung der Mineralböden nach Art und Menge ist bei der Dränung von großer praktischer Bedeutung, wie z. B. für Dränmethode, -wirksamkeit und -abstand, für Rohrverschlammung u. a. m.

Die **Bodenarten** sind durch verschiedene Anteile der drei Hauptfraktionen des Feinbodens (Ton, Schluff, Sand) bestimmt. Es werden die Hauptbodenarten Sand-, Schluff- und Tonboden unterschieden; hinzu kommt der Lehm. Er steht als mittelschwere Bodenart zwischen den drei Hauptgruppen, von denen er jeweils wesentliche Anteile enthält (Lehm = Sand-Ton-Schluff-Gemenge).

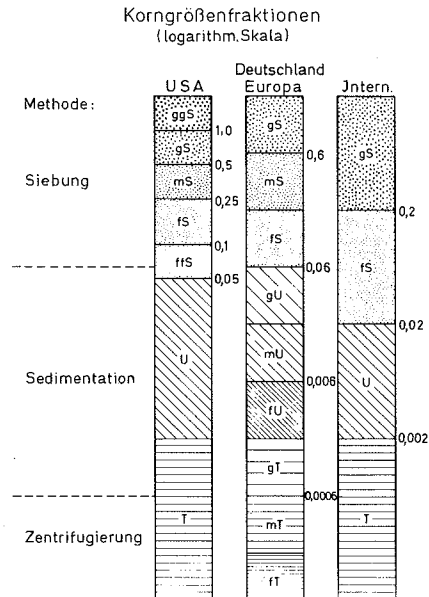


Bild 2.6 Einteilung der Mineralböden nach den Korngrößenfraktionen (logarithm. Skala)

Aus einem geologischen Ausgangsmaterial entwickeln sich unter dem Einfluß der Umweltfaktoren die **Bodentypen** (Bild 2.7).

Während die Bodenart die Zusammensetzung des Bodens nach seinen Korngrößen bezeichnet, umfaßt der Bodentyp den Stand der Bodenentwicklung (Bodengenese). Dazu muß das gesamte **Bodenprofil** berücksichtigt werden.

Verschiedene Bodenarten können demselben Bodentyp angehören und umgekehrt können unterschiedliche Bodentypen die gleiche Bodenart aufweisen. Ein Boden durchläuft in seiner Entwicklung Stufen, erreicht zu einer

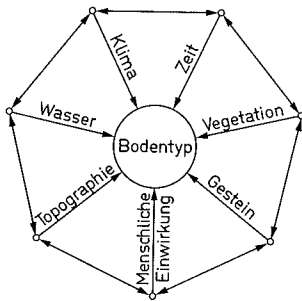


Bild 2.7 Kräftesystem im Bodenprofil

gewissen Zeit seinen Höchstwert als Pflanzenstandort, um danach stufenweise zu altern. In diesem Verlauf bilden sich Ton und Humus (= Bodenkomplexe) und typische Horizonte. Bei einem vollreifen Boden erreicht der Gehalt an Basen, Ton und Humus seinen Höchstwert; im Verlauf seiner Alterung verarmt der Boden an Ton, Humus, Nährstoffen und Kalk, die ausgewaschen werden.

Ein Boden verändert sich in sehr langen Zeiträumen. Die Bodenentwicklung führt zu **Bodenmerkmalen**, die als Horizonte im Bodenprofil auftreten. Der jeweilige Bodentyp ist durch das Vorkommen oder Fehlen gewisser Bodenhorizonte geprägt und nach einheitlichen Regeln der Bodensystematik festgelegt.

Bodentypen können nur vom wissenschaftlich vorgebildeten Bodenkundler eingeordnet und bestimmt werden. Hier wird auf die Bodentypen nur soweit eingegangen, wie es für die Dränpraxis notwendig ist, z. B. um Bodenkarten lesen und verstehen zu können.

Es sind Horizonte und Schichten zu unterscheiden. Horizonte bilden sich im Zuge der Bodenentwicklung; Schichten sind geologisch entstanden (z. B. Hochflutlehm (als Schicht) über Talsand). Die Horizonte werden allgemein mit großen Buchstaben bezeichnet, Subhorizonte durch kleine Buchstaben oder Zahlen.

In Tabelle 2.2 sind die wichtigsten Bodenhorizonte erklärt und deren Symbole dargestellt. Es sind weiter einige Hinweise über Farbe und typische Merkmale verzeichnet. Wegen weiterer Einzelheiten wird auf die Fachbücher der Bodenkunde verwiesen, z. B. auf die praxisnahe „Bodenkunde für Ingenieure“ [2.2] oder auf [2.10] mit farbigen Bodenprofilen. Aus der Fülle der bodenkundlichen deutschen Literatur (insgesamt mehr als 20 Werke) werden hier auszugsweise genannt das Standardwerk „Lehrbuch der Bodenkunde“ [2.13] und die „Bodenkunde in Stichworten“ [2.15].

Tabelle 2.2 Die wichtigsten Bodenhorizonte, deren Symbole und Merkmale

Symbol	Erklärung	Farbe Merkmale
A	Oberster im Profil gebildeter, humoser Horizont	durch Humus dunkle Farbe, ± locker
E	Eluvial- (ausgewaschener) Horizont, an Ton-, Eisen usw. verarmt	gebleicht, grau
B	Anreicherungshorizont infolge Ton-, Eisen-, Humus-Verlagerung (Illuvialhorizont)	grau- (rot)braun – dunkel ± verdichtet
C	Ausgangsgestein, aus dem der Boden gebildet ist	je nach Gestein
D	Gestein (unterhalb C), nicht zum Boden i. e. S. zählend	je nach Gestein ± verwittert
G	Durch Grundwasser beeinflusster Horizont (G = Gley oder Grundwasser)	
G _o	Oxidations-Horizont (Grundwasser-Schwankungsbereich, Sauerstoff-Einfluß)	vorherrschend rostfarben
G _r	Reduktions-Horizont (ständig im Grundwasserbereich, Sauerstoff-Armut)	grau, grün, blau
S	Durch Stauwasser beeinflusster Horizont (S = Stauwasser)	
S _w	Staunässeleiter (w = Wasserleiter)	vorherrschend grau
S _d	Staunässesohlschicht (d = dicht)	rostfarben marmoriert
P	Toniger, hochplastischer Horizont (P = Pelosol, griech. pelos = Ton)	naß = gequollen, dicht trocken = rissig
K	Knickhorizont der Marschen	dunkelgrau, dicht
M	Kolluvialer Horizont (durch Erosion verlagertes Material M = migrare (lat. = wandern)	je nach Ausgangsmaterial
Z	Salzboden-Horizont	hell bis weiß verkrustet
R	Durch Meliorationsmaßnahmen künstlich entstandener Horizont (R = Rigolen = Mischen)	je nach Material und Arbeit
T	Torf	je nach Zersetzungsgrad und Oxidation hellbraun bis schwarz

Tabelle 2.3 Übersicht nasser (hydromorpher) Böden

Standort mit:	Haftwasser	Stauwasser		Grundwasser	
Bodentyp	Haftnässe- Pseudogley, Pelosol	Stauwasser- Pseudogley	Auenboden	Gley	Moor
Sonst. Bezeichnung	Bundton, Letten Tonboden	Wechselfeuchter Boden Staunässegley	Smonitza Braune Vega	Grundwasser- boden	
Subtypen	Plastosol		Borowina	Marsch-, Naß- gley, Stagnogley Anmoorgley	Hochmoor Übergangsmoor Niedermoor
Übergänge zu:	Braunerde Pseudogley Gley	Parabraunerde, Podsol, Braun- und Graulehm, Auen, Gley, Moor	Braunerde Pseudogley, Gley Schwarzerde	Braunerde Podsol, Moor Pseudogley	Podsol Pseudogley Gley
Vorkommen	Südl. Niedersachsen Westf. Bergland Franken, Schwaben	sehr weit verbreitet	Flußniederungen	Küstengebiete, Niederungen	Nord- und West- deutschland Bayern, Schwaben
Horizonte ¹⁾	A – S _k – S _d A – P – C	A – S _w – S _d	A – M – G	A – G _o – G _r	T ₁ – T ₂ – T ₃
Bodenprofil	Marmorierung	Marmorierung Fleckigkeit	Schichtung keine Reduktion	Oxidation über Reduktion	teilweise Oxidation
Bodengefüge	Polyeder, Prismen dicht, wenig durchl.	Plattengefüge dicht, wenig durchl.	unterschiedlich locker – dicht	Polyeder, Prismen, verklebt	je nach Zersetzung
Standort- faktoren	Überflutung	keine	keine	regelmäßig bis zeitweilig	regelmäßig Niedermoor zeitweilig
	Grundwasser- Amplitude	keine	örtlich zeitweilig	regelmäßig stark schwankend	regelmäßig ± schwankend ± schwankend
	Bodenfeuchte	naß – trocken	naß – trocken	feucht – naß	naß – feucht naß
	Nutzung ²⁾	F – G – (A)	F – G – (A)	A – G	G – (A) – F G – (F)

1) Signaturen s. Tab. 2.2.

2) Es bedeuten: F = Forst, G = Grünland, A = Acker

2.3.2 Hydromorphe Mineralböden

Im Rahmen der Dränung interessieren die wichtigsten vom Wasser beeinflussten Böden (hydromorphe Böden), wobei die schon früher bewährte Unterteilung nach Haftwasser-, Stauwasser- und Grundwasser-Einfluß beibehalten ist (Tabelle 2.3). Es sind dies **Haftnässe-Pseudogleye**, **Pelosole** und **Plastosole**, die **Stauwasser-Pseudogleye** sowie die **Gleye** (Grundwasserböden). Es gibt viele Übergänge zu anderen Bodentypen und zu den Moorböden, im besonderen im Hinblick auf die Lage zum Grundwasser und seinem Schwankungsbereich (Bild 2.8).

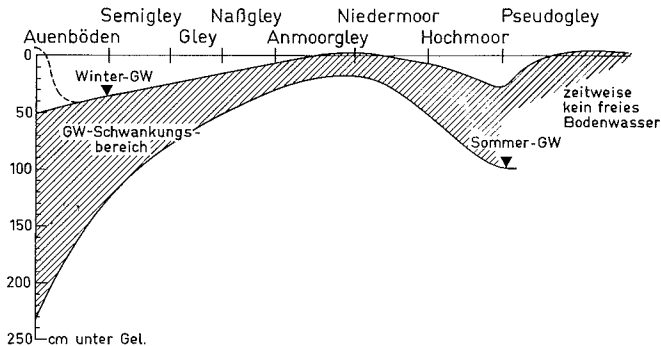


Bild 2.8 Vom Grundwasser beeinflusste Bodentypen [2.2]

Bei Pseudogleyen und Gleyen ist je nach Intensität des Wechsels von naß zu trocken, des Ausgangsmaterials und anderer Einflüsse das Bodenprofil verschieden gezeichnet (marmoriert, fleckig, Konkretionsbildung).

Grundwasserböden treten bevorzugt in Ebenen, Senken, Tälern und an den Küsten auf (Gley-, Marsch und Auenböden), sie können zeitweilig überflutet (gewesen) sein. Bei den Gleyen kann je nach Grundwassereinfluß im Bodenprofil der Oxidations- (G_o) vom Reduktions-Horizont (G_r) unterschieden werden.

Zwischen den Gleyböden und den Moorböden stehen die **Anmoorgleye**, die in der Krume anmoorig sind (Humusgehalt 15 bis 30 Gew.-%) und die **Moorgleye** mit Torfauflagen von 1 bis 3 dm (Bild 2.8).

2.3.3 Moorböden

Moorböden sind aus Torf aufgebaute organische Böden. Sie sind zum Teil subhydrisch (Niedermoor) oder unabhängig vom Grundwasser als Regenwassermoor (Hochmoor) gebildet. Als Moor wird ein Gelände bezeichnet, das mit mindestens 3 dm Torf bedeckt ist (geographischer Begriff). Torf ist

ein organogenes Gestein mit einem Gehalt an Organischem (Humus) ≥ 30 Gew.-% (geologischer Begriff).

Je nach ihrer Entstehungsweise unterscheiden wir die **Moorarten** Niedermoor (nährstoffreich) und Hochmoor (nährstoffarm), ferner noch Übergangsmoore. Hoch- und Niedermoore werden von bestimmten **Torfarten** aufgebaut, die ihre Namen nach den Pflanzen erhalten, aus deren Resten sie vorwiegend gebildet sind, z. B. Moostorf, Bruchwaldtorf, Schilftorf, Seggentorf u. a. (Bild 2.9). Eine Moorbildung kann mit nahezu jeder Torfart beginnen oder enden, hinzu kommen Abtorfungs- oder Kultivierungsmaßnahmen. Während es Hochmoore nur im gemäßigten bis subpolaren Klimaraum gibt, kommen Niedermoore auch in vielen tropischen Gebieten vor.

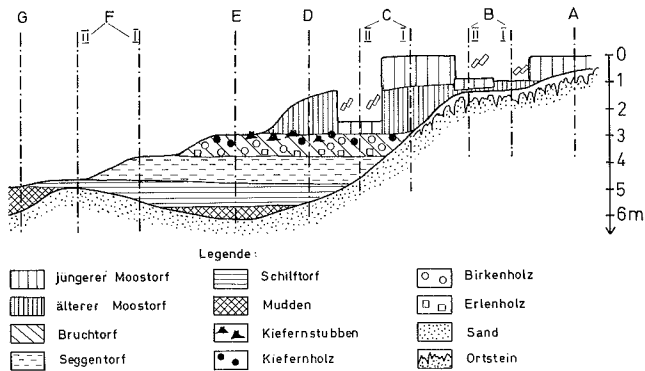


Bild 2.9 Wichtigste Moorprofile Norddeutschlands [3.2]

Der **Zersetzungszustand** aller Torfe schwankt von fast unzersetzten über die mittel und stark zersetzten Torfe bis zu den Mudden (Gyttja oder Dy).

Die **Torfmächtigkeit** kann schwanken zwischen wenigen Dezimetern und vielen Metern. In den Jungmoränen der Voralpen und Schleswig-Holsteins finden sich bis zu 20 m tiefe Moore.

Bei allen Dränproblemen in Mooren ist die Kenntnis über Mächtigkeit und Zersetzungszustand der Torfe wichtiger als die Moorart (Kap. 3.3.2).

2.3.4 Salzböden

Während im humiden Klima die Nährstoffe im Boden vorwiegend (nach unten) ausgewaschen werden, können im ariden Klima durch aufsteigenden Wasserstrom infolge hoher Verdunstung in den oberen Bodenschichten Salze ausgeschieden und angereichert werden.

Bei Salzböden kann man unterscheiden zwischen Versalzung unter natür-

Tabelle 2.4 Übersicht der natürlichen Salzböden mit ihren bodenkundlichen Merkmalen und chemischen Eigenschaften

Bodentyp (andere Namen)	Boden-Merkmale Versalzung Gefüge Horizonte	Boden- durchlässig- keit	pH-Wert	Salzgehalt %	Elektr. Leitfähigkeit mS/cm
(Neutral-) Salzböden Weißalkaliböden solontschakähnlicher Boden saline soil, (white) alkali soil	Salzkrusten und Salzausblüfung an der Oberfläche	gering bis mittel	< 8,5	> 0,3%	< 15
Weißalkaliböden Salznatriumböden Solontschak (russ.), saline soil, white alkali soil	Salzgehalte im Oberboden > Unterboden Gute Aggregierung (A _z – G _z)	gering bis hoch	> 8,5	> 0,3%	> 15
Schwarzalkaliböden Natriumböden Solonetz (russ.) saline sodic soil nonsaline alkali soil black alkali soil	Oberboden humos Salzgehalte im Oberboden < Unterboden Säulengefüge Quellung – Schrumpfung – Verschlammung – Verkrustung (A – B – G _z)	sehr gering	8,5 – 11	< 0,3%	> 15
Steppenbleicherde Degradierter Natriumböden salziger Podsol, Solod (russ.), nonsaline sodic soil degraded alkali soil degraded black alkali soil	Oberboden mit weißlicher Kieselsäureausblüfung Humusauswaschung (Platten-/Prismengefüge) (A _z – B – C)	sehr gering bis undurchlässig	< 7	< 0,3%	< 15

lichen (Primärversalzung) und künstlichen Bedingungen, letztere werden durch **Bewässerung** mit salzhaltigem Wasser **ohne** ausreichende **Entwässerung** hervorgerufen (Sekundärversalzung).

Natürliche Salzböden im humiden Klima finden sich nur im Einflußbereich des Meeres (Marschen). Nach Eindeichung oder Landhebung werden die leicht beweglichen überschüssigen Bodensalze verhältnismäßig rasch durch die Niederschläge ausgewaschen. Auch im Bereich der subtropischen oder tropischen Meeresküsten gibt es salzhaltige Böden.

Im ariden und semiariden Klima treten verbreitet **Salzböden im Binnenland** dort auf, wo in Senken Grund- oder Stauwasser bzw. in Niederungen Oberflächenwasser für eine Salzanreicherung im Boden sorgen. Die bei hoher Verdunstung gebildeten Salzhorizonte oder -krusten des Bodens können im Extremfall ein Pflanzenwachstum völlig verhindern.

Salzbeeinflusste Böden werden aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften und ihrer praktischen landwirtschaftlichen Nutzungen nach Erfahrungen in den USA [3.12] untergliedert in **Salzböden**, **Salznatriumböden** und **Natriumböden** (Tabelle 2.4). Salzböden weisen hohe Gehalte an Chloriden, Sulfaten und Karbonaten des Na, Mg, Ca auf, Natriumböden haben eine hohe Na-Sättigung am Sorptionskomplex und keine freien Salze.

Salz- und Alkaliböden sind pflanzenphysiologisch und gefügekundlich als Pflanzenstandort ungünstig zu bewerten, dabei sind die Meliorationsmöglichkeiten bei den Alkali- und Salzalkaliböden durch Bewässerung erschwert infolge Strukturverfall (Dispergierung) bei der Salzauswaschung. Alkaliböden sind praktisch nur meliorationsfähig, wenn das überschüssige Na^+ gegen Ca^{++} (z. B. Gips) ausgetauscht wird. Auf die Besonderheiten der Dränung von Bewässerungskulturen bei Standorten mit Versalzungsgefahr wird in Kap. 6.7 und 7.3.5 näher eingegangen [2.3, 2.5, 2.6, 2.9, 2.12, 2.13].

2.4 Bodengefüge

Für die Planung der bodenverbessernden (Drän-) Maßnahmen ist insbesondere das Bodengefüge von Bedeutung, denn es beeinflusst den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt eines Bodens. Unter **Bodengefüge** versteht man die räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen unter- und zueinander (es wurde früher auch mit Bodenstruktur bezeichnet). Dadurch ist zugleich das Bodenvolumen in Substanz- und Porenvolumen aufgeteilt, letzteres ist wiederum mit wechselnden volumenmäßigen Anteilen von Wasser und Luft gefüllt (Bild 2.10).

Das **Porenvolumen** der Böden differenziert sich in Poren verschiedener Größe und Gestalt. Sie beeinflussen in hohem Maße den Bodenwasserhaushalt (Tabelle 2.5). Die Intensität der Wasserbindung im Boden ist weitgehend abhängig von den Porengrößen.

Die **Wasserspannung** (Wasserbindung) wird in der Bodenkunde durch die Stärke des Unterdruckes angegeben, mit der das Bodenwasser an den

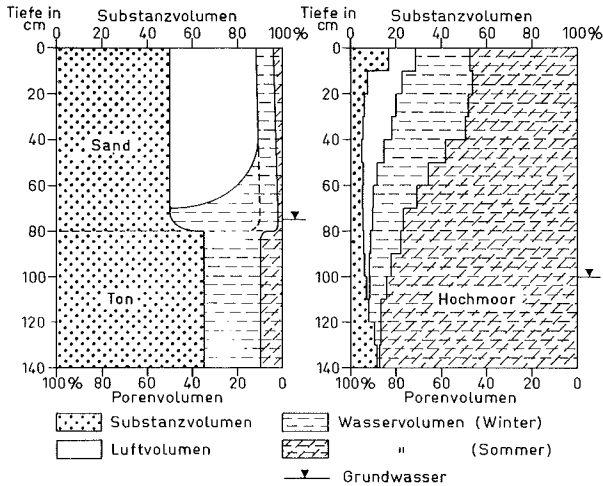


Bild 2.10 Bodenstruktur-Diagramm von Mineral- und Moorböden

Oberflächen der Bodenteilchen und in den Poren (Kapillaren) festgehalten wird. Der Unterdruck wird in mbar (früher als Höhe einer Wassersäule in cm WS oder atü) angegeben. Vor allem im Hinblick auf die großen Zahlenwerte wird die Saugspannung als Logarithmus mbar ausgedrückt = pF-Wert. Einem Druck von z. B. 1000 mbar entspricht also der pF-Wert 3 ($= pF\ 3,0$).

Porenraumgliederung und Wasseranteile sind bei Mineralböden abhängig vom Gehalt der Gefügefaktoren (Ton, Humus und Kalk) und von der Bodenart (Bild 2.11).

Tabelle 2.5 Porenraumgliederung und Wassersaugspannung [2.2]

Porenbereich	Funktion	Äquivalentporen Ø in µm	Wassersaugspannung	
			pF	mbar
Grobporen	schnell drainierend	> 50	< 1,8	> 60
Grobporen	langsam drainierend	50 – 10	1,8 – 2,5	60 – 350
Mittelporen	pflanzenverfüg. Wasser	10 – 0,2	2,5 – 4,2	350 – 15 000
Feinporen	Totwasser	< 0,2	> 4,2	> 15 000

Bei den verschiedenen **Gefügeformen** des Bodens wird zwischen Einzelkorn-, Kohärent- und Aggregatgefüge unterschieden, dazu wird auf Bild 3.6 verwiesen, Näheres in DIN 19 682, Bl. 10 bzw. in [3.13].

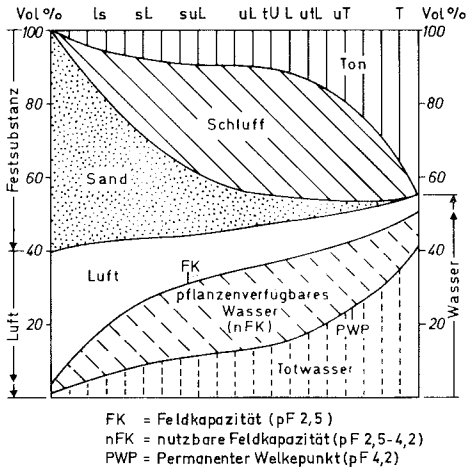


Bild 2.11 Wasser-, Luft- und Substanzvolumen in Abhängigkeit von der Bodenart [2.11]

Durch klimatische, biologische, chemische oder/und mechanische (Bodenkultur) Einflüsse wird das Bodengefüge ständig verändert (Krümel-, Bröckel- und Klumpengefüge).

2.5 Eisen im Boden und Grundwasser

Nahezu alle Böden enthalten Eisen in verschiedenen Bindungsformen und unterschiedlicher Menge. „Saure“ Gesteine (z. B. Granit) sind im allgemeinen eisenärmer als „basische“ Gesteine (z. B. Basalt). Durch mannigfaltige Verwitterungsvorgänge entstehen aus toten Gesteinen fruchtbare Böden. Basische Gesteine verwittern schneller und vollkommener zu „schweren“ Böden als saure Gesteine zu „leichten“ Böden. Dabei entsteht u. a. als kolloidales Verwitterungsprodukt auch Eisenhydroxid. Daher sind bindige Böden im allgemeinen eisenreicher als kolloidarme Sandböden.

Die Farbe unserer Böden wird neben dem Einfluß durch organische Substanz hauptsächlich durch Eisengehalt und Zustandsform des Eisens geprägt. Gut belüftete oxidierte Böden weisen eine gleichmäßig braune bis gelbe Färbung auf. Feine dreiwertige Eisenoxid – (Fe_2O_3) und Eisenhydroxid – Häutchen ($\text{Fe}[\text{OH}]_3$) umgeben die einzelnen Bodenkörnchen und verbinden sie miteinander.

Bei Sauerstoffmangel entziehen Bakterien den dreiwertigen Eisenoxiden Sauerstoff; dadurch entsteht Eisenoxidul (FeO) oder Eisenhydroxidul ($\text{Fe}[\text{OH}]_2$), das sind reduzierte, wasserlösliche und daher sehr bewegliche zweiwertige Eisenverbindungen. Solche Böden und Bodenhorizonte sind meist blau-grau-grün gefärbt. Vernäßte Böden sind durch stagnierendes

Grundwasser, oft bis dicht unter der Krume, fleckig verfärbt durch (zweiwertiges) reduziertes Eisen. Werden solche Böden entwässert und dadurch durchlüftet, dann wird das lösliche, wanderungsfähige Eisenhydroxidul bzw. Eisenoxidul in gelbrotes bis dunkelbraunes, flockiges Eisenhydroxid ($\text{Fe}[\text{OH}]_3$) umgewandelt. Diesen Vorgang nennt man in der Bodenkunde „Verbraunung“.

Die Wirksamkeit einer Rohrdränung kann durch Verockerung sehr beeinträchtigt werden. Sie kann u. U. verhältnismäßig rasch einsetzen und – je nach den örtlichen Verhältnissen – sich über lange Zeiträume erstrecken. Verockerungsgefährdete Gebiete sollten daher schon bei der Planung von Dränmaßnahmen bekannt sein.

Die bei der Dränung uns interessierende Verockerung ist zwar auch bodenabhängig, wichtiger sind jedoch die im Grundwasser enthaltenen, beweglichen, zweiwertigen F-Verbindungen bzw. Ionen, die meistens im Drän zu dreiwertigen Fe-Verbindungen oxidiert werden. Dabei dürfte es sich vorwiegend um Eisenbikarbonat handeln ($\text{Fe}[\text{HCO}_3]_2$), das mit dem Grundwasser aus größeren Tiefen und (oder) aus Fremdgebieten herangeführt wird.

Der Eisengehalt des Grundwassers sollte daher – sofern er nicht schon an quelligen Geländestellen oder an Grabenböschungen als Ockerausfällung erkannt werden kann – im Zweifelsfalle im Gelände durch einfache pH- und Eisen-Bestimmung geklärt werden (Kap. 3.7).

Mit einem verstärkten Eisengehalt im Grundwasser und daher **Dränverockerung** ist in folgenden Gebieten zu rechnen:

- in Niederungen, besonders in Übergangsbereichen von mineralischen und organischen Standorten;
- in Druckwasser beeinflussten Zonen;
- in stark vernässten, abflußlosen Mulden;
- in Böden mit niedrigen pH-Werten (stark saure bis saure, ton- und humusreiche Böden);
- in Gebieten, in denen Grundwasser höheren pH-Wertes auf solches niedrigerer pH-Werte trifft.

Tabelle 2.6 enthält meliorationsbedürftige Bodentypen mit Hinweisen auf

Tabelle 2.6 Meliorationsbedürftige Bodentypen und Gefahr für Dränverockerung [2.8 ergänzt]

Bodentyp	Verockerungsgefahr für Dräne
Hochmoor	keine
Podsol	keine – gering
Pseudogley	keine – gering
Pelosol	kaum – mäßig
Niedermoor	gering – sehr groß
Anmoorgley	gering – groß
Gley	gering – sehr groß
Moormarsch	groß – sehr groß

den Grad der Verockerungsgefahr für Dräne. Sie ist im Hochmoor nicht vorhanden, nimmt über Niedermoor bis zum Gley und zur Moormarsch stark zu. Sie kann jedoch auch in diesen – je nach örtlichen Verhältnissen – beträchtlich schwanken. Weit geringer ist die Verockerungsgefahr in haft- und staunassen Böden (Pelosol, Pseudogley, Podsol), von denen bislang kaum verockerte Dräne bekannt geworden sind.

Von der Dränfläche der Bundesrepublik Deutschland dürften schätzungsweise etwa 5 bis 10% als „verockerungs-verdächtig“ angesehen werden, das sind rd. 200 000 ha. Daraus kann abgeleitet werden, daß keinesfalls jede Dränung durch Verockerung gefährdet ist, wenn auch nicht verkannt werden soll, daß die Verockerung in bestimmten, vorgenannten Gebieten von großer praktischer, technischer und damit auch finanzieller Bedeutung ist.

Literatur

- [2.1] Baden, W. & R. Eggelsmann: Der Wasserkreislauf eines nordwestdeutschen Hochmoores. 156 S. KfK-Grüne Reihe, Heft 12. Hamburg und Berlin: Paul Parey 1964.
- [2.2] Baden; Kuntze; Niemann; Schwertfeger; Vollmer: Bodenkunde – Lehrbuch für Ingenieurschulen. Stuttgart: Eugen Ulmer 1969.
- [2.3] Buringh, P.: Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions. Pudoc Wageningen 1968.
- [2.4] Dammann, W.: Metereologische Verdunstungsmessung, Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland. Wasserwirtschaft. **55**, S. 315–321, Stuttgart 1965.
- [2.5] Dieleman, P. J. (Editor): Reclamation of Salt Affected Soils in Iraq. (Soil Hydrological and Agricultural Studies). Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement. Publ. No. 11. Wageningen 1963.
- [2.6] Finck, A.: Tropische Böden. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1963.
- [2.7] Haude, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. Dt. Wetterdienst. **2**, Nr. 11, Offenbach a. M. 1955.
- [2.8] Kuntze, H.: Verockerungen – Diagnose und Therapie. Schriftenreihe KWK, Heft 32. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1978.
- [2.9] Kreeb, B.: Ökologische Grundlagen der Bewässerungskulturen in den Subtropen. Stuttgart: Gustav Fischer 1964.
- [2.10] Mückenhausen, E.: Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. 2. Auflage. Frankfurt a. M.: Kommentator GmbH 1959.
- [2.11] Müller, W.; Renger, M.; Benecke, P.: Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und kartograph. Darstellung. Beih. Geol. Jb. – Bodenkdl. Beiträge. **99/2**, S. 13–70, Hannover 1970.
- [2.12] Proceedings Unesco-Symposium on Sodic Soils. Budapest 1964. Agrokémia És Talajtan Budapest 1965.
- [2.13] Scheffer-Schachtschnabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl. Stuttgart: Enke 1976.
- [2.14] Schlichting, E.; Schwertmann, U. (Editor): Pseudogley & Gley. (Verh. Komm. V und VI Intern. Bodenkdl. Ges. Tagung Stuttgart 1972). Weinheim/Bergstr.: Chemie GmbH 1973.
- [2.15] Schroeder, D.: Bodenkunde in Stichworten. Kiel: Ferdinand Hirt 1969.

3 Felduntersuchungen

Die Vernässung eines Standortes kann durch verschiedene Ursachen bedingt sein, so Überflutung, zu hoher Grundwasserspiegel oder unzureichende Vorflut, ober-/unterirdisches Fremdwasser (Druckwasser), zeitweiliges Stauwasser über dichten Bodenschichten oder -horizonten, zu hohe Bodenfeuchte (Haftnässe) u. a. m.

Es ist verhältnismäßig einfach festzustellen, wo ein Boden naß ist, viel wichtiger aber ist die Antwort auf die Frage: „**Warum ist eine Fläche naß?**“ Die Ursache einer Bodenvernässung kann hydrologisch **oder** durch Bodeneigenschaften oder aber hydrologisch **und** durch Bodeneigenschaften bedingt sein. Die Frage nach der Vernässungs**ursache** kann im Gelände allgemein dann beantwortet werden, wenn neben Geländeform (Topographie) und Pflanzendecke (Vegetation) vor allem Bodenaufbau und Grundwasser, Stauwasser bzw. Haftnässe (Bodenfeuchte) bestimmt werden.

Es werden hier nur langjährig bewährte Feldmethoden beschrieben oder Hinweise gegeben. Auf ergänzende Laboruntersuchungen wird nur soweit verwiesen, wie sie in Zweifelsfällen klärend herangezogen oder im Rahmen von Sonderuntersuchungen (z. B. wissenschaftlicher Art) eingesetzt werden können.



Bild 3.1 Handbohrgeräte mit Gestänge, von links: Flügelbohrer, Kammerbohrer, Moorpeilgerät, Rillenbohrer

Tabelle 3.1 Fragekatalog im Gelände, um Ursache und Wirkung einer Bodenvernässung zu klären

Problem (Feststellung)	Frage	Hinweise auf Hilfsmittel, Anhaltspunkte u. dergl.
Bodenvernässung	verbreitet, stellenweise	Quellen, Vegetation, Nutzungsunterschiede Fahrspuren, Überschwemmung (Schwemmsel an Zäunen)
Geländeoberfläche	eben, wellig, geneigt, hängig	Topograph. Karte mit Höhenlinien (z. B. 1 : 5000, 1 : 25 000), Geländebegehung
Vorflut	ausreichend, nicht vorhanden, natürlich oder künstlich (Schöpfwerk)	Bach, Graben, Rohrleitung; Fließgeschwindigkeit; Rückstau; Tiefe; Querschnitt; Überschwemmung
Grundwasser	vorhanden, nicht vorhanden; wenn ja: Tiefe, Fließrichtung, Druckwasser	Brunnen, Erdbohrlöcher; Bohrer, Spaten; Oxidation und Reduktion im Bodenprofil; Karte oder Lageplan mit Höhenkurven
Stauwasser	zeitweilig (freies) Stauwasser über (dichten) Stauhorizonten/schichten	Bohrer, Spaten Marmorierung im Bodenprofil
Haftnässe	gebundenes Bodenwasser	Tiefe und Art von Stauhorizont/schicht Bohrer, Spaten
Bodenart	Steine, Kies Sand (f, m, gr) Schluff, Ton, Torf	nur bei bindigen oder/und moorigen Böden Marmorierung im Bodenprofil Bohrer, Spaten
Bodentyp	Bodenhorizonte/-gefüge (-struktur) -farbe, -dichte, -durchwurzelung (Tiefe und Verzweigung)	Fingerprobe (Reiben, Kneten, Schneiden) Schichtdicken, Beimengungen Bodenkarten; Bohrer, Spaten; Schürfgrube
Wasserdurchlässigkeit	sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch	Bohrer, Spaten Schätzung, Messung (Bohrlochmethode) Sickerprobe
Verockerung	Eisenocker im Bodenprofil und/oder Gewässer	im Gewässer: Eisenocker oder ölähnliche Häutchen im Grundwasser: Fe**; Anfärbung im Boden: Bodenfarbe (Oxidation, Reduktion) Zeigerpflanze, Bearbeitungsschäden
Nutzung	Kulturart, Ertragshöhe und -sicherheit Bearbeitungsschwierigkeit	

Bei der Geländebegehung sind die Grundbesitzer zu befragen. Es sind immer Grabungen oder besser (Hand-) Bohrungen – weil rascher, leichter und tiefer als 2 m – notwendig.

Ein **Fragenkatalog für das Gelände** soll helfen, die **Ursache und Wirkung einer Bodenvernässung zu klären**, denn im Erscheinungsbild sind alle Vernässungsursachen gleich oder ähnlich (Tabelle 3.1).

Die Kosten einer gründlichen Felduntersuchung betragen etwa 10,- bis 50,- DM/ha, das sind nur 0,2–5% der Baukosten einer Dränung. Die Felduntersuchung gibt dafür aber die Sicherheit über die Wahl der richtigen, d. h. angemessenen Dränmethode (Rohrdränung, Rohrlose-Dränung, Unterbodenmelioration), schützt damit weitgehend vor fehlerhafter Dränplanung und gibt Hinweise auf den besten Zeitpunkt für die Ausführung. Manche richtige Maßnahme zur falschen Zeit war erfolglos!

3.1 Hilfsmittel

Als Hilfsmittel im Gelände sind erforderlich:

- Lageplan (1:5000 bis 1:1000);
- Topographische Karte (1:25 000 oder 1:50 000);
- Metermaß;
- Feldbuch und sonstiges Schreibmaterial;
- Kartentasche o. dgl.;
- Spaten;
- Bohrer (nach DIN 19 671);

je nach Boden:

- Rillenbohrer mit Hammer (aus Kunststoff);
- Flügelbohrer (für fast alle Böden geeignet, Ausnahme: Steinböden, wasserreiche Moorböden, trockene Sandböden);
- Kammerbohrer (nur für Moorböden);
- Moorpeilgerät (zur Sondierung), vgl. Bild 3.1.

Schon vor der Geländebegehung sollte möglichst die **Topographische Karte** studiert werden. Sie vermittelt mit ihren Höhenangaben (Schichtlinien und Höhenordinaten) einen vorteilhaften Überblick über die Geländegestaltung (Relief), ferner über Gewässer, Verkehrsanlagen, Bebauung, Bodennutzung, Bodenaufschlüsse (Gruben, Steilhängen) u. a. m. Für Moorgebiete stimmen die Höhenangaben der topographischen Karten, die allgemein auf die Jahrhundertwende zurückgehen, mit den tatsächlichen Verhältnissen nicht mehr überein. Berichtigungen der Höhenangaben sind bisher kaum erfolgt. Die Wasserströmung in einer Landschaft kann aus einer Höhenflurkarte mittels orohydrographischer Analyse abgeleitet werden [3.6].

Sofern möglich, sollten (vorher) folgende **weitere Karten** eingesehen werden: Bodenkarten aller Maßstäbe, Geologische Karten, Bodenschätzungskarten, Forstkarten, Luftbildpläne, Hydrogeologische Karten u. a. (Die

Geologischen Landesämter – in Niedersachsen das Landesamt für Bodenforschung – geben Auskunft, welche Karten im einzelnen vorliegen.)

Für viele Gebiete der Bundesrepublik Deutschland liegt die **Deutsche Grundkarte** im Maßstab 1:5000 vor. Im Zweifarbendruck erscheinen schwarz: Grundriß = (Flurstücksgrenzen, Wege, Gebäude, Gewässer usw.), Höhenzahlen der Trig.- und Niv.-Punkte sowie Höhenangaben für Gewässer; braun: Höhenlinien, Höhenlinienzahlen und Zahlen für Geländehöhenpunkte. Die Höhenlinien sind so genau, daß sie für kulturtechnische Zwecke auf Lagepläne größerer Maßstäbe übertragen werden können. In Bayern und Württemberg liegen **Höhenflurkarten** 1:5000 und 1:2500 vor [3.11]. Die jeweiligen Landesvermessungsämter geben Auskunft darüber welche Kartenblätter vorliegen und käuflich erworben werden können.

Liegt die Deutsche Grundkarte nicht vor, so muß auf **Katasterkarten** zurückgegriffen werden. Sie weisen Maßstäbe von 1:500 bis 1:5000 auf. Sie enthalten Grundriß (Wege, Gewässer, Gebäude usw.), ferner Flurstücke mit Nummern, Eigentumsgrenzen, häufig auch Kulturarten und Ergebnisse der Reichsbodenschätzung. Die dargestellten Wasserläufe stimmen oft mit der Natur nicht mehr überein, da sie sich fortlaufend verändern. Karten können käuflich bei den Katasterämtern erworben werden. Für kulturtechnische Zwecke müssen die Katasterkarten im Hinblick auf die Höhenverhältnisse durch Nivellement (Höhenvermessung) ergänzt werden. Liegt auch keine Katasterkarte für die betreffende Geländefläche vor, so muß sie lage- und höhenmäßig vermessen werden. Auf **Lage- und Höhenmessung** (Nivellement) kann hier im einzelnen nicht eingegangen werden. Es wird auf das praxisnahe Buch „Feldmessen“ (Teil I) [3.23] verwiesen, das alle Feldmessungen und die dafür notwendigen Instrumente beschreibt.

Für größere, wenig zugängliche Gebiete (z. B. Sümpfe oder in Entwicklungsländern) empfiehlt sich die **Luftbildmessung** (Aerophotogrammetrie). Mit Hilfe der photographischen Doppelbildmessung kann ein Gelände nach Lage und Höhe rasch, genau und oft auch kostengünstig aufgenommen werden [3.18].

Im **Luftbild** können neben Pflanzendecke und Bodenverschiedenheiten auch alte Be- und Entwässerungsanlagen (Dränungen) erkannt werden. Bei Verwendung von Falschfarbenfilmen (infrarot) können ggf. auch Unterschiede im Bodenfeuchtezustand erkannt werden.

3.2 Geländeoberfläche – im Moor auch mineralischer Untergrund

Der **Lageplan** mit Höhenordinaten und Höhenlinien ist so aufzustellen, daß sich ein ausreichend deutliches Bild der Geländegestaltung ergibt. Der Abstand der Höhenlinien (2 m, 1 m, 0,5 oder 0,25 m) ist weitgehend von der Geländeform abhängig (Entfernung im Lageplan etwa 20–50 mm). Im allge-

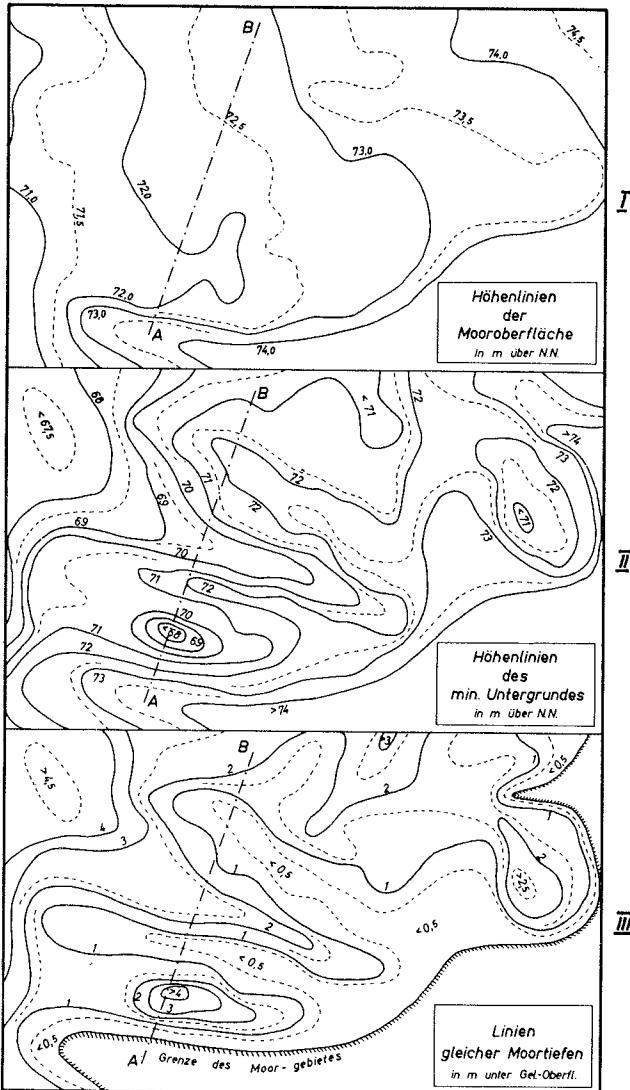


Bild 3.2 Lageplan einer Moorfläche [3.2] (Schnitt A–B s. Bild 3.3 und 3.7)

meinen sollen sich die Höhenangaben auf N.N. beziehen (vgl. Bild 3.2 – I)*). Ist ein Anschluß an N.N. (z. B. wegen zu hoher Kosten) nicht möglich, so ist eine deutlich abweichende Ersatzhöhe zu wählen, damit eine Verwechslung mit amtlichen Höhenangaben ausgeschlossen ist. Höhenfestpunkte sind im Lageplan zusammen mit ihren Höhenordinaten einzuzeichnen.

In Mooren ist nicht nur die Höhenlage der Mooroberfläche bedeutungsvoll, sondern ebenso die Moormächtigkeit und weiter die Höhenlage des mineralischen Untergrundes. Vorteilhaft – weil zeit-, arbeits- und kostensparend – wird die Höhenvermessung mit der Sondierung (Peilung) der Moormächtigkeit verbunden. In Mooren sind Höhenaufnahmen im allgemeinen auch dann erforderlich, wenn Karten mit Höhenlinien vorliegen, weil die Höhenlage der Mooroberfläche variabel ist und durch mancherlei Maßnahmen verändert sein kann. (Eisenbahn-, Straßen-, Wege- und Grabenbau, Entwässerung, Kultivierung, Abtorfung u. dgl.). Vorwiegend senkt sich die Mooroberfläche (Bild 3.3), was als Moorsackung bezeichnet wird (Kap. 7.3). Bei geringmächtigem Moor- und Sanduntergang genügt zum Peilen der Moormächtigkeiten eine einfache, unten zugespitzte Eisenstange von 2 bis 3 m Länge. In tiefgründigen Mooren ist unbedingt ein Peilgerät erforderlich (Bild 3.1). Für die Moormächtigkeit ist eine dm-Genauigkeit hinreichend.

Das Relief des Mooruntergrundes kann in zweierlei Form dargestellt werden, entweder mittels **Höhenlinien des mineralischen Untergrundes**

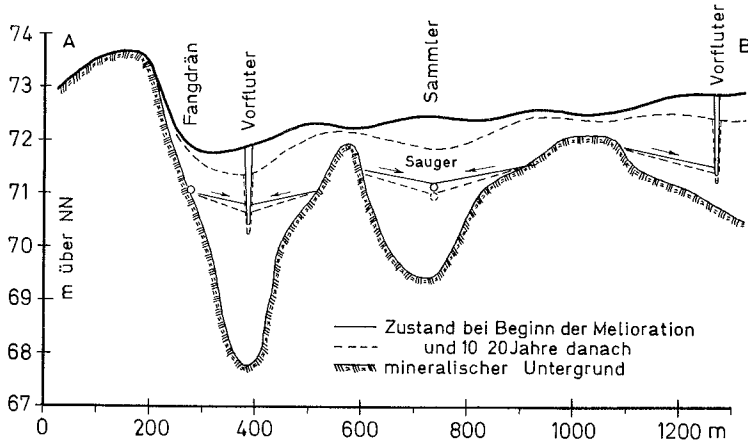


Bild 3.3 Geländeschnitt A–B aus Bild 3.2 vor und nach der Dränung [3.2]

*) N.N. = Normal Null ist die amtliche Höhenausgangsfäche in Deutschland seit 1879; sie fällt mit dem beobachteten Mittelwasserstand der Nordsee zusammen (Amsterdamer Pegel).

(Bild 3.2 – II) oder durch **Linien gleicher Moortiefe** (Moortiefenlinien), bezogen auf die Mooroberfläche (Bild 3.2 – III). Trotz erheblicher Höhenunterschiede an der Mooroberfläche verlaufen die Höhenlinien des Untergrundes (II) und die Moortiefenlinien (III) sehr ähnlich.

Für die Projektierung von Dränmaßnahmen sind die Höhenlinien der Mooroberfläche **und** des mineralischen Untergrundes zweckmäßig. Die letzteren sind zudem von bleibendem Wert.

Für die Planung eines Tiefpflugeinsatzes oder von Rohrlosen-Dränungen (Maulwurf-Dränungen) sind Moortiefenlinien vorzuziehen (Moortiefenplan).

Der mineralische Untergrund ist entsprechend Kap. 3.3 anzusprechen und zu beurteilen.

3.3 Bodenansprache

Die Bodenansprache im Gelände richtet sich für den Landwirtschaftlichen Wasserbau nach DIN 4220 (Vornorm), die z. Zt. völlig überarbeitet wird; es wird daher auf die „Kartieranleitung der Geologischen Landesämter“ verwiesen [3.13], ferner auf DIN 19680/84 sowie für Baugrund auf DIN 4020 und DIN 18196.

3.3.1 Mineralböden

Für alle Dränplanungen ist die richtige Ansprache der **Bodenart** bedeutungsvoll. Sie kann im Gelände visuell und nach fühlbaren Merkmalen mit Hilfe der Fingerprobe richtig, sicher und genau genug erfolgen. Die wichtigsten Bodenarten und die Grenzwerte ihrer Fraktionsanteile sind in Bild 3.4 dargestellt [3.13].

Der Anfänger merke sich:

Die Tonfraktion ist am leichtesten, sichersten und einfach zu schätzen.

Beim relativ seltenen Einkorn gemenge sind:

bei > 65% Tongehalt die Anteile an Schluff und Sand;

bei > 80% Schluffgehalt die Anteile an Ton und Sand;

bei > 85% Sandgehalt die Anteile an Ton und Schluff nicht mehr sicher ansprechbar.

Bei Zweikorn gemenge ist eine Hauptfraktion deutlich wahrnehmbar. Die Nebenfraktion tritt zurück und wird als Beiwort zum Ausdruck gebracht sandig (s), tonig (t), schluffig (u). Darüber hinaus können Mengenanteile durch Zusätze hervorgehoben werden, wie

($\bar{\bar{u}}$)	sehr stark (sandig)	=	doppelt überstrichen
(\bar{u})	stark (sandig)	=	einfach überstrichen
(t')	schwach tonig	=	ein Häkchen
(t'')	sehr schwach tonig	=	zwei Häkchen

Beispiel: Stark schluffiger Ton = \bar{u} s T

Alternativbezeichnungen für Schluff-Tongemenge

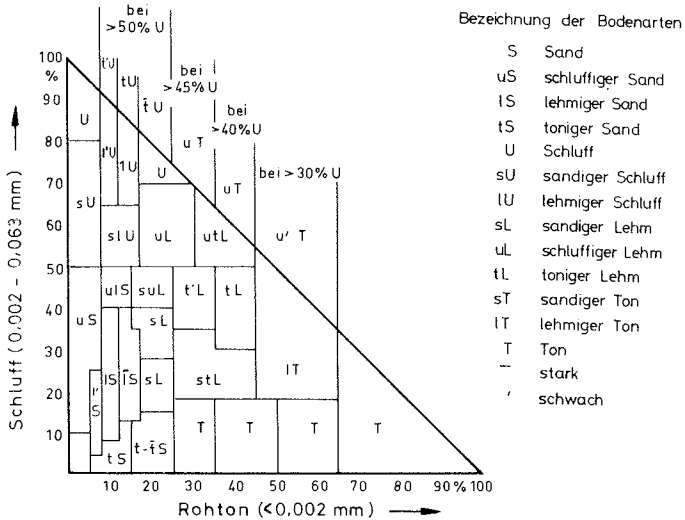


Bild 3.4 Dreiecksnomogramm zum Bestimmen der Bodenart [3.13]

Im Dreikornngemenge (Lehme) ist die Haupt-, Neben- und Unterfraktion entsprechend zu schätzen.

Bei einiger Übung lassen sich rd. 25 Bodenarten ziemlich sicher durch Fingerprobe bestimmen (Bild 3.4). Trockene Proben werden oft zu grobkörnig, nasse zu feinkörnig eingeschätzt. Bei hohen Humusgehalten wird leicht der Tongehalt überschätzt.

Ein einfaches Arbeitsschema für Mineralböden zum schnellen Bestimmen der Bodenart zeigt Bild 3.5.

Das **Bodengefüge** kann visuell im Gelände angesprochen werden (Bild 3.6).

Die **Lagerungsdichte** der Mineralböden ist am Bodenprofil nach dem Gefüge zu schätzen (Tab. 3.2). Es ist ferner auf Oxidations- und Reduktionserscheinungen im Bodenprofil (Bodenfarbe, Marmorierung und Fleckung) zu achten (Kap. 2.6).

3.3.2 Moorböden

Bei der Ansprache der Moorböden beschränkt man sich auf die Feststellung: – der Torfart nach den erkennbaren fossilen Pflanzenresten im Torf;

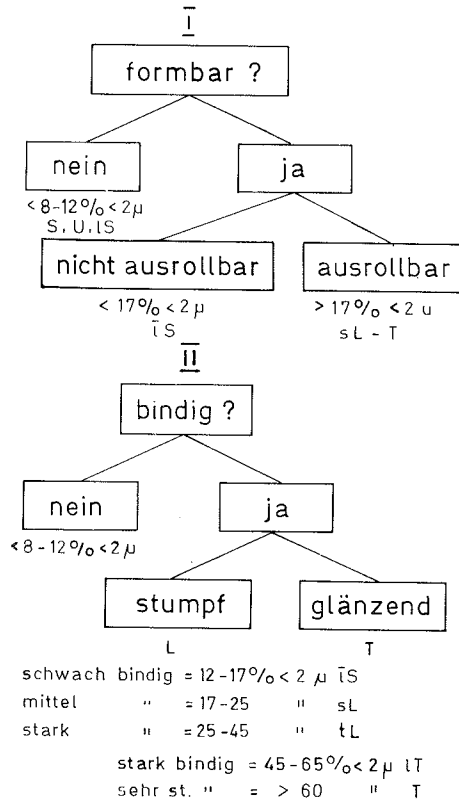


Bild 3.5 Einfaches Arbeitsschema zum schnellen Bestimmen der Bodenart mittels Fingerprobe [2.2]

- des Zersetzungsgrades der Torfe mittels der Quetschmethode;
- der mineralischen Beimengungen, Schichten oder Decken und ihrer Körnung (Sand, Lehm, Ton, Kalk);
- des mineralischen Untergrundes nach Bodenart und Bodentyp, seiner Durchlässigkeit und Lagerungsdichte.

In Mooren mit wasserreichen Torfen wird vorteilhaft ein Kammerbohrer verwendet. Er gibt die Gewähr, daß die entnommenen Bodenproben tatsächlich aus der gewünschten Tiefe stammen (Bild 3.1).

Die **Torfart** wird nach den erkennbaren subfossilen Pflanzenresten bestimmt, z. B. Sphagnumtorf, Seggen-Laubmoostorf u. dgl. (Tabelle 3.3). Wichtiger als eine genaue Torfansprache ist die Schätzung des **Zersetzungsgrades** (H = Humosität), denn er ist von überragender Bedeutung im Hinblick auf die physikalischen Eigenschaften (Durchlässigkeit, Wasserbin-

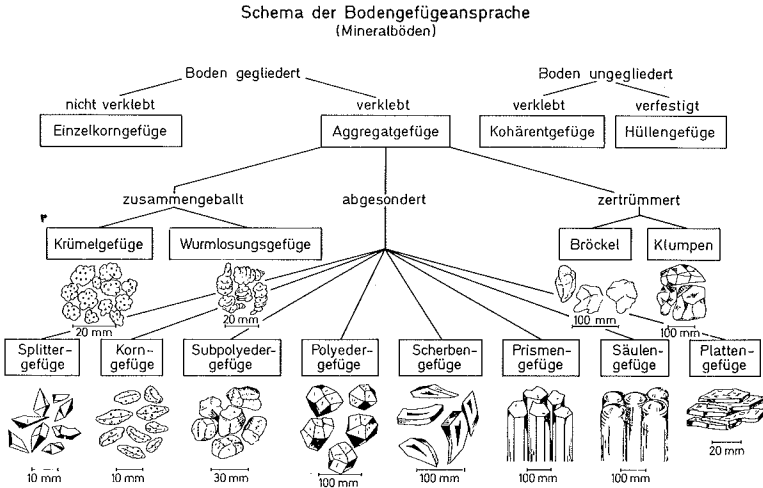


Bild 3.6 Schema der Bodengefügeansprache für Mineralböden [2.2]

Tabelle 3.2 Beziehung zwischen Makrogefüge und Lagerungsdichte von Mineralböden [2.11]

Klasse	Bezeichnung Ld*)	Lagerungsdichte Kennwerte		Makrogefüge Ansprache im Gelände
		Ld*) (g/cm ³)	rel. Ld**) (Vol.-%)	
I	gering	< 1,40	> 45	lockeres Einzelkorn- und Kohärentgefüge, feines Aggregatgefüge mit sperriger Lagerungsart und sehr losem Zusammenhalt
II	mittel	1,40 bis 1,75	35 – 45	Einzelkorn- und Kohärentgefüge (weder dicht noch locker), Aggregatgefüge mit halboffener bis offener Lagerungsart und mittlerem Zusammenhalt
III	hoch	> 1,75	< 35	dichtes Einzelkorn- und Kohärentgefüge, grobes Aggregatgefüge mit geschlossener Lagerungsart und sehr festem Zusammenhalt

Es bedeuten:

*) Ld (g/cm³) = Rohdichte tr. + 0,009 (% Ton),

**) rel. Ld (Vol.-%) = Gesamtporenvolumen – 0,26 (% Ton).

Tabelle 3.3 Einteilung der wichtigsten Torf- und Muddearten (nach DIN 4220, Bl. 1)

Moorart	Symbol	Torfart	Symbol	wichtige Merkmale (fossile Pflanzenreste)
Hochmoor	<u>Hh</u>	Bleichmoostorf (Sphagnum)	<u>Hs</u>	Torfmoose
		Wollgrastorf (Eriophorum)	<u>He</u>	Wollgrasschöpfe (-fasern)
		Reisertorf (meist Ericaceen)	<u>Hi</u>	verholzte Heidesengel
		Beisertorf (Scheuchzeria)	<u>Ha</u>	Scheuchzeria- Rhizome (2 – 4 mm breit)
Übergangs- moor	<u>Hü</u>	Bruchtorf (ohne nähere Bez.)	<u>Hi</u>	Holzreste
		Kiefernbruchtorf (Pinus)	<u>Hlk</u>	harte Holzreste zähe Wurzeln, Stubben
		Birkenbruchtorf (Betula)	<u>Hlb</u>	weiße Birkenrinde
		Erlenbruchtorf (Alnus)	<u>Hle</u>	weiche Holzreste
Niedermoor	<u>Hn</u>	Laubmoostorf (Bryales)	<u>Hb</u>	Laubmoose oft mit Fieberkleesamen
		Seggentorf (Carex)	<u>Hc</u>	Seggenradzellen (feine Wurzelfasern)
		Schilftorf (Phragmites)	<u>Hp</u>	Schilfrhizome (8 – 15 mm breit)
Mudden (org. Sedimente)	F	Torfmulde	<u>Fhh</u>	zerteilte Torfreste
		Algenmulde	<u>Fhl</u>	(leberartig)
		Kalkmulde	<u>Fkm</u>	Muscheln (Conchylien)
		Tonmulde	<u>Fm</u>	tonähnlich

Tabelle 3.4 Ansprache des Zersetzungsgrades von nassen Torfen mittels der Quetschmethode (nach DIN 19682, Bl. 12)

Zersetzungsgrad		Ansprachemerkmale		
Ansprache	Kennzeichen	Pflanzenstrukturen im Torf	Abgepreßtes	Quetschrückstand
kaum zersetzt	H1 bis H2	deutlich	klares Wasser	nicht breiartig
schwach zersetzt	H3 bis H4		trübes Wasser	
mäßig zersetzt	H5 bis H6	weniger deutlich	stark trübes Wasser, bis zu $\frac{1}{3}$ der Torfsubstanz enthaltend	breiartig
stark zersetzt	H7 bis H8	undeutlich	sehr stark trübes Wasser, bis zu $\frac{2}{3}$ der Torfsubstanz enthaltend	nur widerstandsfähige Reste von Pflanzen
fast völlig zersetzt	H9 bis H10	nicht mehr erkennbar	wässriger Brei, fast die gesamte Torfsubstanz enthaltend	fast kein Rückstand

In stark ausgetrockneten Torfen wird der Zersetzungsgrad nach dem Anteil an sichtbaren Pflanzenresten bestimmt.

dung, Sackung). Daher sind Angaben über Torfe ohne Nennung des Zersetzungsgrades praktisch wertlos. Zur Schätzung des Zersetzungsgrades ist der Torf (im Felde) in der Hand zu pressen, Abgepreßtes und Rückstand zu beachten sind (Tabelle 3.4).

Ein Beispiel mag den Aussagewert einer Felderkundung erklären (Bild 3.7). Dieses Moor ist von mineralischen Erhebungen unterlagert, die mit fossilen Stubben bestanden sind. Diese und zahlreiche andere harte Holzreste des in geringer Tiefe anstehenden Kiefern-Bruchwaldtorfes werden infolge Sackung (Bild 3.3) schon bald die Oberfläche durchstoßen. Sie stellen jede landwirtschaftliche Nutzung infrage oder erfordern hohe Kultivierungskosten. Eine Rohrdränung wäre wegen der Hartholzreste ungewöhnlich teuer, eine Rohrlose-Dränung unmöglich.

3.4 Grundwasser – Stauwasser – Haftwasser

Bei jeder Bohrung oder Grabung ist auf Menge, Art und Tiefe des Wasserandranges genau zu achten. Wichtig ist der erste freie Wasserandrang, der aus dem geförderten Boden (Bild 3.8) oder aus der Bodenwand austritt. Er zeigt, ob und in welcher Tiefe Grundwasser oder Stauwasser vorkommt [3.9]. Wird

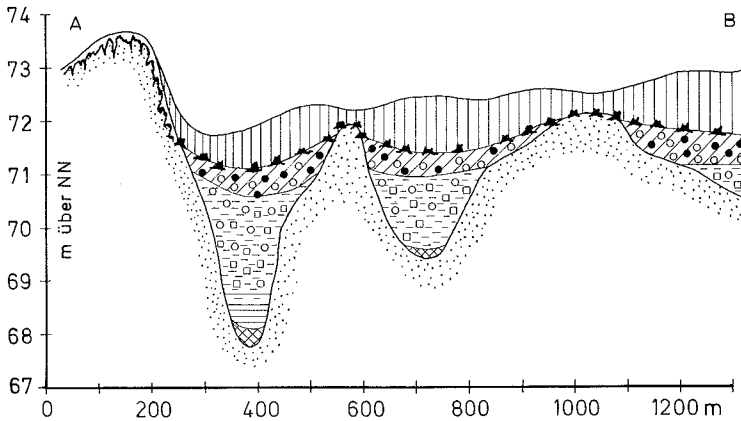


Bild 3.7 Geländeschchnitt A–B aus Bild 3.2 mit Torfarten (Erläuterung s. Bild 2.9) [3.2]

mit Handbohrer in standfestem Boden unterhalb des Grundwasserspiegels gebohrt, so befindet sich (meistens) bereits Wasser im Bohrloch, und das Bohrgut ist außen naß. Durch Aufbrechen des Bodenbrockens läßt sich die Art des Bodenwassers bestimmen (Bild 3.8). Bei stärkerem Wasserandrang im Bohr- oder Schürfloch ist zu entscheiden, ob das Wasser aus größeren Hohlräumen (Risse, Klüfte, fossile Wurzel- oder Tiergänge) oder aus dem gesamten Bodenkörper stammt. Dies kann an der Bodenprobe oder nach dem Wasserfluß im Loch beurteilt werden. Bindige Mineralböden und landwirtschaftlich genutzte Moorböden sind oft soweit standfest, daß von Hand ohne Mantelrohr gebohrt werden kann, im anderen Fall und bei Tiefen > 3 m (bis 4 m) muß verrohrt werden.

3.4.1 Grundwasser

Ein Boden enthält Grundwasser, wenn

- mehrere Bohrlöcher sich mit (freibeweglichem) Wasser in ähnlicher Art füllen;
- die Wasserspiegel etwa miteinander übereinstimmen;
- eine Beziehung zu benachbartem Bach, Fluß oder See besteht (Bild 3.9 – oben);
- eine ggf. vorhandene Stauschicht tiefer als 1,3 m unter Flur ansteht.

Bei Messung der Grundwassertiefe ist darauf zu achten, daß der Druckausgleich tatsächlich erfolgt ist (Zeitanhalt s. Tabelle 3.8). Einen Anhalt darüber ob und in welcher Tiefe Grundwasser vorkommt, vermitteln auch Oxidations- (braun/rot) und Reduktions-Horizonte (blau/grau/grün) wie in Kap. 2.6 dargelegt.

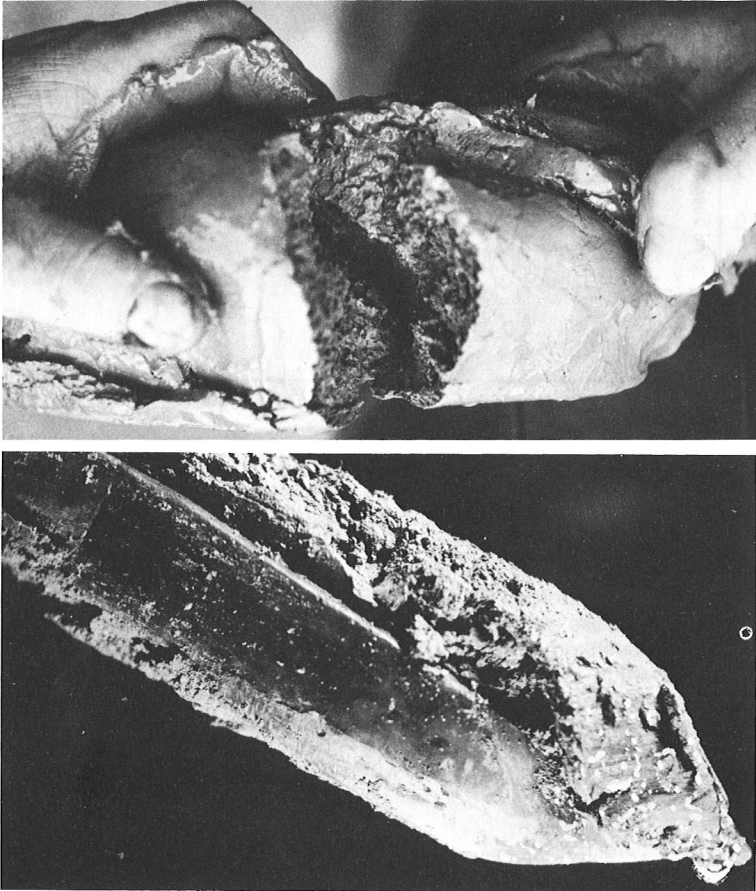


Bild 3.8 Ansprache des Bodenwassers beim Bohren [3.9] (oben = gebundenes Wasser im schluffigen Ton, unten = freies Wasser tritt an der Bohrspitze aus)

Grundwassertiefen können nach Tabelle 3.5 beurteilt werden, der niedrigste Wasserstand (NW) kann oft leichter und sicherer erkannt werden (Reduktion) als MW oder HW.

- Bei der Dränung von Grundwasserböden (Gleyen) ist zu klären:
- Grundwassertiefe (Tabelle 3.5);
 - Durchlässigkeit (Kap. 3.5);

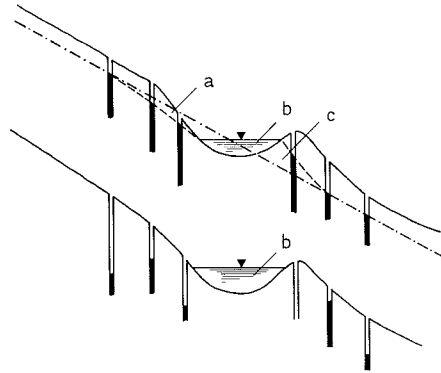


Bild 3.9 Geländeschnitt mit Grund- und Oberflächenwasser [3.9] (oben: a = Grundwasserabsenkung, b = Fluß, c = Grundwasserspeisung; unten: Oberflächen- und Stauwasser)

- Grundwassergefälle und -fließrichtung;
- Eisen im Grundwasser (Kap. 3.7).

Die Fließrichtung ergibt sich aus dem Gefälle des Grundwasserspiegels, z. B. in graphisch dargestellten Geländeschnitten (Bild 3.9 oben). Vorteilhaft ist ggf. ein Lageplan mit Linien gleicher Grundwasserhöhe (= Grundwasser-Höhenplan).

3.4.2 Gespanntes Grundwasser

Werden in einem schichtigen Boden an einer Stelle mehrere verschieden tiefe Bohrlöcher hergestellt, so können sich die Wasserspiegel verschieden hoch einstellen (Bild 3.10). Zeigt ein tiefes Bohrloch höheren Wasserstand als benachbarte an, so kommt gespanntes Grundwasser vor. Ein ziemlich sicheres Zeichen ist ein plötzlicher Wasseranstieg in einem vorher nahezu leeren Bohrloch nach Durchstoßen einer Grundwasser-Deckschicht (Aufwärts-Strömung).

Für die Dränbemessung ist die Druckhöhe des gespannten Grundwassers und die Mächtigkeit einer Deckschicht wichtig (Kap. 6.7).

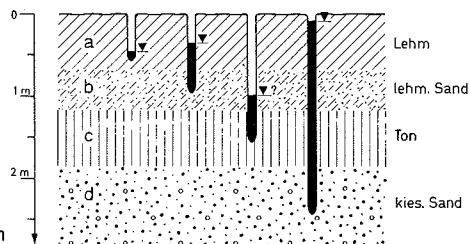


Bild 3.10
Bohrlöcher mit Druckdifferenzen

Tabelle 3.5 Grundwasserstände (in dm unter Flur) für verschiedene Bodentypen [3.13]

HW	Grundwasserstand mittlerer		Beurteilung für Vegetation	vorherrschende Bodentypen
	MW	NW		
< 2	1 – 3	< 4	sehr flach	Moorgley, Anmoorgley Naßgley
< 2	2 – 4	4 – 8	flach	Naßgley normaler Gley
< 4	4 – 8	8 – 13	mittel	normaler Gley Auenboden
< 8	8 – 13	13 – 20	tief	Gley vergleyter Unterboden
< 13	13 – 20	> 20	sehr tief	vergleyter Unterboden
> 13	> 20	> 20	äußerst tief	vergleyter Unterboden

3.4.3 Stauwasser (Staunässe)

Bei Böden mit Stauwasser füllen sich die Erdlöcher zeitweilig wie bei Grundwasserböden. Zum Unterschied dazu treten auf:

- eine Stauwassersohle in einer Tiefe < 1,3 m;
- Wasserspiegel in benachbarten Bohrlöchern sind in der Tiefe schwankend (Bild 3.9 unten);
- keine Beziehung zu Oberflächengewässern (Bach, Fluß, Teich);
- graue rostbraune Boden**fleckung** (Marmorierung).

Die Tiefenlage einer Stauwassersohle kann beim Bohren (oder Graben) gut erkannt werden. Dabei muß es sich nicht immer um eine Bodenverdichtung handeln. Jeder Bodenartenwechsel führt infolge Porensprung zu tragenden Menisken und damit zeitweise zu Stauwasser. Die Tiefe kann nach Tabelle 3.6 beurteilt werden [3.13].

Stauwasserböden sind „wechselfeuchte Böden“ mit zeitweiliger Nässe und ausgeprägter Trockenheit.

Bei den Stauwasserböden – besser **Stauwasser-Pseudogleye** genannt [3.19] – sind für Fragen der Dränung von entscheidender Bedeutung:

- Tiefe der Stauwassersohle;
- Beschaffenheit der Stauschicht (-horizont);
- Durchlässigkeit im S_w -Horizont.

Tabelle 3.6 Tiefen (in dm unter Flur) der Staunässesohlschicht [3.13]

Tiefe der Staunässeschicht	Beurteilung
< 4	flach
4 – 8	mittel
8 – 13	tief

3.4.4 Haftwasser (Haftnässe)

Haftwasser ist das im Boden gegen die Schwerkraft gehaltene Bodenwasser (Bild 2.3). Haftnässe tritt vor allem in schluffreichen, tonarmen Böden auf; sie besitzen eine geringe Luftkapazität, so daß es bereits bei Feldkapazität (Bild 2.11) zu Luftmangel kommen kann. Nach starken Niederschlägen sammelt sich in Bohr- oder Grablöchern Oberflächenwasser (Bild 3.9 – unten). Im dicht gelagerten Boden tritt jedoch kein freibewegliches Wasser auf, trotzdem kann der Boden total vernäßt sein (= Haftnässe). In Haftnässeböden tritt wegen des hohen Anteiles an Kapillarwassers fast nie eine Trockenphase auf, so daß sie in trockenen Jahren hohe Erträge bringen können.

Die Haftnässeböden sollten (zur Unterscheidung von den Stauwasserböden) als **Haftnässe-Pseudogleye** bezeichnet werden [3.19]. Ihre Vernässung ist von den Bodeneigenschaften (Körnung, Lagerungsdichte) abhängig.

Für die Entscheidung über die zweckmäßige Dränart (Unterbodenmelioration?) sind zusätzliche bodenkundliche Untersuchungen angezeigt (Kap. 2.4, 2.5 und 3.5).

3.5 Bodenphysikalische Feldmethoden

Über bodenphysikalische Untersuchungen, vor allem über die Durchlässigkeit des Bodens gibt es eine umfangreiche Fachliteratur mit theoretischer und geophysikalischer Fragestellung bzw. Anwendung; auszugsweise wird verwiesen auf [3.7, 3.10, 3.21].

Bodenphysikalische Freiland-Messungen am gewachsenen Erdboden lassen meistens zuverlässigere Ergebnisse erwarten als solche an „ungestörten“ Bodenproben im Laboratorium. Unter Berücksichtigung auch der notwendigen Wiederholungen sind Feldmethoden weniger aufwendig an Zeit und Kosten, darüber hinaus oft aussagekräftiger. Die nachstehend beschriebenen Feldmethoden haben sich im In- und Ausland in jahrelangem Gebrauch bewährt [3.7]. Sie sind überwiegend in DIN 19682 beschrieben.

3.5.1 Durchlässigkeits-Schätzung

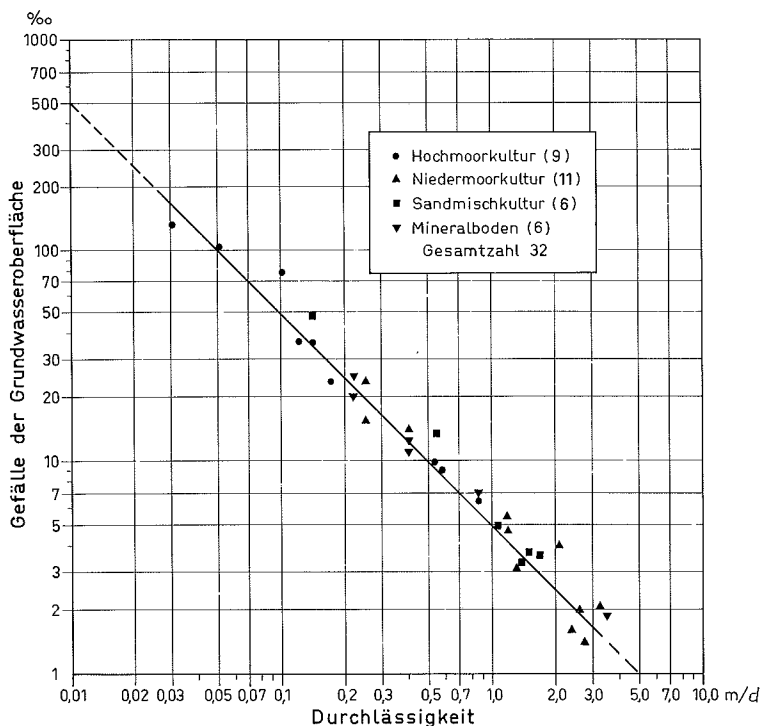
Aus der Stärke des Wasserandranges beim Bohren (oder Graben) kann die Felddurchlässigkeit der betreffenden Bodenschichten mit einiger Erfahrung **geschätzt** werden (Tabelle 3.7).

Diese einfache Klassifizierung ist für praktische Zwecke der Dränung oft schon ausreichend, Schätzwerte müssen allerdings stets durch Messungen ausreichend kontrolliert werden.

Für Niederungsböden mit einheitlichem Bodenaufbau im Grundwasserbereich hat sich eine **halbqualitative Schätzung** bewährt (Tabelle 3.8). Dabei muß die Zeit beobachtet werden, in der sich das Grundwasser einspiegelt in einem Bohrloch (\varnothing 7–10 cm) oder Schürfloch (20 × 20 cm) von 1–2 m Tiefe.

Tabelle 3.7 Vergleich der Stärke des Wasserandranges mit der Durchlässigkeit des Bodens

Wasserandrang beim Bohren oder Graben	Wasserdurchlässigkeit (-leitfähigkeit)	Klasse
sehr wenig	sehr gering	I
wenig	gering	II
mittel	mittel	III
groß	hoch	IV
sehr groß	sehr hoch	V

**Bild 3.11** Beziehung zwischen Gefälle der Grundwasseroberfläche und Durchlässigkeit

Ebenfalls für (gefällearme) Niederungsböden gilt die in Bild 3.11 dargestellte Beziehung zwischen Grundwasser-Spiegelgefälle und Durchlässigkeit. Sie wurde für winterliche niederschlagsreiche Perioden nach jahrelangen Grundwasserbeobachtungen vieler Versuchsfelder abgeleitet und später mehrfach bestätigt.

Tabelle 3.8 Schätzung einer Felddurchlässigkeit nach dem Grundwasseranstieg im Erdloch [3.7]

Grundwasser hat sich eingespiegelt nach	Felddurchlässigkeit	Klasse
> 6 h	sehr gering	I
6 – 2 h	gering	II
2 – 1/2 h	mittel	III
1/2 – 1/4 h	hoch	IV
< 1/4 h	sehr hoch	V

3.5.2 Bohrlochmethode

Die Bohrlochmethode gemäß DIN 19682, Bl. 8 bietet den Vorteil, daß im Felde im nahezu ungestörten Boden gemessen werden kann [3.3]. Sie setzt voraus:

- Oberflächennahes Grundwasser und
- Bodenschichten > 0,5 m dick.

Es werden benötigt: Flügelbohrer (Bild 3.1), Schwimmer mit Meßband, Stoppuhr, in lockeren (Sand-) Böden ein Filterrohr, Schöpfer.

Meßprinzip: Mit dem Flügelbohrer wird bis zur Tiefe e gebohrt. Nach Einmessen des Ruhegrundwasserspiegels wird das Bohrloch ausgeschöpft und die Aufstiegsgeschwindigkeit durch Schwimmer mit Meßband und

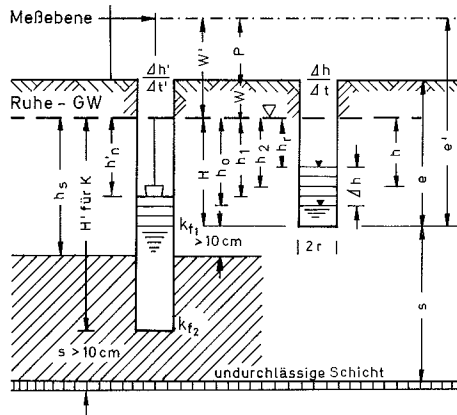


Bild 3.12 Schema für die Messung der Felddurchlässigkeit im Bohrloch [3.3]

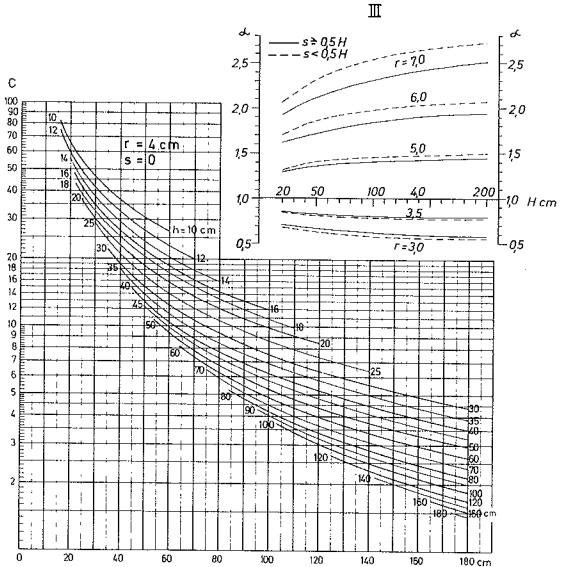
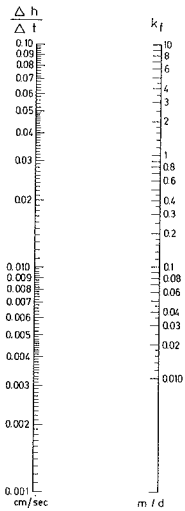
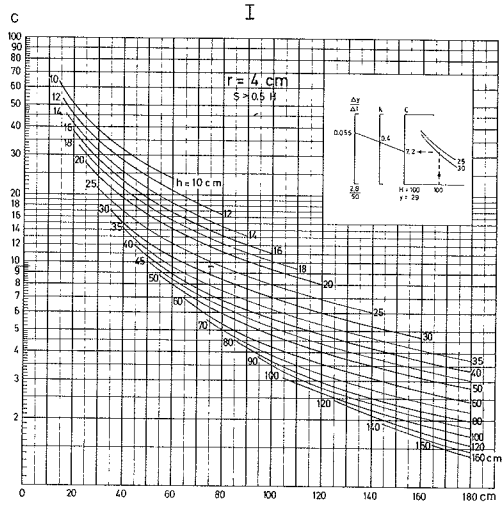
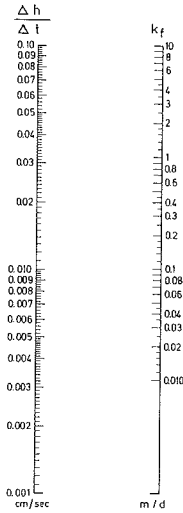


Bild 3.13 Nomogramme zum Bestimmen der Felddurchlässigkeit k_f bei $r = 4 \text{ cm}$ [3.3] (I für $s \cong 0,5 H$, II für $s < 0,5 H$, III für Bohrlochradius $r \neq 4 \text{ cm}$)

Stoppuhr bei mindestens 4 (–6) Zwischenablesungen $\Delta h / \Delta t$ gemessen. Dabei wird Δt (oder Δh) als konstante Bezugsgröße festgelegt. Bei wiederholter Messung im gleichen Bohrloch sind Abweichungen bis zu 10% normal. Es sind die in Bild 3.12 genannten Bedingungen einzuhalten. Die Zwischenablesungen zeigen an, ob der Grundwasseranstieg im Bohrloch störungsfrei, d. h. gleichmäßig verläuft.

Die Indizes f beim Durchlässigkeitswert k leiten sich ab von „Feld“ oder „Filter“; die Ziffern bezeichnen die verschiedenen Bodenschichten (von oben gezählt).

Die Auswertung erfolgt rasch und zuverlässig mittels Nomogramm (Bild 3.13). Dabei ist die Lage der Bohrlochsohle zu einer undurchlässigen Schicht zu beachten (Bild 3.12).

Die C-Werte können für Bohrlöcher mit dem Radius $r = 4$ cm in den Nomogrammen bestimmt werden (von H ausgehend bis zur entsprechend h-Kurve, von dort nach C). Durch Verbindung zur Leiter $\Delta h / \Delta t$ ergibt sich unmittelbar k . Bei anderen Bohrlochquerschnitten (je nach Boden) kann der C-Wert nach der Hilfsgraphik ermittelt werden, wobei $C_x = \alpha \cdot C_4$ ist.

Bei zweischichtigem Boden ist nach Bild 3.12

$$k_{f_2} = \frac{(K \cdot H') - (k_{f_1} \cdot h_s)}{(H' - h_s)} \quad [\text{m/d}]$$

Tabelle 3.9 Klassifizierung der Felddurchlässigkeit [3.13]

k_f -Wert cm/d	Beurteilung	Klasse	
< 1	äußerst gering	I	a
1 – 6	sehr gering		b
6 – 15	gering	II	
15 – 40	mittel	III	
40 – 100	hoch	IV	
100 – 250	sehr hoch	V	a
> 250	äußerst hoch		b

Bei gespanntem oder stark strömendem Grundwasser ist das Verfahren nur bedingt anwendbar, es werden zu hohe k_f -Werte bestimmt.

Die gemessenen und die geschätzten Durchlässigkeiten sollten miteinander verglichen werden. Sie können nach Tabelle 3.9 auf ihren praktischen Aussagewert beurteilt werden.

Tabelle 3.10 gibt weitere Beziehungen zwischen Wasser-Durchlässigkeit und Durchflußwiderstand bei verschiedenen Bodentypen wieder. Eine graphische Gegenüberstellung der Durchlässigkeitsbereiche der häufigsten Mineral- und Moorböden zeigt Bild 3.14.

Tabelle 3.10 Wasserdurchlässigkeit und Durchflußwiderstand von wichtigen Böden in Nordwestdeutschland [3.13]

Klasse	Beurteilung Durchlässigkeit	Durchfluß-Widerstand	Bodentyp bzw. Torfart
I	sehr gering	sehr groß	Pelosol Pseudogley (tonig) Knick-Brackmarsch Hochmoor (s. st. zers. Torf)
II	gering	groß	Pseudogley (Löß) Brackmarsch Hochmoor (st. zers. Torf) Niedermoor (st. zers. Torf)
III	mittel	mittel	Parabraunerde (Löß, Lehm) Podsol (Flugsand und Lehm) Auengley, Seemarsch, Nieder- und Hochmoor (mittel bis wenig zers. Torfe)
IV	hoch	gering	Gley (sandig bis lehmig) Auenboden (Lehm), Seemarsch Niedermoor (wenig zers. Torf) Bruchwaldtorf
V	sehr hoch	sehr gering	Gley (sandig bis kiesig) Schilftorf (wenig zers.) Bruchwaldtorf Organomarsch

3.5.3 Sickerrohrmethode

Mit der Sickerrohrmethode kann im Felde die Wasserdurchlässigkeit auch noch in dünnen Bodenschichten/-horizonten (≥ 10 cm) gemessen werden. Die Geräteausstattung ist schwerer als bei der Bohrlochmethode [3.14].

Die Sickerrohrmethode benutzt nach Bild 3.15 ein Stahlrohr (1), das unten mit einer beweglichen Stahlspitze oder mit einer „verlorenen“ Hartholzspitze (2) versehen ist. Es wird bis zur gewünschten Bodentiefe ins Grundwasser getrieben, anschließend wird durch Ziehen des Rohres im Boden eine Öffnung bestimmter Größe erzeugt (bei der beweglichen Stahlspitze $d = 4$ cm). In einer mittels Gummistöpsel (3) aufgesetzten graduierten Glasröhre (4) wird die Versickerungsgeschwindigkeit hineingegossenen Wassers mittels Stoppuhr bestimmt.

Die Durchlässigkeit ergibt sich näherungsweise für:
Sickerrohr mit beweglicher Stahlspitze:

$$k_f = \frac{r^2 g}{8 h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ [cm/s]}$$

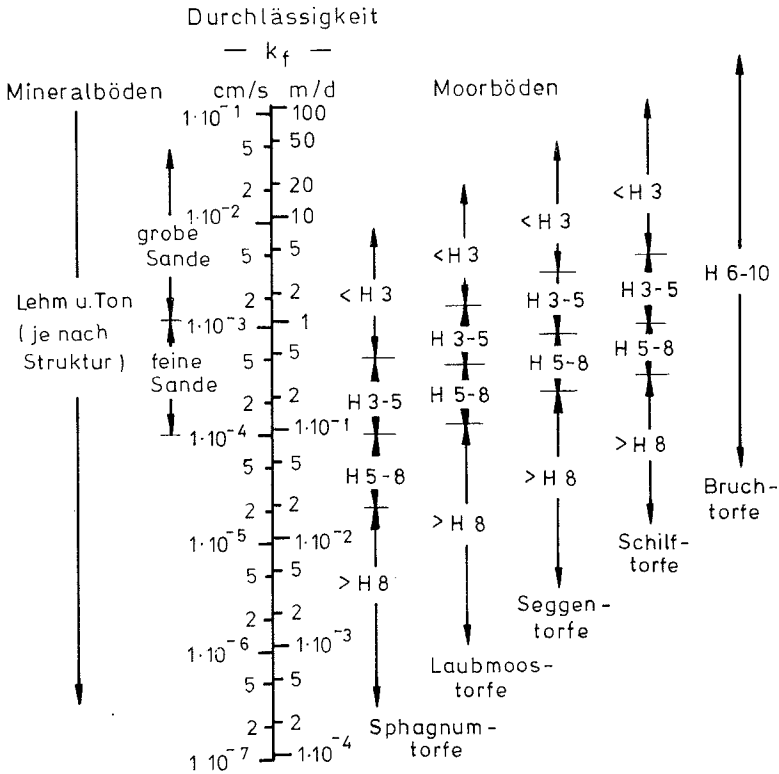


Bild 3.14 Durchlässigkeit von Mineral- und Moorböden [3.1]

Sickerrohr mit „verlorener“ Hartholzspitze:

$$k_f = \frac{r^2 g l}{2 h_m \frac{(a/2 + d + r_0)}{4}} \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad [\text{cm/s}]$$

In beiden Gleichungen sind die Längenmaße in cm, die Zeit in s einzusetzen. Durch Multiplikation mit dem Faktor 864 erhält man die Durchlässigkeit in m/d.

Anmerkung:

In Lehm- und Tonböden kann beim Hineintreiben des Rohres das natürliche Porensystem des Bodens u. U. verschmiert werden, wodurch dann zu kleine Durchlässigkeiten gemessen werden. Soweit das auch bei der Bohr-

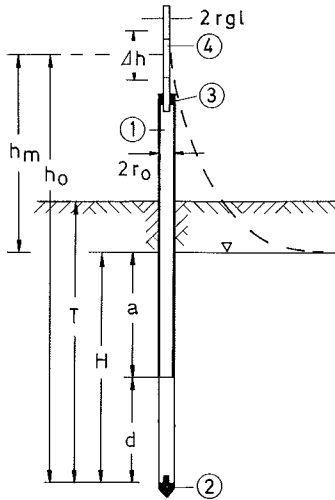


Bild 3.15 Schema für die Messung der Felddurchlässigkeit mittels Sickerrohrmethode [3.14]

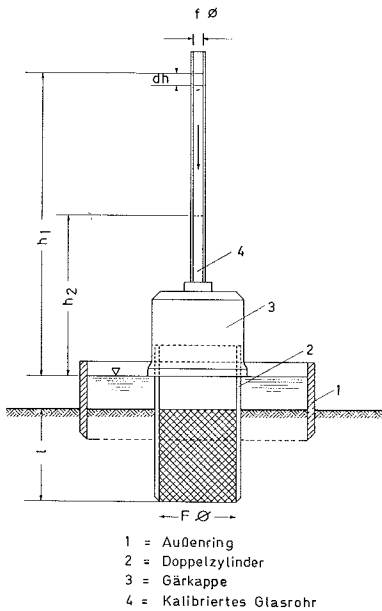


Bild 3.16 Schema zur Messung der Infiltration mittels Doppelring-Infiltrrometer [3.22]

lochmethode ausnahmsweise eintritt, werden die Poren durch das in das Bohrloch einströmende Wasser „freigespült“.

Die Wasserdurchlässigkeit kann ebenfalls nach Tabelle 3.9 und 3.10 beurteilt werden.

3.5.4 Infiltrations-Messung

Mit Doppelring-Infiltrometer kann auch in grundwasserfernen Böden die Infiltrationsrate gemessen werden, das ist die Wassermenge, die in der Flächeneinheit pro Zeiteinheit von oben im Boden eindringt und in ihm versickert. Diese Methode ist vor allem für Bewässerungsobjekte in ariden Klimazonen geeignet [3.22].

Die Meßanordnung im Feld (Bild 3.16) erfolgt mit einem Außenring (1) mit \varnothing 150 mm, Höhe = 50 mm und Innenring (2) mit \varnothing 55 mm, Höhe = 84 mm mit außen eingekerbtem Markierungsring auf halber Höhe, einer Gummikappe (3) und einem gradierten Glasrohr (4). Der Außenring wird etwa 20 mm, der Innenring 42 mm in den Boden gedrückt. Beide Ringe werden langsam mit Wasser gefüllt und das Glasrohr aufgesetzt. Mit dem eigentlichen Meßvorgang muß solange gewartet werden, bis – besonders im zentralen Teil – der Boden vollständig mit Wasser gesättigt ist, was nach der Versickerungsgeschwindigkeit beurteilt werden kann. Nach Füllung des Glasrohres bis zur Höhe h_1 (Luftblasen beseitigen!) wird die Versickerungszeit t bis zur Höhe h_2 mittels Stoppuhr gemessen.

Die Infiltrationsrate wird nach folgender Formel berechnet [3.22]:

$$k_i = 2.3 \frac{l \cdot f \cdot \lg \frac{h_1}{h_2}}{F \cdot t} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$$

Zur deutlichen Unterscheidung vom k_r -Wert wurde der Wert mit k_i bezeichnet.

Wählt man für das vorgenannte Gerät ein Glasrohr von 50 cm Länge mit \varnothing 8 mm und hält die Fallhöhen konstant mit $h_1 = 45$ cm und $h_2 = 15$ cm, so vereinfacht sich die Formel auf:

$$k_i = \frac{1}{t} \cdot 10^{-2} \text{ [cm/s]}$$

oder

$$k_i = \frac{8424}{t} \text{ [cm/d]}$$

Die Infiltrationsrate k_i unterscheidet sich aus mehreren Gründen von der Durchlässigkeit k_r . Es sollte möglichst das Bewässerungswasser verwendet werden. Ein Vergleich von k_i - zu k_r -Werten ist nur bedingt möglich; da andere Angaben fehlen, kann auf die Tabellen 3.9 und 3.10 zurückgegriffen werden.

3.5.5 Luftdurchlässigkeit

Die Luftdurchlässigkeit ist ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung hafter Böden. Dafür ist die Feldmethode der Staudruckmessung geeignet [3.7, 3.15].

3.5.6 Abscherwiderstand

Der Abscherwiderstand ist ein Kriterium für die Festigkeit (Kohärenz) des natürlich gelagerten Bodens. Sie kann im Felde mittels Flügelsonde und Drehmomentenschlüssel in verschiedenen Tiefen gemessen werden [3.7] und gibt Hinweise auf die Lagerungsdichte des Bodens.

3.5.7 Spatendiagnose

Bei oberflächennahen, durch Fahrzeuge usw. verursachte Bodenverdichtungen entsteht Staunässe in der Krume. Mit der sogenannten Spatendiagnose können solche Krumenverdichtungen rasch und zuverlässig durch den Praktiker an Ort und Stelle erkannt werden. Mit einem Spaten wird aus der Krume ein Bodenausstich ausgehoben und waagrecht abgelegt (Bild 3.17). Bodenverdichtungen lassen sich visuell tastend erkennen (mittels Messer oder Kratzer) oder auch durch Feuchteunterschiede ansprechen.

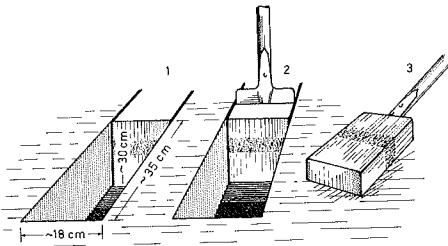


Bild 3.17 Feststellung von oberflächennaher Bodenverdichtung

Auch durch Messung der Infiltration oder der Luftdurchlässigkeit können solche oberflächennahen Verdichtungen zahlenmäßig belegt werden, wenn damit in verschiedenen tiefen Horizonten gemessen wird.

3.6 Zeigerpflanzen und Wurzelbild

Es ist eine allseits bekannte Tatsache, daß nicht jede beliebige Pflanze an jedem Standort wächst. Die Zusammensetzung der Pflanzendecke ist von zahlreichen Faktoren abhängig, wie Klima, Boden, Relief, Wasser, Durchlüftung, Nährstoffe, Unkrautbekämpfung usw.

Während manche Pflanzen sich den Umweltbedingungen eines Standortes anpassen können, gedeihen andere überhaupt nur dann, wenn bestimmte Standorteigenschaften vorherrschen. Man nennt sie Zeigerpflanzen, die – wenn sie gehäuft auftreten – sichere Hinweise auf bestimmte Eigenarten geben. Mit ein wenig Liebe zur Natur kann man diese Pflanzen rasch kennenlernen. Besser als die einzelne Pflanze ist der gesamte Pflanzenbestand, der die am jeweiligen Standort dominierenden Lebensbedingungen anzeigt. Die Pflanzensoziologie – ein spezieller Wissenszweig der Botanik – befaßt sich mit der Lehre der Pflanzengesellschaften [3.5].

3.6.1 Zeigerpflanzen

Im Zusammenhang mit der Dränung interessieren vor allem solche Pflanzen, die feuchte bis nasse Böden anzeigen und dabei auch Hinweise auf (bewegtes) Grundwasser, auf Stauwasser oder Haftnässe geben (Tabelle 3.11). Die in Spalte 5 genannten Pflanzenarten bedeuten:

S = Schachtelhalm	R = Riedgräser (Seggen)
K = Kräuter	B = Binsen
G = Gräser	H = Holzgewächse

Die letzten Spalten geben Hinweise auf weitere Standorteigenschaften, wie Vorkommen von Kalk, Säure, Stickstoff oder Moor [3.8, 3.13, 3.17]. Es muß ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß ein Vorkommen dieser Zeigerpflanzen eine bodenkundlich-hydrologische Standortuntersuchung nicht ersetzt, sondern ergänzen soll.*)

Die Häufigkeit, mit der eine Zeigerpflanze örtlich wächst, kann nicht nur die Art, sondern auch den Ort der Vernässungsursache näher bezeichnen. So zeigte der Fieberklee (*Menyanthes trifolium*) auf einer an einem Talhang liegenden Grünlandfläche eine Quelle an (Bild 3.18), die durch Anmoor- und Moorschichten überdeckt, durch gezielte bodenkundlich-hydrologische Untersuchungen erklärt und bewiesen wurde [3.4].

3.6.2 Wurzelbild

Je nach den Bodenverhältnissen entwickeln und verbreiten sich die Pflanzenwurzeln im Boden. Ausmaß und Intensität der Durchwurzelung beeinflussen die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen und damit das Pflanzenwachstum. Wurzeltiefgang und -verbreitung ergeben das Wurzelbild. Es kann vorteilhafte Hinweise geben auf dicht lagernde Bodenschichten oder -horizonte. Umgekehrt werden lockere Bodenzonen gleichmäßig durchwurzelt. Vor allem einzeln wachsende Pflanzen geben – an einer Schürfruben-

*) Meinem Kollegen Herrn Botaniker Dr. J. Schwaar sage ich herzlichen Dank für die kritische Durchsicht der Tabelle 3.11.

Tabelle 3.11 Zeigerpflanzen für nasse Standorte [3.8]

deutsch	Pflanzenname lateinisch	Pflanzenart	Vernässungsart (Tiefe-Bewegung)	Kalk	Hinweis auf Säure Stick- stoff		Moor
Bitter- oder Fieberklee	<i>Menyanthes trifoliata</i>	K		(+)	+		(+)
Gelbe Schwertlilie	<i>Iris pseudacoris</i>	K			+	+	+
Wasserdost (-hanf)	<i>Eupatorium cannabinum</i>	K	Oberfläche quellig				(+)
Geißbart	<i>Aruncus dioicus</i>	K	ständig vernäßt				
Breitbl. Wollgras	<i>Eriophorum latifolium</i>	G	bewegtes Wasser	+			(+)
Rauhe Segge	<i>Carex davalliana</i>	R		+			
Schilf, Schilfrohr	<i>Phragmites communis</i>	G				+	
(Sumpf-) Mädesüß	<i>Filipendula ulmaria</i>	K	Grundwasser	(+)	+	+	
Blutweiderich	<i>Lythrum salicaria</i>	K	ständig hoch		+	+	(+)
Waldsimse	<i>Scirpus silvaticus</i>	R	bewegtes Wasser		+	(+)	
Kohldiestel	<i>Cirsium oleanum</i>	K	Grundwasser	+		+	
Rohrglanzgras	<i>Phalaris arundinacea</i>	G	zeitweilig hoch		(+)	+	(+)
Sumpfdotterblume	<i>Caltha palustris</i>	K	bewegtes Wasser	(+)	+	+	(+)
Sumpf/Scharfkantige Segge	<i>Carex acutiformis</i>	R		+		+	
Gilbweiderich	<i>Lysimachia vulgaris</i>	R			+		(+)
Braune Segge	<i>Carex fusca</i>	K	Stauwasser		+		+
(Sumpf-) Blutauge	<i>Comarum palustre</i>	K	(über dichtem		+	(+)	+
Kolbenschilf, Rohrkolben	<i>Typha latifolia</i>	G	Untergrund)	+	(+)	(+)	
Schlanke Segge	<i>Carex gracilis</i>	R	ständig hoch	+		(+)	
Sumpfschachtelhalm	<i>Equisetum palustre</i>	S			+	(+)	
Wasserminze	<i>Mentha aquatica</i>	K		(+)	+		
Steife Segge	<i>Carex elata</i>	R	Stauwasser		+		
Pfeifengras (Bentgras)	<i>Molinia caerulea</i>	G	zeitweilig	+	+		(+)
Sumpf-Vergißmeinnicht	<i>Myosotis scorpioides</i>	K			+		
Schmalblätt. Wollgras	<i>Eriophorum angustifolium</i>	G	Haftnässe		+		+
Scheidiges Wollgras	<i>Eriophorium vaginatum</i>	G	ständig		+		+

deutsch	Pflanzenname		Pflanzenart	Vernässungsart (Tiefe-Bewegung)	Hinweis auf		
	lateinisch				Kalk	Säure	Stickstoff
Kuckucks-Lichtnelke	<i>Lychnis flos-cuculi</i>		K				(+)
Acker-Minze	<i>Mentha arvensis</i>		K	Haftnässe			
Kriechender Hahnenfuß	<i>Ranunculus repens</i>		K	zeitweilig			
Rasenschmiele	<i>Deschampia caespitosa</i>		G		(+)		
Flatterbinse	<i>Juncus effusus</i>		B				
Krötenbinse	<i>Juncus buffonius</i>		B	Oberflächen-			
Einfähr. Rispengras	<i>Poa annua</i>		G	Verdichtung	(+)		
Acker-Schachtelhalm	<i>Equisetum arvense</i>		S	Unterboden-			
Huflattich	<i>Tussilago farfara</i>		K	Verdichtung			

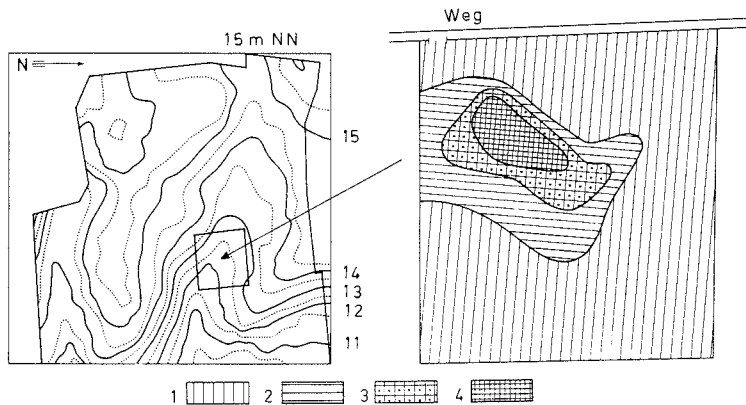


Bild 3.18 Pflanzenkartierung
(Bitterklee, *Menianthes trifolium*)
und Bodenvernässung [3.4]

wand – mit ihrem Wurzelbild eine gute Auskunft über das Bodengefüge. Nach bodenkundlichen Merkmalen geordnet sind einige Wurzelbilder zusammengestellt, sie zeigen ein bodentypologisches Wurzelwachstum (Bild 3.19). In staunassen und grundwasservernässten Böden ist die Wurzeltiefe erheblich eingeschränkt, in verdichteten (B-) Horizonten die Wurzelverzweigung begrenzt. Wurzelbilder können daher auch für eine Dränplanung wertvolle Hinweise geben.

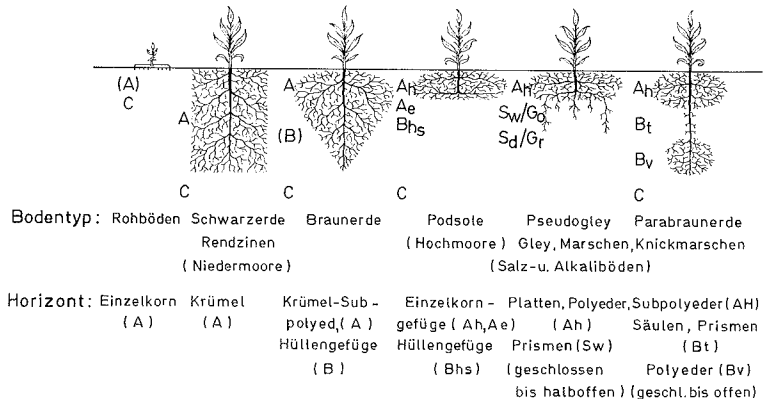


Bild 3.19 Wurzelbild in Abhängigkeit von Bodenprofil und Gefügeform [2.2]

3.7 Verockerungsgefahr

3.7.1 Merkmale im Gelände

Bei der Geländeuntersuchung für geplante Dränung sollte stets auf die Bodenmerkmale (Bodenfarbe, Fleckigkeit) geachtet werden, die Hinweise über Eisengehalt und -zustandsform geben (Kap. 2.6).

Im Grundwasser gelöstes (zweiwertiges) Eisen kann in vorhandenen Dränen und Gräben, an Viehtränken oder Quellen beobachtet werden, wo es sich bei Luftzutritt infolge chemischer oder/und biologischer Oxidation durch Eisenbakterien ausgeschieden hat. Auf Grabenwässern auftretende schillernde, öl-ähnliche, dünne Häutchen (Kahmhaut) deuten auf Eisenbakterien hin.

3.7.2 Fe-Bestimmung im Wasser*

Eine einfache, für die Praxis ausreichende und für den Feldeinsatz geeignete „Methode zur Eisenbestimmung im Wasser“ ist folgende:

Die **frisch entnommene** Wasserprobe wird – nachdem das Prüfgefäß (Reagenzglas) zuvor **mehrfach** mit dem zu prüfenden Wasser **gespült** wurde – in das Prüfgefäß gefüllt und

(1) eine Pufferlösung (Ammoniumacetat) p. A.

(2) eine Lösung Farbkomplexbildner (O-Phenantrolin) p. A.

zugegeben. Nach jeder Zugabe ist die Prüflösung zu schütteln. Nach zehn Minuten Wartezeit kann der Gehalt an Fe^{**} (zweiwertigem Eisen) in mg/l = ppm ermittelt werden, indem man die rote Farbe der Prüflösung einer Norm-Farbskala zuordnet. Der Gehalt an dreiwertigem Eisen (Fe^{***}) im Wasser kann in ähnlicher Form bestimmt werden, indem vor der unter (1) und (2) genannten Lösung ein Reduktionsmittel (Hydroxylamin-hydrochlorid) zugesetzt wird.

Neuerdings gibt es Indikatorstäbchen, welche die obengenannten Chemikalien in dünner Schicht aufgetragen enthalten. Sie sind für den Feldeinsatz noch geeigneter [3.20].

3.7.3 pH-Bestimmung

Es ist ferner im Felde gesondert der pH-Wert des Wassers zu bestimmen, z. B. mittels Indikatorpapiere oder -stäbchen, die für praktische Zwecke genügend genau sind.

Der pH-Wert ist ein meßbarer Ausdruck für die Wasserstoffionen-Konzentration (H-Ionen) im Wasser, d. h. er kennzeichnet die saure, neutrale oder alkalische Reaktion. Da die Konzentration der H-Ionen über mehrere Zehnerpotenzen mit negativen Exponenten variiert, wird nur der negative Exponent als pH-Wert angegeben.

Es bedeutet also:

$$\text{pH } 1 = 1 \cdot 10^{-1} = 1/10 \text{ gH}^*/\text{l}$$

$$\text{pH } 2 = 1 \cdot 10^{-2} = 1/100 \text{ gH}^*/\text{l}$$

$$\text{pH } 3 = 1 \cdot 10^{-3} = 1/1000 \text{ gH}^*/\text{l}$$

usw. bis pH 14

Dabei zeigen

pH < 7 eine saure Reaktion

pH = 7 eine neutrale Reaktion

pH > 7 eine alkalische Reaktion an.

* Reagenzien zu Eisenbestimmung mit Prüfgefäß (Plastik) bzw. Indikatorstäbchen auch zur pH-Bestimmung (p. A.) sind handelsüblich lieferbar.

3.7.4 Beurteilung

Die Verockerungsgefahr von Dränen kann je nach der sauren oder alkalischen Reaktion (pH-Wert) und dem Fe²⁺-Gehalt des Wassers zwischen „kaum vorhanden“ bis „sehr stark“ eingestuft werden (Tabelle 3.12).

Tabelle 3.12 Verockerungsgefahr für Dräne in Abhängigkeit von Fe²⁺-Gehalt und pH-Wert des Grundwassers [2.8]

Fe ²⁺ -Gehalt (mg/l)		Verockerungsgefahr für Dräne
saurer Bereich pH-Wert < 7	alkalischer Bereich pH-Wert > 7	
< 0,5	< 1,0	kaum
0,5 – 1,0	1,0 – 3,0	gering
1,0 – 3,0	3,0 – 6,0	mittel
3,0 – 6,0	6,0 – 9,0	groß
> 6,0	> 9,0	sehr groß

3.8 Salzgehalt im Boden und Wasser

Der Salzgehalt in Boden und Wasser wird allgemein mittels der elektrischen Leitfähigkeit angegeben (DIN 19684, Bl. 11). Sie wird in einer wassergesättigten Bodenpaste bei doppelter Feldkapazität (Auffüllung mit destilliertem Wasser) oder in einer Salzlösung (Bewässerungs- oder Dränwasser) mittels Elektrode und Voltmeter bestimmt. Es gibt eine Vielzahl handelsüblicher Geräte, die vorwiegend für den Einsatz im Laboratorium (Netzanschluß) gedacht sind. Es gibt jedoch auch Batterie-Geräte für den Feldeinsatz.

Die Einheit der elektrischen Leitfähigkeit (engl. = Electrical conductivity = EC) wird in „Siemens“ = S oder mS angegeben.*

Zur Kennzeichnung und Beurteilung von Salz- und Alkaliböden wird die weltweit eingeführte amerikanische Klassifikation (US Salinity Laboratory Staff [3.12] zugrunde gelegt (Tabelle 3.13).

Die elektrische Leitfähigkeit (EC) ist ein wichtiges Kriterium bei:

- Beurteilung der Qualität des Bewässerungswassers;
- Bemessung der Wassermenge für die Bodensalzauswaschung und damit
- für die hydraulische Berechnung einer notwendigen Dränung bei bewässerten Salzböden.

*) Das früher in der Bodenkunde übliche Symbol „mho“, abgeleitet aus dem rückwärts gelesenen Wort „ohm“, bedeutete den reziproken Wert des elektrischen Widerstandes ($1 \text{ S} = 1/\text{Ohm} = \text{mho} = 1 \text{ EC}$), sein Gebrauch ist nach dem Gesetz von 1969 über das „Internationale Einheitensystem“ (SI) nicht mehr zulässig.

Tabelle 3.13 Beurteilung von Salzböden in Abhängigkeit von Salzgehalt (Elektr. Leitfähigkeit) und Salzresistenz der Pflanzen [3.12]

Salzgehalt %	Elektrische Leitfähigkeit mS/cm	Beurteilung	Kulturpflanzen
< 0,1	< 2	sehr gering	alle
0,1 – 0,3	2 – 4	gering	fast alle
0,3 – 0,5	4 – 8	mittel	Salzverträgliche wie: Gerste, Beta-Rüben, Baumwolle, Reis, Hirse, Zwiebel, Dattel, Zuckerrohr
0,5 – 1,0	8 – 16	stark	vorwiegend Salzpflanzen (Halophyten)
> 1,0	> 16	sehr stark	nur Salzpflanzen wie: Gräser, Kräuter, Sträucher, Bäume

3.9 Labor-Methoden

Abschließend sollte in diesem Kapitel ein Hinweis auf ergänzende Laboratoriumsuntersuchungen nicht fehlen. Diese können notwendig werden, um bei der Vorplanung Zweifel dieser oder jener Art zu beseitigen oder um z. B. mangelnde Wirksamkeit von Dränmaßnahmen zu klären.

3.9.1 Bodenphysikalische Laboranalysen (DIN 19683)

- Sieb- und Schlämmanalyse;
- Raumgewicht, Rohdichte und Lagerungsdichte;
- pH-Wert (Wasserbindung) und Porenraumgliederung;
- Durchlässigkeit (im wassergesättigten und -ungesättigten Zustand);
- Quellung und Schrumpfung;
- Gefügestabilität;
- Rißbild.

3.9.2 Chemische Laboranalysen (DIN 19684)

Chemische Analysen können an Bodenproben aber auch an Wasser- und Pflanzenproben erfolgen. Es sind dies:

- Organische bzw. mineralische Substanz;
- Humus (C, N);
- Tonminerale;

- Kationen, Anionen;
- Austauschkapazität;
- pH-Wert, Kalkbedarf und Meliorationsdüngung;
- Spurenelemente;
- Pflanzenschädliche Stoffe;
- Eisengehalt;
- Salze u. a. m.

Literatur

- [3.1] Baden, W.; Eggelsmann, R.: Zur Durchlässigkeit der Moorböden. Z. f. Kulturtechnik **4**, S. 226–254. Berlin-Hamburg: 1963.
- [3.2] Baden, W.; Eggelsmann, R.: Über die Regelung des Wasserhaushaltes bei Moormeliorationen und die dafür notwendigen Vor- und Folgearbeiten. Wasser und Boden **10**, S. 29–36. Hamburg: 1958.
- [3.3] Beers, W. F. J. van: Die Bohrlochmethode – Eine Feldvermessung der Wasserdurchlässigkeit unter dem Grundwasserspiegel. (Dt. R. Binsack) Bull. 1 D – Intern. Inst. f. Landgewinnung und Kulturtechnik. Wageningen/Niederlande: H. Veenman & Zn. 1962.
- [3.4] Bracker, H.: Grünlandversuche der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. 2. Aufl. Herausg. Lehr- und Versuchsanstalt für Grünlandwirtschaft, Futterbau und Landeskultur. Husum 1971.
- [3.5] Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie, 2. Aufl. Wien: Springer 1951.
- [3.6] Brenner, W.; Höltl, W.: Höhenflurkarte als Hilfsmittel zur Kennzeichnung der Wasserströmung und der Meliorationsplanung. Z. f. Kultur- und Flurber. **18**, S. 332–338 und **19**, S. 26–32. Berlin 1977/78.
- [3.7] Eggelsmann, R.: Bodenkundlich-hydrologische Feldmethoden und deren Aussagewert für Wasserwirtschaft, Bodenkultur und Landschaftspflege in Niederungsgebieten. Geol. Jb. **F 4**. S. 51–78. Hannover 1977.
- [3.8] Ellenberg, H.: Zeigerpflanzen im Landwirtschafts-Bereich. Herausg. Geobotan. Institut ETH Zürich 1964.
- [3.9] Feichtinger, F.: Bodenvernässung – Ursache, Merkmale und Erkennen. Bericht 15. Kulturbauämter-Tagung in Eisenstadt (Okt. 1969), S. 48–58 Herausg. Österr. Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtschaft Wien 1970.
- [3.10] Hartge, K. H.: Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart: Enke 1971.
- [3.11] Heissler, V.: Kartographie. 3. Aufl. Sammlung Göschen Bd. 30/30 a. Berlin: W. de Gruyter & Co. 1968.
- [3.12] Jackson, M. L.: Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, N. J. (USA): Prentice-Hall, Inc. 1958.
- [3.13] Kartieranleitung 2. Aufl.: Herausg. Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Bundesanstalt für Bodenforschung und der Geol. Ld.-Ämter. Hannover 1971.
- [3.14] Khafagi, A.: Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung. Schweiz. Z. f. Vermessung u. Kulturtechnik. Heft 1–4. Zürich 1944.

-
- [3.15] Knoch, H. G.: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens. Berlin: Gebr. Borntraeger 1962.
 - [3.16] Köster, E.: Mechanische Gesteins- und Bodenanalysen – Leitfaden der Granulometrie und Morphometrie. München: Carl Hanser 1960.
 - [3.17] Kruedener, A. von: Ingenieur – Biologie. München-Basel: Ernst Reinhardt 1951.
 - [3.18] Lehmann, G.: Photogrammetrie. 2. Aufl. Sammlung Göschen Bd. 1188. Berlin: W. de Gruyter & Co. 1966.
 - [3.19] Müller; Renger, W. M.; Voigt, H.: Zur Kennzeichnung und Melioration staunasser Böden. In Pseudogley & Gley herausg. von Schlichting, C.; Schwertmann, U. Verh. Komm. V und VI der Intern. Bodenkdl. Ges. Stuttgart 1972. S. 639–646. Weinheim/Bergstr.: Chemie GmbH 1972.
 - [3.20] N. N.: Die Untersuchung von Wasser. 9. Aufl. Herausg. E. Merck, Darmstadt 1978.
 - [3.21] Richter, W. und Lillich, W.: Abriß der Hydrogeologie. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung 1975.
 - [3.22] Schaffer, G.; Collins, H.-J.: Eine Methode zur Messung der Infiltrationsrate im Felde. Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung 7. S. 193–199. Berlin-Hamburg 1966.
 - [3.23] Volquardts, H.: Feldmessen. I. u. II. 20. Aufl. Stuttgart: B. G. Teubner Verlags-Ges. 1962/63.

4 Dränmethoden

4.1 Rohrdränung

4.1.1 Allgemeines

Eine Rohrdränung besteht aus einem System von im Boden – nach hydraulischen, kulturbautechnischen Grundsätzen – verlegten Rohren, den **Saugern** und **Sammlern** (Bild 4.1). Die Dränrohre bestehen aus gebranntem Ton, Kunststoff (PVC – hart) oder sonstigen für diese Zwecke geeignetem Material

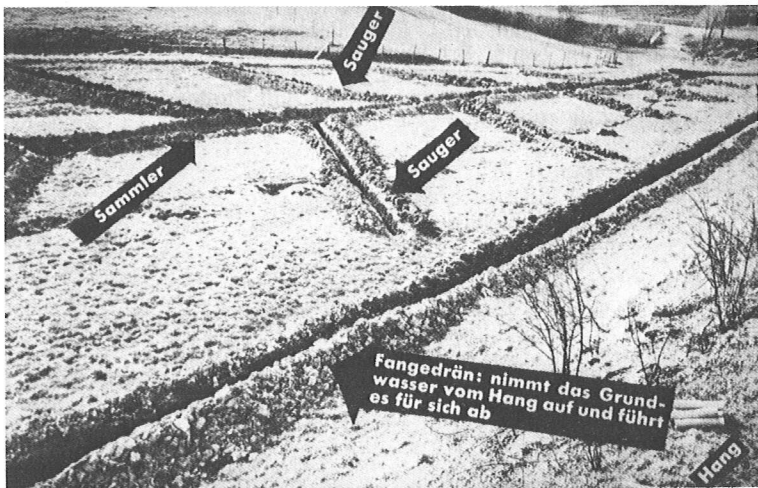


Bild 4.1 Sammler, Sauger und Fangedrän [4.5]

(Kap. 8). Durch Stoßfugen, Schlitze oder andere Öffnungen tritt das überschüssige Bodenwasser in die Sauger (-Rohre) ein und fließt – dem Gefälle folgend – zu den (Neben- und Haupt-) Sammlern. Diese leiten das Wasser über ihre **Ausmündungen** in den Vorfluter (Graben, Bach) ab.

4.1.2 Einzelheiten

Alle Dränstränge, die das Wasser zu einer gemeinsamen Ausmündung leiten, bilden eine **Dränabteilung**. Die von ihr entwässerte Fläche wird kurz Abteilungsfläche genannt.

Der **Hauptsammler** liegt meistens an den tiefen Geländestellen z. B. in flachen Mulden. Seine Lage bestimmt die Richtung der Sauger, ob Quer-, Schräg- oder Längsdränung (Bild 7.5).

Werden offene Gräben durch **Vorflutdräne** ersetzt, so haben sie – im Gegensatz zu Dränen anderer Art – nicht den Zweck, Bodenwasser aufzunehmen, sondern sollen nur Wasser hindurchleiten. Sie sind daher als voll gedichtete Rohrleitung (aus Muffenrohren) herzustellen. Es sind jedoch die Wassergesetze zu beachten (Erlaubnispflicht für Verrohrungen) und es muß der Abfluß der HQ sichergestellt sein. Stets sollte berücksichtigt werden, daß verrohrte Vorfluter die Ökologie des Baches oder Graben völlig zerstören und damit die Landschaft erheblich verändern [4.8].

Zum Abfangen von Grundwasser oder vom Hang herabkommenden Oberflächenwasser (Tagwasser) ordnet man **Fangdräne** an (Bild 4.1 und 7.7). Sie sind besonders stark zu dimensionieren ($\varnothing \geq 8$ cm), und der Drängraben ist mit durchlässigem Material (Sickerung) zu verfüllen (Kap. 7.2). Fangdräne sollen ihr Wasser gesondert in den Vorfluter ableiten.

Für **Bauwerk-Dränungen** gelten ähnliche Grundsätze wie für Fangdräne (Kap. 7.5).

Braucht eine Fläche nicht durch eine **Systemdränung** entwässert werden, so werden **Bedarfsdräne** angeordnet. Dies gilt vor allem für quellige Böden in hängigem oder gebirgigem Gelände (Kap. 7.3.4). Hier sind geohydrologische Voruntersuchungen besonders bedeutungsvoll (Kap. 2.2 und 3.4). Nur diese können über Lage, Bemessung und Wirtschaftlichkeit ausreichende Hinweise geben.

Eine **schrittweise** Dränung ist angebracht, wenn Zweifel bestehen über die Notwendigkeit einer Volldränung.

Über Wirksamkeit sowie Planung und Bemessung der Rohrdränung wird ausführlich in Kap. 5 und 6 berichtet.

4.1.3 Anwendung

Die Rohrdränung dient bevorzugt dazu, **Grundwasserböden** zu entwässern (Bild 1.1). Für Stauwasserböden ist sie dann geeignet, wenn die Staunässe-sohle $S_d \geq 5$ dm unter Flur liegt (Bild 6.12). In Haftnässeböden kommt eine Rohrdränung allgemein nur zusätzlich zur Rohrlosen-Dränung oder Unterbodenmelioration in Betracht, z. B. wenn die mittlere Jahresniederschlags-höhe > 600 mm ist oder zur Entwässerung von Geländemulden (vor allem am Hangfuß).

4.2 Rohrlose-Dränung (Maulwurfdränung)

4.2.1 Allgemeines

Die Rohrlose-Dränung – früher auch als Maulwurfsdränung oder Erddränung bezeichnet – ist eine überaus wirtschaftliche Dränung. Sie wurde in

England erfunden, später technisch weiter entwickelt und wird heute in vielen Staaten der Erde mit Erfolg eingesetzt. Sehr zu Unrecht wird sie vielfach als „Behelf“ angesehen, vielleicht auch manchmal aus „falsch verstandenen fiskalischen“ Gründen abgelehnt und eine – oft dann weniger wirksame – Rohrdränung vorgezogen.

DIN 1185 hat (1973) nach positiven Erfahrungen im In- und Ausland die Maulwurfdränung in „Rohrlose-Dränung“ umbenannt und sie auch dadurch als **voll anerkanntes Dränverfahren** der Rohrdränung gleichrangig zugeordnet. In schweren Ton- und Lehmböden sowie in stark zersetzten Torfen ist die Rohrlose-Dränung weit wirkungsvoller und wirtschaftlicher als die Rohrdränung [4.7].

4.2.2 Einzelheiten

Rohrlose-Dräne werden mit Hilfe eines **Rohrpfluges** in seichter Tiefe und mit geringen Abständen als Hohlgänge im Boden hergestellt. Im Traktor- oder Seilzug wird ein senkrecht oder schwach geneigtes Schwert mit einem Lockerungsschar durch den Boden gezogen, dem ein Preßkegel folgt (Bild 4.2), wodurch an der Sohle der Lockerungszone ein **Rohrloser-Drän** (Erddrän, Maulwurfdrän) erzeugt wird.

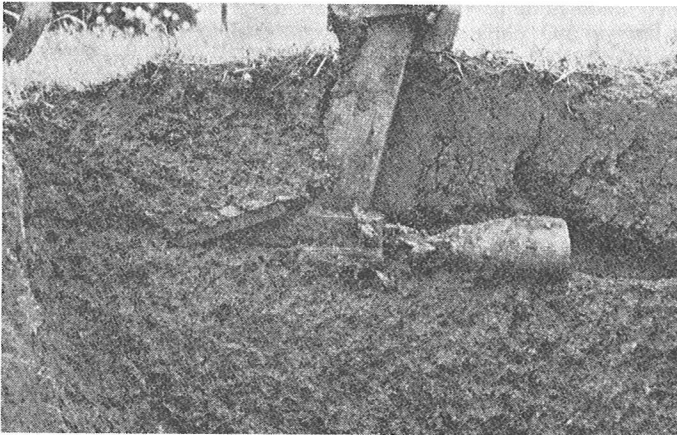


Bild 4.2 Rohrloser Drän (Maulwurfdrän, Erddrän), gleichzeitig wird der Boden gelockert [4.6]

In stark zersetzten Moorböden können Rohrlose-Dräne auch eingefräst oder eingeschnitten werden (Kap. 9.4).

In **Mineralböden** ist es möglich, Rohrlose-Dränung und Rohrdränung

gemeinsam als Kombinierte-Dränung vorzusehen, auch als Kreuz- oder Filter-Sammler-Dränung bezeichnet. Dabei wird eine vorweg auszuführende Rohrdränung mit stark erweitertem Dränabstand ($a = 30$ bis 80 m) und quer dazu eine Rohrlose-Dränung ($a = 2$ m) kombiniert. Der Anschluß der Rohrlosen-Dräne an die Rohrdräne erfolgt durch eine Sickerung aus Kies, Strauchwerk oder anderen geeigneten Filterstoffen (Bild 4.3 und 8.12).

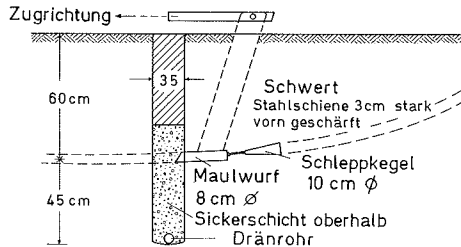


Bild 4.3
Kombinierte Dränung [4.12]

Es können bei der Kombinierten-Dränung im rationellen Maschineneinsatz die Rohrlosen-Dräne über mehrere (ausreichend gefilterte und bemessene) Rohrdräne hinweg ausgeführt werden. In **Moorböden** ist eine **Rohrlose-Dränung** nur als **Einzeldränung** vorzusehen, da hier eine Kombination mit einer Rohrdränung bisher nicht möglich war. Die Einzelausmündungen der Rohrlosen-Dräne sind zu sichern durch Holzkästen, Kunststoffrohre ohne Klappen (Kap. 8.7).

Der **Preßkopf-Durchmesser** soll betragen

- bei Mineralböden 80–100 mm
- bei Moorböden 120–200 mm (Kap. 9).

Der Zugkraftbedarf ist bei Verwendung leichter Maulwurfspflüge relativ gering. Es genügen Zugmaschinen mit 38 kW (50 PS) und mehr, wie sie verbreitet in der Landwirtschaft heute üblich sind. Rohrlose-Dräne können daher – unter Beachtung der Dränanleitung – gut und preiswert in eigener Regie der Landwirte, der Wasser- und Bodenverbände oder Teilnehmergemeinschaften der Flurbereinigungen hergestellt werden.

Die Rohrlose-Dränung wirkt auch dann noch, wenn die Erddräne weitgehend verfallen sind, insbesondere durch den gelockerten Ober- und Unterboden (Bild 5.15).

4.2.3 Anwendung

Mit der Rohrlosen-Dränung sollen vor allem **Haftnäseböden** entwässert werden, in denen sie gleichzeitig das Bodengefüge verbessert. Bild 4.4 zeigt nach Erfahrungen in Bayern den Hauptbereich der Mineralböden, der für Rohrlose-Dränung geeignet ist [4.11]. In Westungarn wurden nach 1965 rd.

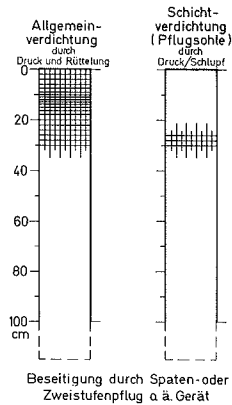


Bild 4.5 Mechanische Verdichtung im Oberboden (nach DIN 1185, Bl. 1)

- genetisch verdichtet oder verfestigt sind (= Toneinschlammungshorizonte).

In diesen meist schluffreichen, tonarmen Böden können Niederschläge nur verzögert versickern, sie sind dicht gelagert (Tabelle 3.2).

Solche Böden sind überwiegend zu naß. Insbesondere ist der Anteil an groben Poren (luftführende, schnelldränende) zu gering (Kap. 2.4). Darüber hinaus ist die Durchwurzelung stark gehemmt (Bild 5.17). Werden solche Böden durch eine Rohrdränung entwässert – wie es früher vielfach geschah – so durchwurzeln die Kulturpflanzen intensiv nur den (gelockerten) Füllboden des Drängrabens und wachsen dort durchwegs üppiger als auf dem nicht gelockerten Feld. Aus dem Pflanzenwuchs kann exakt die Lage der Rohrdränung kartiert werden. Die Kulturpflanzen selbst zeigen also an, daß in solchen Fällen eine Unterbodenmelioration oder ergänzende Rohrlose-Dränung sinnvoll erscheint [4.3].

Das Tieflockern wurde seit 1957 systematisch untersucht und technisch bis zur Praxisreife weiter entwickelt [4.15, 4.11, 7.21].

4.3.2 Einzelheiten

Durch Aufbrechen und Auflockern wird der Grobporen-Anteil vergrößert (Primärauflockerung), dadurch versickern die Niederschläge schneller, der Wurzelraum wird vergrößert, der Luft- und Wasserhaushalt des Bodens wird insgesamt verbessert. Nachfolgend soll sich die Lockerung chemisch und biologisch stabilisieren (Sekundärauflockerung).

Die **Lockerungstiefe** richtet sich nach Art und Tiefe der Bodenverdichtung. Teilverdichtete Schichten (Horizonte) sollten mit erfaßt werden (Normaltiefe ist 60–80 cm).

Der **Furchenabstand** richtet sich nach der Lockerungstiefe, die Locke-

rungsfurchen sollen sich in etwa 30 cm Tiefe überschneiden (Bild 4.6), das ergibt bei 80 cm Arbeitstiefe = 75 cm Arbeitsbreite.

Zum Tieflockern können ein- oder mehrarmige **Geräte** eingesetzt werden, mit starrem oder beweglichem Schar (Kap. 9.5).

Größe, Form, Neigungswinkel und Beweglichkeit des Lockerungsschares bestimmen Art und Umfang der Lockerung. Je tiefer und stärker ein Boden verdichtet ist, desto größer muß das **Lockerungsschar** sein. Es soll in Arbeitsstellung eine Neigung zur Horizontalen von 25° bis 30° aufweisen. Zu flach geneigte Schare heben den Boden nur wenig an; zu steil gestellte Schare lockern – bei sehr hohen Zugwiderständen – ebenfalls den Unterboden nur schlecht.

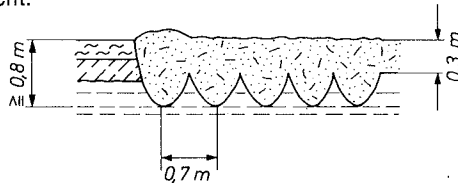


Bild 4.6 Tiefe und Abstand der Lockerungsfurchen (nach DIN 1185, Bl. 1)

Der **Zugkraftbedarf** ist bei Geräten mit beweglichen Lockerungsscharen geringer als bei solchen mit starren. Ein einschariges, starres Lockerungsgerät erfordert bei genügend abgetrocknetem Boden einen Raupen-Traktor mit einer Motorleistung > 75 kW (> 100 PS).

Eine Meliorationskalkung ist oft notwendig; ob weitere und Tiefen-Düngung empfehlenswert ist, sollte nur nach agrilkulturchemischer Analyse entschieden werden (Kap. 3.9.2). Es sollte dabei auch die Frage der Nährstoffauswaschung geprüft werden (Gewässer-Eutrophierung).

Der **Erfolg** einer Tiefenlockerung [4.11, 4.15, 7.21, 7.27] hängt entscheidend von zwei Faktoren ab. Es sind dies:

- Ausreichend **trockener Bodenzustand zum Arbeitszeitpunkt**; ein feuchter Boden würde nur zerdrückt und verschmiert; nur in einem trockenen Boden werden die Bodenaggregate verlagert und verkantet. Dieser Zeitpunkt wird am ehesten nach der Ernte erreicht, er kann durch vorausgehenden Anbau von Klee-Gras-Gemenge gefördert werden (biologische Bodenentwässerung).
- Eine **nachfolgende gefügeschonende Bodenbewirtschaftung**, d. h. flache Bodenbearbeitung, **kein** „in der Furche fahrender Traktor!“, Anbau von **Tiefwurzlern** (Raps u. dgl.) und von Zwischenfrüchten, Einsatz **strukturschonender** Bodenbearbeitungsgeräte (Spatenegge o. a.).

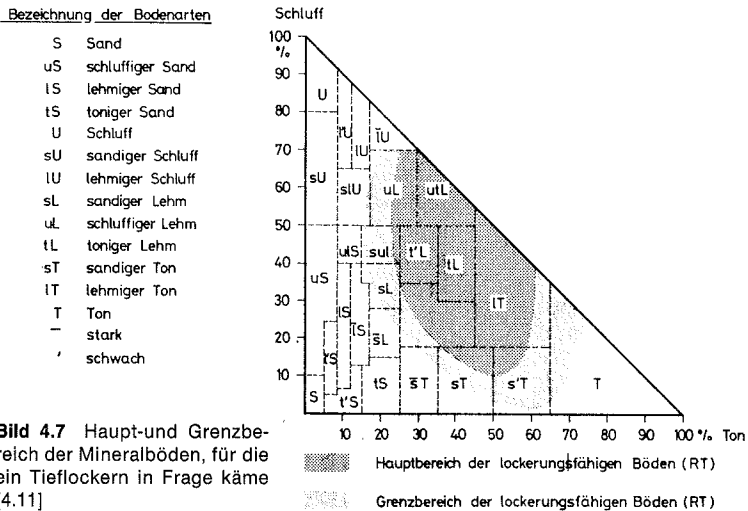
4.3.3 Anwendung

Das Tieflockern kommt vorwiegend in Betracht für dichtlagernde, bindige **Haftnässeböden** und für Staunässeböden, sofern die Oberfläche der Ver-

dichtungsschicht (-horizont) $S_d \leq 5$ dm unter Flur liegt (Pseudogley, Pelosol u. a.).

Bei mittleren Jahresniederschlägen $N > 500$ mm und in Geländemulden (vor allem am Hangfuß) sind erfahrungsgemäß zusätzlich Rohrdräne, ggf. mit Sickerung oder Schlucker erforderlich (Kap. 5.3 und 7.7) oder es ist eine Kombinierte-Dränung (Rohrdränung + Rohrlose-Dränung) vorzusehen.

Bild 4.7 zeigt nach Erfahrungen in Bayern den Hauptbereich der Mineralböden, der für das Tieflockern in Frage kommt [4.11].



In Norddeutschland ist aus klimatischen Gründen das Tieflockern nur sehr beschränkt möglich, da hier die notwendige Austrocknung des Bodens bis unterhalb der Ausrollgrenze nur ein bis zweimal in zehn Jahren erreicht wird [4.13], hier ist daher Rohrlose-Dränung in Kombination mit Rohrdränung angezeigt (Kap. 4.2).

4.4 Tiefpflügen

4.4.1 Allgemeines

Tiefpflügen ist gemäß DIN 1185 das Unterfahren und Umwenden eines mindestens 60 cm tiefen Bodenbereiches mit einem für diesen Zweck besonders konstruierten Einschar-Tiefpflug.

Durch den Einsatz von Tiefkulturpflügen wurden in Nordwestdeutschland

während der letzten vier Jahrzehnte mehr als 180 000 ha flachgründiges Moor und Anmoor, vorwiegend über Sand (Typ: Podsol bis Gley-Podsol zu **Sandmischkulturen** hergerichtet [4.1, 9.5]. Neben vielen guten, nachhaltigen Erfolgen haben einzelne Beispiele auch die Grenzbereiche aus bodenkundlich-hydrologischer Sicht dargelegt (Kap. 5.4 und 7.8 [4.4]).

Andererseits wurden während der letzten Jahre Tiefkulturpflüge versuchsmäßig auch auf verschiedenen meliorationsbedürftigen Mineralböden eingesetzt. Ausreichende Erfahrungen und genügend langjährige Versuchsergebnisse liegen vor allem bei Parabraunerden noch nicht vor [4.9]. Tiefgepflügte Podsole (Heidesand) gibt es dagegen schon ebenso lange wie Sandmischkulturen, sie sind gute Ackerstandorte. Das Tiefpflügen ist dort empfehlenswert, wo verschiedene Bodenschichten (-horizonte) zerstört und miteinander vermischt werden sollen, wobei in der neuen Krume die bodenphysikalischen Verhältnisse gleichzeitig nachhaltig verbessert werden.

4.4.2 Einzelheiten

Durch **Tiefpflügen** werden bisher horizontal gelagerte **Bodenschichten** (-horizonte) um 110 bis 140° überkippt und **schräg gestellt**. Dies ist an verschieden farbigen Bodenschichten (z. B. heller Sand und dunkler Torf) im Tiefflugprofil besonders gut erkennbar (Bild 4.8).

Mit Tiefkulturpflügen können – je nach Bauart und Einsatzzweck **Pflugtie-**



Bild 4.8 Tiefflugprofil einer Sandmischkultur

fen von 60 cm bis maximal 220 cm erreicht werden. In Mineralböden sind bisher Pflugtiefen bis 150 cm erreicht worden [9.5].

Das Schema (Bild 4.9) zeigt als Naturprofil ein flachgründiges Hochmoor über Sand und ein zugehöriges „ideales“ Tiefpflugprofil mit den wesentlichen Daten. Das **schichtmäßig tiefzupflügende Verhältnis** z. B. Torf:Sand sollte unter Beachtung der Lagerungsdichte 2:1 (bei Mittelsand) bis 1:2 (bei Feinsand) betragen. Die Furchentiefe des Tiefkulturpfluges ist entsprechend zu wählen (Kap. 5.4 und 7.8).

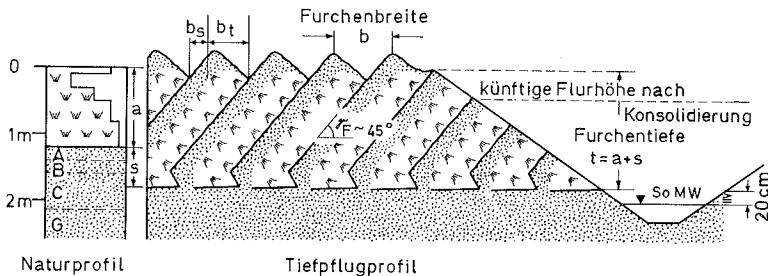


Bild 4.9 Schema eines Natur- und Tiefpflugprofils im Hochmoor mit der erforderlichen Entwässerungstiefe

Bei den **Mineralböden** kann das schichtmäßige **Verhältnis** der tiefzupflügenden Schichten (Horizonte) nach den erwünschten Mischwerten in der neuen Krume errechnet werden. Die bisherigen versuchsmäßigen Erfahrungen deuten an, daß die neue Krume bei

- Tonböden einen Tongehalt < 35 Gew.-%
- Schluffböden einen Tongehalt > 20 Gew.-%
- Sand-Ton-Gemisch einen Schluffgehalt < 15 Gew.-% aufweisen sollte.

Bei geplanten Tiefpflugmaßnahmen sind besonders sorgfältige und umfassende **Bodenkundliche Vorplanungen** notwendig (Kap. 2 und 3). Die Mitarbeit von **Bundekundlern** ist erwünschenswert.

Es gibt starre Tiefpflüge und solche mit hydraulisch verstellbarem **Tiefgang**, wodurch Bodenunterschiede während der Fahrt ausgeglichen werden können.

Die **Breite** der Pflugfurchen sollte etwa $\frac{2}{3}$ der Pflugtiefe betragen.

Es dürfen nur Bodenschichten – bei trockenem Wetter – tiefgepflügt werden, die **oberhalb des Grundwassers** liegen.

In **Mooren** sind die Binnengräben so tief auszubauen, daß der mittlere Grabenwasserstand des Sommers ≥ 20 cm unterhalb der Tiefpflugsohle liegt (Bild 4.9), wegen Berücksichtigung der Moorsackung vgl. Kap. 7.3 und 7.8.

Der **Zugkraftbedarf** ist weitgehend abhängig von der Bodenart und

Pflugtiefe. Er verlangt Motorstärken von mindestens 75 kW bis mehr als 600 kW (100–800 PS).

Nach dem Tiefpflügen muß allgemein die Oberfläche planiert werden; das Pflügen und Eggen der Krume sollte quer zur Tiefpflugrichtung bei trockenem Wetter erfolgen.

Eine Meliorationsdüngung ist auf Grund agrilkulturchemischer Bodenanalysen vorzusehen (Kap. 3.9.2).

4.4.3 Anwendung

Nach den jahrzehntelangen Erfahrungen der Landeskultur in Nordwestdeutschland ist der Tiefpflugeinsatz empfehlenswert in **Mooren** unter folgenden Bedingungen:

- Moormächtigkeit: im Mittel < 1,2 m, maximal \leq 1,5 m;
- holzarme Torfe **saurer** Bodenreaktion (hochmoorartig);
- ton-, schluff- und steinarmen Untergrund, bei Feinsand darf der Anteil an Abschlämbbarem (< 0,02 mm) 12 Gew.-% nicht überschreiten [4.4].
- Bei kalk- und stickstoffreichen Torfen (niedermoorartig) ist eine torffreie Krume durch Tiefpflug-Sanddeckkultur anzustreben [4.10].

Der Tiefpflugeinsatz bei **Mineralböden** ist nach den Versuchserfahrungen nur angebracht bei:

- Podsolen mit Ortstein, wenn der verfestigte B-Horizont hochgepflügt wird;
- Braunerden aus Sand, wenn durch eine vertiefte Krume (< 60 cm) die Durchwurzelung vertieft und die nutzbare Feldkapazität (der Bodenfeuchte) vergrößert wird;
- Parabraunerden mit schlechter Wasserdurchlässigkeit (im Tonverlagerungshorizont) und Neigung zur Verschlammung und Erosion;
- Hochflutlehm über Talsand.

4.4.4 Wühlpflug

Die in den Niederlanden seit dem 16. Jahrhundert entstandenen rd. 100 000 ha „Holländischen Fehnkulturen“ verlangen für den modernen Maschineneinsatz eine stärkere Sanddecke (bisher 10 cm bis 15 cm) und einen geringeren Humusgehalt (bisher 15 bis 30 Gew.-%). Seit 1962 wurde nach Vorversuchen ein Wühlpflug bzw. Mischpflug entwickelt mit einem hydraulisch regulierbarem Tiefgang bis 1,8 m. Er verstärkt die Sanddecke, vermindert damit den Humusgehalt bei weitgehender Erhaltung der nährstoffreichen Ackerkrume. Gegenüber dem Tiefkulturpflug (Kap. 4.4.1 bis 4.4.3) sollen die Arbeitskosten geringer sein, außerdem soll die Planierarbeit entfallen. Die seit 1966 gemessenen Mehrerträge bei Kartoffeln, Zuckerrüben und Getreide sind beachtlich [4.16].

4.5 Dränkosten

Die hier beschriebenen Dränmethoden unterscheiden sich nicht nur in ihren Anwendungsbereichen und ihrer Wirksamkeit, sondern vor allem auch in ihren Kosten je Flächeneinheit (DM/ha). Bei den Kostenrelationen verschiedener Dränmethoden für pseudovergleyte Böden der Eifel wurde folgende Lebensdauer unterstellt [4.14]:

- Rohrdränung 30 Jahre
- Kombinierte Dränung 15 bzw. 30 Jahre
- Tieflockern 10 bzw. 15 Jahre
- Tiefpflügen (Mineralböden) 15 bzw. 30 Jahre

Der Ansatz einer z. B. 10jährigen Lebensdauer besagt, daß diese Maßnahme bei dem Vergleich mit der Rohrdränung (= 30 Jahre) in der Folgezeit zweimal wiederholt werden muß (also insgesamt dreimal ausgeführt werden muß).

Kostenrelationen zeigen die große Wirtschaftlichkeit der Kombinierten-Dränung (Rohrlose-Dränung + Rohrdränung), sie betragen nur 40 bis 50% gegenüber den anderen Dränmethoden unter vergleichbaren Bedingungen (hier Pseudogley: Bodenart schluffiger Lehm bis Ton).

Bei **flachgründigen Mooren** über Sand – was in Nordwestdeutschland überwiegt – kann der Tiefpflügeinsatz eine systematische Rohrdränung ersetzen (Kap. 5.6). Das Tiefpflügen von flachgründigem Moor über Lehm (sL – T) ist nach negativen Erfahrungen und aus hydrologischen Gründen abzulehnen! (Kap. 5.4).

In Tabelle 4.1 sind für die verschiedenen Verfahren durchschnittliche Gesamtkosten zusammengestellt.

Tabelle 4.1 Durchschnittliche Gesamtkosten der Dränverfahren (1980)

Dränmethode	Kosten DM/ha	Bemerkung
Rohrdränung	1500,- bis 3000,-	Dränabstand weit eng
	300,- bis 500,-	ohne Rohrsammler
Kombinierte Dränung	1800,- bis 3500,-	Sammlerabstand weit eng
	400,- bis 600,- 500,-	Lockerung Meliorationsdüngung
Tieflockern	1200,- bis 2600,-	Pflugtiefe 1,0 m 2,2 m
	1400,- bis 2000,- 300,- bis 800,-	Meliorationskalkung/düngung Planierung

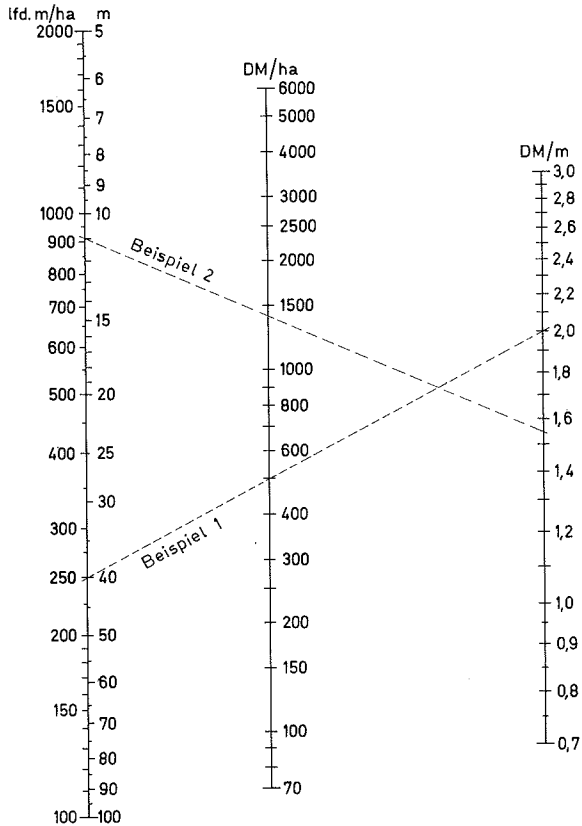


Bild 4.10 Nomogramm zum Bestimmen der Dränlängen und Dränkosten.

In einem **Nomogramm** (Bild 4.10) lassen sich die Beziehungen zwischen Dränabstand und Dränlänge je ha (linke Leiter) sowie zwischen den Kosten DM/m (rechte Leiter), Dränabstand und Kosten in DM/ha (mittlere Leiter) ablesen. Das Nomogramm gestattet eine rasche, meist ausreichend genaue graphische Berechnung der jeweilig gesuchten Größe.

Anwendungsbeispiele:

Beispiel 1:

gegeben: Dränabstand $a = 40$ m; Dränkosten 2 DM/m

- gesucht: 1. Dränlänge je ha:
linke Leiter = 250 lfd. m/ha
2. Dränkosten je ha:
durch Verbindung (mittels Lineal oder Faden)
der Werte auf rechter und linker Leiter im
Schnittpunkt der mittleren Leiter) = 500 DM/ha.

Beispiel 2:

gegeben: Dränabstand $a = 11$ m; Dränkosten = 1,55 DM/m

- gesucht: 1. Dränlänge je ha:
auf linker Leiter = 910 m (genau 909 m)
2. Kosten in DM/m:
durch Verbindung von linker und rechter Leiter
im Schnittpunkt der mittleren Leiter = 1410
DM ha (genau 1409 DM/ha).

der Rechengang kann analog in anderer Reihenfolge stattfinden.

Literatur

- [4.1] Baden, W.: „Deutsche Sandmischkulturen“ (Tiefpflugkulturen) nur unter entsprechenden Voraussetzungen! Wasser u. Boden **10**, 349–53. Hamburg 1958.
- [4.2] Belak, et. al.: Erfahrungen und Ergebnisse komplexer Meliorationsarbeiten in Westungarn. Mitt. Landw. Universität Keszthely, Nr. 11. (Orig. Ungarn. mit ausf. dt. Zusammenfassung) Keszthely 1973.
- [4.3] Brauer, E.; Kuntze, H.; Steinmetz, H.-J.: Verfahren zur Unterbodenmelioration. Arb. der DLG, Bd. 126. Frankfurt a. M. 1969.
- [4.4] Eggelsmann, R.: Durchlässigkeit als bodenkundlicher Grenzwert für Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **11**, S. 18–27. Berlin 1970.
- [4.5] Eylers, H.; Kuntze, H.: Entwässerung durch Dränung. 3. Aufl. AID-Informationsdienst, Heft-Nr. 124. Frankfurt a. M. 1966.
- [4.6] Feichtinger, F.: Die Maulwurfdränung – eine Form der Bodenmelioration. Der Förderungsdienst **8**, Heft 10. Wien 1960.
- [4.7] Feichtinger, F.; Schleifer, H.: Maulwurfdränversuch 1951–1960. Österr. Wasserwirtschaft **14**, S. 117–125. Wien 1962.
- [4.8] Gäbler, H.-J.: Die Gewässer in der Kulturlandschaft. Wasser und Boden, **31**, S. 4–7, Hamburg 1979.
- [4.9] Hartge, K. H. & Wohlrab, B. (Herausgeber): Physikalische Aspekte der Eingriffe in das Bodengefüge bei Meliorationsmaßnahmen. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. **11**. Göttingen 1970.
- [4.10] Kuntze, H.: Meliorationsbeispiel Sandmischkultur. Landbauforschung Völkenrode. Sonderh. **24**, S. 31–46. Braunschweig 1974.
- [4.11] Merkblatt zur kombinierten Dränung. Bearbeiter: Bayr. Landanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau/Bayr. Landesamt für Wasserwirtschaft. München 1976.

- [4.12] Ramsauer, B.: Die Maulwurfsdränung. Mitt. Bd.-Vers.-Inst. f. Kulturtechnik und Techn. Bodenkunde, Nr. 7. Petzenkirchen/NÖ. 1952.
- [4.13] Renger, M.: Bodenkundliche Kriterien für die Auswahl von Verfahren der Tiefenbearbeitung auf meliorationsbedürftigen Standorten. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 24, S. 1–14. Braunschweig 1974.
- [4.14] Rieser, A.: Bodenkundliche, wasserhaushaltliche und wirtschaftliche Probleme bei der Melioration vor allem pseudovergleyter Böden in der westl. Eifel. Diss. Bonn 1970.
- [4.15] Schulte-Karring, H.: Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Ahrweiler: R. Warlich 1970.
- [4.16] Wind, G. P.; Pot, R. A.: Bodenverbesserung in den holländischen Veenkolonien. Z. f. Kulturt. u. Flurber. 17, S. 193–206. Berlin 1976.
- [4.17] Toth, A.: Die Umweltwirkung der Dränung auf Waldböden in West-Ungarn. Bericht 2. Intern. Dräntagung „Dränung und Umweltschutz“. Bad Zwischenahn 11.–13. Nov. 1980.

5 Dränwirkung

Jede Dränung kann nur wirksam werden, wenn eine ausreichende und gesicherte Vorflut vorhanden ist. Wo die natürliche Vorflut fehlt, können ggf. Dränschöpfwerke angezeigt sein, wenn Fremdwasser fehlt (Kap. 7.1). Bei allen Überlegungen zur Vorflut ist die sachgerechte (laufende) Unterhaltung zu berücksichtigen (Kap. 10).

5.1 Rohrdränung

Dräne können nur freibewegliches (Grund- und Stau-) Wasser aufnehmen, das sich im nahezu spannungsfreien Porenraum des Bodens bewegt, d. h. der Boden muß ausreichend durchlässig sein ($k_f \geq 6$ cm/Tag gemäß Tab. 3.9).

Die Wasserbewegung im gedränten Boden ist unserem Augenschein verborgen. So konnte es nicht ausbleiben, daß früher zahlreiche Theorien über die Grundwasserströmung zum Drän aufgestellt wurden, die in manchen Publikationen noch immer zu finden sind. Zahlreiche Untersuchungen im In- und Ausland an Modellen und im Gelände haben in den letzten Jahrzehnten die Potentialströmung des Wassers zum Drän überzeugend nachgewiesen [5.4, 5.14].

5.1.1 Potentialströmung im Grundwasserboden

Die theoretisch-physikalischen Zusammenhänge über den Abflußverlauf im Boden sind bedeutungsvoll bei der Entwicklung von Formeln für die objektive Bemessung des Graben- oder Dränabstandes anstelle der früher üblichen empirischen Formeln.

Für jede **Grundwasserströmung** gilt bei laminarer, stationärer (= wirbelfreier, verlustloser) Strömung das Filtergesetz von DARCY. Unter Beachtung der Kontinuitätsbedingungen kann die Grundwasserströmung als **Potentialbewegung** nach der LAPLACE'schen Differentialgleichung berechnet werden. Es besteht formale Gleichheit der Grundwasserbewegung bei einheitlicher Bodendurchlässigkeit mit der wirbelfreien Strömung der Elektrizität, der stationären Wärmeleitung oder der stationären Diffusion. Auf theoretischem Wege gefundene Ergebnisse der Grundwasserströmung wurden durch zahlreiche Versuche an Boden- und Analogmodellen nachgeprüft.

Zwei **Modellversuche** (Sandkasten mit Frontplatte aus Glas) zeigen (Bild 5.1) unter stationären Bedingungen (Zufluß = Abfluß) durch an der Oberfläche zugegebene Farbe die radialen Stromlinien des Grundwassers von der

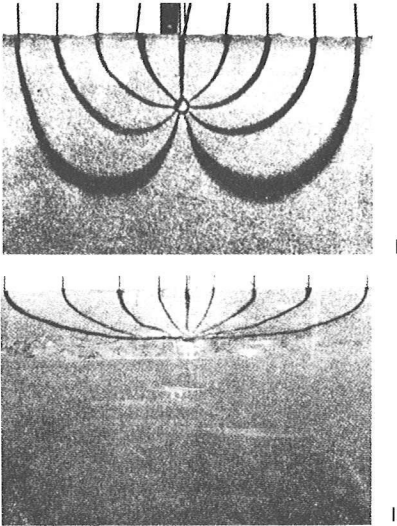


Bild 5.1 Wirkung einer Rohrdränung im Modellversuch eines Sandkastens, Strömungslinien angefärbt [5.14]; I = ohne undurchlässige Bodenschicht, II = undurchlässige Schicht in Dräntiefe.

Geländeoberfläche zum Drän [5.14]. Sie veranschaulichen den Einfluß einer undurchlässigen Bodenschicht unterhalb des Dräns (Bild 5.1 – unten) auf den Strömungsverlauf. Fehlt eine solche, so werden auch die unterhalb der Dräne liegenden Bodenschichten durchströmt (Bild 5.1 – oben).

Theoretisch berechnete Strömungslinien sind den im Modellversuch erhaltenen graphisch gegenübergestellt. Sie verlaufen nahezu kongruent (Bild 5.2).

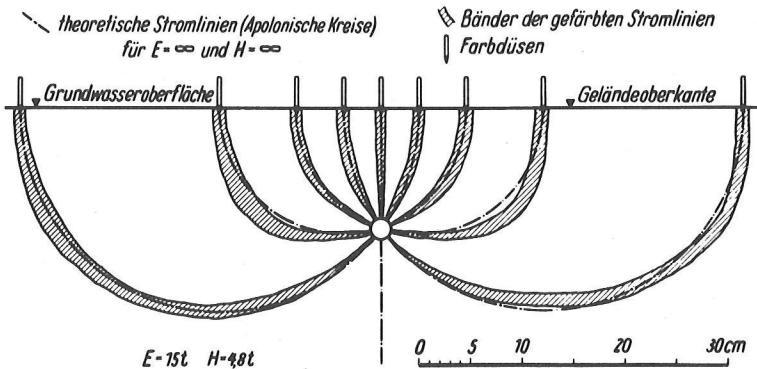


Bild 5.2 Vergleich zwischen berechneten und gefärbten Strömungslinien [5.4]

Bei **Felduntersuchungen** wurden in Piezometer aus PVC (hart), die in verschiedenen Entfernungen vom Drän und in unterschiedlichen Tiefen eingebaut wurden, Grundwasser-Druckhöhen zu verschiedenen Terminen mittels elektrischer Meßsonde (auf mm genau) gemessen. Die Auswertung erfolgt graphisch für jeden Meßtermin und Geländeschnitt gesondert. An die Fußpunkte der Piezometer werden die auf die Meßebebene umgerechneten mm-Druckhöhen des Grundwassers eingetragen und danach Linien gleicher Druckhöhe (Potentiallinien) entworfen, je nach Intensität des piezome-

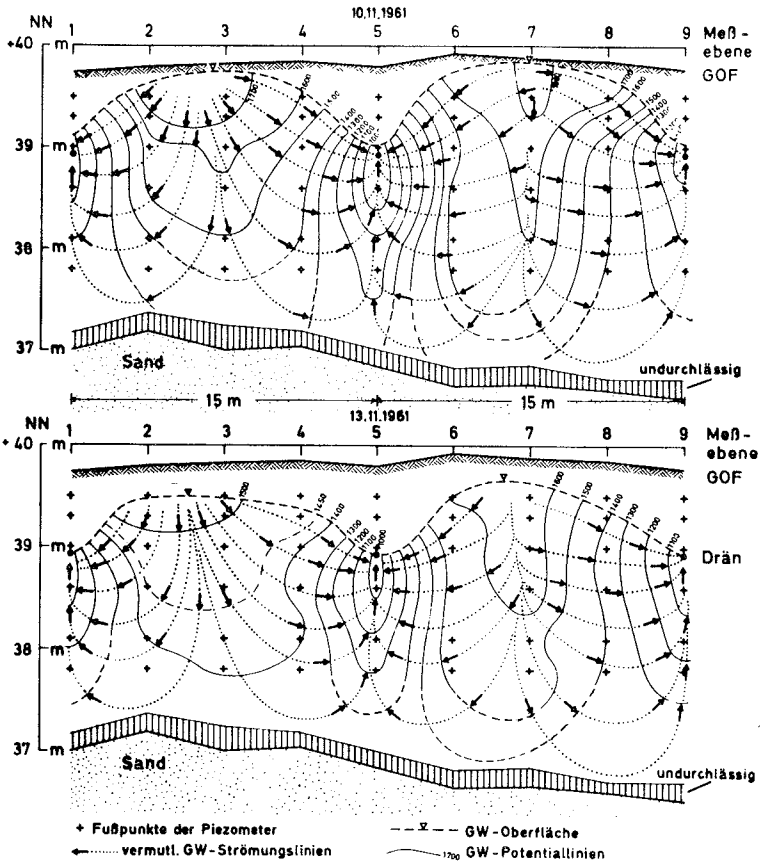


Bild 5.3 Grundwasser-Potentialien und Stromlinien nach Piezometer-Messungen zwischen Rohrdränen

trischen Druckgefälles im Abstand von 25, 50 oder 100 mm Druckhöhe (Potentialgradient). Der Potentialtheorie entsprechend werden die Stromlinien orthogonal zu den Potentiallinien durch Probieren eingezeichnet.

Für eine Tonrohrdränung sind die Ergebnisse nach einer sehr niederschlagsreichen Periode dargestellt (Bild 5.3). Die Strömungsnetze weisen eine große Ähnlichkeit zu Bild 5.1 und 5.2 auf. Die dreitägige Grundwasser-senkung von etwa 25 cm entspricht der Abflußleistung der Dränung. Es handelt sich also – und das ist an jeder Entwässerungsanlage der häufigste Fall – um eine instationäre Strömung (Abfluß > Zufluß). Die Abflußspende betrug $q = 0,54 \text{ l/s.ha}$.

Der **Einfluß der Tiefenlage einer undurchlässigen Bodenschicht** wird in Bild 5.4 veranschaulicht. Die Dränabstände sind berechnet (Kap. 6.3) unter

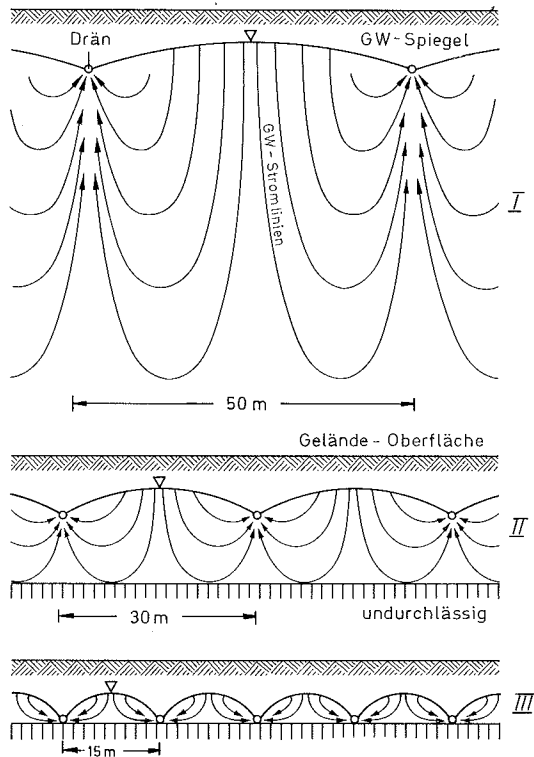


Bild 5.4 Einfluß der Tiefenlage einer undurchlässigen Bodenschicht auf den Dränabstand, I = undurchlässige Schicht fehlend, II = undurchlässige Schicht 1 m unterhalb Drän, III = undurchlässige Schicht in Dräntiefe

der Annahme einer stationären Strömung für eine einheitliche (hohe) Durchlässigkeit bei einer Druckhöhe des Grundwassers über Drän von 0,5 m und eine Abflußhöhe von 7 mm/d. Zur besseren Anschaulichkeit ist die Graphik zehnfach überhöht gezeichnet.

Im oberen Bildteil (I) liegen die Dräne in einem tiefgründig durchlässigen Boden, etwa in einem Auenboden über einer Kies-Sand-Terrasse mit hochanstehendem Grundwasser. Eine schwer- oder undurchlässige Bodenschicht fehlt oder liegt sehr tief (> 5 m unterhalb Drän). Hier genügt ein Dränabstand von $a = 50$ m. Im mittleren Bildteil (II) steht eine Grundwasser-Stausohle 1 m unterhalb der Dräne an. Für diesen Fall ergibt sich – unter sonst gleichen Bedingungen – ein Dränabstand von $a = 30$ m. Steht undurchlässiger Boden bereits in Dräntiefe an, wie es im unteren Bildteil (III) für einen Stauwasserboden dargestellt ist, so reduziert sich der Dränabstand auf $a = 15$ m.

5.1.2 Haftnässeboden

In haftnassen (schwer durchlässigen) Böden ($k_f < 6$ cm/Tag) können Rohrdräne nur wirken, wenn das überschüssige, sich stauende (Tag-) Wasser genügend rasch versickern kann. Dies ist nur möglich, wenn der Füllboden im Drängaben ausreichend durchlässig ist und bleibt (Bild 5.5), andererseits vor allem abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens oberhalb der Dräne (Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1 Dränwirksamkeit in Abhängigkeit von der Bodendurchlässigkeit oberhalb der Dränsohle

Bezeichnung	Durchlässigkeit oberhalb Dränsohle k_f -Wert in cm/d	Dränwirksamkeit
sehr gering	< 1	gering bis nicht ausreichend
gering	1 – 10	eingeschränkt
mittel	10 – 40	mäßig
gut	40 – 100	gut
sehr gut	> 100	sehr gut

In solchen Böden ist eine Rohrdränung ggf. in Kombination mit einer Rohrlosen-Dränung am Platze (Kap. 4.2), wenn nicht aus bodenkundlich-klimatischer Sicht eine Unterbodenmelioration infrage kommt (Kap. 4.3 und 4.4). Ist ein stau- oder haftnasser Boden bereits durch eine (wenig wirksame) Rohrdränung entwässert, so kann sie durch eine nachträgliche Rohrlosen-Dränung ergänzt werden (Kap. 4.2 und 5.2).

5.1.3 Wassereintritt in das Dränrohr

Bei sachgemäßer Dränarbeit – Einsatz der Dränmaschinen nur bei ausreichend abgetrocknetem Boden – kann erwartet werden, daß der im Drängra-

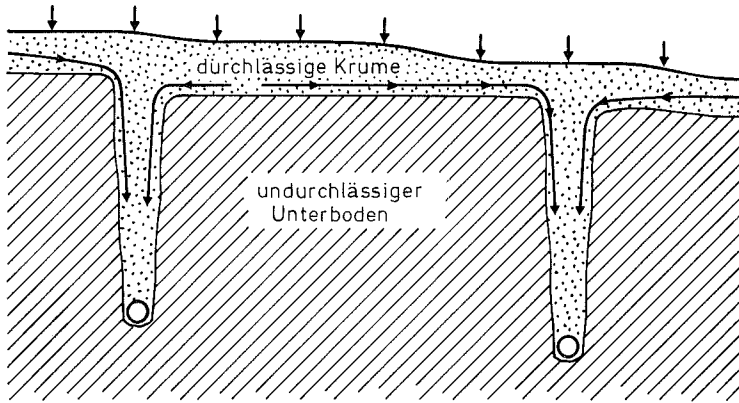


Bild 5.5 Wirkung einer Rohrdränung in undurchlässigem Boden [5.9]

ben befindliche Boden ausreichend durchlässig ist und bleibt, so daß er vom Wasser durchflossen werden kann. Das Dränrohr wird radial angeströmt. Je nach Bodendurchlässigkeit und Größe der Eintrittsöffnungen im Rohr ist der Eintrittswiderstand am Dränrohr größer oder geringer; er erhöht oder erniedrigt den Grundwasserspiegel am Drän (Bild 5.6).

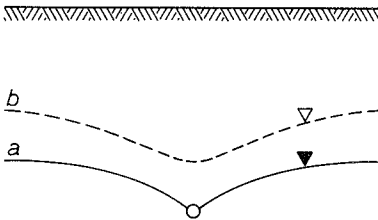


Bild 5.6 Grundwasserverlauf in Abhängigkeit vom Eintrittswiderstand am Dränrohr

Werden bei maschinell hergestellten Drängräben die Dränrohre mit nassem durchgefrästem Boden (in Einzelkorngefüge) verfüllt, der nach vielfältiger Erfahrung [5.8, 5.9, 5.21] nahezu wasserundurchlässig ist, so kann seitlich oder von oben zuströmendes Wasser nicht oder nur erschwert an die Dränrohre gelangen. Es staut sich vielmehr an den Drängrabenwänden (Bild 5.7). Dies gilt besonders für feinsandige und schluffreiche Böden, ferner für Moore mit stark zersetzten Torfen. Dränfilter helfen hier nur dann, wenn sie genügend voluminös sind. In einem solchen Fall sollte der nasse Füllboden ausreichend abtrocknen.

In früheren Jahrzehnten hat man, weil bei von Hand verlegten Tonrohren

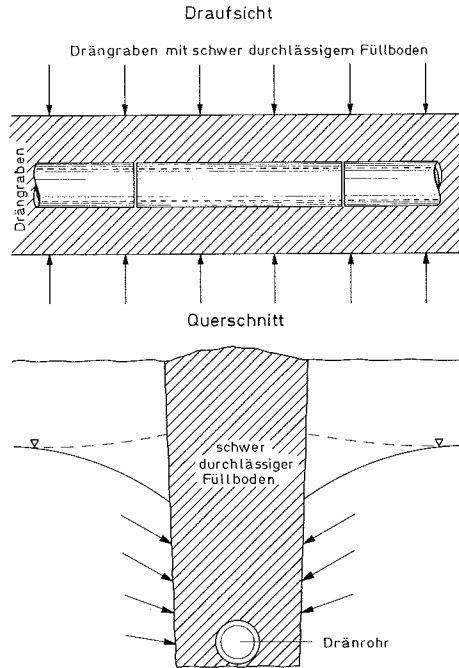


Bild 5.7 Dränwirkung bei schwer durchlässigem Füllboden im Rohrgraben [5.9]

Tabelle 5.2 Ergebnisse bodenkundlich-hydrologischer Feldmessungen an Säugern, verlegt mit Grabenfreier- und Fräsketten-Dränmaschine in schluffigem Ton (Knickmarsch)

Feldmessung	Dimension	Dränmethode	
		Grabenfrei	Fräskette
Grundwasserhöhe in Beetmitte über Drän	cm	63	76
GW-Druckhöhe am Drän	cm	14	26
Druckwiderstand	kg/cm ²	4 – 6	1 – 2
		mäßig	sehr gering
Scherwiderstand	kg/cm ²	0,5	0,2 – 0,1
		mäßig	sehr gering
Bodenfeuchte in der Krume	pF	3,0 – 2,5	2,2 – 1,4
		feucht	naß
Konsistenz der Krume	–	steif – plastisch	weich
Zustand der Krume	–	befriedigend	mäßig

der Wassereintritt in das Dränrohr kaum behindert wurde (auch der Grabenaushub behielt weitgehend sein Gefüge), die Strömungsverhältnisse am Dränrohr kaum beachtet. Mit dem verstärkten Einsatz von Dränmaschinen bei ungünstigen Boden- und Witterungsverhältnissen und der Anwendung immer neuer Dränrohre und -filter wurde das Problem akut und nunmehr vielfältig an Modellversuchen sowie im Felde untersucht [5.8, 5.9, 5.25].

Seit 1970 werden in der Bundesrepublik Deutschland zunehmend Grabenfreie-Dränmaschinen (Kap. 9.3.2) eingesetzt, die nach Bild 9.1 einen breiteren Einsatzbereich im Hinblick auf die Bodenfeuchte aufweisen als die Fräsketten-Dränmaschinen. Vergleichende bodenkundlich-hydrologische Felduntersuchungen im Winter 1977/78 in einer Knickmarsch aus schluffigen Ton, die im Jahre 1972 auf benachbarten Flächen zum gleichen Zeitpunkt mit Fräsketten- und Grabenfreier-Dränmaschinen gedränt wurden, ergaben die in Tafel 5.2 zusammengefaßten Ergebnisse.

Insgesamt hatte bei diesem schwierigen und empfindlichen Marschboden die grabenfrei verlegte Rohrdränung eine bessere Wirksamkeit als die mittels Fräsketten-Dränmaschine verlegte. Für eine endgültige Bewertung fehlen allerdings weitere Untersuchungsbefunde bei anderen Böden.

Über die Wirksamkeit der Grabenfreien-Dränmaschinen mit V- bzw. Y-förmigen Schwert gibt Bild 9.14 einen Hinweis.

Die Anströmung des Bodenwassers bei Ton- und PVC-Dränrohr zeigt Bild 5.8 in Abhängigkeit von der Lage der Eintrittsöffnungen.

Die Durchlässigkeit handelsüblicher PVC-Dränrohre mit gewellter Wandung als Funktion der Perforation veranschaulicht Bild 5.9; je größer die

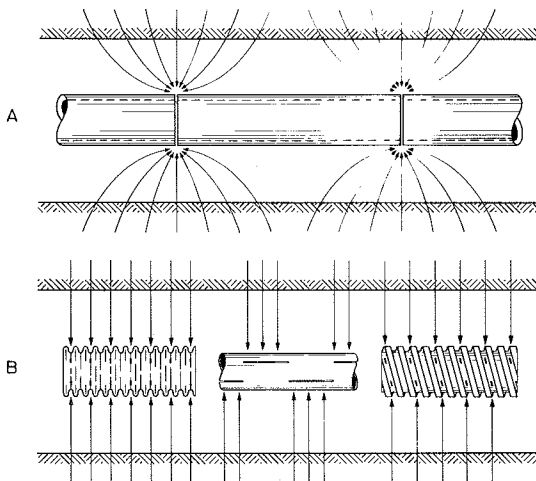


Bild 5.8 Wassereintritt in Tonrohr (= A) und PVC-Dränrohr (= B)

Gesamteintrittsöffnung desto besser ist die Durchlässigkeit. Nach Tabelle 8.4 weisen PVC-Dränrohre eine Perforation von 1,5% bei engen bis 3,2% bei weiten Schlitzten auf.

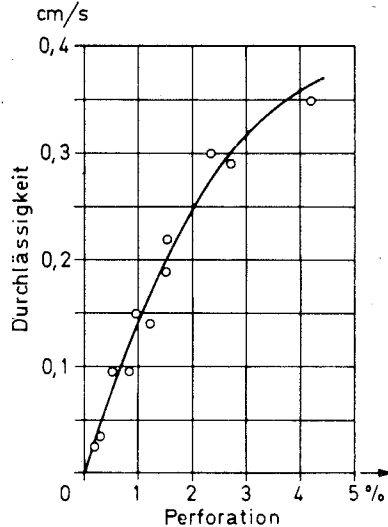


Bild 5.9 Durchlässigkeit gewellter PVC-Dränrohre als Funktion der Perforation [5.16]

Der am Dränrohr auftretende **Eintrittswiderstand** addiert sich aus dem Radialwiderstand (Bild 6.5), der in Rohrnähe am größten ist, und dem Rohrwiderstand. Dieser ist vor allem abhängig von der Anzahl der Schlitzreihen (bei PVC-Rohren) bzw. der Stoßfugen (bei Tonrohren). Der Eintrittswiderstand hängt ab von der Geometrie der Eintrittsöffnungen, er ist bei gleicher Gesamteintrittsfläche um so kleiner, je öfter diese unterteilt und je gleichmäßiger die Eintrittsöffnungen über die Rohrwand verteilt sind. Der Bodenbereich am Dränrohr wirkt etwa auf eine radiale Zone vom 2- bis 4fachen des Rohrradius. Tonrohre weisen theoretisch gegenüber geschlitzten oder gelochten PVC-Rohren gleichen Durchmessers einen wesentlich größeren Eintrittswiderstand auf [5.29].

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers nimmt in der Nähe der Eintrittsöffnungen zu, und zwar an deren Rändern stärker als in der Mitte. Dadurch kann es bei gefügelabilen Mineralböden zu (unerwünscht großen) **Einschlammungen** von feinsten Bodenteilchen in das Rohr kommen. Durch die (bei gefügestabilen Böden) rasch abklingende Primärverschlammung baut sich in Rohrnähe ein bodeneigener Filter auf (Bild 5.10 – links). Die bei gefügelabilen Böden (Feinsand, Schluff) anhaltende Bodenausschlammung (Sekundärverschlammung) kann für Rohrdräne gefährlich werden. Hier sind Dränfilter empfehlenswert (Kap. 8.3). Durch Bodenausschlammung wird der Eintrittswiderstand am Dränrohr merklich verringert [5.29].

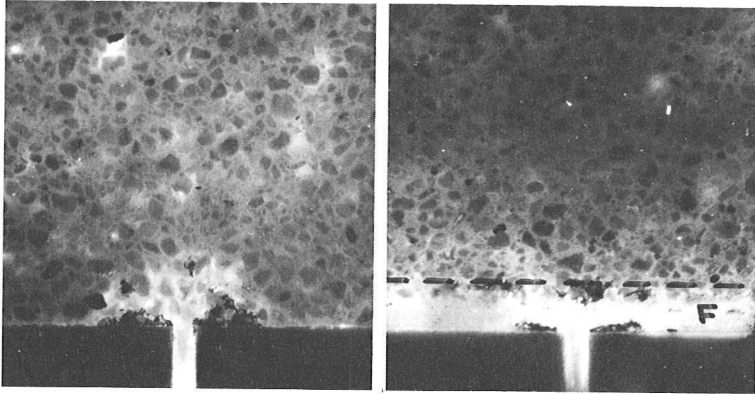


Bild 5.10 Bodenausschlämmung (hell) in Dränrohrnähe, 5fach vergrößert; links ohne, rechts mit Dränfilter [5.29]

Im Gegensatz zur **Ausschlämmung**, die neue **Bodenhohlräume** schafft, können durch **Bodeneinschlämmung** die Eintrittsöffnungen teilweise oder ganz blockiert werden, wodurch die Eintrittswiderstände am Dränrohr erhöht werden. Dies können Filter verhindern (Bild 5.10 – rechts).

Eine theoretisch-numerische Berechnung ergab bei Filterdicken größer als 5 mm keine nennenswert verminderten Eintrittswiderstände am Drän [5.22], dieser Wert sollte aber aus praktischen Erwägungen nicht unterschritten werden. Dränfilter zeigen sehr viel größere Porenvolumina als Mineralböden. Im Dränfilter vermindern sich Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft des Wassers [5.7], der Wasserfluß zum Rohr ist erleichtert, denn er konzentriert sich im Dränfilter nicht mehr wie z. B. beim nackten PVC-Dränrohr auf Eintrittsöffnungen von rd. 10 bis 20 cm²/lfdm, sondern auf über 1600 cm²/lfdm der Filteroberfläche (Bild 5.11). Es ist weiter bedeutsam der Grobporenanteil (> 50 µm) des Dränfilters. Er ist bei den üblichen Dränfiltern mehrfach größer als bei Mineralböden (Bild 8.13).

Im Dränkastenmodell entspricht beim teilgefüllten Dränrohr – was in der Natur überwiegend vorkommt – der freie Wasserspiegel im Dränfilter dem im Dränrohr, im grobporösen Dränfilter bildet sich ein gegenüber dem Boden recht unterschiedlicher Wasser-/Luftgehalt aus (Bild 5.12).

Dränfilter weisen im Vergleich zum Boden wesentlich höhere Durchlässigkeit auf (Kap. 2.3 und 8.3). Das Wasser im Dränfilter fließt daher mit erheblich geringerem Druckverlust zur Dränrohr-Eintrittsöffnung als beim Dränrohr ohne Filter. Bei voll fließendem Dränrohr erhöht ein Dränfilter den Abfluß [5.6]. Bei teilgefülltem Dränrohr wirkt ein Dränfilter wesentlich stärker als beim ungefilterten Dränrohr (Bild 5.13), das Wasser tritt je nach Füllungsgrad von unten oder seitlich ein. Beim ungefilterten Dränrohr konzentrieren

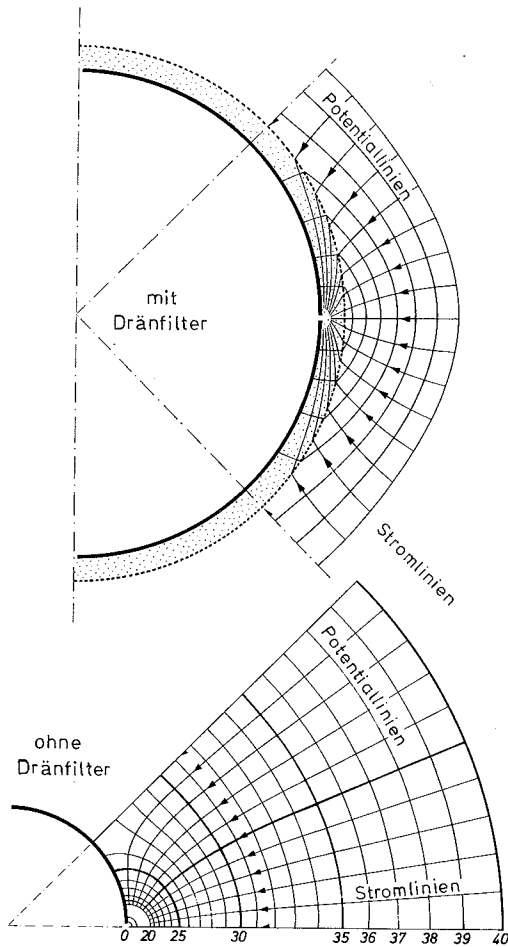


Bild 5.11 Potential- und Strömungslinien am volllaufenden Dränrohr mit und ohne Dränfilter [5.29]

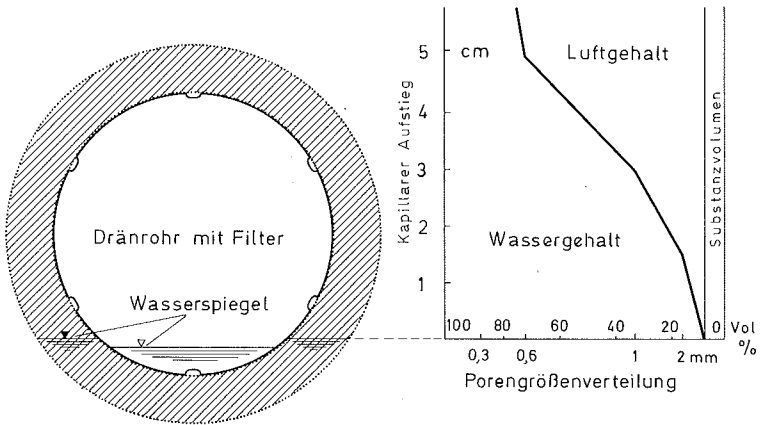


Bild 5.12 Wasser- und Luftgehalt eines Dränfilters aus Kokosfasern bei teilgefülltem Dränrohr [5.7]

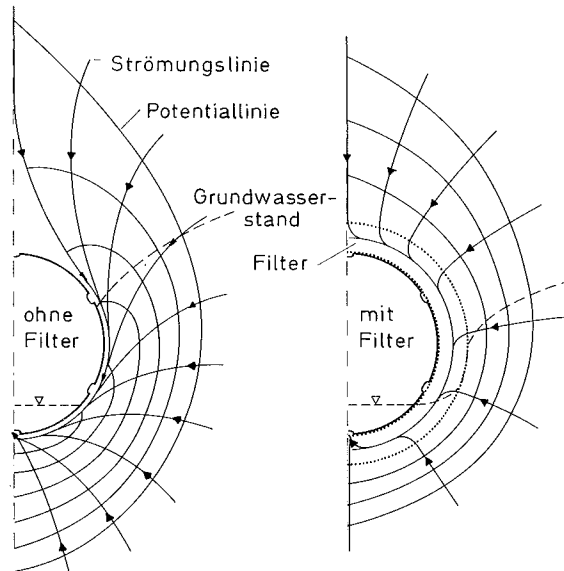


Bild 5.13 Potential- und Stromlinien am teilgefüllten Dränrohr ohne und mit Dränfilter [5.7]

sich die Stromlinien vor den weniger mit Wasser erfüllten Eintrittsöffnungen, wodurch ein zusätzlicher Druckverlust entsteht.

Zwei Kriterien sollten bei der Dränwirksamkeit von Dränfiltern beachtet werden:

- das Gesamtporenvolumen
- die Porenraumverteilung von Boden und Dränfilter.

Durch größere **Nennweiten** wird der Eintrittswiderstand unter sonst gleichen Bedingungen bei verdoppeltem Rohrdurchmesser nur um 5–15% verringert [5.20], was für die Praxis aus wirtschaftlichen Gründen bedeutungslos ist.

Feldmessungen in Piezometern haben an Rohrdränungen verschiedener Art eine deutliche Abnahme der Druckhöhen am Drän mit der Zunahme der Eintrittsöffnungen gezeigt (Bild 5.14). Die Piezometer-Methode ist geeignet, um in der Praxis unzulängliche Dränwirksamkeit auf Ursache und Wirkung zu klären [5.8; 5.9].

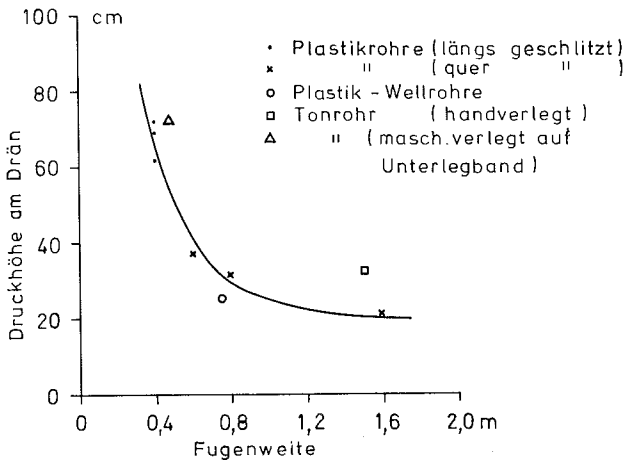


Bild 5.14 Im Felde gemessene Eintrittswiderstände an Saugern mit unterschiedlichen Fugenweiten [5.9]

Die zahlreichen neueren Untersuchungen über die Zuströmung des Wassers zum Drän und in das Dränrohr geben folgende **Hinweise für die Dränpraxis**:

- Dränmaschinen mit fräsendem Bodenaushub sollen nach DIN 1185 in nassen, gefügelabilen Boden nicht eingesetzt werden;

- Eintrittswiderstände sind beim PVC-Wellrohr < Tonrohr;
- die Weite der Eintrittsöffnungen sollen nach DIN 1187 betragen bei:

PVC-Wellrohre	\cong 0,8 mm
Tonrohren	\cong 1,5 mm;
- Bodenausschlämmung am Drän verringert, Bodeneinschlämmung in die Eintrittsöffnungen erhöht die Eintrittswiderstände;
- größere Rohrweiten verringern die Eintrittswiderstände nicht nennenswert;
- Dränfilter, besonders voluminöse, verringern den Eintrittswiderstand beträchtlich und erhöhen beim vollaufenden Dränrohr die Abflußleistung;
- im Dränfilter vermindert sich die Schleppkraft und damit verringert sich die Gefahr der Rohrverschlämmung.

5.2 Rohrlose-Dränung

Eine in haftnassen Böden sachgerecht, d. h. bei ausreichend trockenem Bodenzustand ausgeführte Rohrlose-Dränung lockert gleichzeitig den dichtlagernden Boden auf. Die nunmehr tiefer wurzelnden Pflanzen sorgen für eine weitere biologische **Auflöckerung** und ggf. Strukturierung des mechanischen Lockergefüges [5.3]. Der im Boden gebildete Erddrän verlagert sich allmählich höher (Bild 5.15). Die vom Scheitel des Erddrönes abbröckelnden Bodenteile fallen auf die Dränsohle, die sich dadurch erhöht, während im Scheitelbereich ein neuer jedoch zunehmend kleinerer Hohlraum entsteht [4.7].

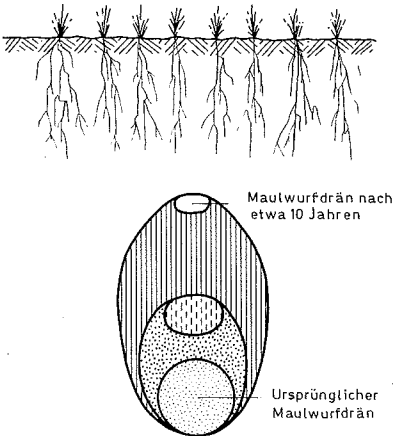


Bild 5.15 Veränderung des Rohrlosen-Dräns infolge Bodenverlagerung [4.6]

Bei Mineralböden kann eine **Wirkungsdauer** der Rohrlosen-Dräne von 5–10 Jahren erwartet werden, wenn der Tongehalt $> 30\%$ und das Verhältnis von Ton:Schluff $> 0,5$ ist. In der Tschechoslowakei wird die Lebensdauer Rohrloser-Dränung nach der Stabilität der Bodenaggregate mit Hilfe der trockenen und nassen Siebanalyse bestimmt [5.26].

In Moorböden gelten die Werte in Tabelle 5.3 in Abhängigkeit von relativer Lagerungsdichte.

Die an einer Rohrlosen-Dränung in Österreich durchgeführten Untersuchungen veranschaulichen die hydrologische **Wirksamkeit** dieser Dränmethode (Bild 5.16).

Neben Niederschlag und Abfluß wurde in dünnen Piezometern in Bodentiefen von 15, 35, 55 und 100 cm der Wasserdruck gemessen. Die in den

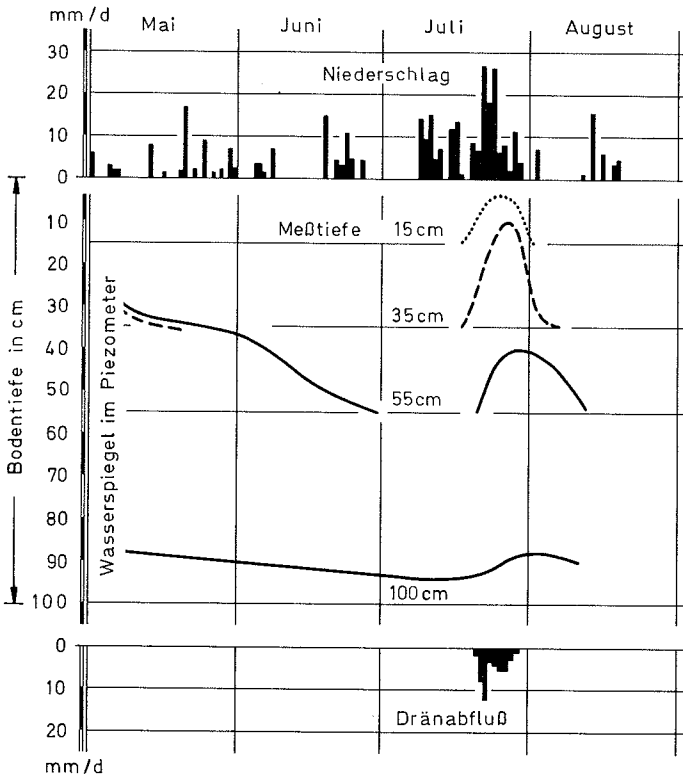


Bild 5.16 Niederschlag, Stauwasser und Dränabfluß bei Kombiniertes-Dränung [4.7]

Tabelle 5.3 Wirkungsdauer von Rohrlosen-Dränen im Moor [7.3]

Relative Lagerungs- dichte der Torfe	Beurteilung nach Vorentwässerung (im Gelände)	Wirkungsdauer Jahre
dicht	intensiv, langjährig	> 8
ziemlich dicht	gut – mäßig	5 – 8
ziemlich locker	mäßig – gering	3 – 5
locker	sehr gering	3 – 1
fast schwimmend	keine	< 1

Piezometern nach ergiebigen Sommerregen gemessenen Druckhöhen zeigen den typischen Stauwasseranteil, der sich (in dem sonst dicht gelagerten Boden) vorwiegend in Rissen bzw. Klüften zu den Erddränen abwärts bewegt und in diesen über den Sammler zum Vorfluter abfließt [4.7]. Die unterirdische **Erosion** durch die Dräne war bei dem Pseudogley (Bodenart: toniger Lehm) mit 30–50 kg/ha · a Boden vergleichsweise gering. Die früher hier bei einem Gefälle von 5% beträchtliche Oberflächenerosion konnte durch diese kombinierte Dränung weitgehend beseitigt werden. Auf den bayerischen Dränversuchsfeldern in Ottenhofen und Ellingen werden ähnliche Ergebnisse beobachtet; die Abflussspende war von den Abständen der Rohrdränung mit Grabenfilter (10 m bis 80 m) nur wenig unterschiedlich [5.23]. Gleichlautende Beobachtungen liegen aus Jugoslawien vor.

5.3 Tieflockern

Bei einem natürlich dichtgelagerten Boden, der im ausreichend trockenen Zustand sachgemäß gelockert wurde, lassen sich zwei Phasen unterscheiden: die mechanisch bedingte „Primärauflockerung“ und die nachfolgende biologisch verursachte „Sekundärauflockerung“. Dabei ist der vergrößerte Porenraum innerhalb der Lockerungsfurchen unterschiedlich, je nach Lage zum Schwert bzw. Lockerungsschar und in Abhängigkeit von Gerätetyp und Boden [4.15].

Das Wurzelwachstum ist im gelockerten Boden wesentlich stärker und tiefergehend als im verdichteten Naturprofil. Dadurch wird der Lockerungseffekt wirkungsvoll stabilisiert (Bild 5.17). Ein Lockerungseffekt hängt auch von der Körnung und den chemischen Bodeneigenschaften ab. Es soll vor allem das Grobporenvolumen P_0 vergrößert werden, gleichzeitig jedoch auch das Gesamtporenvolumen GPV. In tonreichen Böden werden durch Lockerung Quellungskräfte frei, welche die Wasseraufnahme erhöhen. Dadurch geht anfangs gewonnenes Volumen an Grobporen P_0 wieder verloren. Ein nachhaltiger Erfolg ergibt sich nur dann, wenn überschüssiges Wasser durch zusätzliche Rohrdränung (auf weitem Abstand) rasch abgeführt und andererseits durch ausreichend hohe Kalkung die Bodenkolloide so mit Basen abgesättigt werden, daß sie den Quellungsdruck aufnehmen. In schluffreichen Böden ist Lockerung kaum erfolgreich, oft sogar schädlich,

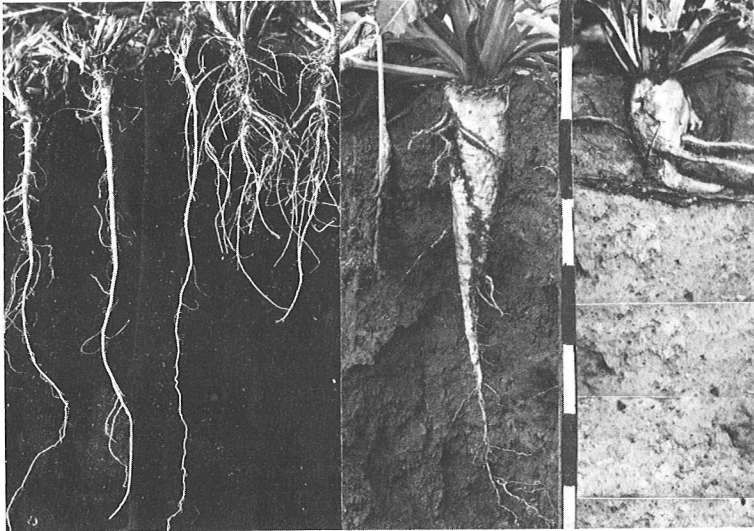


Bild 5.17 Wurzelwachstum von Rotklee in gelockertem (links) und normalem Pseudogley [4.15]

weil durch die mechanische Lockerung die geringe natürliche Porung zerstört würde. In Sandböden erscheint Tieflockern unangebracht (Tabelle 5.4).

Der Rückgang des überkapillaren Porenraumes kann langsam, aber auch stürmisch verlaufen. Das kann besonders nach hohen Niederschlägen und nachfolgendem falschen Bearbeiten oder Befahren zu unpassender Zeit bewirkt werden. Bei strukturschonender landwirtschaftlicher Bodenbewirtschaftung – wozu auch der vermehrte Anbau von Zwischenfrüchten und tiefwurzelnden Kulturpflanzen gehört – wird eine Haltbarkeit von 8–12 Jahren angegeben [4.15].

Tabelle 5.4 Zusammenhang zwischen Bodenart, Gefügeeigenschaften und zusätzlichem Dränbedarf beim Tieflockern [5.19]

Bodenart	Änderung der Gefügeeigenschaften	Zusätzlicher Dränbedarf
Sand	(+) $P_0 = (+)$ GPV	-
Lehm	+ $P_0 > +$ GPV	(-)
Ton	+ $P_0 < +$ GPV	+
Schluff	- $P_0 > -$ GPV	(+) ↓

Fossile Pseudogleye (besonders die Graulehme der Eifel), die heute gelockert werden, sollen sich aus bodengenetischer Sicht kaum wieder verdichten; im Gegensatz zu den Pseudogleyen, die sich noch in der Entwicklung befinden [5.17].

Im tiefglockerten Bodenprofil versickern die Niederschläge rasch und fließen auf der Sohle der Lockerungsfurchen talwärts, wo sie ggf. durch Rohr- oder Fangedräne aufgenommen werden müssen. Die Speicherfähigkeit des Bodens wird vergrößert, so daß die Kulturpflanzen – die überdies tiefer wurzeln – über mehr Bodenwasser als früher leichter verfügen können.

Tieflockerung und Rohrlose-Dränung (Maulwurfdränung) ähneln sich sehr, zumal von den Dränpflügen heute ebenfalls eine beträchtliche Lockerung gefordert und erreicht wird. Der Hauptunterschied liegt im Abstand der Lockerungsfurchen (0,75 m) und der Erddräne (2–3 m) und in der Entwässerungswirkung. Bei einem mittleren Jahresniederschlag $N > 500$ mm ist im allgemeinen eine zusätzliche Rohrdränung vonnöten, was vielfach auf eine Kombinierte-Dränung (= Rohrdränung + Rohrlose-Dränung) als bessere Lösung hindeutet.

5.4 Tiefpflügen

5.4.1 Moorböden

Tiefpflugkulturen wurden verbreitet bislang in flachgründigen Hoch- und Übergangsmooren und Anmooren Nordwestdeutschlands durchgeführt, inzwischen mehr als 180 000 ha [9.5]. Tiefpflugkulturen können in flachgründigen Mooren nur angelegt werden, wenn der Untergrund aus **Sand** besteht. Zum Unterschied von den horizontal besandeten „Holländischen Fehnkulturen“ werden sie als „Deutsche Sandmischkulturen“ bezeichnet.

Die schräg geschichteten (Bild 4.8 und 4.9) Tiefpflug-Sandmischkulturen weisen folgende Vorteile gegenüber anderen Moorkulturtypen auf [4.1, 4.10, 5.1, 5.10]:

- Dränwirkung in den Sandbalken;
- Bodenfeuchtespeicherung in den Torfbalken;
- tiefe Durchwurzelung in den Sandbalken;
- mikroklimatische Vorzüge (verlängerte Vegetationsperiode und verminderte Nachtfrostgefahr);
- vielseitige Nutzungsmöglichkeiten (Kultur- und Fruchtarten);
- gute Wasser- und Luftdurchlässigkeit.

Die ältesten Tiefpflug-Sandmischkulturen wurden 1936/38 angelegt (in der Domäne Königsmoor bei Tostedt/Han.). Diese wie auch viele etwas jüngere im Emsland haben sich zu vorteilhaften Kulturböden entwickelt. Ihr Humusgehalt in der Krume ähnelt denen von jahrhundertealten Eschböden [4.10]. Sachgemäß angelegte Tiefpflug-Sandmischkulturen in Moor und Anmoor

über Sand können daher als „stabilisierter“ Moorkulturtyp mit langer Lebensdauer bezeichnet werden.

Hinsichtlich der hydrologischen Wirksamkeit können bei den Tiefpflugkulturen in Nordwestdeutschland [5.10] – je nach der Lage zum Grundwasser und der Beschaffenheit des mineralischen Untergrundes – die folgenden Typen unterschieden werden (Bild 5.18).

5.4.1.1 Grundwassertyp

Tiefpflugkultur aus geringmächtigem Hochmoor über tiefgründigem Sand mit normalem Volumenverhältnis von Torf: Sand im Tiefpflugbereich (2:1 bis 1:2); je nach Tiefgründigkeit und Durchlässigkeit des Sandes genügen für die Binnenentwässerung Gräben mit Abständen von 80–250 m (Bild 5.18 – oben).

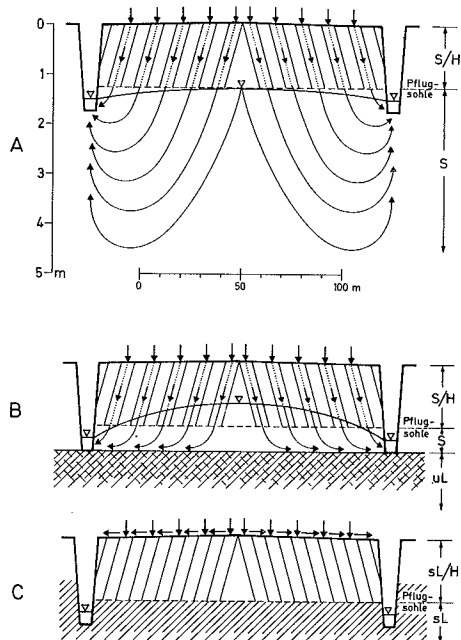


Bild 5.18 Grundwasser-Strömungslinien in Tiefpflugkulturen [5.10], A = Grundwassertyp, B = Stauwassertyp, C = Haftwassertyp

5.4.1.2 Stauwassertyp

Eine Tiefpflugkultur als „Stauwassertyp“ ist (Bild 5.18 – Mitte) schematisch dargestellt. Hier tritt ein schluffiger (Geschiebe-) Lehm in Höhe der Grabensohle als wasserstauende Schicht auf. Darüber stand (Deck-) Sand und flachgründiges Hochmoor, die tiefgepflügt wurden.

Die hydrologische Wirksamkeit einer solchen Tiefpflugkultur ist abhängig von der Tiefenlage der Stauwassersohle. Als Binnenentwässerung ist allgemein eine zusätzliche Rohrdränung erforderlich.

5.4.1.3 Haftwassertyp

Wird eine Tiefpflugkultur aus **Moor** über **Lehm** (Ton bis lehm. Sand) angelegt, so entsteht (Bild 5.18 – unten) ein „Haftwassertyp“, weil solche Böden außerordentlich **schlecht durchlässig** sind. Es entfallen die dränenden **Sandbalken**. Solche Tiefpflugkulturen haben eine hohe Wasserbindungsintensität und neigen daher zu Haftnässe und zur Oberflächenvernässung.

Da selbst eine sehr eng verlegte Rohrdränung hier kaum genügend wirkt, **sollten flachgründige Moore über Lehm nicht tiefgepflügt werden.**

Es wird hier hervorgehoben, daß Tiefpflügen im Niedermoor bisher wenig erfolgreich war. Neuere Versuche dazu deuten an, daß Tiefpflugsanddeckkulturen dann zur Ackernutzung geeignet sind, wenn

- die Krume torffrei und
- die Tiefpflugkultur ohne Grundwassereinfluß bleiben.

5.4.2 Mineralböden

Mineralböden wurden versuchsmäßig tiefgepflügt. Die dabei gewonnenen Ergebnisse sind – je nach Boden, Witterungsverlauf u. a. – nicht immer eindeutig [4.9]. Bei Parabraunerden aus Löß mit Ackererträgen > 50 dz/ha GW ist ein geringer, nachhaltiger Mehrertrag durch Tiefpflügen zweifelhaft; wohl kann die Bodenhydrologie verbessert und die Erosionsgefahr vermindert werden [4.13].

Eine erfolgreiche Tiefpflugkultur aus Auenlehm über stark kalkhaltigem Sand (Pflugtiefe 150 cm) oberhalb (abgesenkten) Grundwasserspiegels wird im Hessischen Ried beschrieben [5.24]. Durch die Gesamtmelioration (Entwässerung + Tiefpflügen) wurde aus minderwertigen Wiesen ertragreiches Ackerland [5.24]. Versuche mit Tiefpflügen in Marschböden sind mehrfach fehlgeschlagen [7.12].

5.5 Bodennutzung

In früheren Jahrzehnten sollte eine Dränung vorwiegend die Ernte erhöhen, weshalb besonders die Erträge ermittelt wurden. Bei vielen Dränversuchen konnten jedoch die oft auf kleinstem Raum wechselnden Bodenverhältnisse nicht ausreichend berücksichtigt werden [5.2], weil die heutige Versuchstechnik und die variationsstatistische Fehlerrechnung noch nicht bekannt waren. Selbst moderne Dränversuchsfelder (wie z. B. der Infelder Versuch) konnten nach der Varianzanalyse nicht ausgewertet werden [5.12].

Heute steht nach Dränmaßnahmen die erleichterte oder die oft überhaupt erst mögliche mechanisierte Bodennutzung im Vordergrund (Kap. 1.6), Näheres in [5.30].

Mehrerträge interessieren allenfalls zwischen unbehandelten und meliorierten Feldern bzw. die nach einer Dränung mögliche Ackernutzung an Stelle von Grünland. Diese Ertragsunterschiede sind allgemein so stark, daß sie variationsstatistisch hoch gesichert sind..

5.5.1 Rohrdränung

In der älteren Literatur werden für gedränte Acker- und Weideflächen gegenüber ungedränt Mehrererträge von 20–120% angegeben, im Mittel 30–55%. Für das Dränversuchsfeld Infeld (Seebrackmarsch, Bodenart: schwach feinsandiger, schluffiger Ton) sind statistisch hoch gesicherte Mehrererträge als Folge der Dränung in einem zehnjährigen Zeitraum von rd. 50% an (Steigerung von 34 dt/ha GW auf 49 dt/ha) ermittelt [5.12]. Für einen Pseudogley (Bodenart: schluffiger Lehm) in Niederösterreich werden Mehrererträge von über 100% an gegenüber ungedränt genannt [5.27]. Bei langjährigen Ertragsmessungen ergaben sich in der Marsch in nassen Jahren durch Dränung Mehrererträge von 40%, in trockenen Jahren waren die Differenzen dagegen gering [7.12]. In der sehr humiden Region Großbritanniens werden für gedränte Flächen um 50% höhere und sicherere Erträge gegenüber ungedränten mitgeteilt.

Im Durchschnitt kann mit Mehrererträgen von 5–7 dt/ha Getreide bzw. 60 dt/ha Kartoffeln oder rd. 100 dt/ha Zucker-Futtermülsen gerechnet werden, was bei einer nachhaltigen Dränwirkung (> 15 Jahre) die Wirtschaftlichkeit sichert.

5.5.2 Rohrlose-Dränung

Für die Rohrlose-Dränung werden ebenfalls Mehrererträge von 20 bis weit über 100% genannt; im 5jährigen Vergleich auf 4 Standorten von 15–39% an [4.7, 5.23, 5.27, 7.24].

Es ist sicher, daß die Kosten-Nutzen-Analyse hierfür weit günstiger ist als bei der Rohrdränung, da die Baukosten der Rohrlosen-Dränung wesentlich geringer sind als die der Rohrdränung (Tabelle 4.1).

5.5.3 Tieflockern

Für tiefgelockerte Pseudogleye (Graulehm) werden Mehrererträge von 4 bis 37% im Durchschnitt 10% mitgeteilt. Erhebliche Mindererträge können jedoch bei unsachgemäßer nachfolgender Bewirtschaftung (Bearbeitung) oder bei nicht ausreichender oder fehlender Dränung auftreten [4.15].

5.5.4 Tiefpflügen

Vergleicht man die zahlreichen Ertragsdaten für Tiefpflug-Sandmischkulturen mit denen anderer Moorkulturtypen [5.1], so ergeben sich bei der Ackernutzung Mehrerträge für die:

Tiefpflug-Sandmischkultur von 30–100% (Hochmoor)

Tiefpflug-Sanddeckkultur von 30–80% (Niedermoor)

bei Grünland wird vornehmlich die Ertragsqualität verbessert, daneben die Weidedauer verlängert, die Trittfestigkeit erhöht.

Für Tiefpflugkulturen bei Parabraunerde aus Löß werden Mehrerträge bis +25%, jedoch auch Mindererträge genannt, bei Braunerde-Podsol, Gley-Podsol bis Gley aus Sand werden für 12 Feldversuche Mehrerträge von 5 bis 28%, in trockenen Jahren von über 50% ermittelt [5.13]. Erfolgreich war auch eine Tiefpflugkultur mit Lehm über Sand, wodurch aus minderwertigem Grünland ertragreiches Ackerland geschaffen wurde.

5.6 Dränverockerung

5.6.1 Wie kommt es zur Verockerung?

Man unterscheidet bei der Dränverockerung zwischen chemischer und biologischer Oxidation des zweiwertigen Eisens (Fe^{**}).

Bei der chemischen Oxidation kann man von drei Stadien sprechen [2.8]:

- Oxidation zweiwertiger (reduzierter) Eisenverbindungen;
- Ausfällung des unlöslichen kolloidalen Eisenhydroxid (Ocker);
- Alterung und Dehydratation unter Ausbildung stabiler Verbindung (Eisenoxide).

Findet die Oxidation bei hohem pH oder im Boden gar bei freiem Kalk statt, so erfolgen Fällung und Festlegung am Ort der Reaktion, vor allem bei langsamer Wasserbewegung. Das stabile Fe-III-Oxid wird als feine Häutchen, Hüllen, Krusten oder gar Konkretionen fester Bodenbestandteil. Je mehr Sauerstoff und freier Kalk ständig vorhanden und je höher die Temperaturen sind, desto intensiver ist die chemische Oxidation.

Die biologische Oxidation erfolgt mit Hilfe von Eisenbakterien. Bisher sind durch mikrobiologische Untersuchungen 17 Gattungen mit insgesamt 42 Arten von Eisenorganismen bestimmt worden. Sie umfassen ein weites ökologisches Spektrum mit sehr unterschiedlichen Lebensbereichen. Im Ocker von Dränschlamm wurden vorwiegend die fadenförmigen Eisenbakterien *Leptothrix ochracea* und *Gallionella ferruginea* gefunden. Deren Standortansprüche sind: Gelöstes zweiwertiges Eisen und Kohlensäure, pH-Bereich von 5,4 bis 7,0, Sauerstoff in Luft oder Wasser, optimale Temperaturspanne +1 bis +5° C; daher tritt biologische Verockerung vorwiegend im Frühjahr und Herbst auf, während in den Sommermonaten häufig die chemische Verockerung vorherrscht. Vielfach treten chemische und biologische Verockerung im Dränrohr gemeinsam, neben- und nacheinander auf.

Es scheint sich zu bestätigen, daß eine überwiegend bodenbedingte Verockerung nach einem Maximum im 3. bis 5. Jahr erheblich zurückgeht, daß aber bei einer vorwiegend durch Grundwasser verursachten Dränverockerung mit einem ständigen Ockeranfall gerechnet werden muß, wenn auch in wechselnder Intensität.

5.6.2 Haftung von Eisenocker

Die Wirksamkeit einer Dränung kann durch Verockern der Rohre sehr beeinträchtigt werden. Es hat sich in der Praxis verschiedentlich gezeigt, daß sowohl Dränrohre aus Ton als solche aus Kunststoff. In Experimenten zeigten Kunststoffe eine etwas höhere **Haftung** gegenüber Eisenocker-Suspensionen als gebrannter Ziegelton, jedoch sind die Unterschiede zwischen den Kunststoffen größer als zum Ziegelton [2.8]. Begleit- und Hilfsstoffe (wie Emulgatoren, Stabilisatoren, Gleitmittel, Katalysatoren) einerseits und Einflüssen der durch die Extrusion der Rohre variablen chemischen Beschaffenheit der Rohroberfläche andererseits sind bedeutungsvoll.

Adhäsions-Messungen deuten an, daß die Verockerung vorwiegend als **physikalisches** Problem angesehen werden muß. Der Grad der Verockerung scheint besonders von den Grenzflächen-Spannungen abhängig sein, was im Hinblick auf die Eintrittsöffnungen zu beachten ist.

5.6.3 Verockerung und Dränfilter

Entgegen der z. T. noch weit verbreiteten Meinung muß gesagt werden, daß auch Dränfilter, besonders synthetische, von Eisenocker verklebt und dadurch unwirksam werden können. Daher sollte man bei Verockerungsgefahr entweder auf Dränfilter verzichten, oder – wenn aus bodenkundlicher Sicht eine Umfilterung notwendig ist – sollten abbaufähige organische Filterstoffe gewählt werden, die durch Abbau ihre Filterfunktion regenerieren können (z. B. Torf, Stroh u. dgl.).

Ein fünfjähriger Dränfeldversuch mit verschiedenen Filterstoffen hat gezeigt, daß Sägespäne als Filter befähigt sind, die in den ersten Jahren der Dränung oft besonders heftig auftretende Verockerung praktisch ausschalten [5.11]. Dieser Zeitraum reicht bei Böden ohne Fremdwasserandrang vielfach aus, da eine bodenbedingte Verockerung in dieser Zeit abklingt. Dränfilter aus Sägespänen (hier: 90% Fichten-, 10% Laubholz) verringerten den Eintrittswiderstand am Drän, während bei anderen Dränfiltern (Glasfaser, Duo) die durch Ocker verklebten Rohrschlitze den Eintrittswiderstand erhöhten (Bild 5.19).

Ähnlich wie beim „Ant-oc“-Vollfilterrohr (Kap. 8.4) haben die Gerbstoffe der Sägespäne eine Verockerung durch Komplexbildung und/oder Reduktion verhindert. Die Dränwässer waren in der mehrtägigen Anfangsphase

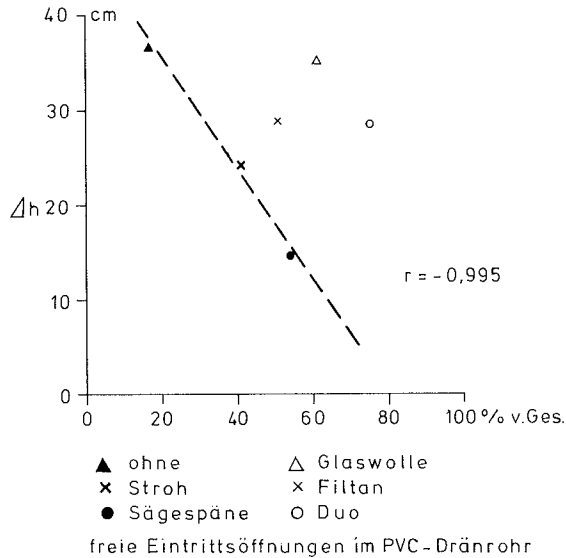


Bild 5.19 Korrelation Eintrittswiderstand am Drän (Δh) zu freien Eintrittsöffnungen im PVC-Dränrohr [5.11]

blau-schwarz (tintig) gefärbt, sie hatten hohen Kaliumpermanganatverbrauch und erhöhte Phenolgehalte, was allerdings auch durch Moor und Anmoor stark beeinflusst war. Die Biozönose des Gewässers war damit weniger gefährdet als beim Ant-oc Rohr, dessen Einsatz nach dem Wasserhaushaltsgesetz erlaubnispflichtig ist. Auch kupferhaltige Dränfilter können – vor allem in den ersten Jahren – die Verockerung günstig beeinflussen [2.8].

5.6.4 Dränverockerung und Selbstreinigungskraft

Jüngste Vergleiche über die Schleppspannung des Wassers im Dränrohr mit der Haftspannung von Eisenocker haben gezeigt, daß die Ockerhaftung vielfach größer ist als die Selbstreinigungskraft. Dies gilt vor allem für Sauger- und kleine Sammlerrohre bei Teilfüllung und bei Gefälle $< 5\%$. Mit einer nur teilweisen Selbstreinigung unter diesen Bedingungen kann danach nicht gerechnet werden, was die Praxis vielfach bewiesen hat.

In verockerungsgefährdeten Böden sind Spülmaßnahmen einzuplanen; sie müssen jedoch früh genug (d. h. oft schon im 1. Jahr) und dann wiederholt vorgenommen werden.

5.6.5 Derzeitiger Stand der Erkenntnisse

Diese sind [2.8]:

- Dränverockerung ist von den Boden- **und** Grundwasserhältnissen abhängig, die auf engem Raum stark variieren können.
- Verockerungsgefahr wird oft überbewertet, sie besteht nur für etwa 5–10% der dränbedürftigen Böden.
- Dränverockerung ist weniger ein chemisches als ein physikalisches Problem, sie scheint besonders von den Grenzflächen-Spannungen abhängig zu sein. Es verockern Ton- und PVC-Dränrohre.
- Verockerungsgefahr für Dräne kann durch organische (gerbstoffhaltige) Filterstoffe vermieden bzw. behindert werden, jedoch ist die Biozönose des Gewässers bei zu geringer Wasserführung gefährdet.
- Bei Gefälle $J < 5\%$ reicht die Schleppkraft des Dränabflusses für die Selbstreinigung nicht aus.
- Kalkung des Drängraben-Füllbodens kann zwar – vorübergehend – Eisen dort festlegen. Eine spätere Verockerung bleibt latent. Es besteht die Gefahr des Bodengefügeverlustes durch die Fe-Anreicherung in den Poren.
- Dränausmündungen „unter Wasser“ haben sich nicht bewährt. Sie fördern die Dränversandung und können die Verockerung „auf Dauer“ nicht verhindern.
- Einzige wirksame Maßnahme ist die Dränspülung. Sie muß früh genug (ab 1. Jahr) und wiederholt erfolgen. Sie ist zeit-, arbeits- und kostenaufwendig. In verockerungsgefährdeten Gebieten sind daher Einzeldräne vorzusehen (Kap. 7.2.6 und 10.4.3).

5.7 Dränversuchswesen

Das Dränversuchswesen soll für den Praktiker – kurzgerafft – dargestellt werden. Dies erschien wichtig, weil sich Neuentwicklungen häufig genug aus der Praxis des Dränunternehmers oder der Industrie ergeben haben. In der Vergangenheit konnte oft erst nach Jahren erkannt werden, ob sich diese oder jene Neuerung bewährt oder ob sie versagt hat. Ebenso oft mußte man jedoch auch hier oder dort die Antwort schuldig bleiben, weil die örtlichen Verhältnisse einer Dränfläche – Topographie, Boden, Wasser, Dränarbeit, Dränmaterial, landwirtschaftliche Nutzung – stark wechselten und damit z. B. die material- oder arbeitsbedingte Dränwirkung völlig überlagerten.

Neue Dränmaterialien und Arbeitsmethoden sollten daher normalerweise **vor** dem praktischen Einsatz sorgfältig geprüft werden. Dies kann auf dreierlei Art geschehen:

5.7.1 Labortest

Neues Dränmaterial (Rohr, Filter o. dgl.) sollte zunächst stets im Laboratorium chemisch und physikalisch untersucht werden. Für Dränrohre sind die

Prüfverfahren in DIN 1180 (für Tonrohre) und DIN 1187 (für Dränrohre aus PVC – hart) festgelegt.

Prüfmethoden für Filtermaterialien sind von verschiedenen kulturtechnischen Instituten entwickelt worden. Standardverfahren werden angestrebt. Sie sollten sich erstrecken auf:

- Zusammendrückbarkeit;
- Beständigkeit (chem.-phys. Analyse);
- Porosität (Porenraumgliederung);
- Gewicht;
- Volumen;
- Durchlässigkeit (ohne und mit Belastung).

Ferner sollten geprüft werden:

- das hydraulische Verhalten,
- die Filterfähigkeit (im und mit Boden auf längere Zeit).

Die beiden letztgenannten Forderungen können nur im Dränkastenversuch geprüft werden.

5.7.2 Dränrinne

Die hydraulischen Parameter (Gefälle, Nennweite, Rauigkeit, Eingeschlammtes, Wassermenge) einer Dränrohrleitung werden in mind. 10 m langen kastenförmigen Dränrinnen geprüft.

5.7.3 Dränkasten

Im Dränkasten wird der gegenseitige Zusammenhang zwischen Wasser-Boden-(Filter-)-Rohr geprüft. Bevorzugt wird die Wasseraufnahmefähigkeit verschiedener Dränrohrarten, Fugen- bzw. Schlitzweiten, Bodenarten (ggf. bei verschiedener Art der Einbringung, z. B. trocken, feucht oder naß) sowie mit oder ohne unterschiedlichen Dränfiltern getestet. Dränkastenversuche können als Kurzzeittest (einige Stunden bis einige Tage) oder als Langzeittest (mehrere Monate mit abflußlosen Unterbrechungen) durchgeführt werden [5.18; 5.28].

Der Dränkasten kommt den natürlichen Verhältnissen im Gelände oder Drängraben recht nahe. Vorteilhaft ist es, daß darin viele Faktoren (z. B. Boden, Druckhöhe, Zufluß, Abfluß) konstant gehalten werden können und nur der Prüffaktor z. B. Dränrohr oder -filter variiert werden. Allerdings wurden die meisten Versuche mit sehr hoch durchlässigen Böden (Sand) angestellt, die in der Natur oft keiner Rohrdränung bedürfen.

5.7.4 Dränfeldversuch

Endgültige Aussagen über verschiedene Dränmethoden oder -materialien können nur im Feldversuch erlangt werden. Dränversuche im Feld erstrek-

ken sich stets über mehrere Jahre, besser sogar über ein bis zwei Jahrzehnte. Über Art und Umfang der Anlage sowie Durchführung von Dränversuchsfeldern siehe [5.2, 5.5, 5.9, 5.12, 5.25]. Die betreffenden Felder müssen vorher eingehend bodenkundlich und geohydrogisch kartiert werden.

Nur sorgfältig angelegte und betreute Dränversuchsfelder lassen zuverlässige Ergebnisse und repräsentative Erkenntnisse erwarten. Im Feldversuch müssen die Umweltbedingungen bei den Versuchsgliedern gleichartig sein; es sind dies: Boden, Grundwasser, landwirtschaftliche Nutzung. Varianten können sein: Dränabstand, -tiefe und -gefälle, -länge, -herstellung, Rohrart, Filterart. Einzeldräne in mehrfacher Wiederholung erleichtern die Anlage, Betreuung und Auswertung. Wichtig ist vor allem die meßtechnische Ausstattung mit kontinuierlicher Datenerfassung (Abfluß, Grundwasser, Niederschlag, Bodenfeuchte u. a.) [1.12 Vol. III].

Die Aufzählung der verschiedenen Art von Dränversuchen deuten zugleich an, daß für die verschiedenen Versuchsverfahren der **Aufwand** an Kosten und Zeit sehr unterschiedlich ist; er steigt in der Reihenfolge Labortest < Kastenversuch < Feldversuch.

Literatur

- [5.1] Baden, W.; Eggelsmann, R. Janner, A.: Wachstumsvoraussetzungen und Leistung verschiedener Moorkulturtypen Nordwestdeutschlands. Mitt. Arb. Moor-Versuchsstation – 8. Ber. S. 54–98. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1960.
- [5.2] Bellin, K.: Entwicklung und Probleme des Dränversuches unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches. Diss. Hannover 1964.
- [5.3] Blümel, F.: Bodengefügeveränderung durch Maulwurfdränung. Österr. Wasserwirtschaft **8**, S. 313–319. Wien 1956.
- [5.4] Breitenöder, M. & Zanker, K.: Der Entzug des in Mineralböden eingedrungenen Niederschlagswassers durch die Dränung. KfK-Schr. Reihe, Heft 8. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1959.
- [5.5] Briechle, D.: Die Dränung von Grundwasserböden. KWK-Heft 24, S. 1–98. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.
- [5.6] Burghardt, W.: Porositätsmerkmale und Eigenschaften einiger Dränfilter. Wasser u. Boden **28**, S. 35–38, Hamburg 1976.
- [5.7] Burghardt, W.: Zur Theorie und Methodik der Untersuchung der Dränfilterwirkung. Proc. Intern. Conf. on the Use of Fabrics in Geotechnics. S. 183–188. Paris 1976.
- [5.8] Cavelaars, J. C.: Problems of water entry into plastic and other drain pipes. Agr. Eng. Symp. Silsoe/Bedford U. K. Paper-No. 5/E/45. 1967.
- [5.9] Eggelsmann, R.: Akute Dränprobleme. Wasser und Boden **21**. S 1–8. Hamburg 1969.
- [5.10] Eggelsmann, R.: Hydrologie der Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **14**. S. 166–177. Berlin 1973.
- [5.11] Eggelsmann, R.; Scheffer, F.: Dränfilter gegen Verockerung – Ergebnisse des Feldversuches Calhorn. Wasser u. Boden **30**. S. 8–10. Hamburg 1978.

- [5.12] Eylers, H.: Neue Bemessungsverfahren für den Dränentwurf und ihre Überprüfung im Feldversuch. Diss. Hannover 1968.
- [5.13] Foerster, P.: Ergebnisse des Tiefpflügens in Sandböden Norddeutschlands. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 24, S. 47–67. Braunschweig 1974.
- [5.14] Gustavson, Y.: Die Strömungsverhältnisse im gedränten Boden. Acta Agric. Suecana II. 1. Stockholm 1946.
- [5.15] Karge, H. U.; Peters, H.: Aufgrabung von Kunststoffdränrohren. Wasser u. Boden **30**, S. 268–270. Hamburg 1978.
- [5.16] Klotz, D.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an gewellten Kunststoff-Dränrohren. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **14**, S. 40–54. Berlin 1973.
- [5.17] Kopp, E.: Die Aussage bodengenetischer Kriterien zur Frage der Funktion und der Erhaltungsdauer der meliorativen Untergrundlockerung in Pseudogleyen. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **13**, S. 272–278. Berlin 1972.
- [5.18] Kowald, R.: Die Strömungsverhältnisse an Tondränrohren und ihre Beeinflussung durch Rohrart, Stoßfugenweite und Filter. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **11**, S. 151–161. Berlin 1970.
- [5.19] Kuntze, H.: Tiefkultur u. Bedarfsdränung. Kali-Briefe Fachgebiet 1, S. 1–4. Hannover 1967.
- [5.20] Luthin, J. N. & Haig, A.: Some factors affecting flow into drainpipes. Hilgardia **41**, No. 10. Berkeley/California 1972.
- [5.21] Mann, G.: Untersuchungen über den Einfluß der Eintrittsöffnungen und des Verfüllbodens auf die Dränfunktion. Diss. Kiel 1970.
- [5.22] Nieuwenhuis, G. J. A.; Wesseling, J.: Effect of Perforation and Filter Material on Entrance Resistance of Plastic Drain Pipes. Agric. Water Management **2**, S. 1–9. Amsterdam 1979.
- [5.23] Schuch, M.; Jordan, F.: Die Meliorations- und Dränversuche in Ottenhofen und Ellingen. Bayr. Landw. Jb. **48**, S. 948–959, **49**, S. 872–892. München 1971, 1972.
- [5.24] Seibel, H.: Unterbodenmelioration durch Tiefpflügen, dargestellt am Beispiel der Gemarkung Heppenheim. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **13**, S. 341–353. Berlin 1972.
- [5.25] Someren, C. L. van; Naarding, W. H.: Enkele in 1963 verkregen resultaten op twee drainageproefvelden in de Provincie Drenthe. Medel. No. 59 Cultuurtechn. Dienst Utrecht 1965.
- [5.26] Souček, O.: Hydropedologische Untersuchung für Maulwurfsdränagen. Véd. Práce Vyzkumnéha Ústavu Melioraci Praze (Tschech. mit dt. Zus.). Praha 1967.
- [5.27] Trappel, A.: Der Wasserhaushalt in gedränten, schweren Böden. Österr. Wasserwirtschaft **7**, Heft 4. Wien 1955.
- [5.28] Wesseling, J.; Homma, F.: Hydraulic resistances of drain pipes. Inst. for Land and Water Management Research, Techn. Bull. 50 u. 51. Wageningen 1967.
- [5.29] Widmoser, P.: Einige Folgerungen aus der Theorie der Zuströmung zu Dränrohren. Wasser u. Boden **24**, S. 34–40. Hamburg 1972.
- [5.30] Bokermann, R.: Eine Methode zur Berechnung der kostensparenden Auswirkungen von Dränungen auf Ackerland. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **21** S. 44–54. Berlin 1980.

6 Hydraulische Berechnung

Das Hauptziel einer Rohrdränung ist die schadlose Abführung des überschüssigen Niederschlages im Winter und Frühjahr sowie nach ergiebigen Starkregen im Sommer, damit der Oberboden rechtzeitig abtrocknet und dann ohne Schaden bewirtschaftet werden kann.

6.1 Abflußspenden

Die Abflußspende einer Dränung (q in $l/s \cdot km^2$ oder $l/s \cdot ha$) ist derjenige Teil des Niederschlages, der unmittelbar oder nach zeitlicher Verzögerung in der Dränung abfließt oder abfließen soll. Die Abflußspende ist zeitlich oder örtlich recht verschieden. Der tatsächlich in einem Sammler (oder auch Graben) von einem bestimmten Einzugsgebiet stammende Abfluß wird mit Q (in l/s oder m^3/s) bezeichnet. Es entspricht $Q = q \cdot F$ gemäß DIN 4047 u. 4049.

Es ist weiter:

$$1 \text{ mm Niederschlag} = 0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = 1000 \text{ m}^3/\text{km}^2.$$

Die Abflußspenden für die Bemessung einer Dränung sollen gemäß DIN 1185 aufgrund der örtlichen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse bestimmt werden.

Für die Bundesrepublik Deutschland wurde für 50 Orte aus zehnjährigen Niederschlagsdaten (1956/57 bis 1965/66) der Bemessungsabfluß q ermittelt [6.3]. Dies geschah auf der Grundlage von Korrelationen zwischen Bemessungsabfluß und Niederschlag für die Landschaftsräume Küstengebiet, Norddeutsches Tiefland, Mittelgebirge und Alpenvorland ($r = 0,93$ für Winterhalbjahr).

Die häufigsten und die Extrem-Werte der Bemessungs-Abflußhöhen sind in Tafel 6.1 zusammengestellt, da aus Platzmangel die 7 Karten selbst hier nicht erscheinen können.

Dabei entspricht (weil 1 Tag = 86 400 s hat)

$$1 \text{ mm/Tag} = 0,116 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \text{ bzw. } 1 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 8,64 \text{ mm/Tag}$$

Tabelle 6.1 Bemessungsabflüsse für Meliorationsanlagen verschiedener deutscher Landschaften [6.3]

Landschaft	Abflußhöhe mm/Tag	
	Ø	Frequenz
Küstengebiet	10	8 – 12
Norddeutsches Tiefland	12	8 – 14
Mittelgebirge	14 – 16	8 – 24
Alpenvorland, Schwarzwald	18 – 24	14 – 34

In DIN 1185 (Blatt 2) sind die Bemessungsabflüsse nach den mittleren Jahresniederschlägen – grob – untergliedert (Tabelle 6.2).

Tabelle 6.2 Abflußspenden für hydraulische Berechnung der Sammlerrohrweiten und der Dränbestände bei Grundwasserböden (nach DIN 1185, Bl. 2)

Mittlerer Jahres-Niederschlag in mm	Sammler-Abflußspende q l/s · ha	Sauger-Abflußhöhe mm/d s
< 600	0,8	7
600 – 1000	1,0	9
> 1000	2,0	17

Die in beiden Tabellen genannten Abflußspenden gelten für ebene, nicht geneigte Flächen; Fremdwasserzufluß ist stets gesondert in Rechnung zu stellen.

6.2 Sammler-Rohrweiten

Fließvorgänge in Rohrleitungen können nach zwei Arten von Formeln berechnet werden, nach empirisch aufgestellten und nach theoretisch exakt herleitbaren. Von der ersten Kategorie wurde vor allem die Potenzformel bekannt und in der Praxis verwendet, sie wurde vor 200 Jahren von Chezy entwickelt und u. a. von Manning, Strickler und Gauckler verbessert. Die zweite Kategorie der physikalisch einwandfreien und dimensionsgerechten Formeln geht auf Darcy-Weisbach zurück und wurde von Poiseuille, Prandtl und Colebrook für die Praxis weiter entwickelt [6.5].

6.2.1 Theoretische Fließformel

Die Dränrohrweiten bei volllaufendem Rohr werden gemäß DIN 1185 (Blatt 2) nach der Formel von Prandtl-Colebrook berechnet. Sie lautet nach [6.6, 6.9] für

$$v = -2,0 \cdot \lg \left[\frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2gDJ}} + \frac{k}{3,71 D} \right] \cdot \sqrt{2gDJ}$$

und mit $Q = F \cdot v$ für Kreisprofile

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot (-2,0 \cdot \lg \left[\frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2gDJ}} + \frac{k}{3,71 D} \right] \cdot \sqrt{2gDJ})$$

Aufgrund umfangreicher Modelluntersuchungen im Auftrage des „Kuratoriums für Kulturbauwesen“ beim „Leichtweiß-Institut für Wasserbau“ der Techn. Universität Braunschweig [6.5] und beim Lehrstuhl für Kulturtechnik

- Tondränrohre in Bild 6.1;
- Gewellte Dränrohre aus PVC in Bild 6.2;
- Glatte Dränrohre aus PVC in Bild 6.3.

Bei der Aufstellung der Nomogramme wurde der jeweils tatsächliche Innendurchmesser zugrunde gelegt; im Nomogramm sind jedoch die Nennweiten (DN*) gemäss DIN 1180 und 1187 verzeichnet.

Gewellte Dränrohre aus PVC $k = 2,0 \text{ mm}$

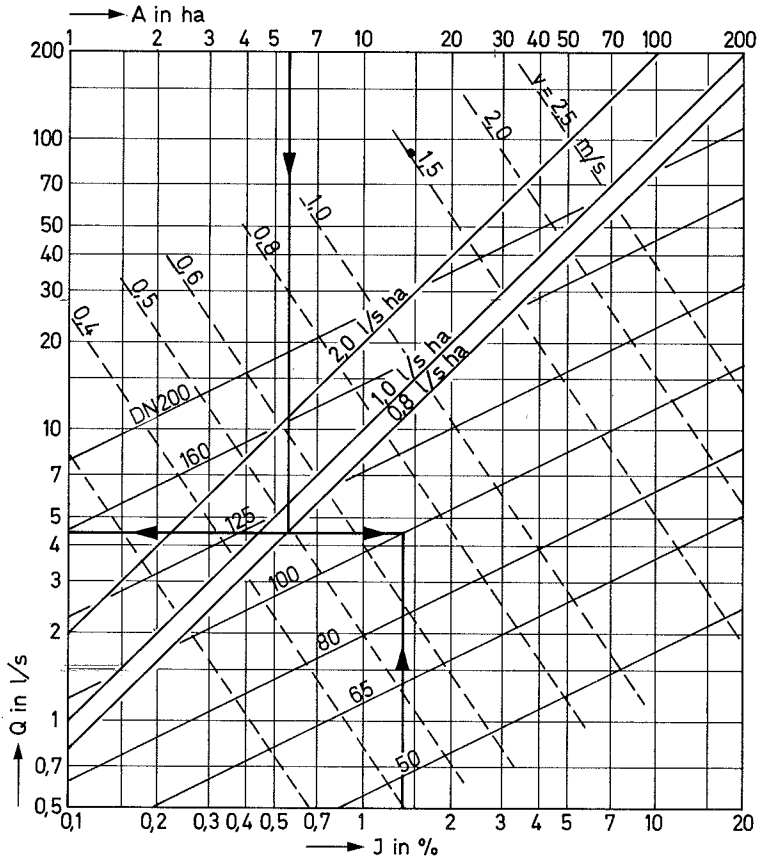


Bild 6.2 Gewellte PVC-Dränrohre ($k_s = 2,0 \text{ mm}$)

*) DN = Durchmesser Nominal (neue Bezeichnung nach DIN)

Glatte Dränrohre aus PVC $k = 0,1 \text{ mm}$

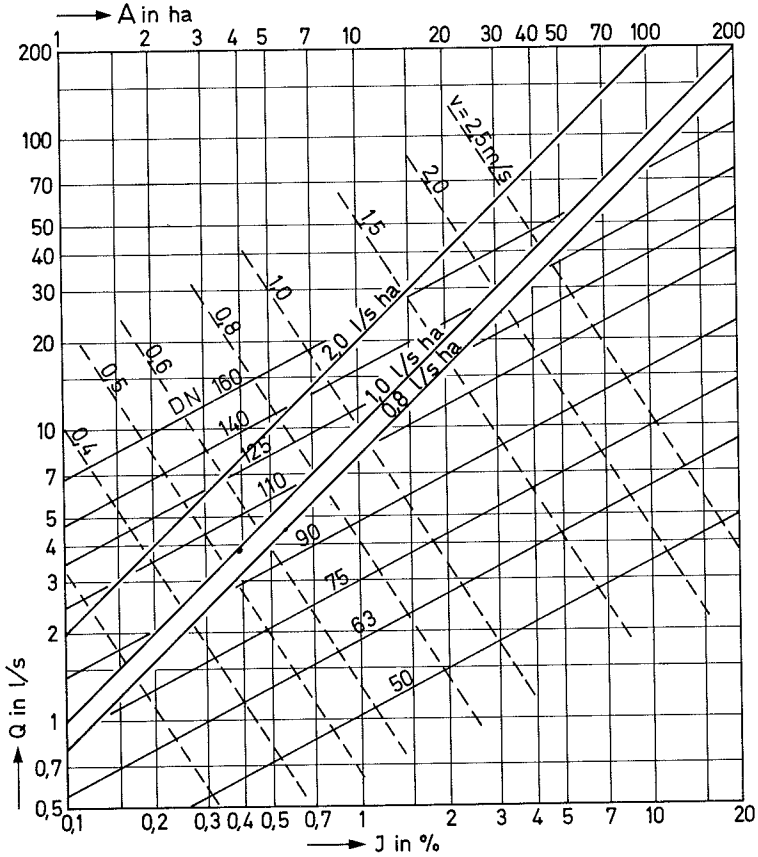


Bild 6.3 Glatte PVC-Dränrohre ($k_b = 0,1 \text{ mm}$)

Anwendungsgebiete:

Beispiel 1:

Sammlerberechnung

gegeben: $q = 1 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$; $l = 2\%$; $DN = 100 \text{ mm}$ Tonrohr;

gesucht: A in ha ; Q in l/s ; v in m/s .

Gemäß Nomogramm (Bild 6.1) ist:

$$A = 7,8 \text{ ha}; Q = 7,8 \text{ l/s}; v = 1,05 \text{ m/s.}$$

Beispiel 2:

Sammlerberechnung

gegeben: $q = 0,8 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$; $l = 1,4\%$; $A = 5,6 \text{ ha}$;

gesucht: DN für PVC-Wellrohr; Q in l/s; v in m/s.

Gemäß Nomogramm (Bild 6.2) ist:

$$\text{DN} = 100 \text{ mm}; \quad Q = 4,4 \text{ l/s}; \quad v = 0,69 \text{ m/s.}$$

Das Nomogramm (Bild 6.3) kann sinngemäß angewendet werden.

Es ist zu beachten, daß bei den gewellten PVC-Dränrohren gemäß DIN 1187 die tatsächlichen Innendurchmesser erheblich von den Nennweiten abweichen. Vergleicht man daher die hydraulische Leistung der verschiedenen Rohrarten miteinander, so ergeben sich für gewellte PVC-Rohre um 25% bis 35% geringere Werte als für Tonrohre [6.5].

Die seit 1975 angebotenen PVC-Wellrohre mit glatter Innenfolie können aufgrund hydraulischer Untersuchungen nach dem Nomogramm für Tonrohre (Bild 6.1) bemessen werden (Bild 8.11).

6.2.2 Potenzformel

In der „Dränanweisung“ (8. Aufl.) wurden die Dränrohrweiten nach der Formel von Gauckler-Manning-Strickler berechnet; sie lautet:

$$v = k_s R^{2/3} l^{1/2} \text{ in m/s.}$$

Hierin bedeuten:

v = Wassergeschwindigkeit in m/s;

k_s = Rauigkeits- bzw. Geschwindigkeitsbeiwert;

R = hydraulischer Radius in m;

l = Wasserspiegelgefälle, gleichgesetzt dem Sohlgefälle.

Nach [7.23 S. 296] kann für die heutigen Dränrohrqualitäten mit einem einheitlichen Beiwert $k_s = 75$ bei vollaufenden Rohren gerechnet werden. Dann ergibt sich für:

$$v = 1,38 d^{2/3} l^{1/2} \text{ in m/s}$$

und

$$Q = 0,1085 d^{8/3} l^{1/2} \text{ in l/s,}$$

hierin bedeuten:

Q = Wassermenge in l/s,

d = Rohrweite in cm.

Für eine Übergangszeit können Dränrohrweiten auch noch nach dieser Formel hydraulisch berechnet werden. Da diese Formel leicht mit dem Rechenschieber gelöst werden kann – im Gegensatz zur Formel von Prandtl-Colebrook – wurde sie hier ebenfalls aufgeführt.

6.2.3 Teilgefüllte Rohrleitungen

Das Abflußvermögen von teilgefüllten Rohren wird allgemein nach „Füllungskurven“ ermittelt, wobei sich die Werte der Teilfüllung auf das Abflußvermögen bei Vollfüllung bezieht. Füllungskurven sind von Durchmesser, Gefälle und Rauigkeit abhängig, jedoch auch von der im teilgefüllten Rohr sich bewegenden Luft. Es ist aber bis heute nicht möglich, diese Einflüsse physikalisch-mathematisch zu erfassen.

Die Füllungskurven in Bild 6.4 sind nach Thormann berechnet; sie entsprechen den Richtlinien für Abwasserkanäle [6.6]. Die Indizes t und v gelten für Teil- bzw. Vollfüllung.

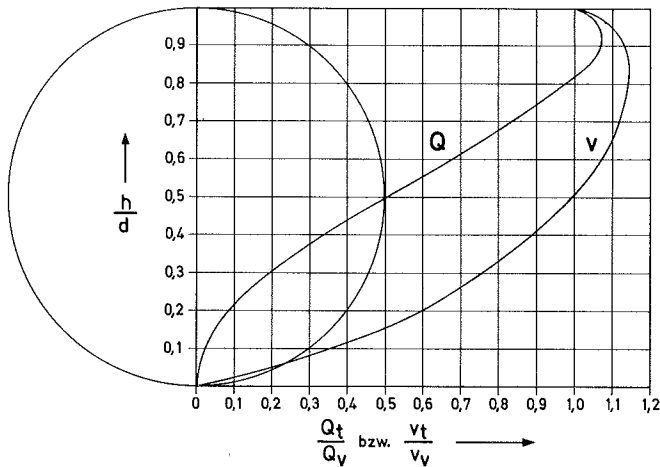


Bild 6.4 Füllungskurven für Kreisquerschnitte [6.6]

Beispiel:

Gegeben:

Bei Vollfüllung $Q = 4,5 \text{ l/s}$; $v = 0,38 \text{ m/s}$;

Gesucht:

Q_t und v_t bei einer Teilfüllhöhe von $h/d = 0,4$ (= 40%).

Nach Bild 6.4 ist

$$Q_t = 0,33 \cdot Q_v = 0,33 \cdot 4,5 = 1,5 \text{ l/s}$$

$$v_t = 0,89 \cdot v_v = 0,89 \cdot 0,38 = 0,34 \text{ m/s}$$

6.3 Dränabstand im Grundwasserboden

Dränabstände werden heute weltweit nach den Erkenntnissen der Potentialströmung berechnet, meistens auf der Grundlage einer stationären Strömung (Zufluß = Abfluß) [1.11, 1.12, 5.14, 6.1, 6.4, 6.8]. Für Sonderfälle kann es jedoch zweckmäßig sein, Dränabstände für instationäre Strömung zu berechnen (z. B. für Bewässerungsgebiete bei fallendem Grundwasserspiegel).

Hier werden nur solche Verfahren vorgeschlagen, die sich bewährt haben und die mit Hilfe von Nomogrammen für den **Gebrauch in Praxis** geeignet sind, für Grundwasserböden in Übereinstimmung mit DIN 1185 (Blatt 2). Es wird einerseits die Ursache der Vernässung (durch [gespanntes] Grundwasser, Stauwasser oder Bewässerung) und andererseits die Bodendurchlässigkeit berücksichtigt.

Die Bestimmung von Graben- und Dränabständen nach „Entwässerungskriterien“ und „bodenhydrologischen Bedingungen“ mit Hilfe von Nomogrammen ist ausführlich behandelt und für den Praktiker erläutert [6.1], worauf vielfach Bezug genommen wird. Sie gilt nur für ausreichend durchlässige ($k_f \geq 0,06 \text{ m/d}$) ein- oder zweischichtige Böden mit Grundwasser (Kap. 3.4), man beachte insbesondere auch Tabelle 5.1.

In **Mooren** nimmt nach Entwässerung infolge Moorsackung die Durchlässigkeit ab, was bei der Bemessung des Dränabstandes berücksichtigt werden muß (Kap. 7.3).

Die Grundwasserströmung zwischen parallelen Dränen (Bild 5.1–5.3) kann in guter Annäherung in eine vertikale, horizontale und radiale Strömungskomponente zerlegt werden (Bild 6.5) mit den ihnen jeweils entsprechenden Strömungswiderständen. Der radiale Strömungswiderstand ergibt sich aus

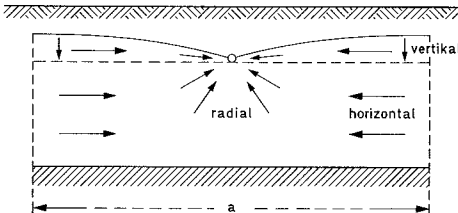


Bild 6.5 Vertikale, horizontale und radiale Strömungskomponenten im durchlässigen Boden über einer undurchlässigen Schicht [6.1]

den zusammengedrückten Stromlinien in Dränrohrnähe (Kap. 5.1). Da der vertikale Widerstand gewöhnlich sehr gering ist, wird der erforderliche Dränabstand hauptsächlich durch den horizontalen und radialen Strömungswiderstand bestimmt. Das Ausmaß des horizontalen und radialen Widerstandes hängt ab von der Lage der undurchlässigen (Sperr-) Schicht zur Dränsohle (Bild 5.4).

6.3.1 Formel nach Hooghoudt

Folgende drei Fälle sind zu unterscheiden:

- Liegen die Sauger auf oder wenig oberhalb der undurchlässigen Schicht, so herrscht der horizontale Widerstand vor und der radiale Widerstand ist so gering, daß er vernachlässigt werden kann.
- Kommt die undurchlässige Schicht in großer Tiefe vor ($> \frac{1}{4}$ des Dränabstandes), so hat der radiale Widerstand einen so großen Einfluß, daß der horizontale Widerstand unbeachtet bleiben kann. In beiden Fällen sind die zugehörigen Dränabstands-Formeln und die Nomogramme sehr einfach.
- Ist die Tiefe der undurchlässigen Schicht unterhalb Dränsohle geringer als $\frac{1}{4}$ des Dränabstandes, so nehmen die Schwierigkeiten zu. In diesem Fall ist der radiale Widerstand so groß, daß man ihn nicht vernachlässigen darf. Wird nur der horizontale Widerstand berücksichtigt, so könnte der berechnete Dränabstand zu groß ausfallen.

Für alle drei Fälle hat Hooghoudt [6.1] mit der folgenden Formel eine praktikable Lösung entwickelt (Bild 6.6):

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot k_{f2} \cdot d \cdot h}{s} + \frac{4 \cdot k_{f1} \cdot h^2}{s}} \text{ in m}$$

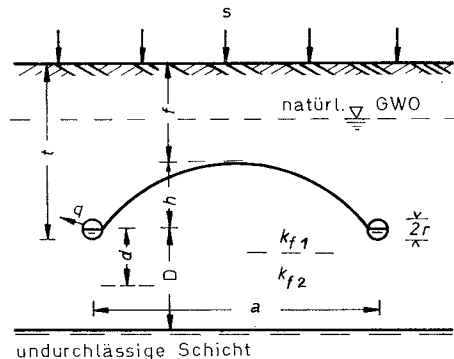


Bild 6.6 Schema zur Dränabstandsformel [6.1]

Es bedeuten:

- a = Dränabstand in m;
- k_{f1} = Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenschicht oberhalb des Dräns in m/d;
- k_{f2} = Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenschicht unterhalb des Dräns in m/d (Kap. 3.5);
- d = Faktor in m;
Äquivalente Dicke der durchströmten Bodenschicht unter-

- halb der Dränrohrachse in Abhängigkeit von a (Tabelle 6.3);
 der d -Faktor ist im Nomogramm (Bild 6.7) berücksichtigt;
 D = Abstand der Grundwassersohle vom Drän in m;
 h = Höhe des zulässigen Grundwasserspiegels über Drän in m;
 t = Dräntiefe in m;
 f = Tiefe des zulässigen Grundwasserspiegels von der Oberfläche in m, in der Regel $f = 0,5$ m;
 s = max. abzuführender Niederschlag in m/d (Kap. 6.1);
 r = wirksamer Außenradius des Dränrohres in m.
- Der erste Teil der Formel bezieht sich auf die Grundwasserströmung unterhalb der Dräne, der zweite auf die Strömung oberhalb der Sauger.

Tabelle 6.3 d-Faktor (in m) für die Dränabstandsberechnung ohne Nomogramm [6.1]

D in m	d-Faktor für Dränabstand in m											
	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,75	0,6	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,75	0,8	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96	0,96
1,25	0,7	0,82	0,89	1	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15
1,5	0,71	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,35	1,36
1,75	0,71	0,91	1,02	1,2	1,3	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57	1,57
2	0,71	0,93	1,08	1,28	1,41	1,5	1,57	1,62	1,66	1,7	1,72	1,72
2,5	0,71	0,93	1,14	1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02	2,02
3	0,71	0,93	1,14	1,45	1,67	1,83	1,97	2,08	2,16	2,23	2,29	2,29
3,5	0,71	0,93	1,14	1,5	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54	2,54
4	0,71	0,93	1,14	1,53	1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71	2,71
5	0,71	0,93	1,14	1,53	1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02	3,02
∞	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88	3,88

Der Dränabstand kann auf zwei Wegen berechnet werden:

- Analytisch (iterativ = mittels Probe- und Angleichungsprozessen) mit Hilfe von Tab. 6.3 (Beispiel 1 und 2);
- graphisch mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 6.7) (Beispiel 3 und 4).

Da die Wahl des wirksamen Außenradius der Dränrohre den Dränabstand unwesentlich beeinflusst, ist die für $r = 0,1$ aufgestellte Tabelle für sämtliche Radien gültig. Zwischenwerte sind auf- bzw. abzurunden.

Beispiel 1:

Gegeben:

$$k_{f1} = k_{f2} = 1,11 \text{ m/d}, D = 1 \text{ m}, h = 0,3 \text{ m}, \\ s = 0,007 \text{ m/d}, r = 0,1 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot d \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

1. Iterationsschritt: $a = 15$ m geschätzt, ergibt nach Tabelle 6.3
 $d = 0,86$ m

$$\text{d-Faktor eingesetzt: } 15 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot 0,86 \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

$$15 \text{ m} \neq 19,6 \text{ m}$$

Der Dränabstand wurde zu klein geschätzt.

2. Iterationsschritt: $a = 20$ m geschätzt, ergibt $d = 0,89$ m

$$\text{d-Faktor eingesetzt: } 20 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,11 \cdot 0,89 \cdot 0,3 + 4 \cdot 1,11 \cdot 0,09}{0,007}}$$

$$20 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

Der Dränabstand beträgt also 20 m.

Beispiel 2:

Gegeben: $k_{f1} = 0,38$ m/d, $k_{r2} = 1,48$ m/d, $D = 2,4$ m,
 $h = 0,5$ m, $s = 0,007$ m/d, $r = 0,1$ m

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot d \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

1. Iterationsschritt: $a = 45$ m geschätzt, ergibt nach Tabelle 6.3
 $d = 1,99$ m

$$\text{d-Faktor eingesetzt: } 45 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot 1,99 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

$$45 \text{ m} \neq 41,6 \text{ m}$$

Der Dränabstand wurde zu groß geschätzt.

2. Iterationsschritt: $a = 41$ m geschätzt, ergibt nach Tabelle 6.3
 $d = 1,94$ m

$$\text{d-Faktor eingesetzt: } 41 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,48 \cdot 1,94 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,38 \cdot 0,25}{0,007}}$$

$$41 \text{ m} \sim 41,25 \text{ m}$$

Der Dränabstand beträgt ~ 41 m.

Beispiel 3:

Gegeben: $k_{f1} = k_{f2} = 1,11 \text{ m/d}$, $D = 1 \text{ m}$, $h = 0,3 \text{ m}$,
 $s = 0,007 \text{ m/d}$

nach Tabelle $\frac{8h}{s}$ -Faktor = 345
 in Bild 6.7:

$$\frac{4h^2}{s}\text{-Faktor} = 50$$

$$k_{f2} \cdot \frac{8h}{s} = 1,11 \cdot 345 = 383$$

$$k_{f1} \cdot \frac{4h^2}{s} = 1,11 \cdot 50 = 55$$

In Bild 6.7 (linkes Nomogramm) sind diese beiden Werte auf der linken und rechten Leiter durch Lineal (oder Faden) miteinander zu verbinden. Im Schnittpunkt mit der Kurve $D = 1 \text{ m}$ ergibt sich a .

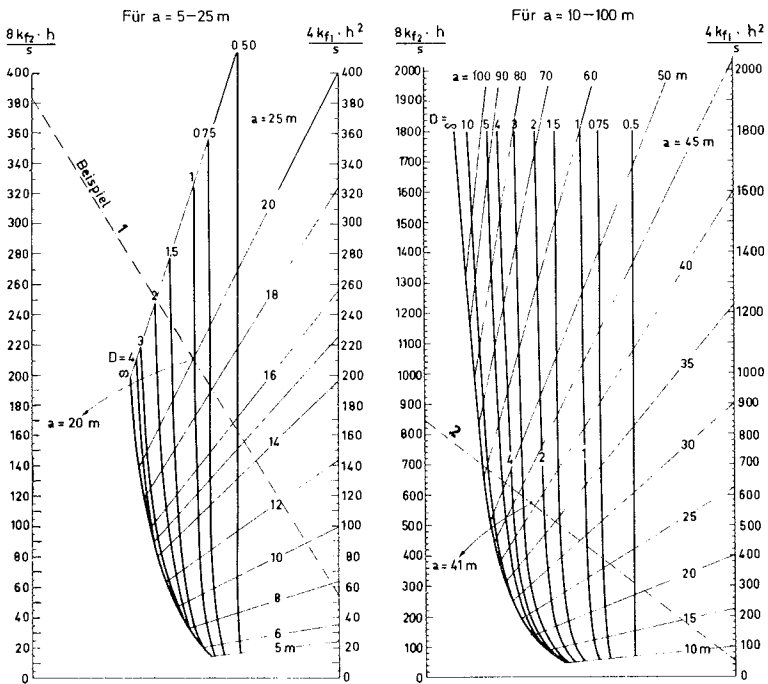
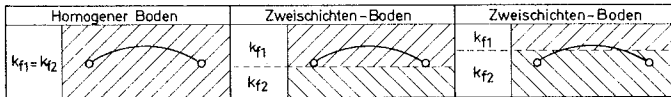


Bild 6.7 Nomogramm zur Ermittlung des Dränabstandes bei Grundwasserböden [6.1]

Dränabstand $a = 20$ m (analog zu Beispiel 1).

Beispiel 4:

$$k_{f1} = 0,38 \text{ m/d}, k_{f2} = 1,48 \text{ m/d}, D = 2,4 \text{ m}, \\ h = 0,5 \text{ m}, s = 0,007 \text{ m/d}$$

nach Tabelle
in Bild 6.7:

$$\frac{8h}{s} \text{-Faktor} = 570$$

$$\frac{4h^2}{s} \text{-Faktor} = 145$$

$$k_{f2} \cdot \frac{8h}{s} = 1,48 \cdot 570 = 843$$

$$k_{f1} \cdot \frac{4h^2}{s} = 0,38 \cdot 145 = 55$$

		$\frac{8h}{s}$ - und $\frac{4h^2}{s}$ -Faktoren										
		für s in m/d										
		bzw. q in $\frac{1}{s \cdot \text{ha}}$										
		0,005		0,007		0,009		0,010		0,017		
		0,6		0,8		1		1,2		2		
h m	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$	$\frac{8h}{s}$	$\frac{4h^2}{s}$
0,1	160	10	115	6	90	5	80	4	45	3		
0,2	320	32	230	23	180	20	160	16	90	10		
0,3	480	70	345	50	270	40	240	36	140	20		
0,4	640	128	455	92	360	70	320	64	185	35		
0,5	800	200	570	145	445	110	400	100	230	60		
0,6	960	290	685	205	535	160	480	145	280	85		
0,7	1120	390	800	280	620	215	560	195	325	115		
0,8	1280	510	920	365	710	295	640	255	370	150		
0,9	1440	650	1030	465	800	370	720	325	415	190		
1	1600	800	1140	570	890	455	800	400	460	230		
1,1	1760	970	1260	690	980	535	880	485	510	280		
1,2	1920	1150	1370	820	1060	640	960	575	555	330		

In Bild 6.7 (rechtes Nomogramm) ergibt sich durch Verbindung der beiden Leiterwerte mit der D-Kurve der Dränabstand a .

Dränabstand $a = 41$ m (analog zu Beispiel 2).

Der Gebrauch des Nomogrammes (Bild 6.7) für die Dränabstandsberechnung ergibt genauere Ergebnisse. Er bietet darüber hinaus **zwei große Vorteile**, nämlich

- große Rechengeschwindigkeit;
- rasche Feststellung der relativen Wirksamkeit derjenigen Faktoren, die den Dränabstand beeinflussen.

Daher sollte der Praktiker **nur die Nomogramme** verwenden.

6.3.2 Formel nach Ernst

Liegt eine Rohrdränung in einem zweischichtigen Boden ausschließlich in der **oberen** Bodenschicht (Bild 6.8–d), so ist nur die Formel von Ernst anwendbar, für diesen in der Praxis nur selten vorkommenden Fall wird auf [6.1] verwiesen.

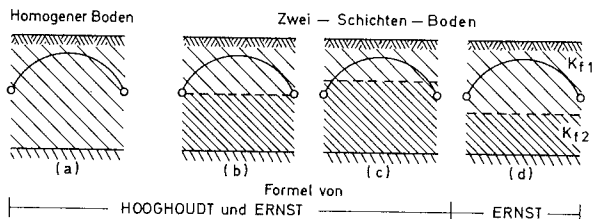


Bild 6.8 Lage der Dräne im Hinblick auf die Berührungsfläche von zwei Bodenschichten [6.1]

Anmerkung:

Die Tiefenlage der undurchlässigen Schicht D und der k_{f2} -Wert üben einen großen Einfluß auf den Dränabstand aus. Die Durchlässigkeit der oberhalb der Dräne liegenden Bodenschicht hat nur einen geringen Effekt auf die Dränabstandsberechnung. Eine Schätzung dichter Horizonte ist daher ausreichend.

Schwanken die im Felde gemessenen k_f -Werte stark, insbesondere wenn keine Bodenkartierung vorliegt, so erhebt sich die Frage: In welchem Ausmaß und in welcher Weise können die schwankenden k_f -Werte gemittelt werden? Für ein bestimmtes Dränobjekt sollte mit konstanten Werten von q und h der Dränabstand durch Kombination von k_{f1} , k_{f2} und D abgeleitet werden. Die mittleren k_{f2} -Werte entsprechen dem Durchschnitt nur, wenn praktisch keine Differenzen zwischen korrespondierenden Werten von k_{f1} und D auftreten.

Ist es wünschenswert, den Dränabstand für jeden Punkt eines Drängebietes zu kennen, so kann dies schnell getan werden, weil $8 h/q$ und $4 h^2/q$ feste Werte sind, und es möglich ist, Rechenschieber und Nomogramm zu verwenden.

Resultierende a -Werte können gruppenweise gemittelt werden. In den meisten Fällen ergeben sich recht unterschiedliche Dränabstände innerhalb eines Projektes. Aus praktischen Gründen (Ausführung und Unterhaltung) ist es oft ratsam, für bestimmte Felder an einem einheitlichen Dränabstand festzuhalten.

6.4 Dränabstand im Stauwasserboden

Für Stauwasserböden (Kap. 3.4.3) mit undurchlässiger Schicht oberhalb der (normalen) Dräntiefe gilt Diagramm in Bild 6.9 [3.19]. Der Dränabstand ist hier vor allem abhängig von der Durchlässigkeit der oberhalb des Staukör-

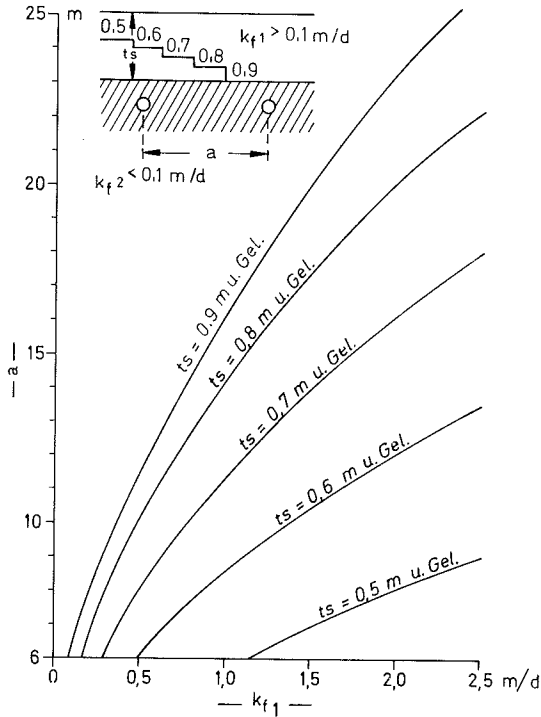


Bild 6.9 Nomogramm zur Bestimmung des Dränabstands für Stauwasserböden in Abhängigkeit von Durchlässigkeit und Tiefe des Staukörpers [3.19]

pers anstehenden Schicht und von der Tiefenlage der Stausohle. Dem Nomogramm liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

- max. zul. Stauspiegelhöhe 0,3 m unter Flur;
- gute Wasserdurchlässigkeit im Bereich des Drängrabens und Dränrohres;
- Abflußspende 5 mm/Tag.

Bei Geländegefälle $> 2\%$ und Querdränung kann der Dränabstand um 20 bis 40% vergrößert werden.

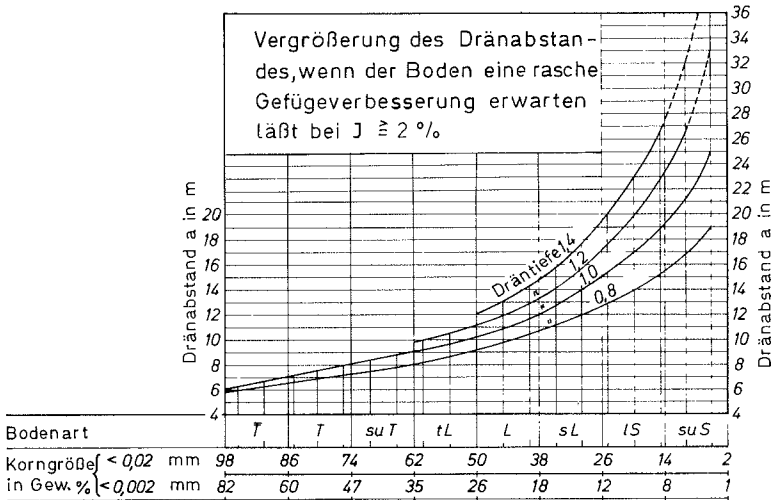


Bild 6.10 Nomogramm zur Ermittlung des Dränabstands für Haftenäseböden [1.6]

Beispiel:

Gegeben: $k_{f1} = 0,9$ m/d, $t_s = 0,7$ m
 nach Bild 6.9: Dränabstand $a = 10,7$ m
 gewählt $a = 11$ m.

Liegt die Stausohle flacher als 0,5 m unter Flur, so ist eine Rohrdränung nur beschränkt oder nicht wirksam (Bild 5.5). Wenn es die Bodenart zuläßt, ist Rohrlose- oder Kombinierte-Dränung vorzusehen (Kap. 4.2 und 5.2), oder es sollte Unterbodenmelioration erwogen werden (Kap. 4.3 und 4.4).

6.5 Dränabstand im Haftenäseboden

In schwer durchlässigen, haftenassen Böden (Kap. 3.4.4), in denen Rohrlose-Dränung nicht genügend haltbar oder Unterbodenmelioration (Tieflockern, Tiefpflügen) nicht erfolgreich wäre, kann der Dränabstand für Rohrdränung gemäß DIN 1185 (Blatt 2) auch weiterhin nach der Bodenart ermittelt werden (Bild 6.10). Dies gilt nach neueren bodenkundlichen Erkenntnissen nur, wenn die Korngrößen nach Vorbehandlung der Bodenproben „in Wasser“ gemäß DIN 19683 bestimmt sind.

Beispiel:

Gegeben: Abschlämmbares ($< 0,02$ mm) = 58 Gew.-%
 nach Bild 6.10: Dränabstand $a = 9,3$ m für $t = 1,0$ m
 gewählt $a = 9$ m.

Bei schichtigen Böden kann es empfehlenswert sein, den Dränabstand a wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + a_3 h_3 + \dots}{h_1 + h_2 + h_3 \dots}$$

wobei $h_1, h_2, h_3 \dots$ die Schichtdicken und $a_1, a_2, a_3 \dots$ die zugehörigen Dränabstände sind.

6.6 Dränabstand bei gespanntem Grundwasser

Gespanntes Grundwasser ist – häufiger als bislang angenommen – Ursache einer Bodenvernässung, in manchen Gebieten auch für die Bodenversalzung (Kap. 3.4.2). Die Bodenvernässung durch gespanntes Grundwasser wurde in Nordwestdeutschland untersucht unter Rückgriff auf Erfahrung in den USA [6.7].

Für die Dränabstandsbestimmung können zwei Fälle der Bodenvernässung durch Druckwasser unterschieden werden (Bild 6.11):

- gleichzeitiger Zufluß von Oberflächen- und von gespanntem Grundwasser (Bild 6.11 – oben);
- wird der Zufluß von Druckwasser nicht oder nicht genügend berücksichtigt, so brechen die Grundwasser-Stromlinien zwischen den Dränen (bis zur Geländeoberfläche) durch (Bild 6.11 – Mitte);
- ausschließlich Zufluß von gespanntem Grundwasser (Bild 6.11 – unten).

Der kritische Dränabstand einer Dränung über gespanntem Grundwasser ist – nach potentialtheoretischen Grundsätzen – weniger von der Bodendurchlässigkeit, sondern vor allem abhängig von der:

- Dräntiefe;
- Mächtigkeit der Deckschicht;
- Höhe des Druckspiegels über Gelände.

6.6.1 Druckwasser ohne Niederschlag

Für homogenen Boden mit Zufluß von gespanntem Grundwasser **ohne** Niederschlag kann der Dränabstand nach Muskat bestimmt werden. Das mittels Elektronenrechners entwickelte Nomogramm (Bild 6.12) gilt für einen „wirksamen Dränradius“ von 0,1 m.

Beispiel:

Gegeben: $D = 10$ m; $h = 1$ m; $t = 0,6$ m.

Nach Bild 6.12: Dränabstand $a = 7,5$ m.

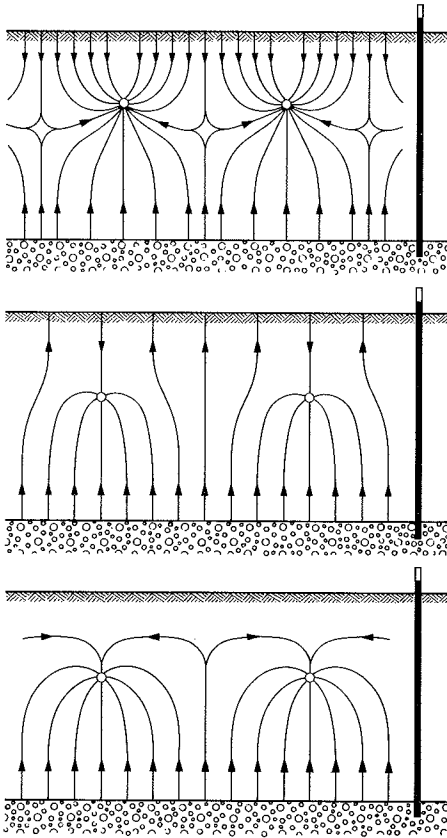


Bild 6.11 Strömungslinien bei Böden mit gespanntem Grundwasser und Oberflächenwasser [6.7]

6.6.2 Druckwasser mit Niederschlag

Für homogenen Boden bei Zufluß von gespanntem Grundwasser **mit** Niederschlag kann der Dränabstand nach Hinesly abgeleitet werden, ein praktisches Diagramm zeigt Bild 6.13.

Für den Gebrauch der Graphik muß vorab der Hilfwert g (Bild 6.13 – unten links) errechnet werden.

bedeuten:

- t = max. zul. erwünschter Grundwasserspiegel über Drän in m;
- h = Druckhöhe des gespannten Druckwassers über Drän in m;
- i = Bemessungs-Niederschlag in m/d;

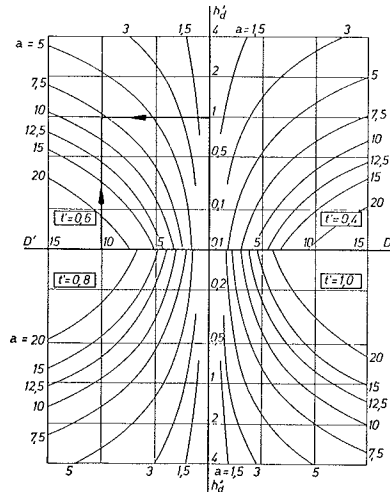


Bild 6.12 Dränabstand-Nomogramm für gespanntes Grundwasser ohne Niederschlag [6.7]

k_f = Durchlässigkeit der Deckschicht in m/d;

D = Abstand der Dräne von der Sohle der Deckschicht in m.

Der Bemessungs-Niederschlag i entspricht dem Bemessungsabfluß (Tab. 6.1 und 6.2).

$$\text{Es ist} \quad g = 1 - \frac{t}{h + \frac{i}{k_f} \cdot D} \quad i$$

Beispiel:

Gegeben:

$i = 0,015$ m/d; $k_f = 0,5$ m/d;

dann ist $i/k_f = 0,03$;

$t' = 0,6$ m; $h' = 0,8$ m; $D = 3,2$ m;

dann ist $g = 1 - 0,6 / (0,8 + 0,03 \cdot 3,2) = 0,33$.

Nach Bild 6.13: Dränabstand $a = 5$ m.

Anmerkung:

Das Diagramm (Bild 6.13) mit dem Hilfwert g darf auch für **geschichtete** Böden dann verwendet werden, wenn die zu entwässernde Schicht eine

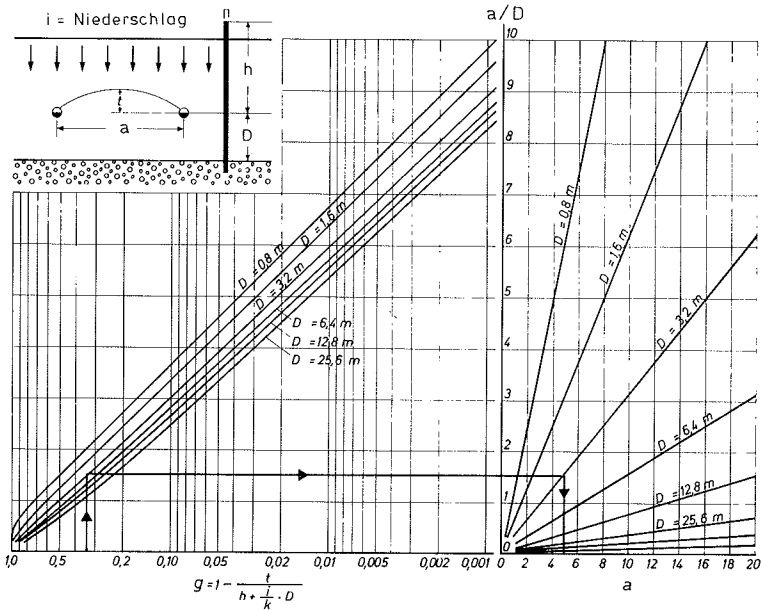


Bild 6.13 Dränabstand-Nomogramm für gespanntes Grundwasser und Niederschlag [6.7]

geringere Durchlässigkeit aufweist als der darunter liegende Teil der Deckschicht [6.7].

Ist die zu dränende Schicht durchlässiger als der darunterliegende Teil der Deckschicht, so wird der Anteil des gespannten Grundwassers am Gesamtdränabfluß erheblich kleiner sein als im homogenen Boden. Für diesen Fall gibt es bislang kein exaktes Bemessungsverfahren für den Dränabstand. Ist k_{f1} die Durchlässigkeit der zu dränenden Schicht, und ist k_{f2} die Durchlässigkeit des unteren Teiles der Grundwasser-Deckschicht, so kann bei einem Verhältnis $k_{f1}:k_{f2} \geq 1000$ der Zufluß des gespannten Grundwassers vernachlässigt werden; die Grundwasser-Deckschicht kann also als „praktisch undurchlässig“ angesehen werden und der Dränabstand kann nach Kap. 6.6.1 bestimmt werden.

6.7 Dränabstand bei Salzboden-Bewässerung

In ariden bis semiariden Gebieten mit Versalzungsgefahr wird oft eine bedeutende Menge an Infiltrationswasser in kurzer Zeit benötigt, um Salzbö-

den auszuwaschen. Das Ergebnis ist ein rasches Ansteigen des Grundwasserspiegels, der sich nach Ende der Bewässerung in einer bestimmten Zeitspanne absenken soll.

Der Dränabstand kann hierfür nicht als stationäre Strömung berechnet werden, sondern es ist die geforderte Grundwasserabsenkung für eine gewisse Zahl von Tagen, beginnend mit der Ausgangssituation zu Grunde zu legen, d. h. Absenkung von h_0 nach h_t in einer Zeitspanne t (Kap. 7.3.5).

6.7.1 Undurchlässige Schicht in großer Tiefe

Nach Bild 6.14 gilt die Formel von Glover-Dumm [6.1]:

$$a = \sqrt{\frac{10 \cdot k_f \cdot D \cdot t}{V \cdot \ln\left(1,16 \frac{h_0}{h_t}\right)}}$$

Diese Formel enthält **nicht** den Faktor q (Abflußspende). Sollen z. B. 20 mm Wasser in 10 Tagen abfließen, so entspricht die geforderte Grundwasserabsenkung der entsprechenden Wassermenge aus dem Grobporenraum des Bodens zwischen den Saugern. Sie ist in der obigen Formel mit V (= Dränporen, spannungsfreier Porenraum) bezeichnet und meistens nicht

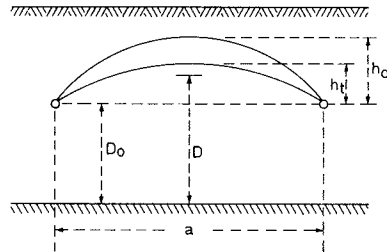


Bild 6.14 Sinkender Grundwasserspiegel oder veränderlicher Abfluß [6.1]

bekannt. Überschläglich kann V aus der Durchlässigkeit nach $V = \sqrt{k_f}$ abgeleitet werden (hierin ist k_f in cm/d einzusetzen, dann ergibt sich V in Vol.-%; z. B. $k_f = 60$ cm/d, dann ist $V = 7,7$ Vol.-% oder $V = 0,077$ geschrieben).

Beispiel:

Gegeben:

$k_f = 0,60$ m/d, daraus $V = 0,077$; $D_0 = 8,0$ m;

$D = 8,3$ m;

da $D_0 > 2$ m, ist der Radialwiderstand zu berücksichtigen; es ist d anstelle von D einzusetzen (Iteration gemäß Kap. 6.3.1, Beispiel 1), nach Tabelle 6.3 ergibt sich für $d = 3,0$ m; $h_0 = 1,2$ m; $h_t = 0,4$ m; $t = 8$ Tage;

gesucht:
$$a = \sqrt{\frac{10 \cdot 0,6 \cdot 8 \cdot 3,0}{0,077 \cdot 2,3 \cdot \lg(1,16 \frac{1,2}{0,4})}} = 37,5 \text{ m};$$

gewählt $a = 38 \text{ m}$.

Die Gleichung kann vorteilhaft mittels Rechenschieber oder Taschenrechner gelöst werden.

6.7.2 Dräne auf undurchlässiger Schicht

Hierfür kann nach Bild 6.15 der Dränabstand als instationäre Strömung [6.1] berechnet werden nach Formel:

$$a = \sqrt{\frac{4,5 \cdot t \cdot k_f \cdot h_o \cdot h_t}{V (h_o - h_t)}}$$

Beispiel:

Gegeben: $k_f = 0,75 \text{ m/d}$; $h_o = 0,8 \text{ m}$, $h_t = 0,2 \text{ m}$; $t = 6 \text{ Tage}$;

$$V = \sqrt{k_f t} = \sqrt{75} = 8,6 \text{ Vol. \%} = 0,086.$$

Gesucht:
$$a = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,2}{0,086 (0,8 - 0,2)}} = 7,9 \text{ m}$$

gewählt $a = 8 \text{ m}$.

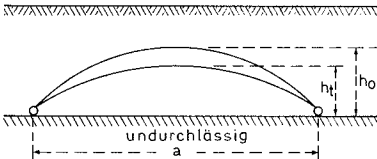


Bild 6.15 Sinkender Grundwasserspiegel – Dräne auf der undurchlässigen Bodenschicht [6.1]

6.8 Entwässerungszeit

Soll die Dauer eines Entwässerungsvorganges untersucht werden, so kann dieser instationäre Dränfall nach Bild 6.16 gelöst werden [6.2].

Beispiel:

Gegeben: $k_{f1} = k_{f2} = 1 \text{ m/d}$; $s = 0,010 \text{ m/d}$; $D = 1 \text{ m}$;
 $h_o = 0,7 \text{ m}$ und $h_t = 0,5 \text{ m}$ bei 1 m Dräntiefe;
 daraus ergibt sich nach Bild 6.7 für $a = 23 \text{ m}$.

Gesucht: Zeitdauer für eine Grundwasserabsenkung von h_o nach h_t bei $a = 23 \text{ m}$ bzw. $a = 14 \text{ m}$.

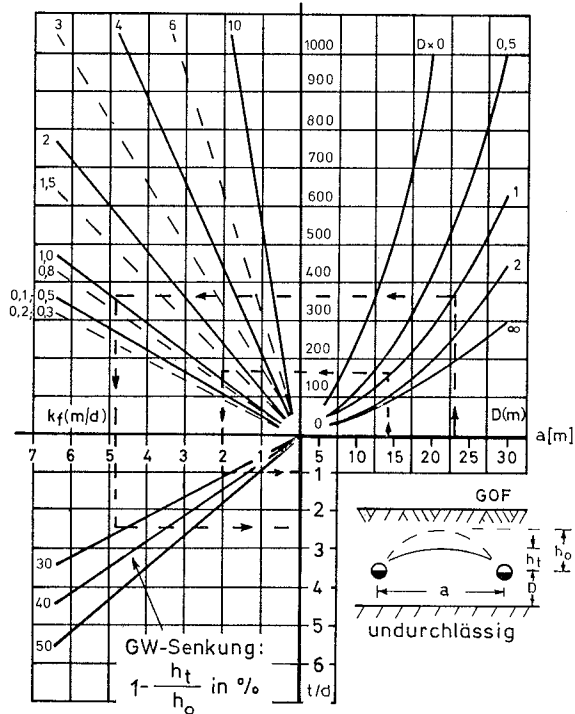


Bild 6.16 Nomogramm zur Ermittlung der Entwässerungszeit [6.2]

Nach Bild 6.16 ergeben sich:

- für $a = 23$ m ist $t \sim 2,5$ Tage;
- für $a = 14$ m ist $t \sim 1,0$ Tag.

Anmerkung:

Es muß beachtet werden, daß die Näherungsfunktion $\mu/k = f(k)$ im Bereich $k = 0,25$ m/d ein Maximum aufweist. Daher sind im 2. Quadranten des Nomogramms die Funktionswerte für $0,2 \leq k \leq 0,3$ m/d bzw. für $k = 0,1$ und $0,5$ m/d gleich. Bei mittleren Dränabständen ist jedoch der sich daraus ergebende zeitliche Unterschied für gleiche Absenkraten vernachlässigbar gering.

Literatur

- [6.1] Beers, W. F. J. van: Einige Nomogramme für die Berechnung von Drän- und Grabenabständen. (Dt. Bearbeitung R. Eggelsmann). Hamburg: Paul Parey 1969.
- [6.2] Briechle, D.: Vorschläge zur Bemessung von Dränungen in Grundwasserböden. Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. **11**, S. 1–10. Berlin 1970.
- [6.3] Briechle, D.: Ermittlung von Bemessungsabflüssen in Meliorationsanlagen. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **13**, S. 177–186. Berlin 1972.
- [6.4] Busch, K.-F.: Ein Beitrag zu Fragen der Dränentfernung und Dräntiefen bei Mineralböden. Z. f. Landeskultur. **4**, S. 107–149. Berlin 1963.
- [6.5] Karge, H.; Garbrecht, G.: Fließformeln für Dränrohre. Bericht-Nr. 221. Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig 1972.
- [6.6] Kirschmer, O.: Tabellen zur Berechnung von Entwässerungsleitungen nach Prandtl-Colebrook. Heidelberg: Straßenbau, Chemie und Technik Verlag GmbH 1966.
- [6.7] Lange, G.: Untersuchungen über Bodenvernässungen durch gespanntes Grundwasser. Diss. Hannover 1970.
- [6.8] Luthin, J. N.: Drainage Engineering. New York-London-Sydney: John Wiley & Sons, Inc. 1965.
- [6.9] Ueker, K. J.: Tabellen zur hydraulischen Berechnung von Steinzeugrohren. Herausg. Fachverband der Steinzeugindustrie e. V. Frerchen b. Köln 1972.

7 Dränentwurf – Technische Planungsgrundsätze

Vor Beginn der eigentlichen Bearbeitung eines Dränentwurfes ist aufgrund der bodenkundlich-hydrologischen Geländeuntersuchung (Kap. 3) in groben Zügen der Rahmen abzustecken, für welches Teilgebiet welche Dränmethode (Kap. 4) infrage kommt. Die technische Bearbeitung des Dränentwurfes stützt sich auf:

- Topographische Karte 1:25 000;
- Lageplan mit Höhenordinaten und Schichtenlinien, für Moorgebiete auch des mineralischen Untergrundes (Kap. 3.2);
- Bodenaufnahme (Kap. 3.3);
- bodenhydrologische Untersuchungen (Kap. 3.4).

Es ist anzustreben und vorteilhaft, daß die **Vorarbeiten im Gelände und die Entwurfsbearbeitung** von der **gleichen Person** ausgeführt werden. Ist das nicht möglich, so sollte der Entwurfsbearbeiter sich – vorher – selbst genügend Ortskenntnisse durch Begehung verschaffen und sich dabei wiederholt die Frage stellen:

„**Warum** und wie ist diese und **warum** jene Teilfläche **vernäßt?**“ (Tabelle 3.1).

Die selbst gezogenen Antworten werden dem Entwurfsbearbeiter helfen, **Ursache** und **Wirkung** einer Geländevernässung zu klären, was für **Art und Planung der angemessenen Dränmethode** wichtig ist.

Ganz allgemein ist davon auszugehen, daß Dränungen nur noch maschinell ausgeführt werden (mit Ausnahme im Ingenieurbau).

7.1 Vorflut

Nur bei ausreichender und gesicherter Vorflut kann sich eine Dränung voll auswirken. In einer „Dränanleitung“ können aber die Probleme der Vorflut nur gestreift werden.

Für notwendig erachtete Veränderungen an bestehenden Wasserläufen oder Neuanlage von Vorflutern sind Eingriffe in den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes, und damit in die Ökologie. Sie fallen in den Aufgabenbereich der örtlich zuständigen Wasserwirtschaftsämter oder anderer Verwaltungsbehörden (Kreise, Städte usw.). Es müssen die Gesetze und Verordnungen zum Wasserhaushalt, Umweltschutz, Natur- und Landschaftspflege, Raumordnung u. dgl. m. berücksichtigt werden. Es dürfen im besonderen geschützte Feuchtgebiete nicht beeinträchtigt werden. Die Breite einer notwendigen Schutzzone aus hydrologischer Sicht kann empirisch aus der

Bodendurchlässigkeit und der geplanten Ausbautiefe der Vorfluter oder Sammler berechnet werden nach

$$l = 200 \cdot h \cdot k_f;$$

hierin bedeuten:

l = Breite der Schutzzone (in m),

h = geplante Ausbautiefe (in m),

k_f = Bodendurchlässigkeit (in m/d).

Der Ausbau von Wasserläufen sowie der Schöpfwerksbau gehören zum „Landwirtschaftlichen Wasserbau“ [7.2, 7.5, 7.23, 7.31].

7.1.1 Natürliche Vorflut

Vorfluter (Bäche, Gräben) sollen so tief sein, daß die Dränausmündungen gemäß DIN 1185 (Blatt 1) **über** dem mittleren Sommerwasserstand (SoMW) liegen, mindestens aber 20 cm über der Sohle. Bei Tiefkulturmaßnahmen sollen die Gräben so tief sein, daß ihr SoMW ≥ 20 cm unterhalb der Tiefflugsohle liegt (Bild 4.9).

Ist die derzeitige Vorflut für die geplante Dränmaßnahme nicht ausreichend, so ist zu prüfen (Kap. 3.2), ob durch einen (teilweisen) Ausbau – im Moor unter Berücksichtigung der zu erwartenden Sackung (Kap. 7.3.1) – eine ausreichende Grabentiefe erreicht werden kann.

Die Querschnitte der Vorfluter sollen die häufigsten Hochwasser (HW), bei Grünland nur die SoHW bordvoll abführen. Bei Einzugsgebieten $< 2 \text{ km}^2$ kann allgemein ein hydraulischer Leistungsnachweis unterbleiben, wenn die Sohlbreite $s = 0,5 \text{ m}$, die Tiefe $t = 1,4 \text{ m}$ und das Böschungsverhältnis 1:1 oder flacher ist. Grundsätzlich sollte die Ökologie eines Baches oder Grabens möglichst wenig geschädigt werden [4.8], daher sollte der Ausbau „naturnahe“ erfolgen. Das bedeutet, es muß:

- bei N_q und M_q ein Mindestwasserstand von 25 cm gewährleistet sein, was ggf. durch Sohlschwellen sicherzustellen ist;
- der Wasserlauf so eingrünt werden, daß die Wasserfläche beschattet wird, z. B. mittels Roterlen am Böschungsfuß, wodurch sich zugleich die Unterhaltungskosten stark vermindern lassen [7.5].

7.1.2 Dränschöpfwerk

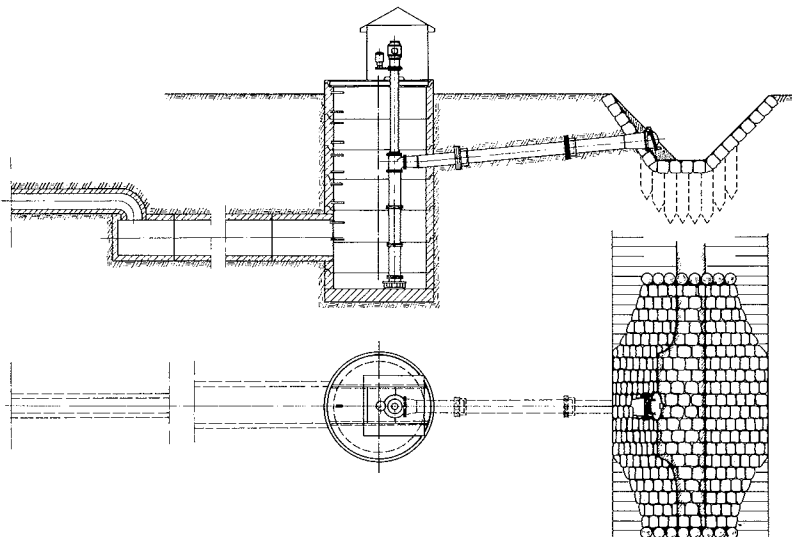
Kann die erforderliche Vorfluttiefe nicht durch Ausbau oder nur mit ungewöhnlich hohen Baukosten erreicht werden, so ist zu prüfen, ob ein Dränschöpfwerk angezeigt ist. Dabei sind insbesondere auch die geohydrologischen Verhältnisse zu untersuchen (Kap. 3.4), weil die erforderliche Pumpenleistung wie auch die späteren Betriebskosten (vor allem Stromkosten) stark vom Fremdwasseranteil abhängen (Tabelle 7.1). Unter normalen Bedingungen sind sie geringer als vielfach angenommen wird.

Tabelle 7.1 Betriebskosten für automatisch-elektrische Dränschöpfwerke in Abhängigkeit vom Fremdwasseranteil

Betriebskosten DM/ha · a	Fremdwasser
<5	kein
6 – 7	wenig
8 – 10	mäßig
12 – 17	viel
>20	sehr viel

Richtlinien für die Planung von Schöpfwerken gibt DIN 1184. Hier wird nur auf (Drän-) Schöpfwerke für verhältnismäßig kleine Entwässerungsgebiete hingewiesen, z. B. für Drängebiete < 100 ha mit Rohrzulauf (Bild 7.2 und 7.3). Bei größeren Flächen wird der Schöpfwerks-Zubringer als Graben ausgeführt; das Schöpfwerk erhält aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit dann zwei oder mehr Pumpenaggregate verschiedener Leistung.

Für Dränflächen mit „wenig“ Fremdwasser kann nach Tabelle 6.2 eine Abflußspende von $q = 1 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ als Erfahrungswert (Nordwestdeutschlands) für die Bemessung eines Dränschöpfwerkes unterstellt werden; für größere Hochwasser kann ggf. eine Freiflut (Rohrleitung mit Rückstauklappe) vorgesehen werden. Im Normalfall reicht eine manometrische Förderhöhe von 2 bis 3 m aus. Für solche Bedingungen gibt Tabelle 7.2 eine Übersicht der

**Bild 7.1** Dränschöpfwerk mit vertikaler Pumpe und Elektromotor

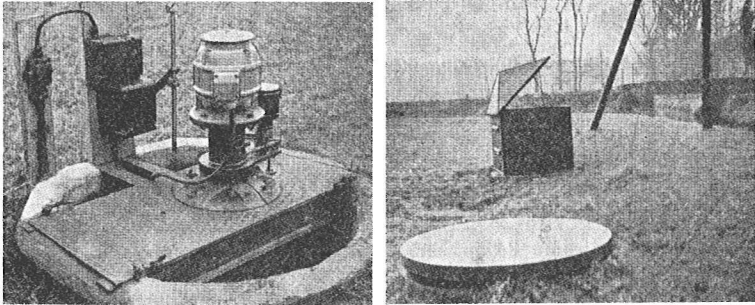


Bild 7.2 Dränschöpfwerk für Einzugsgebiet von etwa 50 ha

wichtigsten Schöpfwerksdaten [7.30]. Die Baukosten enthalten jedoch nicht die Kosten der Stromzuführung, die sehr variabel sein können. Schöpfwerke mit vertikaler Schaufelradpumpe sind einfach, zuverlässig und von langer Lebensdauer, sie sind wenig störungsanfällig, arbeiten vollautomatisch und erfordern nur geringe Unterhaltungskosten.

Tabelle 7.2 Leistung für Dränschöpfwerke (man. Förderhöhe 2–3 m, wenig Fremdwasser)

Druckrohr \varnothing mm	100	175	200	250	300	350
max. Fördermenge l/s	23	55	80	120	200	300
Motorleistung kW	2	3	4	6	8	11
Baukosten DM/ha (ohne Stromanschluß)	410,-	350,-	290,-	240,-	200,-	170,-

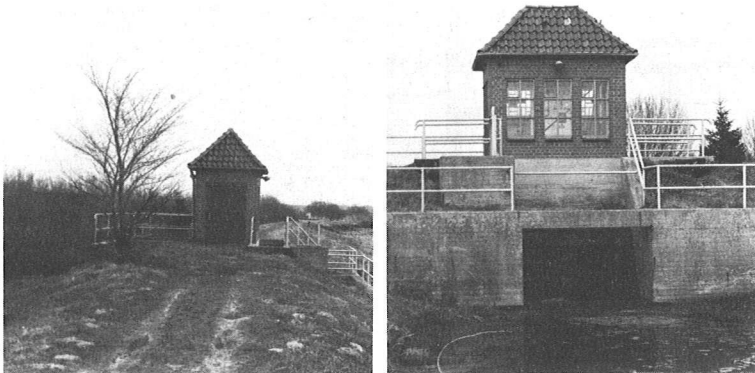


Bild 7.3 Schöpfwerk für Einzugsgebiet von rd. 400 ha, rechts Auslauf

Für sehr kleine Dränflächen (< 25 ha) mit Grünlandnutzung haben sich im windreichen Holland und Nordwestdeutschland bei Förderhöhen < 1 m auch vollautomatische, langsam laufende Wasserpumpen mit Windantrieb bewährt (Turmhöhe des Windpropellers 3–7 m). Sie sind robust, erfordern fast keine Betriebskosten und nur sehr geringe Unterhaltungskosten (Bild 7.4).



Bild 7.4 Windschöpfwerk für etwa 20 ha Einzugsgebiet, Turmhöhe rd. 7 m, Förderhöhe < 0,6 m

7.2 Rohrdränung – Allgemein

7.2.1 Dränabteilung

Alle Dränstränge, die das Wasser nach einer gemeinsamen Ausmündung leiten, bilden eine Dränabteilung. Ihre **Grenzen** werden allgemein durch örtliche Wasserscheiden, Wege, Hecken und Vorfluter bestimmt; sie sind vorweg festzulegen.

Die **Größe** einer Dränabteilung ist durch die größte Nennweite der Sammler begrenzt. Wenige große Dränabteilungen eines Drängebietes verringern die Anzahl der störungsanfälligen Ausmündungen. Bei Abflußstörung im Sammler kann jedoch ggf. ein größeres Gebiet betroffen werden.

Ausmündungen sind gemäß DIN 1185 nicht unmittelbar oberhalb von Brücken, Durchlässen und Wehren anzuordnen (Rückstau), auch nicht an Uferstreifen, die durch Abbruch oder Anlandung gefährdet sind. Die Sohle

der Ausmündung soll über SoMW, mindestens 20 cm über der Sohle des Vorfluters liegen. Gefährdete Ausmündungen sind besonders zu sichern (Böschungs- und Sohlpflaster o. dgl.).

7.2.2 Sammler

Sammler sind an den tiefsten Geländestellen anzuordnen. Übertiefen – beim Durchschneiden von Geländerrücken – und große Richtungsänderungen sind zu vermeiden. An Knickpunkten sind Kontrollschächte (Kap. 8.9) vorzusehen, ebenso bei Einmündung mehrerer Nebensammler oder bei Sammlerlängen $l > 500$ m (im Moor $l > 400$ m).

Die **Planungsgrundsätze** für Sammler enthält Tabelle 7.3.

Tabelle 7.3 Planungsgrundsätze für Sammler (nach DIN 1185, Bl. 2)

	Zeichen	Einheit	Rohrdränung und Rohrlose-Dränung	
			Mineralboden	Moorboden
Mindestgefälle				
Triebsand und Schluff	I_{\min}	%	0,45	–
stark eisenhaltiger Boden	I_{\min}	%	0,3	0,3
schluffiger Lehm	I_{\min}	%	0,25	–
sandiger Lehm	I_{\min}	%	0,2	–
toniger Lehm	I_{\min}	%	0,15	–
schwach eisenhaltiger Moorboden	I_{\min}	%	–	0,15
Marschboden	I_{\min}	%	0,05	–
Erwünschtes Gefälle	I_{opt}	%	4	0,4
Höchstgefälle	I_{\max}	%	8	4
Größte Wassergeschwindigkeit				
bei ungesicherten Stoßfugen	v_{\max}	m/s	1,5	1
Größte Länge ohne Schächte				
bei Gefahr von Versandung	l_{\max}	m	500	400
bei Gefahr von Verockerung insbesondere in Marschgebieten	l_{\max}	m	100 = Dränabstand ¹⁾	– ²⁾
Mindestnennweite				
für Rohrdränung	–	–	DN 65	DN 65
für Rohrlose-Dränung	–	–	DN 80	–
Maximale Nennweite ³⁾	–	–	DN 150	DN 150
Mindestüberdeckung	–	m	0,8	0,8
Mindestfläche der Öffnungen für den Wassereintritt ⁴⁾				
Tonrohr	–	cm ² /m	8	8
Kunststoffrohr	–	cm ² /m	8	8

¹⁾ An Saugereinmündung ist ein Dränschacht anzuordnen

²⁾ Keine Rohrsammler, sondern Rohrlose-Dränung anordnen

³⁾ Bei größerer Nennweite sind Beton- oder Steinzeugrohre mit Muffen zu wählen

⁴⁾ Sofern Saugerwirkung erwünscht

Dräntiefe ist der Abstand der Drängrabensohle von der Erdoberfläche; **Überdeckung** ist der Abstand des äußeren Rohrscheitels von der Erdoberfläche.

Die **Überdeckung** der Sammler soll $\geq 0,8$ m sein, die darf nur ausnahmsweise 0,7 m betragen (Begründung). Bei möglichen Maßnahmen der Unterbodenmelioration ist deren Arbeitstiefe zu berücksichtigen.

Die größte **Sammlerlänge** ergibt sich aus der größten Nennweite (Tabelle 7.3). Größere Lichtweiten sind in Muffenrohren auszuführen, in 200–300 m Abständen sind dann Kontrollschächte vorzusehen, in die gleichzeitig die Nebensammler einmünden.

Sammlerkreuzungen mit Straßen, Wegen, Vorflutern, Baumreihen und Hecken sind zu vermeiden! Ist dies gelegentlich nicht zu umgehen, so müssen **gedichtete** (statisch ausreichende) Rohre (z. B. Steinzeug-, Beton-, Kunststoffrohre) verwendet werden, ggf. auf Holzbohlen oder Betonfundament.

Werden Anlagen von **Bahn, Post, Wasserwerk** oder von anderen Energieträgern gekreuzt, so sind deren Forderungen maßgebend! (Zustimmung **vorher** schriftlich einholen!).

Bei Gefahr von **Oberflächenerosion**, z. B. in engen, tiefen Geländeeinschnitten, sind vorteilhaft zwei Parallel-Sammler beidseitig im Dränabstand zu planen.

Wird die max. **Fließgeschwindigkeit** im Sammler gemäß Tabelle 7.3 überschritten, so besteht die Gefahr der Bodenerosion. Es sind Absturzschräbte (Kap. 8.9) vorzusehen, oder der Sammler ist zick-zack-förmig zu führen oder die Rohrstöße sind gegen Ausspülung zu sichern (50 cm hohe und 20 cm dicke eingestampfte Ton- oder Betonrippen bis unter Rohrsohle, Abstand etwa 20 m).

Eine ausreichende Zahl von **Dränschächten** erleichtert die Überwachung und Unterhaltung der Sammler. Gemäß DIN 1185 sind Dränschächte erdüberdeckte Schächte oder Kontrollschächte mit und ohne Sand- (Schlamm-) fang, die bis auf die oder über die Geländeoberfläche reichen (Bild 8.26). Dränschächte sind notwendig beim Zusammenfluß von zwei oder mehr Sammlern, bei Übergang von starkem zu schwachem Gefälle sowie bei größeren Sammlern, wenn diese ihre Richtung erheblich ändern. Kontrollschächte sind bei Versandungs- und Verschlammungsgefahr erforderlich. Kreuzt ein Sammler einen Steilhang, so kann ein Absturzschräbte angelegt werden (Bild 8.27).

7.2.3 Sauger

Bei Geländegefälle $I > 0,5\%$ ist die **Saugerlage** quer (oder schräg) zur stärksten Neigung als Querdränung zu planen. Längsdränung in Richtung des größten Gefälles ist gemäß DIN 1185 nur ausnahmsweise zulässig (Bild 7.5).

Das Wasser fließt im Gelände quer (= senkrecht) zu den Höhenlinien; Querdräne fangen das (ober- und unterirdische) Wasser ab. Bei Längsdrä-

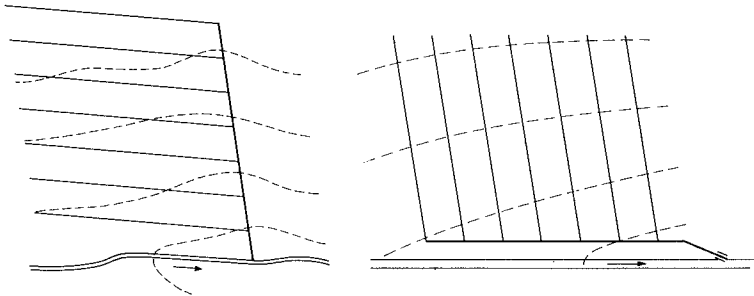


Bild 7.5 Quer- und Längsdrainage (rechts)

nen ist die Wirksamkeit infolge Parallelströmung eingeschränkt, zusätzlich besteht im lockeren Drängraben die Gefahr einer Tiefenerosion.

Die oberen **Saugerenden** sind an quer zu ihrer Richtung liegende Dräne bis auf halbem Dränabstand ($= a/2$), bei zunehmender Schräge auf $a/3$ heranzuführen. **Randdräne**, die parallel zu einer Grenze verlaufen sind auf halbem Dränabstand, parallel zu tiefen Gräben auf ganzem Dränabstand vom Böschungsfuß, zu projektieren. Von Grenzsteinen ist ein Abstand ≥ 1 m einzuhalten.

Die **Planungsgrundsätze** für Sauger enthält Tabelle 7.4.

Bei der Wahl der **Dräntiefen** sind Boden und Klima sowie die vorzugsweise angebauten Nutzpflanzen zu berücksichtigen. Auch mögliche Betriebs- und Nutzungsänderungen sollen beachtet werden (Moor vgl. Kap. 7.3.1).

Für landwirtschaftlich genutzte Mineralböden ist angezeigt [7.31]:

Eine **sehr seichte** Saugeranlage ($t \leq 0,7$ m) bei:

- kleinen Teilflächen mit unzureichender Vorflut;
- Schluff oder Triebsand, wenn er in tieferer Lage angeschnitten würde.

Eine **seichte** Saugeranlage ($t = 0,8-0,9$ m) bei:

- gering durchlässigem Boden (Haftnässeboden);
- Schluff oder Triebsand, wenn er in tieferer Lage angeschnitten würde;
- gering durchlässigen Böden, wenn diese in tieferer Lage angeschnitten würden (Stauwasserböden).

Eine **mittlere** Saugerlage ($t = 1,0-1,2$ m) bei:

- Böden mittlerer Durchlässigkeit.

Eine **tiefe** Saugerlage ($t = 1,3-1,5$ m) bei:

- tiefgründigen, nährstoff- und kalkreichen Böden;
- gut durchlässigen Schichten, wenn diese in tieferer Lage angeschnitten würden;
- Anbau tiefwurzelnder Pflanzen (z. B. Luzerne, Rüben, Raps).

Eine **sehr tiefe** Saugerlage ($t = 1,5-1,8$ m) bei:

- Hopfenanbau.

Tabelle 7.4 Planungsgrundsätze für Sauger (nach DIN 1185, Bl. 2)

	Zeichen	Einheit	Rohrdränung		Rohrlose-Dränung ¹⁾	
			Mineralboden	Moorboden	Mineralboden	Moorboden
Mindestgefälle	I_{\min}	%	0,3 ²⁾	0,3 ²⁾	0,1 ³⁾	0,1 ³⁾
Erwünschtes Gefälle	I_{opt}	%	1–3	0,3–0,5	1	0,3–0,5
Höchstgefälle	I_{\max}	%	8	1	3	1
Größte Länge						
Querdränung	l_{\max}	m	200	150	100	120
Längsdränung und bei Gefahr von Verschlammung in Marschgebieten	l_{\max}	m	150	150	100	120
Mindestnennweite	–	–	DN 50	DN 50	80	–
Preßkopfdurchmesser	–	mm	–	–	100	120
Dräntiefe						
wenig durchlässiger Boden	t	m	0,8 bis 1	0,9	0,5–0,6	200–0,9 ⁴⁾
durchlässiger Boden	t	m	1–1,2	1,2	–	1,3
Marschboden						
Beetrand	t	m	0,7	–	–	–
Beetmitte	t	m	1,1	–	–	–
Sonderkulturen			u. U. gr. Tiefen je n. Wurzelt.			
Mindestflächen der Öffnungen für den Wassereintritt						
Tonrohr	–	cm ² /m	8	8	–	–
Kunststoffrohr	–	cm ² /m	8	8	–	–

¹⁾ Gilt auch für Schlitzdränung

²⁾ Bei künstlichem Gefälle bis 0,1% zulässig, jedoch nicht bei eisen- und schluffreichen Böden

³⁾ Auf Längen bis 20 m ausnahmsweise auch 0% zulässig

⁴⁾ Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Moorsackung

Die **Saugerlänge** ist gemäß DIN 1185 bei Querdränung im Mineralboden auf 200 m (Moor auf 150 m), bei Längsdränung auf 150 m begrenzt.

Saugerkreuzungen mit Vorflutern, Straßen und Wirtschaftswegen sind nicht statthaft, ggf. sind Nebensammler anzuordnen (Bild 7.6).

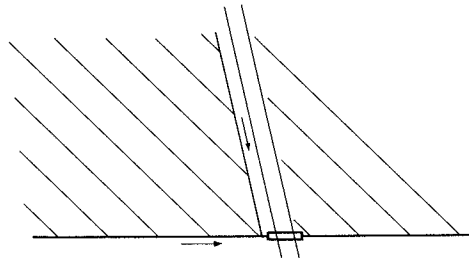


Bild 7.6 Abfangen von Saugern beim Wegebau usw.

Die **Saugereinmündung** im Sammler erfolgt allgemein von oben (Ausnahme: Verockerungsgefahr (vgl. Kap. 5.6). Es sind Formstücke zu verwenden (Haken- und Lochrohre). Spitze Winkel sind zu vermeiden. Liegt ein Sammler wesentlich tiefer als die Sauger, so ist ein paralleler Nebensammler in der Höhenlage der Sauger vorzusehen.

Die **Mindestnenneweite** für Sauger bei der Rohrdränung beträgt DN 50.

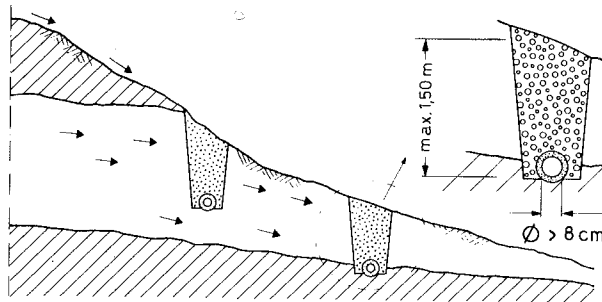
Ein **Saugergefälle** $\geq 0,3\%$ ist einzuhalten, es kann im Moor und bei künstlichem Gefälle (z. B. in der Marsch) unterschritten werden.

7.2.4 Quellen und Fremdwasser

Quellen und seitlich zuströmendes Fremdwasser belasten und gefährden jede Dränmaßnahme. An Talrändern ist stets zu prüfen, ob gespanntes Grundwasser auftritt (Kap. 2.2 und 3.3.4); es ist bei der Bemessung des Dränabstandes zu berücksichtigen (Kap. 6.6).

Quellen sind vorweg zu fassen (Bild 7.7), wobei der Drängraben mit durchlässigem Sickermaterial zu verfüllen ist. Quellen sind nach DIN 1185 gesondert abzuleiten, wenn sie:

- verhältnismäßig viel Wasser spenden oder
- ständig (ganzjährig) Wasser führen oder
- ihr Wasser hohe Eisengehalte (Tabelle 3.12) hat (= Verockerungsgefahr!).



Bid 7.7 Fangdrän für Fremdwasser (nach DIN 1185, Bl. 1)

Seitlich ober-/unterirdisch zufließendes **Fremdwasser** ist gemäß DIN 1185 durch **Fangdräne** zu fassen. Sie sind quer zur Strömung anzuordnen. Oft sind mehrere Fangdräne erforderlich (Einzelheiten in Bild 7.7), sie sind grundsätzlich **vor** der eigentlichen Dränmaßnahme auszuführen.

7.2.5 Oberflächenmulden

Oberflächenmulden vernässen bevorzugt durch zusammenrinnende Niederschläge. Können solche Teilflächen durch Gräben oder Gruppen nicht oder

nur schwierig entwässert werden, so sollten sie (bei Acker nur ausnahmsweise) durch besondere Rohrdräne oder/und Schlucker entwässert werden (bei Acker ist die Gefahr der Verschlämzung sehr groß).

Schlucker sind Stein- und Kiesfilter, die gemäß Bild 7.8 auszuführen sind. Bei Acker sollte die Mächtigkeit der Krume ≥ 30 cm sein. Schlucker sollten – wegen der Verschlämzungsgefahr – niemals über Sammler angeordnet werden, sie sind vielmehr durch kurze Nebendräne anzuschließen (Bild 7.8 – oben). Es können auch kurze Sauger mit Grabensickerung (wie Fangdrän Bild 7.7) vorgesehen werden; auch Dränplatten aus Styropor könnten geeignet sein (Kap. 8.6). Unterhalb von Schluckern oder Dränen mit Sickerung ist im betreffenden Sammler ein **Kontrollschacht** vorteilhaft.

7.2.6 Abflußstörungen

Abflußstörungen können in Sammlern und Saugern durch Ablagerung von (Fein-) Sand, Schlamm (Schluff), Eisenocker, Bakterien, Algen, Pilzen oder durch eingewachsene Wurzelschöpfe entstehen.

Ist solche Gefährdung vorhersehbar, so sind gemäß DIN 1185 kleine Dränssysteme mit Saugerlängen ≤ 150 m mit sohlengleicher Einmündung

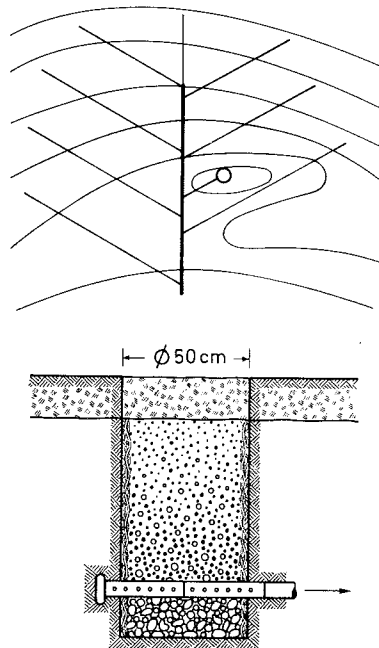


Bild 7.8 Entwässerung von Oberflächenmulden durch Schlucker mit Nebensammler [7.10]

vorzusehen. Versanden und Verschlammungen kann durch geeignete Dränfilter (Kap. 8.3) oder seichte Saugerlage (Kap. 7.2.3) vermieden werden.

Bei Verockerungsgefahr muß Kap. 5.6 beachtet werden.

Eine Selbstreinigung von abgelagertem Schlamm im Dränrohr kann nach Bild 6.4 bereits bei halbvollaufendem Rohr erwartet werden, d. h. bei Gefälle größer als 1 min. (Tabelle 7.3 und 7.4).

Schwefelalgen treten (in Niederungen und Moor) allgemein nur in der Nähe der Ausmündungen (in etwa 10 m Länge) auf und können leicht mittels Draht beseitigt werden.

Sickerwässer von Silos zur Gärfutterbereitung sind von der Dränung fernzuhalten. Solche Sickerwässer weisen sehr hohe Gehalte an Kohlehydraten und organischen Stickstoffverbindungen auf. Gelangen diese mit dem Sickerwasser in die Sauger/Sammler, so bauen sie – zusammen mit den im Sickerwasser enthaltenen Algen, Pilzen und Bakterien – sehr rasch ein mikrobielles Lebenssystem auf, bestehend aus polysaprophytischen Organismen, auch „Abwasserpilze“ genannt. Die Dränrohre füllen sich mit zottig-schleimigen bis schwammigen Ablagerungen von weiß bis gelblicher, bei Verockerung auch bräunlicher Farbe; sie riechen nach Schwefelwasserstoff. Sie können den Dränabfluß nahezu völlig verhindern. Es hat sich gezeigt, daß unterhalb eines nur einjährigen Erdsilos (Rübenblatt) nach erfolgreicher Spülung im folgenden Winterhalbjahr die Dränverstopfung erneut auftrat [7.16]. Es muß also mit mehrjähriger Nachwirkung gerechnet werden, weil die Mikroorganismen im Bodenraum oberhalb der Dränrohre über mehrere Jahre weiterleben und daher die Gefahr für Abflußstörung erhalten bleibt.

Auch extrem hohe Mengen von flüssigen Wirtschaftsdünger (z. B. aus Massentierhaltungen) können zu Abflußstörungen in Dränsystemen führen, wie folgender Vorfall zeigte. Von einem Landwirt wurde, weil der Traktor mit Güllewagen sich auf einem gedränten Feld festgefahren hatte, das Güllefaß an der betreffenden Stelle entleert. Schon wenige Wochen danach wurde dort ein Versagen der Rohrdränung festgestellt. Mehrere aufgegrabene Sauger zeigten ähnliche Ablagerungen wie oben dargelegt.

Das Einwachsen von Pflanzenwurzeln kann durch Umhüllen der Dränrohre mit schwefelkieshaltiger Schlacke erschwert werden. Sammler, die in abgetrocknetem Boden noch Wasser führen, sind besonders gefährdet, hier empfehlen sich gedichtete Rohrstöbe.

Spätere Spülmaßnahmen können durch häufige Kontrollschächte oder Einzeldräne erleichtert werden (Kap. 10.4).

7.3 Besonderheiten der Rohrdränung

7.3.1 Moordranung

Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein entwässertes Moor sackt (Kap. 3.2). Die das Moor aufbauende Torfe besitzen – im Gegensatz zu Mineralböden – kein stabiles Stützgerüst. Alle Torfe weisen ein labiles, faserig-schwammiges Gefüge auf. Der Porenraum von 97–80 Vol.-% ist nahezu vollständig wassererfüllt (Bild 2.10). Wird ein Moor entwässert, so ändert sich das Gefüge des Torfes. Die bisher wassererfüllten Groporen werden entleert und nachfolgend zusammengedrückt. Dadurch verringert sich die Durchlässigkeit für Wasser und Luft (Bild 7.9). Im Verlauf einer mehrere jahrzehntelangen

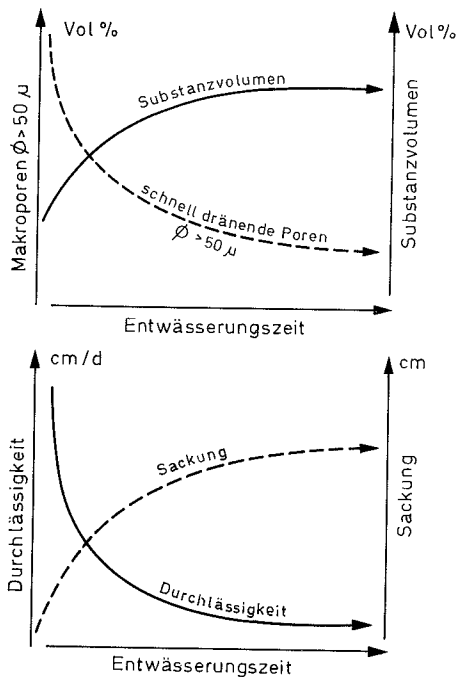


Bild 7.9 Zeitlicher Einfluß der Entwässerung im Moor auf Gefüge, Sackung und Durchlässigkeit [7.3]

Entwasserungsphase entsteht aus dem Grundwasserstandort „Moor“ ein zu Stau- und Haftwasservernassung neigender Moorboden.

Eine durch Entwässerung ausgelöste Bodendynamik hört praktisch kaum mehr auf, sie ist als Moorsackung seit langem bekannt. Die nach Entwässerung auf normale Dräntiefe im Moor zu erwartende **Oberflachensackung**

wird nach der empirischen Sackungsformel von Hallakopri-Segeberg [7.25] vorausberechnet (Bild 7.10), bei wiederholt entwässerten Mooren sackt die Mooeroberfläche nur noch etwa 1–3 dm [7.9].

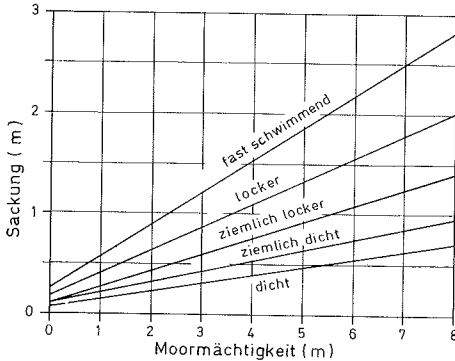


Bild 7.10 Nomogramm der empirischen Sackungsformel [7.25]

Die Sackungsformel lautet: $S = a (0,080 T + 0,066)$; hierin bedeuten: S = Sackung, T = Moortiefe (beides in m) und a = Faktor der Lagerungsdichte, die über das Substanzvolumen analytisch bestimmt werden kann (Kap. 3.9.1). In Tabelle 7.5 sind Zusammenhänge zur Vorentwässerung angedeutet. Die Moorsackung ist in DIN 19683, Bl. 14 u. 19 ausführlich beschrieben.

Tabelle 7.5 Beziehungen zwischen Vorentwässerung, Lagerungsdichte, Substanzvolumen und Sackungsformel für Moorentwässerung [7.25]

Beurteilung nach Vorentwässerung (im Gelände)	relative Lagerungsdichte	Substanzvolumen %	Faktor a in Formel	Sackungsformel
keine	fast schwimmend	< 3	4,0	$S = 0,32 T + 0,26$
sehr gering	locker	3 – 5	2,85	$S = 0,23 T + 0,18$
gering – mäßig	ziemlich locker	5 – 7,5	2,0	$S = 0,16 T + 0,13$
mäßig – gut	ziemlich dicht	7,5 – 12	1,4	$S = 0,11 T + 0,10$
intensiv + lang	dicht	> 12	1,0	$S = 0,08 T + 0,07$

Bei Moorprofilen mit geschichteten Torfen wechselnder relativer Lagerungsdichte sind die Schichtsackungen schrittweise zu bestimmen. Da die (empirische) Formel sich auf gemessene Oberflächensackung stützt, müssen Schichtsackungen tieferer Torflagen stets als Differenz aus Oberflächen- minus Teilsackung der darüber liegenden Schicht ermittelt werden. Das nachstehende Beispiel veranschaulicht den Rechengang, der sich auch aus dem Gebrauch des Diagramms (Bild 7.10) ergibt. Die Summe der Schichtsackungen stellt dann die Gesamtsackung der Mooeroberfläche dar.

0–1,5 m; zieml. dicht;	$S = 0,11 \cdot 1,5 + 0,10$	= 0,27 m
1,5–3,0 m; zieml. locker;	$S = (0,16 \cdot 3,0 + 0,13) - (0,16 \cdot 1,5 + 0,13)$	= 0,24 m
3,0–5,0 m; locker;	$S = (0,23 \cdot 5,0 + 0,18) - (0,23 \cdot 3,0 + 0,18)$	= 0,46 m
		Gesamtsackung = 0,97 m

Tatsächliche Oberflachensackungen können um $\pm 25\%$ von vorausberechneten abweichen. Die Moorsackung S gilt für eine Dräntiefe von 1,1 m; Abweichungen \pm sind proportional nach

$$S' = S \frac{1,1 \pm b}{1,1}$$

zu berücksichtigen.

Weitere Höhenverluste infolge Abtorfung, Planierung, Rodung u. a. sind gesondert zu berücksichtigen [7.3]. Bei Ackernutzung ist infolge Oxidation mit weiterem Höhenverlust von 1–3 cm/Jahr in mitteleuropäischen, von 5–12 cm/Jahr in subtropischen und tropischen Mooren zu rechnen [7.4].

Wasserentzug vermindert im Moor den Auftrieb. Im tiefgründigen Moor sacken daher alle Torfschichten (Bild 7.11). Die Schichtsaackungen oberhalb der Dräne sind größer als unterhalb, so entsteht ein **Drantiefenverlust**. Er sollte bei der Dränplanung berücksichtigt werden (Tabelle 7.6). Schon bei „lockerer“ Lagerungsdichte der Torfe verbietet sich danach eine Rohrdränung (Versackungsgefahr!).

Dränplanung im Moor ist bevorzugt nach dem Relief des mineralischen Untergrundes vorzunehmen (Bild 3.2 und 3.3). Sammler sind über die Untergrundtaler zu planen, weil dort die größten Saackungen auftreten. Bei Oberflachensackung $S' > 0,5$ m sind Einzeldräne mit „offenen Sammlern“ (= Gräben) vorzuziehen.

Dräntiefen im Moor sollen endgültig betragen bei:

- stark durchlässigen Torfen $t = 1,2$ m;
- schwach durchlässigen Torfen $t = 0,9$ –1,0 m.

Die Zuschläge (Tabelle 7.6) sind zu beachten. Unterschiede im Hinblick auf die Nutzung entfallen (Ausnahme: Tiefpflugkultur vgl. Kap. 4.4 und 7.8.2).

Rohrdräne sind aus Kostengründen nur bei ausreichend durchlässigen Torfen empfehlenswert ($k_f \geq 0,06$ m/d). Solche Moore zählen zu den Grundwasserböden. Dränabstände können gemäß Kap. 6.3 jedoch nur berechnet werden, wenn die nach Ablauf der Moorsackung **zu erwartende Durchlässigkeit** unterstellt wird (Bild 7.9).

Die Dränabstände (Bild 7.12) können für Hochmoor und Niedermoor in Abhängigkeit von Zersetzungsgrad und Vorentwässerung bestimmt werden. Diese Dränabstände gelten für einen mittleren Jahresniederschlag von 700 mm. Für je 100 mm mehr bzw. weniger Jahresniederschlag sind die Dränabstände um 1 m zu verringern oder zu erweitern. Je mächtiger die

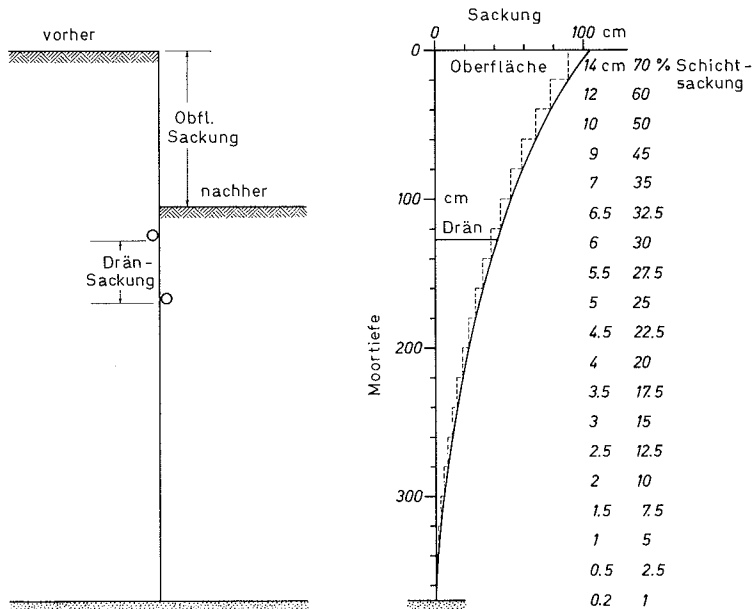


Bild 7.11 Oberflächen- und Dränsackung im Moor [7.3]

Tabelle 7.6 Zuschläge in % zu den erwünschten Drän- oder Grabentiefen im Moor in Abhängigkeit von der relativen Lagerungsdichte [7.3]

relative Lagerungsdichte	Erwünschte Sohlentiefe nach Sackung					
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8 m
	% Zuschläge					
dicht	10	12	14	16	18	20
ziemlich dicht	15	17	20	23	25	28
ziemlich locker	21	26	30	34	38	42
locker	31	38	45	51	58	65
fast schwimmend	keine Rohrdränung					

durchlässige Torfschicht ($D > 0,5$ m) unterhalb Dränsohle ist und je höher der Holzanteil der Torfe ist (= Bruchwaldtorf), desto mehr darf der Dränabstand erweitert werden. Das Ausmaß der Vorentwässerung kann örtlich nach Dauer, Tiefe und Intensität geschätzt werden.

Beispiel:

1. Niedermoor, mäßig vorentwässert:

Gegeben: Zersetzungsgrad (im Mittel) H 5–6;

gesucht: Dränabstand.
 Nach Bild 7.12 – links ergibt sich: anfangs ist $a = 17$ m ausreichend,
 später (nach Ablauf der Sackung) ist ein Dränabstand von $a = 11$ m angemessen.

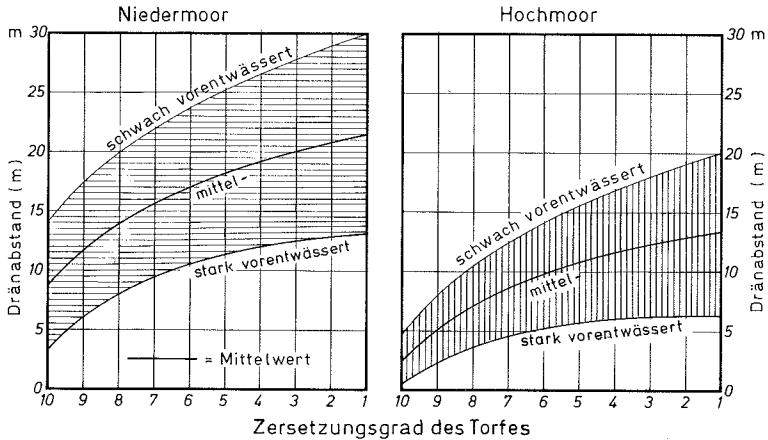


Bild 7.12 Nomogramm zur Bestimmung des Dränabstands für nordwestdeutsche Moore in Abhängigkeit von der Intensität der Vorentwässerung

2. Hochmoor

Gegeben: Zersetzungsgrad (im Mittel) H 2–3,

gesucht: Dränabstand.

Nach Bild 7.12 – rechts ergibt sich:
 schwach vorentwssert $a = 19$ m, etwa zwei Jahrzehnte später
 $a = 12,5$ m, endgültig $a = 6$ bis 7 m; daher empfiehlt sich hier
 eine Rohrlose-Dränung (Tabelle 5.1 und 5.3 Bild 7.20).

Im Moor hat sich die grabenfrei verlegte Rohrdränung bewährt. In Mooren mit stark zersetzten Torfen herrscht Stau- und Haftwasservernssung vor. Dort ist Rohrlose-Dränung (Maulwurfdränung) angezeigt mit Einzelausmndungen (Kap. 4.2, Tabelle 5.7 und 5.3, Bild 7.20).

In Moorböden müssen die relativ schweren Tonrohre fast immer gegen Versacken und Verschieben geschtzt werden (z. B. durch Lattenrost oder Dränmuffen). Dies ist bei den spezifisch leichten PVC-Dränrohren nicht nötig (Tabelle 7.7), die beim Verlegen gegen Auftrieb geschtzt werden müssen.

In flachgründigen Hochmooren mit geeignetem Sanduntergrund ist an Stelle einer Rohrdränung das Tiefpflügen vorzuziehen (Kap. 4.4).

Bei durch Sackung sekundär verdichteten Moorkulturen (Grnland), die trotz einwandfreier Rohrdränung unter zeitweiliger Staunässe (Oberflächen-

Tabelle 7.7 Rohrgewicht und Sohldruck von Tonrohr und PVC-Dränrohr im Verhältnis zu Torf

Material	spez. Gewicht p/cm ²	Sohldruck p/cm ²
Tonrohr	1,7	15
PVC-Dränrohr	1,3	3
Torf (naß)	1,0	1

nässe) leiden, kann eine Schlitzung der Mooroberfläche auf 2–4 m Abstand quer zur Dränung den Wasserüberschuß beheben [7.13].

7.3.2 Marschdränung

Für die Marschdränung gelten besondere Regeln, wobei Erfahrungen der Praxis und Erkenntnisse der kulturtechnisch-bodenkundlichen Forschung gleichermaßen zu beachten sind. Aus geologisch-geographischer Sicht werden unterschieden See-, Brack-, Knickbrack- und Flußmarsch; daneben gibt es die bodengenetische Gliederung nach Salz-, Kalk-, Klei- und Knickmarsch sowie Moormarsch [7.12].

Durch jahrhundertelange Nutzung ist in der Marsch – je nach den örtlichen Verhältnissen – ein meist engmaschiges Netz flacher Gruppen oder tiefer Beetgräben mit mehr oder weniger gewölbten Beeten entstanden. Gemäß DIN 1185 ist auf die natürliche und künstliche Bodenschichtung bei der Dränung und den Folgemaßnahmen weitgehend Rücksicht zu nehmen.

Mangelhafte Vorflut im ebenen Gelände, Gefahr der Verschlammung und Verockerung sowie das engmaschige Grabennetz lassen allgemein nur Einzelsauger zu. Systematische Rohrdränungen auch mit verrohrten Vorflutern als Hauptsammler mit Dränschöpfwerken sind möglich, wenn die hydraulischen Bedingungen es zulassen [7.17]. Sie haben sich bewährt, denn sie ermäßigen die Unterhaltungskosten und vermindern den Flächenverlust durch Gräben bei allerdings hohen Baukosten.

Der **Dränabstand** richtet sich häufig nach den Abständen der Gruppen oder Beete. Bei flachen Gräben werden die Sauger auf einer Seite oder unter die Gruppensohle verlegt, bei tiefen Beetgräben zu beiden Seiten. Bei 1 m Dräntiefe sind folgende durchschnittliche Dränabstände angezeigt [7.12]:

Seemarsch:	a = 10 bis 20 m
Brackmarsch:	a = 8 bis 15 m
Flußmarsch:	a = 8 bis 20 m.

Knickbrackmarsch ist ein Haftnässeboden, eine Rohrdränung darin ist kaum wirksam; mehr als bisher sollte Rohrlose-Dränung (Maulwurfdränung) erwogen werden (Kap. 4.2 und 5.2).

Die **Dräntiefe** am Saugeranfang sollte auch nach teilweise verebneten Beeten und verfüllten Beetgräben noch ausreichen. Eine mittlere Dräntiefe $t > 1$ m ist allgemein vorteilhafter als flache mit engen Abständen, Ausnahme:

Knickmarsch sowie bei grabenfrei verlegter Rohrdränung, man beachte auch Tabelle 5.1.

Bei Verschlämmungs- und Verockerungsgefahr ist die **Saugerlänge** auf 100 m zu begrenzen, ein **Mindestgefälle** von 0,3% einzuhalten, wegen Dränfilter vgl. Kap. 5.1.3 und 8.3.

Bei systematischen Rohrdränungen kann das Sammlergefälle auf 0,05% ermäßigt werden. Überdeckte Dränschächte (\varnothing 0,5 m) sind im Abstand < 70 m anzuordnen. An der Mündung der Sammler in verrohrte Vorfluter sind Kontrollschächte (Bild 8.26) vorzusehen.

Nach Rohrdränung ist ein **Verebnen der Bodenoberfläche** möglich; es ist jedoch dafür Sorge zu tragen, daß Oberflächenwasser in verbleibenden Mulden (über den ehemaligen Gruppen) abfließen kann. Der humose Oberboden sollte bei Verebnung weitgehend erhalten bleiben. Es darf nur bei ausreichend abgetrocknetem Boden planiert werden. Eine allmähliche Bettverebnung im Zuge der Ackernutzung ist günstiger als sofortige (einmalige) Planierung [7.12].

Bei Dräntiefen $t > 1$ m werden oft hoch bis sehr hoch durchlässige Bodenschichten erreicht, die größere Dränabstände (Kap. 6.3) erlauben, man beachte jedoch Tabelle 5.1.

Das Bodengefüge von Marschböden kann durch Kalkung und P-Düngung günstig beeinflusst werden, daher sind physikalische und chemische Bodenanalysen angezeigt (Kap. 3.9).

7.3.3 Weingarten-Dränung

Weingärten sind in Deutschland aus klimatischen Gründen meist nur an Hängen angelegt. Sind diese steiler als etwa 10%, so können Quellen (Naßgallen) oder auch Schichtwasser auftreten. An flachen Stellen kommen auch Stau- oder Haftnässe vor.

Nach DIN 1185 (Blatt 1) ist stets die **Ursache** der Vernässung zu klären (Kap. 2 und 3), u. a. durch:

- Feststellen des geologischen Aufbaues (Streichen und Fallen der Schichten);
- Beobachtung von Quellen und Schichtwasser nach Schneeschmelze oder längeren Niederschlagsperioden;
- Bodenkundliche Aufnahme (Bodenart und -typ, Bodengefüge).

Quellen und Schichtwasser sind durch **Fangdräne** oder Schlucker zu fassen und abzuleiten (Kap. 7.2.4). Auf die Rebanlage kann dabei nicht immer Rücksicht genommen werden.

Weinbergwege sind hangseitig durch Sammler (DIN ≥ 80) mit Sickerung (Tiefe: 0,8–1,0 m) bis in Höhe des Wegeunterbaues zu entwässern.

Unbestockte Weinberge sind quer oder schräg zu dränen; ist bei bestockten Weinbergen ausnahmsweise Längsdränung erforderlich, so sind in Abständen von etwa der dreifachen Strangentfernung Fangdräne anzuordnen (Kap. 7.2.4); max. Fließgeschwindigkeit (Tabelle 7.3) und Höchstgefälle

(Tabelle 7.4) dürfen nicht überschritten werden; Tiefenerosion muß verhindert werden (Kap. 7.2).

Bei durchlässigem Untergrund sind **Sammler** in gedichteten Rohren vorzusehen, um ein Versickern zu verhindern.

Bei stau- und haftnassen Böden ist zusätzlich zur Querdränung eine Unterbodenmelioration angezeigt (Kap. 4.3 und 5.3), die Dränggräben sind bis über den Rigolhorizont mit Filtermaterial zu verfüllen.

Als **Dräntiefe** der Sauger haben sich 1,0–1,2 m bewährt, das früher befürchtete Einwachsen von Rebwurzeln wurde gemäß DIN 1185 (Blatt 1) kaum beobachtet.

Der **Dränabstand** ist nach Kap. 6.3 festzulegen.

7.3.4 Dränung in rutschgefährdeten Gebieten

In rutschgefährdeten Gebieten, wie z. B. in der Flysch- und Molassezone der Nordalpen, sacken große Geländeschollen ab, und es werden tiefgreifende Hangvernässungen beobachtet. Sehr häufig sind geologische Bruch- und Faltungslinien die Ursache dauernder oder zeitweiliger Naßstellen und Quellen. Hier sind daher neben den üblichen bodenkundlich-hydrologischen Untersuchungen insbesondere sorgfältige geologische Erkundungen notwendig, um die Ursache der Vernässungen und Rutschgefährdung sicher zu klären [7.8]. Quellen und Naßstellen können gezielt durch Bedarfs- und Fangdräne entwässert werden (Bild 4.1 und 7.7). Nach Erfahrungen in Österreich und der Schweiz sind in rutschgefährdeten Zonen Stein-, Stangen- und Faschinendräne (Bild 9.16) vorzuziehen; wichtig ist auch dabei stets ein gut durchlässiger Grabenfilter (Bild 8.12 – d). Als zusätzliche Binnenentwässerung kommt in der Flysch- und Molassezone nur eine Rohrlose-Dränung in Betracht [7.18]. Im übrigen sollen Bodenmeliorationen verhindern, daß das Abflußregime verwildert, weil dadurch sonst die Landschaft großflächig zerstört werden kann. Dränungen dienen dort also weniger der Landwirtschaft, sondern sollen Landschaft und Boden erhalten.

In dem meist stark geneigten Gelände besteht bei Starkregen extreme Hochwassergefahr, was beim Ausbau der Oberflächengewässer besonders zu beachten ist.

7.3.5 Dränung von Salzböden

Für aride und semiaride Bewässerungsgebiete ergibt sich nach den weltweiten Erfahrungen der FAO/UNESCO die Notwendigkeit einer Dränung bei einem mittleren Jahresniederschlag $N < 500$ mm.

Das Ausmaß der Entwässerung ergibt sich einerseits aus der Höhe der Infiltrationsrate (I) nach der Wasserbilanzformel (Kap. 2.1) aus

$$I + N = V + A + (R - B);$$

die Abflußhöhe ist andererseits abhängig vom Verhältnis Salzgehalt im Bewässerungswasser zu Bodensalzgehalt (Kap. 2.3.4 und 3.8) unter Beachtung der Salzverträglichkeit der Kulturpflanzen (Tab. 3.13) und des Infiltrationskoeffizienten k_i (Tabelle 7.8).

Bei der Höhe der Salz-Auswaschungsrate (engl. Percolation = P) ist zu berücksichtigen, daß besonders bei bindigen Böden ein beträchtlicher Teil des versickernden Wassers wirkungslos durch Trockenrisse, Klüfte und relativ große Poren abfließen kann. Für eine durchschnittliche ganzjährige Salzbilanz kann die Höhe der Auswaschungsrate nach folgender Formel berechnet werden [7.7]:

$$P = \frac{EC_i \cdot (ET - N)}{k_i \cdot (2 EC_t - EC_i)}$$

hierin bedeuten:

- P = Auswaschungsrate (in dm/a);
- EC_i = elek. Leitfähigkeit im Infiltrationswasser;
- EC_t = tolerierbare elek. Leitfähigkeit im Boden (Tabelle 3.13);
- k_i = Infiltrationskoeffizient des Bodens;
- ET = Evapotranspiration (in dm/a) aus [7.22, 7.28, 7.33];
- N = Niederschlag (in dm/a).

Tabelle 7.8 enthält für drei Bodenarten die wichtigsten Daten, womit die durchschnittliche jährliche Auswaschungsrate berechnet werden kann.

Tabelle 7.8 Durchschnittswerte zur Ermittlung der jährlichen Auswaschungsrate bei der Bodenentsalzung [7.7]

Symbol		Dimension	Sand	Lehm	Ton
k_i	Infiltrationskoeffizient	—	0,8	0,6	0,3
ET	Evapotranspiration	dm/a	9	9	9
N	Niederschlag	dm/a	3	3	3
EC_t	tölerierbarer EC im Boden	mS/cm	4	4	4
EC_i	EC im Infiltrationswasser	mS/cm	2	2	2
P	erforderl. Auswaschungsrate	dm/a	2,5	3,3	6,6
I	erforderl. Infiltrationsrate	dm/a	8,5	9,3	12,6
	Natürl. Dränung (+) oder zusätzl. (-)	dm/a	0	+2	-3
A	Abfluß	dm/a	2,5	3,3	6,6
A_z	zusätzlicher Abfluß	dm/a	2,5	1,3	9,6

Als Durchschnittswert für die Auswaschungsrate ergibt sich für einen Sandboden $P = 2,5$ dm/a = 250 mm/a; für einen Tonboden $P = 6,6$ bzw. 9,6 dm/a = 660 bzw. 960 mm/a; weitere Einzelheiten können aus [7.7] oder [7.33] entnommen werden.

Die **kritische Grundwassertiefe** in Bewässerungsgebieten, (= geringe Versalzungsgefahr) ist abhängig von der Kapillarität des Bodens und dem Salzgehalt des Grundwassers (Tabelle 7.9). In anderen Gebieten betrug die Grundwassertiefe mehr als 10 m.

Nach den jahrzehntelangen (positiven und negativen) Erfahrungen in den

Tabelle 7.9 Kritische Grundwassertiefe für bewässerte Lehm Böden mittlerer Durchlässigkeit in Abhängigkeit vom Salzgehalt des Grundwassers

Kritische Grundwassertiefe in m	Grundwasser-Salzgehalt g/l
1,0	0,1
1,5	1,5
2,5	2 – 3
3,0	3 – 10
3,5	20 – 30

USA und der UdSSR wird eine Rohrdränung in ariden Bewässerungsgebieten 1,8–3,0 m tief bei **Dränabständen** von 80–150 m verlegt. Die Entwässerungskanäle erreichen dann Tiefen > 4 m [7.7], immer eine ausreichende Durchlässigkeit des Bodens vorausgesetzt (beachte Tabelle 5.1).

Bei schichtigen Böden oder bei solchen mit geringer Durchlässigkeit ($k_f < 16$ cm/d) ist eine Dräntiefe von 1,2 bis 1,6 m und entsprechend verringerten Abständen vorteilhafter (Kap. 6.4), weil so die Gewähr größer ist, daß das Infiltrationswasser tatsächlich den Boden bis zu den Dränen durchströmt. Über Dränung, Kultivierung und Bewässerung von versalzten Böden in Spanien wurde kürzlich ausführlich berichtet [7.1], über ökonomische Probleme bei der Bodenentsalzung siehe [7.6].

Bei der Dränung von semiariden und ariden Bewässerungsgebieten sind besonders gründliche **bodenkundliche** Voruntersuchungen notwendig, um das Wirkungssystem der Standortfaktoren „Boden – Klima – Pflanze – Mensch“ zu klären. Es ist dafür Sorge zu tragen, daß die Salzgehalte (EC) im Boden, im Be- und Entwässerungswasser laufend **kontrolliert** werden (Salzbilanz), damit eine Versalzung tatsächlich verhindert wird [7.7, 7.28, 7.33].

7.3.6 Dränung von Mülldeponien

Das Bundes-Abfallbeseitigungsgesetz von 1972 regelt u. a. das Lagern von Abfällen in zentralen Deponien. Da die Zusammensetzung der Abfallstoffe räumlich und zeitlich sehr stark schwanken kann, damit auch die Lagerungsdichte, muß nach bisherigen Erkenntnissen mit zeitweiligem bis anhaltendem Sickerwasser gerechnet werden. Diese reichern sich beim Durchströmen mit Inhaltsstoffen an, wie biochemisch leicht und schwer abbaubaren Kohlenwasserstoffen, Nichteisenmetallen und Salzen [7.26]. Gelangen sie ins Grundwasser, so kann dies erheblich verunreinigt werden. Staut sich das Sickerwasser über einer undurchlässigen Sohle, so führt es zu anaeroben Verhältnissen in der Deponie, was es zu verhindern gilt, denn dann entsteht Methan und Schwefelwasserstoff, was die spätere Rekultivierung erschwert oder verhindert.

Für geordnete Abfalldeponien werden daher oft Sohldränungen gefordert, die über einer glatten Sohldichtung (z. B. aus Ton, Kalk, Asphalt oder Kunststoffolien) in einer Kies- oder Schlackeschicht von mindestens 30 cm

Stärke anzuordnen sind. Die Sauger sollten mind. $\text{DIN} \geq 80$ betragen. Bei den Sammler-Rohrweiten und Dränabständen sind die Bemessungs-Abflüsse um 50% zu erhöhen, im übrigen gilt Kap. 6.1 bis 6.3, Fremdwasser muß mit Fangedränen sicher abgeleitet werden (Bild 7.7).

Handelsübliche PVC-Wellrohre sind für Deponiehöhen bis rd. 12 m geeignet [7.32], bei größeren Schütthöhen sind Sickerrohre erforderlich mit möglichst großen Eintrittsöffnungen (Kap. 8.7). Die Dränrohre müssen gegen Druck, Wärme ($t > 70^\circ\text{C}$) und Lösungsmittel aller Art (auch Öl) beständig sein. Die Rohre sind mit nachgiebigem Material (z.B. dicke Kokosmatte) abzudecken. Der Dränschotter soll grob ($\varnothing > 80\text{mm}$) und glatt sein, damit er nicht verstopft; sackt er, so bildet er ein Gewölbe [7.35].

Der Sammler muß im Kontrollschacht ständig **unter** Wasser ausmünden, damit keine Luft in das Dränsystem eindringen kann, wodurch Explosionsgefahr entstehen kann (Methan + Sauerstoff); es besteht ferner sehr große Verockerungsgefahr. Die öfters notwendige Spülung ist technisch zu erleichtern (Bild 7.25). Über Art und Ziel der Weiterleitung entscheidet die wassertechnische Aufsichtsbehörde.

7.3.7 Dränung von Spülfeldern

Im nordwestdeutschen Flachland sind nach 1970 und werden künftig vermehrt im Rahmen von Straßen- und anderen Baumaßnahmen Spülfelder anfallen, in denen nicht tragfähiger organischer und mineralischer Bodenabraum abgelagert wird. Zum Zwecke der Rekultivierung müssen diese Bodenabraumdeponien, die im abgelagerten Zustand eine Mächtigkeit von 0,8 m bis 1,5 m aufweisen, ausreichend entwässert werden. Die damit einhergehende Durchlüftung oxidiert und verbraucht das Sediment und läßt es zu einem „Boden“ reifen mit Oxidations- und Reduktionshorizont.

Je mehr bindiges Bodenmaterial (Ton, Schluff) und Torf in den Spülfeldern abgelagert ist, desto langwieriger, technisch schwieriger und kostenaufwendiger ist die notwendige Binnenentwässerung, und zwar einerseits, weil normale Dränmaschinen und Bagger in den Spülfeldern nicht fahren können und andererseits, weil das eingespülte Bodenmaterial nicht standfest ist, vielmehr ausgehobene Entwässerungsgräben anfangs rasch zusammenfließen. Die notwendigen Binnengräben können also nur schrittweise vertieft werden.

Bei der Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste und in den niederländischen Jsselmeeer-Poldern werden Amphibien-ähnliche (z. T. schwimmfähige) Bodenfräsen eingesetzt. Sie legen ein verhältnismäßig enges Netz an Binnengräben an, anfangs auf 24 m, später auf 12 m Abstand. Die Grabentiefe beträgt anfangs nur etwa 25 cm, woraus sich muldenförmige Rinnen bilden. Je nach Witterung werden sie allmählich auf 60 cm vertieft, die endgültige Tiefe von 1,0 m bis 1,2 m erreichen Gräben nach frühestens ein bis zwei Jahren.

Als endgültige Form der Binnenentwässerung ist eine Rohrdränung angezeigt, die jedoch wegen der anfangs sehr hohen Verockerungsgefahr der Rohrdräne (Kap. 5.6) erst nach ausreichender Bodenreife erfolgen kann, d. h. nach Bodenverbraunung bis in Dräntiefe. Die Dränabstände können nach Kap. 6.4 oder 6.5 bestimmt werden.

7.3.8 Agrotherm (Bodenheizung)

Mit „Agrotherm“ wird ein Rohrleitungssystem bezeichnet, das als Kreislaufanlage funktioniert, deshalb mit dem Bodenwasser keine direkte Verbindung hat. Da das Rohrsystem mit Dränmaschinen verlegt wurde, sollte ein Hinweis auf Agrotherm in der Dränanleitung nicht fehlen.

Agrotherm ist gedacht als eine umweltfreundliche und wassersparende Alternative zu den herkömmlichen Verfahren der Frischwasser-/Naßkühlung von Industriebetrieben (Kraftwerk, Raffinerie u. dgl.). Es wird seit 1974 in einem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf drei Standorten im Rheinland und einem in Bayern erprobt [7.19].

Zum Verteilen der Abwärme im Boden wurden jeweils 3 bis 7 ha große Versuchsfelder angelegt. Im Rheinland wurden die in der Wasserversorgung üblichen PE-Rohre (DN 65) gemäß DIN 8074/75 verwendet, die in Stücklängen bis über 500 m lieferbar sind. Das Rohrsystem wurde in rd. 1 m Tiefe, in Abständen von 75 cm verlegt, alle Einzelstränge wurden an Ringleitungen angeschlossen. Die Rohre wurden unter Berücksichtigung der Geländemorphologie möglichst mit natürlichem Gefälle weitgehend oberflächenparallel, soweit notwendig auch mit künstlichem Gefälle verlegt. Der Wärme fluß geht entgegen dem Gefälle.

Die ersten dreijährigen Versuchsergebnisse zeigen bei den beheizten Flächen verringerte Bodenfeuchtgehalte, wodurch eine frühere und spätere Bodenbearbeitung gegenüber unbeheizt möglich war [7.19], was einer Entwässerung gleichkommt. Über Agrotherm in Grundwasserböden liegen bisher keine Erkenntnisse vor.

7.4 Rohrdränung im Landschaftsbau

Zum Landschaftsbau gehört gemäß DIN 18 915 (Blatt 1–3) die Anlage von Garten- und Parkanlagen, im allgemeinen Sinne die Landschaftsgestaltung, insbesondere nach Abschluß von Bauarbeiten aller Art sowie die Landschaftspflege [7.15].

Hier wird jedoch nicht nur die Dränung von Gärten, Parks und Baumschulen, sondern ebenso die von Sportplätzen, Spiel- und Liegeflächen, (Feld-) Flugplätzen und Freizeit-(Camping-)plätzen behandelt, die künftig an Bedeutung gewinnen, ferner die von Friedhöfen.

Solche Anlagen müssen zunehmend auf bislang vernäßten oder dazu neigenden Flächen angelegt werden. Soweit allgemeine Hinweise und spezielle Erfahrungen dazu vorliegen, sollen sie hier dargelegt werden.

Vor jeder Dränplanung ist auch hierbei die **Ursache und Wirkung der Vernässung zu klären** (Kap. 2 und 3). Generell können auch im Landschaftsbau die in Jahrzehnten erworbenen Erfahrungen der Dränung von landwirtschaftlich genutzten Flächen gelten (Kap. 4 bis 6).

7.4.1 Gärten, Parks und Baumschulen

Für **Sammler-Rohrweiten** können die Bemessungs-Abflüsse gemäß Kap. 6.1 zugrunde gelegt werden; sie sind bei besonders hoher Inanspruchnahme des Geländes bis 25% zu erhöhen. **Dränabstände** sind nach Kap. 6.3 bis 6.6 zu planen.

Werden Obstanlagen und Baumschulen mit einer Beregnungsanlage gegen Nachtfrost ausgestattet, so ist der Dränabstand zu verengen. Als Anhalt können folgende Regnergaben dienen: Mindest-Wassergabe 4 mm/h für 7 bis 8 Nachtstunden an drei aufeinanderfolgenden Tagen, d. h. 28 bis 32 mm/d zusätzliche Regenmenge. Der Dränabstand kann damit nach Kap. 6.3.1 oder gemäß Kap. 6.7 berechnet werden.

Die **Lage der Sauger**, insbesondere aber die der **Sammler**, die oft auch in Trockenperioden noch Wasser führen, ist so zu planen, daß tiefwurzelnde Sträucher und Bäume die Dränstränge nicht gefährden (Kap. 7.2.4). Sammler, die parallel von Busch- oder Baumreihen verlaufen, sollten wenigstens 20 m Abstand halten, ggf. sind kurze Sauger quer zu ihnen zu planen.

Sammlerstrecken neben Einzelbäumen sind auf ausreichender Länge zu dichten. Die **Dräntiefe** sollte deshalb 1,2 m oder mehr betragen; im übrigen gilt Kap. 7.2. Das **Einwachsen von Pflanzenwurzeln** kann erschwert werden, wenn die Dränrohre mit schwefelkiezhaltiger Schlacke umhüllt werden. Bei der Ausführung ist darauf zu achten, daß der Oberboden nicht geschädigt wird. Bei Tonrohren hat sich das Eintauchen der Rohrenden in Karbolineum bewährt (Kap. 7.2.6).

7.4.2 Spiel-, Liege- und Freizeitflächen

Bei **Sammler-Rohrweiten** und **Dränabständen** sind die Bemessungs-Abflüsse, je nach Grad der künftigen Belastung, um 25% bis 50% zu erhöhen, denn hier soll Oberflächen- und Grundwasser rasch abfließen können, um die angestrebte Nutzung nachhaltig zu sichern; im übrigen gilt Kap. 6.

Spiel-, Liege- und Freizeitflächen tragen im allgemeinen eine Grasnarbe, die jedoch recht unterschiedlich beschaffen sein kann. Als **Dräntiefe** ist 0,9–1,1 m angemessen, im übrigen gilt Kap. 7.2.

Wegen der **Dränausführung** wird auf Kap. 8 und 9 verwiesen; wichtig ist eine sorgfältige und vollständige Verfüllung der Drängräben. Bei Stau- und Haftnässeböden (Kap. 3.4, 6.4, 6.5 und 7.2.3) ist eine Verfüllung des Drängrabens mit durchlässigem Material (Grobsand, Kies o. dgl.) angezeigt (Bild 8.12–d).

7.4.4 Sport- (Feld-)flugplätze

Die **Rohrweiten** der Sammler und die **Dränabstände** sind mit doppelten Bemessungs-Abflüssen zu berechnen (Kap. 6).

Die **Oberflächenentwässerung** von befestigten Abstell-, Roll- oder Landeflächen muß nach den allgemeinen Grundsätzen der Kanalisation erfolgen [7.14].

Liegen **verhärtete Flächen** auf vom Grundwasser beeinflussten Böden, so sollte u. U. eine systematische Dränung auch dieser Flächen vor Anlage geprüft werden (im Hinblick auf die Standsicherheit). Bei großen Flächen können bei ansteigendem Grundwasser unter verhärteten Flächen linsenförmige Luftblasen auftreten, wodurch sich die Decke vom Erdboden heben kann. Eine Dränung könnte hier, da später ein direkter Niederschlagszufluß entfällt, nach normalen Bemessungs-Abständen berechnet werden.

Wegen der weiteren Planung und Ausführung wird auf Kap. 6, 7.2 sowie 8 und 9 verwiesen.

7.4.5 Friedhöfe

Für Friedhöfe wird allgemein verlangt, daß Grabstätten nach durchwegs 30 Jahren wiederbelegt werden können. Das setzt eine „trockene“ Verwesung voraus. Ein dauernder Luftzutritt soll möglich sein, damit aerobe Bakterien leben und Oxidationsvorgänge ungestört ablaufen können, wodurch eine Fäulnis verhindert wird [7.11, S. 333].

Völlig ungeeignet sind vernäßte Böden, in denen Särge dauernd oder überwiegend vom Grundwasser überflutet werden. Eine Verwesung wird hier verhindert, weil Leichenwachsbildung konservierend wirkt.

Friedhöfe in Grund- und Stauwasserböden können durch eine Rohrdränung verbessert werden. Fremdwasser ist zu beachten. Bei Friedhöfen in haften (ton- und schluffreichen) Böden ist auch eine sehr enge Rohrdränung mit Grabenfilter (Bodenaustausch) nur bedingt wirksam, langfristig kann durch das Ausheben der Gräber der Boden gelockert und damit besser durchlüftet werden, was auch die Dränwirksamkeit erhöht.

Bei **Sammler-Rohrweiten** und **Dränabständen** für Friedhöfe sollten die Bemessungs-Abflüsse (Kap. 6.1) um 50% erhöht werden.

Bei bestehenden Friedhöfen wird die **Lage** der Sammler und Sauger allgemein auf die Wege und Grabreihen ausgerichtet werden müssen (Sammler in die Hauptwege, Sauger in die Nebenwege); häufige Kontrollschächte sind empfehlenswert.

Die **Dräntiefe** sollte um 0,6 m bis 0,8 m größer sein als die Sohlentiefe der Gräber. Sie ist örtlich unterschiedlich und schwankt zwischen 1,6 m und 2,5 m, im Mittel kann 2 m unterstellt werden. Die Aufwölbung des Grundwasserspiegels zwischen den Dränen sollte grundsätzlich (0,3 m bis) 0,5 m unterhalb der Grabsohlentiefe bleiben, damit eine gewisse Filterwirkung für die Versickerung erhalten bleibt [7.11].

An Dränausmündungen kann aus hygienischen Gründen eine Wasserbehandlung (z. B. Chlorung) notwendig sein.

Die übernormalen Dräntiefen verlangen leistungsstarke **Dränmaschinen** oder Löffelbagger. Ob Maschinen eingesetzt werden können, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab, ggf. ist Handarbeit notwendig (Kap. 9).

7.5 Rohrdränung im Ingenieurbau

In einer Dränanleitung sollten die häufigsten Dränmethoden im Tief-, Straßen- und Hochbau nicht fehlen.

Die Dränung an Ingenieurbauten aller Art dient der Sicherung und Erhaltung der Bauwerke sowie zur Baugrubenentwässerung während der Bauzeit. Die Dränung ist damit ein wichtiger grundlegender (im wahren Sinne des Wortes!) Bestandteil der Ingenieurarbeiten. Ursache und Wirkung einer Vernässung sind vorher zu klären (Kap. 2 und 3).

Für alle Rohrdränungen im Ingenieurbau sollte ein **Mindest-Sohlgefälle** von 0,2%, bei Sickerleitungen $I \geq 0,5\%$ eingehalten werden. Das Höchstgefälle ergibt sich aus der max. zul. Fließgeschwindigkeit $v < 1,5$ m/s.

Die **Nennweite** richtet sich nach der max. abzuführenden Wassermenge, die örtlich zu bestimmen ist. (Anhalt: Die Bemessungs-Abflüsse für Dränungen im Grundbau sollten 2- bis 4fach größer als in Kap. 6.1 gewählt werden).

Alle Rohrdränungen und Sickerleitungen sind auf frostfreie Tiefen vorzusehen.

7.5.1 Filterregel

Wasser gefährdet allgemein die Sicherheit aller Ingenieurbauten. Eine **dauerhafte** Wirksamkeit der Dränung ist hier oberstes Gebot. Daher sind die erforderlichen Dränleitungen in speziell aufgebauten Bodenfiltern aus Grobsand, Kies und Splitt zu verlegen.

Terzaghi [7.29] hat nachgewiesen, daß beim Wasserdurchfluß zweier Bodenschichten die Filterstabilität dann gegeben ist, wenn die durchschnittliche Korngröße der zweiten Schicht nicht größer ist als das vierfache der ersten Schicht. In einer gröberen Bodenschicht darf sich die Fließgeschwindigkeit des Wassers nur soweit erhöhen, daß die Schleppkraft keine feinen Bodenteilchen der ersten Schicht in die zweite Schicht mitführt.

Die Anwendung der Filterregel setzt die Kenntnis der Körnungslinie (auch Körnungskurve, Kornverteilungskurve, Kornsummenlinie) der Böden voraus, was Sieb- und Schlämmanalysen im Labor erfordert. Korngrößen $\geq 0,2$ mm können mittels genormter Rundloch- und Maschensiebe (DIN 4188) ermittelt werden. Fraktionen $< 0,2$ mm werden aus einer Bodenausschlämmung in Standzylindern nach der unterschiedlichen Absetzgeschwindigkeit (Sedimentation) bestimmt. Die Vorbehandlung (Dispergierung) der Proben

sollte in destilliertem Wasser geschehen (DIN 4016 und DIN 19683). Die Ergebnisse werden vorteilhaft graphisch aufgetragen [3.16].

In Bild 7.14 sind Kornverteilungskurven aufgetragen, oben für einen einstufigen, unten für einen dreistufigen Filter einschließlich der Kurve des jeweils anstehenden Bodens.

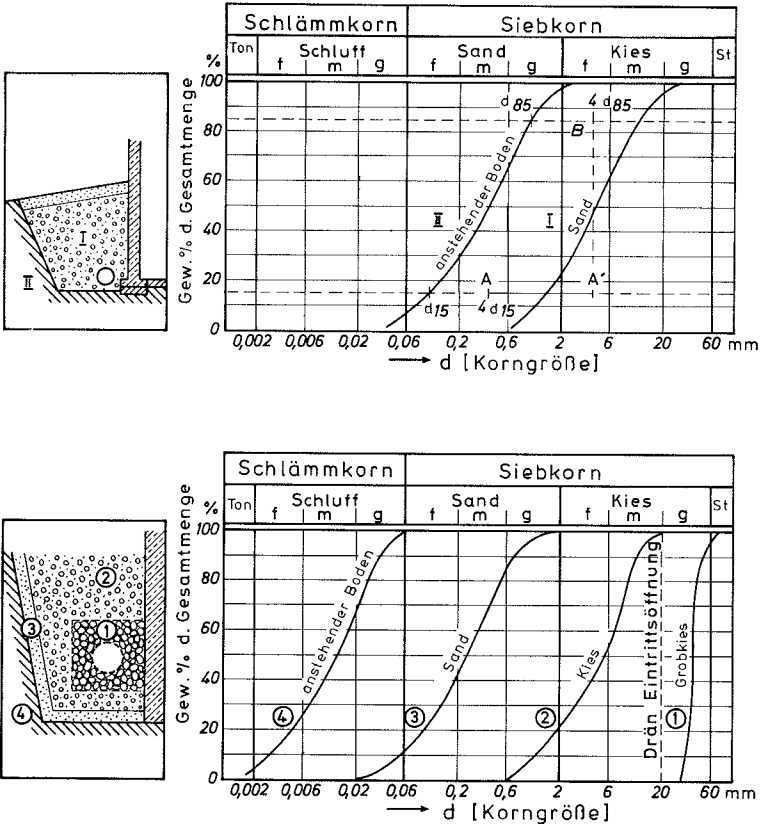


Bild 7.14 Terzaghi's Filterregel (nach DIN 4095)

Die Filterstabilität nach Terzaghi wird wie folgt abgeleitet (Bild 7.14 – oben):

- Die Körnungslinie des Filters (II) soll zwischen A' und A liegen (= d_{15} von II);

- die Körnungslinie des Filters (I) soll gleichzeitig rechts von B liegen (= 4d 85);
- die Körnungslinie des Filters (I) soll der Körnungslinie des abzufilternden Bodens (II) ähnlich sein;
- die Körnungslinie des Filters (I) soll stetig verlaufen.

Beispiel Bild 7.14 – unten gilt analog.

Die Filterregel gilt allgemein im Grundbau, sie kann modifiziert werden im Hinblick auf die Eintrittsöffnungen der Drän- oder Vollfilterrohre bzw. Dränfilter (Kap. 8.3 und 8.4).

7.5.2 Rohrdränung im Tiefbau

In Bild 7.15 sind einige Dränbeispiele dargestellt, wie sie im Tiefbau in dieser oder jener Art häufig sind, z. B. am Dammfuß (I), im Sandkern eines gespülten Deiches und an seiner Innenberme (II), am Hang (III a) ohne oder

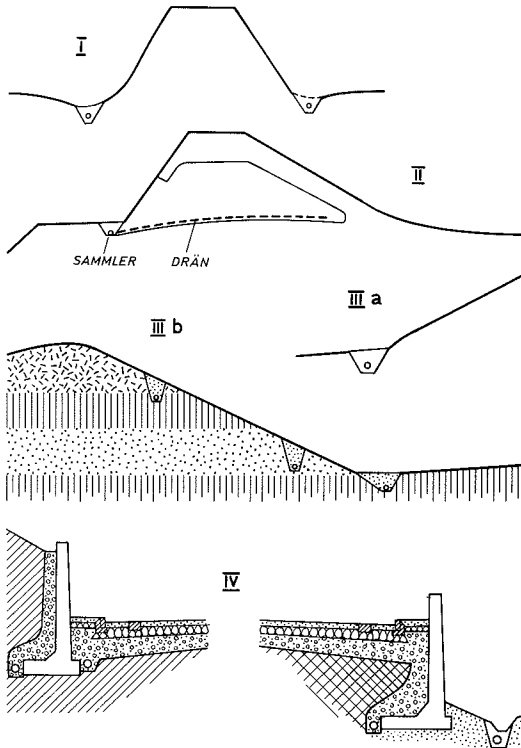


Bild 7.15
Dränung im Tiefbau

mit Quellen (III b) sowie an Stützmauern (IV). Diese Beispiele mögen für viele andere ähnlicher Art hier genügen.

Als oberster Grundsatz gilt: Die Standsicherheit des Bauwerks darf nicht beeinträchtigt werden. Sie soll durch die Dränung vielmehr verbessert und gesichert werden.

Auch zur offenen Wasserhaltung bei der Kanalisation der Baugruben oder anderer Leitungen ist die Rohrdränung geeignet (Bild 7.16).

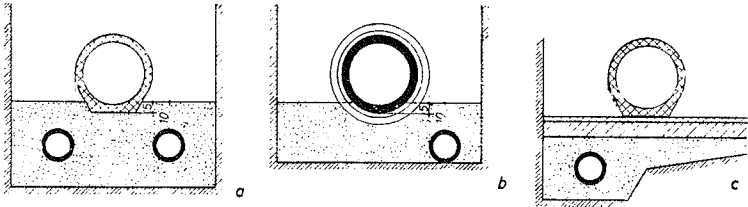


Bild 7.16 Dränung der Baugruben bei Kanalisation [7.14], a mit zwei Dränrohren ohne Betonsohle, b mit einem Dränrohr ohne Betonsohle, c mit Betonsohle

7.5.3 Rohrdränung im Straßenbau

Auch hier können nur einige typische, allgemein gültige Beispiele dargelegt werden (Bild 7.17). Es ist zu beachten, daß durch den Verkehr der Boden bis in Dräntiefe erschüttert werden kann [7.20]. Es wurden daher seitens der Dränrohr-Hersteller besonders stabile, groß dimensionierte Sickerrohre mit glatter Shole für den Straßen- und Tiefbau entwickelt (Kap. 8.7).

Für Autobahnen und Hauptstraßen sowie für Eisenbahnen gelten die Sonderbestimmungen der jeweiligen Bauverwaltungen.

7.5.4 Rohrdränung im Hochbau

Dränung von Gebäuden ist viel häufiger notwendig als allgemein angenommen wird. Eine kulturtechnische Bodenuntersuchung kann auch in trockenen Perioden sichere Hinweise darüber geben, ob und ggf. wie eine Dränung vorgeplant werden muß (Kap. 2 und 3).

Eine Gebäude-Dränung kann aus einzelnen parallelen oder zu einem Ring verbundenen Dränen bestehen. Eine Ringdränung ist anzustreben (Bild 7.18 – I). Bei Grundwasser-Vernässung ist Flächenfilter mit (oder ohne) Sickerleitung ratsam, z. B. durch eine Kieslage unter der Bauwerksohle (Bild 7.18 – II). Die Standsicherheit der Fundamente darf nicht beeinträchtigt werden. Einzelheiten für Sickerleitung außerhalb der Gebäude zeigen Bild 7.18 – III und IV, weitere Hinweise in DIN 4095. Seitens der Dränrohr-Hersteller sind besondere Sickerdränensysteme für den Hochbau entwickelt worden, sie sind eine Kombination von Sickerplatte oder Filtermatte (Kap. 8.6) in Verbindung mit Rohrdränen. Die jüngste Entwicklung stellen Schal-Dränelemente aus

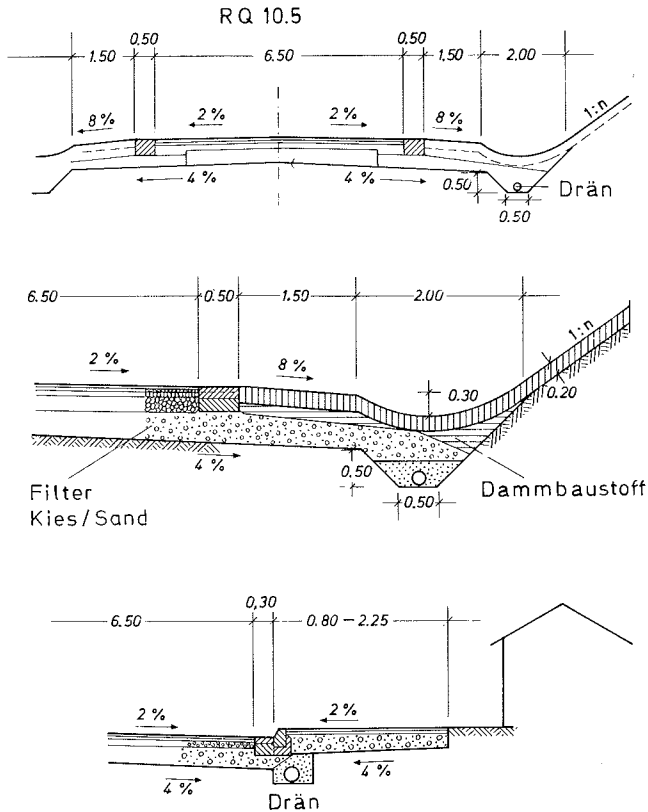


Bild 7.17 Dränung im Straßen- und Wegebau [7.20]

PVC-hart dar, die Innenseite dient zum Einschalen des Gebäudefundamentes, die Außenseite des kastenförmigen Elementes weist Schlitz auf, durch die das Wasser aus der (auch hier notwendigen) Kiesschicht in den ringförmigen Kanal eintritt, der Abfluß wird dem Entwässerungskanal zugeleitet.

Bei der Entwässerung von Dachgärten haben sich ebenfalls Sickerplatte und Filtermatte bewährt (Kap. 8.6).

Ist eine natürliche Vorflut (Bach, Graben oder Regenwasserkanalisation) nicht vorhanden, so ist zu prüfen, ob und wie eine Pumpenanlage möglich ist. Hierbei ist von erheblicher Bedeutung die abzuführende Wassermenge sowie Speicherraum und Betriebshäufigkeit (Kap. 7.1.2).

Bei abseits liegenden Ein-/Zweifamilienhäusern muß vielfach das aus der

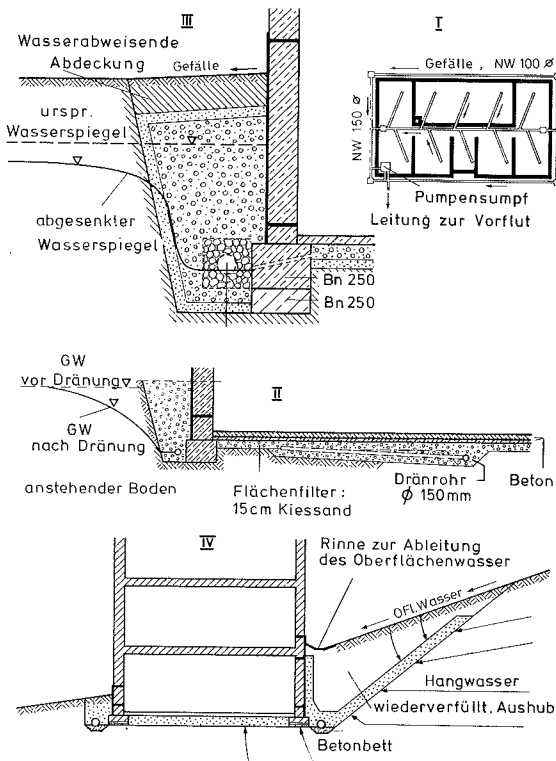


Bild 7.18 Dränung zur Entwässerung von Gebäuden (nach DIN 4095)

Hauskläranlage abfließende Abwasser im Unterboden bzw. Untergrund schadlos verrieselt werden. Hier sind vorherige bodenkundliche Untersuchungen dringend angezeigt (Kap. 3), insbesondere muß geklärt werden, ob und wie tief Grund-/Stauwasser auftritt (Kap. 3.4), ferner sollte die Durchlässigkeit des Bodens bestimmt werden (Kap. 3.5). Eine Rohrdränung zur **Abwasserverrieselung** sollte mit Gefälle $J < 0,05\%$ geplant werden, d. h. allgemein als Querdränung (Bild 7.5). Die Dränabstände können nach Kap. 6.7 bemessen werden unter Beachtung der abzuführenden Abwassermenge (im Mittel rd. 200 l/E.d.). Zwei Kontrollschächte (Bild 8.26) sind angezeigt. Bild 7.19 zeigt als Schema eine Rohrdränung zur Abwasserverrieselung. Für die Sauger sollte $DN \geq 65$ gewählt werden, die Dränggräben sind mit gewaschenem Kies oder Splitt ($\varnothing 2-8$ mm) zu verfüllen (Bild 8.12 – d).

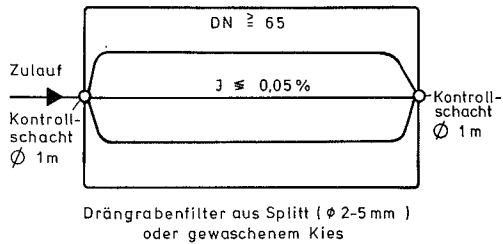


Bild 7.19 Rohrdränung zum Verrieseln von geklärtem Abwasser für Ein-/Zweifamilien-Wohnhaus

Bei der Heizung von Einfamilienhäusern mittels Wärmeaustauscher aus dem Grundwasser könnte die Rückführung des abgekühlten Wassers analog Bild 7.19 erfolgen, was gemäß Wasserhaushaltsgesetz erlaubnispflichtig ist. Hier ist im übrigen insbesondere die Verockerungsgefahr zu beachten, was vorher durch Grundwasseranalysen (Kap. 3.7) zu klären ist.

7.6 Rohrlose-Dränung (Maulwurfsdränung)

Für die Planung der Rohrlosen-Dränung sind die technischen Grunddaten in Tabelle 7.4 aufgeführt. Während die Dränabstände in Mineralböden grundsätzlich $a = 2$ m betragen, sind sie in Mooren nach dem Zersetzungsgrad der Torfe zu bemessen (Bild 7.20).

Im humiden Klima Deutschlands mit jährlichem Niederschlag $N > 600$ mm wird bei Mineralböden im allgemeinen eine Kombinierte-Dränung (= Rohrlose-Dränung + Rohrdränung) infrage kommen (Bild 7.21). Die Rohrlosen-Dräne sind möglichst schräg, die Rohrsammler quer zum stärksten Geländegefälle zu planen [7.21]. Der Abstand der Rohrsammler ($DN \geq 80$) ergibt sich aus Tabelle 7.10, die Mindest-Nennweite aus Tabelle 7.3, wegen der Ausführung beachte Bild 9.1.

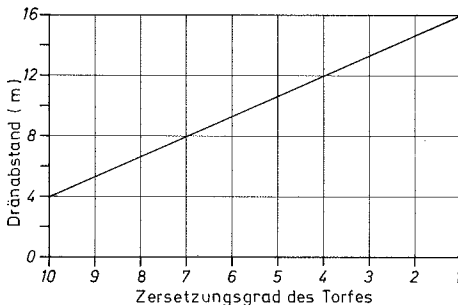


Bild 7.20 Nomogramm des Dränabstands von Rohrlosen-Dränen im Moor [7.3]

Tabelle 7.10 Abstand der Rohrsammler bei kombinierter Dränung in Abhängigkeit vom Geländegefälle (nach DIN 1185, Bl. 2)

Gelände-Gefälle %	Abstand m
0,2	30 – 35
0,5	35 – 40
1	40 – 45
2	45 – 50
3	50 – 60
5	60 – 70

7.7 Tieflockern

Die technischen Planungsgrundsätze sind in Tabelle 7.11 zusammengefaßt. Sie basieren vorwiegend auf – allerdings bis zu zehnjährigen – **Versuchserfahrungen**. Daher sollte für die Planung ein erfahrener Bodenkundler gehört werden (Kap. 4.3 und 5.3), siehe auch [4.3, 4.13, 7.21, 7.27].

Es darf nur bei ausreichend abgetrocknetem Boden tiefgelockert werden (Bild 9.1).

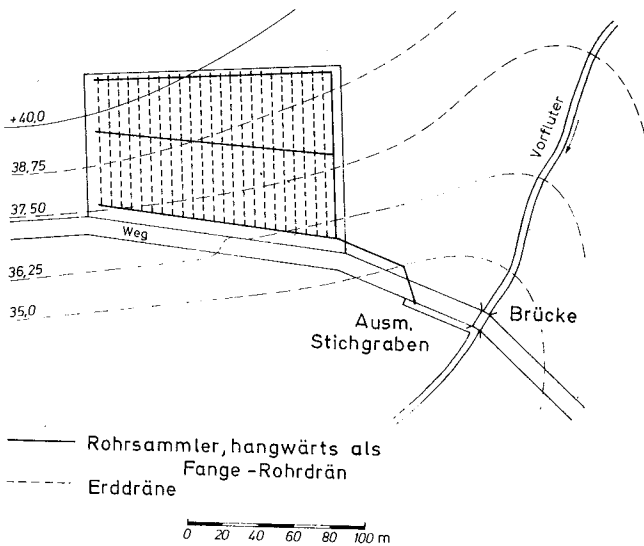


Bild 7.21 Kombinierte Dränung

Tabelle 7.11 Planungsgrundsätze für Tieflockern (nach DIN 1185, Bl. 2)

Lockerungsfurchen (l)		Mittl. Jahresniederschlag	
		N < 600	N > 600
		in mm	
l in %		0–3	3–5
t _l in m	allgem. Verdichtung (Vd) teilw. Verdichtung	t _l ≥ 0,8 t _l ≙ Vd	
a _l in m		0,75 (bei t _l > 0,8 m)	
zusätzliche Rohrdränung mit a = 30–70 m und t = t _l + 0,3 m		≙ DN 65 nur in den Mulden	≙ DN 80 Systemdränung

7.8 Tiefpflügen

7.8.1 Tiefpflügen im Mineralboden

Die technischen Grundsätze für Tiefpflügen im Mineralboden sind in Tabelle 7.12 aufgeführt. Sie sind überwiegend aus den Erfahrungen von **Versuchsfeldern** abgeleitet. Daher sollte bei der Planung von Tiefpflugmaßnahmen ein erfahrener Bodenkundler zu Rate gezogen werden (Kap. 4.4 und 5.4).

Tabelle 7.12 Planungsgrundsätze für Tiefpflügen von Mineralboden (nach DIN 1185, Bl. 2)

Pflugfurche (p)	Mittl. Jahresniederschlag	
	< 600	> 600
in mm		
l in %	0–2	2–5
t _p in m	> 0,6	> 0,8
a _p in m	² / ₃ t _p	
zusätzliche Rohrdämmung mit a = 30–70 m und t = p + 0,3 m	≙ DN 65 nur in Mulden	Systemdränung gem. Kapitel 6.1–6.3

Bei Böden mit Grundwassereinfluß müssen Gräben so tief vorgesehen werden, daß der mittlere Grabenwasserspiegel im Sommer ≥ 0,2 m unterhalb der geplanten Tiefpflugsohle liegt (Bild 4.9 und 5.18).

7.8.2 Tiefpflügen von Moor und Anmoor

Die technischen Planungsgrundsätze für das Tiefpflügen von Moor und Anmoor sind in Tabelle 7.13 bis 7.15 zusammengefaßt. Sie gründen sich auf mehr als vier Jahrzehnte praktische Erfahrung (auf mehr als 180 000 ha) und wissenschaftliche Erkenntnis. Sie wurden in DIN 1185 (Blatt 2) übernommen.

Tabelle 7.13 Planungsgrundsätze für Tiefpflügen in Moor und Anmoor

Beschaffenheit des	Gegebenheiten		Forderung für das Tiefpflügen
	Feststellung	Untersuchungsmethode	
Moores (Anmoores)	Moormächtigkeit	Moorpeilung ¹⁾	Schichtverhältnis Torf : Sand $\leq 2 : 1$
	Lagerungsdichte der Torfe (Zersetzungszustand) ²⁾	Rohdichte (tr.) ³⁾	Humusgehalt in der Krume < 15 Gew.-%
	Torfart Anmoorart	Ansprache ⁴⁾	Hh oder Hü – Anmoor : Sand $\leq 1 : 1$
mineralischen Untergrundes	Bodenart ⁵⁾	Bodenansprache Sieb- und Schlämmanalyse	Schichtverhältnis Torf : Sand bei gS, mS $\leq 2 : 1$ fS = 1 : 1 utS < 0,5 : 1 usL – Störhorizonte (-schichten) unterfahren Neutralisation
	Bodentyp (Horizonte, Schichten) pflanzenschädliche Schwefelverbindungen	Bohrung, Sondierung Bodenchemische Untersuchung	
Geländes	Relief, Erosion, Oberflächen-nässe	Oberflächen- gefälle	Oberflächenentwässerung durch entsprechende Verebnung
	Grundwasser	Grundwassertiefe	Grundwasserstand (SoMW) unt. Tiefpflugsohle
	Fremdwasserzufluß ober- und (oder) unterirdisch, Binsenzonen am Hang	Oberflächen- und Grundwasser- gefälle	Fangdräne oder (und) -gräben

¹⁾ vgl. Bild 3.2

²⁾ vgl. Tab. 3.4 und 7.5

³⁾ vgl. Tab. 7.14

⁴⁾ vgl. Tab. 3.3

⁵⁾ vgl. Bild 3.4

Für das Tiefpflügen in Moor und Anmoor gelten die in Tabelle 7.13 genannten Bedingungen (Kap. 3.3.2, 4.4 und 5.4).

Tabelle 7.14 Einfluß der Rohdichte (tr.) auf den späteren Humusgehalt in der 0–20 cm tiefen Krume bei verschiedenem Schichtverhältnis Torf: Sand [4.10]

Rohrdichte (tr.) in t/m ³ oder g/cm ³		Bei einem Mischungsverhältnis von Torf : Sand		
Torf	Sand	2 : 1	1 : 1	0,5 : 1
hat die Krume in 0 bis 20 cm einen Gehalt an organischer Substanz in Gew.-% von				
0,1		13	7	4
0,2	1,3	unzulässig	13	7
0,4		unzulässig	unzulässig	13
0,1		12	6	3
0,2	1,5	unzulässig	12	6
0,4		unzulässig	unzulässig	12

Je dichter ein Torf oder Anmoorboden (durch Vorentwässerung, Zersetzung oder Torfart) gelagert ist, desto eher steigt nach dem Tiefpflügen der Humusgehalt in der sändgemischten Krume ≥ 15 Gew.-% und wird damit unerwünscht anmoorig. Dies trifft vor allem dann zu, wenn der mineralische Untergrund seinerseits infolge hoher Gehalte an Humus und/oder geringer Eisenhydroxid wenig dicht gelagert ist (Tabelle 3.2). Daher sollten die Pflugtiefen (außer nach Tabelle 7.13, Bodenart) mit angemessenem Schichtverhältnis von Torf: Sand nach deren Trockenraumgewichten in Anlehnung an die Werte der Tabelle 7.14 bemessen werden. Das setzt allerdings bodenphysikalische Labor-Untersuchungen (Lagerungsdichte, Rohdichte,

Tabelle 7.15 Ursache und Ausmaß der Höhenverluste von Tiefpflugkulturen in Moor und Anmoor [5.10]

Ursache	Ausmaß der Höhenveränderung		
Setzung	10% der Pflugtiefe		
Sackung	5% der Torfmächtigkeit bei stark zersetztem Torf bis 20% der Torfmächtigkeit bei schwach zersetztem Torf		
Torfverzehr (-schwund)	Acker	überwiegend Hackfrucht	10 bis 8 mm/J im 1. bis 2. Jahrzehnt 4 bis 2 mm/J im 3. bis 5. Jahrzehnt
		überwiegend Getreide	6 bis 4 mm/J im 1. bis 2. Jahrzehnt 2 mm/J im 3. bis 5. Jahrzehnt
	Grünland	1 mm/J	

Körnung) voraus (Kap. 3.9); ggf. ist ein erfahrener Bodenkundler einzuschalten.

Die additiven Höhenverluste für Tiefpflugkulturen sind nach Tabelle 7.15 größenordnungsmäßig für einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahrzehnten bei der Planung der Graben- und Bauwerkssohlen zu berücksichtigen.

Beispiel:

Setzung:	für Pflugtiefe 150 cm × 0,1	= 15 cm	
Sackung:	für 100 cm Gesamtmörtertiefe		
	50 cm (H2~3) × 0,2	= 10 cm	} = 13 cm
	50 cm (H8) × 0,05	= 3 cm	

Torfverzehr bei Ackerbau infolge Oxidation/Mineralisation

Getreide:	1.–2. Jahrzehnt	= 10 cm	} = 16 cm
	3.–5. Jahrzehnt	= 6 cm	
Hackfrüchte:	1.–2. Jahrzehnt	= 18 cm	} = 33 cm
	3.–5. Jahrzehnt	= 15 cm	

Verhältnis in der Fruchtfolge

Getreide : Hackfrüchte wie 2 : 1,

$$\text{also } \frac{16 \cdot 2}{3} + \frac{33}{3} = 11 + 11 = 22 \text{ cm}$$

Mithin beträgt der additive Höhenverlust für 5 Jahrzehnte:

$$15 + 13 + 22 = 50 \text{ cm}$$

7.9 Dränentwurf

Ein vollständiger Dränentwurf soll gemäß DIN 1185 bestehen aus:

- Erläuterungsbericht
- Übersichtsplan (meist Topograph. Karte 1:25 000)
- Lageplan
- Bodenkarte
- Längsschnitte
- Hydraulische Berechnung
- Verzeichnisse (Bauwerk, Dränverfahren u. Dränabteilungen)
- Kostenvoranschlag.

Bei Entwürfen für Ämter und Gebietskörperschaften sind Ländervorschriften und Normen über Aufstellung, Inhalt und Signaturen zu beachten. Die nachfolgende Aufstellung kann nur allgemeine Hinweise auf die Entwurfsgestaltung geben, die ggf. ergänzt oder abgewandelt werden können. Der Entwurf muß prüfungsfähig sein. Es sind vier oder mehr Ausfertigungen erforderlich.

7.9.1 Erläuterungsbericht

Er soll die Pläne und Zeichnungen ergänzen und auf Besonderheiten eingehen. Der Erläuterungsbericht eines Dränentwurfes soll gemäß DIN 1185 (Blatt 4) Angaben enthalten über:

- Träger, Begründung, Umfang des Vorhabens und zu erwartender Erfolg;
- Standort (Boden, Geologie, Klima insbesondere Niederschlag);
- Hydrologie und Wasserwirtschaft;
- Vorflut;
- Schutzgebiete;
- Fernversorgungsleitungen;
- Wirtschaftlichkeit;
- Dränverfahren (Rohrdränung, Rohrlose-Dränung, Tieflockern, Tiefpflügen) und deren Umfang;
- Bauwerke;
- Durchführung;
- öffentlich-rechtliche und privatrechtliche Verhältnisse;
- Folgemaßnahmen;
- Unterhaltung.

7.9.2 Übersichtsplan

Als Grundlage empfiehlt sich eine Topographische Karte mit Höhenlinien und -ordinaten (z. B. 1:25 000).

Im Übersichtsplan sind gemäß DIN 1185 (Blatt 4) darzustellen:

- Grenzen der Einzugs- (oder Niederschlags-)gebiete und deren Größen;
- Grenze der Meliorations- und Drängebiete und deren Größe;
- Vorfluter;
- Grenzen von Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten, von Natur- und Landschaftsschutzgebieten, laufenden oder abgeschlossenen Flurbereinigungen, von Fernversorgungsleitungen, ferner die Umriss der Lagepläne.

7.9.3 Lageplan

Der Lageplan (Maßstab 1:1000 bis 1:5000) soll gemäß DIN 1185 (Blatt 4) alles enthalten, was zur Beurteilung und Ausführung notwendig ist (Bild 7.22 bis 7.24). Es sind dies:

- Grenzen der Gemarkung, Flur und Flurstücke sowie deren Nummern;
- Grenzen der Wasser- und Bodenverbände und Flurbereinigungen;
- Wege, Straßen, Bahnen, Fernleitungen, Steinbrüche, Kiesgruben, Abfalllagerplätze, Windschutzhecken, Quellen, Torfstiche;
- Höhenordinaten und -linien (sie sollen das Geländere relief deutlich wiedergeben), im Moor auch Höhenlinien des mineralischen Untergrundes;
- Grenzen der Dränabteilungen und Dränverfahren;

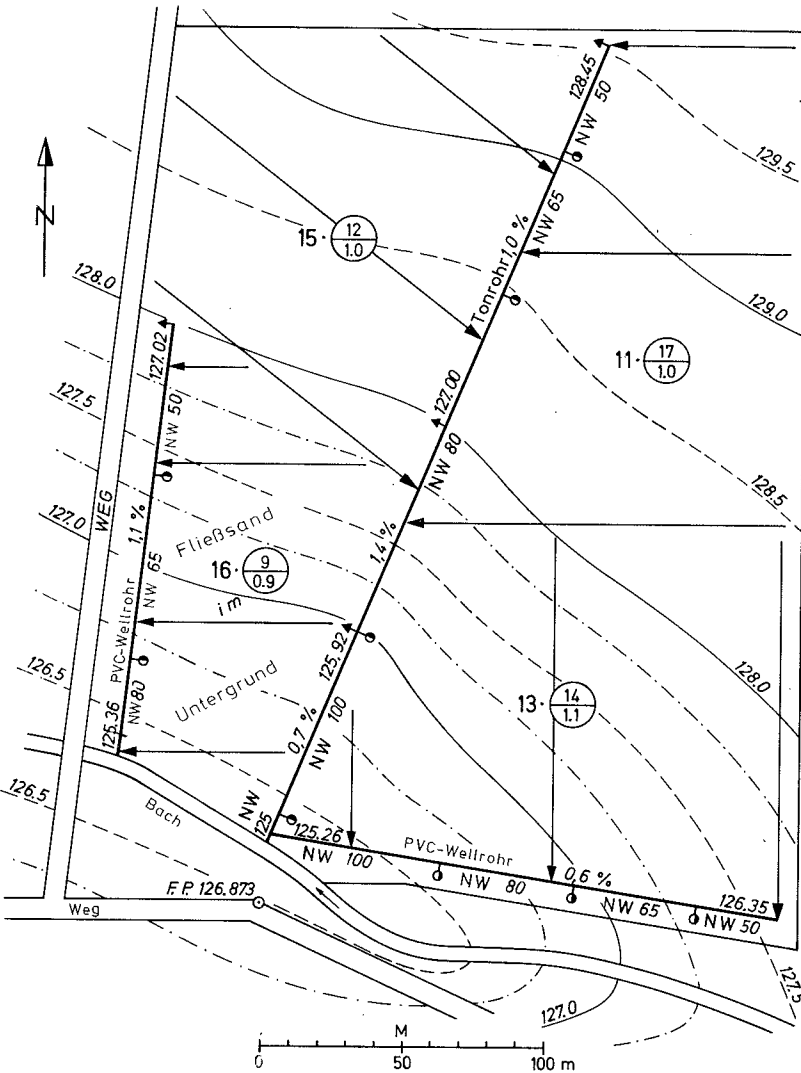


Bild 7.22 Lageplan einer Rohrdränung

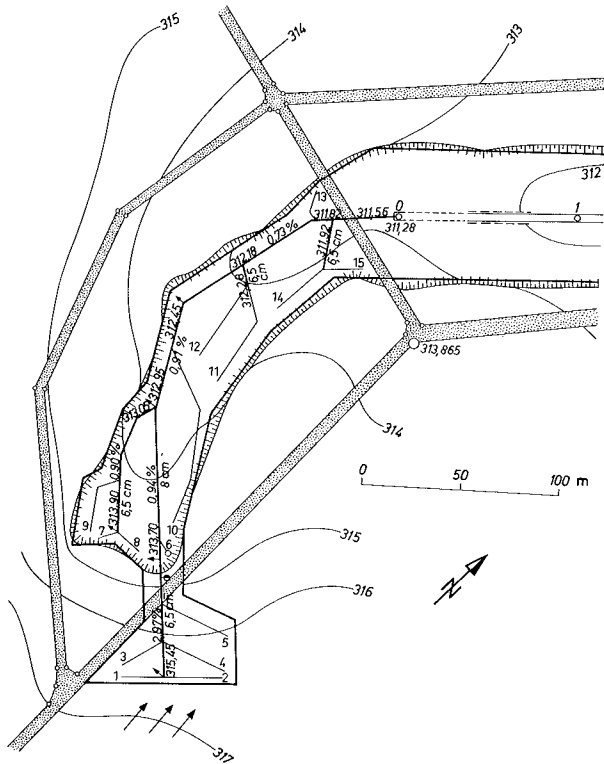


Bild 7.23 Lageplan für Rohrdränung eines Bachtals [7.31]

- Vorfluter mit Angabe von Sohlhöhe und – bei Einzugsgebieten $> 10 \text{ km}^2$ – Mittelwasserstand an den Dränauhmündungen (N.N.);
- Schöpfwerke und deren wichtigste Daten;
- Grenzen der Schutzgebiete.
- Bei **Rohrdränung**:
 - Dränabteilung (A, B ...)
 - Sammler (A1 bis An, B1 bis Bn) mit Angabe von Nennweite, Gefälle, Gefällsbrechpunkte;
 - Sauger, Angabe von Richtung, Dräntiefe und -abstand.
- Bei **Rohrloser-Dränung**:
 - Dränabteilung (A, B ...)
- Bei **Tieflockern oder Tiefpflügen**:

- Art, Richtung und Tiefe der Lockerungs- oder Pflugfurchen;
 Umfang einer zusätzlichen Rohrdränung.
- Bauwerke wie Schächte, Abstürze, Brücken, Durchlässe;
 - Höhenfestpunkte mit Ordinaten.

7.9.4 Bodenkarte

Hierin sind die Ergebnisse der Geländeuntersuchung gemäß Kap. 3.3 bis 3.9 aufzuführen.

7.9.5 Längsschnitte der Sammler

Sie sind nur dann notwendig, wenn Sammler **nicht** parallel zur Geländeoberfläche verlegt werden können.

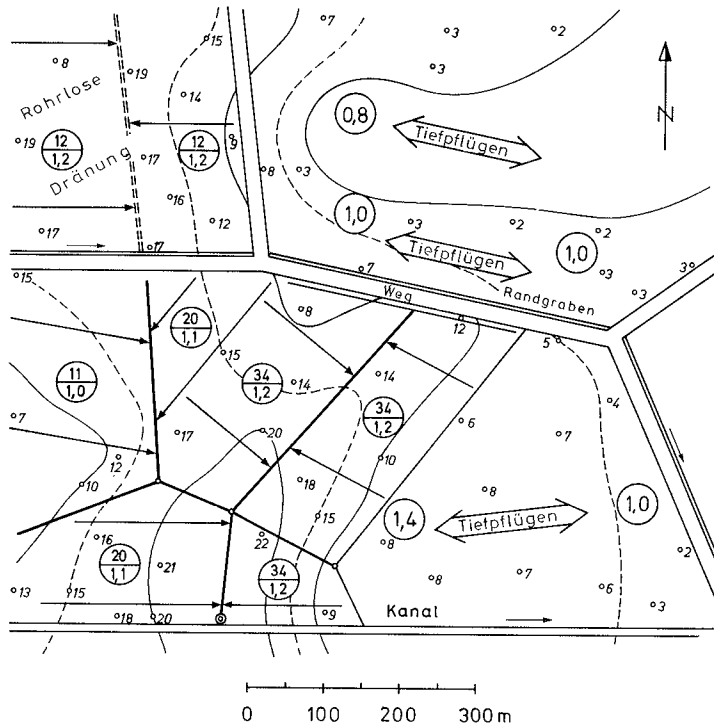


Bild 7.24 Lageplan für Rohrlose-Dränung und Tiefpflügen im Moor

Die Längsschnitte der Sammler sind im Maßstab des Lageplanes mit überhöhter Ordinate zu bezeichnen. Sie sollen enthalten: Höhen von Gelände und Rohrgrabensohle, im Moor den mineralischen Untergrund (alles auf N.N. bezogen); Gefälle, Gefällebrechpunkte, Rohrmaterial, Nennweiten, Einmündungen von Sammlern; Bauwerke; Kreuzungen von Wegen, Gewässern, Leitungen; Sohl- und Wasserspiegel-Ordinaten der Vorfluter; Besonderheiten.

7.9.6 Hydraulische Berechnungen

Sie sollen enthalten:

- Bemessungs-Abflüsse (Begründung und Ermittlung);
- Hydraulische Berechnung nur für Nennweiten $DN \geq 100$, kleinere können geschätzt werden.

7.9.7 Verzeichnisse

Hierin sind aufzuführen:

- Bauwerke (Art, Bezeichnung, Lage, Unterhaltungspflicht, Hauptabmessungen);
- Dränabteilungen (Art, Bezeichnung, Größe, Saugerabstände, Baustoffe, Filter, Besonderheiten).

7.9.8 Kostenvoranschlag (Kostenanschlag)

Er soll enthalten die Kosten für:

- Entwurf und Bauaufsicht;
- Grunderwerb und Vermessung;
- Baustelleneinrichtung;
- Erd- und Rohrlegearbeiten;
- Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration;
- Material (Rohr und Filter);
- Meliorationskalkung und -düngung;
- Bauwerke;
- Vorflutbeschaffung;
- Unterhaltung;
- Gutachten Dritter (spez. Bodenuntersuchungen u. dgl.);
- Sonstiges;
- Einheitskosten.

Literatur

- [7.1] Beltran, J. M.: Drainage and Reclamation of Salteffected Soils. 321 S. (with Spain sum.). Intern. Inst. f. Land Reclamation Publ. 24. Wageningen/NL 1978.

- [7.2] Bretschneider; Lecher; Schmidt (Herausg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1981.
- [7.3] Eggelsmann, R.: Dränbemessung im Moor nach Tiefe, Abstand und Art. *Telma* **2**, S. 91–108. Hannover 1972.
- [7.4] Eggelsmann, R.: Oxidativer Torfverzehr in Niedermoor in Abhängigkeit vom Klima und mögliche Schutzmaßnahmen. *Telma* **8**, S. 75–81. Hannover 1978.
- [7.5] Eggelsmann, R.: Entwässerung. In: Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1981.
- [7.6] El-Hakim, A. H.: Ökonomik der Bodenentsalzung. Z. f. Bewässerungswirtschaft, Sonderheft 2. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag 1973.
- [7.7] FAO/UNESCO: Irrigation-Drainage and Salinity. An International Source Book. London: Ed. Hutchinson 1973.
- [7.8] Hunkeler; Grubinger; Tanner: Landwirtschaftliches Meliorationswesen, 5. Aufl. Bern: Buchverlag Schweiz 1970.
- [7.9] Ilnicki, P.; Eggelsmann, R.: Sackung im wiederholt entwässerten Hochmooren des nordwestdeutschen Flachlandes. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **18**, S. 23–34. Berlin 1977.
- [7.10] Janert, H.: Lehrbuch der Bodenmelioration. Bd. II. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1961.
- [7.11] Keller, G.: Angewandte Hydrologie. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1969.
- [7.12] Kuntze, H.: Die Marschen – Schwere Böden in der landwirtschaftlichen Evolution. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1965.
- [7.13] Kuntze, H.: Ein neues Verfahren zur Verbesserung staunasser, besandeter Hochmoore. Z. f. Kultur. u. Flurbereinigung, **14**, S. 160–167. Berlin 1973.
- [7.14] Lautrich, R.: Der Abwasserkanal. 4. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1980.
- [7.15] Lehr, R.: Taschenbuch für den Garten- und Landschaftsbau. 2. Aufl. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.
- [7.16] Meyer, B. u. Hippe, H.: Gärfuttermieten als Ursache saprophytgener Dränverstopfungen. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **7**, S. 300–303. Berlin 1966.
- [7.17] Müller-Späth, W.; Hall, G.: Entwässerung von Marschböden in Kehdingen. *Wasser u. Boden* **13**, S. 329–332. Hamburg 1961.
- [7.18] Petraschek, A.: Über die Wirkung systematischer Entwässerungen in Hanglagen. Diss. ETH Zürich 1973.
- [7.19] Reinken; Hinze; Buchner; Kraher; Siebert; Werning: Agrotherm – Abwärmeverwertung von Kraftwerken mittels Rohrsystem zur ganzjährigen Beheizung. *Wasser u. Boden* **30**, S. 260–264. Hamburg 1978.
- [7.20] Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW 1977) KWK – DVWW Regelwerk, Heft 103. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1977.
- [7.21] Rager, K. Th.; Schmid, G.; Weigelt, H.: Die dreistufige Melioration von Pseudogleyen – eine Fortentwicklung der konventionellen Volldränung. *Wasser u. Boden* **22**, S. 297–302. 1970.
- [7.22] Schendel, U.: Vegetationswasserverbrauch und -wasserbedarf. Habil.-Schrift. Kiel 1967.
- [7.23] Schroeder, G.: Landwirtschaftlicher Wasserbau. 4. Aufl. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968.
- [7.24] Schmid, G.; Borchert, H.; Weigelt, H.: Bodenmelioration durch Tiefendüngung und Tiefenlockerung mit Ausgleichsdüngung. Z. f. Kulturt. u. Flurb. **13**, S. 354–372. Berlin 1972.

- [7.25] Segeberg, H.: Moorsackung durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Z. f. Kultur. 2, S. 144–61. Berlin 1960.
- [7.26] Spillmann, P.; Collins, H.-J.: Einjährige Beobachtungen von Temperaturverlauf und Sickerwasserbelastung einer hochverdichteten Hausmülldeponie. – Müll und Abfall 7, S. 29–34. Bielefeld 1975.
- [7.27] Steinmetz, H.-J.; Brauer, E.: Empfehlungen für Bodenverbesserungen in Hessen. Herausg. Hess. Min. f. ELF. Wiesbaden 1968.
- [7.28] Symposium Bewässerungswirtschaft des Auslandes (Verdunstung – Transpiration – Bewässerungsbedarf – Verfahren – Planung – Voruntersuchung). Schr. R. Dt. Komm. ICID Heft 6. Bonn 1973.
- [7.29] Terzaghi-Peck: Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1961.
- [7.30] Thomsen, K.: Pumpwerke mit vertikalen Köster-Propellerpumpen. Herausg. Friedr. Köster KG. Heide/Holst. 1979.
- [7.31] Uhden, O.: Taschenbuch Landwirtschaftlicher Wasserbau. Stuttgart: Franckh'sche Verlagsbuchhandlung 1964.
- [7.32] Wenz, K.-P.: Belastungsversuch an Kunststoffrohren unter naturähnlichen Bedingungen. Auftraggeber: Fränk. Rohrwerke Gebr. Kirchner. 8729 Königsberg/Bayern, 1976 (unveröffentlicht).
- [7.33] Withers, B.; Vipond, S.: Bewässerung. (Dt. Bearb. Lecher, K.). Berlin-Hamburg: Paul Parey 1978.
- [7.34] Spillmann, P.: Die Dränung von Abfalldeponien zum Schutz des Grundwassers. Bericht 2. Intern. Dräntagung „Dränung und Umweltschutz“. Bad Zwischenahn 11.–13. November 1980.

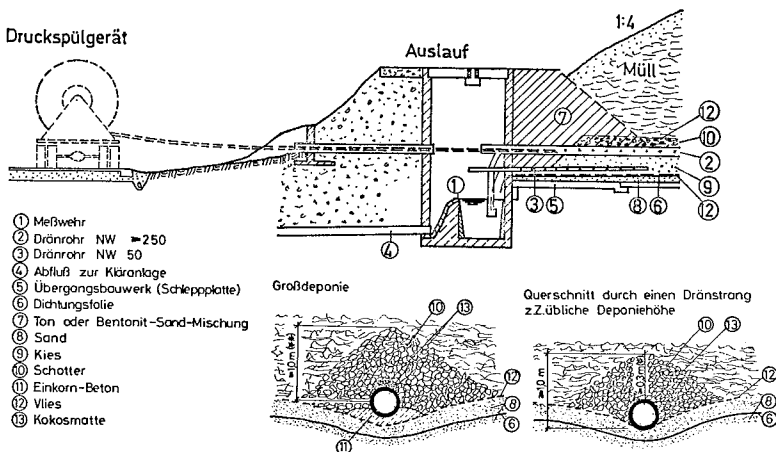


Bild 7.25 Dränung mit Kontrollschacht für normale Mülldeponie (Schütthöhe bis 30 m) und für Großdeponie mit Schütthöhe bis 100 m [7.34]

8 Dränmaterial

Rohrdränungen sollen auch nach mehreren Jahrzehnten im Boden voll wirksam sein. Dies ist nur möglich, wenn das Dränmaterial alterungsbeständig ist und die Rohre formstabil bleiben. Ferner müssen Stoßfugen oder Eintrittsöffnungen sowie Dränfilter funktionsfähig bleiben. Die Rohrfestigkeit muß gewährleisten, daß Dränrohre:

- den Transport vom Werk oder Lager zur Baustelle mit möglichst wenig Bruch und ohne verdeckte Schäden überstehen;
- beim Zwischenlagern auf der Baustelle atmosphärische Einwirkungen (Wärme, Kälte, Sonnenlicht [UV-Strahlen], Regen) schadlos widerstehen;
- schadlos auf die Dränmaschine übernommen und von dieser verlegt werden können;
- beim Verfüllen des Drängrabens keine Schäden erleiden, die unerkant bleiben und die Dränwirkung erst nach längerer Zeit beeinträchtigen.

Dies setzt voraus, daß die Dränrohre möglichst robust sind und ggf. auftretende Schäden am Rohr zuverlässig und einwandfrei erkannt werden können.

8.1 Dränrohre aus Ton

Seit fast 150 Jahren wird Ton bzw. Lehm – nach Jahrtausende alten Erfahrungen bei der Ziegelherstellung – auch zur Fabrikation von Dränrohren benutzt. Hauptrohstoff ist Ton oder Lehm, der nach dem Abbau im Tagebau vorbehandelt wird. Je nach Beschaffenheit wird Ton, Feinsand oder Ziegelmehl beigegeben, nachdem zuvor Verunreinigungen (Steine, Kalkeinschlüsse o. a.) entfernt sind. Die moderne Fabrikation von Dränrohren aus Ton ist in Bild 8.1 schematisch skizziert. Im Bild 8.2 erkennt man, wie das geformte Tonrohr die Strangpresse (rechts) verläßt, die Abschnideautomatik durchläuft und zur Trocknung (Hintergrund) gestapelt wird. Die fertigen Rohre kommen zum Lager oder direkt zum Versand.

Die Güte der Rohre wird in modernen Ziegelwerken im eigenen Labor laufend gem. DIN 1180 überwacht (Bild 8.3). Jedes 10. Rohr ist mit Werkzeugen versehen.

Ordnungsgemäß hergestellte Tondränrohre haben folgende **Eigenschaften**:

- Hohes Eigengewicht ($s = 1,7 \text{ p/cm}^3$);
- Frostbeständigkeit;
- Resistenz gegen aggressive Wässer;
- hohe Festigkeit (Bruchlast $> 700 \text{ kp}$);

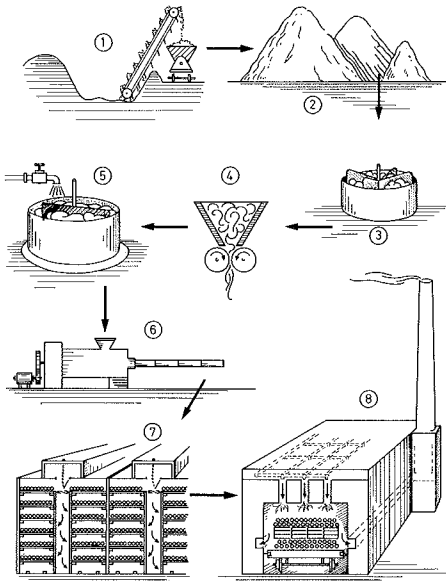


Bild 8.1 Moderne Fabrikation von Dränrohren aus Ton, 1 = Gewinnung, 2 = Lager von Ton, Lehm, Sand, 3–5 = Mischung und Aufbereitung, 6 = Rohr-
presse, 7 = Trocknung, 8 = Tunnelofen

– lange Lebensdauer im Boden (es sind mehr als 100 Jahre alte Dränrohre aufgedigelt worden [1.4]).

Die Abmessungen der Dränrohre aus Ton sind in DIN 1180 genormt. Form und Maße sind in Tabelle 8.1 zusammengestellt. Der Innendurchmesser muß kreisrund, die Außenform kann kreisrund, 6-, 8- oder 12kantig sein.

Nach 1966 wurden zeitweilig in Nordwestdeutschland Tondränrohre mit äußeren Längsrillen (Bild 8.4) hergestellt, die sich in Verbindung mit einem Dränfilter bewährt haben. Die Rillen erleichtern den Zufluß des Wassers zu den Stoßfugen [5.18]. Es gab nur Saugerrohre DN 50.

Die **Güteprüfung** der Tondränrohre ist in DIN 1180 genormt. Dafür sind 15 dem Durchschnitt entsprechende Rohre zu entnehmen. Die Güteprüfung soll sich erstrecken auf (Reihenfolge beachten):

- Bei 10 Rohren:
 - Mittlerer Innendurchmesser;
 - mittlere Länge;
 - mittlere geringste Wanddicke;
 - Schnittflächen;
 - Geradheit;
 - Lage der Schnittflächen;
 - Form des Innenkreises;
 - Festigkeit.

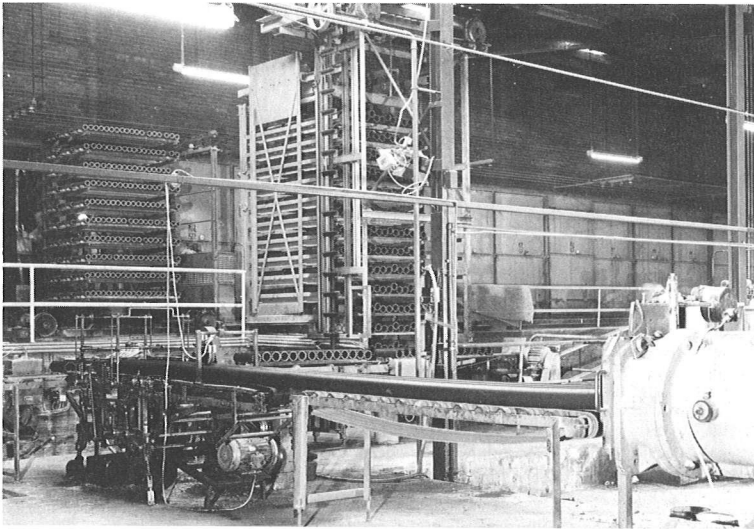


Bild 8.2 Tonrohr-Strangpresse mit Abschneideautomatik

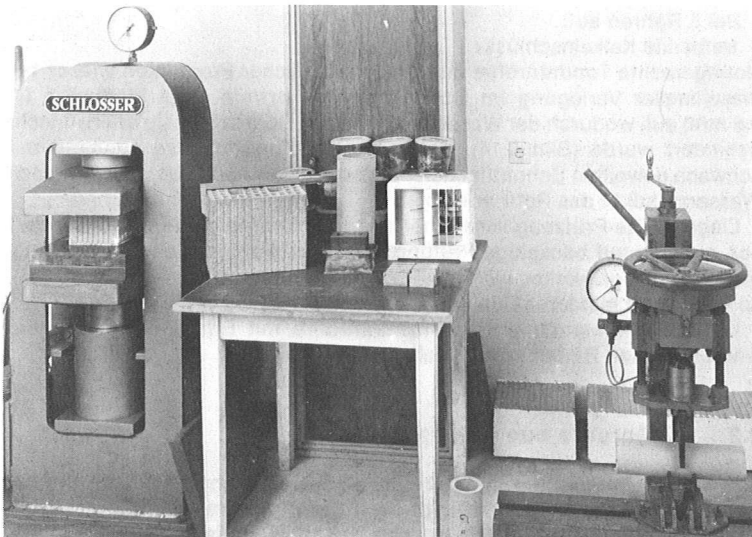


Bild 8.3 Prüflabor für Dränrohre/Ziegel aus Ton

Tabelle 8.1 Abmessungen der Dränrohre aus Ton (nach DIN 1180)

DN	Äußere Form	Maße in mm						Zul. Abweichung der Schnittflächen vom rechten Winkel zur Rohrachse		Bruchlast kp Mindestwert		
		Mittlerer Innendurchmesser d		Mittlere Länge l		Mittlere geringste Wanddickes		Güteklasse		Güteklasse		
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
50	6-	48	53				6	12	±3	±5	900	700
80	oder	63	68				7	14	±4	±6	1050	850
100	8-	78	84	333	328	338	8	16	±4	±6	1400	1000
130	eckig	97	105				9	18	±5	±7	1200	1200
160	8-	126	137	333	328	338	10	21	±6	±7	1700	1450
	oder	156	167	oder	oder	oder	12	23	±8	±8	2000	1700
200	12-	194	210	500	493	507					2400	2000
	eckig						14	24	±9	±9		

1) Die Kleinst- bzw. Größtwerte sind auf der Basis einer Abweichung von -3% und +5% von der Nennweite festgelegt.

Bei 5 Rohren auf:

– treibende Kalkeinschlüsse.

Normgerechte Tondränrohre aus vollautomatischer Produktion wiesen bei maschineller Verlegung im Boden teilweise extrem enge Stoßfugen (< 0,5 mm) auf, wodurch der Wassereintritt in das Rohr zeitweilig unerwünscht behindert wurde (Bild 5.14). Daher werden Tondränrohre nunmehr mit schwach gewellten Schnittflächen hergestellt, was nach der Verlegung den Wasserzufluß in das Rohr erleichtert.

Liegen Güte-Prüfzeugnisse einer anerkannten Material-Prüfungsanstalt vor, so kann auf bauseitige Prüfung verzichtet werden. Tondränrohre aus modernen Ziegelwerken werden allgemein normgerecht geliefert (Bild 8.4), so daß Rohre minderer Qualität heute selten sind.

In fünf Kontinenten werden Tondränrohre mit Erfolg verwendet. Sie werden in allen Böden seit 1½ Jahrhunderten verlegt.

8.2 Dränrohre aus Kunststoff

In der Wasserversorgung sind seit mehr als drei Jahrzehnten Druckrohre aus Kunststoff bekannt. Seit 1960 gibt es in der Bundesrepublik Deutschland Dränrohre aus Kunststoff, in Holland seit 1957. Anfangs wurden glatte, angeregt durch Willner ab 1960 flexible Dränrohre aus Kunststoff entwickelt

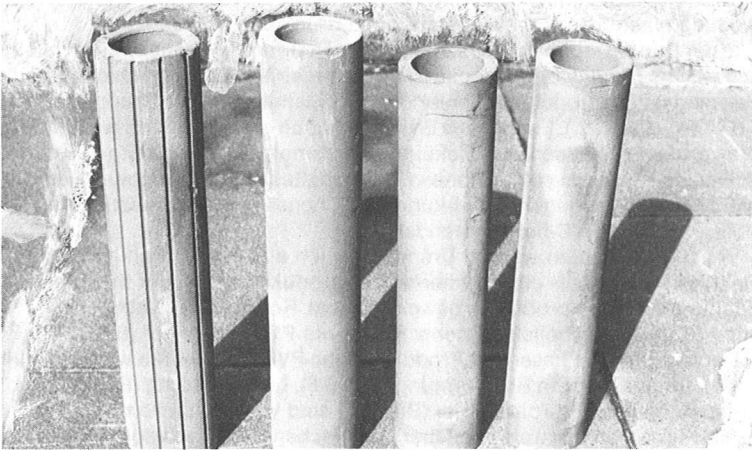


Bild 8.4 Dränrohre aus Ton, 1 = Rillenrohr mit Wellenschnitt, 2 = Normalrohr, 3 und 4 = Tonrohr alter Fertigung (30 cm lang)

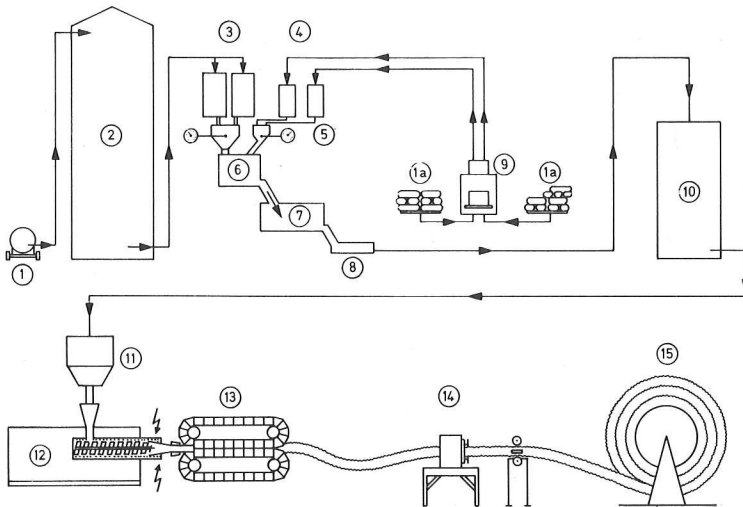


Bild 8.5 Fabrikation von Dränrohren aus PVC, 1–2 = Anfuhr und Lager von PVC-Pulver und Zuschlagstoffen, 3–9 = Dosierung, Mischung und Aufbereitung, 10 = Abruflager, 11–12 = Fülltrichter und Extruder, 13 = Rohrformung, 14 = Lochung, 15 = Aufspulung

und eingesetzt. Eine ringförmig oder spiralförmig um das Rohr verlaufende Wellung macht das Rohr biegefähig und druckfest (Bild 5.8).

In der Bundesrepublik Deutschland werden Dränrohre nahezu ausschließlich aus Polyvinylchlorid (abgekürzt PVC) hergestellt. Polyvinylchlorid ist ein Polymerisationsprodukt aus chlorierten Kohlenwasserstoff-Gruppen ($\dots - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \dots$). Es wird aus Erdölprodukten gewonnen und besteht aus sehr großen organischen Molekülen (Makromoleküle). PVC ist ein weißes Pulver, es ist wegen seines hohen Chlorgehaltes nicht mit eigener Flamme brennbar und ist gegen Einwirkung von Chemikalien sehr beständig. Für Dränrohre wird PVC-hart verwendet.

In anderen Staaten werden Dränrohre auch aus Polyäthylen-hart hergestellt; es ist ebenfalls ein Polymerisationsprodukt, das bei der thermischen Spaltung von Erdölprodukten gewonnen wird. Rohre aus Polyäthylen (abgekürzt PE) weisen ähnliche Eigenschaften wie PVC-Rohre auf [8.13].

Die wichtigsten Phasen der Produktion von PVC-Dränrohren wie Extruder zur thermoplastischen Rohrformung (Bild 8.6), Lochstanzung (Bild 8.7) und Aufspulung der Dränrohrbündel (Bild 8.8) sind veranschaulicht.

Alle modernen Dränrohrhersteller überwachen in betriebseigenen Labors laufend die Qualität ihrer Dränrohrproduktion gem. DIN 1187 (Bild 8.9).

Ordnungsgemäß hergestellte (gewellte) PVC-Dränrohre haben folgende **Eigenschaften**:

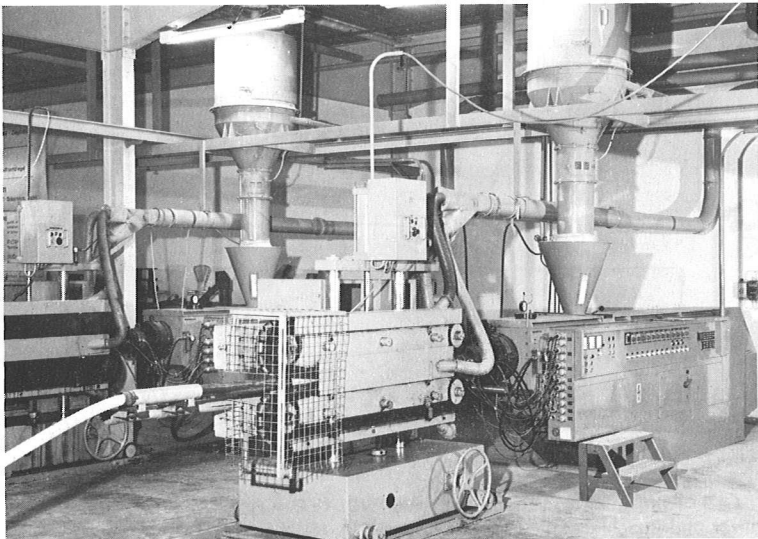


Bild 8.6 Extruder zur thermoplastischen Rohrformung

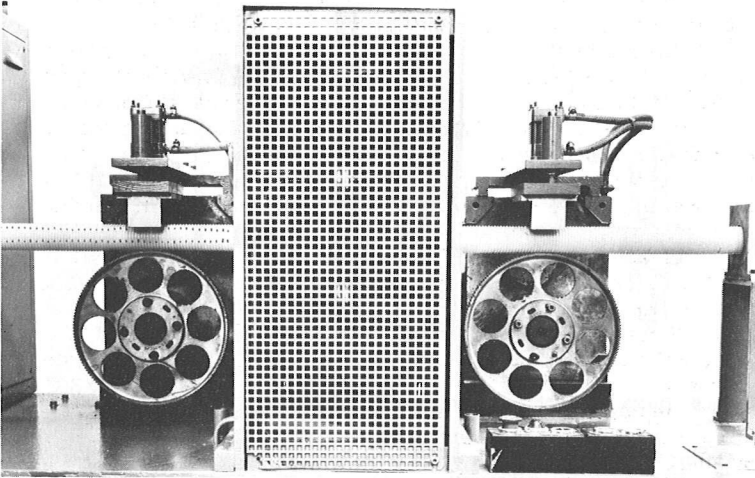


Bild 8.7 Lochstanzung

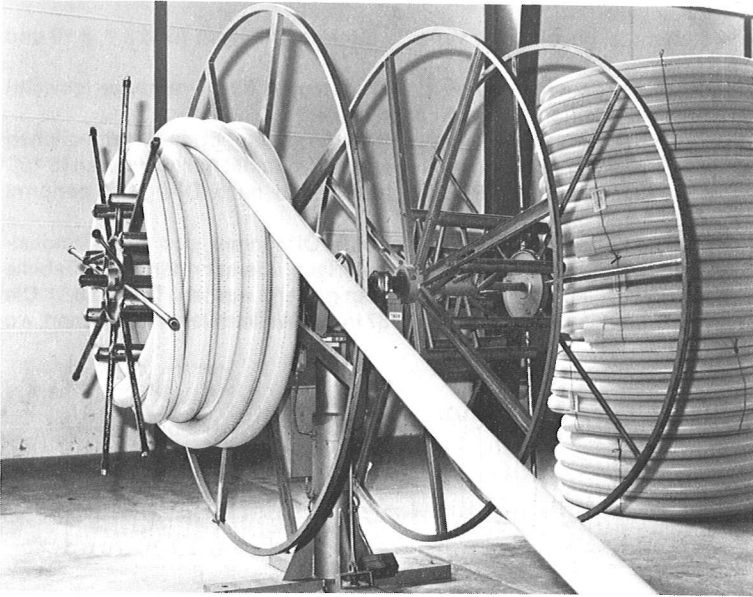


Bild 8.8 Aufspulung der PVC-Dränrohre

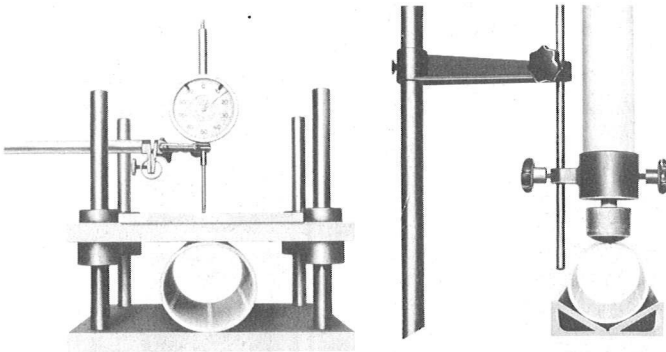


Bild 8.9 Druck- und Schlagprüfung von PVC-Dränrohr

- Geringes Eigengewicht ($s = 1,3 \text{ p/cm}^3$);
- chemische Unzersetzbarkeit;
- ausreichende Schlag-, Druck- und Zugfestigkeit (Bild 8.9);
- Biegsamkeit;
- vorgefertigte, gleichmäßig verteilte Eintrittsöffnungen (Bild 8.7, 8.10 und 8.11, ferner Tabelle 8.4 und 8.9);
- hohe Lebensdauer (die ersten 1961 verlegten PVC-Dränrohre (gewellt) zeigen bisher eine gute Funktionsfähigkeit).

Aufgegrabene PVC-Dräne verschiedenen Alters in unterschiedlichen Böden und Landschaften haben die gute Rohrqualität nachgewiesen [5.15].

Die **Abmessungen** der PVC-Dränrohre sind nach DIN 1187 genormt (Tabelle 8.2 und 8.3).

DIN 1187 fordert gleichmäßig verteilte Öffnungen und eine Mindest-Eintrittsfläche, die in Praxis drei- bis vierfach überschritten wird (Tabelle 8.4). Die Schlitzweite kann je nach Boden gewählt werden (Tabelle 8.9). Die Eintrittsöffnungen sind gemäß DIN 1187 in den Wellentälern anzuordnen, wo

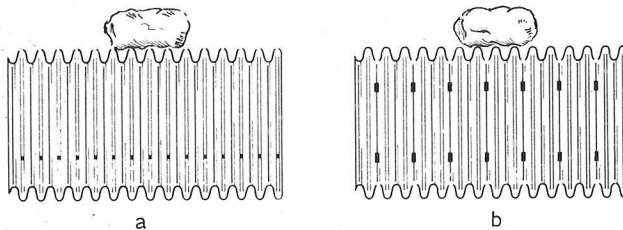


Bild 8.10 Lage der Eintrittsöffnungen beim gewellten PVC-Dränrohr [8.11]

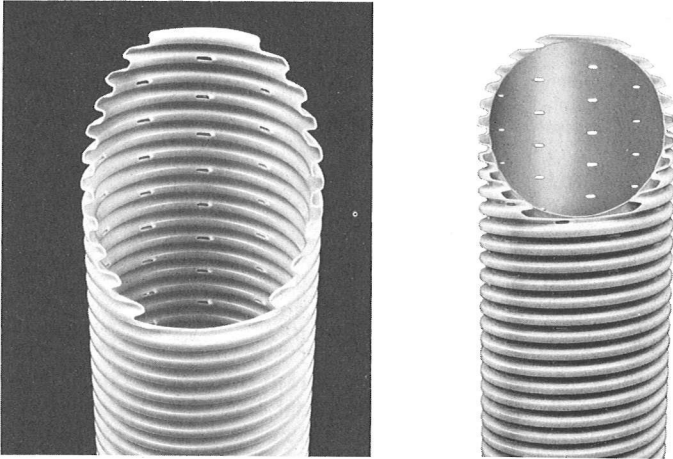


Bild 8.11 Gewelltes PVC-Dränrohr, links ohne, rechts mit Innenfolie (innenglatt)

sie auch bei ungefilterten Rohren gegen Bodeneintrag relativ geschützt sind (Bild 8.10 – b und 8.11).

Seit 1969 haben sich die meisten Hersteller der PVC-Dränrohre zu einer „Gütegemeinschaft flexible Dränrohre“ im Qualitätsverband Kunststoff-

Tabelle 8.2 Abmessungen der glatten PVC-Dränrohre (nach DIN 1187)

DN	Außen- durch- messer	Zul. Abwei- chung	Maße in mm		Innen- durch- messer ¹⁾	Gewicht ²⁾ kg/m mind.	Muffen- tiefe mind.
			Wand- dicke mind.	Zul. Abwei- chung			
40	40	+0,3	1,0	+0,5	38	0,171	60
50	50	+0,3	1,0	+0,5	48	0,216	75
63	63	+0,4	1,3	+0,6	60	0,353	90
75	75	+0,4	1,5	+0,7	72	0,485	105
90	90	+0,5	1,8	+0,8	86	0,700	115
110	110	+0,6	1,9	+0,8	106	0,904	120
125	125	+0,7	2,0	+0,8	121	1,08	125
140	140	+0,8	2,3	+0,9	135	1,40	125
160	160	+0,8	2,5	+1,0	155	1,75	125

¹⁾ Diese Werte werden nicht toleriert und auch nicht geprüft

²⁾ Bezogen auf die Mindestwanddicke. Der Gewichtsrechnung ist eine mittlere Dichte von 1,4 g/cm³ zugrunde gelegt.

Künftig sind Innendurchmesser anzustreben, die den in DIN 2402 genormten Nennwei-
ten von 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 und 200 ungefähr entsprechen.

Tabelle 8.3 Abmessungen der gewellten PVC-Dränrohre (nach DIN 1187)

DN	Außen- durch- messer	Maße in mm			mittleres Gewicht kg/m
		Zul. Abweichung	Innen- durch- messer	Zul. Abweichung	
40	42,5	-1,5	36,5	+2,0	0,135
50	50,5	-1,5	43,9	+2,0	0,165
65	65,5	-1,5	58,5	+2,0	0,235
80	80,5	-1,5	71,5	+2,0	0,32
100	100,5	-1,5	91,0	+2,0	0,48
125	126,0	-2,0	115,0	+2,5	0,65
160	160,0	-2,0	148,5	+2,5	0,95
200	200,0	-2,0	187,0	+2,5	1,40

zeugnisse e. V. zusammengeschlossen; deren Mitglieder führen ein Gütezeichen. Ihre Prüfbedingungen entsprechen der DIN 1187, sie gehen bei Sonderqualität darüber hinaus [8.9]. Liegen Güte-Prüfzeugnisse einer anerkannten Material-Prüfungsanstalt vor, so kann auf bauseitige Prüfung verzichtet werden.

Die **Güteprüfung** der PVC-Dränrohre soll sich erstrecken auf:

- Abmessungen;
- Wassereintrittsöffnungen;
- Schlagfestigkeit (bei 0°C);
- Druckfestigkeit;
- Biegefestigkeit;
- Verformung;
- Zugfestigkeit (einschl. der Verbindungsstücke).

Kunststoff-Dränrohre werden in fast allen Kontinenten verlegt, verbreitet besonders in Europa und Japan. Sie sind für alle dränfähigen Böden geeignet. In der Bundesrepublik Deutschland werden (1980) bei mehr als 80% aller Rohrdränungen gewellte PVC-Dränrohre verwendet werden, wobei der PVC-Anteil im Norden und Nordwesten größer ist als im Süden und Südwesten [8.7].

Tabelle 8.4 Gesamtfläche der Eintrittsöffnungen für PVC-Dränrohre (nach DIN 1187)

DN mm	Eintrittsöffnungen in cm ² /m (gesamt) bei Schlitzbreiten			Anzahl der Schlitze Stück/m
	eng 0,6 - 0,9	mittel 1,1 - 1,5	weit 1,7 - 2,0	
50	23	34	51	560
65	27	41	62	570
80	29	43	64	715
100	30	45	68	625
125	35	52	80	625
160	40	60	90	625
200	32	48	72	500

Eine Neuentwicklung (1975) ist das spiralig gewellte PVC-Dränrohr „in-nenglatt“, dessen innere Folie (0,2 mm dick), die an Wellenkuppen verklebt, die Wellentäler überdeckt (Bild 8.11). Die hydraulische Leistung entspricht etwa der von Tonrohren (Kap. 6.2).

8.3 Dränfilter – warum, wo, wann?

8.3.1 Definition

Mit dem Einsatz der Dränmaschinen während der letzten Jahrzehnte werden – besonders in Nordwestdeutschland, Holland und Belgien – bei der Rohrdränung verbreitet Filtermaterialien verwendet. Das ist einmal auf die Maschinenarbeit (Fräskette), besonders aber wohl auf den verstärkten Einsatz bei ungünstigen (zu feuchten) Boden- und Witterungsverhältnissen zurückzuführen (Kap. 5.1 und 9.1).

Mit der für die Dränpraxis überaus wichtigen Frage: „Warum, wo und wann sind die Dränfilter notwendig?“ hat sich das Kuratorium für Kulturbauwesen-Ausschuß „Dränhydraulik und Dräntechnik“ 1970/72 in mehreren Dränfilter-Kolloquien befaßt [8.1].

Dränfilter ist ein das Dränrohr ganz oder teilweise umhüllender Filterstoff, der entweder gleichzeitig mit dem Dränrohr verlegt wird oder nach dem Verlegen eingebracht wird (Bild 8.12 – b und c), bei c) sollte er auch die Rohrsohle schützen.

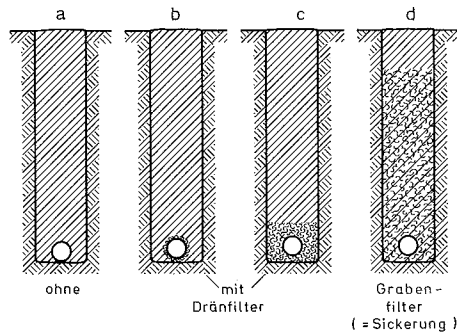


Bild 8.12 Dränfilter und Drängrabenfilter [8.1]

Grabenfilter ist ein in den Drängräben in bestimmter Höhe eingebrachter Filter (Bild 8.12 – d). Er wird bevorzugt bei Fangedränen angewendet und zum Anschluß von Rohrlosen-Dränen (Erddränen) an Rohrsammler (Bild 4.3). Als Grabenfilter kann auch die Dränplatte aus Styropor angesehen werden (Kap. 8.6).

8.3.2 Eigenschaften

Es sind bekannt:

Natürliche Filterstoffe wie Kies, Grobsand, Fasertorf, Torfmoß, Stroh, Tannenreisig, Häcksel, Kokosfaser, Heidekraut, Sägespäne, Baumrinde, im günstigen Fall auch Krümenboden (Mutterboden).

Synthetische Filterstoffe wie Faserstoffe, geschäumte Kunststoffe (z. B. Styropor, Polyurethan), Glaswolle, Filze, Schlacke u. a.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der üblichen Dränfilter wurden in den letzten Jahren näher untersucht. Tabelle 8.5 gibt eine Übersicht der wichtigsten Merkmale, wie Dicke, Packungs- und Materialdichte sowie Gesamtporenvolumen, Bild 8.13 zeigt die Porosität (Porenraumverteilung),

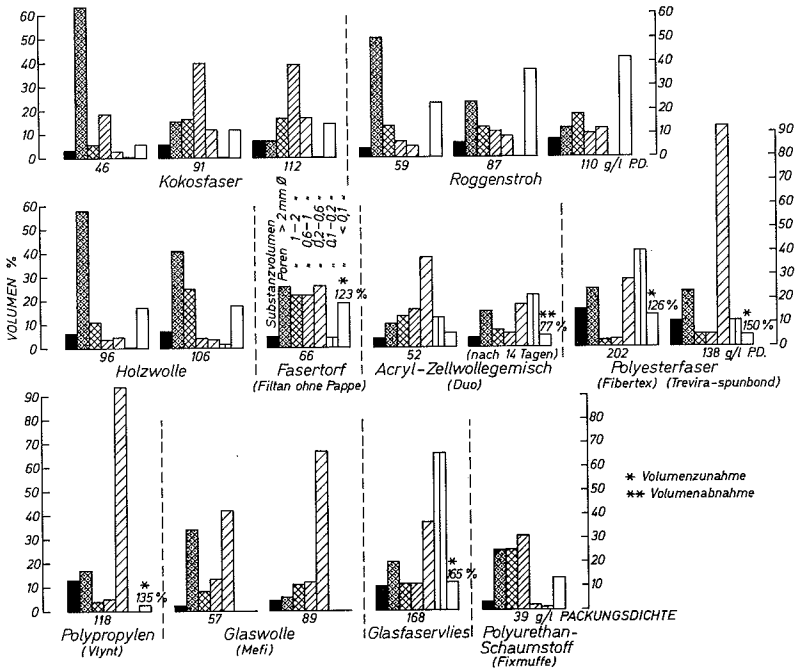


Bild 8.13 Porenraumgliederung einiger Dränfilterstoffe [5.6]

sie verändert sich mit der Packungsdichte (Zunahme der Mikroporen $\varnothing < 0,2$ mm, Abnahme der Makroporen $\varnothing > 2,0$ mm). Will man das Porensystem eines Dränfilters beurteilen, so kann man das nur im Vergleich zum Boden, dessen Porenraumgliederung (Tabelle 2.5) und Korngrößenverteilung (Bild

2.6 und 3.4). Die Wirksamkeit der Dränfilter auf den Wassereintritt in das Dränrohr ist in Kap. 5.1.3 behandelt.

Tabelle 8.5 Merkmale üblicher Dränfilter [5.6]

Nr.	Material	Filter- dicke cm	Packungs- dichte g/l	Dichte g/cm ³	Poren- volumen %
1	Roggenstroh	1,4	64	1,58	96
2	Roggenstroh	1,3	96	1,58	94
3	Kokosfaser	0,9	107	1,52	93
4	Holzwohle	1,2	90	1,50	95
5	Fasertorf (Filtan®)	0,85	66	1,56	96
6	Acryl-Zellulosegemisch (Duo®)	0,33	52	1,45	96
7	Polyesterfaser (Treviraspunbond®)	0,5	138	1,38	90
8	Polyesterfaser (Fibertex®)	0,1	202	1,38	85
9	Polypropylen (Vlynt®)	0,35	118	0,91	87
10	Glaswohle (Mefi®)	1,3	57	2,62	98
11	Glasfaservlies	0,03	168	1,93	91
12	Polyurethan-Schaumstoff (Fixmuffe®)	1,2	39	1,14	97

Die Durchlässigkeit von Filterstoffen an vollummantelten gewellten PVC-Dränrohren wurde experimentell als Widerstand in durchströmendem Wasser gemessen, mithin Filterstoff und Dränrohr als Einheit betrachtet (Tabelle 8.6).

8.3.3 Anwendung

Filterstoffe können lose oder mattenförmig eingebaut oder als Vollfilterrohr verlegt werden. Filterstoffe können beständig oder teilabbaufähig sein.

Nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse sollen Dränfilter folgende

Funktion – getrennt oder überlagernd – erfüllen:

- Filterwirkung, d. h. Abtrennung von Bodenteilchen verschiedener Größe (> 0,02 mm); feinste Bodenteilchen (Ton, Feinschluff) soll der Dränfilter also passieren lassen;
- Erhöhung der hydraulischen Leistung (Kap. 5.1);
- biochemische Wirkung, d. h. verzögern oder vermeiden der Dränverockerung.

Von großer Bedeutung für den Dränfilter ist die Art der **Rohrverschlamung** (Bild 8.14). Es kann unterschieden werden [8.1, 8.12]:

- Primärverschlamung, die nur kurzzeitig nach Abschluß der Dränarbeiten auftritt und dann rasch abklingt;
- Sekundärverschlamung, die ausdauernd vorkommt.

Die Antwort auf die Frage: „Wann sind in welchem Boden Dränfilter angezeigt?“ kann nur (tabellarisch gerafft) gegeben werden in Abhängigkeit von

Tabelle 8.6 Durchlässigkeit handelsüblicher Vollfilter-Dränrohre [8.10]

handelsübliche Bezeichnung	bestehend aus gewelltem Kunststoff-Dränrohr und		Durchlässigkeit k (cm/s)
	innerem Dränfilter	äußerem Dränfilter	
gewelltes Kunststoff- Dränrohr	–	–	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Duo-Vollfilter	synthetischer Faserstoff	–	$4,2 \cdot 10^{-2}$
Stroh-Vollfilter	Stroh	–	$13 \cdot 10^{-2}$
Kokos-Vollfilter	Kokos	–	$15 \cdot 10^{-2}$
Filtan-Vollfilter	Torf	synthetischer Faserstoff	$0,62 \cdot 10^{-2}$
Styromull-Vollfilter	Styromull	synthetischer Faserstoff	$14 \cdot 10^{-2}$
Styrodrän-Vollfilter	Styromull	Kokos	$19 \cdot 10^{-2}$
Antoc-Vollfilter	Mimosaholzspäne	Stroh	$10 \cdot 10^{-2}$

den Bodeneigenschaften, von Art und Zeitpunkt der Dränarbeit, (Tabelle 8.7), in Verbindung zu Bodenart (Tabelle 8.8) und Schlitzweite der Eintrittsöffnungen (Tabelle 8.9).

Die Dränfilter-Kolloquien und Erfahrungen der letzten Jahre (Kap. 5.1.3) haben insgesamt folgendes ergeben:

- Wichtiger als die Frage „Dränfilter – ja oder nein?“ ist die Forderung: „Dränausführung bei ausreichend **trockenem** Bodenzustand!“ (Kap. 9.1)
- Dränfilter werden bevorzugt im humiden Klimabereich in der Bundesrepublik Deutschland und Westeuropa angewendet;

Gefügestabilität

Dränverschlammung

Dränfilter — primär — sekundär —
— abbaufähig teilabbaufähig

Bild 8.14 Bodeneigenschaften, Dränverschlammung und Dränfilterbedarf [5.19]

- eine gewisse Primärverschlammung (Bild 8.14) im Dränrohr kann vorteilhaft sein, sie schafft einen „bogeneigenen Filter“ am Dränrohr (Bild 5.10), Ablagerung im Rohr kann durch einmalige Dränspülung beseitigt werden;
- Erfahrungen eines Standortes können kaum auf andere übertragen werden;
- nicht abbaufähige (dauerhafte) synthetische Dränfilter können allmählich ermüden (erschöpfen, wie z. B. Kaffeefilter), wodurch eine Rohrdränung

Tabelle 8.7 Dränfilter in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Dränarbeit [8.1, ergänzt]

Bodeneigenschaften	Gefüge (Struktur)	gut (stabil)	mäßig (instabil)	schlecht (labil)
	Durchlässigkeit	hoch	mittel	gering
	Verschlämmungsneigung	kaum	anfangs (= Primärverschlämmung)	dauernd (= Sekundärverschlämmung)
Dränarbeit	Art	Fräskette grabenfrei	grabenfrei Fräskette	Hand, Fräskette Löffelbagger grabenfrei
	Zeitpunkt (Bodenfeuchte)	a) trocken bis feucht b) sehr naß	a) ausreichend trocken b) feucht bis naß	nur bei ausreichend trockenem Boden
	Dränfilter	a) kein b) teilabbaufähig	a) und b) teilabbaufähig	dauerhaft, besser Grabenfilter

Tabelle 8.8 Bodenart, Verschlämmungseignung und Dränfilterbedarf [5.19]

Bodenart (Bild 3.4)	Primärverschlämmung	Sekundärverschlämmung
gS	–	–
mS	+	+
fS	++	++
uS	+++	+++
IS, tS	+	–
U, sU	+++	+++
IU	++	++
sL	+	–
uL	++	--
L, sT, IT	+	–
Torf	–	–

Es bedeuten: – keine
+ geringe
++ mittlere
+++ große
Verschlämmungseignung = Filterbedarf

Tabelle 8.9 Schlitzweiten für den Wassereintritt bei PVC-Dränrohren in Abhängigkeit von Bodenart und Dränfilter

Bodenart	Schlitzweite in mm	
	mit Dränfilter	ohne Dränfilter
Schluff, stark zerst. Torf	0,6 – 0,9	–
Feinsand	1,1 – 1,5	0,6 – 0,9
Ton, Lehm, lehm. Sand, mäßig zerst. Torf	1,7 – 2,0	1,1 – 1,5
schwach zerst. Torf	–	1,7 – 2,0

- irreparabel unwirksam würde, dem kann durch entsprechende Wahl und Zusammensetzung von Kunststoffasern begegnet werden [8.2];
- erwünscht sind vor allem teilabbaufähige (organische) Dränfilter, die sich dadurch „regenerieren“ können.

8.4 Vollfilterrohr

Zwecks Arbeitersparnis bei der Dränarbeit und Sicherung einer zuverlässigen, vollständigen Umfiltration des Dränrohres werden in der Bundesrepublik Deutschland handelsüblich (1980) folgende Vollfilterrohre aus PVC-hart für die Dränung fabrikmäßig (Bild 8.15) hergestellt, auch Fertigfilterrohre genannt (Tabelle 8.10):

Tabelle 8.10 Handelsübliche Vollfilter-Dränrohre aus PVC-hart (chronologisch geordnet)

Jahr	Filterstoff	Handelsübliche Bezeichnung
1962	Glasfaser-Vlies	Glasvlies-Dränrohr
1962	Glaswolle (Mefi®)	Glaswolle-Vollmantelrohr
1963	Torf*)	Filtan®-Vollfilterrohr
1965	Zellwolle + Acryl	Duo®-Vollfilterrohr
1966	Perlonschnur	Perlonschnur-Spiralfilterrohr
1967	Styropor*)	Styropor-Vollfilterrohr
1968	Roggenstroh	Stroh-Vollfilterrohr
1969	Polyester-Faser	Fibertex®
1970	Kokosfaser	Kokos-Vollfilterrohr/Kokofil
1972	Holzspäne/Stroh	Ant-oc®-Vollfilterrohr**)
1973	Holzwohle	Holzwohle-Vollfilterrohr
1978	Polypropylen-Faser	Aquadrän®-Vollfilterrohr

*) Zweischichtenfilter

**) gegen Dränverockerung

Manche Filterstoffe (Fasertorf, Torf, Stroh, Sägespäne) haben sich seit Jahrzehnten bewährt. Ihre Verwendbarkeit in Filtermatten und Fertigfilterrohren ist durch Versuche bewiesen. Neue Filtermaterialien (Glaswolle, Kokosfasern, Styropor, Zellwolle, Polyurethan) sind in Feld- und Laborversuchen geprüft worden [8.2, 8.5]. Bei in der Praxis sachgemäß verlegten Dränen mit Filter sind bisher kaum Rohre verschlammte. Bisher wurden mehr als 100 Mio m Dräne mit Fertigfilterrohren verlegt, der Einsatz ist steigend (Bild 8.18).

Beim Ant-oc-Dränfilter (Tabelle 8.10) gegen Dränverockerung ist die Biozönose des Oberflächengewässers zu beachten (Kap. 5.6.3), er ist erlaubnispflichtig gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG).

Über die Haltbarkeit und Abbauraten natürlicher Filterstoffe wissen wir mehr nach der physikalisch-chemischen Untersuchung mehrere Jahre alter ausgegrabener Dränfilter [8.3, 8.4]. Nicht nur Bodenart und -feuchte, Tiefe

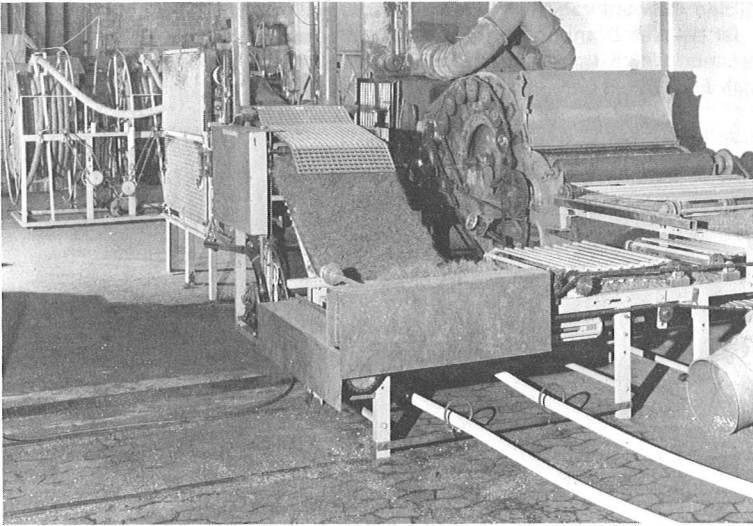


Bild 8.15 Herstellung von Vollfilter-Dränrohren

und Witterung beeinflussen die Lebensdauer, sondern auch Bodennutzung und -bewirtschaftung sowie die Verlegetechnik. Enges C/N-Verhältnis der Krumböden und Durchlüftung fördern den Abbau ebenso wie mechanische Schäden, die bei der Verlegung entstanden sind, ferner der in den Drängraben eingebrachte oder eingerieselte Krumboden durch dessen mikrobielles Lebenssystem. Diese Erkenntnisse gelten kurzfristig für Stroh und Holzwolle, langfristig auch für Kokosfaser, weniger für Torf und Heidekraut, nicht für synthetische Dränfilter.

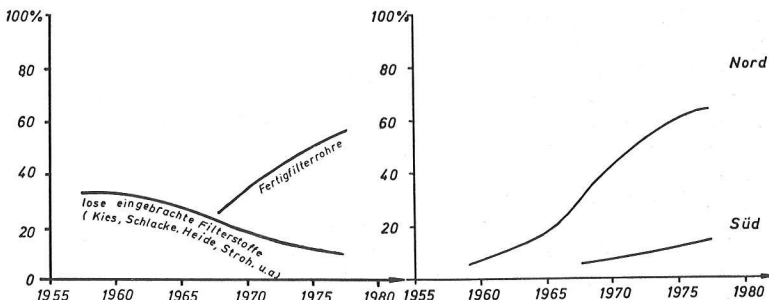


Bild 8.18 Entwicklung der Dränfilter in der Bundesrepublik Deutschland [8.7]

Eine Auswahl von Fertigfilterrohren zeigt Bild 8.16 und 8.17.

Ist bei der Dränung von Bauwerken und im Landschaftsbau damit zu rechnen, daß Kiesfilter durch Füllsand verunreinigt werden können, bieten sich Fertigfilterrohre an.

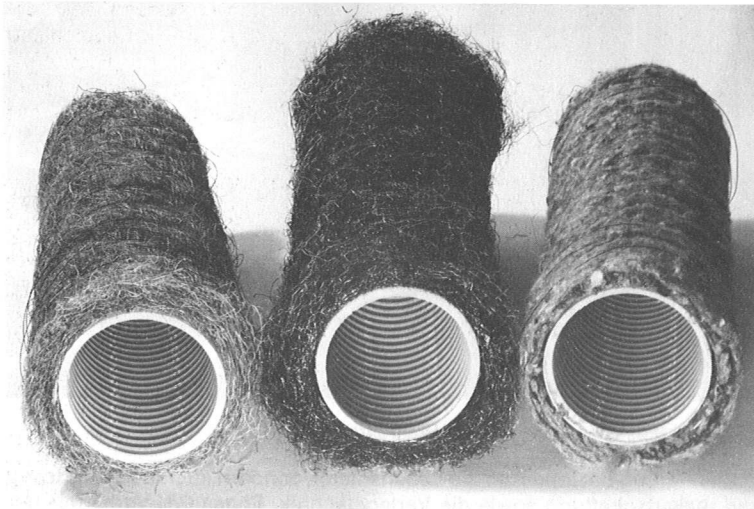


Bild 8.16 Vollfilter-Dränrohre, von links Kokos-Faser, Polypropylen-Faser und Filtan® aus Duo (außen) und Torf-Fasern (innen)



Bild 8.17 Vollfilter-Dränrohre in 50 m Ringbunden, versand- und verlegefertig (Kokos-Faser)

8.5 Dränmuffe

Dränmuffen werden in der Bundesrepublik Deutschland und in Schweden hergestellt, wodurch Tondränrohre miteinander verbunden werden. Sie verhindern ein Verschieben und Verkanten der Tondränrohre und gewährleisten bei Tonrohren von 33 cm Länge eine sehr große Gesamtlänge der Eintrittsöffnungen ($> 30 \text{ cm}^2/\text{m}$). Die in der Bundesrepublik Deutschland hergestellte Dränmuffe aus PVC (handelsübliche Bezeichnung „Fixmuffe“) kann mit und ohne geschäumten Filter aus Polyurethan geliefert werden.

Es gibt Dränmuffen für DN 50 bis DN 100; Bild 8.19 zeigt einen Sauger aus Tonrohr + Dränmuffe.

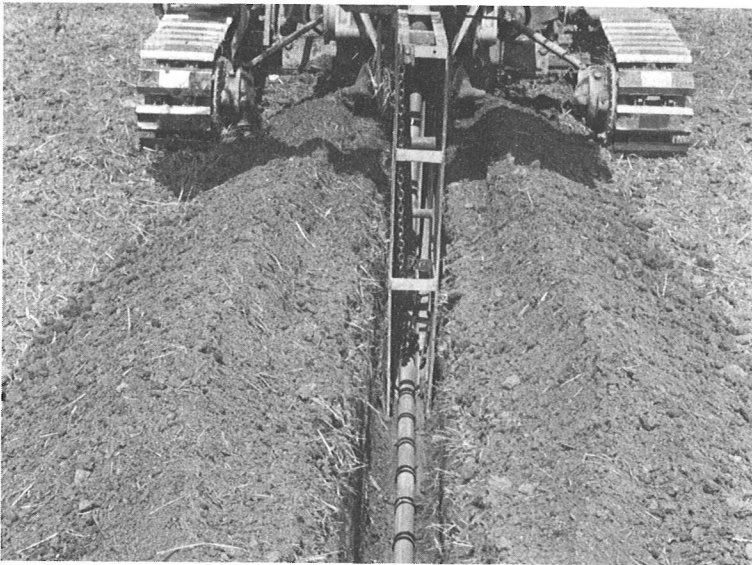


Bild 8.19 Sauger aus Tonrohr + Dränmuffe

Dränmuffen sind für alle dränfähigen Böden geeignet, im Moor verhindern sie ein Versacken der Tonrohre; der Schaumstofffilter erscheint wenig verockerungsgefährdet, es wurden von 1967 bis 1974 mehr als 50 Mio m Tonrohrdräne mit Fixmuffe verlegt. In einem Dränfeldversuch in Schleswig-Holstein (Marschboden) wurde die hydraulische Wirkung von 33 cm und 50 cm langen Tonrohren + Fixmuffe geprüft. Es ergaben sich keine signifikanten Differenzen [8.6].

8.6 Dränplatte, Filtermatte

8.6.1 Drän-/Sickerplatte

Drän-/Sickerplatten zum senkrechten Einbau über Dränrohren an Kelleraußenwänden, Stützmauern oder Erdbehältern haben die Aufgabe, Sickerwasser auf vorgegebenem Weg unschädlich zum Drän abzuleiten, sie können die wesentlich schwereren Kies- und Splittschichten ersetzen.

Drän-/Sickerplatten bestehen aus aufgeschäumten Styropor®-Kugeln (\varnothing 6–12 mm), die mittels Spezialkleber zähelastisch fixiert sind oder aus Polystrol®-Partikelschaum, der eine großzellige Hohlraumstruktur aufweist. Beide Erzeugnisse haben ein sehr geringes spez. Gewicht, sind um etwa 25% zusammendrückbar und weisen eine sehr hohe Wasserdurchlässigkeit auf von etwa 10^{-1} cm/s. Sie haben handelsübliche Abmessungen von $100 \times 75 \times 6,5$ cm bzw. $120 \times 62,5 \times 6,5$ cm, Lieferform 8 Platten in Schrumpffolie, Gewicht ca. 15 kg; handelsübliche Namen sind auch Por-drän® und Unidrän®-Platten.

Dränplatten sind zugleich ein guter Wärmedämmstoff, was an Bauwerken wichtig sein kann. Wegen ihres geringen spez. Gewichtes werden sie häufig auf Dachgärten horizontal eingebaut.

Als Ersatz für Grabenfilter können diese Platten hochkant in 3 bis 8 m Abstand in den Drängaben gestellt werden, wodurch das Versickern des Oberflächenwassers beschleunigt und erleichtert wird.

8.6.2 Filtermatte

Die für den Kanal- und Deichbau zum Böschungsschutz entwickelte Filtermatte ist eine Zweischichten-Filtermatte. Der innere, etwa 20 mm dicke Grobfilter ist eine „Krallschicht“ bestehend aus einem groben Geflecht von verrottungsbeständigen Polypropylen®-Fasern, der äußere, damit verschweißte Feinfilter ist ein etwa 0,6–0,8 mm starkes Kunststoff-Nadelvlies, es vermindert das Eindringen von feinsten Bodenteilchen. Die Filtermatte hat eine hohe Reiß- und Bruchfestigkeit. Handelsüblicher Name Erolan®. Auch die Filtermatte kann an Kellerwänden usw. senkrecht eingebaut werden, um Sickerwasser gezielt und unschädlich zum Drän abzuleiten.

8.7 Sickerrohre

Hier werden die seit langem in Straßen- und Tiefbau gebräuchlichen Sickerrohre aus Steinzeug und Beton zusammengefaßt, ergänzt durch die speziell entwickelten Sickerrohre aus Kunststoff.

8.7.1 Betonfilterrohr

Seit mehr als zwei Jahrzehnten gibt es Filterrohre aus Einkornbeton verschiedener Profile und Nennweiten, die bevorzugt im Ingenieurbau aller Art, aber auch bei Mülldeponien und Unterflurbewässerung verwendet werden. Sie sind aus kubisch gebrochenem Basaltspitt (ohne Sand- oder Kieszusatz) und Zement hergestellt (mit Spezialzement auch für aggressive Wässer bis pH 5,5), der handelsübliche Name ist Porosit®.

Die mit Nut und Falz versehenen Betonfilterrohre haben eine hohe Durchlässigkeit (Bild 8.20), sie werden in Nennweiten von DN 5 cm bis 100 cm hergestellt und in einem speziellen Sand-/Kiesfilter verlegt (Kap. 7.5.1).

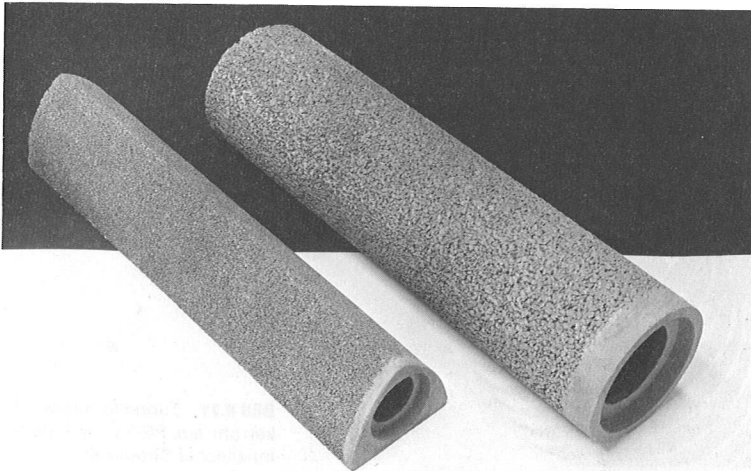


Bild 8.20 Betonfilterrohre aus Einkornbeton Porosit®

8.7.2 Gelochtes Steinzeugrohr

Gelochte Steinzeugrohre gibt es mit DN 50 bis DN 500 allseitig oder halbseitig gelocht. Der Lochabstand beträgt 5 bis 10 cm, der Lochdurchmesser etwa 10 mm. Die Rohrlängen sind 100 cm, 125 cm und 150 cm. Die Abmessungen und Materialeigenschaften entsprechen denen der üblichen Steinzeug-Muffenrohre mit Glasur in der Kanalisation. Das Dränwasser tritt durch die Löcher in das Rohr ein.

Gelochte Steinzeugrohre werden seit langem im Ingenieurbau aller Art mit Erfolg verwendet. Sie werden üblicherweise im Kiesfilter verlegt (Kap. 7.5).

8.7.3 Kunststoff-Sickerrohr

Sickerrohre werden aus PVC-hart und PE-hart hergestellt (Kap. 8.2). Sie weisen im allgemeinen einen tunnelförmigen Querschnitt mit glatter, ungeschlitzter Sohle auf; der obere Rohrteil hat eine besondere Wellenform (Bild 8.21). Die im Wellental quer zur Rohrachse liegenden Schlitzte sind versetzt angeordnet; die Schlitzbreite beträgt 0,8 mm, die Schlitzlänge 13 bis 17 mm,



Bild 8.21 Tunnelförmiges Sickerrohr aus PE-hart mit glatter Innensohle Siroplast®

so daß eine Wassereintrittsfläche größer als 50 cm²/m gewährleistet ist. Die Rohre werden in Standardlängen von 5 m hergestellt. Sie entsprechen den Anforderungen gemäß „Merkblatt für Entwässerung von Straßen“, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen in Köln, Tabelle 8.11 gibt eine Übersicht.

Tabelle 8.11 Handelsübliche Sickerrohre aus Kunststoff

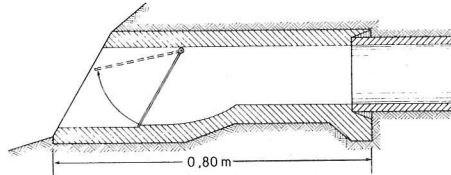
Bezeichnung	Material	DN (mm)
Raudril®	PVC – hart	80, 100, 150
Siroplast®	PE – hart	80, 100, 150, 250
Strasil®	PVC – hart	80, 100, 150, 250

8.8 Ausmündung, Anschlußrohre, Zubehör

Jede Rohrdränung hängt entscheidend auch von der Funktionsfähigkeit der Ausmündung und der Saugeranschlüsse ab. Hierfür gibt es eine Vielzahl handelsüblicher Ausfertigungen.

Dränausmündungen werden handelsüblich aus Beton (Bild 8.22), Steinzeug oder PVC hergestellt (Bild 8.23) DN 50 bis DN 200. Sie sollen mindestens

Bild 8.22 Dränausmündung für Sammler aus Beton mit Gitterklappe [7.23]



100 cm lang sein. Bei $DN \geq 100$ sind gem. DIN 1185 (Blatt 3) bewegliche Gitter aus korrosionsbeständigem Material erforderlich (lichter Abstand > 5 mm), wobei der durch die Gitterstäbe eingeengte Abflußquerschnitt durch eine verbreiterte Ausmündung ausgeglichen sein muß (Bild 8.22). Eine Dränausmündung darf **nicht** in den Vorfluter hineinragen; sie ist frostfrei zu gründen, Böschung und Sohle müssen gegen Erosion gesichert werden (Steinpack, Pflasterung u. dgl.). Zum Böschungsschutz und zur erleichterten Grabenunterhaltung gibt es neuerdings „Schürzen“ aus PVC.

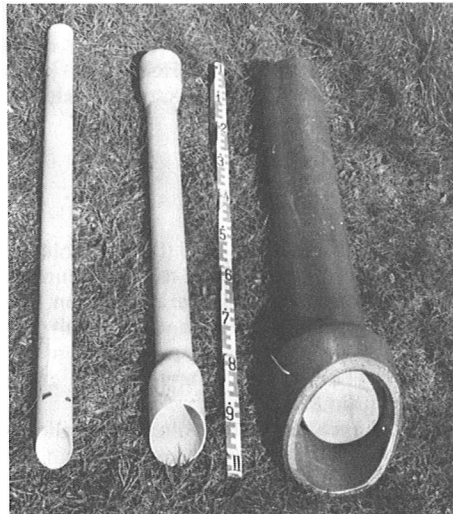


Bild 8.23 Dränausmündung aus Ton und PVC

Die zur Rohrdränung notwendigen **Anschlußrohre** (Haken-, Loch- und Astrohre) werden für alle Rohrarten hergestellt. Besonders reichhaltig ist das Angebot dazu bei gewellten PVC-Dränrohren. Die Bilder 8.24 und 8.25 zeigen eine Auswahl und Kombinationsmöglichkeiten; Winkelrohre aus Ton gibt es für $DN \geq 100$.

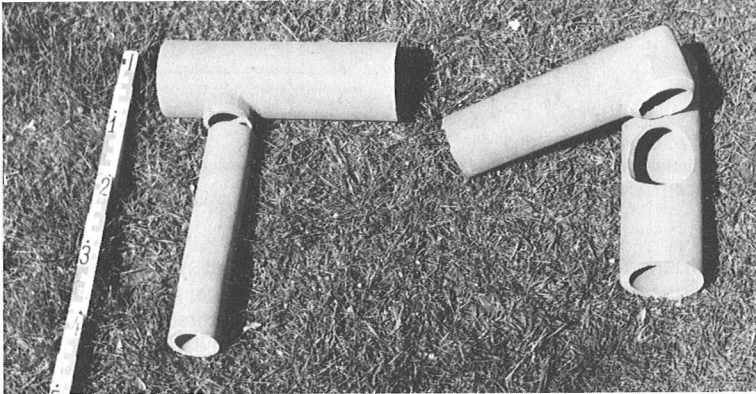


Bild 8.24 Anschlußrohre aus Ton (Loch-, Haken- und Anschlußrohre)

Zum Sichern der Grabenböschung gegen Erosion an den Dränausmündungen ist anstelle der üblichen Pflasterung eine Absicherungsplatte aus Kunststoff entwickelt, Außenmaße 85×85 cm, Gewicht ca. 9 kg. Die Platte läßt sich den verschiedenen Rohrweiten leicht anpassen, sie wird durch eine vertikal liegende Plattenverkantung fixiert. In den Durchbrüchen begrünt sich die Platte.

8.9 Dränschächte

Es können gemäß DIN 1185 (Blatt 3) unterschieden werden Dränschächte, Kontrollschächte ohne und mit Schlammfang sowie Absturzschächte.

Alle Schächte sind frostfrei zu gründen. Wanddicken und Fundament sind so zu bemessen, daß die Standsicherheit gewährleistet ist. Die Schachtdedekkel müssen ausreichend tragfähig sein und dicht schließen. Es können vorteilhaft Fertigbauteile verwendet werden, die normgerecht gefertigt sein müssen (Bild 8.26).

Bei **Dränschächten** muß die lichte Weite ≥ 50 cm betragen (Bild 8.26 – a), die Erdüberdeckung ≥ 50 cm dick sein. Dränschächte im Gelände sind sorgsam einzumessen und ggf. zu vermarken, damit sie bei Bedarf leicht gefunden werden können.

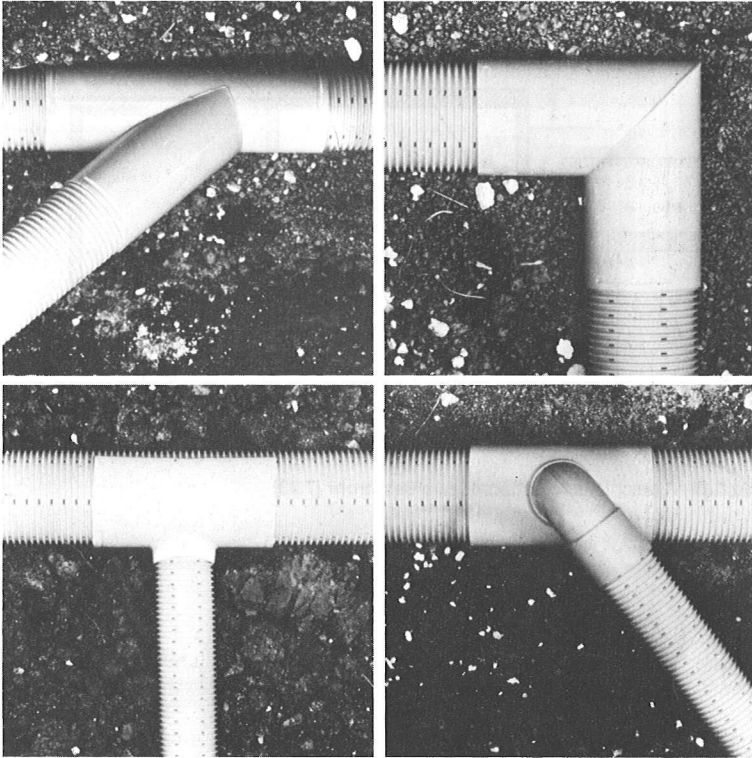


Bild 8.25 Anschlußrohre aus PVC

Kontrollschächte ohne Schlammfang (Bild 8.26 – b) müssen mindestens 80 cm lichte Weite aufweisen. Kontrollschächte mit Schlammfang müssen eine lichte Weite ≥ 100 cm aufweisen und mit Steigeisen ausgerüstet werden. Die ankommenden und abgehenden Rohre sind auf gleiche Höhe zu legen. Die Schachtsohle muß ≥ 30 cm tiefer als die Rohrsohlen liegen (Bild 8.26 – c).

In Bild 8.27 sind als Beispiel zwei **Absturzschächte** für Sammler dargestellt, je einer für große bzw. geringe Absturzhöhe. Der Rohranschluß der abgehenden Rohre ist besonders sorgfältig gegen Ausspülung und Erosionsgefahr zu sichern.

Literatur

- [8.1] Bellin, K.: Über Dränfilter und Dränhydraulik. *Wasser und Boden* **24**, S. 381–384. Hamburg 1972.
- [8.2] Burghardt, W.: Die Entwicklung von Dränvollfiltern aus Kunststofffasern. *Wasser u. Boden* **31**, S. 14–17. Hamburg 1979.
- [8.3] Burghardt, W.; Foerster, P.; Scheffer, B.: Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Abbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. *Z. f. Kulturt. u. Flurb.* **19**, S. 363–370. Berlin 1978.
- [8.4] Burghardt, W.; Foerster, P.; Scheffer, B.: Der Einfluß von Nutzung, Bewirtschaftung und Verlegetechnik auf die Lebensdauer von Dränvollfiltern aus Kokosfasern. *Z. f. Kulturt. u. Flurb.* **20**, S. 11–19. Berlin 1979.
- [8.5] Collins, H.-J.; Karge, H.: Prüfung von Dränfilterstoffen. *Wasser u. Boden* **30**, S. 266–268. Hamburg 1978.
- [8.6] Dijkstra, J. A.: Funktionsprüfung verschiedener Feldentwässerungsvarianten in einem Marschboden. Diss. Kiel 1974.
- [8.7] Eggelsmann, R.: Die Bedeutung der Dränung in der Bundesrepublik Deutschland. *Wasser u. Boden* **30**, S. 78/79. Hamburg 1978.
- [8.8] Feichtinger, F.: Dränfilter: Österr. Bundesanstalt für Kulturtechnik u. Bodenwasserhaushalt, Information Nr. 7. Petzenkirchen 1976.
- [8.9] Güte- und Prüfbestimmungen für flexible Kunststoff-Dränrohre RAL-RG 713/2. Herausg. RAL, Ausschuß für Lieferbedingungen u. Gütesicherung, Frankfurt a. M. Ausgabe Okt. 1976. Bezug: Beuth-Vertrieb GmbH, Postf. D-1000 Berlin 30 und D-5000 Köln.
- [8.10] Klotz, D.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an ummantelten Kunststoff-Dränrohren. *Wasser u. Boden* **30**, S. 11–12. Hamburg 1978.
- [8.11] Knobloch, H.: Die heikelste Stelle des Dränstranges: die Eintrittsöffnung. *Wasser und Boden* **21**, S. 34–36. Hamburg 1969.
- [8.12] Kuntze, H.: Fortschritte der Dränung aus der Sicht der Bodenforschung. *Wasser und Boden* **25**, S. 325–327. Hamburg 1973.
- [8.13] Rehau: Anwendungstechnisches Handbuch, Teil Rohre. 3. Aufl. Herausg. Rehau Plastics GmbH, Rehau/Bayern 1973.
- [8.14] Dierickx, W.: Electrolytic analogue study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes. Diss. Wageningen/NL 1980.

9 Bau der Dränung

Der Erfolg einer Dränung hängt nicht zuletzt davon ab, daß der fachlich richtige Entwurf sorgfältig ausgeführt wird, was ganz besonders in flachem Gelände gilt.

Die „Verdingungsordnung für Bauleistungen VOB“ (Din 18 300) verlangt bei Drän- und Tiefbauarbeiten eine zweijährige Gewährleistung. Die Wirksamkeit von ausgeführten Dränmaßnahmen hängt jedoch nicht zuletzt vom Bodenfeuchtezustand während der Bauzeit und damit von den Witterungsverhältnissen ab, worauf insbesondere auch DIN 1185 (Blatt 1 und 3) mehrfach eindringlich hinweist.

Dränarbeiten sind eine Vertrauenssache, denn eine (von einer 1 m mächtigen Bodenschicht überdeckte) Dränung ist unserer unmittelbaren Beurteilung entzogen. Wegen der großen Bedeutung einer gewissenhaften Bauausführung sind Dränarbeiten nur zuverlässigen Unternehmern zu übertragen, die über **geschulte Fachkräfte** verfügen. Dazu will u. a. auch diese Dränanleitung beitragen, die jedoch auch den Auftraggeber gleichermaßen beraten will.

Die Vergabe von Dränarbeiten ist durch VOB – Din 18 308 (Dränarbeiten), geregelt, die Bauausführung in DIN 1185 (Blatt 3), beide sind allgemeiner Vertragsbestandteil.

Die meisten Dränunternehmer der Bundesrepublik Deutschland haben sich 1979 zu einer „Gütegemeinschaft Dränarbeit“ zusammengeschlossen und sich der „Gütegemeinschaft Flexible Dränrohre“ angegliedert, die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen (Auskunft durch: Qualitätsverband Kunststoffzeugnisse e.V. Dyroffstraße 2, D-5300 Bonn 1).

Es kann davon ausgegangen werden, daß Dränarbeiten künftig allgemein nur noch maschinell ausgeführt werden.

9.1 Bodenzustand während der Bauzeit

In den vorausgegangenen Kapiteln dieses Buches ist wiederholt auf die große Bedeutung des Bodengefüges (Bodenstruktur) bei allen Dränmaßnahmen hingewiesen. Die zahlreichen (positiven und negativen) Erfahrungen der Praxis – durch die Bodenkunde wissenschaftlich bestätigt – sollten künftig besonders berücksichtigt werden.

Die Neuauflage der DIN 1185 fordert in Blatt 1 nachdrücklich, daß **„alle Dränmaßnahmen nur bei ausreichend trockenem Boden auszuführen sind!“** In Blatt 3 „Ausführung“ verlangt sie: „Der Bau einer Dränung ist aufzuschieben oder zu unterbrechen, wenn zu befürchten ist, daß wegen

eines zu stark vernäßten gefügelabilen Bodens durch das Befahren mit den Baugeräten das Gefüge des Bodens nachhaltig zerstört wird oder beim Bodenaushub die Wände der Drängräben stark verschmiert werden.“

Jedem verständigen Landwirt sind die Zusammenhänge zwischen Bodenbearbeitung, Bodenbeschaffenheit und Bodenfeuchte geläufig. Auch der mit der Bodenmechanik vertraute Ingenieur im Grund-, Wege- und Straßenbau weiß über diese Zusammenhänge Bescheid. Dies muß auch von dem in der Dränpraxis tätigen Ingenieur, Techniker und Meister verlangt werden.

Die Eigenschaften bindiger Böden ändern sich je nach der Bodenfeuchte (Bild 9.1).

Unter Konsistenz versteht man den Widerstand eines Bodens gegen Verformung, Kohäsions- und Adhäsionskräfte sind die Ursachen dafür.

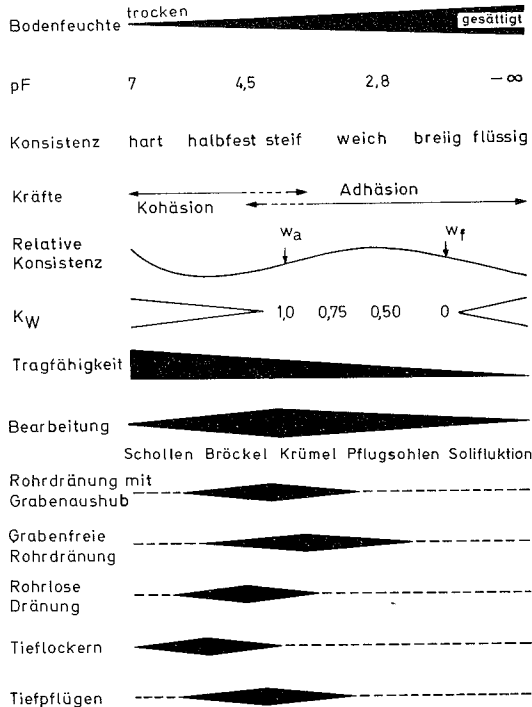


Bild 9.1 Eigenschaften bindiger Böden in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte im Hinblick auf den Einsatz von Dränmaschinen (nach Kuntze, unveröffentlicht, ergänzt)

Damit ist gleichzeitig der Einfluß von Ton (und teilweise Humus) sowie des Wassers aufgezeigt. Es ist:

$$K_w = (W_f - W) : (W_f - W_a)$$

In der Formel bedeuten (nach DIN 4016)

K_w = Zustandzahl;

W = aktueller Wassergehalt (in Gew.-%);

W_a = Wassergehalt des Bodens in der Ausrollgrenze;

W_f = Wassergehalt des Bodens in der Fließgrenze.

Tragfähigkeit und Bearbeitung bei bindigen Böden sind stark von der Bodenfeuchte beeinflusst.

Das gilt in hohem Maße auch für alle Dränmaßnahmen, wofür Grenzwerte im unteren Bildteil angegeben sind.

Auch wenn analytische Bodenfeuchtwerte bei einer Dränbaustelle nicht verfügbar sind (kein Labor), so darf wohl von jedem Praktiker erwartet werden, daß er den richtigen (oder falschen) Zeitpunkt für eine Dränausführung durch Fingerprobe oder Ausrollen (Ausrollgrenze) auf dem Felde sachgerecht einschätzen kann!

9.2 Dränmaschinen

Die Entwicklung von Maschinen für die Rohrdränung hat vor etwa 40 Jahren begonnen. Dabei stand zunächst der Bodenaushub im Vordergrund, die Herstellung der Drängrabensohle und die Rohrverlegung geschah anfangs von Hand. Bild 9.2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Gerätetypen nach der Art der Bodenlösung und -förderung.

Von den zahlreichen bodenfördernden Gerätetypen ist seit etwa 1960 vorwiegend die **Fräsketten-Dränmaschine**, daneben für steinige Gebirgsböden noch den **Dränlöffelbagger** im praktischen Einsatz geblieben. Seit etwa 1968 beginnt sich die **Grabenfreie-Dränmaschine*** im ebenen Gelände durchzusetzen; erste Versuchsmaschinen dieses Typs gibt es schon seit 1960 [9.2]. Nur über diese für die Praxis wichtigen Dränmaschinen wird hier berichtet.

Die **Richtungssteuerung** aller Dränmaschinen erfolgt vom Fahrer nach vorher ausgesteckten Richtbaken oder Fluchstangen.

Für die wichtige Tiefenregelung von Dränmaschinen gibt es vier Möglichkeiten, sie ist jedoch auch stark abhängig von der Fahrgeschwindigkeit der arbeitenden Dränmaschinen und von der Empfindlichkeit der Steuerungsanlagen. Näheres dazu in Kap. 9.8.4.

Die **manuelle Steuerung über Sichtvisier** ist die einfachste Art. Sie wird wohl auch deshalb immer noch häufig angewendet, weil sie mit der Rich-

*) In DIN 1185 ist die Grabenfreie-Rohrdränung als Grabenlose-Rohrdränung bezeichnet. Um Verwechslungen mit der Rohrlosen-Dränung auszuschalten, wurde hier bewußt die Bezeichnung **Grabenfreie-Rohrdränung** bzw. **Grabenfreie-Dränmaschine** gewählt.

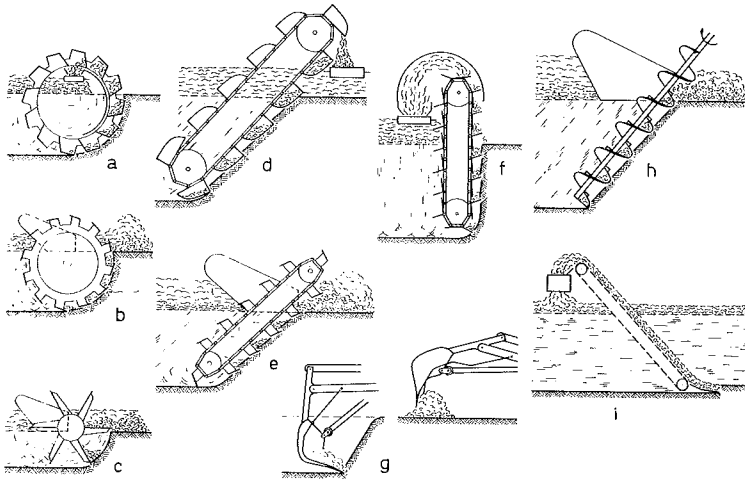


Bild 9.2 Schema verschiedener Dränmaschinen, a = Grabrad, b = Fräsrاد, c = Schabrad, d = Grabkette, e = Fräskette, f = Schabkette, g = Grabkopf (Löffel), h = Grabschnecke, i = Dränpflug

tungskontrolle kombiniert wird. Dazu werden im Gelände in Abständen von durchschnittlich 20–40 m (je nach Sichtweite) Visierstangen (mit vertikal verstellbaren Nivellierkreuzen) aufgestellt, nach denen der Fahrer die Dränmaschine steuert (vgl. Bild 9.3).

Sicher und zuverlässig arbeitet die **vollautomatische Tastvorrichtung**. Entlang des auszuhebenden Drängrabens wird ein Drahtseil gespannt und entsprechend dem Grabensohl-Gefälle nivelliert. Eine Abnehmergabel überträgt die Impulse vom nivellierten Draht auf die elektromagnetischen Steuergeräte der Dränmaschine.

Bei der **Kurzwellenfunk-Steuerung** wird in verlängerter Richtung hinter der Dränmaschine ein Nivelliergerät mit Kippschraube aufgestellt, an dem das Drängefälle vorgegeben wird. Ein Kontrolleur überwacht durch das Nivelliergerät ständig die Arbeitstiefe der Dränmaschine (die eine Sicht-

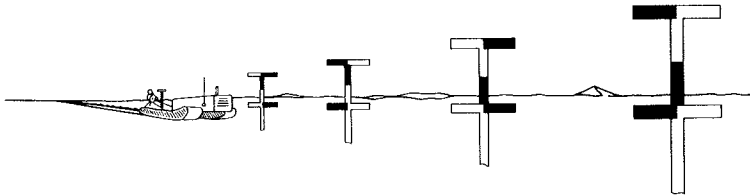


Bild 9.3 Gefälle- und Richtungskontrolle für Dränmaschinen

marke aufweist). Über Kurzwellenfunk steuert er direkt die Tiefenlage der Dränmaschine.

Die modernste Steuereinrichtung ist die mittels **Lichtstrahlen** (Laserplane). Die in den USA entwickelte automatische Höhen-/Tiefensteuerung mittels Lasertechnik für Dränmaschinen (Planierraupen u. ä.) hat auch in Westeuropa zunehmend Eingang gefunden, so besonders im flachen Gelände (Niederlande, England, Frankreich, Bundesrepublik Deutschland).

Das Lasersystem besteht aus zwei Hauptkomponenten:

- ein robuster, genauer Sender (auf Dreibeinstativ) mit rotierendem Laserlichtstrahl,
- ein Empfänger (am Mast der Baumaschine), der die Laserlicht-Referenzfläche wahrnimmt und seine Signale über Steuerkasten an die Maschinenhydraulik weitergibt.

Arbeitsweise: Das Gerät besitzt einen Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von $623,8 \text{ nm} = 6328 \text{ \AA}$. Beim Lasersystem gibt der Sender einen rotierenden Laserlichtstrahl ab (wie ein Leuchtturm). Die sich dabei bildende Referenzfläche aus Laserlicht (Durchmesser etwa 600 m) liegt mehr als 2,5 m über dem Gelände, sie kann auf ein Gefälle bis 8° eingestellt werden. Im Tief-/Hochbau kann das Lasersystem auch vertikal eingesetzt werden zur Lotung und Fluchtung z. B. beim Spundwandbau o. dgl. Ein photo-elektronischer Empfänger, der die Laserlicht-Referenzfläche wahrnimmt, steuert automatisch und präzise über die Maschinenhydraulik das Arbeitswerkzeug (z. B. Dränkette oder -pflug, Erdhobel oder -schaufel). Der Eingriff der Maschine in das Erdreich wird kontinuierlich korrigiert, unabhängig von Höhenunterschieden an der Geländeoberfläche, dazu müssen die Empfänger-Elemente vertikal über dem Arbeitswerkzeug montiert sein. Eine elektronische Selbstregulierung hält das Sendegerät in der vorgegebenen Stellung; gerät das Lasersystem aus der Waage, so schaltet sich der Laserstrahl so lange ab, bis sich das Gerät erneut automatisch eingependelt hat. Dem Maschinenfahrer werden solche Schaltvorgänge durch farbige Kontrollampen angezeigt. Die Rotationsgeschwindigkeit ist regulierbar, normal erfolgt die Höhenkontrolle 5mal in 1 sec. Mit Hilfe von zusätzlichem Gerät an der Dränmaschine, das automatisch die verlegte Rohrlänge mißt, kann auch vorgegebener Gefälle-Wechsel gefahren werden (Bild 9.4).

Technische Daten:

Reichweite der Laserstrahlen 300 m

Einstellbereich -10% bis $+20\%$

Einstellgenauigkeit 0,005%

Laserlichtstrahlensysteme mit geringer Leistung (Grenzwerte $< 5 \text{ mW/cm}^2$ für Entfernungen $< 1400 \text{ m}$) sind durch die Unfallberufsgenossenschaften für Baustellen zugelassen. Die dazu ergangenen Unfallverhütungsvorschriften (VBG 98) sind zu beachten.

Das Lasersystem verringert auf der Baustelle die Vorbereitungszeit ganz erheblich, denn auf das Setzen von Abstecktafeln oder das Spannen von Drähten kann verzichtet werden. Die Gefälle-Genauigkeit ist beträchtlich

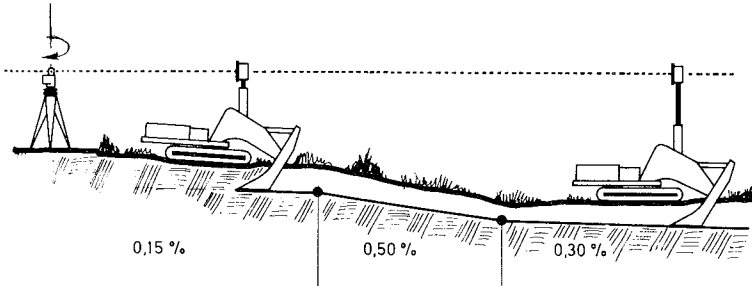


Bild 9.4 Automatische Tiefensteuerung (einschl. Gefällewechsel) im Laserplane-System

größer als üblich, denn die Lasertechnik arbeitet kontinuierlich und weit exakter als das menschliche Auge, weil unabhängig von der Witterung (Sonne, Regen, Wind, Nebel) und Ermüdung. Insbesondere für die grabenfreie Rohrdränung (mit Dränpflug) ist die Steuerung mittels Lasertechnik ein großer Fortschritt, weil die Arbeitsgeschwindigkeit gut ausgenutzt werden kann.

Das Drängrabenniveau wird durch das Laserplane-Verfahren vollautomatisch reguliert, wodurch menschliche Unzulänglichkeiten ausgeschaltet werden. Dieses Verfahren muß sich bei der „rauen Baustellenpraxis“ allerdings erst noch bewähren. Kontrolluntersuchungen sind bisher nicht abgeschlossen [9.3].

Alle Tiefensteuerungsgeräte gelten für Dränmaschinen, mit denen direkt Dränrohre im Boden – ob mit oder ohne Grabenaushub – verlegt werden.

9.3 Rohrdränung

9.3.1 Dränmaschinen mit Grabenaushub

Die heute gebräuchlichen **Fräsketten-Dränmaschinen** (Bild 9.5 bis 9.7) sind in jahrzehntelanger Praxis entstanden. Sie stellen den Drängraben entwurfsgerecht (nach Tiefe und Gefälle) her und verlegen im gleichen Arbeitsgang – nach Bedarf – Ton- oder Kunststoffdränrohre (mit oder ohne Vollfilter) oder auch gleichzeitige Filtermatten (oder Filtermaterial). Sie können mit Verfüllschnecken ausgerüstet werden, die bei der Rückwärtsfahrt den Drängraben verfüllen (Bild 9.10).

Die modernen Fräsketten-Dränmaschinen haben meistens Ein-Mann-Bedienung. Ein hydrostatischer Antrieb (für jedes Raupenwerk getrennt) gestattet einen kontinuierlichen Kraftfluß mit Arbeitsgeschwindigkeiten von

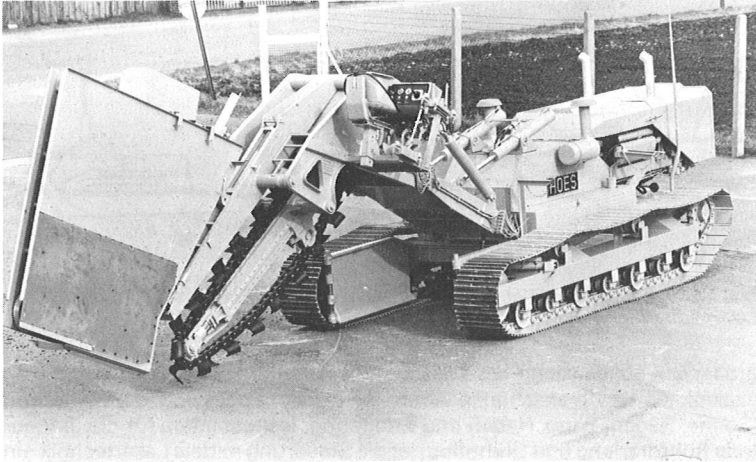


Bild 9.5 Dränmaschine mit Fräskette der Fa. Hoes

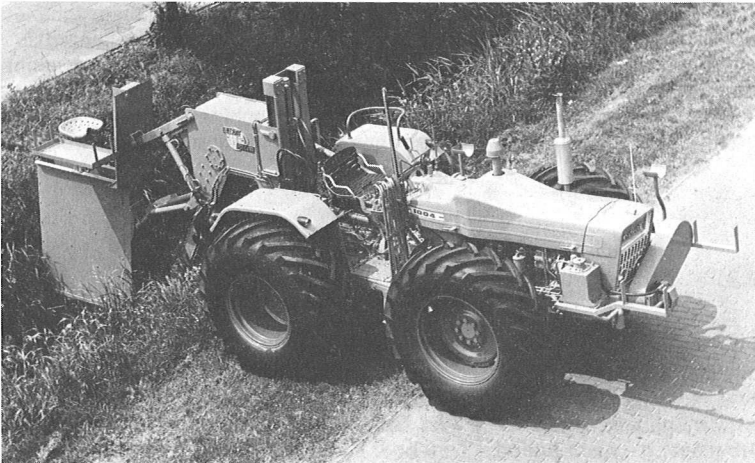


Bild 9.6 Dränmaschine mit Fräskette am Traktor mit Allradantrieb, Fa. Barth

200 bis fast 2000 m/h. Grabbaum mit Fräskette und Rohrverlegekasten sind hydraulisch zu heben und zu senken. Die Tiefensteuerung der Arbeitstiefe erfolgt durch den Fahrer oder automatisch. Je nach Maschinentyp und

Stärke können maximale Arbeitstiefen von 1,6 bis 5,0 m erreicht werden. Sofern Fräsketten-Dränmaschinen auf Raupen fahren, beträgt der Bodendruck nur 0,2–0,3 kp/cm², gummibereifte Dränmaschinen sind bei trockenen Böden vorteilhaft (Bodendruck > 1 kp/cm²). Fräsketten arbeiten im Winkel von etwa 40°, Förderschnecken sorgen für seitliche Bodenablage. Eine Übersicht von bekannten Fräsketten-Dränmaschinen gibt Tabelle 9.1 mit den wichtigsten Leistungsdaten.

Angehängte Kratzer können die verlegten Dränrohre mit gefügestabilem Oberboden abdecken.

Neben den Fräsketten-Dränmaschinen, welche Dränrohre im Gefälle verlegen, gibt es **Grabenfräsen**, die vorwiegend Gräben für Kabel-, Gas- und Wasserleitungen herstellen, es sind meist Anbaugeräte für Schlepper (z. B. Bild 9.8). Mit Zusatzgeräten können auch Dränrohre im Gefälle verlegt werden.

Tabelle 9.2 gibt eine Übersicht solcher Grabenfräsen.

Tieflöffelbagger sind im allgemeinen Universalbagger auf Raupenkette oder gummibereiftem Fahrgestell, die meistens mit verschiedenen Arbeitsgeräten ausgestattet werden können (z. B. Greifer, Löffel u. a.). Die Arbeitsgeräte werden entweder mittels Seil oder hydraulisch bewegt.

Zur Herstellung von Drängräben werden Tieflöffelbagger bevorzugt dann eingesetzt, wenn Dränmaschinen überfordert sind, z. B. bei

- sehr steinigem Böden;
- sehr holzreichen Böden (Stubben);

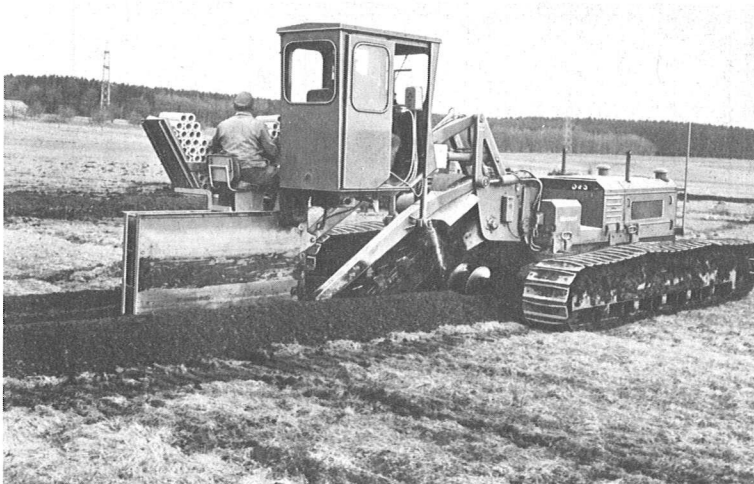


Bild 9.7 Fräsketten-Dränmaschine der Fa. Eberhardt bei der Arbeit

Tabelle 9.1 Übersicht bekannter Fräsketten-Dränmaschinen [9.6, ergänzt]

Firma	Typ	Motor kW	Fahrwerk*)	Gewicht t	Bodendruck kg/cm ²	Arbeitsprofil (cm)	
						Breite	max. Tiefe
Apparaten- en Ketelfabriek, BV, Goes/Niederlande „Drainmaster“	F 80	96	R	10,5	0,23 – 0,29	23 – 29	210
	S 90	115	R	11,5	0,23 – 0,28	23 – 28	180
	S 100	134	R	12,5	0,26 – 0,29	14 – 45	180
	S 110	168	R	14,5	0,23 – 0,28	14 – 45	180
	V 90	115	R	14,5	0,28	18 – 50	300
	V 100	134	R	14,5	0,28	18 – 50	300
	V 110	168	R	16,0	0,28	14 – 50	300
D. Barth & Zn., BV, s' Gravendeel/Niederlande	K 140 Nc	50 – 80	R	7,5	0,24	23 – 30	160
	K 140 N	50 – 94	R	7,5	0,23 – 0,36	23 – 30	160
	K 170 N	124	R	12	0,29	23	185
	K 200	144	R	17	0,28	23	220
Draintie BV, Tiel/Niederlande	D 16	97	R	10,5	0,25	22 – 35	170
	D 18	104	R	13,5	0,25	22 – 35	200
	D 20	144	R	16,5	0,25	22 – 35	250
	D 30	144	R	23	0,29 – 0,46	30 – 60	325
Gebr. Eberhardt, D-7900 Ulm/Donau	GFP 3	111	R	10,5	0,19	28	160
	Sonderausrüstung					40	260
Klaus-Gerd Hoes D-2906 Wardenburg	Drainer	48	P	5,5	–	24 – 60	160
	Superdrainer	77	R	7,1	0,2	24 – 45	180
	Gigant	134	P	12,0	–	24 – 45	250
	Gigant	134	R	12,5	0,26	24 – 45	250
	Super-Gigant	160	R	14,5	0,26	24 – 45	300
Howard Rotavator & Co. Ltd., West Hordon/England	Mark V	67	R	8,6	0,34	18 – 23	170

Firma	Typ	Motor kW	Fahrwerk ¹⁾	Gewicht t	Bodendruck kg/cm ²	Arbeitsprofil (cm)	
						Breite	max. Tiefe
Steenbergen	ESL 175	107	R	13,5	0,29	15 – 30	175
Klaaswaal/Niederlande „Hollandrain“	ESL 210	107	R	13,7	0,29	20 – 35	210
	ESL 170	107	R	14,0	0,39	18 – 30	175
	GSL-P 120	134	R	19	0,31	26 – 30	140
	GSL-210	134	R	15	0,32	18 – 40	210
	FSS	74	R	9	0,29	15 – 26	150
	GSS-200	134	R	17	0,36	20 – 50	210
	GSS-Super	147	R	18,5	0,40	20 – 50	210
	GSS-250	184	R	19	0,40 – 0,34	20 – 50	270
	B-500	238	R	28	0,48	25 – 30	500

¹⁾ R = Raupe; P = Pneu (Luftreifen)

Tabelle 9.2 Übersicht bekannter Grabenfräsen

Firma	Typ	Motor kW	Fahrwerk ¹⁾	Gewicht t	Arbeitsprofil cm		
					Breite	max. Tiefe	
Davis Mfg (USA) (Vertr. Universal Manufacturing GmbH)	Task Force	200	9	R	0,82 ²⁾	10 – 30	165 – 75
		300	13,5	R	0,84	10 – 30	165 – 75
		1000	45	R	2,45	20 – 60	210 – 90
Klaus-Gerd Hoes, D-2905 Wardenburg	Grabenfräse Anbau an Unimog	411	25	P	3,3	23 – 40	120
		406	49	P	4,4	23 – 40	150
Charles Machine Works	Ditch Witch	M 4	6,9	P (R)	0,4 ²⁾	20	120
		M 422	9,4	P (R)	0,5	30	150
		K 2	22,5	P	1,35	40	120
Koehring	Pearson 88		33	P	3,7	40	150
Karl Schaeff KG Langenburg/Württ.	GF 10 Anbau an Unimog		50	P	5,1	25 – 30	120
		406					

¹⁾ R = Raupe; P = Pneu (Luftreifen)

²⁾ ohne Traktor

- sehr großen Dräntiefen;
- Rohrleitungen \geq NW 200.

Bild 9.9 zeigt einen Tieflöffelbagger bei der Arbeit.

Greifbagger werden zur Drängrabenherstellung nur ausnahmsweise eingesetzt. Sie sind nützlich beim Bau von Schächten und bei der Anlage von Sauger/Sammleranschlüssen. Vielfach sind Anbaugeräte für Traktoren im Gebrauch (sogen. Hecklader).



Bild 9.8 Grabenfräse der Fa. Hoes am Unimog

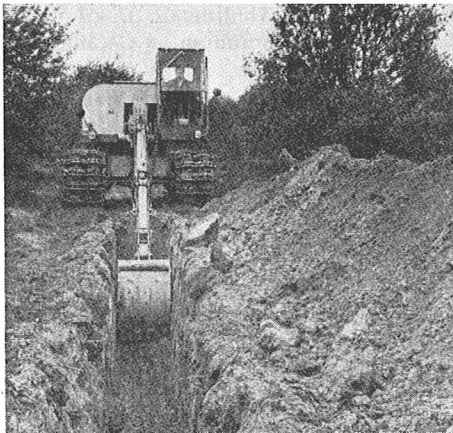


Bild 9.9 Atlas-Tieflöffelbagger beim Ausheben eines Kabelgrabens

Zum Verfüllen der Drängräben werden Schubraupen, Traktoren mit Front- oder Heckschild oder Verfüllschnecken (Bild 9.10) benutzt. Wichtig ist auch dabei die Beachtung des Bodenzustandes gem. Bild 9.1.

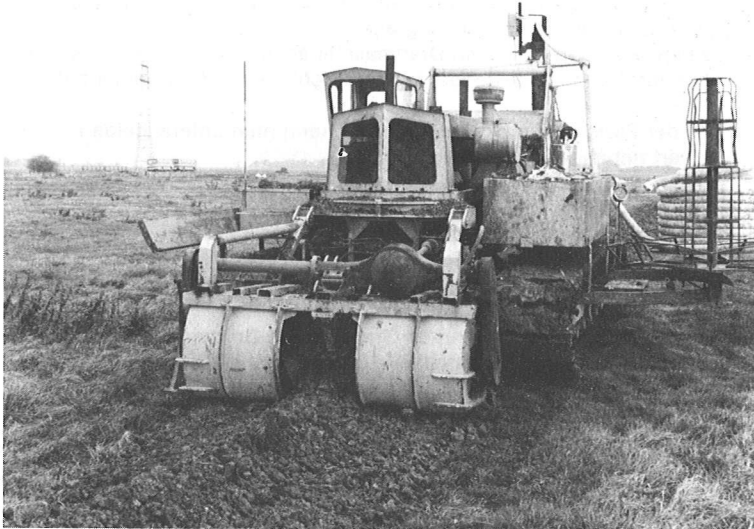


Bild 9.10 Drängraben-Verfüllschnecke (zweiseitig), die während der Rückfahrt den Drängraben verfüllt



Bild 9.11 Grabenfreie Dränmaschine der Fa. Cornelius, die PVC-Dränrohre im Gefälle verlegt

9.3.2 Dränmaschinen ohne Grabenaushub

Die modernen **Grabenfreien-Dränmaschinen** haben mit den frühen Maulwurfrohrrpflügen (z. B. Poppelsdorfer Drängerät, Bonn 1928) konstruktiv kaum mehr Ähnlichkeit. Die Idee ist jedoch die gleiche: „Verlegung von Dränrohren im Gefälle ohne Dränggräben“.

Alle modernen Grabenfreien-Dränmaschinen lockern beim Rohrverlegen die über der Rohrsohle liegende Bodenschicht mehr oder weniger auf (Bild 9.12).

Nach der Form des Lockerungsgerätes kann man unterscheiden:

- Schwert mit auswechselbarem Schar;
- Schwert als keilförmigen Meißel;
- V-förmiges Schneidmesser (Bild 9.13);
- Y-förmiges Schar (Bild 9.14), welches besonders geringe Zugkraft erfordert [9.4]; die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten.

Die meisten Grabenfreien-Dränmaschinen laufen selbsttätig auf Raupen, einige werden an Seilwinde gezogen.

In Tabelle 9.3 sind die bekanntesten Grabenfreien-Dränmaschinen mit ihren Leistungsdaten zusammengestellt. Auf Bild 9.11 bis 9.14 sind die wichtigsten Typen dargestellt.

Je nach Arbeitsbreite können Tonrohre oder Kunststoffdränrohre mit oder ohne Vollfilter verlegt werden. Grabenfreie-Dränmaschinen eignen sich auch für feuchte bis nasse Böden oder können auf bestellten Feldern arbeiten (Bild 9.1).

Grabenfreie Dränmaschinen erfordern – besonders in trockenem Boden – einen hohen Zugkraftbedarf (> 100 kW), ihre Verlegegeschwindigkeit ist 2-



Bild 9.12 Grabenfreie Dränmaschine der Fa. Mehrings beim Verlegen von Vollfilter-Dränrohren



Bild 9.13 Grabenfreie Dränmaschine mit V-förmigem Schar (nach Willner), Meliorationsverband Norden

Bild 9.14 Arbeit der grabenfreien Dränmaschine mit Y-förmigen Schar von Fa. Hydro-mak; links angehobener Bodenkeil, rechts 1,2 m tief verlegter Rohrdrän mit gelockertem Bodenkeil darüber (Marschboden)

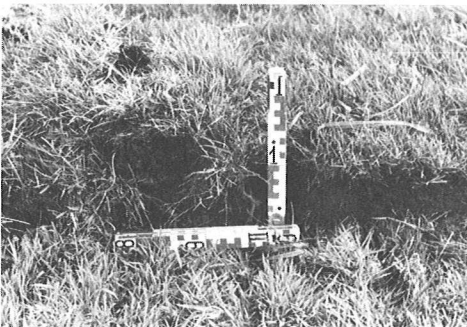


Tabelle 9.3 Übersicht von bekannten grabenfreien Dränmaschinen

Firma	Typ	Motor kW	Fahrwerk ¹⁾	Gewicht t	Bodendruck kg/cm ²	Arbeitsprofil cm	
						Breite	max. Tiefe
Badger Systems Ltd. (England) 106 Micklegate, York YO1JX	Windenpflug	20	S ²⁾	6,25	0,50	18	170
	Linkage	101	R	35		18 – 30	220
J. Böske, D-2849 Goldenstedt	–	137	R	16,2	0,30		140
Bruff Manufacturing Co. Ltd. Suckey/Worcester, England	TG 1	3	S ²⁾	2,5	0,15	9 – 13	120
	TG 3	79	P	10	0,20	7 – 22	165
	TG 4	154	R	19	0,35	7 – 22	200
Cornelius KG D-2241 Nordhastedt	NPD 60 P6	124	R	23	0,29	8 – 16	160
	NPD 65 P6	124	R	23	0,29		
	NPD 85	147	R	27	0,65		180
	NPD 155	214	R	41	–		200
Draiëntie B.V. Tiel/Niederlande	TL 71 S	97	R	22	0,26	10	180
	TL 75	122	R	22	0,26		200
	TL 80	122	R	23	0,26		200
Klaus-Gerd Hoes, D-2905 Wardenburg	783	134	R	16,5	0,25		170
Hydromak D-4970 Bad Oeynhausien 13	Y-Dränpflug	134	R	22	0,25	Y-Form	220
Anton Mehrings D-2940 Wilhelmshaven	Rasant MGR V	165	R	17,5	0,19	20	200
	Rasant MGR VII	188	R	19	0,24	20	200
	Rasant MGR IX	280	R	23	0,30	20	250
Poclair S.A. Le Plessis/ Belleville – Frankreich	SC 105 L	86	R	24	0,27		165

Firma	Typ	Motor kW	Fahrwerk ¹⁾	Gewicht t	Bodendruck kg/cm ²	Arbeitsprofil (cm)	
						Breite	max. Tiefe
Steenbergen Klaaswaal/Niederlande	GSX	134	R	20 – 24	0,43	8 – 15	140
	GSX – H.D.	147	R	30	0,50	8 – 20	170
	GSX Super	184	R	36	0,47	10 – 25	200
Vereinigte Stahlwerke AG Wien/Österreich	Drainomat	96	R	13	0,29	18	150

¹⁾ R = Raupe; P = Pneu (Luftreifen); S = Schlitten

²⁾ Bewegung durch Seilwinde

³⁾ V-förmiges Arbeitsprofil

bis 4fach größer als die von Fräsketten-Dränmaschinen, was allerdings nur teilweise ausgenutzt werden kann, bei zu hoher Arbeitsgeschwindigkeit kann die hydraulische Tjefensteuerung häufig nicht zügig genug reagieren, so daß Arbeitstiefe und Drängefälle nicht auftragsgerecht ausgeführt werden (Kap. 9.8.4).

9.3.3 Rohrdränung in Handarbeit

Obgleich Rohrdränungen heute in Europa kaum mehr in Handarbeit ausgeführt werden, darf ihre kurze Darstellung hier keineswegs fehlen. Mehrere hundert Jahre lang war sie die übliche Methode.

Drängräben werden meist gegen das Gefälle fortschreitend hergestellt, damit das Bodenwasser frei abfließen kann, im Trockenem kann auch mit dem Gefälle gearbeitet werden. Die Sicherheitsvorschriften der Berufsgenossenschaften sind zu beachten. In Bild 9.15 ist die Handarbeit bei der Rohrdränung – örtlich und zeitlich gerafft – dargestellt.

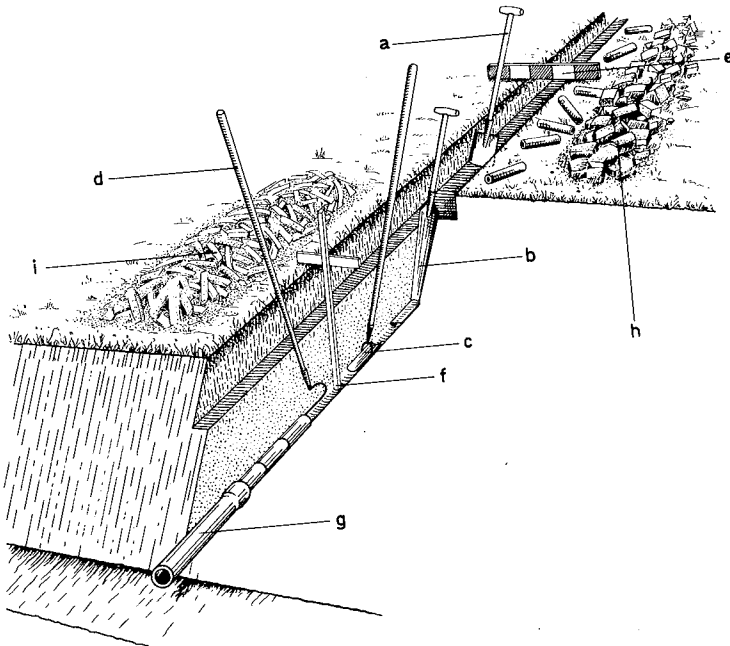


Bild 9.15 Dränung mit Tonrohren in Handarbeit

Es werden für die Handarbeit benötigt: Dränspaten (a und b), ggf. noch Schaufel, Sohlenkelle (c) und Legehaken (d). Tiefe und Sohlgefälle wird durch Visieren über Visiertafeln (e bzw. f) nach vorheriger Absteckung festgelegt. Beim Ausheben des Grabens werden Oberboden (h) und Unterboden (i) seitlich getrennt gelagert und entsprechend wieder verfüllt, nachdem zuvor die Rohrlage durch Augenschein und ggf. Nivellement geprüft wurde. Verstechen mit Oberboden (= gefügestabil durch Humus) hat sich bewährt. Die Arbeitsleistung beträgt 20 m bis 50 m/Tag Sauger je nach Boden.

Die früher bei Handdränung mancherorts verwendeten Stein- und Holzdräne sind in Bild 9.16 zusammengestellt. Sie werden gegenwärtig und künftig – allein schon aus Kostengründen – nur noch in seltenen Einzelfällen (z. B. rutschgefährdete Gebiete) infrage kommen.

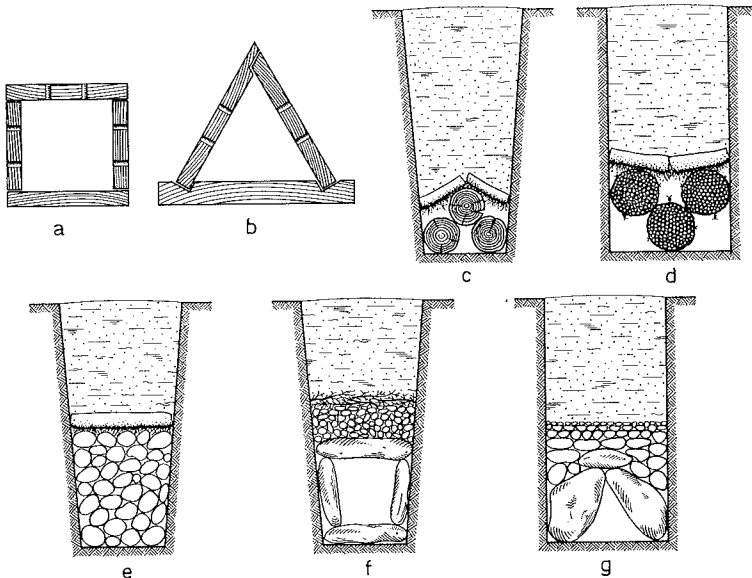


Bild 9.16 Dränarten (Handarbeit), a–b = Holzkastendrän, c = Stangendrän, d = Faschindrän, e–g = Steindräne, c–d = mit Rasensoden abgedeckt

9.4 Rohrlose-Dränung

Rohrlose-Dräne (Erdräne) können durch Verdrängung, im Moor auch durch Fräsen oder Schneiden erzeugt werden.

Die heute gebräuchlichen Maulwurf-Dränpflüge bestehen aus dem Schwert mit Lockerungsschar und angehängtem Ziehkegel (Bild 9.17). Im

Gegensatz zu den früheren Geräten (Schwert mit Preßkegel) wird heute der Boden oberhalb Erddrän gelockert (Bild 4.2). Der Kraftbedarf ist $> 45 \text{ kW}$ ($> 60 \text{ PS}$) bei einer Arbeitstiefe bis 70 cm.

Seit mehr als 25 Jahren hat sich in Mooren des In- und Auslandes die **Dränfräse** nach Mecking bewährt [7.3]. Sie kann mit Gefälle bei Tiefen von 0,8–1,6 m arbeiten, wobei rechteckig geformte Dräne mit einem Querschnitt von $20 \times 15 \text{ cm}$ (Höhe \times Breite) entstehen. Die Dränfräse läuft auf Raupen (Bodendruck $< 0,1 \text{ kp/cm}^2$). Es wurden bisher mehr als 50 000 km Fräsdräne hergestellt (Bild 9.18).

In den großen Niedermooren der DDR werden seit etwa 1965 unverrohrte Maulwurfdräne mit schneidenden und pressenden Werkzeugen hergestellt, ähnlich wie in norwegischen Mooren.

9.5 Tieflockern

Im vergangenen Jahrzehnt wurden eine Vielzahl von Geräten zum Tieflockern entwickelt, es gab 1968 fast 50 Geräte von 33 Herstellern im In- und Ausland. Die Entwicklung dürfte noch weiter gehen (Auskünfte durch den Landmaschinenhandel). Je nach Bauart und Arbeitsmethodik können folgende Typen unterschieden bzw. kombiniert werden:

- Ein- und mehrarmig;
- starre und bewegliche Lockerungsschar;
- Fahrwerk luftbereift oder Raupen;

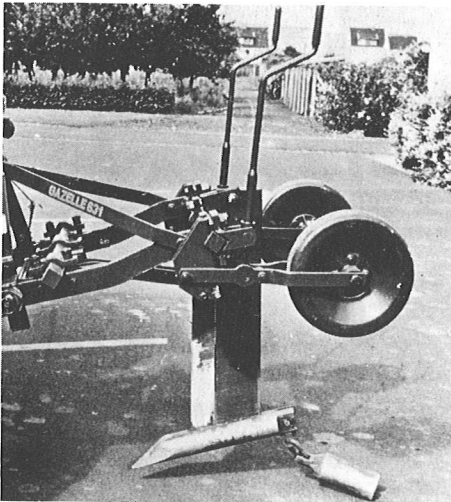


Bild 9.17 Rohrloser-Dränpflug mit Lockerungsschar und Ziehkegel (für Maulwurfdränung) an Traktor mit Dreipunkthydraulik

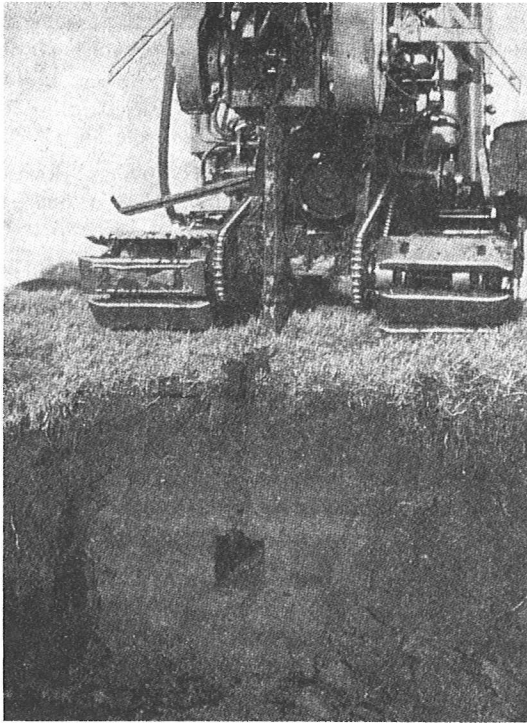


Bild 9.18 Mecking-Dränfräse für Moor, Fräsdrän: Höhe = 20 cm, Breite = 15 cm

- mit und ohne Maulwurf-Ziehkegel;
 - mit und ohne Tiefendüngungsgerät.
- Bei den Geräten mit beweglichen Lockerungsscharen gibt es:
- Wippscharlockerer (auf- und abbeweglich);
 - Hubschwenklockerer (vor- und zurückbeweglich);
 - Stech-Hub-Tieflockerer;
 - Vibratiller (seitlich kreisende Schüttelbewegung).

Sie werden durch die Zapfwelle betrieben. Es gibt sie ein-, zwei- oder vierarmig. Die Kraftersparnis ist erheblich. Für stark verdichtete Böden wurde ein Kettenschlepper mit einem Dreischar-Stech-Hub-Lockerer kombiniert, der eine Arbeitsbreite von 2,4 m hat. Ein serienmäßig eingebauter Stellwandler erlaubt eine stufenlose Regelmöglichkeit; dieses Gerät arbeitet bis 100 cm tief (Bild 9.19).

Im Hinblick auf eine strukturschonende flache Bodenbearbeitung nach dem Tieflockern seien hier u. a. erwähnt: Spatenpflug, Zweischichten-Pflug. Auskünfte über weitere Geräte erteilt der Landmaschinenhandel.

9.6 Tiefpflügen

Tiefkulturpflüge sind aus den seit mehr als 100 Jahren bekannten Seilpflügen entwickelt worden. Die ersten Tiefkulturpflüge im Seilzug, Pflugtiefe 65 cm, wurden 1938 durch die Firma Ottomeyer, Pyrmont, in der Domäne Königsmoor bei Tostedt/Han. eingesetzt [9.5]. Nach 1945 wurden Tiefkulturpflüge ständig weiterentwickelt, die Pflugtiefe vergrößerte sich von 110 cm (1950) auf 220 cm (1968), was einen Kraftbedarf von mehr als 600 kW (= 800 PS) erfordert. Es gibt heute in der Bundesrepublik Deutschland weit mehr als zehn erfahrene Firmen, die Tiefpflugarbeiten durchführen. Sie besitzen selbstkonstruierte oder fortentwickelte Tiefkulturpflüge für Pflugtiefen > 120 cm. Pflugtiefen von mehr als 150 cm (bis max. 240 cm) werden nur bei flachgründigem Moor erreicht (Bild 9.20 und 9.21).

Für Bodenkulturarbeiten bis 80 cm ist auch der Zweischichten-Misch- bzw. -Tiefpflug geeignet, insbesondere zur Anlage von Tiefpflug-Sanddeckkulturen im flachgründigen Niedermoor.



Bild 9.19 Stech-Hub-Tieflockerer mit Dreischarsystem der Fa. Kaebler-Gmeiner (Typ TLG 12), Arbeitstiefe bis rd. 1 m



Bild 9.20 Tiefkulturpflug auf eigener Raupe der Fa. Ottomeyer, max. Arbeitstiefe 2,4 m



Bild 9.21 Tiefkulturpflug am Traktor der Fa. Ottomeyer, max. Arbeitstiefe 1,6 m

9.7 Verdingung

Alle Dränarbeiten sind Bauleistungen, für welche Ausschreibung, Angebot, Zuschlag, Vergabe und Vertrag in der „Verdingungsordnung für Bauleistungen“ (VOB) geregelt ist. Im einzelnen gelten:

- DIN 1960: VOB – Teil A. Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen;
 - DIN 1961: VOB – Teil B. Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen.
 - DIN 18300: VOB – Teil C. Allgemeine Technische Vorschriften, Erdarbeiten;
 - DIN 18308: VOB – Teil C – Dränarbeiten;
 - DIN 18303: VOB – Teil C – Baugrubenverkleidungsarbeiten (soweit erforderlich);
 - DIN 18305: VOB – Teil C – Wasserhaltungsarbeiten (falls erforderlich);
 - DIN 18307: VOB – Teil C – Gas- und Wasserleitungsarbeiten (falls erforderlich);
 - DIN 18308: Standardisierungsbuch Dränarbeiten [9.8].
- Es ist ferner hinzuweisen auf:
- zusätzliche Technische Vorschriften für Erdarbeiten im Landeskulturbau (ZTVE – Lk 1959).

Bei Dränarbeiten für Behörden und für öffentlich-rechtliche Körperschaften (Wasser- und Bodenverbände, Teilnehmergeinschaften von Flurbereinigungen u. a.) gelten zusätzlich bzw. auch deren Vorschriften und Bestimmungen.

Über die Kostenfaktoren und deren Entwicklung beim Einsatz von Dränmaschinen in einem großen Meliorationsverband seit 1960 wird berichtet [9.7], daß trotz einer Lohnsteigerung von 1962 bis 1975 von +207% sich die Kosten für die Rohrdränung um –8% verringert haben.

9.7.1 Ausschreibung

Dränarbeiten können öffentlich oder beschränkt ausgeschrieben oder (in Ausnahmefällen) auch freihändig vergeben werden. Zeit und Bekanntgabe der Ausschreibung sowie Angebots- und Zuschlagsfrist sind gemäß DIN 1960 zu beachten.

Der nachstehende Textvorschlag für die Leistungsbeschreibung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Titel I: Baustelleneinrichtung

Pos. 1

Für Anfuhr, Aufstellen und Einrichten aller zum Baubetrieb erforderlichen Geräte, Maschinen und Werkzeuge, Unterkunfts- und Lagerräume, Sicherungs- und Schutzanlagen, ferner für alle erforderlichen Wasserhaltungs- und Energieanlagen

pauschal DM

Pos. 2

Für den Abbau und Abtransport der gesamten zu Pos. 1 gehörenden Baustelleneinrichtung, für Aufräumungsarbeiten und die Wiederherstellung

des alten Zustandes von Lagerplätzen, Wegen und dergl. sowie für die Aufstellung von Ausführungsplänen

pauschal DM

Summe Titel I:

Titel II: Dränmaterial

Pos. 3

m Dränrohr aus Ton/PVC-hart NW 50 ohne/mit Vollfilter aus . . ./Dränmuffen/frei Dränfläche liefern und abladen, überschüssiges Material ist nach Abschluß der Arbeiten zum Lagerplatz zurückzuführen

für 1 m DM

Pos. 4

m Sammlerrohr aus Ton/PVC-hart NW . . . ohne/mit Vollfilter aus . . ./Dränmuffen/frei Verwendungsstelle liefern und abladen

für 1 m DM

Pos. 5

Stück Dränausmündungen aus Beton/Steinzeug/PVC NW . . . frei Verwendungsstelle liefern und abladen

für 1 Stück DM

Summe Titel II:

Titel III: Dränarbeiten

Pos. 6

Saugergräben (Tiefe von – bis – m) für Dränrohr NW 50 ausführen, einschl. Herstellen der Einmündungen von oben/sohlgleich ohne/mit Drängrabenverfüllung

für 1 m DM

Pos. 7

m Sammlergraben (Tiefe von – bis – m) für Dränrohre NW . . . ausführen, einschl. Herstellen der Ausmündungen ohne/mit Drängrabenverfüllung

für 1 m DM

Pos. 8

Fangedrän mit Dränrohr NW ≥ 80 aus Ton/PVC-hart, Betonfilterrohr mit Vollfilter aus . . ./Dränmuffen liefern und herstellen einschl. Grabensickerung aus gewaschenem Filterkies/Splitt (Körnung) . . . bis – cm unter Gelände

für 1 m DM

Pos. 9

Stück Dränschächte/Kontrollschächte von . . . cm lichter Weite ohne/mit Schlammfang aus Betonrohr ohne/mit Schutzanstrich mit Boden- und Abdeckplatte liefern und einbauen einschl. aller Erd- und Nebenarbeiten

für 1 Stück DM

Im Drängebiet treten folgende Bodenarten auf:

Es besteht keine/ . . . Verockerungsgefahr

Die Dränrohre (NW . . .) werden mit Dränmaschine

Typ . . . mit/ohne Grabenaushub verlegt.

Summe Titel III:

Titel IV: Stundenlohnarbeiten

Pos. 10

Std. eines Schachtmeisters/Maschinenfahrers/Facharbeiters/Hilfsarbeiters
für 1 Std. DM

Pos. 11

Std. einer Dränmaschine (...PS/Planierraupe (... PS)/eines Baggers (...
PS)/Allrad-Geländefahrzeuges (LKW, Typ ...)
für 1 Std. DM

Pos. 12

Pumpenstunden

für 1 Std. DM

Summe Titel IV:

Titel V: Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration

Pos. 13

ha Rohrlose-Dränung (Tiefe von – bis – cm) mit (Gerätetyp, PS) herstellen,
Dränabstand ... m)
für 1 ha DM

Pos. 14

ha Tieflockern (Tiefe von – bis – cm) mit Gerätetyp, PS), die Lockerungsfur-
chen müssen sich im Oberboden überschneiden
für 1 ha DM

Pos. 15

ha Tiefpflügen (Tiefe von – bis – cm) mit (Gerätetyp, PS) mit/ohne hydraulisch
verstellbarem Tiefgang), die Furchenbreite berücksichtigt die Pflugtiefe,
einschl. Planierung der Oberfläche
für 1 ha DM

Pos. 16

ha Meliorationskalkung/düngung mit Gaben von jeweils ... kg/ha CaO/P₂O₅/
K₂O ... liefern, gleichmäßig ausstreuen und auf 20 cm Tiefe einarbeiten
(Gerätetyp:PS)

für 1 ha DM

Summe Titel V:

Gesamtsumme:

ohne/mit Mehrwertsteuer

9.7.2 Angebot

Angebote sollen nur die Preise gemäß Ausschreibung enthalten, sie sind verschlossen einzureichen.

Die eingegangenen Angebote sind zu kennzeichnen und sorgfältig zu verwahren. Am Eröffnungstermin ist der Verschuß zu prüfen; von den geöffneten Angeboten ist Name und Wohnort des Bieters sowie Endbetrag zu verlesen, es ist abschließend ein Protokoll aufzunehmen und zu unterzeichnen.

Die Angebote sind rechnerisch, technisch und wirtschaftlich zu prüfen. Bis zum Ende der Zuschlagsfrist ist der Bieter an sein Angebot gebunden.

9.7.3 Zuschlag

Ein Zuschlag sollte möglichst umgehend erteilt werden. Er entspricht nach allgemeinen Rechtsgrundsätzen einem Vertragsverhältnis (Ausnahme siehe DIN 1960).

9.7.4 Ausführung

Alle mit der Ausführung zusammenhängenden Fragen wie Beginn, Vollen-
dung, Behinderung und Unterbrechung, Kündigung, Haftung und Gewähr-
leistung sind in DIN 1960 geregelt.

9.8 Bauleitung

9.8.1 Allgemeines

Der heute bei der Dränung im Landbau und Landschaftsbau vorherrschende Maschineneinsatz verlangt für die Bauleitung einen technisch versierten Fachmann mit guten Kenntnissen über Dränung und Bodenkunde.

Die neue „Dränrichtlinie“ DIN 1185 behandelt im Blatt 3 eingehend die „Ausführung von Dränarbeiten“. Zusammen mit DIN 18308 „Allgemeine Technische Vorschriften für Dränarbeiten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen“ dient sie als Grundlage für die Vergabe. Beide Normblätter sind daher bei der Bauleitung sorgfältig zu beachten, worauf hier nachdrücklich hingewiesen wird.

9.8.2 Baustelleneinrichtung

Bei der Einrichtung einer Dränbaustelle sind folgende Punkte zu beachten:

- Verständigung der Grundeigentümer;
- Festlegung von Arbeits- und Lagerplätzen einschl. Klärung der Zuwegung;
- Absperrern und Kennzeichnen der Baustelle;
- Festlegung eines Baubüros (ggf. Bauwagen, Kombi, Zelt o. dgl.);
- Feststellen von Versorgungsleitungen (Kabel, Gas, Wasser, Öl o. dgl.) ggf. sichere Markierung;
- Beschaffung der Meßgeräte (Meßband, Meßzirkel, Nivelliergerät, Fluchtstangen, Markierungspfähle u. dgl.);
- Beschaffung der Ausführungspläne;
- Anlage eines Bautagebuches, das laufend zu führen ist.

9.8.3 Vorbereitende Arbeiten

Zu den vorbereitenden Arbeiten auf der Dränbaustelle gehören:

- Einmessen von Höhenmarken;
- Prüfung der Vorflut;
- Prüfung der Bodenverhältnisse;
- Prüfung des Bodenzustandes (Kap. 9.1.);
- Prüfung der Grundwasserverhältnisse;
- Feststellen von Quellen;
- Absteckung der Sammler (Ausmündungen, Schächte);
- Absteckung der Sauger;
- Absteckung der Flächen für Maßnahmen der Unterbodenmelioration (Rohrlose-Dränung, Tieflockern, Tiefpflügen).

9.8.4 Maschineneinsatz

Es ist ständig zu prüfen, ob der **Feuchtezustand** der Fläche das Befahren mit schweren Dränmaschinen oder Materialfahrzeugen zuläßt (Kap. 9.1).

Der Bau einer Dränung ist gemäß DIN 1185 (Blatt 3) „aufzuschieben oder zu unterbrechen, wenn zu befürchten ist, daß ein zu stark vernäbter, gefügelabler Boden durch das Befahren mit Baugeräten nachhaltig im Gefüge geschädigt wird oder wenn beim Bodenaushub die Wände der Drängräben stark verschmiert werden.“ Bei der Rohrdränung von nassen Böden ist gemäß DIN 1185 (Blatt 3) zu prüfen, ob ggf. anstelle von Fräsketten-Dränmaschinen vorteilhafter Grabenfreie-Dränmaschinen oder Geräte gewählt werden, die den Boden grobschollig ausheben (Löffelbagger u. dgl.).

Alle **Dränmaschinen** sind gemäß DIN 1185 (Blatt 3) zu prüfen auf:

- zulässigen Bodendruck ($< 0,3 \text{ kp/cm}^2$);
- Grabwerkzeug (keine Bodenverschmierung);
- Toleranzgrenzen (Gefälle);
- Rohr- und ggf. Filterverlegung.

Rohrdränungen sind vor dem Verfüllen der Drängräben, bei Grabenfreier-Rohrdränung vor dem Zudrücken der Verlegeschlitzte gemäß DIN 1185 – Blatt 3 zu prüfen auf:

- Rohrlage (seitlicher Tonrohrversatz $< 5 \text{ mm}$);
- Eintrittsöffnungen (Tonrohrstoßfugen $> 1 \text{ mm}$ und $< 5 \text{ mm}$); Gesamtfläche gemäß Tabelle 8.4;
- Gefälle (die Abweichung des Istgefälles vom Sollgefälle darf an keiner Stelle $\pm 2\%$ bleiben (Bild 9.22).

Ob und wie weit diese Toleranzgrenzen in der Praxis eingehalten werden, wird z. Zt. durch den Ausschuß „Dränung“ im Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) geprüft. Erst danach kann entschieden werden, ob diese Toleranzgrenzen praxisgerecht sind und ob sie trotz hohen steuerungstechnischen Aufwand von schnell arbeitenden grabenfreien Dränmaschinen überhaupt eingehalten werden können [9.1].

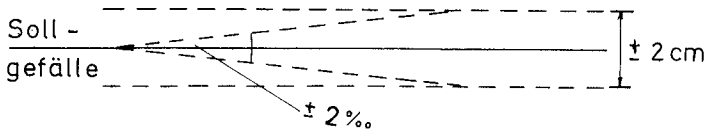


Bild 9.22 Schema der Gefälletoleranzen bei der Dränarbeit (nach DIN 1185, Bl. 3)

Bei der Gefälleprüfung ist zu beachten, daß ggf. häufige Kontrollpunkte im engen Abstand (1–10 m) ein anderes Ergebnis zeigen als wenige Kontrollpunkte mit großen Abständen (> 25 m). Dies haben insbesondere kontinuierliche elektronische Kontrollmessungen ergeben [9.3].

- Anschlüsse,
- Ausmündungen,
- Schächte,
- Schlucker sind normgerecht auszuführen.

Rohrlose-Dräne (Maulwurfdräne, Erddräne) dürfen nur bei Bodenfeuchte nahe der Ausrollgrenze gezogen werden (Bild 9.1). Tieflockerung darf nur bei ausreichend trockenem Boden ausgeführt werden (Bild 9.1). Lockerungstiefe und Lockerungseffekt sind durch Aufgraben zu prüfen.

Tiefpflüge dürfen nur bei ausreichend trockenem Boden eingesetzt werden (vgl. Bild 9.1). Grundwasser (und Kapillarsaum) sollen unterhalb der Tiefpflugsohle liegen. Pflugtiefe und Neigung der Pflugbalken ($\sim 40^\circ$ – 50° zur Horizontalen) sind durch Freilegung einer Profilwand (quer zur Pflugrichtung) zu prüfen (Bild 4.8 und 4.9).

9.8.5 Aufmaß und Bestandspläne

Alle **Bauleistungen** sind laufend aufzumessen, dies ist bei der beträchtlichen Arbeitsgeschwindigkeit der modernen Dränmaschinen besonders zu beachten (DIN 1185 – Blatt 4).

Als Grundlage für Unterhaltung und Erweiterung einer Dränung sind unmittelbar nach Abschluß der Bauarbeiten die **Bestandszeichnungen** anzufertigen. Hierzu sind die Entwurfspläne und Verzeichnisse zu ergänzen, ggf. neu zu zeichnen. Die Höhen der Bauwerke und Ausmündungen sind anzugeben.

Literatur

- [9.1] Bellin, K.: Die Verlegegenauigkeit einer Dränung – Erfahrungen, Grundsätze, Forderungen. Wasser und Boden **31**, S. 10–14. Hamburg 1979.
- [9.2] Bellin, K.; Collin, H.-J.; Gallwitz, K.: Entwicklungen der Dräntechnik in der Bundesrepublik Deutschland. KWK-Heft 24, S. 99–183. Hamburg-Berlin: Paul Parey 1975.

- [9.3] Collins, H.-J.; Chotzky, K.: Vermessung der Höhenlage von verlegten Dränrohren. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **17**, S. 160–167. Berlin 1976.
- [9.4] Demian, T. F.: Untersuchungen an einfachen Bodenschneidwerkzeugen insbesondere für grabenlos arbeitende Dränmaschinen, ausgeführt an einfachen Modellen. Diss. Göttingen 1974.
- [9.5] Eggelsmann, R.: Vom Dampfpflug zum Tiefkulturpflug – Entwicklung und Einsatz. Z. f. Kulturt. u. Flurber. **20**, S. 99–112. Berlin 1979.
- [9.6] Naarding, W. H.: Review on International Experience with Trenchless and Trenching Drainage Machines. Min. of Agric. and Fishery – Government Service for Land and Water Use. Assen/Netherlands 1976.
- [9.7] Peters, H.: Dränung – Dränmaschinen, Kostenfaktoren und Kostenentwicklung. KWK – Seminar zur Berufsbildung Nr. 12. Kiel 1976.
- [9.8] Standardleistungsbuch – Dränarbeiten DIN 18 308, Leistungsbereich 10. Herausg. DNA. Berlin 30-Köln-Frankfurt: Beuth-Vertrieb GmbH 1971.

10 Unterhaltung der Dränung

Eine Dränmaßnahme kann nur dann einen dauerhaften Erfolg bringen, wenn sie und die zugehörigen technischen Anlagen im Meliorationsgebiet einschließlich der natürlichen oder künstlichen Vorflut regelmäßig und ordnungsmäßig unterhalten werden. Nach bisherigen Erfahrungen in der Praxis wird häufig eine Unterhaltung nicht immer regelmäßig ausgeführt, teilweise sogar unterlassen.

Das Kuratorium für Kulturbauwesen hat im „Ausschuß für Unterhaltung und Ausbau von Gewässern“ diese Probleme untersucht. DIN 1185 „Dränung“ behandelt im Blatt 5 die „Unterhaltung von Dränungen“. Der Obmann des Normausschusses DIN 1185 „Dränung“ Prof. Dr. Ing. Baitsch berichtet ergänzend darüber in den DIN-Mitteilungen [10.1].

Die Unterhaltung von Dränanlagen kann – ebenso wie die von Vorflutern – vorteilhaft im Rahmen von Verbänden oder anderer Körperschaften vorgenommen werden. Hierdurch wird die Anschaffung und Vorhaltung von Maschinen möglich, die Unterhaltung kann organisatorisch, personell und finanziell sichergestellt werden. Es ist zweckmäßig, die Unterhaltungskosten schon beim Dränentwurf zu ermitteln und sie in die Überlegungen über die Dränarten mit einzubeziehen, z. B. Rohrlose-Dränung und Tieflockern.

In [10.1] sind die verschiedenen kostenbildenden Faktoren der Dränunterhaltung zusammengestellt. Sie können je nach Höhe der Löhne und Ausmaß der Mechanisierung stark schwanken, sie werden ferner von den örtlichen Verhältnissen stark beeinflusst.

10.1 Kosten

Die Unterhaltungskosten für Meliorationen und Dränungen können sachlich wie folgt untergliedert werden [10.1]:

Für **Überwachung** und einmalige Nachschau des Meliorationsgebietes etwa $4,- \text{ DM/ha} \cdot \text{ a}$. Dabei wird angenommen, daß zwei Mann etwa 20–25 ha je Tag schauen können, einschließlich Fahrtkosten.

Für **Vorflutleitungen** ist mit 0,5% bis 0,8% der Baukosten oder mit $0,3 \text{ bis } 0,5 \text{ DM/m} \cdot \text{ a}$ zu rechnen.

Für **systematische Rohrdränungen** können etwa 0,3% bis 0,6% der Baukosten zugrunde gelegt werden (bei 10 m Dränabstand). Bei Baukosten von 2000 DM/ha entspricht dies dem Betrag von $0,01 \text{ DM/m Sauger}$ oder $10 \text{ DM/ha} \cdot \text{ a}$.

Für **Spülungen** bei starker Verockerung oder Verschlammung von Rohrdränen muß mit $0,2 \text{ bis } 0,4 \text{ DM/m}$ gerechnet werden. Häufig muß schon im

ersten Jahr gespült werden, danach im zwei- bis fünfjährigen Turnus, im Mittel 0,05 bis 0,10 DM/m · a.

Über die Betriebskosten für **Dränschöpfwerke** und deren Unterhaltung vgl. Tabelle 7.1.

Die Kosten für die mechanische Unterhaltung (Mähen) von **Gräben** sind in Tabelle 10.1 zusammengestellt; sie gelten für eine einmalige Reinigung je Jahr.

Tabelle 10.1 Kosten für mechanische Unterhaltung (Mähen) von Gräben

Sohlbreite m	Kosten DM/m
0,5 – 0,8	0,3 – 0,5
0,8 – 1,5	0,5 – 0,8
1,5 – 3	0,7 – 1,2
>3	0,9 – 2

Bei **Rohrloser-Dränung** und **Unterbodenmelioration** sind vorwiegend Sammler, Dränausmündungen und Gräben zu unterhalten. Für die Vorfluter gilt Tabelle 10.1, für die Sammler kann mit Kosten von etwa 0,1 DM/m · a gerechnet werden. Die Erneuerungsrücklage für Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration richtet sich nach der voraussichtlichen Lebensdauer (Kap. 4.5).

Anwendungsbeispiele:

Nach [10.1] werden zwei je 100 ha große Meliorationsgebiete gegenübergestellt, die systematisch mittels Rohrdränung entwässert sind.

Beispiel 1:

Hügelland, starkes Gefälle

Dränfläche = 100 ha; Dränabstand a = 15 m;

keine Verockerungsgefahr.

Vorfluter-Sohlbreite = 1 m; Vorfluterlänge = 1000 m

Baukosten der Rohrdränung = 2000 DM/ha.

Überwachung (4 DM/ha) · 100 = 400 DM

Vorfluter-Rohrleitungen = —

Systematische Rohrleitungen

(0,01 DM/m) · (700 m/ha) · 100 ha = 700 DM

Dränspülungen = —

Dränschöpfwerk = —

Mechanische Grabenunterhaltung

(0,5 DM/m) · 1000 m · 2 = 1000 DM

Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration = —

Summe = 2100 DM

= 21 DM/ha · a,

das entspricht einem Betrag von rd. 1% der Baukosten.

Beispiel 2:

Ebene, schwaches Gefälle

Dränfläche = 100 ha; Dränabstand $a = 10$ m; Vorfluter verrohrt = 200 m lang; Dräne verockerungsgefährdet, daher Dränspülung in fünfjährigem Abstand; Kleinschöpfwerk mit geringem Fremdwasserandrang;

Baukosten der Rohrdränung = 2000 DM/ha.

Überwachung (4 DM/ha) · 100 ha	= 400 DM
Vorfluterrohrleitungen (0,5 DM/m) · 200 m	= 100 DM
Rohrdränung (10 DM/ha) · 100 ha	= 1000 DM
Spülung (0,06 DM) · (1000 m/ha) · 100 ha	= 6000 DM
Dränschöpfwerk (6 DM/ha) · 100 ha	= 600 DM
Mechanische Grabenunterhaltung	—
Rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration	—

Summe = 8100 DM

= 81 DM/ha · a,

dies sind rd. 4% der Baukosten. Daher ist zu überlegen, ob durch andere Dränmethoden, z. B. Kombiniertes-Dränung mit weiten Sammlerabständen ein günstigeres Ergebnis erzielt werden kann.

10.2 Überwachung

Vorfluter sind alljährlich einmal, besser im Herbst und Frühjahr zu schauen. Verrohrte Vorfluter können ggf. durchgespiegelt werden. Notwendige Räumung oder Instandsetzung ist im Schauprotokoll festzuhalten, die Ausführung umgehend zu veranlassen.

Dränflächen sind im Frühjahr oder nach ergiebigen Niederschlägen zu besichtigen. Unzureichend entwässerte Stellen sind an der dunkleren Färbung gegenüber der Umgebung zu erkennen, oft auch am Pflanzenwuchs. Es ist darauf zu achten, ob einzelne Sammler im Verhältnis zu anderen weniger Wasser liefern. Nasse Stellen sind im Gelände zu markieren. Es ist ferner zu prüfen, ob Sammler durch angepflanzte Bäume oder Sträucher beeinträchtigt sein können.

Auf Flächen mit **Rohrloser-Dränung** oder Unterbodenmelioration ist deren Wirksamkeit zu prüfen.

Alle **Bauwerke** wie Dränausmündungen, Schächte, Dränschöpfwerke sind zu überwachen auf Verschlammten, Versanden, Verockern oder Beschädigung.

Es ist ferner zu prüfen, ob im Drängebiet bauliche Maßnahmen erfolgt sind, welche die Dränfunktion nachteilig beeinflussen können (Wegebau, Rohrleitungen aller Art, Silos u. dgl. m.).

10.3 Instandhaltung

Bei **Vorflutern** ist die Sohle krautfrei zu halten, Sohlablagerungen sind zu beseitigen. Sie können die Wasserstände merklich erhöhen und so einen unerwünschten Rückstau in die Sammler und Dräne verursachen.

Schächte sind regelmäßig zu reinigen, Dränausmündungen freizulegen und zu sichern.

Bei **Dränschöpfwerken** sind die maschinellen und elektrischen Anlagen in Ordnung zu halten, Metallteile sind gegen Korrosion zu schützen.

10.4 Abflußstörung bei Rohrdränung

Nach DIN 1185 (Blatt 5) können Abflußstörungen (Kap. 7.2.6) wie folgt verursacht, festgestellt und beseitigt werden.

10.4.1 Ursache

- Örtlich begrenzte Störungen:
Absacken schlecht verlegter Einzelrohre, Tierkadaver, Rohrbruch, punktmäßige Verwachsung.
- Flächenhafte Störungen:
Versandung, Verschlammung, Verockerung (Kap. 5.6), streckenweise Verwachsung, Filterermüdung, verdichteter Füllboden im Drängaben (zu naß eingebracht), maschinell zu bündig verlegte Tonrohre.

10.4.2 Feststellung

- Beobachten der Flächenabtrocknung.
Im ebenen Gelände liegt die Ursache unterhalb, im hängigen Gelände auch oberhalb der nassen Stelle.
- Aufgraben.
- Es ist an mehreren Stellen aufzugraben und der Abfluß im Drän zu prüfen, ggf. ist mittels Draht, Schlauch oder Streifrute die Schadstelle zu orten.
- Einbau von Piezometern im und neben Rohrgraben, Einmessen der Grundwasser-Druckhöhen (Kap. 5.1.1).
- Einsatz von Geräten zur Ortung der Defekte.

10.4.3 Beseitigung

Örtliche Abflußstörungen können beseitigt werden durch:

- Einführung eines 1–2 mm starken Drahtes bis 10 m Länge;
- Anwendung einer Streifrute aus ca. 8 mm Rundstahl, zusammenklappbar auf Meterlänge;
- Spülung.

Dränanlagen, besonders verockerte, können nach zwei Verfahren gespült werden [10.4].

10.4.3.1 Vakuumfaß

Mit geringem Druck (2 atü) und verhältnismäßig viel Wasser aus einem handelsüblichen Vakuumfaß (Güllefaß) von rd. 3000 l ist erfolgreich gespült worden. Zur Füllung muß zwischen Sammlerausmündung und Rohrstützen ein Gummikonus zur Abdichtung eingeklemmt werden. Anschließend wird kurze Zeit (3 Minuten) Luft eingepumpt. Es können etwa 150 m lange Sammler gespült werden. Zwei Arbeitskräfte können etwa 8 bis 12 ha je Tag spülen.

10.4.3.2 Hochdruckspülung

Mittels Schlauch (NW 20), an dessen Ende sich spezielle Spüllanzen und -bürsten befinden (Bild 10.1), kann durch Wasser mit hohem Druck (5 atü)

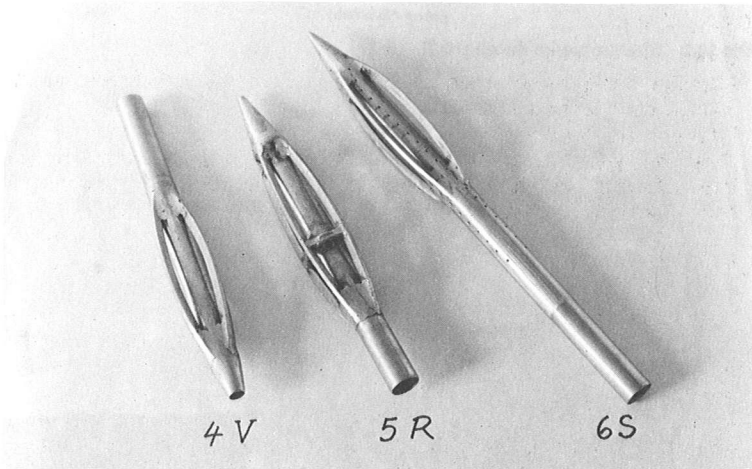


Bild 10.1 Strahlrohre für Dränspülgerät zur vorwärts, rückwärts, seitwärts Spülung [10.2]

auch schon fest gelagerter (ausgetrockneter) Drän Schlamm mechanisch-hydraulisch aufgelockert und herausgespült werden. Die im Spülkopf strahlenförmig angeordneten Düsen mit z. T. rückwärts gerichtetem Strahl (Bild 10.2) erleichtern die Vorwärtsbewegung des Schlauches im Drän. Es lassen sich 100 bis 200 m lange Dräne in ein bis drei Spülungen säubern (Bild 10.3). Die Bedienung erfolgt durch eine Arbeitskraft. Es gibt auch handelsübliche Dränspülgeräte, z. B. für den Anbau am Traktor (Bild 10.4).

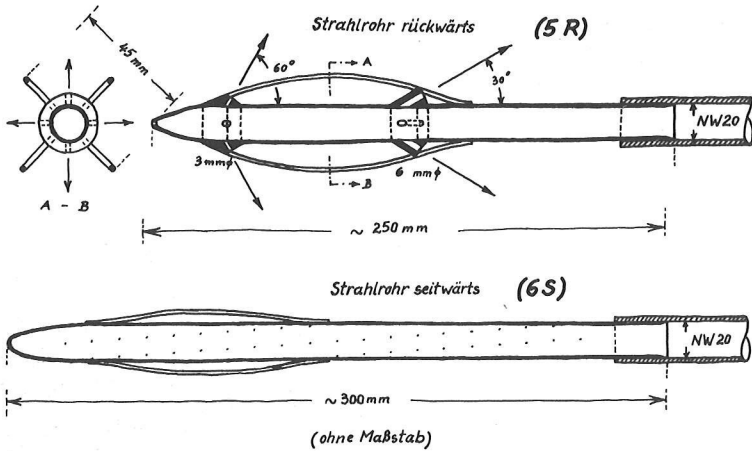


Bild 10.2 Strahlrohre im Detail [10.2]

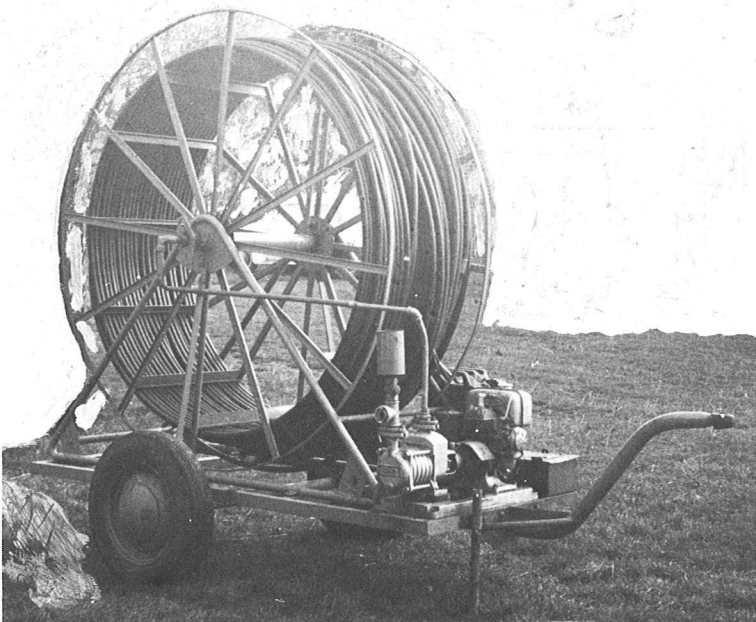


Bild 10.3 Dränspülgerät Typ Diema der Fa. Krinke & Krüger



Bild 10.4 Dränpülgerät der Fa. Fricke für Traktoranbau (bei Dreipunkthydraulik) [10.3]

Schwefelige Säure (SO_2), die verschiedentlich probeweise bei verockerten Dränungen eingesetzt wurde, ist, da sie sich im Gewässer schädlich auswirkt, zur Dränreinigung allgemein nicht statthaft. Versagen alle diese Mittel oder sind längere Teilstrecken verstopft, so ist streckenweise aufzugraben oder es sind neue Dränstränge zu verlegen (Kap. 5.6).

Literatur

- [10.1] Baitsch, B.: Über die Unterhaltungskosten von Dränungen. DIN-Mitt. **49**, S. 305–307. Berlin 1970.
- [10.2] Eckstein, E.: Das Cloppenburger Dränpülgerät. Wasser u. Boden **25**, S. 38–41. Hamburg 1973.
- [10.3] Eggelsmann, R.: Hochdruck-Dränpülgerät für Traktoranbau. Wasser u. Boden **28**, S. 249. Hamburg 1976.
- [10.4] Karlen, R.: Die Dränpülung. Z. f. Kulturt. und Flurber. **17**, S. 95–105. Berlin 1976.

Zu beachtende DIN-Blätter

Maßgebend ist jeweils die neueste Ausgabe des Normblattes.
Herausgeber/Editor: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Beuth-Verlag GmbH., D-1000 Berlin 30 und D-5000 Köln.

Allgemein

DIN

- 15 Zeichnungen, Linien
- 16 Normschrift, schräg
- 17 Normschrift, senkrecht
- 406 Zeichnungen, Maßeintragung
- 823 Zeichnungen, Blattgrößen, Maßstäbe
- 824 Zeichnungen, Faltung auf A 4 für Ordner
- 2425 Planzeichen der Wasserwirtschaft und Wasserversorgung (Entwurf)
- 6771 Blatt 1 Zeichnungen, Vordruck, Zeichnungsvorschriften

Richtlinien und Materialeigenschaften

DIN

- 1180 Dränrohre aus Ton
- 1184 Schöpfwerke – Grundlagen und Richtlinien für die Planung
- 1185 Dränung – Regelung des Bodenwasserhaushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose-Dränung und Unterbodenmelioration
- 1187 Dränrohre aus PVC hart
- 1230 Rohre, Formstücke, Sohlshalen und Platten aus Steinzeug; Abmessungen und Gütebestimmungen
- 1239 Schachtabdeckungen für Brunnenschächte und Quellfassungen
- 1957 Technische Vorschriften für Kulturbauarbeiten, Ausbau und Anlagen von Wasserläufen und Deichbau
- 1958 –, Dränarbeiten
- 1959 –, Beiblatt und Erläuterungen
- 4032 Betonrohre, Bedingungen für die Lieferung und Prüfung
- 4033 Betonrohre, Leitsätze für die Ausführung von Betonrohrleitungen
- 4034 Schachtringe, Schachthälse, Auflagering aus Beton; Bedingungen für Lieferung und Prüfung
- 4035 Stahlbetonrohre; Bedingungen für die Lieferung und Prüfung
- 4047 Landwirtschaftlicher Wasserbau, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen

- 4049 Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen
Blatt 1 quantitativ, Blatt 2 qualitativ
- 4095 Baugrund, Dränung des Untergrundes zum Schutz von baulichen Anlagen, Richtlinien für Planung und Ausführung (Entwurf)
- 4220 Richtlinien zur Untersuchung meliorationsbedürftiger Standorte (Vornorm, wird z.Z. vollständig überarbeitet)
- 18915 Bodenarbeiten im Landschaftsbau (Entwurf)
- 19657 Sicherungen an Gewässern und Deichbauten (Richtlinien)
- 19660 Richtlinien für Landschaftspflege im landwirtschaftlichen Wasserbau
- 19671 Erdbohrgeräte im Landeskulturbau
- 19672 Bodenentnahmegeräte für den Landeskulturbau
- 19680/4 Bodenuntersuchungen im landwirtschaftlichen Wasserbau
- 19680 –, Bodenaufschlüsse und Grundwasserbeobachtungen
- 19681 –, Entnahme von Bodenproben
- 19682 –, Felduntersuchungen
- 19683 –, Physikalische Laboruntersuchungen
- 19684 –, Chemische Laboruntersuchungen

Bodenkulturbaugeräte

DIN

- 11550 Dränspaten 1
- 11551 Dränspaten 2
- 11552 Böschungsspaten mit Langstiel
- 11553 Spitzspaten
- 11554 Moorspaten
- 11555 Schlammschaufel
- 11556 Dränschaufel
- 11559 Plaggenheber
- 11560 Sohlenkelle, einseitig
- 11561 Legehaken
- 11562 Sohlenkelle, zweiseitig
- 11563 Dränhammer
- 11564 Rasenschneider
- 11565 Dränkelle mit Stiel
- 11566 Kleispaten
- 11569 Plathaken
- 11571 Sandschaufel, runde Form
- 11572 Buschmesser
- 11573 Erd- oder Kiesschaufel, bayrische Form

Verdingung

Siehe Verzeichnis auf S. 237/8.

Quellennachweis

Informationsmaterial lieferten:

Ing. (grad.) Heinz Joachim Baar, Kultur- und Tiefbauunternehmen, 2931
Streek/Oldbg.
Machinefabrik Barth Holland, NL-3295 ZG, s'Gravendeel/Holland
Gebr. Böhler & Co. AG, Edelstahlwerke, A 1010 Wien /Österreich
Ing. Johann Böske, Drainage und Maschinenbau, 2849 Goldenstedt
K. & J. Brenig, Landmaschinenbau, 5300 Bonn-Bad Godesberg
Bruff Manufacturing Co Ltd., Suckley Worcester/England
Werner Cornelius GmbH, 2241 Nordhastedt/Holst.
Gebr. Eberhardt, Pflug- und Landmaschinenfabrik, 7900 Ulm/D.
Eykelkamp B.V. Grondbohrenfabriek, Lathum/Holland
Fachverband Steinzeugindustrie e.V. 5020 Frechen/Köln
Friedrich Köster KG Maschinenfabrik, 2240 Heide/Holst.
Hinrich Fitschen GmbH & Co, Reith, 2161 Brest/Stade
Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner, 8729 Königsberg/Bayern
Ing. Gerd Grodau, 3550 Marburg-L./Marbach
Gütegemeinschaft Flexible Dränrohre im Qualitätsverband Kunststoff-
zeugnisse e.V., 5300 Bonn
Hegler-Plastic GmbH, 8731 Oerlenbach/Bad Kissingen
Maschinenfabrik K.-G. Hoes, 2900 Oldenburg
Fibertex A/S, Aalborg/Dänemark
Hydromak Maschinenfabrik, 4970 Bad Oeynhausen
Kaeble, Gmeinder GmbH & Co, 6950 Mosbach/Baden
Krinke & Krüger GmbH, 3012 Langenhagen/Hann.
H. Lamping GmbH & Co KG, Dränartikel, 2841 Aschen/Diepholz
Anton Mehring, 2940 Wilhelmshaven
Meliorationsverband Norden, 2980 Norden/Ostfriesland
Mittelweser-Tiefbau GmbH & Co, 3091 Nordholz
Meckinghof-Dränage, Inh. Ernst Luttmann, 2909 Altenoythe
E. Merck AG, Laborpräparate, 6100 Darmstadt
Oltmanns Ziegel und Kunststoffe GmbH, 2905 Jeddelloh/Oldenb.
Wilhelm Ottomeyer, Tiefpflug- und Planierungsunternehmen,
3280 Bad Pyrmont
Porosit Betonwerke GmbH, 3582 Felsberg/Kassel
Rainer Isolierrohrfabrik Max Drossbach, 8852 Rain am Lech/Bayern
Rehau Plastics AG & Co, 8673 Rehau/Bayern
Ing. (grad.) Richard Schlener, 3013 Barsinghausen
Dr. H. Schulte-Karring, 5483 Bad Neuenahr

Spektra-Physics GmbH, 6100 Darmstadt
Ing. (grad.) Willi Schulz, Ing.-Büro, 4460 Nordhorn
Twistringer RBM Dränfilter GmbH & Co KG, Twistringen
Horman Vlas N.V., s'Gravendeel/Holland
Wasserwirtschaftsamt Stade
Wasserwirtschaftsamt Verden
Westerwieher Hohlsteinwerke J. Rehage, 4831 Westerwiehe
H. Weyhausen KG Maschinenfabrik, 2870 Delmenhorst
Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 8120 Weilheim/Ober-
bayern

Bilder stellen zur Verfügung:

Machiniefabrik Barth Holland, NL 3295 ZG s'Gravendeel/Holland
(Bild 9.3, 9.6)
Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und techn. Bodenkunde, A 8252
Petzenkirchen/Österreich (Bild 3.8, 4.2, 5.15, 5.16)
Gebr. Eberhardt Maschinenfabrik, 7900 Ulm/Donau (Bild 9.7)
Dipl.-Ing. Ernst Eckstein, 4590 Cloppenburg (Bild 10.1, 10.2)
Werner Cornelius KG, 2241 Nordhastedt/Holst. (Bild 9.11)
Fränkische Isolierrohrwerke Gebr. Kirchner, 8729 Königsberg/Bayern
(Bild 8.6, 8.8, 8.9)
Hegler Plastic GmbH, 8731 Oerlenbach/Bad Kissingen (Bild 8.11 und 8.21)
Maschinenfabrik K.-G. Hoes KG, 2906 Wardenburg/Oldenburg (Bild 9.5, 9.8)
Hydromak Maschinenfabrik, 4590 Bad Oeynhausen (Bild 9.14)
Leichtweißinstitut für Wasserbau der Techn. Universität Braunschweig
(Bild 6.1–6.3).
Kaeble, Gmeinder GmbH & Co, 6950 Mosbach/Baden (Bild 9.19)
Krinke & Krüger GmbH, 3012 Langenhagen/Hann. (Bild 10.3)
Friedrich Köster KG Maschinenfabrik, 2240 Heide/Holst. (Bild 7.1, 7.2)
Anton Mehrings, 2940 Wilhelmshaven (Bild 9.12)
Oltmanns Ziegel- und Kunststoffwerke, 2905 Jeddelloh/Oldenburg
(Bild 8.2, 8.3, 8.5)
Porosit Betonwerke GmbH, 3582 Felsberg/Kassel (Bild 7.14, 8.20)
Rehau Plastics AG & Co, 8520 Erlangen (Bild 8.7)
Dr. H. Schulte-Karring, 5483 Bad Neuenahr (Bild 4.17, 5.17, 9.17)
Spectra-Physics GmbH, 6100 Darmstadt (Bild 9.4)
Prof. Dr. P. Widmoser, ETH Zürich/Schweiz (Bild 5.10).

Sachregister

- Abfluß 15, 21ff., 119
 - höhe 119
 - spende 21, 119ff., 145
 - störung 22, 147, 248
- Acrylfaser 201, 204
- Abscherwiderstand 66
- Abschlämmbares 134
 - s. a. Schlämmanalyse
- Absonderungsgefüge 50
- Absteckung 242
- Absturzschacht 149, 214
- Abtorfung 46, 157
- Abwasser 154, 176
- Adhäsion 217
- Aggregatgefüge 37, 50
- Agrotherm 166
- Algen 153f.
- Algenmulde 51
- Alkaliboden 35f., 72
- alkalische Reaktion s. pH-Wert
- Angebot 240
- Anion 74
- Anmoor-/Gley 33, 39, 56, 67
- Anschlußrohr 212
- Ant-oc Dränfilter 113f., 204
- aride Gebiete 20, 34, 65
- arides Klima 15, 19f., 23, 65, 72, 162, 164
- artesisches Wasser s. Druckwasser
- Astrohr 212
- Auenboden 18, 32f., 56, 62, 95
- Auenwald 21
- Auflockerung s. Lockerung
- Aufmaß 243
- Ausführung 216ff., 241
- Ausführungsplan 241
- Ausmündung s. Dränausmündung
- Ausrollgrenze 49, 83, 218
- Ausschlämmung 100
- Ausschreibung 238
- Austauschkapazität 74
- Auswaschungsrate 163
- Bahn 46, 149, 182
- Bakterien 112, 153, 169
- Basalt 38
- Basen 30
- Bauleistung 243
- Bauleitung 241
- Baumschule 20, 167
- Baustelle 240
- Baustelleneinrichtung 241
- Bauwerk-Dränung 77, 170ff.
- Bedarfdrän, -dränung 77
- Beetgraben 160
- Befahrbarkeit 22, 217
- Bemessungsabfluß 119
- Bestandspläne 243
- Betonfilterrohr 209
- Bewässerung 23
- Bewässerungswasser 65, 72, 138, 162
- Bewässerung von Salzboden 19, 36, 65, 72, 138, 162
- Binsen 67
- Bilanzformel s. Wasserbilanz
- Bindiger Boden 49, 53
- Birkenbruchwaldtorf 34, 51
- Boden
 - ansprache 47
 - art 28f., 48f.
 - aufschluß 43
 - ausschlämmung 100, 104
 - bewirtschaftung 82
 - bohrer s. Bohrer
 - chemische Untersuchung 73
 - durchlässigkeit s. Durchlässigkeit
 - durchlüftung 21 s. a. Luftdurchlässigkeit
 - einschlammung 100, 104
 - entwicklung 19, 29
 - entsalzung 164
 - erhaltung 19
 - erosion 21
 - farbe 31, 42, 48, 70

- feuchte 22, 25, 217, 218 s. a. Wasserspannung
- fruchtbarkeit 18
- fleckigkeit (-fleckung) 32f., 56
- gefüge 17, 21, 32, 36f., 50, 70
- gefügeansprache 47, 50
- genese s. -entwicklung
- heizung 166
- horizont 30ff., 38, 70
- karte 42f., 181, 185
- komplexe 30
- kultur 38
- kunde 30, 39
- mechanik 17
- merkmale 30f., 35
- nährstoffe 21
- nässe s. Vernässung
- nutzung 19, 21, 43, **110**
- oxidation 21 s. a. Oxidation
- physikalische Laboranalysen 73
- physikalische Felduntersuchungen 57ff.
- profil 28, 29, 30, 33
- quellung 21, s. Quellung
- reduktion 21 s. a. Reduktion
- schrumpfung 21 s. Schrumpfung
- speicherraum 21f.
- struktur (s. Bodengefüge)
- typ 28f., 32, 39, 42, 56
- untersuchung 143
- verdichtung 66, 81
- vernässung 16, 27, 41ff., 143ff.
- versalzung 19, 34, 163, 138
- verwitterung 28, 38
- wasser 26, 53ff.
- zustand 82, 217
- Bohrer 41ff.
- Bohrung 52
- Borowina 32
- Brackmarsch 62, 160
- Braunerde 32, 86
- Bruchwald 21
- Bruchwaldtorf 34, 51f., 62f.
- Bundton 32
- Campingplatz s. Freizeitfläche
- Chemische Untersuchung 73
- Chezy 120
- Chlorung 170
- Colebrook 120, 124
- Cochylien 51
- Darcy 9, 120
- Deckschicht 49, 55, 135
- Deutsche Grundkarte 44
- Deutsche Sandmischkultur 84, 108, 112
- Deutscher Ausschuß für Kulturbauwesen 16
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau 16
- Dispergierung 36
- Doppelring-Infiltrometer 66ff.
- DN 122
- Dränage 15
- Dränierung 15
- Dränung
 - im Ingenieurbau 20, 170ff.
 - im Landbau 20
 - im Landschaftsbau 20, 166ff.
- Dränabstand 87, 94, **126ff.**, 133ff., 138, 159f., 184
 - abfluß 21, 119
 - abteilung 76, 147
 - anweisung 16, 124
 - arbeit 95, **216ff.**, 236
 - arten 233 s. a. Dränmethoden
 - ausmündung 76, 115, 147, 211
 - bedürfnis 17, 19, 25
 - bedürftige Fläche 18
 - bedürftige Wirtschaftsfläche 20
 - einmündung s. Saugereinmündung
 - eintrittsfläche 103, 198
 - entwurf **143ff.**, **181**
 - fähigkeit 17
 - feldversuch 116
 - filter 96, 98, 100, 102f., 113, 154, **199ff.**, **204**
 - fräse 78, 234f.
 - gefälle 17, 148, 150, 168, 170, 175, 221
 - graben 95f.
 - haltbarkeit 204
 - kasten/-modell 100, 116
 - kosten 17, **87**, 117, 236
 - lebensdauer 17
 - maschinen 98, 170, 217ff.
 - material 115, 189
 - methoden 15f., 41, 47, **76**, **87**, 89, 116, 143, 182

- mufte 159, 207
- nachteil 22
- nutzen 17
- pflug 234
- platte 208
- rinne 116
- rohr Ton 16, 76, 98, 113, 122, 148, **189**, 207, 212, 239
- rohr PVC 17, 76, 99, 113, 122, 124, **192**, 206, 213, 239
- rohreigenschaften Ton 189
- rohreigenschaften PVC 194
- sackung 158
- schacht 148f., **212**
- schöpferwerk 144ff., 246
- spatens 232f.
- spülung 114f.
- systeme 15, 77, 153
- tiefe 17, 149f., 158
- tiefenverlust 157
- überdeckung 149
- umfang 18
- unterhaltung 21
- verfahren s. -methoden
- verockerung 22. 38ff., **70**, 72, **110**, 161, 201, 248
- verschlammung 22, 99, 150, 153, 161, 201ff., 247ff.
- versuche 110, 115f.
- verwachsung 21, 149, 153f., 248
- vorteil 20
- weiten 120
- wirksamkeit 17, 22, **95**, 98, 103, 105f., 109
- wirkung **91ff.**, 97, 105
- würdigkeit 15, 17
- Drainage 15
- Dreiecksdiagramm 48
- Druckhöhe 55, 97, 103, **135**
- Druckwasser 26, 41, **135**
- Düngung 8, 16f., 86, 89 s.a. Gülle
- Durchflußwiderstand 61f.
- Durchlässigkeit 9, 17, 35, 54, **56f.**, 73, 95, 100, **127ff.**, 133, 138, 144, 155, 157
- Durchmesser Nominal 122 s.a. Nennweite
- Durchwurzelung 21, 81,86
- Duo-Dränfilter 113f., 201, 204
- Dy s.a. Mude 34
- Erdränung s. Rohrlose-Dränung
- Einschlammung 99f.
- Eintritt
 - fläche s. Dräneintrittsfläche
 - öffnung 96, 99, 104, 172, 198, 207
 - widerstand 96, **99**, 103f., 113, **126**
- Einzeldränsauger 79, 159
- Einzelkorngefüge 37, 50, 70, 96
- Einzugsgebiet 119, 143, 146
- Einwachsen von Pflanzenwurzeln 184, 196
- Eisenbahn 46, 149
- Eisen
 - bakterien 38, 70, **112**, 153
 - bestimmung 71
 - bikarbonat 39
 - gehalt 39, 72, 74
 - im Boden und Grundwasser 38, 72
 - ocker 38, 70, **112ff.**, 153
 - oxid, -hydroxid **38**, **112**
 - oxidul, -hydroxidul 38
- Elektrische Leitfähigkeit 35, 72f., 163
- Eluvial-Horizont 31
- Entwässerung 15
- Entwässerungsbedürftige Flächen 18
- Entwässerungszeit 140
- Entwicklung/Geschichte der Dränung 15
- Entwicklung des Bodens 19, 29
- Entwurfsbearbeitung 143ff.
- Erdböhrer 41ff.
- Erdrän 78f., 104, 106, 177
- Erläuterungsbericht 181f.
- Erlenbruchwaldtorf 34, 51
- Ernst 132
- Erosion 22, 86, 106, 108, 110, 149, 179
- Ertrag 19, 22, 86, 110
- Eutrophierung 21
- Evaporation 23ff.
- Evapotranspiration 23ff.
- Eutrophierung 22, 82
- Eschboden 108
- Fahrspuren 42, 66, 80
- Fangdräne 46, 76f., 101, **152**, 199
- Faschinendrän 15, 162

- Faserstoff 200
 Fasertorf 200f., 204
 Fe
 – Bestimmung 71
 – Gehalt 72
 – Verbindung 38ff., 72, 112
 Feinboden 28
 Fehnkultur 86, 108
 Feld
 – buch 43
 – durchlässigkeit s. Durchlässigkeit
 – flugplatz 20, 69
 – kapazität 26, 38, 57
 – methoden 41, 57
 – untersuchung 41, 43, 57, 93, 98, 103
 Feuchtbiotop 21, 143
 Fernversorgungsleitung 149, 182, 241
 Fertigfilterrohre s. Vollfilterrohr
 Fibertex 204
 Filtan, 202, 204
 Filter
 – regel 170
 – funktion 201
 – material s. Filterstoff
 – matre 206
 – stoffe 79, 113, 200
 Filz 200
 Fingerprobe 42, 47, 49, 218
 Fixmuffe s. Dränmuffe
 Fleckung s. Bodenfleckung
 Fließformel 120, 124f.
 Fließgeschwindigkeit 100, 121
 Fließgrenze 218
 Flügelbohrer 41, 43, 59
 Flügelsonde 66
 Flugplatz 20, 169
 Flurbereinigung 19, 79, 182
 Fragenkatalog 42
 Fräsdrän 78, 235
 Fräsketten Dränmaschinen 98, 104, 221ff.
 Fräsräd Dränmaschinen 219
 Fremdwasser 39, 41, 91, 113, 145, 152, 179
 Freizeitfläche 20, 167
 Friedhof 20, 169
 Füllboden im Drängraben 81, 95, 97, 115
 Füllungskurve 125
 Furchen
 – abstand 81
 – breite 85
 – tiefe 82
 Gärten, Gartenbau 20, 167
 Gallionella ferruginea 112
 Gaukler 120, 124
 Gebäudedrängung 77, 173ff.
 Gefälle 17, 218, 241
 Gefällesteuerung 218ff.
 Gefälleigenschaften 107
 Gefüge
 – formen 50, 70
 – stabilität 73, 202
 Geländeoberfläche 42, 44
 – mulden 83
 – schichten 27
 Gerbstoff 113
 Geschichte der Drängung 15
 gespanntes Grundwasser 55, 135ff.
 Gestein 28, 31
 Gewässer 21f., 114f., 204
 Gewässer-Eutrophierung 22, 82
 Glaswolle 200f., 204
 Gley s. Grundwasserboden
 Glover-Dumm 139
 Graben
 – filter 79, 106, 162, 199
 – fräse 223, 226
 – freie Rohrdrängung 16, 97ff., 228ff.
 – freie Dränmaschinen 98, 228ff.
 Grabung 52
 Granit 38
 Graulehm 32
 Grundwasser 16, 22, 25ff., 31ff., 42f., 53, 67, 91, 94, 96, 126ff., 136, 139ff., 152, 163, 176, 179
 – absenkung 139ff.
 – anstieg 69
 – boden 18, 32f., 52ff., 67, 77, 91ff., 157, 166
 – bewegung 91
 – deckschicht 26, 66, 135
 – fließrichtung 55
 – gefälle 55, 58
 – ganglinie 27, 28
 – schwankung 32, 33

- stausohle (s. Stausohle)
- strömung 91ff.
- tiefe 26f., 54, 56
- vernässung 16, 27 s.a. Grundwasserboden
- Grüppe 160
- Güteprüfung Tonrohr 190
- Güteprüfung PVC 198
- Gülle 154
- Gyttja 34

- Haftnässe 17, 41f., **57**, 67
- Haftnässeboden 17, 31, **33**, 57, 79, 82, 95, 134
- Haftwasser 16, 26f., **57**, 110, 155
- Hakenrohr 212
- Hallakorpi 156
- Halbbarkeit s. Lebensdauer
- Handarbeit 232
- Heidekraut-Filter 200, 205
- Hinesly 136
- Hochbau 20 s.a. Gebäude
- Hochdruck-Spülung 249
- Hochflut-Lehm 30
- Hochmoor 32, 39, 51, 62, 157, 159
- Höhen
 - aufnahme 44
 - festpunkt 44
 - flurkarte 43f., 182
 - messung 44
 - linie 44f., 182
 - ordinate 44, 182
- Holländische Fehnkultur 86, 108
- Holzdräne 15, 233
- Holzwolle 201, 204
- Hooghoudt 127, 132
- Horizonte 30
- Hüllengefüge 50
- Humides Klima 18, 36
- Humosität s. Zersetzungsgrad
- Humus 30f., 33, 37, 39, 73, 86, 108, 180
- Hydraulische Berechnung **119ff.**, 181, 186
- Hydromorphe Böden 32f.
- Hydrostatischer Druck 26

- Infiltration 65, 138, 163
- Ingenieurbau 20, 170
- Instandhaltung s. Unterhaltung

- Instationäre Strömung 94, 126, 140
- Instationärer Dränfall 94, 139f.
- Investitionskosten 22
- Illuvial-Horizont 31
- Iteration 128

- Jauche s. Gülle

- Kaliumpermanganatverbrauch 114
- Kalk 30, 37, 49, 67, 74, 82, 86, 106
- Kalkbedarf 74
- Kalkmulde 51
- Kalkung 16f., 161
- Kammerbohrer 41, 43, 49
- Kanalisation 173f.
- Kapillarität 26, 37, 57, 163
- Karten 43
- Kartieranleitung 47, 74
- Katasterkarte 44
- Kation 74
- K_r-Wert s. Durchlässigkeit
- Kiefernbruchwaldtorf 34, 51
- Kies 28, 79, 95
- Klima 23, 28
- Knickmarsch 31, 97, 160
- Körnung 42
- Kohärentgefüge 37, 50
- Kohäsion 217
- Kokosfaser 200f., 204, 206
- Kombinierte Dränung 79f., 83, 87, 89, 177
- Konkretionsbildung 33, 112
- Konsistenz 97, 217
- Kontrollschacht s. Dränschacht
- Korn
 - grÖße 29, 134, 170
 - fraktion 29, 170
 - verteilungskurve 170
- Kosten 22, **87**, 89, 117, 145f., 238, 246
- Kostenvorschlag 181, 186, 238
- Krümelfüge 38
- Krumenverdichtung 66, 81, 159, 160
- Kulturtechnik 15f., 23, 27
- Kuratorium für Kulturbauwesen 16, 197
- Kulturlandschaft 20

- Labor-Methoden 73, 115
- Längsrillen 190, 193

- Längsdränung 150
 Längsschnitt 181, 185
 Lageplan 43f., 55, 143, **181f.**
 Lagerungsdichte 48, **50**, 66, 85
 Landeskultur 18
 Landschaft
 – bau 15, 20, 166
 – pflege 21, 143
 – schutzgebiet 21, 143, 182
 Landwirtschaftlicher Wasser-
 bau 144
 Laser 220
 Lattenrost 159
 Lebensdauer s.a. Dränwirkung 19,
 80, 87, 146
 Lehm 27, 48f., 63, 78, 87, 100, 110,
 163f.
 Leptothrix ochracea 122
 Letten 32
 Lochrohr 212
 Lockerung s.a. Tieflockern
 – effekt 106f., 229
 – furchen 81f.
 – geräte 82, 234
 – schar 82, 234, 236
 – tiefe 81
 Löffelbagger 223, 226
 Luftbild 44
 Luftdurchlässigkeit 66
 Luftkapazität 57

 Manning 120, 124
 Marmorierung 32
 Marschboden 18, 32, 62, 110, 160
 Marschdränung 160
 Maschineneinsatz 17, **217**, 242
 Maulwurfdränung s. Rohrlose-Drä-
 nung
 Melioration
 – bedürftige Fläche 18f.
 – düngung 16, 86, 89, 240
 – kalkung 16, 82, 89, 240
 Mineralböden 28, 62f., 110
 mineralische Substanz 73
 mineralischer Untergrund 45ff.,
 109, 179, 180
 Modellversuche 91, 120
 Moor 21, **32f.**, **44**, 48, 62, 85, **108**,
 155, 179
 – art 34
 – boden 18, 33, **34**, 37, **44**, 48, 62f.,
108, 155, 179
 – bohrer s. Kammerbohrer
 – dränung **155ff.**, 207, 235
 – gley 33, 39, 56
 – marsch 32, 39, 160
 – mächtigkeit 45f., 47, 86, 179
 – oberfläche 45
 – peilgerät 41, 43
 – pelling 46, 179
 – profil 34, 53, 84f.
 – sackung 22, 46, 52, 85, 126, 144,
155ff., 180
 – tiefe s. Moormächtigkeit
 – tiefenplan 45
 Moostorf 34, 51
 Mudde 34, 51
 Muskat 135
 Mülldeponie 164

 Nachteile der Dränung 22
 Nährstoffauswaschung 22, 82
 Nassgley 32f., 56
 Natriumboden 35f.
 Naturschutz 21, 143, 182
 Nennweite **122ff.**, 149, 197f., 210ff.
 Neutrale Reaktion 71
 Niedermoor 32ff., 39, 51, 62f., 112,
 157, 159
 Niederschlag 23, 25f., 28, 77, 81f.,
 108, 119, 136
 Nivellement 44
 N.N. 46
 Nutzbare Feldkapazität 38, 86
 Nutzung 19
 Nutzungserschweris 19
 Nutzungsunterschiede 42

 Oberboden 28, 79f.
 Oberflächen
 – abfluß 21, 26
 – mulden 82, 152
 – verdichtung 66, 81, 159, 160
 – wasser 27, 55, 56
 Ökologie 21, 77, 112, 143f.
 Organische Substanz 73
 Organomarsch 62
 Oxidation 21, 31, 38, 42, 53, 70, **112**,
 157, 169, 181
 Oxidationshorizont 31, 33, 53, 74

- Parabraunerde 32, 62, 84, 86, 112
 Park 20, 167
 Peilgerät s. Moorpeilgerät
 Permanenter Welkepunkt 38
 Pelosol 31, 32, 39, 62, 83
 Perforation 98f.
 Pflanzen
 – decke, -bestand 44, 66
 – gesellschaft 28, 67
 – schädliche Stoffe 74, 179
 – wuchs 22, 81
 Pflug
 – sohle 80f.
 – furchen 84f.
 – tiefe 84
 pF-Wert 37, 73
 Phenole 114
 pH-Wert 35, **71**f., 74
 Piezometer 93, 103
 Pilze 153f.
 Planierung 89, 157
 Planungsgrundsätze **143**, 148
 Plastosol 32, 46
 Plattengefüge 32, 35
 Podsol 32f., 39, 62, 84, 86
 Polyäthylen (PE) 194
 Polyester 201, 204
 Polyurethan 200, 207
 Polypropylen 201, 204, 208
 Polyvinylchlorid (PVC) 194
 Poren
 – raum 37, 73, 81, 91, 100, 103, 106f.
 – raumgliederung 37, 73, 81, 102
 – volumen 37, 106
 Porosit 209
 Post 149, 178
 Potentialströmung 91, 94, 101f., 112, 148
 Potentielle Verdunstung 23f.
 Potenzformel 120, 124
 Prandtl 120, 124
 Preßkopf, -kegel s. Ziehkegel
 Primärauflockerung 81, 106
 Primärversalzung 19
 Primärverschlammung 99, 202
 Prismengefüge 32, 35
 Pseudogley 19, 32f., 56, 62, 77, 83, 106ff.
 PVC 194
 PVC-Rohr 17, 76, 98ff., 115f., 122f., 193ff., 210ff., 239
 Quelle 26f., 42, 67, 70, 152, 161f., 182
 Quellung 35, 73
 Quellungskräfte, -druck 106
 Querdrennung 150
 Quetschmethode 49
 Radialströmung 91, 96, 126
 Radialwiderstand 96, 126
 Randdrän 150
 Raudril 210
 Raumordnung 143
 Reduktion 31, 42
 Reduktionshorizont 31, 33, 42, 53
 Reichsbodenschätzung 43f.
 Rigolen 31
 Rillenbohrer 41, 43
 – Tonrohr 190, 192
 Rißbild 73
 Rohrdränung 76, 87, 89, **91**, 111, 120, **147**ff., 184
 – Gebäude 175
 – Hochbau 173
 – Ingenieurbau 170
 – Straßenbau 173
 – Tiefbau 172
 Rohr
 – filter s. Dränfilter
 – füllung 125
 – lose-Dränung 16, 47, **77**, 87, 89, 95, **104**, 111, 151, 160, 162, 176, 184, 233
 – pflug 78f.
 – verschlammung s. Dränverschlammung
 – weite 120, s.a. Nennweite
 Sägespäne 113, 204
 Sackung s. Moorsackung
 Salzboden 15, 19f., 34ff., 72, **138**, **162**ff.
 Salzbodenhorizont 31
 Salze 74
 Salzgehalt 35, 72f., 163
 Salznatriumboden 35f.
 Sammler 46, 76f., **148**
 – berechnung **120**ff.

- kreuzung 149
- länge 149
- Sand 29, 47ff., 84, 107f.
- deckkultur 86, 112
- fang 149
- mischkultur **84, 108, 112**
- Säure s. pH-Wert
- Sauger 46
 - anschluß 152f., 226
 - einmündung 152f., 226
 - enden 150
 - gefälle 148, 151f.
 - kreuzung 151
 - lage 149
 - länge 151
 - tiefe 150
- Saugspannung 37
- Saure Reaktion s. pH-Wert
- Säulengefüge 35
- Sedimentation s. Schlämmanalyse
- See 21, 53
- Segeberg 156
- Seggentorf 34, 49, 51, 63
- Sekundärauflockerung 81, 106
- Sekundärversalzung 19
- Sekundärverschlammung 99, 202
- Selbstreinigung 154
- Semiarid s. arid
- Semigley 33
- Setzung s. Moorsackung
- Sickerrohrmethode 62ff.
- Sickerung 79, 83, 153
- Sickerrohr 165, 208, 210
- Sickerwasser 26
- Sickerplatte 108
- Siebanalyse 29, 73, 170
- Silo 154
- Siroplast 210
- Skelettboden 28
- Smonitza 32
- Sohlgefälle s. Drängefälle
- Solod 35
- Solonetz 35
- Solontschak 35
- Spaten 34, 42
 - egge 82
 - diagnose 66
 - pflug 80, 236
- Spielplatz-Dränung 167
- Sportplatz-Dränung 167
- Spülmaßnahmen 114f., 154, 249ff.
- Spülfeld 165
- Spurenelemente 74
- Substanzvolumen 37f.
- Sumpf 28, 44
- Systemdränung 77, 147ff.
- Schacht (s. Dranschacht)
- Schaumstofffilter 207
- Schilftorf 34, 51, 62f.
- Schlämmanalyse 29, 73, 170
- Schlacke 154, 200, 203
- Schlammfang 149, 214
- Schleppkraft 100, 104, 114
- Schlitzweite 103, 196, 198
- Schlucker 83, 153, 161
- Schluff 29, 47f., 81, 84
- Schöpfwerk 144, 160
- Schrittweise Dränung 77
- Schrumpfung 35, 73
- Schwarzalkaliboden 35
- Schwefelalgen 154
- Schwefelkieshaltige Schlacke 154
- Schwefelige Säure 251
- Schutzzone (hydrologisch) 143f.
- Standortuntersuchung 67
- Stangendrän 162, 233
- Stau nässe
 - boden (s. a. Pseudogley)
 - Moor 159
 - sohle 31, 56
- Stauschicht 53
- Stausohle 26, 56, 134
- Stauwasser 26f., 31, 42, 52, 55f., 67, 105, 109, 133
- Stationäre Strömung 91
- Steindrän 15, 162, 233
- Steine 28
- Steinzeugrohr 209
- Steppenbleicherde 35
- Steuerung 218
- Stickstoff 67
- Stoßfuge 98, 101, 103, 189f.
- Straßen 46, 151
- Straßenbau-Dränung 46, 151
- Strasil 210
- Stratum 27
- Strickler 120, 124
- Stroh-Dränfilter 113, 200ff.

- Strömungsnetz 93f., 101
 Stromlinie 92ff., 101f., 111, 136
 Stubben 34, 51
 Stundenlohnarbeit 240
 Styromull 99
 Styropor 199f., 208
- Teilfüllung 125
 Teilnehmergeinschaft 19, 79, 182
 Terzaghi 170
 Thormann 125
 Tief(-bau-Dränung) 20, 172
 – kulturpflug 83, 86, 237
 – lockern 15ff., **80**, 87, **106**, 111, 177, 184f., 234, 240
 – pflügen 15ff., 47, 80, **83**, 87, **108**, 112, 159, **178**, 184f., 236, 240
 – pflug
 – (-einsatz) 47
 – kultur 85, 108
 – profil 84f.
 – sohle 85
 – -Sanddeckkultur 86, 112
 – -Sandmischkultur 12, **84**, **108**
 – wurzler 82
- Ton
 – boden 29, 47ff., 55, 78, 80, 85, 189
 – einschlammung 81, 201
 – mineral 73
 – mudde 50
 – rohr s. Dränrohr
 Topographie 41, 44
 Topographische Karte 42f., 181
 Torf 31, 33f., 52
 – art 34, 49, 52
 – filter s. Filtran
 – mächtigkeit s. Moormächtigkeit
 – mudde 50
 – verzehr 157, 181
 Tragfähigkeit 167
 Trittfestigkeit 22, 112
 trockener Boden 217
 Trevira 201
- Überdeckung 149
 Überflutung 32
 Übergangsmoor 34, 51
 Überschwemmung 42
 Übersichtslageplan 181f.
- Überwachung 247
 Umfiltration s. Dränfilter
 Umweltschutz 21, 143
 undurchlässige Bodenschicht 59ff., 92ff., 126f., 133, 139f.
 Unterboden 22, 28, 79, 82, 95
 Unterbodenmelioration 81
 Unterhaltung 22, 91, 144, 182, **245ff.**
 Unterhaltungskosten 144, 147, 160, 245
 Unterspülung 248ff.
 Ursache der Bodenvernässung s. Vernässungsursache
- Vakuumbaß 249
 Varianzanalyse 110
 Verdingungsordnung 237
 Verdunstung 23f., 26, 28
 Verebnen 160
 Vermessung 44
 Vernässungsursache 15f., 27, 41f., 126, 143, 161
 Verockerung
 – gefährdete Böden 39
 – gefährdete Gebiete 39
 – gefahr 39, 70, **112ff.**, 152, 165
 – verdächtig 40
 Versacken 21, 159
 Versalzung 19, 163
 Versandung 149, 248
 Verschlammung s. Dränverschlam-
 mung
 Verschlammung 35, 86, 203
 Versickerung 62
 Versorgungsleitung 65, 182, 241
 Verunkrautungsgefahr 21
 Verwachsung 21, 153f., 248
 Verwesung 169
 Verwitterung des Bodens 28, 31, 80
 Verwurzelung 21, 149, 153f., 248
 Visiertafel, -stangen 219, 233
 Volldränung 77
 – filterrohr 202, **204**
 Vorarbeiten 143
 Vorentwässerung 156, 159, 180
 Vorflut 42, 46, 76, **143**, 144, 151, 160, 182, 245
 – drän 77
 Vorteil der Dränung 21

- Wasser
- andrang 53, 57f.
 - bilanz 23, 25, 162
 - bilanzformel 25, 162
 - bindung s. pF-Wert
 - eintritt (in das Dränrohr) 95ff.
 - geschwindigkeit s. Fließgeschwindigkeit
 - haushalt s. Wasserbilanz
 - haushaltsgesetz 23, 114, 204
 - kreislauf 23ff.
 - spannung s. pF-Wert
 - spiegel 53
 - stoffionen s. pH-Wert
 - und Bodenverband 19, 79, 182
 - vorratsänderung 25
 - werk 149
- Weingarten-Dränung 161
- Weißalkaliboden 35
- Welkepunkt 38
- Windschöpfwerk 147
- Wirksamkeit s. Dränwirksamkeit
- Wollgrastorf 50
- Wurzel
- bild 67ff.
 - raum 22, 81
 - schöpfe 153
 - tiefe 67
 - wachstum 21, 81, 86, 106, 107
- Wühlpflug 86
- Zeigerpflanzen 42, 66ff.
- Zellwolle 204
- Zentrifugierung 29
- Zersetzung (-grad, -zustand) 31, 34, 49, 52, 80, 159, 180
- Ziegelei, Ziegelwerk 189
- Ziehkegel 78, 233, 235f.
- Zugkraftbedarf 79, 82, 85, 234, 236
- Zuschlag 241
- Zweischichtenpflug 80, 236

Inserentenverzeichnis

Barth KG, 4811 Oerlinghausen 2	275
Behrens, Johann, 2139 Helvesiek	284
Cornelius GmbH, Werner, 2241 Nordhastedt	282
Dränagebau Böske, 2849 Goldenstedt	283
Eijkelkamp, NL-6988 BG Lathum (Holland)	284
Fibertex APS, DK-9220 Aalborg-Øst (Dänemark)	276
Fitschen GmbH u. Co., Hinrich, 2165 Brest-Reith	280
Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH, 8729 Königsberg	Vorsatzseite II
GFG Gesellschaft für Grün mbH., 4390 Gladbeck	284
Hegler-Plastik GmbH, 8735 Oerlenbach	Umschlagseite II
Hoes Maschinenfabrik, 2906 Wardenburg-Westerholt	271
Klein, Schanzlin & Becker AG, 6710 Frankenthal	Vorsatzseite I
Köster KG, Friedrich, 2240 Heide	279
Krinke & Krüger GmbH, 3012 Langenhagen	288
MKF Münsterländer Kunststoffrohre und Filterbetrieb GmbH & Co. KG, 4715 Ascheberg-Herbern	278
MTG Mittelweser-Tiefbau GmbH & Co., 2811 Warpe	275
Naue Fasertechnik, 4992 Espelkamp-Fiestel	283
Oltmanns Ziegel und Kunststoffe GmbH, 2905 Edeweicht-Jeddeloh	273, 277, 281 u. 285
Porosit-Betonwerke GmbH, 3582 Felsberg	Umschlagseite III
Rainer Isolierrohrfabrik Max Drossbach, 8852 Rain am Lech	286
Rehau Plastiks, 8520 Erlangen-Eltersdorf	272
Spectra-Physics GmbH, 6100 Darmstadt	287
Süddrän Kress + Scheib GmbH + Co., 7170 Schwäbisch Hall-Sulzdorf	278
Schulz Ingenieurbüro, 4460 Nordhorn	284
Twistringer RBM Dränfilter GmbH + Co. KG, 2832 Twistringen	274
Windeler, Conrad, 2878 Wildeshausen	276