

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

Herausgeber: Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

Band: 42 (1944)

Heft: 8

Artikel: Das "Versuchsfeld Baar" des kulturtechnischen Laboratoriums der ETH
[Fortsetzung]

Autor: Ramser, E. / Khafagi, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-201833>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Ständ. Mitarbeiter für Kulturtechnik: E. RAMSER, Prof. für Kulturtechnik an der ETH.,
Freie Straße 72, Zürich

Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats

Expediton, Inseraten- und Abonnements-Annahme

BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR AG., WINTERTHUR

<p style="text-align: center;">No. 8 • XLII. Jahrgang der „Schweizerischen Geometer-Zeitung“ Erscheinend am zweiten Dienstag jeden Monats 8. August 1944 Inserate: 25 Cts. per einspalt. Millimeter-Zeile. Bei Wiederholungen Rabatt gemäß spez. Tarif</p>	<p style="text-align: center;">Abonnemente: Schweiz Fr. 14. —, Ausland Fr. 18. — jährlich Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaften für Kulturtechnik u. Photogrammetrie Fr. 9. — jährl. Unentgeltlich für Mitglieder des Schweiz. Geometervereins</p>
--	--

Das „Versuchsfeld Baar“ des kulturtechnischen Laboratoriums der ETH.

Von Prof. E. Ramser und Dr. A. Khafagi

(Fortsetzung)

Dividiert man den aus der Tabelle 3 entnommenen Wasserbedarf durch die Vegetationsdauer der Pflanzen in Tagen, so erhält man einen Mittelwert für den täglichen Verbrauch. Bezeichnet man diesen mit h_p in mm, so rechnet sich q_p zu:

$$q_p = \frac{h_p \cdot 10^4 \cdot 1000}{1000 \cdot 86400} = 0,116 h_p \text{ secl/ha.}$$

Beispiel: Nehmen wir für Kartoffeln (hohe Ernten) einen mittleren Wasserbedarf von 180 mm und eine Vegetationsdauer von 180 Tagen an, so beträgt h_p 1 mm pro Tag. q_p wird demnach gleich $0,116 \cdot 1 = 0,116$ secl/ha.

In den zwei vorigen Beispielen haben wir für $q_p = 0,12$ secl/ha (für 2 Tage 0,24) angenommen.

Schlußfolgerung: Die Kenntnis der Ergiebigkeit eines Meliorationsgebietes ist für die Ermittlung der Draindistanz sowie für die Berechnung der Rohrkaliber notwendig. Genaue Werte lassen sich im Einzelfalle nur durch Feldversuche bestimmen. Zu solchen fehlen jedoch meist

nicht nur die Mittel, sondern auch die Zeit. Man wird sich deshalb zunächst nach älteren, unter ähnlichen Verhältnissen in der Nähe ausgeführten Anlagen umsehen, um aus ihnen, unter gebührender Würdigung der besonderen örtlichen Verhältnisse, Schlüsse auf die Ergiebigkeit für die neue Anlage zu ziehen.

In der Schweiz sind bis heute solche Ergiebigkeitsmessungen noch nicht durchgeführt worden, so daß uns die oben angegebene Berechnungsmethode für die Ermittlung der Ergiebigkeit einen wertvollen Anhaltspunkt bietet.

Um die auf diese Weise berechneten Werte nachzuprüfen, müssen wir sie mit den im Felde gemessenen Ergiebigkeiten aus vielen Gebieten der Schweiz in verschiedenen Niederschlagszonen vergleichen. Deshalb ist es dringend notwendig, von jetzt an in geeigneten Meliorationsgebieten Meßeinrichtungen zu installieren und regelmäßig zu beobachten.

V. Klassifikation der Bodenarten nach ihren Durchlässigkeitsziffern.

Nachdem wir im Kapitel III gezeigt haben, daß die Klassifikation einer Bodenart nach ihrer Kornzusammensetzung allein für kulturtechnische Zwecke nicht maßgebend ist und gestützt hierauf den Vorschlag machten, die Böden nach ihrer Durchlässigkeit, bzw. Durchlässigkeitsziffer zu klassifizieren, wollen wir nun an einem praktischen Beispiel, das wir im Versuchsfeld Baar durchführten, ein bezügliches Verfahren eingehend erläutern.

Die von uns untersuchte Fläche umfaßte 1,00 ha. Um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten, wurden 16 Untersuchungsstellen in Entfernungen von nur 25 m festgelegt. An jeder derselben haben wir ein Bohrloch erstellt und Bodenproben aus je 70 und 140 cm Tiefe entnommen. Diejenigen aus 70 cm Tiefe wurden mit ungeraden Zahlen 1, 3, 5... usw., diejenigen bei der Tiefe von 140 cm mit geraden Zahlen 2, 4, 6... usw. bezeichnet. Alle diese Bodenproben wurden nach der Methode von Kopecky geschlämmt. Die Ergebnisse der Schlämmanalyse sind in der Tabelle 4 enthalten.

Neben jedem Bohrloch, und zwar in einer Entfernung von etwa 2 bis 3 m haben wir die k -Werte ebenfalls in Tiefen von ca. 70, bzw. ca. 140 cm mittels der sogenannten Sickerrohrmethode bestimmt.

Für die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer k kommt es darauf an, ob die Ausflußöffnung des Sickerrohres unter- oder oberhalb des Grundwasserspiegels liegt.

Im ersten Fall rechnet sich der k -Wert nach der von uns in einer früheren Arbeit erwähnten Rechnungsmethode [1]. Die Endgleichung für k wurde auf Grund der folgenden Voraussetzungen abgeleitet:

- a) Die Sickergeschwindigkeit v folge dem Gesetz von Darcy $v = k \cdot J$, worin J das hydraulische Gefälle bedeutet.
- b) Die Äquipotentialflächen (Flächen gleichen Druckes) um die Austrittsstelle herum bilden Kugeln.

Die Gleichung lautet:

$$k = \frac{r_{gl}^2}{8 \cdot h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (22)$$

worin r_{gl} der Radius des Glasrohres,

Δh die Absenkung des Wasserspiegels in demselben in der Zeit Δt und

h_m der mittlere Abstand zwischen dem Wasserspiegel im Glasrohr und dem Grundwasserspiegel bedeuten.

r_{gl} , Δh und h_m sind in cm und Δt in sec. einzusetzen. Man erhält dann k in cm/sec. (Diese Gleichung gilt für ein Sickerrohr, dessen äußerer Radius = 2 cm und bei dem die Höhe des Ausflußzylinders = 4 cm beträgt [1].)

Liegt die Austrittsstelle oberhalb des Grundwasserspiegels, so muß in Betracht gezogen werden, daß hier der Druck an der Oberfläche der im Boden eingepreßten Wasserkugel = $-\gamma \cdot H$ ist, wobei H die kapillare Steighöhe des Wassers im untersuchten Boden bedeutet (Abb. 25 a).

Aus den Beziehungen:

$$v = k \cdot J = k \cdot \frac{-dp}{\gamma dr}$$

und $v = \frac{Q}{4 \pi r^2}$

erhalten wir:

$$k \cdot \frac{-dp}{\gamma dr} = \frac{Q}{4 \pi r^2} \quad (23)$$

In dieser Gleichung bedeuten Q die pro Zeiteinheit ausströmende Wassermenge und $(4 \pi r^2)$ die Oberfläche einer Äquipotentialkugel mit Radius r .

Integriert man Gleichung (23) von $r = r_1$, bzw. $p = p_1 = \gamma \cdot h$ bis $r = \infty$, bzw. $p = -\gamma \cdot H$, so erhalten wir:

$$(h + H) = \frac{Q}{4 \pi k} \cdot \frac{1}{r_1} \quad (24)$$

Setzen wir für $Q = \pi r_{gl}^2 \cdot dh/dt$ ein, so geht Gleichung (24) über in:

$$(h + H) = \frac{r_{gl}^2}{4 k r_1} \cdot \frac{dh}{dt}$$

oder $dt = \frac{r_{gl}^2}{4 k r_1} \cdot \frac{dh}{(h + H)}$ (25)

Die Integration über die Zeit liefert:

$$T = \frac{r_{gl}^2}{4 k r_1} \cdot \ln \frac{h_1 + H}{h_2 + H} \quad (26)$$

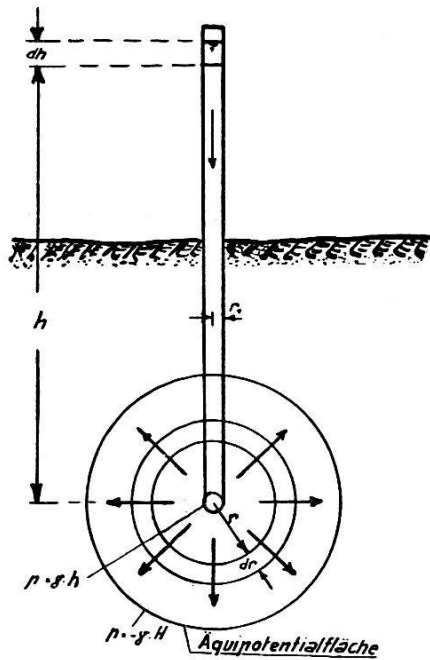


Abb. 25 a

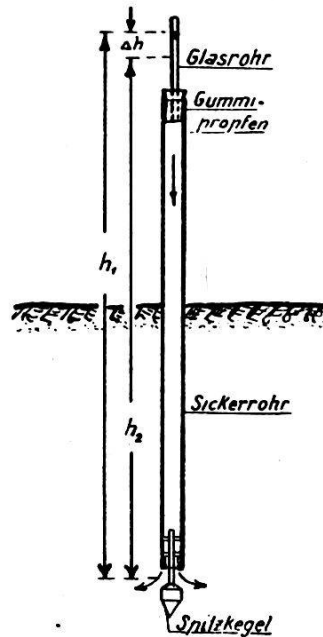


Abb. 25 b

worin h_1 und h_2 die Wasserspiegelhöhen über der Austrittsöffnung des Sickerrohres bedeuten.

(Durch Vergleich des kapillaren Aufstieges und des Durchströmens einer Flüssigkeit durch ein Kapillarrohr erhält man die Beziehung $k \cdot H^2 = 2 \text{ cm}^3/\text{sec}$. [20]). Setzen wir nun in der Gleichung (26) für $H = \sqrt{2/k}$ ein, erhält man:

$$T = \frac{r^2 g l}{4 k r_1} \ln \frac{h_1 + \sqrt{2/k}}{h_2 + \sqrt{2/k}} \quad (27)$$

Gleichung (27) entspricht einem Rohr, das unten offen ist (ohne Spitzkegel [Abb. 25a]). Die Ausflußfläche des Rohres mit Spitzkegel ist keine Kugel- sondern eine Zylinderfläche (Abb. 25b). Bezeichnen wir nun mit r_K den Radius einer, der Zylinderfläche äquivalenten, kugelförmigen Ausflußfläche, so lautet Gleichung (24)

$$(h + H) = \frac{Q}{4 \pi k} \cdot \frac{1}{r_K} \quad (28)$$

$$\text{Die Ausflußfläche} = 2 \pi r_{\text{zyl}} \cdot l_{\text{zyl}} = 4 \pi r_{\text{Kugel}}^2$$

$$\text{oder } r_{\text{Kugel}} = \sqrt{r_z \cdot l_z / 2} \quad (29)$$

In unserem Falle ist $r_z = r_1 = 2 \text{ cm} = \text{Außenradius des Rohres}$ und $l_z = 4 \text{ cm}$. Daraus folgt: $r_K = 2 \text{ cm}$.

[20] E. Maag, Über die Verfestigung und Dichtung des Baugrundes, Hoch- und Tiefbau Nr. 23/24, 1938.

Gleichung (29) wird: $(h + H) = \frac{Q}{8 \pi k}$

Für Q setzen wir nun $\pi r_{gl}^2 \cdot dh/dt$ ein. Wir bekommen:

$$(h + H) = r_{gl}^2 / 8 k \cdot dh/dt$$

oder
$$dt = \frac{r_{gl}^2}{8 k} \cdot \frac{dh}{(h + H)}$$

Durch Integration erhalten wir:

$$T = \frac{r_{gl}^2}{8 k} \ln \frac{h_1 + \sqrt{2/k}}{h_2 + \sqrt{2/k}} \tag{30}$$

Aus dieser Gleichung rechnet sich der k -Wert, wenn kein Grundwasser vorhanden ist. Behält man die Höhen h_1 und h_2 bei allen Messungen konstant, so läßt sich aus Gleichung (30) eine graphische Beziehung zwischen T und k herstellen. T ist die Zeit in Sekunden, während der Wasserspiegel im Glasrohr von h_1 zu h_2 absinkt. Eine solche graphische Beziehung für das von uns gebrauchte Sickerrohr und ein Glasrohr mit $r_{gl} = 0,415$ cm ist in Abb. 26a dargestellt. Hier betrug h_1 216 und h_2 214,25 cm. Die konstante Absenkung $\Delta h = h_1 - h_2$ war demnach gleich $216 - 214,25 = 1,75$ cm.

Die je nach Vorhandensein oder Fehlen eines Grundwasserspiegels nach Gleichung (22) bzw. (30) ermittelten k -Werte sind in der Tabelle 5 enthalten.

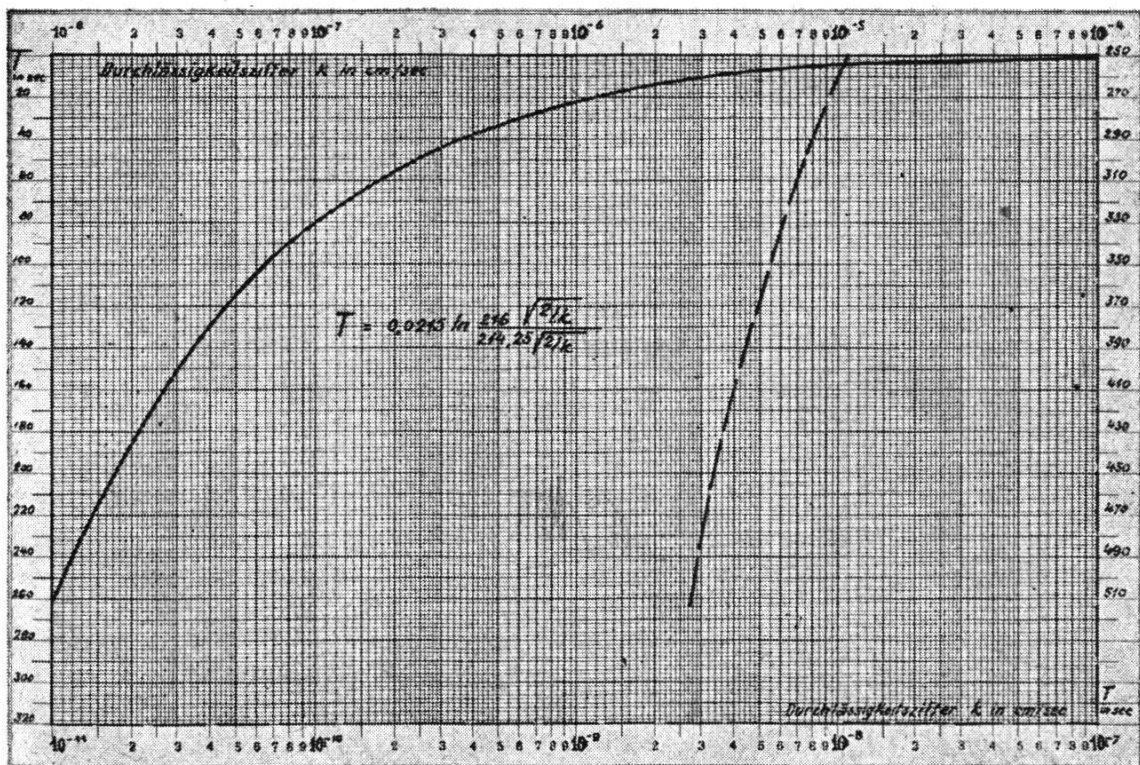


Abb. 26a

Tabelle 4:

Ergebnisse der Schlämmanalyse nach Kopecky und Kalkgehalt

Sonde Nr.	Probe Nr.	Tiefe cm	Fraktion in %			Ca CO ₃ %	Überwiegen der Korngr. II über I %
			I	II	III+IV		
1	1	70	43,48	38,75	17,77	25,4	— 4,73
	2	140	58,10	34,44	7,46	16,4	—23,66
3	3	70	39,12	39,46	21,42	27,7	+ 0,34
	4	140	45,12	32,28	22,60	22,4	—12,84
5	5	70	32,40	47,77	19,83	29,0	+15,37
	6	140	41,04	33,50	25,46	21,3	— 7,54
7	7	70	31,51	30,98	37,51	30,3	— 0,53
	8	140	44,15	28,36	27,49	26,8	—15,79
9	9	70	48,70	34,80	16,50	20,5	—13,90
	10	140	53,72	28,56	17,72		—25,16
11	11	70	56,53	23,92	19,55	26,6	—32,61
	12	140	50,00	30,53	19,47		—19,47
13	13	70	44,22	48,30	7,48	30,0	+ 4,08
	14	140	44,05	24,09	31,86	14,0	—19,96
15	15	70	34,66	45,18	20,16	30,2	+10,52
	16	140	14,19	13,68	72,13	24,4	— 0,51
17	17	70	37,20	26,60	36,20	20,4	—10,60
	18	140	57,35	35,08	7,57		—22,27
19	19	70	44,98	35,51	19,51	21,0	— 9,47
	20	140	47,27	27,92	24,81		—19,35
21	21	70	43,68	41,82	14,50	22,5	— 1,86
	22	140	47,26	21,60	31,14		—25,66
23	23	70	40,88	46,22	12,90	31,2	+ 5,34
	24	140	16,50	16,48	67,02	26,6	— 0,02
25	25	70	47,24	34,28	18,48	18,4	—12,96
	26	140	51,80	38,66	9,54	17,4	—13,14
27	27	70	48,77	29,30	21,93		—19,47
	28	140	47,36	39,24	13,40	18,3	— 8,12
29	29	70	48,07	39,09	12,84		— 8,98
	30	140	30,12	28,96	40,92	21,5	— 1,16
31	31	70	39,82	44,02	16,16	28,5	+ 4,20
	32	140	30,02	42,70	27,28	30,8	+12,68

Tabelle 5: Die nach Gleichung 22 bzw. Gleichung 30 berechneten k -Werte

Sonde Nr.	Versuchs- stelle Nr.	bei der Tiefe cm	G.W.Sp.- Tiefe cm	h_m cm	t sec	k cm/sec
1	1	80,5	54	191,5	526	$4,00 \cdot 10^{-7}$
	2	158,6	54	111,4	2020	$1,79 \cdot 10^{-7}$
3	3	69,0	41	190,0	103	$2,08 \cdot 10^{-6}$
	4	147,0	41	112,0	715	$5,03 \cdot 10^{-7}$
5	5	69,0	61	210,0	247	$7,75 \cdot 10^{-7}$
	6	139,0	61	140,0	1300	$2,21 \cdot 10^{-7}$
7	(7)*	63,0	95		28	$6,80 \cdot 10^{-7}$
	8	157,0	95	156,0	250	$1,03 \cdot 10^{-6}$
9	9	68,5	44	193,5	650	$3,20 \cdot 10^{-7}$
	10	126,0	44	136,0	3600	$8,23 \cdot 10^{-8}$
11	11	67,0	51	202,0	400	$4,98 \cdot 10^{-7}$
	12	124,0	51	145,0	1288	$2,16 \cdot 10^{-7}$
13	13	72,0	72	218,0	308	$6,00 \cdot 10^{-7}$
	14	152,5	72	137,5	2600	$1,12 \cdot 10^{-7}$
15	(15)	67,0	113		66	$1,50 \cdot 10^{-7}$
	16	132,0	113	199,0	8	$2,53 \cdot 10^{-5}$
17	17	67,5	58	208,5	115	$1,68 \cdot 10^{-6}$
	18	126,0	58	150,0	4270	$6,28 \cdot 10^{-8}$
19	19	65,0	65	218,0	550	$3,33 \cdot 10^{-7}$
	20	112,0	65	171,0	1800	$1,31 \cdot 10^{-7}$
21	(21)	64,0	81		470	$3,20 \cdot 10^{-9}$
	22	143,0	81	156,0	1250	$2,07 \cdot 10^{-7}$
23	(23)	66,0	131		72	$1,25 \cdot 10^{-7}$
	24	133,0	131	216,0	5	$3,90 \cdot 10^{-5}$
25	26	127,5	76	166,5	700	$3,48 \cdot 10^{-7}$
27	(27)	67,0	86		205	$1,65 \cdot 10^{-8}$
	28	127,0	86	176,5	255	$8,95 \cdot 10^{-7}$
29	(29)	60,0	89		145	$3,20 \cdot 10^{-8}$
	30	128,0	89	178,0	321	$7,05 \cdot 10^{-7}$
31	(31)	66,0	} tiefer als { 150		193	$1,85 \cdot 10^{-8}$
	(32)	130,0		20	$1,25 \cdot 10^{-6}$	

* Die in Klammern angegebenen Zahlen entsprechen den Versuchsstellen, wo die Austrittsstelle des Sickerrohres oberhalb des Grundwasserspiegels lag. Bei diesen rechnet sich der k -Wert nach Gleichung 30.

Tabelle 6: Vergleich der Durchlässigkeiten auf Grund der Schlämmanalyse und der Durchlässigkeitsziffer k

Probe bzw. Versuchsstelle Nr.	Fraktionen in %			Überwiegen der Korngr. II über I %	k -Wert cm/sec
	I	II	III+IV		
2	58,10	34,44	7,46	—23,66	$1,79 \cdot 10^{-7}$
18	57,35	35,08	7,57	—22,27	$0,63 \cdot 10^{-7}$
11	56,53	23,92	19,55	—32,61	$4,98 \cdot 10^{-7}$
10	53,72	28,56	17,72	—25,16	$0,82 \cdot 10^{-7}$
26	51,80	38,66	9,54	—13,14	$3,48 \cdot 10^{-7}$
12	50,00	30,53	19,47	—19,47	$2,16 \cdot 10^{-7}$
27	48,77	29,30	21,93	—19,47	$0,17 \cdot 10^{-7}$
9	48,70	34,80	16,50	—13,90	$3,20 \cdot 10^{-7}$
29	48,07	39,09	12,84	— 8,98	$0,32 \cdot 10^{-7}$
28	47,36	39,24	13,40	— 8,12	$8,95 \cdot 10^{-7}$
20	47,27	27,92	24,81	—19,35	$1,31 \cdot 10^{-7}$
22	47,26	21,60	31,14	—25,66	$2,07 \cdot 10^{-7}$
4	45,12	32,28	22,60	—12,84	$5,03 \cdot 10^{-7}$
19	44,98	35,51	19,51	— 9,47	$3,33 \cdot 10^{-7}$
8	44,15	28,36	27,46	—15,79	$10,30 \cdot 10^{-7}$
14	44,05	24,09	31,86	—19,96	$1,12 \cdot 10^{-7}$
17	37,20	26,60	36,20	—10,60	$16,80 \cdot 10^{-7}$
{ 23	40,88	46,22	12,90	+ 5,34	$1,25 \cdot 10^{-7}$
{ 31	39,82	44,02	16,16	+ 4,20	$0,19 \cdot 10^{-7}$
{ 2	58,10	34,44	7,46	—23,66	$1,79 \cdot 10^{-7}$
{ 18	57,35	35,08	7,57	—22,27	$0,63 \cdot 10^{-7}$
{ 11	56,53	23,92	19,55	—32,61	$4,98 \cdot 10^{-7}$
{ 10	53,72	28,56	17,72	—25,16	$0,82 \cdot 10^{-7}$
{ 28	47,36	39,24	13,40	— 8,12	$8,95 \cdot 10^{-7}$
{ 20	47,27	27,92	24,81	—19,35	$1,31 \cdot 10^{-7}$

Durch Vergleich der Schlämmanalyse (Tabelle 4) und der k -Werte (Tabelle 5) wollen wir nun untersuchen, welche der beiden Methoden sich für die Beurteilung der Durchlässigkeit des Bodens besser eignet.

Um einwandfrei vergleichen zu können, müssen wir nicht nur den Anteil an abschlämmbaren Teilchen, sondern auch den Kalkgehalt sowie das Überwiegen der Korngröße II über Korngröße I berücksichtigen.

Wie in der Tabelle 4 ersichtlich ist, variiert der Kalkgehalt zwischen 14 und 31,2%. Bei einem solchen von 15% soll die Drainerntfernung nach

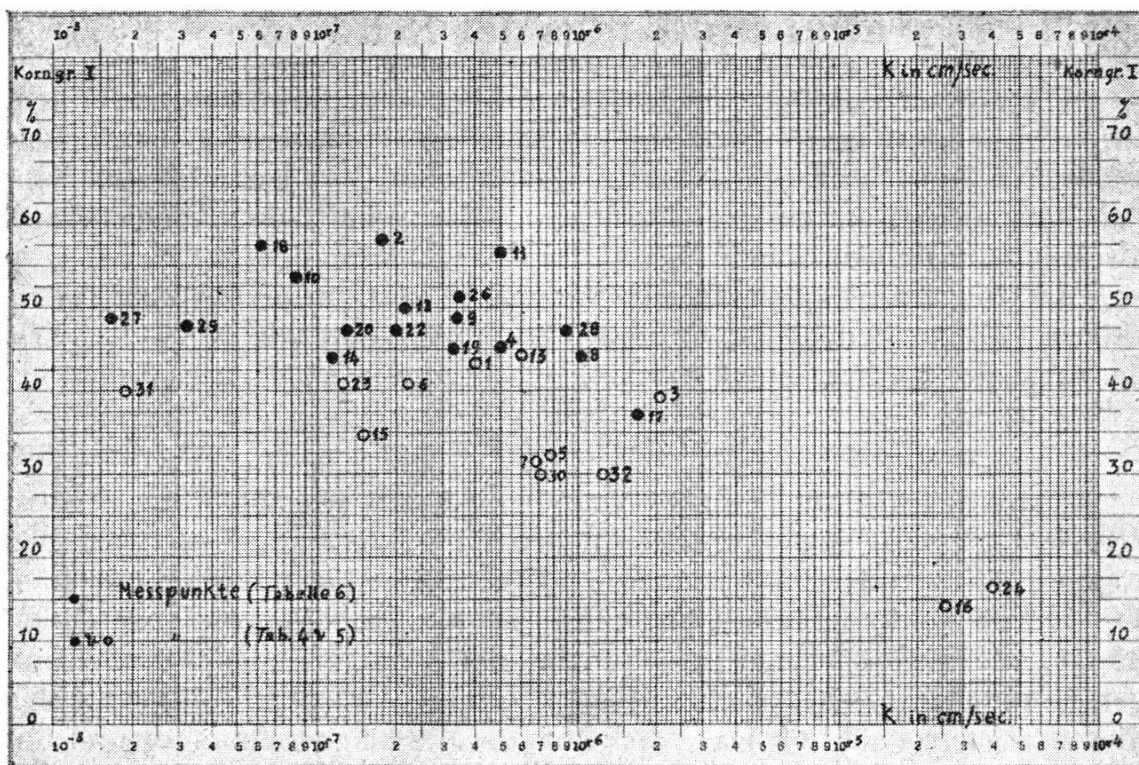


Abb. 26b

Fausser [10] um 0,5, bei 30 % um 1,0 m erweitert werden. Bei einer mittleren Draindistanz von etwa 20 m ergäbe das einen Zuschlag von nur $(1,0 - 0,5)/20 = 2,5\%$, sodaß wir hier den Einfluß der Veränderlichkeit des Kalkgehaltes auf die Durchlässigkeit vernachlässigen dürfen.

Das Überwiegen der Korngröße II über Korngröße I (d. h. II-I) hat dagegen einen größeren Einfluß wenn diese Differenz zwischen -5% und $+15\%$ und mehr liegt. Ist die Fraktion II um mehr als 8% kleiner als Fraktion I, so hat das Überwiegen von II über I auf die Durchlässigkeit gar keinen Einfluß [10]. Mit Rücksicht hierauf haben wir deshalb in der Tabelle 6 nur diejenigen Resultate berücksichtigt, bei denen die Differenz (Fraktion I—Fraktion II) mehr als 8% ist. Auf diese Weise dürfen wir die Abnahme der Fraktion I mit der Zunahme der k -Werte vergleichen.

Wenn die Schlämmanalyse ein einwandfreies Urteil über die Durchlässigkeiten der Bodenproben gestatten soll, so müßten auch die entsprechenden Durchlässigkeitsziffern regelmäßig mit der Abnahme der Fraktion I zunehmen. Dies ist aber nicht der Fall (vgl. Tabelle 6).

Hieraus sind folgende Beobachtungen zu entnehmen:

- a) Mit der Abnahme der Fraktion I nimmt der k -Wert unregelmäßig bald ab, bald zu (siehe auch Abb. 26b).
- b) Obwohl die Fraktionen I bei jeder Gruppe (23, 31), (2, 18) und (28, 20) fast dieselben sind, variiert dagegen der k -Wert bei jeder Gruppe um das ca. drei- bis siebenfache.
- c) Bei der Gruppe (11, 10) ist die Fraktion I bei (11) etwas größer als bei (10). Der k -Wert (11) sollte demnach kleiner und nicht größer sein als (10).

(Fortsetzung folgt.)