Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 26

Inhaltsverzeichnis

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: 02.01.2026

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

INHALT: Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. — Die Wetterwarte auf der Sphinx am Jungfraujoch. — Mitteilungen: Steinentorviadukt Basel. Hundertjahrfeier des Z. I. A. Die zwangläufige Autobahn. Eingehäusige BBC-Dampfturbine von 34000 kW Leistung. Das Motor-Passagierschiff «Stockholm». Die Auswirkungen des neuen schweizerischen Strafgesetzes. Die Ausstellung «Hundert Jahre Zürcher Bau- und Ingenieurkunst». Francis-Spiralturbine von 60000 PS. Contribution à l'étude des vannes papillons. — Wettbewerbe: «Pavillon Galland» im Altersasyl Vessy. Verwaltungsgebäude für die Allgemeine Armenpflege Basel. Schulhaus im «Quartier des Places» in Freiburg. — Nekrolog: Karl Emil Hilgard. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.
Dieser Nummer ist das Inhaltsverzeichnis des Bandes 111 beigelegt.

Band 111 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nr. 26
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen

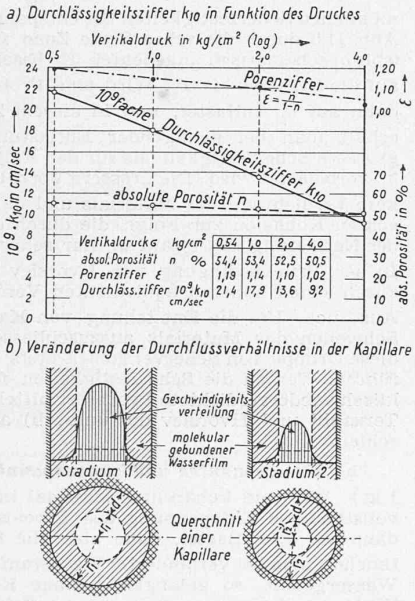
Von R. HAEFELI, Ing., Institut für Erdbauforschung E. T. H., Zürich

(Schluss von Seite 303)

Das auffallende Merkmal der Durchlässigkeitsprüfung besteht darin, dass die Messgrösse je nach der Art des Materials *im Verhältnis von etwa 1 : 100 Millionen* schwankt. Während z. B. bei Tonen k_{10}-Werte in der Grössenordnung von 10^{-9} cm/sec, das sind 0,32 mm pro Jahr, beobachtet werden, steigt bei grobkörnigen Sanden die Durchlässigkeitsziffer bis zu 10^{-1} cm/sec.

Von besonderem Interesse ist die Frage nach der Abhängigkeit der Durchlässigkeitsziffer vom Verdichtungsgrad feinkörniger kohärenter Lockergesteine, die hier auf Grund eines Beispiels erläutert werden soll.

In Abb. 10 sind die absolute Porosität n, die Porenziffer ε und die Durchlässigkeitsziffer k_{10} in Funktion des Druckes, wie er bei der Zusammendrückung eines Gehängetons angewendet wurde, dargestellt. Auffallend ist nun, dass bei der Steigerung der Belastung von 0,5 auf 4,0 kg/cm², die eine Verminderung der absoluten Porosität von nur rd. 4 % zur Folge hatte, eine sehr starke Abnahme der Durchlässigkeitsziffer um nahezu 60 % des Anfangswertes eintrat (vergl. Tabelle Abb. 10a).



Vertikaldruck σ kg/cm²	0,54	1,0	2,0	4,0
absol. Porosität n %	54,4	53,4	52,5	50,5
Porenziffer ε	1,19	1,14	1,10	1,02
Durchläss.ziffer $10^9 \cdot k_{10}$ cm/sec	21,4	17,9	13,6	9,2

Abb. 10. Durchlässigkeitsziffer und Durchfluss in der Kapillare

Versucht man auf Grund des Gesetzes von Hagen-Poiseuille die Abnahme des k-Wertes aus der Veränderung der absoluten Porosität n zu berechnen, so erhält man im vorliegenden Fall für die Drucksteigerung von 0,54 auf 4,0 kg/cm² nur eine geringe Reduktion von k, die mit der gemessenen in Widerspruch steht. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich, wenn man annimmt, dass an den Kapillarwänden ein molekular gebundener Wasserfilm als zähe Uebergangsschicht zwischen der festen und flüssigen Phase vorhanden sei, die den für den Durchfluss nutzbaren Querschnitt wesentlich einschränkt.

Die Durchflussverhältnisse in einer Kapillare von kreisförmigem Querschnitt sind für zwei Stadien bzw. Verdichtungsstufen 1 und 2 in Abb. 10b schematisch dargestellt, unter der Voraussetzung, dass die Stärke des molekular gebundenen, zähen Wasserfilms sich nicht verändere, und dass innerhalb des nutzbaren Durchflussquerschnittes das Gesetz von Hagen-Poiseuille anwendbar sei.

Nimmt man einfachheitshalber an, dass in der Grenzschicht die Durchflussgeschwindigkeit überall gleich 0 sei, während im Innern der Kapillare eine Zone mit normalen Durchflussverhältnissen existiere, so lässt sich aus dem Verhältnis der für die Stadien 1 und 2 gemessenen absoluten Porositäten (n_1 und n_2) einerseits, und den entsprechenden k_{10}-Werten (k_1 und k_2) andrerseits, das Verhältnis des durchflossenen oder wirksamen Kapillarquerschnittes f' zum totalen Kapillarquerschnitt f für die beiden Stadien 1 und 2 nach zwei Formeln, deren Ableitung hier zu weit führen würde, berechnen:

$$\text{Stadium 1:} \quad \frac{f_1'}{f_1} = \left[\frac{\sqrt{\frac{n_1}{n_2}} - 1}{\sqrt[4]{\frac{k_1}{k_2}} - 1}\right]^2 \frac{\sqrt[2]{\frac{k_1}{k_2}}}{\frac{n_1}{n_2}} \quad . \; . \; . \; . \quad (9)$$

$$\text{Stadium 2:} \quad \frac{f_2'}{f_2} = \left[\frac{\sqrt{\frac{n_1}{n_2}} - 1}{\sqrt[4]{\frac{k_1}{k_2}} - 1}\right]^2$$

Führt man diese Rechnung für unser Beispiel des Gehängetones unter Berücksichtigung der Verdichtungsstufen von 0,54 kg/cm² und 4 kg/cm² durch, so erhält man folgende Verhältniszahlen:

$$\text{1. Stadium} \quad \frac{f_1'}{f_1} = 0{,}033$$

$$\text{2. Stadium} \quad \frac{f_2'}{f_2} = 0{,}025$$

Obschon in Wirklichkeit keine zylindrischen, sondern kompliziert geformte Kapillaren vorliegen, so erscheint nach obiger Rechnung zum mindesten als wahrscheinlich, dass bei gewissen feinkörnigen Lockergesteinen nur ein relativ geringer Prozentsatz des Porenquerschnittes vom Wasser durchflossen wird, während der übrige Teil durch molekular gebundene Wasserhüllen ausgefüllt ist. Unter diesen Umständen beträgt die effektive Sickergeschwindigkeit ein Vielfaches der scheinbaren. Die Dicke der gebundenen Wasserhüllen ist in erster Linie vom Chemismus der Festsubstanz abhängig [4].

V. Scherfestigkeit, innere Reibung, Ruhedruck

1. *Empirische Grundlagen.*

Die Bestimmung der Eigenschaften der Scherfestigkeit und der inneren Reibung der kohärenten Lockergesteine hat erkenntnismässig und methodisch im Laufe der letzten fünf Jahre eine lebhafte Entwicklung durchgemacht, die in neuester Zeit zu einer gewissen Klärung dieser technisch wichtigen Frage geführt hat.

Wenn wir diese Entwicklung historisch verfolgen, müssen wir ausgehen von der Coulomb'schen Bruchbedingung, die in unserer Schreibweise lautet:

$$s_i = c + \sigma_i \operatorname{tg} \varphi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (10)$$

worin s_i den Scherwiderstand, σ_i die wirksame Normalspannung auf die Gleitfläche, φ den Winkel der inneren Reibung und c die Kohäsion des Materials, in Form der Scherfestigkeit für $\sigma = 0$, bedeutet.

Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Erkenntnis, dass die Kohäsion c *nicht als Materialkonstante* betrachtet werden darf, sondern als eine von der Vorspannung abhängige Grösse. Dies führte zur Bruchbedingung von Krey-Tiedemann, die gemäss Abb. 11a allgemein wie folgt formuliert werden kann:

$$s_k = c_i + \sigma_k \operatorname{tg} \varphi_r = \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_c + \sigma_k \operatorname{tg} \varphi_r \quad . \; . \quad (11)$$

Es wird dabei unterschieden zwischen der Vorbelastung σ_i der Probe, die als massgebend erachtet wird für die Entstehung der Kohäsion c_i, und der während des Scherversuches in der Scherfläche wirksamen Normalspannung σ_k. Für $\sigma_i = \sigma_k$ vereinfacht sich obige Formel zu:

$$s_i = \sigma_i (\operatorname{tg} \varphi_c + \operatorname{tg} \varphi_r) = \sigma_i \operatorname{tg} \varphi_s \quad . \; . \; . \; . \quad (12)$$

In diesem Spezialfall erhält man für die Scherfestigkeit s_i in Funktion der Normalspannung σ_i angenähert eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade, die mit der horizontalen Axe den scheinbaren Winkel φ_s der inneren Reibung einschliesst (Abb. 11a).

Die Krey-Tiedemann'sche Bruchbedingung setzt voraus, dass bei der Entlastung einer Scherprobe von σ_i auf σ_k keine Aenderung der durch die Vorbelastung gewonnenen Kohäsion c_i stattfinde. Unter dieser Annahme lassen sich die Scherfestigkeiten homogener, gleichartiger Bodenproben, die alle auf σ_i vorbelastet und dann vor der Abscherung auf σ_k entlastet wurden, für $k = i$ bis 0 durch eine unter dem Winkel φ_r gegen die Horizontale geneigten Geraden vom Ordinatenabschnitt c_i darstellen. Diese Voraussetzung ist nun nicht ganz zutreffend, indem durch die Entlastung der Probe eine Vergrösserung des Porenvolumens bewirkt wird, wodurch ein gewisser Kohäsionsverlust entsteht.

Eine Klärung dieser Verhältnisse brachte die Einführung des von Terzaghi und Janiczek benutzten Begriffes des äquivalenten Verdichtungsdruckes durch Hvorslev [18], wodurch eine schärfere Formulierung der Kohäsion, die mit obigem Druck annähernd proportional zunimmt, ermöglicht wurde.