

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

Herausgeber: Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

Band: 40 (1942)

Heft: 8

Artikel: Die Bestimmung von Drainentfernungen

Autor: Bachmann, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-199769>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SCHWEIZERISCHE
Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik

ORGAN DES SCHWEIZ. GEOMETERVEREINS

Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Kulturtechnik / Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie

Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES GÉOMÈTRES

Organe officiel de l'Association Suisse du Génie rural / Organe officiel de la Société Suisse de Photogrammétrie

Redaktion: Dr. h. c. C. F. BAECHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats

Expedition, Inseraten- und Abonnements-Annahme:

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR A.G., WINTERTHUR

No. 8 • XL. Jahrgang

der „Schweizerischen Geometer-Zeitung“
Erscheinend am zweiten Dienstag jeden Monats

11. August 1942

Inserate: 50 Cts. per einspaltige Nonp.-Zeile

Abonnemente:

Schweiz Fr. 12.—, Ausland Fr. 16.— jährlich

Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaften für
Kulturtechnik u. Photogrammetrie Fr. 9.— jährl.

Unentgeltlich für Mitglieder des
Schweiz. Geometervereins

Die Bestimmung von Drainentfernungen

E. Bachmann, dipl. ing.

Die richtige Wahl der Drainentfernungen ist von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Ist die Entfernung zwischen den Saugdrains zu groß angenommen, so bleibt zwischen den einzelnen Saugern ein Streifen Land übrig, welcher gar nicht oder nur ungenügend entwässert ist. Umgekehrt ist bei einer zu engen Drainindistanz die Wirkung der Entwässerung wohl eine vollkommene, der vermehrte Kostenaufwand steht dagegen in keinem gesunden Verhältnis zur Ertragssteigerung. Die Beziehungen zwischen den erforderlichen Saugerlängen, beziehungsweise der prozentualen Drainagekosten pro ha und der Drainindistanz zeigen die Kurvenbilder der Abbildung 1. Bei einer Drainindistanz von 10 Meter beträgt die mittlere Saugerlänge pro ha 1030 Meter. Durch Erweiterung der Saugerabstände nimmt die Saugerlänge pro ha ab und erreicht bei einer Drainindistanz von 30 Meter den Wert von 350 Meter pro ha. Die Drainagekosten sind nicht direkt proportional der Saugerlänge, nehmen jedoch ebenfalls mit zunehmender Drainindistanz stark ab. Die Kostenabnahme entspricht einem parabolischen Gesetz. Die Kurve ist somit unregelmäßig. Im Bereich der Drainentfernung 10 Meter hat die Kurve ihre größte Steigung. Eine kleine Änderung der Drainindistanz wird hier eine verhältnismäßig große Kostenverschiebung zur Folge haben. Bei der Drainindistanz 30 Meter ist die Kostenkurve bereits sehr flach. Eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Drainindistanz beeinflußt hier die Drainagekosten nur unbedeutend. Die Drainindistanzen sollen aus diesen Gründen bei schweren undurchlässigen Böden, die bekanntlich ein sehr dichtes Saugersystem erheischen, mit aller Sorgfalt bestimmt werden, während für die durchlässigen Böden, bei denen große Drainentfernungen zur Anwendung gelangen, eine angeneherte Bestimmungsmethode genügen kann.

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN SAUGERLÄNGE BEZW. DRAINKOSTEN UND DER DRAINDISTANZ PRO ha

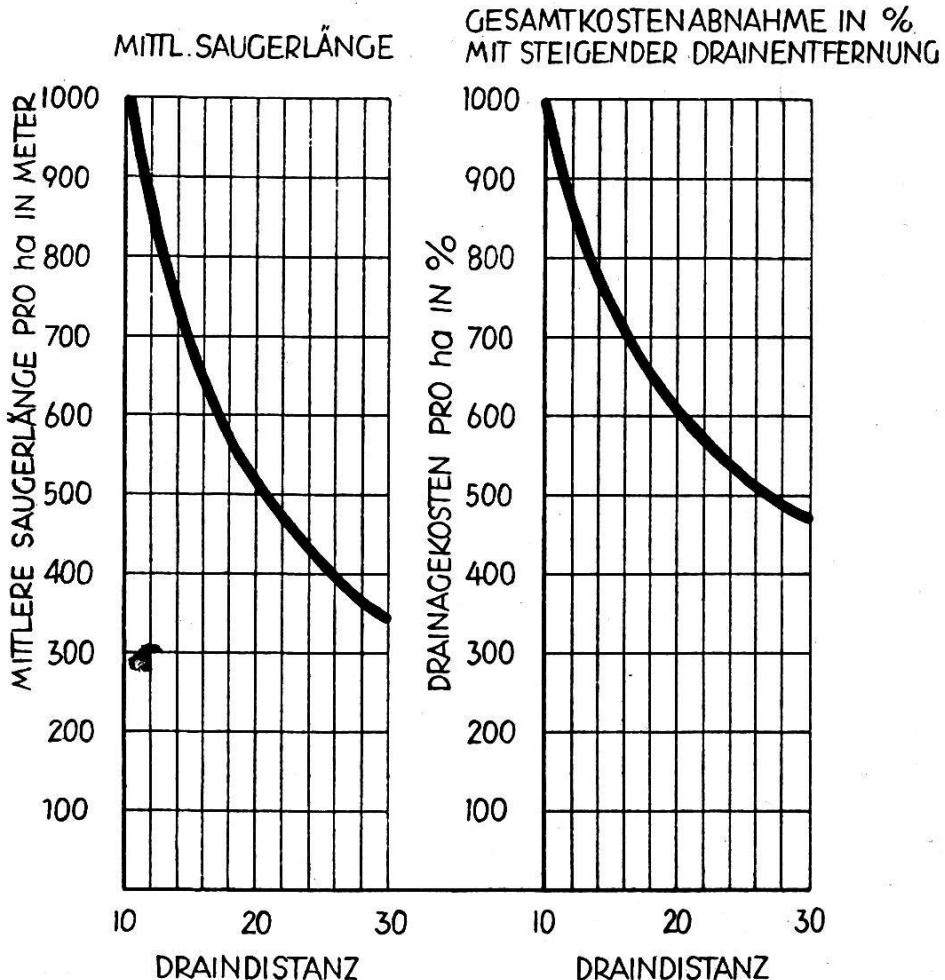


Abbildung 1

Die Entfernung der Drainstränge ist in allen Fällen so zu bemessen, daß einerseits eine rechtzeitige und möglichst gleichmäßige Abführung des überschüssigen Wassers erzielt wird und anderseits die Ausführungs-kosten der Bewirtschaftungsintensität des Drainagegebietes entsprechen. Die Drainentfernung ist für jede Bodenart eine andere. Sie variiert mit der Bodenkornzusammensetzung, der Höhe der örtlichen Niederschlagsmenge, dem Kalkgehalt des Bodens, der Tiefe der Saugdrains und deren Gefälle. Es gibt für die Bestimmung der Draindistanzen vier grundsätzlich verschiedene Methoden. Die Bodendurchlässigkeitbestimmung, die mechanische Bodenanalyse mit deren Auswertung nach Kopecky oder Zunker und die Wasseraufstiegsmethode.

1. *Die Bestimmung der Draindistanz mit Hilfe der Bodendurchlässigkeit.* (Filtrationskonstante k).

Die Bodendurchlässigkeitbestimmung geschieht im Laboratorium. Die Bodenprobe wird in einen Zylinder gebracht und derselbe bis zur

BERECHNUNG DER FILTRATIONSKONSTANTE K
FÜR EINEN LEHMBODEN

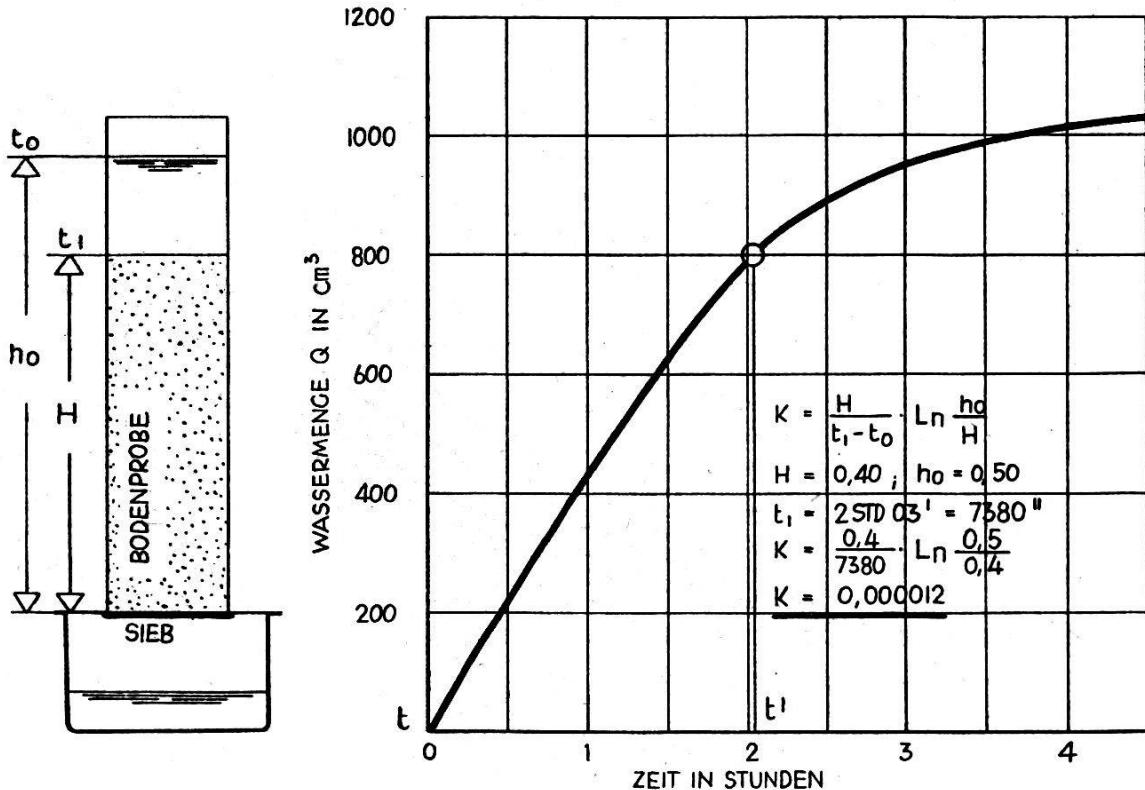


Abbildung 2

Höhe h_0 mit Wasser angefüllt. Die untauslaufende Wassermenge wird, gemessen und als Funktion der Zeit graphisch aufgetragen (Abbildung 2). Die Zeit t_1 , das ist die Zeit, bei der die Wassersäule den Wert H erreicht, muß ebenfalls abgelesen werden. Mit Hilfe der ausgelaufenen Wassermenge bis zur Zeit t_1 und den verschiedenen Wasserhöhenablesungen kann die Durchlässigkeitsgröße, Filtrationskonstante genannt, berechnet werden. Die Berechnung geschieht nach folgender Formel:

$$k = \frac{H}{t_1 - t_0} \cdot l_n \frac{h_0}{H}$$

k = Filtrationskonstante m/sec
 H = Höhe der Bodenschicht m
 h_0 = Wassersäulenheight zur Zeit t_0 in m
 l_n = Natürlicher Logarithmus von...
 t_1 = Zeit in Sekunden

Die Filtrationskonstante k ist das Durchlässigkeitsmaß für die verschiedenen Bodenarten. Sie variiert zwischen der Größenordnung 0,0000002 m/sec und 0,000500 m/sec. Tonböden haben eine mittlere Filtrationskonstante von 0,0000004, Lehmböden eine solche von 0,000020 und Sandböden einen K -wert von 0,000500 m/sec. Zwischen der Filtrationskonstanten k und der Drainabstand D besteht eine direkte Beziehung. Die Kurvenbilder der Abbildung 3 zeigen den aus vielen Untersuchungen und Versuchen gefundenen Zusammenhang zwischen dem K -Wert und

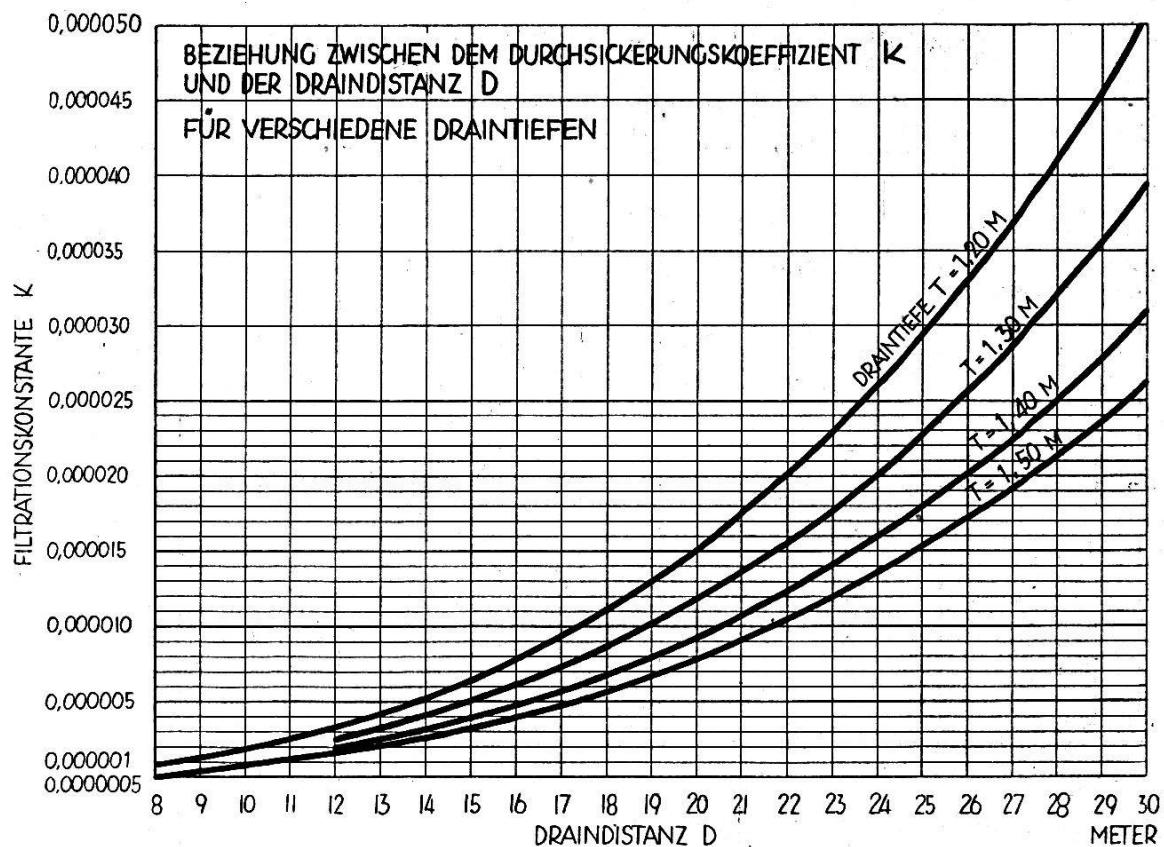


Abbildung 3

der Drainindistanz. Die vier verschiedenen Kurven entsprechen den Draintiefen 1,2 / 1,3 / 1,4 und 1,5 Meter.

2. Die mechanische Bodenanalyse und deren Auswertung nach Kopecky.

Die mechanische Bodenanalyse zerlegt den Boden in seine einzelnen Kornbestandteile. Der heute fast überall verwendete Schlämmaparat von Kopecky unterteilt den Boden in vier verschiedene Korngrößengruppen. Im ersten Zylinder lagern sich die groben Bodenkörper von der Größenordnung 0,1–2 mm ab, welche als Sand bezeichnet werden. Der zweite Zylinder trennt die Korngröße 0,05–0,1 mm, während der dritte Zylinder den Staub von 0,01–0,05 mm zurückhält. Alle Korngrößen unter 0,01 mm, die feinsten abschlämmhbaren Bodenbestandteile, werden durch das Wasser abgeschlämmt. Auf Grund der Forschungs- und Erfahrungs-ergebnisse wissen wir, daß die Eigenschaften des Bodens und besonders dessen Wasserdurchlässigkeitssvermögen fast ausschließlich vom Anteil der abschlämmhbaren Teile bestimmt wird. Die mechanische Bodenanalyse ermöglicht überdies eine einwandfreie Klassifikation aller Kulturböden. Mit der Bestimmung der prozentualen Anteile der verschiedenen Bodenkorngrößen ist jede Bodenart festgelegt. Abbildung 4 zeigt diesen Zusammenhang. Die große Bedeutung der abschlämmhbaren Teile (Fraktion I 0,01 mm und kleiner) ist deutlich erkennbar. Der Sandboden hat einen Schlämgehalt von 0–20 %. Der Lehmboden enthält 20–50 % abschlämmbare Teile und der Tonboden deren 50–100 %.

BODENKLASSIFIKATIONSTABELLE

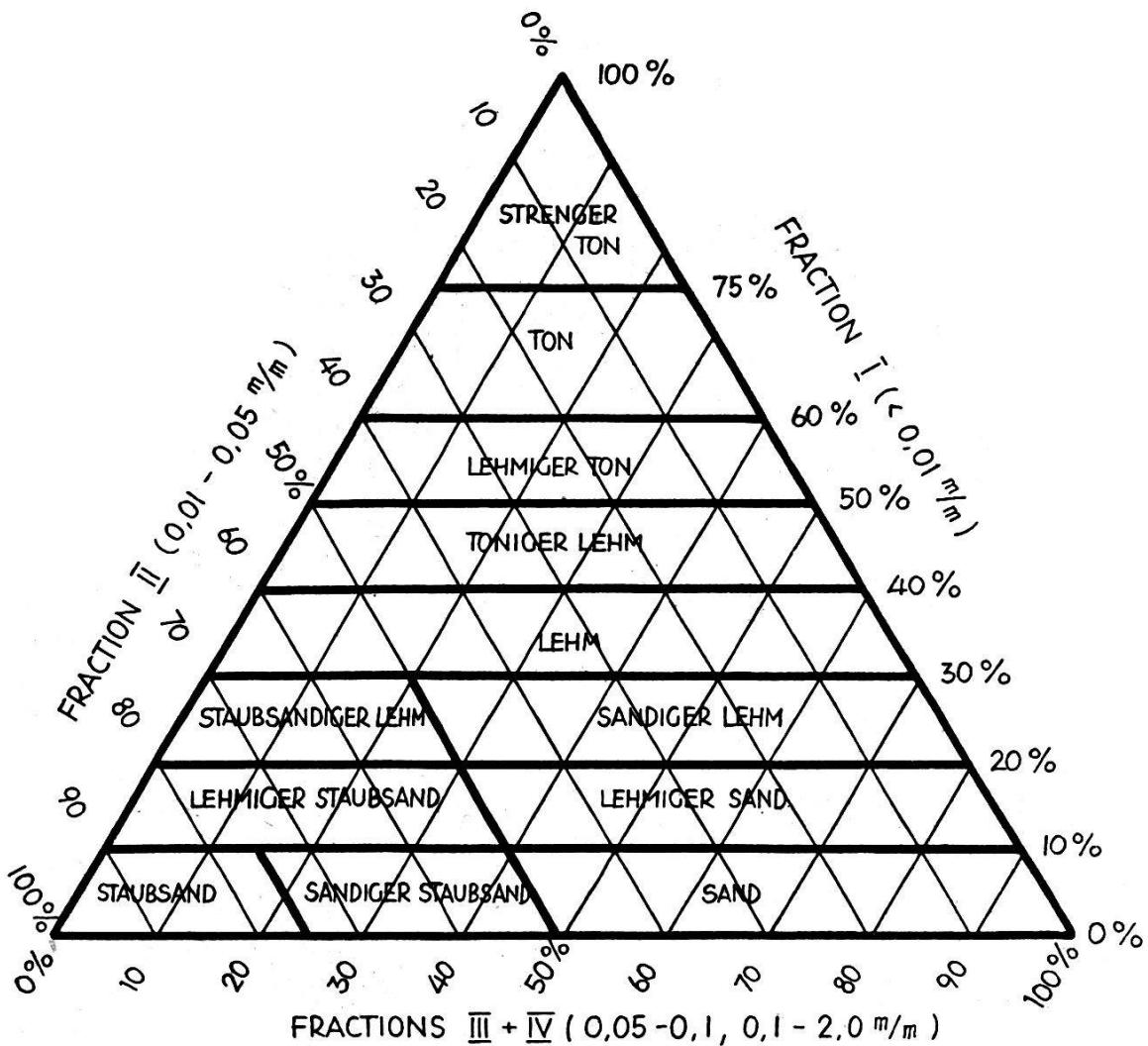


Abbildung 4

Kopecky hat aus der Erkenntnis heraus, daß der Anteil der abschlämmbaren Teile für jede Bodenart hauptbestimmend ist, eine Beziehung zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Teilen und der Drain-distanz aufzustellen versucht. Die Kurventafel 5 zeigt das Verhältnis zwischen dem prozentualen Anteil der feinsten abschlämmbaren Bodenkörper, der Draintiefe und der Drain-distanz. Die Werte der Abbildung 5 dürfen jedoch nicht in jedem Fall direkt übernommen werden. Einem hohen Prozentsatz der Korngröße III und IV (0,05–2 mm Größe) entspricht in der Regel ein geringer Prozentsatz der Korngröße I. Dieser Einfluß kommt ohne weiteres in der Abbildung 5 zum Ausdruck. Anders verhält es sich mit der Korngröße II (0,01–0,05 %). Die Erfahrung lehrt, daß ein hoher Prozentsatz dieser Korngröße II die Leh- und tonigen Lehmböden wesentlich durchlässiger zu machen vermag. In Berücksichtigung dieser Umstände ist zur Abbildung 5 eine Ergänzungstabelle (Abbildung 6) aufgestellt worden. Die Ermittlung der Drain-distanz ge-

BEZIEHUNG ZWISCHEN DER KORNGRÖSSE I UND DER DRAINDISTANZ

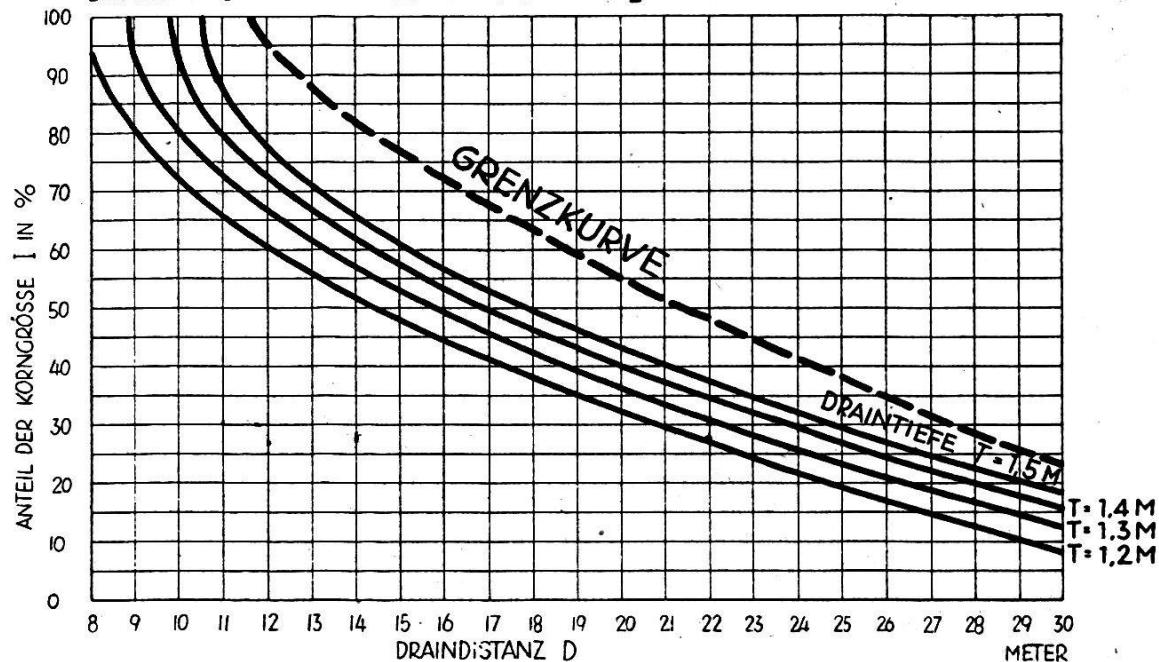


Abbildung 5

ANTEIL DER KORNGRÖSSE II AN DER DRAINDISTANZ

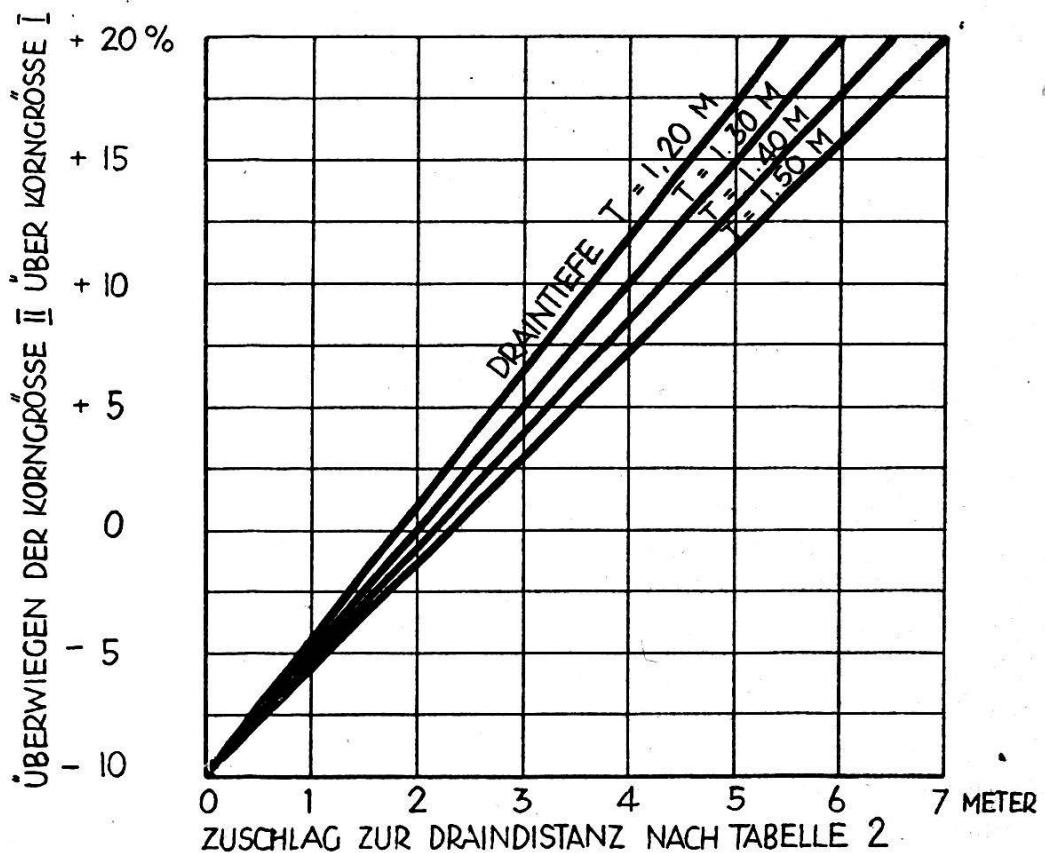


Abbildung 6

schieht bei der Kopeckymethode mit Hilfe der beiden Abbildungen 5 und 6.

3. Die mechanische Bodenanalyse und deren Auswertung nach Zunker.

Zunker benützt die Ergebnisse der mechanischen Bodenanalyse zur Aufstellung einer Bodenkonstanten, der sogenannten spezifischen Bodenoberfläche. Unter spezifischer Oberfläche versteht man die Zahl, die angibt, wieviel mal größer die Kornoberfläche des zu untersuchenden Bodens ist als eine gleiche Gewichtsmenge Boden von der Korngröße 1 Millimeter. Zunker glaubt auf Grund zahlreicher Versuche festgestellt zu haben, daß die Durchlässigkeit der Böden hauptsächlich von der Reibung des Wassers an den kleinen Bodenkörnern bestimmt wird. Die Durchlässigkeit ist somit nach Zunker eine direkte Funktion der spezifischen Bodenoberfläche. Die spezifische Bodenoberfläche U wird folgendermaßen bestimmt:

Der prozentuale Anteil der verschiedenen Korngrößen wird der mechanischen Bodenanalyse entnommen und in nachstehende Formel eingesetzt:

$$\underline{U = 248,5 U_1 + 49,7 U_2 + 14,43 U_3 + 3,17 U_4}$$

U = spezifische Bodenoberfläche

U_1 = Anteil der Fraktion I in %

U_2 = Anteil der Fraktion II in %

U_3 = Anteil der Fraktion III in %

U_4 = Anteil der Fraktion IV in %

U ist immer größer als 3,17 und kleiner als 248,5. Die Beziehung zwischen der Drainidistanz und der spezifischen Bodenoberfläche gibt Zunker mit folgendem Gesetz an:

$$D = 30 - 2 \sqrt[3]{U} \text{ für eine Draintiefe von } 1,25 \text{ m}$$

Die Formel von Zunker gibt für unsere Böden ganz abnormale Drainentfernungen. Diese Methode wurde bei uns in der Schweiz vollständig aufgegeben. Vor einigen Jahren hat mir ein Kollege aus Süddeutschland eine neue Drainbestimmungstabelle übergeben, die von verschiedenen kulturtechnischen Ämtern auf Grund zahlreicher Beobachtungen aufgestellt worden ist, und die zur Bestimmung der Drainentfernung die spezifische Bodenoberfläche benützt. Die Zunkersche Methode gelangt dadurch in neuer verbesserter Form in Süddeutschland zur Anwendung. Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang zwischen der spezifischen Oberfläche und den Drainidistanzen.

4. Die Wasseraufstiegsmethode.

Die Wasseraufstiegsmethode zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeit kommt im Gegensatz zu den übrigen Verfahren ausschließlich im Gelände zur Anwendung. Zur Untersuchung werden die Bohrlöcher, die

BEZIEHUNG ZWISCHEN DER SPEZIFISCHEN BODENOBERFLÄCHE U UND DER DRAINDISTANZ

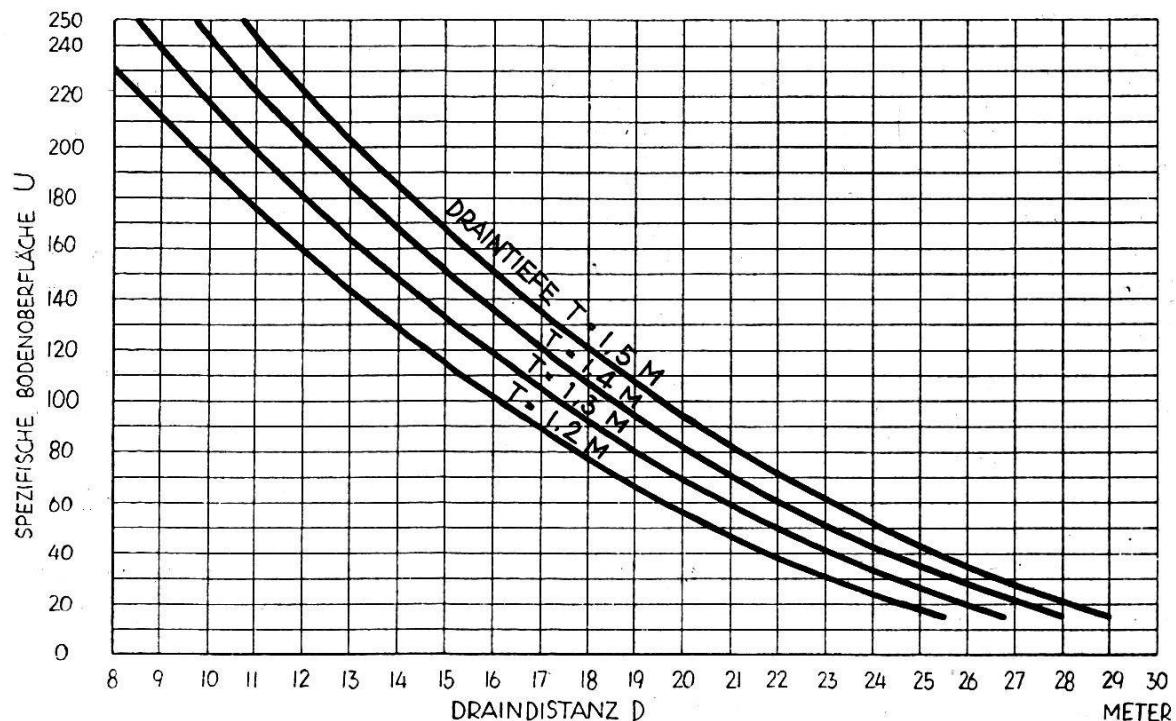


Abbildung 7

zur Entnahme von Bodenproben ohnedies gebohrt werden müssen, verwendet. Bei jedem Bohrloch wird die Höhe des Grundwasserstandes, wenn möglich bei trockenem und nassem Wetter, abgelesen. Hierauf wird das Bohrloch mit Hilfe einer Büchse ausgeschöpft. Das nach der Ausschöpfung vorhandene neue Grundwasserniveau im Bohrloch wird eingemessen und gleichzeitig die Tageszeit abgelesen. In bestimmten Zeitintervallen, z. B. alle Minuten, Stunden oder Tage, je nach der Durchlässigkeit des Bodens, wird das steigende Wasserniveau im Bohrloch abgelesen (siehe Abbildung 8). Die Durchlässigkeitskonstante A kann durch Einsetzen der Meßresultate in nachstehender Formel berechnet werden:

$$A = \frac{1000}{H t} \log \frac{h_0}{h}$$

A = Bodendurchlässigkeitskoeffizient

H = Höhe des Grundwasserspiegels über der undurchlässigen Bodenschicht

h_0 = Ablesung des abgesenkten (ausgeschöpften) Wasserstandes

h = Ablesung des Wasserstandes nach der Zeit t

t = Zeit in Minuten

Der Durchlässigkeitskoeffizient steht in direkter Beziehung zur Drainageentfernung. Der Zusammenhang zwischen dem Durchlässigkeitswert A und der Drainageentfernung D zeigt die Abbildung 8.

BEZIEHUNG ZWISCHEN DER DURCHLÄSSIGKEITSKONSTANTE A UND DER DRAINDISTANZ

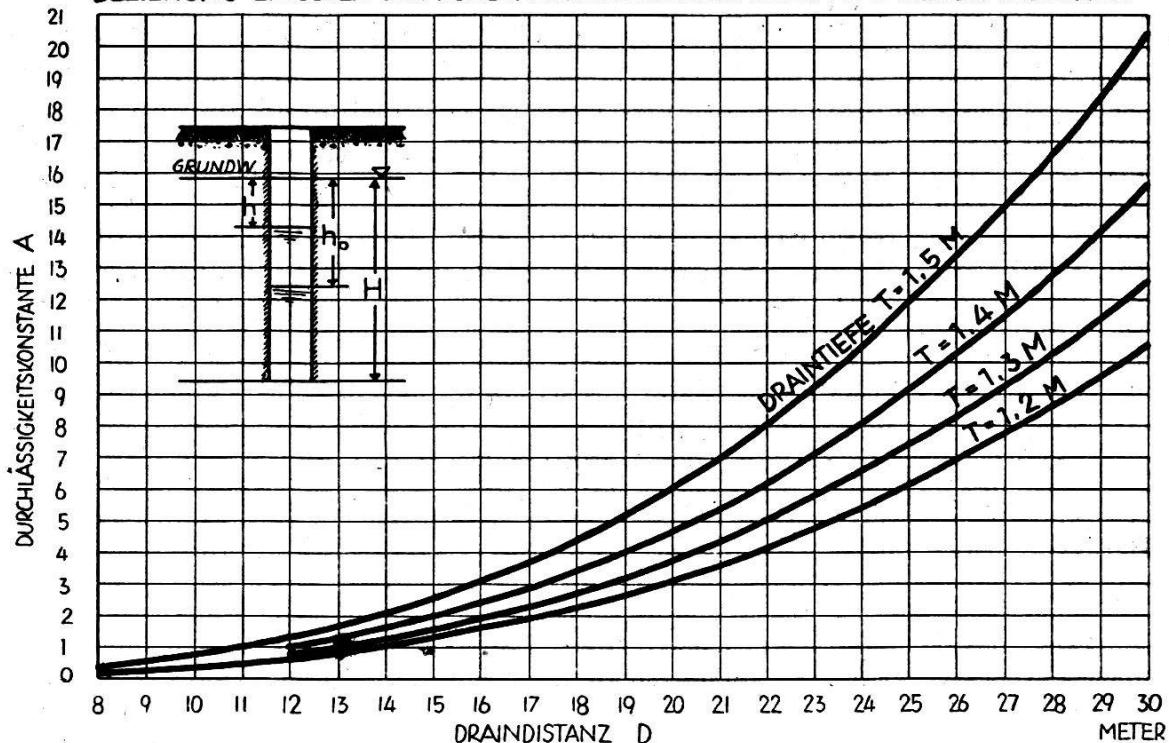


Abbildung 8

5. Die Grenzkurve nach Dr. Schildknecht.

Herr Kollege Schildknecht hat an der ETH. eine sehr beachtenswerte Promotionsarbeit „Die mechanische Bodenanalyse und ihre Anwendung auf die schweizerische kulturtechnische Praxis“ behandelt. In dieser interessanten Arbeit werden eine stattliche Reihe bereits ausgeführter Drainagen auf ihre Zweckmäßigkeit in der Drainentfernung untersucht. Gut und weniger gut funktionierende Drainagen wurden sorgfältig untersucht und aus einem Material von 142 Bodenproben, die an 49 verschiedenen Drainagestellen entnommen worden sind, diejenige Drainidistanz als Funktion der abschlämmbaren Teile (Fraktion I) bestimmt, die gerade noch eine einwandfreie Entwässerung des Bodens ermöglichte. Die Trennlinie zwischen guter und ungenügender Drainagewirkung wird Grenzkurve genannt. Die Grenzkurve selbst (siehe Abbildung 5) kann für die Bestimmung der Drainidistanzen nicht direkt verwendet werden, da allen technischen Arbeiten zufolge der Unsicherheit ihrer Bestimmungselemente eine gewisse Sicherheitsgrenze zugeschlagen werden muß. Der Sicherheitsfaktor dürfte mit 10 % ausreichend groß bemessen sein. Zieht man von der Grenzkurve der Figur 5 den Sicherheitsfaktor von 10 % ab, so erhält man die aus der Praxis abgeleitete Beziehung zwischen der Drainidistanz und dem prozentualen Anteil der abschlämmbaren Teile.

6. Die Genauigkeit der verschiedenen Bestimmungsmethoden.

Die Genauigkeitsuntersuchungen sind nur dann von wissenschaftlicher Bedeutung, wenn zur Untersuchung ein sehr großes Beobachtungsmaterial zur Verfügung steht. Trotz der vielen Drainagen, die in unserem Lande schon ausgeführt worden sind, fehlt es an brauchbarem systematisch zusammengestelltem Material. In der Praxis wird meist nur einseitig mit Hilfe irgend einer Tabelle die Drainentfernung bestimmt und deren Wirkung später nur in den seltensten Fällen auf eine längere Zeitdauer verfolgt. Für meine Genauigkeitsuntersuchung standen mir leider nur 30 Bohrlöcher, die sich auf 13 verschiedene Drainagegebiete verteilen, zur Verfügung. Alle 30 Bodensonden wurden nach den fünf vorgenannten Drainbestimmungsmethoden untersucht. Für die Herleitung einer mittleren Fehlerkurve reichen diese verhältnismäßig wenigen Beobachtungen nicht aus; trotzdem kann aus der Gegenüberstellung der einzelnen Beobachtungsresultate auf die genäherte Genauigkeit der einzelnen

Tabelle 9

Nr.	Bodenart	Fraktionen in %				U	k	A
		I	II	III	IV			
1	Lehmiger Sand	18	42	22	18	72	0,000 052	24,3
2	»	19	44	25	12	77	0,000 045	20,0
3	»	19	43	22	16	78	0,000 050	21,1
4	Sandiger Lehm	24	55	7	14	89	0,000 041	18,2
5	»	28	50	8	14	97	0,000 033	16,5
6	Lehm	31	49	7	13	103	0,000 026	11,3
7	»	32	45	10	13	104	0,000 023	11,3
8	»	35	40	5	20	108	0,000 015	6,3
9	»	38	35	10	17	114	0,000 012	5,0
10	Toniger Lehm	41	25	12	22	117	0,000 009	3,1
11	»	43	21	15	21	120	0,000 0075	2,8
12	»	46	19	11	24	126	0,000 0080	2,1
13	»	48	22	14	16	132	0,000 0062	1,9
14	Lehmiger Ton	50	18	10	22	135	0,000 0055	2,0
15	»	50	20	12	18	136	0,000 0062	1,8
16	»	54	27	8	11	149	0,000 0045	1,9
17	»	55	25	10	10	149	0,000 0051	1,7
18	»	58	18	9	15	154	0,000 0045	1,9
19	»	58	22	7	13	155	0,000 0050	2,0
20	»	59	26	5	10	158	0,000 0044	1,6
21	Ton	62	17	12	9	164	0,000 0035	1,4
22	»	64	17	11	8	169	0,000 0035	1,0
23	»	69	21	6	4	182	0,000 0022	1,1
24	»	71	14	8	7	184	0,000 0037	0,80
25	»	73	25	1	1	194	0,000 0019	0,65
26	»	76	15	2	7	197	0,000 0014	0,52
27	»	78	15	2	5	202	0,000 0011	0,48
28	Strenger Ton	87	5	2	6	219	0,000 0010	0,30
29	»	88	8	4	—	222	0,000 0008	0,32
30	»	88	4	2	6	222	0,000 0009	0,28

Methoden und auf die ungefähre Schärfe der Draindistanzbestimmung geschlossen werden. Tabelle 9 enthält die für die 30 verschiedenen Bohrlöcher gefundenen Bodenkonstanten. Die Kornstruktur der Böden, deren spezifische Bodenoberfläche, Filtrationskonstante und Durchlässigkeitswerte sind daraus ersichtlich. Mit Hilfe dieser Angaben und der früheren Kurventabellen kann für jede Bodenart die entsprechende Draindistanz bestimmt werden. Die nach den einzelnen Methoden gefundenen fünf Draindistanzen für jede Bodensonde sind aus der Tabelle 10 ersichtlich.

Ein Maßstab zur ungefähren Beurteilung der Genauigkeit der einzelnen Drainbestimmungsmethoden gibt die Berechnung des Mittelwertes und die nachherige Bestimmung des mittleren Fehlers. Die Mittelwerte der Draindistanzen nach den Methoden 1–5 sind in der Tabelle 11 zusammengestellt. Die Quadrate der Abweichungen sind ebenfalls in der gleichen Tabelle aufgeführt. Mit Hilfe dieser Quadratzahlen kann

Tabelle 10

Nr.	Nach Kopechy				U	k	A	Nach Schildknecht			
	Tab. 5	Tab. 6	5 + 6	Tab. 7				Tab. 5 + 6	Grenz- kurve	— 10 %	
	Meter	Meter		1	2	3	4	Meter	Meter	Meter	5
1	30,0	7,4	37,4	21,8	37,6	39,6	31,5 + 7,4	38,9	3,9	35,0	
2	29,6	7,5	37,1	21,6	36,2	37,1	31,2 + 7,5	38,7	3,8	34,9	
3	29,6	7,4	37,0	21,4	37,2	37,6	31,2 + 7,4	38,6	3,8	34,8	
4	27,2	9,2	36,4	20,4	34,8	36,1	29,1 + 9,2	38,3	3,8	34,5	
5	25,3	7,2	32,5	19,8	32,4	34,8	27,8 + 7,2	35,0	3,5	31,5	
6	24,3	6,1	30,4	19,3	29,9	30,7	27,2 + 6,1	33,3	3,3	30,0	
7	24,1	5,4	29,5	19,2	28,6	30,7	26,9 + 5,4	32,3	3,2	29,1	
8	22,9	3,5	26,4	19,0	24,9	25,3	26,0 + 3,5	29,5	3,0	26,5	
9	21,6	1,8	23,4	18,7	23,1	23,5	25,0 + 1,8	26,8	2,7	24,1	
10	20,8	—	20,8	18,4	21,0	20,0	24,4	24,4	2,4	22,0	
11	20,0	—	20,0	18,1	19,7	19,3	23,5	23,5	2,4	21,1	
12	19,1	—	19,1	17,6	20,2	17,5	22,8	22,8	2,3	20,5	
13	18,3	—	18,3	17,2	18,5	16,9	22,0	22,0	2,2	19,8	
14	17,9	—	17,9	17,0	17,8	17,3	21,4	21,4	2,2	19,2	
15	17,9	—	17,9	17,0	18,5	16,7	21,4	21,4	2,2	19,2	
16	16,7	—	16,7	16,1	16,7	16,9	19,9	19,9	2,0	17,9	
17	16,4	—	16,4	16,1	17,4	16,3	19,8	19,8	2,0	17,8	
18	15,4	—	15,4	15,8	16,7	16,9	19,2	19,2	2,0	17,2	
19	15,4	—	15,4	15,6	16,9	17,0	19,2	19,2	2,0	17,2	
20	15,3	—	15,3	15,4	16,5	15,8	18,9	18,9	1,9	17,0	
21	14,8	—	14,8	15,2	15,4	15,3	18,4	18,4	1,8	16,6	
22	14,3	—	14,3	14,9	15,4	13,7	17,6	17,6	1,8	15,8	
23	13,2	—	13,2	14,1	13,1	12,2	16,5	16,5	1,7	14,8	
24	13,0	—	13,0	13,8	14,0	13,5	16,0	16,0	1,6	14,4	
25	12,5	—	12,5	13,5	12,5	14,1	15,6	15,6	1,6	14,0	
26	12,2	—	12,2	13,3	11,4	12,8	15,0	15,0	1,5	13,5	
27	11,9	—	11,9	13,0	10,4	10,8	14,5	14,5	1,5	13,0	
28	11,0	—	11,0	12,1	10,1	9,2	13,0	13,0	1,3	11,7	
29	10,9	—	10,9	12,0	9,4	9,4	12,8	12,8	1,3	11,5	
30	10,9	—	10,9	12,0	9,8	9,0	12,7	12,7	1,3	11,4	

Tabelle 11

Nr.	Mittel	Δ^2_1	Δ^2_2	Δ^2_3	Δ^2_4	Δ^2_5
	1-5	$M-1$	$M-2$	$M-3$	$M-4$	$M-5$
	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
1	34,3	9,60	156,00	10,90	.28,00	0,49
2	33,4	13,70	139,00	3,24	7,30	2,25
3	33,7	5,30	144,00	12,20	16,80	1,21
4	34,4	4,00	196,00	0,16	2,91	0,01
5	30,2	5,30	108,00	4,84	21,20	1,69
6	28,1	5,30	77,20	3,24	6,75	3,61
7	27,5	3,61	70,50	1,00	10,20	2,25
8	24,4	4,00	29,20	0,25	0,81	4,41
9	22,6	0,64	15,20	0,25	0,81	2,25
10	20,4	0,16	4,00	0,36	0,16	2,56
11	19,6	0,16	6,25	0,01	0,09	2,25
12	19,0	0,01	1,96	1,44	2,25	2,25
13	18,2	0,01	4,00	0,09	1,69	2,56
14	17,9	0,00	0,81	0,01	0,36	1,69
15	17,9	0,00	0,81	0,36	1,44	1,69
16	16,9	0,04	0,81	0,04	0,00	1,00
17	16,8	0,16	0,49	0,36	0,25	1,00
18	16,4	1,00	0,36	0,09	0,25	0,64
19	16,4	1,00	0,64	0,25	0,36	0,64
20	16,0	0,49	0,36	0,25	0,04	1,00
21	15,4	0,36	0,04	0,00	0,01	1,44
22	14,8	0,25	0,01	0,36	1,21	1,00
23	13,5	0,09	0,36	0,16	1,69	1,69
24	13,7	0,49	0,01	0,09	0,04	0,49
25	13,3	0,64	0,04	0,64	0,64	0,49
26	12,6	0,16	0,49	1,44	0,04	0,81
27	11,8	0,01	1,44	1,96	1,00	1,44
28	10,8	0,04	0,09	0,49	2,56	0,81
29	10,6	0,09	1,96	1,44	1,44	0,81
30	10,6	0,09	1,96	0,64	2,56	0,64

die mittlere Abweichung für die verschiedenen Längengruppen zusammengestellt werden. Die Beziehungen zwischen den mittleren Fehlern und den Drainabständen enthält die Tabelle 12. Die Zusammenstellung der mittleren Fehler läßt klar erkennen, daß im Bereich der Drain-

Tabelle 12

Drainabstände	Mittlere Fehler				
	1	2	3	4	5
10-14 Meter	0,45	0,96	0,93	1,12	0,95
14-18 "	0,59	0,69	0,14	0,66	1,06
18-22 "	0,03	2,00	0,69	1,05	1,54
22-30 "	1,84	6,93	1,09	2,15	1,77
30-35 "	2,74	12,60	2,50	3,34	1,06

distanzen zwischen 10–22 Meter alle Methoden brauchbare Resultate liefern. Für Drainidistanzen zwischen 22–30 Meter ergeben, mit Ausnahme der Zunkermethode, alle Verfahren noch gute Resultate. Eine maximale Abweichung vom Mittelwert von 2,15 Metern ist in diesem Drainentfernungsreich nicht schlimm. Die Drainidistanz nach Zunker weicht hier aber bereits um 6,9 Meter vom Mittelwert ab. Diese Abweichung ist zu groß. Drainentfernungsbestimmungen über 30 Meter, also für besonders durchlässige Böden, können erfahrungsgemäß nicht mehr nach den abgeleiteten Mittelwerten beurteilt werden. Die meisten Verfahren zur Drainentfernungsbestimmung geben für diese besonderen, verhältnismäßig seltenen, gut durchlässigen Böden, zu kleine Drainidistanzen. Die brauchbarste Methode ist für diese Bodenart zweifellos die Wasseraufstiegsmethode. Das Wallis mit seinen durchlässigen, jedoch entwässerungsbedürftigen Böden, liefert hier genügend Beobachtungsmaterial.

Da zirka 90 % aller Drainagesysteme in unserem Lande Drainidistanzen zwischen 10–22 Metern aufweisen, sind somit für den praktischen Gebrauch alle vorerwähnten Bestimmungsmethoden verwendbar. Es muß hier nur die Einschränkung gemacht werden, daß für besonders durchlässige Böden ausschließlich die Wasseraufstiegsmethode in Frage kommen kann.

7. Die Berücksichtigung der Niederschlagsmenge.

Die in den vorerwähnten Kapiteln abgeleiteten oder aufgeführten Drainentfernungen sind auf eine mittlere Niederschlagshöhe von 1000 Millimetern bezogen. Es ist leicht verständlich, daß mit wachsender Niederschlagshöhe die Drainidistanzen verkleinert und mit sinkender Niederschlagshöhe vergrößert werden können. Die Niederschlagshöhenkorrektur, das heißt die Abzüge oder Zuschläge zur Normalbestimmung nach den erwähnten Methoden, ist aus der Abbildung 13 ersichtlich. Bei 1000 Millimeter mittlerer Jahresniederschläge ist keine Korrektur notwendig. Ein Drainagegebiet, das z. B. 400 Millimeter Niederschlag aufweist, erhält eine Drainidistanzvergrößerung von 3 Meter. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge variiert in unserem Lande zwischen 420–2500 mm.

8. Die Einflüsse des Kalkgehaltes des Bodens und des Sauggefäßes auf die Drainidistanzen.

Jede ausgeführte Drainage setzt das meist ruhende oder nur ganz langsam fließende Grundwasser in Bewegung. Die einzelnen Wasserteile streben auf kürzestem Wege den Saugerleitungen zu. Dieses Wasser löst auf seinem Wege zum Saugdrain bei kalkhaltigen Böden eine kleine Menge Bodenkalk auf. Das stete Auflösen des Bodenkalkes erhöht die Porosität des Bodens und damit auch dessen Durchlässigkeitsvermögen gegenüber Wasser. Abbildung 14 links zeigt den Einfluß des Kalkgehaltes auf die Drainentfernungen.

EINFLUSS DER NIEDERSCHLAGSMENGE AUF DIE DRAINDISTANZ

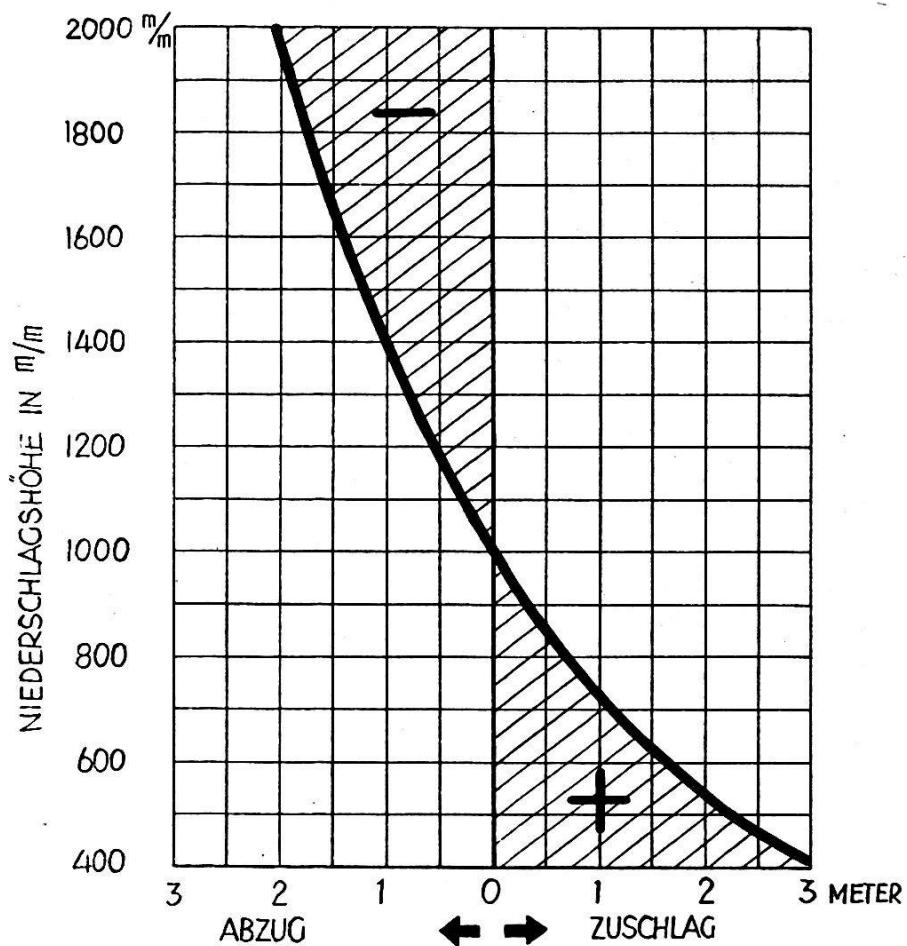


Abbildung 13

Das Gefälle, welches den Saugerleitungen gegeben werden kann, hat ebenfalls einen gewissen Einfluß auf die Wirkung einer Drainageanlage. Der Einfluß des Gefälles ist hier jedoch nicht allein von der Größenordnung der Neigung, sondern auch von der Bodenart in welcher die Saugdrains verlegt sind, abhängig. Versuche haben gezeigt, daß bei sandigen und sandig-lehmigen Böden die Drainagewirkung durch Vergrößerung des Saugergefälles erhöht werden kann, während bei tonigen Böden eine Drainidistanzerweiterung nur für sehr große Gefälle in Frage kommt. Tabelle 14 rechts enthält die Beziehungen zwischen dem Drainagegefälle, der Bodenart und der Drainidistanz korrektur.

9. Die abzuleitende Wassermenge.

Eine gute Wirkung von Drainageanlage wird dann erzielt, wenn durch das Drainsystem eine mittlere Absenkung des Grundwasserspiegels von 5 cm pro Tag, und zwar an dessen höchster Stelle in der Mitte zwischen den Saugdrains, erreicht werden kann. Der Inhalt der täglich abzuführenden Wassermenge (parabolisches Grundwasservolumen zw-

DIE EINFLÜSSE DES KALKGEHALTES UND DES SAUGERGEFÄLLES AUF DIE DRAINDISTANZ.

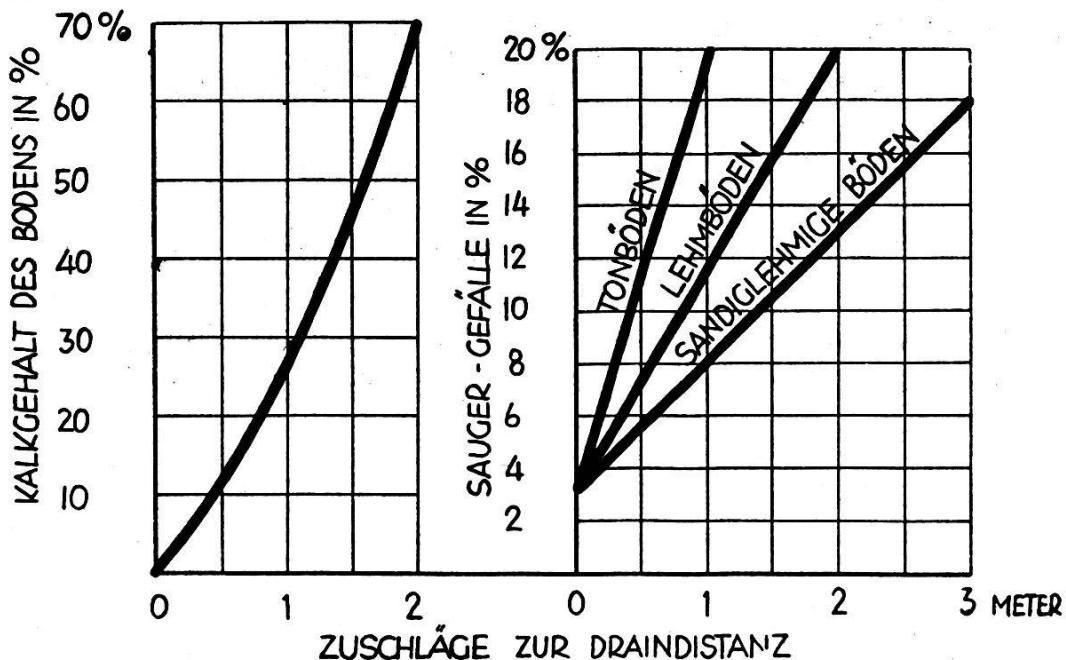


Abbildung 14

schén den Saugdrains) verteilt auf die Flächeneinheit 1 ha, ergibt eine mittlere Abflußmenge von 0,75 lit/sek/ha. Diese Annahme gestattet eine Absenkung des Grundwasserstandes nach einer Regenperiode von 5 cm pro Tag. In niederschlagsreichen Gebieten wird die abzuführende Wassermenge pro ha etwas höher angesetzt, doch braucht der Wert von 0,85 lit/sek/ha nur in besonders niederschlagsreichen Gegenden und wo häufige wolkenbruchartige Regenfälle zu erwarten sind, angewendet zu werden. Bei Vorhandensein von Quellaufstößen oder Grundwasserströmen muß für die Dimensionierung der Sammelleitungen und Vorfluter eine entsprechende größere Wassermenge berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang mag es von gewissem Interesse sein festzustellen, wie groß die Wasseraufnahmefähigkeit einer Drainage überhaupt sein kann. Wir wissen alle, daß die Wasseraufnahme der normalen Saugdrains ausschließlich durch die Stoßfugen geschieht. Die Stoßfugenbreite, also der Zwischenraum zwischen den einzelnen Saugerröhren, beträgt bei guter und sorgfältiger Leitungsverlegung im Mittel 1 Millimeter. Die Einsickerungsöffnung ist bei einem Rohrdurchmesser von 8 cm gleich $2,5 \text{ cm}^2$. Durch die kleine Stoßfugenöffnung von $2,50 \text{ cm}^2$ können pro Sekunde 0,00035 Liter Wasser in das Leitungssystem eindringen. Bei einer mittleren Sauglänge von 600 Meter pro ha und einer Drainrohrlänge von 30 cm wird die Anzahl der Stoßfugen pro ha rund 2000. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Drainsystems pro ha ist somit max. $2000 \cdot 0,00035 = 0,7 \text{ lit/sek/ha}$. Die Wasseraufnahmefähigkeit wird nur dann eine andere, wenn die Wassereindringfläche künstlich

durch das Einbringen von Sickerdrains (Drains mit durchlochten Wandungen) erhöht wird.

Friedrich gibt in seinem bekannten Werk „Der kulturtechnische Wasserbau“ folgende Abflußmengen pro ha:

für schwere Böden	0,65 lit/sek/ha
„ mittlere Böden	0,75 „
„ sehr durchlässige Böden	0,95 „

10. Die Drainidistanzbestimmung bei verschiedenen Bodenschichten.

Für die Bestimmung der Drainidistanzen bei verschiedenen Bodenschichten hat Dr. Blauth eine graphische Konstruktionsmethode eingeführt. Liegen zwei oder mehrere verschieden durchlässige Boden-

BESTIMMUNG DER DRAINIDISTANZ BEI VERSCHIEDENEN BODENSCHICHTEN

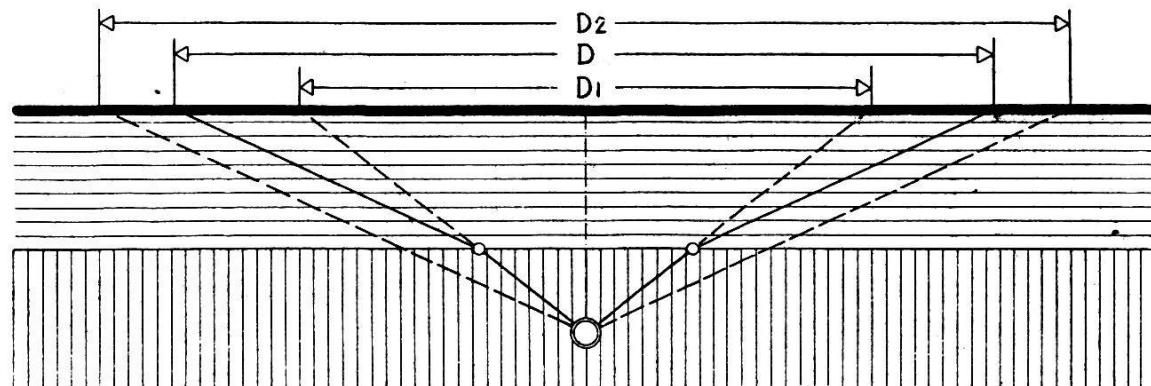


Abbildung 15

schichten übereinander, so wird die Drainidistanz jeder einzelnen Schicht nach Kopecky, Zunker oder mit Hilfe des K -Wertes bestimmt. Die unterste Schicht habe die Drainidistanz D_1 und die obere die Drainidistanz D_2 (Zeichnung 15). Die Drainidistanz D_1 wird an der Oberfläche horizontal aufgetragen und von den Endpunkten die Verbindungslien nach der Saugerachse gezogen. Die Drainidistanz D_2 der oberen Bodenschicht wird ebenfalls an der Oberfläche horizontal aufgetragen und mit der Saugerachse verbunden. Vom Schnittpunkt der ersten Strahlengruppe mit der oberen Bodenschicht wird eine Parallel zur zweiten Strahlengruppe aufgezeichnet. Die Schnittpunkte dieser beiden letzten Strahlen mit der Bodenabgrenzung ergeben die mittlere einzusetzende Drainidistanz D . Die Handhabung der graphischen Drainidistanzbestimmungsmethode ist besonders dann zweckmäßig, wenn die Bodenschichtung unregelmäßig verläuft oder gegen die Bodenoberfläche geneigt ist.