

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: 3

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

Autor: Kahafagi, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-201821>

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: 23.01.2026

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

Die abgeleitete Fehlertoleranzformel genügt allen Bedürfnissen der Stadtvermessung. Solange innerhalb der abgeleiteten Fehlergrenze gearbeitet wird, darf ein Vermessungswerk in Städten das Prädikat „sehr gut“ mit Recht tragen. Die Ableitung von Fehlergrenzen mit Hilfe einer großen Zahl wirklicher Meßwerte zeigt immer die Tatsache, daß die Fehlergrenze größer wird, also die Genauigkeit kleiner, als dies der Praktiker gerne annimmt. Die Praxis erreicht eben nur ganz selten die von der Fehlervorschrift geforderte Genauigkeit, trotz selbstverständlicher Innehaltung der Toleranzen. Ich werde in einem späteren Aufsatz einmal auf diese Feststellungen näher eintreten.

Die Durchlässigkeit des Bodens in seiner natürlichen Lagerung

Von Dr. sc. techn. A. Khafagi.

(Fortsetzung)

Berechnungsvorgang:

Gleichung (14) entspricht einem Rohr, das unten offen ist, ohne Keilvorrichtung und Glasrohr. Diese Gleichung können wir für das Rohr mit Keilvorrichtung und verändertem \varnothing des Glasrohres nicht ohne weiteres anwenden. Die Ableitung einer entsprechenden Gleichung ist deshalb notwendig. Wir müssen berücksichtigen, daß die Ausflußfläche des Rohres mit Keilvorrichtung keine Kugel, sondern eine Zylinderfläche ist. Bezeichnen wir nun mit r_k den Radius, einer der Zylinderfläche äquivalenten, kugelförmigen Ausflußfläche, so lautet Gleichung (13)

$$h = \frac{Q}{4 \pi \cdot k} \times \frac{1}{r_k}.$$

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

$$\text{oder: } r_k = \sqrt{\frac{r_z \times l_z}{2}} \quad (15)$$

In unserem Falle ist $r_z = 2 \text{ cm} = \text{Außenradius des Eisenrohres}$, $l_z = 4 \text{ cm}$, oder $r_k = 2 \text{ cm}$.

In Gleichung (13) wird
$$h = \frac{Q}{8 \pi k} \quad (16)$$

Wir haben:
$$Q = r_{\text{Glas}}^2 \cdot \pi \frac{dh}{dt}$$

oder
$$h = \frac{r^2 gl}{8 \times k} \times \frac{dh}{dt}$$

oder

$$k = \frac{r^2 gl}{8 h} \frac{dh}{dt}$$

$$k = \frac{r^2 gl}{8 h_m} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (17)$$

rgl , hm und Δh sind in cm und Δt in sec. einzusetzen. Wir erhalten dann k in cm/sec.

Diese Methode hat den Nachteil, daß wir die k -Werte nur für lokale Stellen messen. Sie eignet sich nur für homogene Böden ohne Durchwurzelung. Für Böden mit vielen verschiedenen Schichtkeilen ist die Methode nicht praktisch.

In der Tabelle 6 geben wir einige Meßresultate nach dieser Methode. Vergleichen wir diese Resultate mit denjenigen der Tabelle 4, so finden wir, daß sie gut übereinstimmen.

E. Maag [2] schreibt über diese Methode folgendes: Trotz den zahlreichen Voraussetzungen erhält man mit den laboratoriumsmäßigen Messungen (Öedometer) gut übereinstimmende Werte.

Tabelle 6

Die k -Werte nach der Sickerrohrmethode. Gleichung (17).

Sonde	bei einer Tiefe von	rgl cm	hm cm	h cm	t sec.	k cm/sec.	Bodenart	Bemerkungen
L_1	1 m	0,415	195,8	1,75	2127,6	$0,97 \times 10^{-7}$	Toniger Lehm	Versuchsf. Baar
L_1	1,5 „	0,415	243,2	1,75	486,6	$3,4 \times 10^{-7}$	Torfg. Lehm	„ „
L_3	0,5 „	0,415	208,8	1,75	109,7	$1,76 \times 10^{-6}$	Lehm.Ton* (Humoser)	„ „
L_3	0,75 „	0,415	184,6	1,75	115,8	$1,88 \times 10^{-7}$	Humoser Ton	„ „
L_3	1,00 „	0,415	132,0	1,75	3336,1	$0,92 \times 10^{-7}$	Lehmg. Ton	„ „
L_3	1,25 „	0,415	138,0	1,75	2820	$1,04 \times 10^{-7}$	Lehmg. Ton	„ „
L_4 rechts	0,85 „	0,415	173,6	1,75	292,0	8×10^{-7}	Lehm	„ „
L_4	1,32 „	0,415	128,4	1,75	505	$6,2 \times 10^{-7}$	Toniger Lehm	„ „
L_4	0,42 „	2,35	222,0	2,82	19	$4,62 \times 10^{-4}$	Ried Humus	„ „

* Die Methode gibt für diese Schicht kein richtiges Resultat; das Material ist wohl humoser, lehmiger Ton, aber es ist in Wirklichkeit durchlässig, infolge der starken Durchwurzelung.

Die zweite Methode:

Die erste Methode eignet sich streng genommen nur für die Bestimmung der Durchlässigkeit von homogenen Böden oder Böden mit verschiedenen, aber parallelliegenden Schichten. Sehr gute Dienste leistet sie aber bei der raschen 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 verwenden wir die folgende Methode:

Besteht der Untergrund aus sandigem oder grobkörnigem Material, so benützen wir ein Rohr, das unten auf eine Länge von ca. 90 cm gelocht ist (Abb. 11). Seine totale Länge beträgt etwa 2,20 m bei einem inneren Durchmesser von 3,50 cm und einem äußeren von 4,20 cm. Es ist mit einer festen Spitze abgeschlossen. Das Rohr wird bis auf die vorgesehene Drainlage in den Boden getrieben. Darauf füllen wir es mit Wasser und beobachten die Absenkung des Wasserspiegels im Glasrohr in Funktion der Zeit.

Enthält der Untergrund auch eine Schicht fettiges Material (Ton oder Lehm), so besteht die Gefahr der Verstopfung der Rohrlöcher während dem Einschlagen des Rohres, was den Austritt des Wassers in den übrigen durchlässigen Schichten verhindert. In diesem Fall verwenden wir das in Abb. 12 a und 12 b skizzierte Rohr. Dieses ist 2,00 m lang und hat einen inneren Durchmesser von 3,50 cm und einen äußeren von 4,00 cm. Um das Einschlagen des Rohres in den Boden zu vereinfachen und gleichzeitig ein Eindringen von Material in dasselbe zu verhindern, verwenden wir eine Abschlußspitze aus Hartholz (Abb. 12 c), die nicht mit dem Rohr verbunden ist.

Das Rohr wird bis zur vorgesehenen Lage des Drains in den Boden hineingeschlagen (Abb. 12 a). Nachher wird es bis auf die Höhe des vorgesehenen, abgesenkten Grundwasserspiegels hinaufgezogen (Abb. 12b). Dabei bleibt der Keil unten. Ein solcher geht demnach bei jedem Versuch verloren. Darauf füllen wir das Rohr mit Wasser und beobachten die Absenkung des Wasserspiegels im Glasrohr in Funktion der Zeit. Aus diesen Beobachtungen läßt sich der k -Wert für die ganze Schicht (~ 90 cm), die uns eigentlich für die Ermittlung der zweckmäßigen Draindistanz interessiert, berechnen.

Berechnungsvorgang:

Die beiden Fälle (Abb. 11 und 12 a bzw. 12 b) sind einander ähnlich und lassen sich prinzipiell nach derselben Methode berechnen.

Das Problem unterteilen wir in drei Zonen: I, II und III (Abb. 13).

Zone I: Berechnung des mittleren k -Wertes des unteren Teiles. Wir nehmen an, daß nur dieser durchlässig sei, während die übrigen Zonen II und III vollständig undurchlässig wären (Abb. 14). Es entsteht eine räumliche, geradlinige Filterbewegung. Die Querschnitte derselben sind die, zur Lochsohle konzentrischen Halbkugelflächen und die Filter-

geschwindigkeit im Querschnitt r kann aus $v = \frac{Q_1}{2 \pi r^2}$ berechnet werden. Die Verbindung dieser Gleichung mit dem jeweils geltenden Widerstandsgesetz liefert

$$\frac{Q_1}{2 \pi r^2} = k \cdot J = k \left(- \frac{dh}{dr} \right).$$

Abb. 11

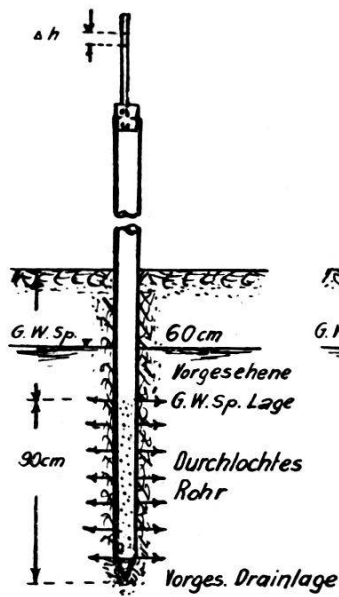


Abb. 12a

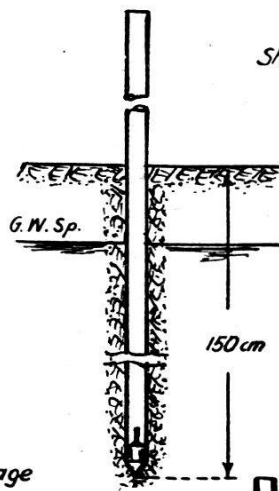


Abb. 12b

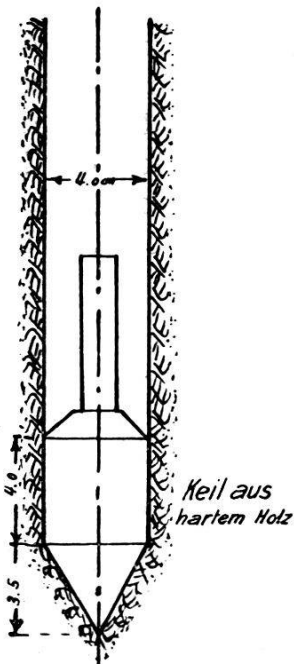
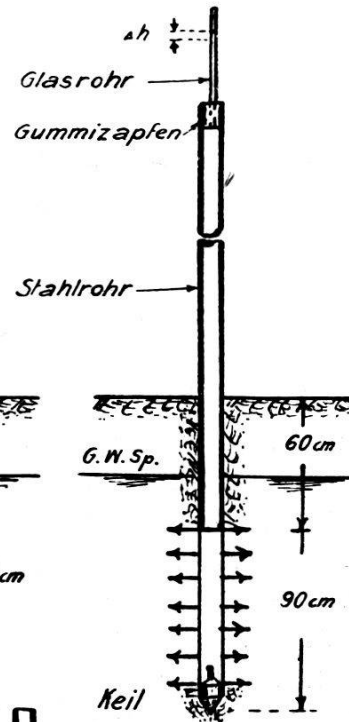


Abb. 12c

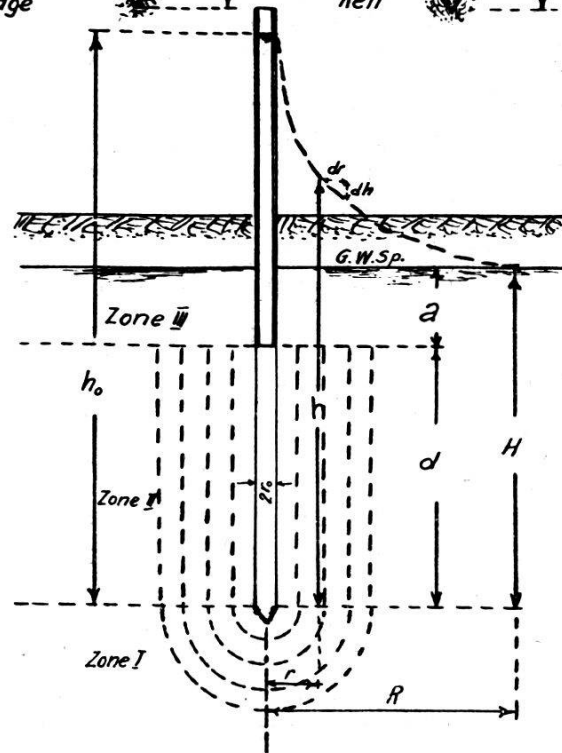


Abb. 13

Die dem Ruhezustand des Grundwassers entsprechende Standrohrspiegelhöhe H bleibt auch während der Infiltration des Rohrwassers in sehr großer — theoretisch unendlicher — Entfernung vom Sickerrohr, erhalten, so daß $h = H$ für $r = \infty$, als Randbedingung zur Bestimmung der Integralkonstanten, gesetzt werden kann. Im besonderen gilt im Anwendungsbereich des Darcygesetzes

$$-h + C = -\frac{Q_I}{2\pi k} \cdot \frac{1}{r}$$

woraus wir mit der obigen Randbedingung die Gleichung

$$h - H = \frac{Q_I}{2\pi k \cdot r} \text{ erhalten.}$$

Die zweite Randbedingung (für $r = r_0$, $h = h_0$) ergibt:

$$Q_I = 2\pi r_0 \cdot k (h_0 - H) \quad (18)$$

Zone II: Berechnung des mittleren k -Wertes des mittleren Teiles. Hier nehmen wir an, daß nur der mittlere Teil durchlässig ist und die übrigen Teile vollständig undurchlässig (Abb. 15).

Die Ausströmung erfolgt dann radial in waagrechten Ebenen, und die Querschnitte sind lotrechte, konzentrische Zylinderflächen. Der Meridianschnitt durch die allen waagrechten Schichten gemeinsame Druckfläche ist eine Kurve, deren Gefälle gegen die Mitte stetig wächst und die durch Verbindung von Raumgleichung und Widerstandsgesetz, also allgemein durch Integration der Differentialgleichung

$$\frac{Q_{II}}{2\pi r \cdot d} = v = f\left(\frac{dh}{dr}\right)$$

gefunden werden kann. Im besonderen ist im Geltungsbereich des Darcygesetzes

$$\frac{Q_{II}}{2\pi r d} = -k \frac{dh}{dr}$$

Die Integration und die Einführung der Randbedingungen ($h = H$ für $r = R$ und $h = h_0$ für $r = r_0$) ergibt:

$$Q_{II} = \frac{2\pi k d (h_0 - H)}{\ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} \quad (19)$$

Zone III: Berechnung des mittleren k -Wertes des oberen Teiles. Hier nehmen wir an, daß nur der obere Teil durchlässig ist. Ferner setzen wir voraus, daß die Geschwindigkeit in der Grundwasserspiegelhöhe

≈ 0 , während sie in der Tiefe a gleich derjenigen von Zone II ist, so daß wir Q_{III} aus der Gleichung

$$Q_{III} = 2 \pi k (a/2) \frac{(h_0 - H)}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} \quad (20)$$

mit guter Näherung ermitteln können.

Für gegebene Grundwasserspiegelverhältnisse wird nun

$$Q = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \quad (21)$$

$$\text{oder } Q = 2 \pi r_0 k (h_0 - H) + \frac{2 \pi k d (h_0 - H)}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} + \frac{2 \pi k}{2} a \frac{(h_0 - H)}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)}$$

$$Q = 2 \pi k \left[(h_0 - H) \left(\frac{a/2 + d}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} + r_0 \right) \right] \quad (22)$$

Andererseits ist
$$Q = r^2_{gl} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (23)$$

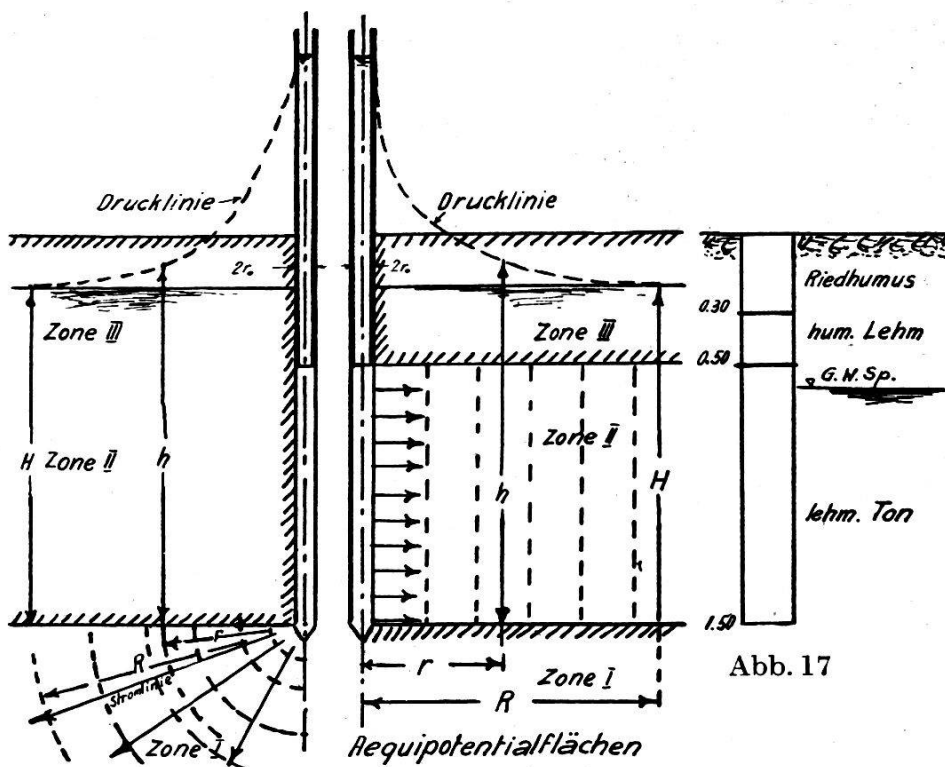


Abb. 14

Abb. 15

Abb. 17

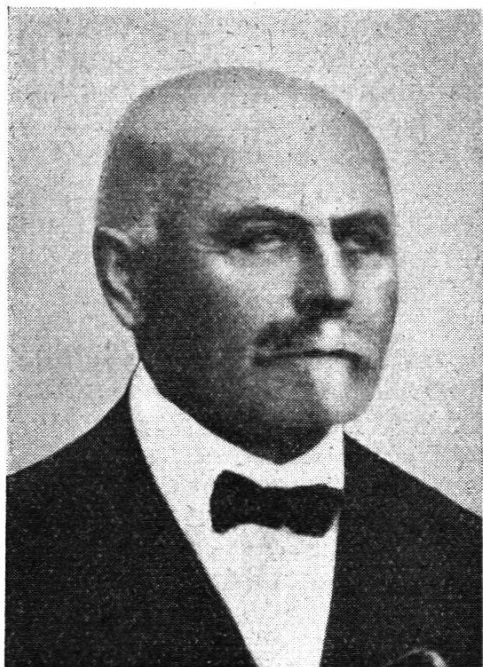
Aus (22) und (23) rechnet sich der mittlere k -Wert aus der ganzen Zone wie folgt:

$$k = \frac{r_{gl}^2}{2 (h_0 - H) \left(\frac{a/2 + d}{\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} + r_0 \right)} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (24)$$

In dieser Gleichung (24) sind r_{gl} , h_0 , H , r_0 , Δh und Δt bekannt. Was wir schätzen müssen ist einzig die Reichweite R .

(Schluß folgt)

† Dominique Clivaz



Au début de décembre 1943 est décédé à Montana, à l'âge de 77 ans après une courte maladie, notre collègue et ami Dominique Clivaz, membre honoraire de la Société Suisse des Géomètres.

Il était originaire de Chermignon. Déjà pendant ses études il se fit apprécier par sa ponctualité, sa correction et son ardeur au travail. Il obtint son brevet de géomètre en 1897.

Homme d'action et entreprenant, il n'hésita pas à compléter ses connaissances et à ouvrir un bureau technique à Lausanne. Son activité se dirigea plutôt vers les relevés cadastraux de communes, travail dans lequel il excellait et qui lui valut des certificats flatteurs de la part des autorités vaudoises.

Sollicité par des amis, Dominique Clivaz accepta un siège de député au Grand Conseil valaisan et transféra son bureau à Sierre.

Ce fut l'apogée de sa carrière, mais aussi le début d'une période difficile. Il est rare qu'un homme, aussi actif et intelligent qu'il soit, puisse exercer en même temps et avec succès, les professions de géomètre, d'ingénieur, d'architecte et d'entrepreneur et s'occuper en outre de la chose publique. La surveillance d'une quinzaine d'employés dans des sphères d'activité différentes est une tâche bien lourde. La réussite ne va pas toujours de pair avec un travail assidu, même s'il est accompagné des meilleurs dons naturels.

Appelé à étudier simultanément les plans de plusieurs bâtiments et à en assumer la réalisation, à étudier et exécuter des travaux du génie civil, sans compter les charges découlant de la profession principale de géomètre, Dominique Clivaz a succombé devant ces tâches multiples. Malgré un labeur incessant, ce travailleur infatigable a fini par échouer, comme tant d'autres, dans des circonstances analogues. Ses déceptions, qui ne diminuent en rien ses qualités, doivent être une leçon pour nous et pour tous ceux qui embrassent une carrière libérale: la vie moderne veut que l'on consacre tout son temps à la branche d'activité que l'on