

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
<b>Band:</b>	42 (1944)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung
<b>Autor:</b>	Khafagi, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-201814">https://doi.org/10.5169/seals-201814</a>

### 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:** 24.01.2026

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

$$Z = \frac{a \cdot g}{100} \cdot \left\{ \frac{1}{n \cdot r} \cdot \left[ r + \frac{r+1}{2} \cdot (q-1) \right] \cdot \frac{q^n - 1}{q-1} - 1 \right\}$$

Zur Veranschaulichung des vorstehenden Ergebnisses sind hiernach einige Werte von  $Z$  tabellarisch zusammengestellt. Dabei ist für  $a$  die beliebig gewählte, runde Summe von 100 000 Franken angenommen. Der Garantierückhalt ist  $g = 10\%$  gesetzt. Die Zinseszins-Verluste sind für  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ ;  $r = 1, 2, 4, 6, 12$ , und für  $p = 2\frac{1}{2}\%$  und  $3\%$ , angegeben. Da  $Z$  direkt proportional  $a$  und  $g$  ist, so können die Tabellenwerte leicht auch für andere in der Praxis vorkommende Akkordsummen und Garantierückhalte umgerechnet werden.

*Tabelle einiger Werte von  $Z$  in Franken*

$r$	Termine der Abschlagszahlungen	Zinsfuß	Dauer des Akkordes in Jahren				
			$p$	1	2	3	4
1	jährlich	{	2 $\frac{1}{2}\%$	250	378	509	641
			3 %	300	455	612	773
2	halbjährlich	{	2 $\frac{1}{2}\%$	188	315	444	576
			3 %	225	378	735	494
4	vierteljährlich	{	2 $\frac{1}{2}\%$	156	283	412	543
			3 %	188	340	497	656
6	zweimonatlich	{	2 $\frac{1}{2}\%$	146	273	402	531
			3 %	171	327	484	642
12	monatlich	{	2 $\frac{1}{2}\%$	135	262	392	522
			3 %	163	315	470	629

Akkordsumme  $a = 100\,000$  Fr.; Garantierückhalt  $g = 10\%$

Für eine Akkordsumme von beispielsweise 50 000 Franken sind die Tabellenwerte zu halbieren; für einen Garantierückhalt von 20 % sind sie zu verdoppeln. Bei einem Zinsfuß von  $2\frac{3}{4}\%$  ist das Mittel aus den für  $2\frac{1}{2}\%$  und  $3\%$  angegebenen Zahlen zu nehmen.

Die verschiedenen Schlußfolgerungen, welche auf Grund der Tabelle gemacht werden können, seien dem Leser überlassen.

## Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung

Von Dr. sc. techn. A. Khafagi.

(Die Versuche sind im „Versuchsfeld-Baar“ des Kulturtechnischen Laboratoriums der E.T.H. Zürich, Leitung: Prof. E. Ramser, durchgeführt worden.)

### I. Einleitung.

Bevor wir auf die Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens eingetreten, müssen wir zuerst die zwei wichtigen Begriffe: „Der Boden“ und „Die Durchlässigkeit des Bodens“ definieren.

*Der Boden:* Unter Boden versteht man in der Kulturtechnik wie in der Landwirtschaft denjenigen Teil der oberen Verwitterungsschicht der festen Erdrinde, welcher imstande ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen. Der Boden lässt sich im allgemeinen trennen in *Bodenkrume und Untergrund*. Die *Bodenkrume* ist die in der Regel lockere und humose, bei guten Böden gekrümelte, oberste Bodenschicht. Sie bildet das Keimbett der Samen und die hauptsächlichste Zone der Wurzelentwicklung. Der *Untergrund* ist meist dichter gelagert und bildet den natürlichen Nährstoff und Wasserspeicher der Pflanzen. Auf ihn kann mit den gewöhnlichen Mitteln der Bodenbearbeitung nicht eingewirkt werden. Zu seiner Verbesserung muß man sich daher der *Melioration bedienen*.

*Die Durchlässigkeit:* Die Durchlässigkeit wird in der Bodenmechanik durch die Durchlässigkeitsziffer „ $k$ “ gekennzeichnet [2]. Diese ist definiert durch das Gesetz von Darcy:

$$v = k \cdot J \quad \dots \dots \quad (1)$$

Darnach ist  $k$  jene scheinbare Filtergeschwindigkeit  $v$ , mit welcher das Wasser, bei einem hydraulischen Gefälle  $J = 1$ , ein Bodenmaterial durchströmt. Diese Geschwindigkeit wird als scheinbare bezeichnet, weil sie unter der Annahme berechnet wird, daß der Gesamtquerschnitt vom Wasser durchflossen werde. In Wirklichkeit steht nur ein Bruchteil dieses Querschnittes — der Porenquerschnitt — für den Durchfluß zur Verfügung. Die effektive Filtergeschwindigkeit kann —, da sie sich auf die gleiche Durchflußmenge bezieht wie die scheinbare — je nach der Natur des Porensystems ein Vielfaches der scheinbaren betragen. Die Durchlässigkeitsziffer  $k$  ist keine Materialkonstante, sondern hauptsächlich eine Funktion des jeweils vorhandenen spannungsfreien Porenvolumens. Dieses ist das Porenvolume des Bodens, verkleinert um das Volumen des an die einzelnen Partikelchen adsorptiv gebundenen Wassers und ist abhängig von der Belastung des Materials in natürlicher Lagerung, Struktur und Textur, sowie von dem im Boden enthaltenen Humus, von Wurzeln, Regenwurmängen usw. Deshalb ist die Untersuchung der Durchlässigkeit an Böden in Pulverform, oder an irgendwie gestörten Bodenproben, für kulturtechnische Zwecke vollkommen wertlos. Hiebei findet die natürliche Lagerung des Bodens, welche ja gerade für sein Verhalten zu Wasser und Luft und damit für seine Meliorationsbedürftigkeit ausschlaggebend ist, keine Berücksichtigung.

## II. Verschiedene Methoden zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens.

### A. Das Verfahren nach Kopecky, Burger und Fauser.

Die Durchlässigkeit des Bodens wird nach Kopecky, Burger und Fauser durch die Zahl der Sekunden ausgedrückt, welche eine 40 bzw. 100 mm hohe Wassersäule zum Einsickern in denselben braucht. (Abb.1.)

Finden sich in einer Bodensäule Schichten verschiedener Lagerungsdichte, so wird die Durchlässigkeit von der am dichtesten gelagerten Bodenschicht am stärksten beeinflußt.

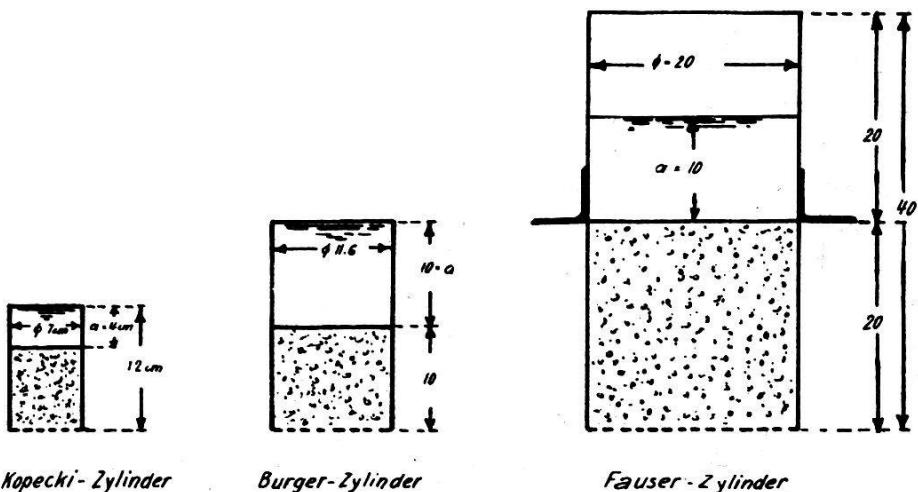


Abb. 1

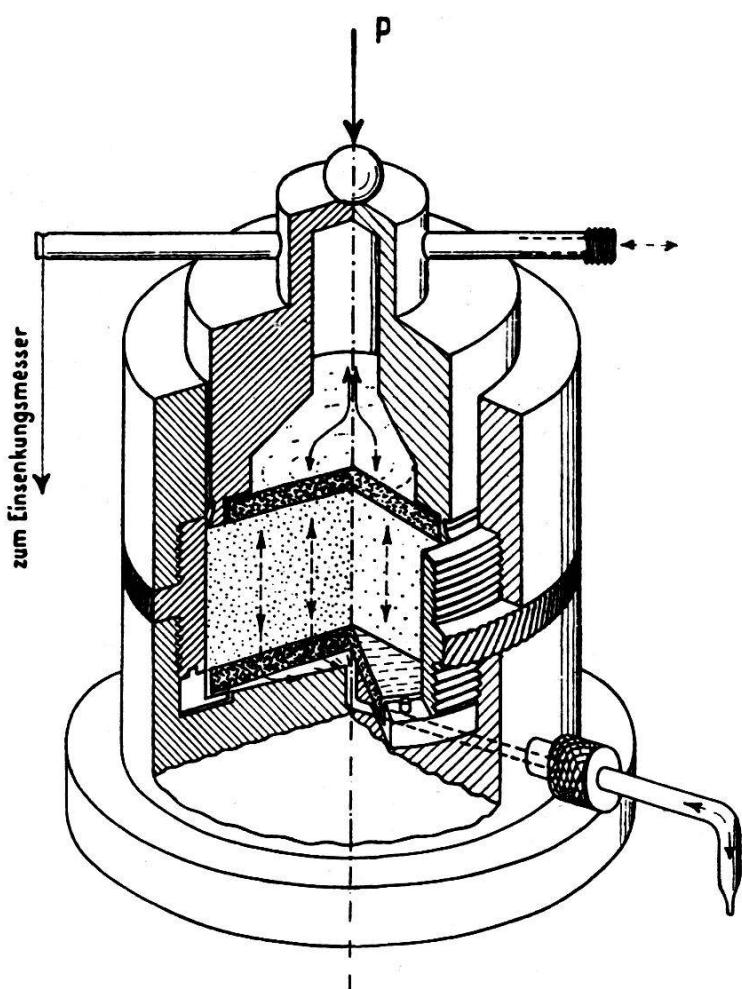


Abb. 2 Oedometer [2]

Apparat zur kombinierten Messung der Zusammendrückbarkeit, Durchlässigkeit und Kapilarität.

Dieses Verfahren hat aber die folgenden Nachteile:

1. Eine ganz dünne Schicht schweren Tonbodens kann die Durchlässigkeit einer im übrigen aus sehr durchlässigen Bodenarten zusammengesetzten Bodensäule fast vollständig aufheben.

2. Bei humosen oder durchwurzelten Böden kann eine Durchsickerung des Wassers zwischen der Bodenprobe und der inneren Wandung des Zylinders auftreten. Dies erhöht fälschlich die Durchlässigkeit des Bodens.

3. Bei schweren Tonböden ist die Bestimmung der Durchlässigkeit nach diesem Verfahren zeitraubend, ungenau und umständlich. Es könnte mehrere Tage dauern, bis das Wasservolumen  $\frac{\pi \cdot \Phi^2}{4} \cdot a$  (Abb. 1) durchsickert; und falls dieser Zeitpunkt unbeachtet in der Nacht eintritt, so ist die Bestimmung der Durchlässigkeit selbstverständlich ungenau.

4. Eine Beziehung zwischen dieser, in Sekunden ausgedrückten Durchlässigkeit und der Drainidistanz, wurde in theoretischer Form bis heute nicht abgeleitet. Dagegen besitzen wir verschiedene Formeln über den Zusammenhang der Durchlässigkeitsziffer  $k$  mit der Drainidistanz. Auf diese werden wir später in einer besondern Abhandlung zu sprechen kommen.

#### B. Bestimmung der Durchlässigkeitsziffer $k$ im Laboratorium.

Als Apparat für feinkörnige Böden, ohne grobe Fraktion, benutzt das Erdbauinstitut der E.T.H. seit 1935 das sog. Ödometer (Abb. 2). Zur Durchlässigkeitsprüfung gemischtkörniger Materialien wurde in dem erwähnten Institut ein größerer Apparat konstruiert mit 250 mm lichtem Durchmesser, der in Abbildung 3a und 3b schematisch dargestellt ist [3].

Die Bodenprobe wird mit seitlicher Abdichtung zwischen zwei Filterschichten in den inneren Preßtopf eingebaut. Durch einen vertikalen Stempel kann eine Pressung bis  $4 \text{ kg/cm}^2$  ausgeübt werden. Dieser Preßtopf wird in einen größeren Zylinder eingesetzt. Der durch einen Gummiring gedichtete Raum zwischen dem innern und äußern Zylinder dient zur Einleitung von Druckwasser, das durch die gelochte Bodenplatte eintritt und die Materialprobe von unten nach oben durchströmt. Die Menge des durch den perforierten Kolben austretenden Sickerwassers wird wegen dem geringen Durchfluß, zur Verhinderung der Verdunstung unter Luftabschluß gemessen.

Nach dem Darcy'schen Filtergesetz für laminare Strömung berechnet sich nun die Durchlässigkeitsziffer  $k$  wie folgt:

$$k = v \cdot J = v \frac{d}{h} \quad \dots \dots \quad (2)$$

Die Filtergeschwindigkeit  $v$  wird aus der gemessenen Wassermenge und dem maßgebenden Durchflußquerschnitt der Probe ermittelt, während  $d$  die Höhe der Probe, und  $h$  die nach deren Durchlässigkeit einstellbare Druckdifferenz des ein- und austretenden Sickerwassers darstellt. (Abb. 3a.)

Das auffallendste Merkmal der Durchlässigkeitsprüfung besteht darin, daß die Meßgröße  $k$ , je nach der Art des Materials, im Verhältnis von etwa 1 : 100 Millionen schwankt. Während z. B.  $k$ -Werte für Tone in der Größenordnung von  $10^{-9}$  cm/sec. (das sind 0,32 mm pro Jahr) beobachtet werden, steigt bei grobkörnigen Sanden die Durchlässigkeitsziffer bis  $10^{-1}$  cm/sec.

*Apparatur zur Bestimmung der Durchlässigkeitsziffer  $k$*

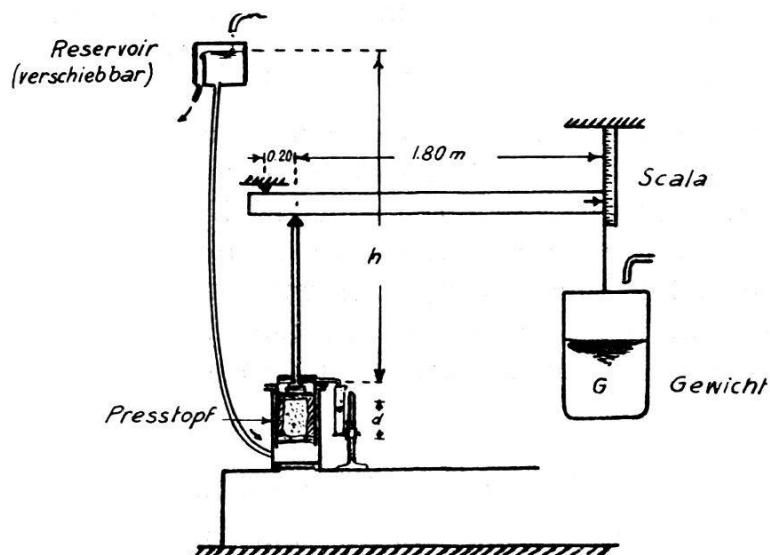


Abb. 3a [3] Gesamtanordnung

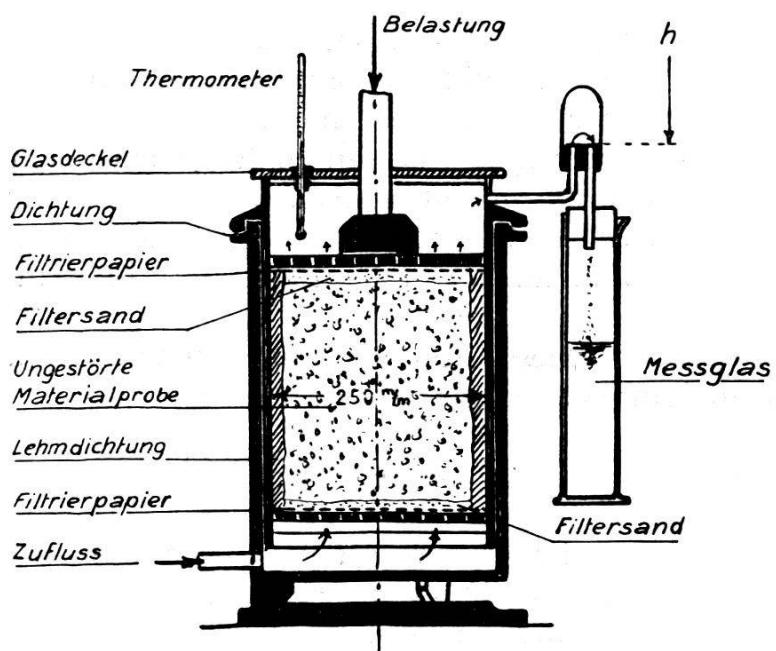


Abb. 3b [3] Schematischer Schnitt durch den Preßtopf

C. Bestimmung der Durchlässigkeitsziffer  $k$  aus der im Felde in Sondierungen gemessenen Aufstiegsgeschwindigkeiten.

Abbildung 4 zeigt den Schnitt durch eine Sonde, deren Tiefe  $p$  und Durchmesser  $D$  betragen. Der ursprüngliche Grundwasserspiegel steht auf einer Höhe  $H$  oberhalb der Sohle. Unmittelbar nach der Bohrung der Sonde sei der Wasserspiegel in derselben zur Zeit  $t_0$  um  $y_0$  vom ursprünglichen Grundwasserspiegel entfernt. Zur Zeit  $t_1$  befindet er sich auf einer Höhe  $y_1$ .

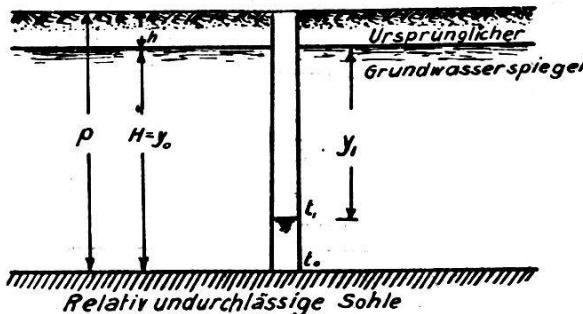


Abb. 4, nach Diserens [4]

Die Aufstiegsgeschwindigkeit, d.h. die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wassers in der Sonde wird also gleich:  $\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0}$ .

Aus dieser Geschwindigkeit versuchten viele Autoren die Durchlässigkeit des Bodens zu bestimmen.

1. Die Berechnungsmethode nach Porchet und Dupuit.

Porchet und Dupuit gingen von der folgenden empirischen Beziehung aus:

$$k = C \cdot A \quad \dots \dots \quad (3)$$

$$\text{Hier ist } A = \frac{1000}{H \cdot t'} \log \frac{y_0}{y} \quad \dots \dots \quad (4)$$

wobei  $H$  in Metern und  $t'$  in Minuten einzusetzen sind.

Die Proportionalitätskonstante  $C$  zwischen den Werten  $k$  und  $A$  der Gleichung (3) wurde experimentell aus der Beziehung zwischen:

$Z$  = Höhe des abgesenkten Grundwasserstandes zwischen Drainleitungen

$q$  = der entsprechenden Ergiebigkeit

$E$  = der Drainentfernung

$$Z = \sqrt{\frac{q}{k}} E \quad \dots \dots \quad (5) \text{ (siehe Abb. 5)}$$

auf Grund von mehr als 500 Beobachtungen ermittelt.

Die Proportionalität lautet:

$$k = A \times 5 \times 10^{-6} \text{ nach der Annahme Porchet für Druckgefälle} = \frac{1}{2} \frac{dz}{dx}$$

$$\text{und } k = A \times 2,5 \times 10^{-6} \text{ nach der Annahme Dupuit für Druckgefälle} = \frac{dz}{dx}$$

Die Durchlässigkeitssziffer  $k$  kann also nach Porchet bzw. Dupuit folgendermaßen berechnet werden:

$$k = \frac{1000}{H \cdot t'} \log \frac{y_0}{y} \times 5 \times 10^{-6} \text{ m/sec.} \quad \dots \quad (6) \text{ Porchet}$$

$$k = \frac{1000}{H \cdot t'} \log \frac{y_0}{y} \times 2,5 \times 10^{-6} \text{ m/sec.} \quad \dots \quad (7) \text{ Dupuit}$$

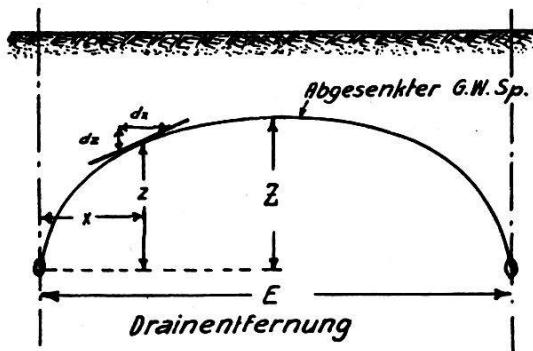


Abb. 5

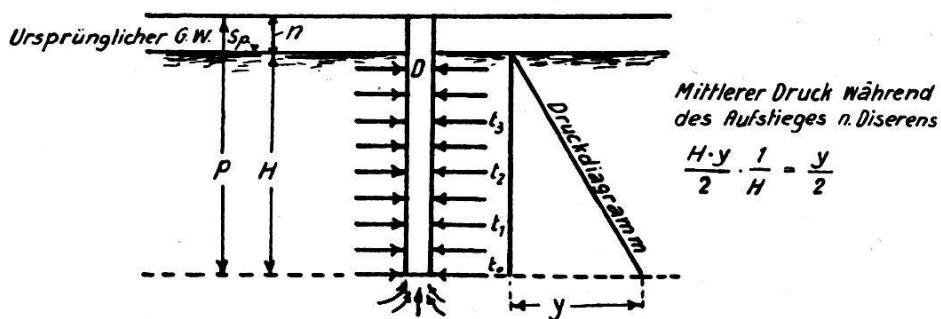
Ob die Konstante  $C$  von der Bodenart unabhängig ist, werden wir in dieser Abhandlung überprüfen. Es wird sich dann zeigen, ob diese Gleichungen (6) und (7) für alle Bodenarten allgemein gültig sind oder nicht.

## 2. Die Berechnungsmethode nach E. Diserens.

In seiner Arbeit „Beitrag zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens in natürlicher Bodenlagerung“, Schw. Landw. Monatshefte Nr. 7 und 8, 1934 [4], schreibt E. Diserens als Ergänzung zu den Gleichungen von Porchet und Dupuit folgendes:

„Das Bedürfnis, eine Beziehung zu benützen, welche den Durchmesser sowie den Wassereintritt aus der Sohle berücksichtigt, hat zu folgenden Gleichungen geführt:

$$\text{Die Ergiebigkeit in der Sohle } Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{dy}{dt}.$$



Die relativ undurchlässige Sohle kann höher oder tiefer liegen.

Abb. 6 nach Diserens [4]

Hier bedeutet  $\frac{dy}{dt}$  die Geschwindigkeit des Aufstieges für die gesamte Wassermenge, welche aus der Sohle und den Wandungen eintreten kann.  
Aus  $Q = F \cdot k \cdot J$  folgt für das Wasser aus den Wandungen:

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{4 \pi D H k}{\pi D^2} \frac{y}{2} = -2 k \frac{H}{D} y \quad \dots \dots \quad (8)$$

denn das mittlere Druckgefälle ist  $H \cdot \frac{y}{2} \cdot \frac{1}{H} = \frac{y}{2} \quad \dots \dots \quad (8')$

(Abb. 6). Der Wasserandrang durch die Sohle:

$$\frac{\pi D^2}{4} \frac{dy}{dt} = -k \cdot \frac{\pi D^2}{4} y \text{ oder } \frac{dy}{dt} = -k \cdot y \quad \dots \dots \quad (9)$$

$$\frac{dy}{dt} = -k \cdot y \left( \frac{2H}{D} + 1 \right) = k \cdot y \frac{2H + D}{D}$$

$$\frac{dy}{dt} = -k \cdot \frac{2H + D}{D} dt$$

$$\log y = -k \frac{2H + D}{D} t + C$$

und  $\log y_0 = C$ , denn für  $t = 0, y = y_0$

$$\log \text{nep } \frac{y_0}{y} = k \cdot \frac{2H + D}{D} t$$

$$k = 2,3 \frac{D}{(2H + D) t''} \log \frac{y_0}{y} \quad \dots \dots \quad (10)$$

Die Werte  $H$  und  $D$  sowie  $y$  sind in Metern einzusetzen, die Zeit  $t$  in Sekunden, dann ist  $k$  in m/sec. ausgedrückt.“

Die Dimensionen der Gleichung (10) stimmen aber nicht. Das kommt daher, weil auch die Dimensionen der Gleichung (8) nicht stimmen.

Gleichung (8) lautet:  $\frac{dy}{dt} = -2 \frac{H}{D} k \cdot y$ , das gibt:  
 $m/\text{sec.} = m/\text{sec.} \cdot m$

Nach Gleichung (10) folgt:  $m/\text{sec.} = 1/\text{sec.}$

Diese Unstimmigkeit der Dimensionen kommt daher, weil E. Diserens das einfache und bekannte Gesetz von Darcy unrichtig angewendet hat.

Das Gesetz von Darcy besagt:

$$v = k \cdot J$$

$v$  und  $k$  besitzen die Dimensionen der Geschwindigkeit, d. h. Länge/Zeit. Es folgt daraus, daß das hydraulische Gefälle  $J$  eine dimensionslose Zahl sein muß.

Diserens setzte in dem Darcy'schen Gesetz  $J$  als Länge ein und bezeichnete sie als Druckgefälle:

$$H \cdot \frac{y}{2} \cdot \frac{1}{H} = \frac{y}{2} \quad \dots \dots \quad (8')$$

Deshalb stimmen die Dimensionen seiner Gleichung (10') nicht.

sei, das zusammenlegungsbedürftige Gebiet von zwei bis drei Dörfern, sofern es vermengt liegt, in ein einziges Projekt einzubeziehen, denn nur so ist es möglich, die durchschnittliche Entfernung der Grundstücke vom Wirtschaftshof merklich zu vermindern. Damit fällt aber auch die auf S. 126 angegebene Weisung für die Neuzuteilung — die Entfernungen vom Wirtschaftshof sollen im alten und neuen Bestand nicht allzu stark voneinander abweichen (Siedlungen ausgenommen) — dahin. Diese Forderung ist in dem Sinne abzuändern, daß die durchschnittliche Entfernung vom Wirtschaftshof durch die Güterzusammenlegung soweit als möglich *vermindert* werden soll.

Im Abschnitt über die Schaffung von Hofsiedelungen wird mit Geschick dargetan, daß die Güterzusammenlegung eine einzigartige, nie wiederkehrende Gelegenheit darstelle, um an unsren Haufendorfern die so notwendigen Siedlungskorrekturen vorzunehmen.

Unter dem Titel „Melioration der Rebberge“ werden schließlich alle Arbeiten kurz beschrieben, die mit der Rekonstruktion der Rebberge verbunden sind.

Das Buch ist mit zahlreichen, instruktiven Abbildungen und Plänen versehen. Für eine spätere Auflage möchten wir anregen, Fig. 17 den neuen Drainröhrennormen anzupassen und im Längenprofil (Fig. 24) die Projekthöhen nachzusehen sowie die Längen (Stationierung) anzugeben.

Zum Schluß sei noch empfohlen, in Zukunft die Umrechnung von Hektaren in Jucharten zu unterlassen. Wir können heute vom jungen Landwirt erwarten, daß er seine Berechnungen mit dem eidg. Flächenmaß der ha mache, ohne damit einem gesunden Föderalismus im geringsten Abbruch zu tun. Übrigens umfaßt die Juchart nicht überall 36 a, sondern sie hat in der ganzen Schweiz nicht weniger als etwa drei Dutzend verschiedene Größen...

Das vorliegende Buch wird zweifellos nicht nur bei den Landwirtschaftsschülern, sondern auch den Draineuren, den Interessenten an Pflanzwerken, den Meliorationsbehörden und ganz allgemein bei den Landwirten dankbare Aufnahme finden. Es wird ihnen die nötigen Grundlagen geben, um mit Sachkenntnis an öffentlichen Meliorationen mitzuwirken und das verbesserte Land mit Erfolg zu bebauen. Wir können daher das gut ausgestattete Buch zur Anschaffung bestens empfehlen.

Dr. Hans Fluck.

## Korrektur

zu Seite 15 der Januarnummer 1944.

Zeile 13 soll lauten:

1. *Die Berechnungsmethode nach der Annahme von Porchet und Dupuit statt:*

1. *Die Berechnungsmethode nach Porchet und Dupuit.*

Zeile 14 soll lauten: Man geht von der..., statt: Porchet und Dupuit gingen von der...