

**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:** 4

**Artikel:** Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung  
[Schluss]

**Autor:** Khafagi, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-201823>

### **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:** 18.02.2026

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

ständig worden sind, können einige approximative Daten gemacht werden.

*a) Vervollständigung von Katasterplänen 1 : 1000.*

Wenn die Kartierung von Höhenkurven mit einer Äquidistanz von 1 m bis zu 30% Geländeneigung und mit 2 m bei größerer Neigung vorgesehen ist, wird die Flughöhe über Grund zu ca. 800 m gewählt, bei Anwendung der Fliegerkammer „Wild“,  $f = 165$  mm. Als Auswerteleistung ist am Autographen A 5 die Bearbeitung von 1,5 ha pro Stunde anzunehmen, wobei in Gelände mit mittlerer Neigung von 20% jede Höhenkurve zweimal gezogen wird.

Der mittlere Höhenfehler der Kurven beträgt 0,25 bis 0,30 m.

Die Kosten werden zwischen Fr. 14.— und Fr. 19.— pro ha schwanken, vorausgesetzt, daß eine einwandfreie Kartierung der Situation vorhanden ist. Im Preis sind die Flugkosten, die Rekognoszierung der Polygonpunkte, Auswertung und Ausziehen der Kurven inbegriffen.

Unter ca. 5% Geländeneigung ist bei luftphotogrammetrisch kartierten Kurven eine Überarbeitung mit dem Meßtisch notwendig.

Die Meßtischaufnahme wird hier im allgemeinen für offenes Gelände gleich teuer sein; in stark bebautem Gebiet wird sie etwas teurer ausfallen. Auf luftphotogrammetrischem Wege ist aber eine bedeutende Zeitersparnis möglich.

*b) Vervollständigung von Katasterplänen 1 : 2000.*

Bei denselben Voraussetzungen der Kartierung der Höhenkurven wie im Maßstab 1 : 1000 ist die Flughöhe über Grund zu ca. 1400-1500 m zu wählen.

Die Auswerteleistung am Wildautographen A 5 wird durch die Bearbeitung von ca. 5 bis 6 ha pro Stunde festgelegt sein.

Der mittlere Höhenfehler der Kurven wird  $\pm 0,35$  bis  $\pm 0,45$  m betragen. Die Kosten schwanken zwischen Fr. 6.— und Fr. 9.— pro ha.

Diese Angaben haben natürlich nicht Allgemeingültigkeit. Es kommt in der Photogrammetrie mehr als bei anderen Verfahren auf die Merkmale, d. h. auf Bodenformen und Bedeckung des aufzunehmenden Gebietes an.

## **Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung**

Von Dr. sc. techn. A. Khafagi.

(Schluß)

*Die Reichweite R:* Aus Gleichung (24) ist ersichtlich, daß  $k$  in Beziehung mit  $\ln R$  steht und nicht mit  $R$ , so daß ein Fehler in der Schätzung von  $R$  sich in  $k$  nicht sehr bemerkbar macht. Wenn wir beispielsweise, statt einem  $R$ -Wert von 10 m einen solchen von 100 m wählen, so bekommen wir für  $k$  statt z. B.  $10^{-5}$ ,  $\sim 4,6 \times 10^{-5}$ , was eigentlich

innerhalb der Toleranz der Bestimmung des  $k$ -Wertes liegt. In Wirklichkeit wird ein solch großer Fehler in der Schätzung von  $R$  aber nicht gemacht, so daß die Bestimmung von  $k$  ziemlich genau wird.

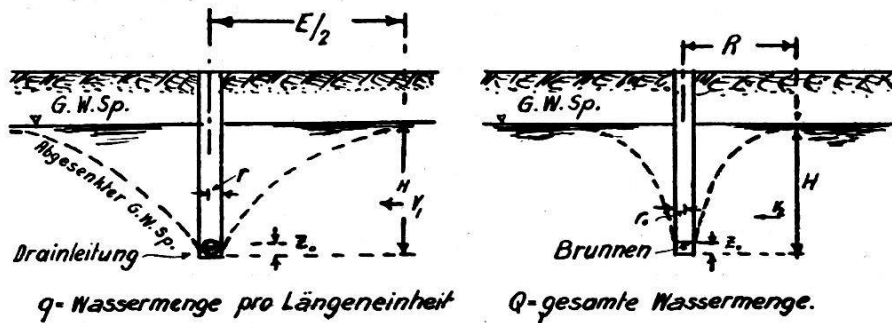


Abb. 16

Jetzt entsteht die Frage: In welchem Bereich wird  $R$  geschätzt. Für diese Schätzung können wir annehmen, daß die Gleichung des abgesenkten Grundwasserspiegels bei Drainleitung (Abb. 16)

$$H^2 - z_0^2 = \frac{q}{k} (E/2 - r) \quad (25)$$

und die Gleichung für einen Brunnen (Abb. 16)

$$H^2 - z_0^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \left( \frac{R}{r_0} \right) \quad (26)$$

gelten.

Aus den beiden Gleichungen (25) und (26) folgt:

$$q \times (E/2 - r) = Q/\pi \times \ln (R/r_0) \quad (27)$$

Setzen wir nun für  $q$   $v_1 \times H \times 1$  und für  $Q$   $2 \pi R \times H \times v_2$  ein, so bekommen wir

$$v_1 \times H (E/2 - r) = 2 R H v_2 \cdot \ln . (R/r_0) \quad (28)$$

$v_1 \cong v_2$  und  $r$  ist vernachlässigbar klein im Verhältnis zu  $E/2$ . Gleichung (28) wird dann:

$$E = 4 R \ln (R/r_0) \quad (29)$$

Diese Gleichung ergibt die Reichweite  $R$ , wenn die Draindistanz in dem betreffenden Boden schätzungsweise gegeben ist. ( $r_0$  = der äußere Radius des gebrauchten Sondierrohres. In unserem Falle ist  $r_0 = 2$  cm.)

Für $E = (9,0 \text{ m})$	$R \cong (0,65 \text{ m})$	$\ln (R/r_0) = (3,46)$
„ $E = 15,0 \text{ m}$	$R \cong 1,00 \text{ m}$	„ $= 3,90$
„ $E = 20,0 \text{ m}$	$R \cong 1,25 \text{ m}$	„ $= 4,12$
„ $E = 25,0 \text{ m}$	$R \cong 1,50 \text{ m}$	„ $= 4,30$
„ $E = (28,0 \text{ m})$	$R \cong (1,60 \text{ m})$	„ $= (4,38)$

Die Draindistanz  $E$  variiert nach Fauser, je nach der Materialart und Draintiefe zwischen 9,0 und 28,0 m (Abb. 18). Folglich variiert die Reichweite  $R$  eines Brunnens, dessen Dimensionen in Abb. 16 angegeben sind, in ähnlichen Materialien zwischen 0,65 und 1,6 m.  $\ln(R/r_0)$  variiert nur zwischen 3,46 und 4,38, so daß eine Abweichung in der Schätzung von  $R$ , zwischen 0,65 und 1,6 m, fast keinen Einfluß auf den  $k$ -Wert nach Gleichung (24) ausübt.

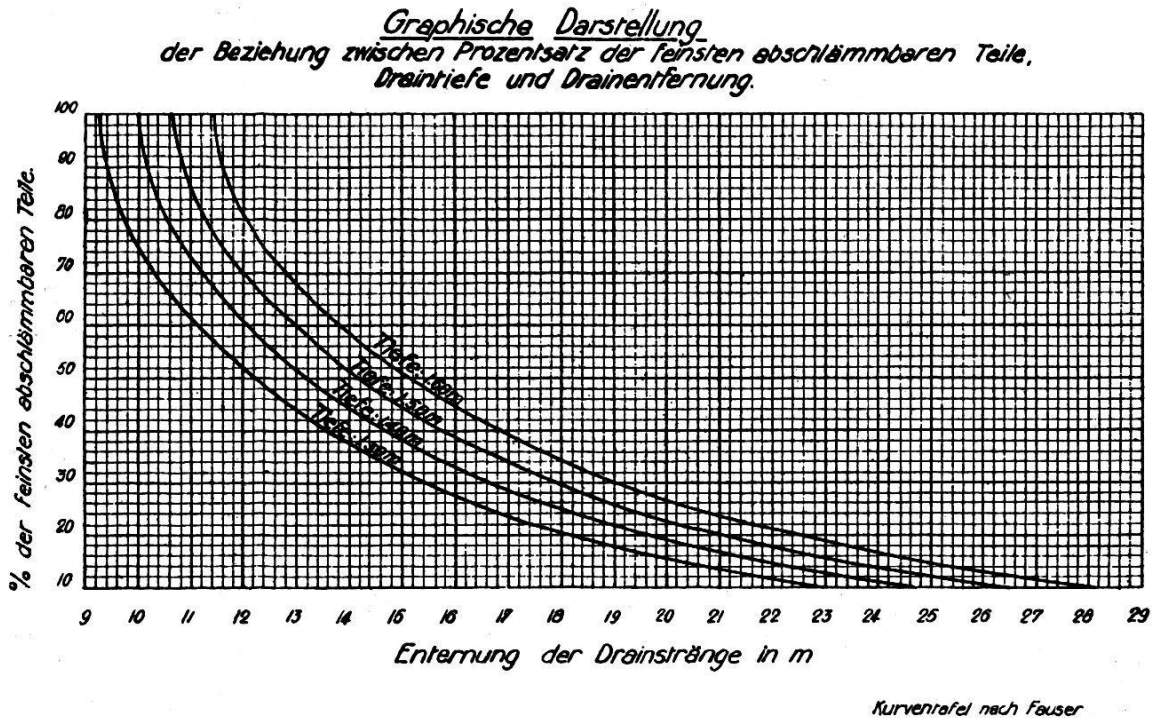


Abb. 18

Zusammengefaßt: Für die Bestimmung des  $k$ -Wertes nach Gleichung (24) ist die Kenntnis der Reichweite  $R$  notwendig. Diese kann, mit Hilfe der aus Abb. 18 entnommenen Draindistanz  $E$ , nach Gleichung (29) berechnet werden. Besteht der Boden aus verschiedenen inhomogenen Schichten, so wird die Draindistanz  $E$  entsprechend ermittelt. Ein Fehler in deren Wahl übt keinen großen Einfluß auf den  $k$ -Wert aus. (Es ist aber hier noch zu bemerken, wie vorher erwähnt, daß die Gleichung (24) bereits den *mittleren*  $k$ -Wert aus dem ganzen untersuchten, inhomogenen Bodenprofil liefert.)

**Anwendung:** Im „Versuchsfeld Baar“ wurde diese Methode angewendet. Wir führen hier ein Beispiel an:

Der Untergrund besteht aus lehmigem Ton (Abb. 17). Für dieses Material kann eine Draindistanz  $E$  nach Abb. 18, für eine Draintiefe = 1,5 m, zu 12 m angenommen werden. Aus Gleichung (29) erhalten wir, für  $E = 12$  m,  $R = 0,82$  m und  $\ln(R/r_0) = 3,70$ .

In der Gleichung (24) setzen wir die folgenden Werte ein:

$$r_{gl} = 0,415 \text{ cm}, H = 90 \text{ cm}, h_0 = 308 \text{ cm}, \Delta h = 1,75 \text{ cm}, a = 0$$

und der Mittelwert von  $\Delta t$  aus 12 Beobachtungen = 65 sec. Daraus bekommen wir  $k = 4,05 \times 10^{-7}$ .

Dieser  $k$ -Wert ist ein Mittelwert aus der ganzen Schicht ( $\sim 90$  cm).

*Zusammenfassung:* In diesem Bericht wurde gezeigt, daß die Untersuchung der Durchlässigkeit an Böden in Pulverform, oder an irgendwie gestörten Bodenproben, für kulturtechnische Zwecke vollkommen wertlos ist, denn die natürliche Lagerung des Bodens, welche ja gerade für sein Verhalten zu Wasser und Luft und damit für seine Meliorationsbedürftigkeit ausschlaggebend ist, findet keine Berücksichtigung. Die Durchlässigkeit des Bodens wird nach Kopecky, Burger und Fauser durch die Zahl der Sekunden ausgedrückt, welche eine 40 mm, bzw. 100 mm hohe Wassersäule zum Einsickern in denselben braucht (Abb. 1). Zwischen dieser in Sekunden ausgedrückten Durchlässigkeit und der Draindistanz besteht noch kein bekannter Zusammenhang. Dagegen steht die Durchlässigkeitsziffer  $k$  mit der Draindistanz in theoretischer Beziehung, auf die wir später in einer besonderen Abhandlung zu sprechen kommen. Diese Durchlässigkeitsziffer  $k$  wurde von vielen Autoren behandelt und nach verschiedenen Methoden bestimmt. Die sogenannte „Aufstiegsgeschwindigkeitsmethode“ wurde von Porchet, Dupuit, Diserens, Donat, Hooghoudt, Erkin und Régamey angewendet und der  $k$ -Wert nach den von ihnen angegebenen empirischen Gleichungen (6, 7, 10, 11 und 12) berechnet. Die Notwendigkeit der möglichst genauen Bestimmung der Durchlässigkeit für die Berechnung der Draindistanz in Meliorationsgebieten, besonders in der heutigen Zeit, hat uns dazu veranlaßt, diese verschiedenen Gleichungen für verschiedene Bodenarten, insbesondere für lehmige und tonige Böden zu überprüfen. Zu diesem Zwecke hat das Kulturtechnische Laboratorium der ETH. Aufstiegsgeschwindigkeitsmessungen in der Versuchsanlage „Altgaßrieder“ bei Baar durchgeführt. Alle, die aus diesen Gleichungen ausgewerteten  $k$ -Werte (Tabelle 2 und 3) entsprechen den betreffenden Bodenarten nicht. Sie bezeichnen diese Materialien viel durchlässiger als sie in Wirklichkeit sind, besonders für Ton und Lehm Böden. Die so berechneten  $k$ -Werte betrugen für Ton und Lehm  $10^{-4}$  und  $10^{-3}$  cm/sec. Aus der Tabelle 4 ist ersichtlich, daß in Wirklichkeit die  $k$ -Werte für Ton und Lehm viel kleiner sind als  $10^{-4}$  bis  $10^{-3}$ . Sie betragen, nach den verschiedenen Autoren (Tabelle 4)  $10^{-8}$  bis  $10^{-5}$  cm/sec. Diese großen Abweichungen kommen nur daher, weil die ermittelten Konstanten  $C$  in den verschiedenen Gleichungen nur durchlässigen Materialien eigen sind. Sie sind für lehmige und tonige Böden ungültig. Für solche Böden darf man diese Gleichungen nicht anwenden. Aus der Berechnung nach Gleichung (11) (siehe Tabelle 3 und 5) folgt, daß die  $k$ -Werte für dieselbe Sonde, aber für verschiedene Grundwasserspiegel-Lagen, verschieden sind. Es fragt sich nun, welcher Grundwasserspiegel ist maßgebend, und können wir überhaupt einen solchen Grundwasserspiegel für den Versuch herstellen? Wohl ist es möglich, den Wasserstand in der Sonde selbst zu variieren, aber den Stand des Grund-

wasserspiegels, der für den Zufluß in die Sonde maßgebend ist, können wir nicht nach Belieben ändern. Merkwürdig war es aber auch, daß der  $k$ -Wert für die untere, weniger durchlässige Schicht von demjenigen für die ganze Sonde, inklusive die obere durchlässigere Schicht, nur um das 2,3fache (Sonde  $L_1$ ) resp. 16,2fache (Sonde  $L_3$ ) variierte. (Tabelle 3 und 5) und (Abb. 7 b und 7 c.)

Zusammenfassend: Einerseits variiert der  $k$ -Wert je nach der Lage des Grundwasserspiegels, anderseits entspricht diese 2,3- bzw. 16,2fache Variation des  $k$ -Wertes nicht der Änderung der Durchlässigkeit zwischen der unteren dichten Schicht und der Durchlässigkeit des gesamten Profils. Außerdem sind die  $k$ -Werte an sich unrichtig, da nach bisherigen Untersuchungen  $k = 5,47 \times 10^{-4}$  cm/sec. niemals einer lehmigen Tonschicht ( $L_3$ ) entsprechen kann. Daher kann die Berechnung des  $k$ -Wertes nach den erwähnten Gleichungen 6, 7, 10, 11 und 12 weder als zuverlässig, noch als allgemein gültig gewertet werden.

Parallel zu den im Laboratorium angewendeten Methoden zur Bestimmung der Durchlässigkeitsziffer  $k$  der ungestörten Bodenprobe, verwendet das Institut für Erdbauforschung der ETH. eine Methode für die Bestimmung der Durchlässigkeit des *Baugrundes* im Feld. Wir machten von dieser Methode Gebrauch und wendeten sie im Versuchsfeld Baar für kulturtechnische Zwecke an. Diese Methode (Abb. 8, 9 und 10) eignet sich streng genommen nur für die Bestimmung der Durchlässigkeit von homogenen Böden oder Böden mit verschiedenen, aber parallel liegenden Schichten. Sehr gute Dienste leistet sie aber für die rasche Beurteilung der Art der verschiedenen Schichten im Untergrund, ohne daß wir Sonden erstellen oder Schlämmanalysen durchführen müssen. Für die Bestimmung der Durchlässigkeitsziffer in inhomogenen Böden verwendeten wir eine andere Methode (Abb. 11 bis 17).

Die nach diesen zwei Methoden berechneten  $k$ -Werte sind in der Tabelle 6 auf Seite 64 angeführt. Diese Werte stimmen mit denjenigen von Tabelle 4 in der Größenordnung gut überein. Die bei diesen Methoden gebrauchten Apparate sind einfach und leicht zu transportieren. Sie ermöglichen rasche und gute Handhabung. Wenn das zu untersuchende Gebiet groß ist, so kann man ohne weiteres mehrere Apparate (Sicker-röhren) gleichzeitig verwenden. Mit Hilfe derselben und unter Verwendung der gemessenen  $k$ -Werte kann man eine Bodenkarte anlegen ohne Sonden herzustellen oder Schlämmanalysen durchzuführen.

### Literaturverzeichnis

- [1] Fauser, O., Entwässerung, 1921.
- [2] Maag, E., Über die Verfestigung und Dichtung des Baugrundes, Schweizer Baumeister- und Zimmermeister-Zeitung „Hoch- und Tiefbau“, Nr. 23/24, 1938.
- [3] Haefeli, R., Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen, Schw. Bauzeitung, Bd. 111, Nr. 24 und 26, Juni 1938.
- [4] Diserens, E., Beitrag zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens in natürlicher Bodenlagerung. Schw. Landw. Monatshefte, Nr. 7 und 8, XII. Jahrg., 1934.

- [5] Donat, Die Saugstrangentfernung bei Dränung in Mineralböden, Wien 1935.
- [6] Diserens, Les méthodes scientifiques pour l'étude des nappes souterraines, Marseille 1930.
- [7] Hooghoudt, Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den Grond, Groningen 1936.
- [8] Regamey, P., Etude de quelques Ecoulements souterrains et superficiels dans les sols assainis, Lausanne 1943.
- [9] Erkin, G. D., Minsk, Pedology, Nr. 5, 1937.
- [10] Dachler, R., Grundwasserströmung, Wien 1936.
- [11] Weber, H., Untersuchungen über die Reichweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen, Julius Springer, Berlin 1928.
- [12] Meyer-Peter, Hydraulik (Vorlesung).
- [13] Meyer-Peter, Grundbau (Vorlesung).
- [14] Ramser, E., Bewässerung und Entwässerung (Vorlesung).
- [15] Schroeder, G., Landwirtschaftlicher Wasserbau, Berlin 1937.

## L'application à la géodésie d'un théorème de Tchebychef

par A. Ansermet

Dans un mémoire consacré à la théorie des projections Tchebychef a étudié un intéressant problème relatif aux cartes géographiques (voir les œuvres complètes de Tchebychef I. p. 283). Limitant ses recherches à la projection conforme et aux surfaces de révolution il a énoncé ce remarquable théorème:

«Le mode de représentation le plus avantageux, s'il existe, doit être celui pour lequel le rapport de similitude de la carte à la région représentée doit être constant pour tout le contour de la région.»

En géodésie le rapport de similitude est le module de déformation linéaire  $m$ ; en d'autres termes  $m$  donne la variation d'échelle.

Ce beau théorème n'est pas démontré ni même énoncé nettement et Tchebychef n'a malheureusement pas publié le développement de son analyse.

Il appartenait au mathématicien français G. Darboux de reprendre l'étude de la problème et de le traiter de façon magistrale au cours de deux mémoires dont le second surtout est intéressant pour le géodésien.

G. Darboux considère le *gradient* de la fonction  $m$  c'est-à-dire la dérivée de la fonction suivant la direction normale à l'isomètre  $m = \text{constant}$ .

Il substitue ensuite à la fonction elle-même son logarithme. Remarquons qu'en géodésie on peut poser dans un champ relativement étendu autour de l'origine des coordonnées

$$\log_e m \cong m - 1.$$

Considérant ensuite que l'expression qui donne la valeur moyenne du gradient n'est pas rationnelle, G. Darboux est amené à rendre *mini-*