

Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte
Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts
 Laborversuche

DIN
18 130
 Teil 1

Soil, testing procedures and testing equipment; determination of the coefficient of water permeability; laboratory tests

Ersatz für Ausgabe 11.83

Sol, méthodes et appareils d'essais; détermination du coefficient de perméabilité à l'eau; essais de laboratoire

Diese Norm ist das Beratungsergebnis eines gemeinsamen Ausschusses des Fachbereichs Baugrund des Normenausschusses Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	8 Untersuchung in der Triaxialzelle	10
2 Begriffe	2	8.1 Bodenarten	10
2.1 Durchfluß	2	8.2 Versuch mit isotroper statischer Belastung	10
2.2 Filtergeschwindigkeit	2	8.3 Versuch mit anisotroper statischer Belastung des Probekörpers und Sättigungsdruck	11
2.3 Standrohrspiegelhöhe	2	9 Untersuchung bei Sättigungsdruck und bei im Verhältnis zum Porenwasserdruck kleinem Unterschied der Standrohrspiegelhöhen	11
2.4 Hydraulischer Höhenunterschied	2	9.1 Bodenarten	11
2.5 Hydraulisches Gefälle	2	9.2 Geräte	11
2.6 Durchlässigkeitsbeiwert	2	9.3 Anordnung	11
2.7 Durchlässigkeitsbereiche	2	9.4 Durchführung	12
3 Bezeichnung	2	10 Untersuchung im Standrohrgerät mit veränderlichem hydraulischen Gefälle	14
4 Versuchsgrundlagen	2	10.1 Bodenarten	14
4.1 Allgemeines	2	10.2 Geräte	14
4.2 Korngröße, Korngrößenverteilung und Korngefüge	3	10.3 Anordnung	14
4.3 Verdichtungszustand	3	10.4 Durchführung	14
4.4 Beschaffenheit des Wassers	3	10.5 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts	14
4.5 Sättigungszahl	3	11 Auswertung der Versuche	14
4.6 Hydraulisches Gefälle	4	11.1 Versuch mit konstantem hydraulischen Gefälle	14
4.7 Temperatur	4	11.2 Versuch mit veränderlichem hydraulischen Gefälle	14
4.8 Probenabmessungen	4	11.3 Abhängigkeit des Durchlässigkeitsbeiwerts von der Porenzahl	15
5 Versuchsanordnungen	4	11.4 Versuchsergebnisse	15
5.1 Erzeugung des hydraulischen Gefälles	4	12 Anwendungsbeispiele	15
5.2 Strömungsrichtungen	5	12.1 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts eines gemischtkörnigen Bodens nach Abschnitt 6	15
5.3 Messung der Standrohrspiegelhöhen	5	12.2 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts eines grobkörnigen (nichtbindigen) Bodens nach Abschnitt 7	16
5.4 Messung der durchströmenden Wassermenge	5	12.3 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts eines gemischtkörnigen Bodens nach Abschnitt 8	16
5.5 Verhinderung der Umläufigkeit	5	12.4 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts eines feinkörnigen Bodens nach Abschnitt 9	17
5.6 Sättigung	6	12.5 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts eines grobkörnigen Bodens nach Abschnitt 10	18
5.7 Spannungszustände des Probekörpers	6	Zitierte Normen	18
5.8 Auswahl der Versuchsanordnung	6		
6 Untersuchung mit statischer Belastung des Probekörpers im Kompressions-Durchlässigkeitsgerät	6		
6.1 Bodenarten, Probengröße	6		
6.2 Geräte	6		
6.3 Anordnung	6		
6.4 Durchführung	6		
7 Untersuchung im Versuchszylinder mit Standrohren und konstantem hydraulischen Gefälle	8		
7.1 Bodenarten	8		
7.2 Geräte	8		
7.3 Anordnung	8		
7.4 Durchführung	9		

Fortsetzung Seite 2 bis 18

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm gilt für die Untersuchung der Wasserdurchlässigkeit von Böden (Lockergestein) durch Laborversuche (im folgenden kurz: Durchlässigkeit). Die Versuchsergebnisse werden im Grund- und Erdbau angewendet. Sie sind Grundlage z. B. für die Berechnung von Grundwasserströmungen und zur Beurteilung der Durchlässigkeit von künstlich hergestellten Dichtungs- oder Filterschichten.

2 Begriffe

2.1 Durchfluß

Der Durchfluß Q ist diejenige Wassermenge, die in der Zeit aus einer Querschnittsfläche A (Feststoffe und Poren) eines Probekörpers austritt (siehe Bild 1):

$$Q = \frac{V_w}{t} \quad (1)$$

V_w Wasservolumen, das in der Zeit t aus dem Querschnitt A austritt.

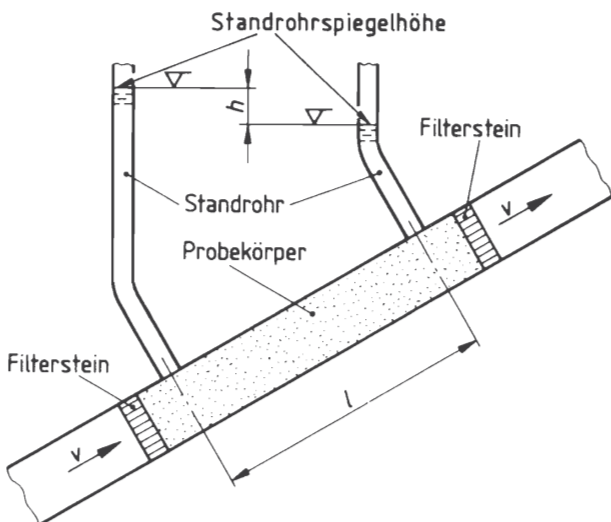


Bild 1. Strömungsvorgang in einer Bodenprobe

2.2 Filtergeschwindigkeit

Die Filtergeschwindigkeit v ist der Durchfluß in der Fläche A senkrecht zur Fließrichtung:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

2.3 Standrohrspiegelhöhe

Die Standrohrspiegelhöhe in einem bestimmten Querschnitt ist diejenige Wasserspiegelhöhe, die sich während des Strömungsvorganges in einem – wirklichen oder gedachten – genügend hohen Rohr einstellt, das an diesen Querschnitt angeschlossen ist, ohne die Strömung merklich zu stören (siehe Bild 1).

2.4 Hydraulischer Höhenunterschied

Der hydraulische Höhenunterschied h ist die Differenz zweier Standrohrspiegelhöhen in zwei Querschnitten des Probekörpers (siehe Bild 1).

2.5 Hydraulisches Gefälle

Das hydraulische Gefälle i ist der hydraulische Höhenunterschied h bezogen auf die durchströmte Länge l (Abstand der Ansatzpunkte der Standrohre in Fließrichtung) des Probekörpers

$$i = \frac{h}{l} \quad (3)$$

2.6 Durchlässigkeitsbeiwert

Der Durchlässigkeitsbeiwert eines wassergesättigten Bodens k_r ist nach dem Fließgesetz von DARCY der Verhältniswert zwischen der Filtergeschwindigkeit v und dem hydraulischen Gefälle i bei gleichmäßiger, linearer Durchströmung:

$$k_r = \frac{v}{i} \quad (4)$$

Für teilgesättigte Böden gilt:

$$k = \frac{v}{i} \quad (5)$$

Anmerkung: Es ist stets $k_r > k$ (siehe auch Anmerkung zu Abschnitt 4.5).

2.7 Durchlässigkeitsbereiche

Ein Durchlässigkeitsbereich ist eine bestimmte Spanne von Durchlässigkeitsbeiwerten. Für bautechnische Zwecke werden die Böden in fünf Durchlässigkeitsbereiche eingeteilt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1. Durchlässigkeitsbereiche in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert

k_r m/s	Bereich
unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig
10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig
über 10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig
über 10^{-4} bis 10^{-2}	stark durchlässig
über 10^{-2}	sehr stark durchlässig

3 Bezeichnung

Bezeichnung des Laborversuchs zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts mit den Kurzzeichen nach Tabelle 4:

z. B. an feinkörnigem Boden im Kompressions-Durchlässigkeitsgerät (KD) mit Messung des hydraulischen Gefälles in einem Standrohr (ES) und des Wasservolumens im Standrohr (ST) sowie mit statischer Belastung (SB) des Probekörpers

Prüfung DIN 18130 – KD – ES – ST – SB

4 Versuchsgrundlagen

4.1 Allgemeines

Der Durchfluß und das hydraulische Gefälle müssen an der zu untersuchenden Bodenprobe zuverlässig gemessen werden können. Die Versuchsanordnung ist entsprechend zu wählen. Anhaltspunkte hierfür geben die Korngrößenverteilung und das Korngefüge des Bodens. Des weiteren...

von Verdichtungszustand, Beschaffenheit des Wassers und Sättigung des Porenraums zu beachten. Diese Bedingungen sollen im Versuch den Verhältnissen im Feld möglichst treu angepaßt werden (siehe Abschnitte 4.3, 4.4 und 4.5), da sie von Einfluß auf das Ergebnis sind. Sie müssen bei der Deutung des Versuchsergebnisses berücksichtigt werden und sind im Versuchsbericht zu nennen (siehe Abschnitt 11.4).

4.2 Korngröße, Korngrößenverteilung und Korngefüge

Die Korngröße bestimmt die Mindestabmessungen der Proben (siehe Abschnitt 4.8). Korngrößenverteilung und Korngefüge dürfen sich während der Durchströmung nicht verändern.

Anmerkung: Feinkörnige Proben sind in der Regel schwächer durchlässig, grobkörnige Proben stärker durchlässig. Bei gleichem Korndurchmesser d_{10} ist eine ungleichförmige Probe bei sonst gleichen Verhältnissen weniger durchlässig als eine gleichförmige. Auch kolloidale Eigenschaften des Feinkorns können die Durchlässigkeit herabsetzen.

Fein- und gemischtkörnige Böden haben bei Krümelstruktur infolge der vorhandenen Grobporen eine größere Durchlässigkeit als bei homogener Verteilung der Körner. Krümelstruktur ist bei gestörten und mit niedrigem Wassergehalt künstlich aufbereiteten fein- und gemischtkörnigen Proben zu erwarten.

Geschichtete Böden und Böden mit plattigen oder stabförmigen Körnern mit bevorzugter Orientierung weisen parallel zur Schichtung oder der Kornorientierung eine größere Wasserdurchlässigkeit auf als senkrecht dazu.

Bei zu hohem hydraulischen Gefälle können insbesondere in gemischtkörnigen und stark durchlässigen Böden Kornumlagerungen während des Versuchs zu einer Veränderung der Durchlässigkeit führen.

Ebenso kann es insbesondere bei feinkörnigen Böden mit geringen Feinstkornanteilen zu Kolmationen an den Filtersteinen kommen, wodurch eine zu geringe Wasserdurchlässigkeit vorgetäuscht werden würde. In diesem Falle ist es ratsam, den Versuch mit kleinem hydraulischem Gefälle zu beginnen und das hydraulische Gefälle allmählich zu steigern.

4.3 Verdichtungszustand

Soll der Einfluß der Dichte auf die Durchlässigkeit geprüft werden, sind mindestens 3 Durchströmungsversuche mit jeweils unterschiedlichen Porenzahlen des Probekörpers auszuführen (siehe Abschnitt 11.3).

Anmerkung: Mit zunehmender Dichte nimmt die Durchlässigkeit bei gleicher Korngrößenverteilung und gleichartiger Einregelung der Körner ab.

4.4 Beschaffenheit des Wassers

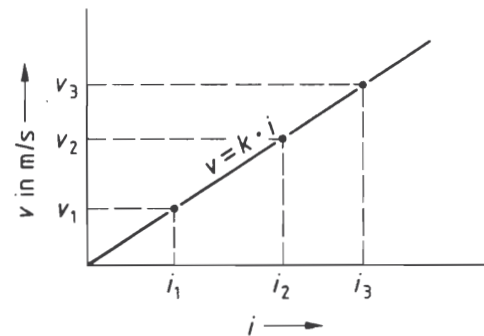
Das für den Versuch zu verwendende Wasser darf weder aus dem Probekörper Bestandteile herauslösen noch gelöste oder in Schwebel befindliche Teile in dem Probekörper ablagern noch die kolloidchemische Beschaffenheit des Bodens verändern. Nach Möglichkeit ist ein dem Porenwasser ähnliches Wasser zu verwenden. In der Regel genügt entlüftetes Leitungswasser. In besonderen Fällen (z.B. marine Sedimente) ist das Wasser aufzubereiten oder zur Sicherstellung der natürlichen Bedingungen besonders zu beschaffen.

4.5 Sättigungszahl

Die Sättigungszahl darf sich während der Meßphase nicht ändern, oder es darf sich das Meßergebnis bei Wiederholung der Messung mit gleichem hydraulischen Gefälle nicht mehr

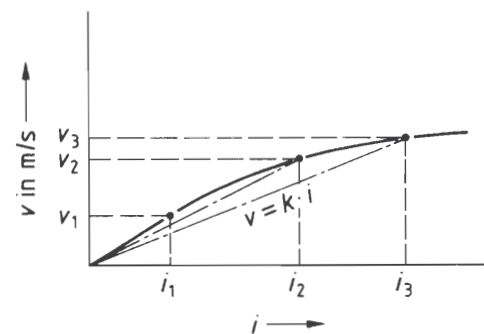
ändern. Dies ist gegeben, wenn bei konstantem Druck und konstantem Gefälle die in die Probe einströmende der aus ihr austretenden Wassermenge gleich ist.

Anmerkung: Diese Forderung ist durch volle Sättigung der Probe am einfachsten zu erfüllen. Der bei voller Sättigung ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert k_r ist zugleich die Bodenkenngroße, die die Wasserdurchlässigkeit des Korngerüsts beschreibt. Luftporen verengen nämlich den Durchflußquerschnitt und können damit eine Verringerung der Durchlässigkeit bewirken.



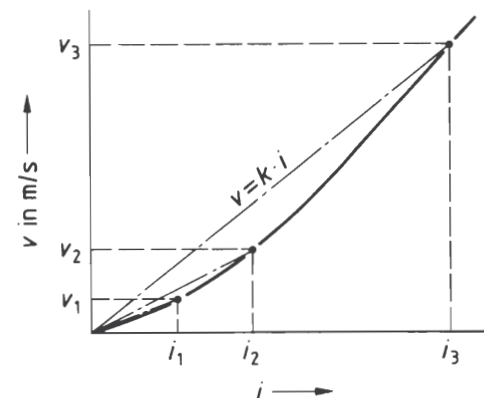
a) für lineare Strömung (Gesetz von DARCY)

$$k_1 = k_2 = k_3 = \text{const.}$$



b) für turbulente Strömung in grobkörnigen Böden (post-linearer Bereich)

$$k_1 = k_{\text{DARCY}} > k_2 > k_3$$



c) für Strömung in feinkörnigen Böden, die durch diffuse Wasserhüllen eingeeengt ist (prälinearer Bereich).

$$k_1 < k_2 < k_3$$

Bild 2. Zusammenhang zwischen Filtergeschwindigkeit v und hydraulischem Gefälle i

4.6 Hydraulisches Gefälle

Das hydraulische Gefälle darf im Versuch nach praktischen Gesichtspunkten gewählt werden, solange das Durchströmungsverhalten dem Fließgesetz von DARCY entspricht (linearer Strömungsbereich, siehe Bild 2 a)) und solange das Korngefüge nicht verändert wird (siehe Abschnitt 4.2) und durch die Durchströmung keine Konsolidierung oder Schwellung der Probe bewirkt wird.

In den Fällen, in denen das Durchströmungsverhalten nicht linear ist (siehe Bild 2 b) und 2 c)), muß das hydraulische Gefälle im Labor den Verhältnissen im Feld angepaßt werden.

Die Grenzen des linearen Strömungsbereichs können in Abhängigkeit vom mittleren Korndurchmesser grob abgeschätzt werden (siehe Bild 3).

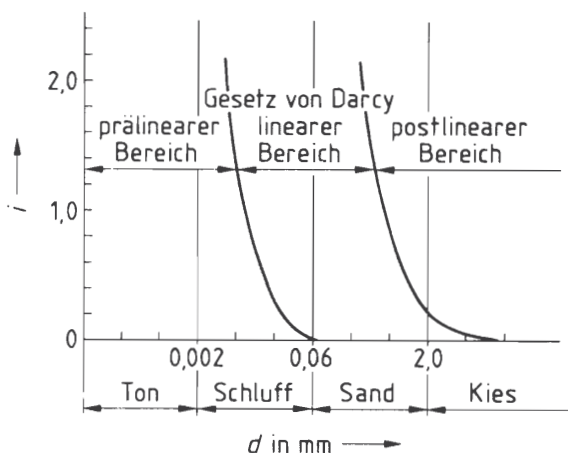


Bild 3. Einfluß des mittleren Korndurchmessers d auf die Grenzen des linearen Bereichs des Filterströmungsgesetzes

Für praktische Belange reicht es aus, auch die Strömungsvorgänge, die vom linearen Fließgesetz abweichen, mit der Geradengleichung (4) auszuwerten. Es ergibt sich dann eine Abhängigkeit des nach Gleichung (4) ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerts vom hydraulischen Gefälle

$$k_r = f(i) \quad (6)$$

Anmerkung: Bei grobkörnigen Böden – insbesondere bei lockerer Lagerung – weicht das Fließverhalten oberhalb bestimmter hydraulischer Gefälle vom linearen Verhalten nach dem DARCY-Gesetz ab, die Fließgeschwindigkeit nimmt mit zunehmendem hydraulischen Gefälle infolge des Einflusses von Trägheitskräften unterlinear zu (postlinearer Bereich, siehe Bild 2 b)).

Bei der Durchströmung feinkörniger Böden mit kleinen hydraulischen Gefällen kann die Fließgeschwindigkeit mit kleiner werdendem hydraulischen Gefälle unterlinear abnehmen (prälinearer Bereich, siehe Bild 2 c)), da die fest an die Wände der Porenkanäle gebundenen Wassermoleküle (diffuse Wasserhüllen der Tonminerale) die Strömung einengen.

Der rechnerische Durchlässigkeitsbeiwert für Strömungsvorgänge außerhalb des Gültigkeitsbereiches des DARCY-Gesetzes nimmt gegenüber dem k -Wert für den DARCY-Bereich stark ab. Es gilt

$$k_r < k_{\text{DARCY}} \quad (7)$$

Für grobkörnige Böden nimmt der rechnerische k -Wert mit zunehmendem hydraulischen Gefälle ab, für feinkörnige Böden wird er mit abnehmendem hydraulischen Gefälle kleiner.

4.7 Temperatur

Die Versuche sind bei annähernd konstanter Raumtemperatur durchzuführen, wobei die Temperatur des Probekörpers und des Wassers sich dieser Temperatur angepaßt haben müssen.

Anmerkung 1: Die Zähigkeit des Wassers ist von der Temperatur abhängig. Deshalb werden bei gleichem Gefälle die Fließgeschwindigkeit und damit der k -Wert von der Temperatur des Wassers beeinflusst.

Der im Versuch festgestellte k -Wert wird auf eine Vergleichstemperatur von 10 °C umgerechnet. Nach Poiseuille ist

$$k_{10} = \frac{1,359}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \quad k_T = \alpha \cdot k_{10} \quad (8)$$

Dabei sind T die Wassertemperatur in °C beim Versuch und k_T der ermittelte Durchlässigkeitsbeiwert. Der Beiwert α kann Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2. Korrekturbeiwert α zur Berücksichtigung der Zähigkeit des Wassers

Temperatur T °C	5	10	15	20	25
α	1,158	1,000	0,874	0,771	0,686

Zwischenwerte können geradlinig eingeschaltet werden.

Anmerkung 2: Die Vergleichs-Temperatur $T = 10$ °C entspricht der durchschnittlichen Temperatur des Grundwassers. Es können je nach Anwendungsfall auch andere Temperaturen maßgebend sein.

4.8 Probenabmessungen

Durchmesser und Höhe der Probe müssen so gewählt werden, daß sich Inhomogenitäten der Probe nicht mehr auf das Versuchsergebnis auswirken können.

Die Mindestabmessungen richten sich nach dem in der Probe enthaltenen Größtkorn und nach dem Versuchsgerät.

Das Verhältnis Größtkorn zu Probendurchmesser bzw. Probenhöhe soll 1 : 5 bei ungleichförmigen und 1 : 10 bei gleichförmigen Böden nicht unterschreiten.

Bei bindigen Böden soll die Querschnittsfläche mindestens $A = 10 \text{ cm}^2$ betragen, bei grobkörnigen Böden mindestens $A = 20 \text{ cm}^2$, sofern die Geräte nach den Abschnitten 6 bis 10 keine größeren Abmessungen bedingen.

5 Versuchsanordnungen

5.1 Erzeugung des hydraulischen Gefälles

5.1.1 Konstantes hydraulisches Gefälle

Das hydraulische Gefälle wird als konstant bezeichnet, wenn sich die Differenz zwischen der Standrohrspiegelhöhe des in den Probekörper einströmenden Wassers (Oberwasser) und der Standrohrspiegelhöhe des ausströmenden Wassers (Unterwasser) während einer Messung nicht merklich ändert.

Die Spiegelhöhe des Oberwassers wird am einfachsten mit Hilfe eines Überlaufgefäßes erzeugt, dem mehr Wasser zugeführt wird als durch den zu untersuchenden Probekörper strömt (siehe Bild 6). Größere Drücke können z. B. durch Luftdruck über eine luftundurchlässige Membrane bzw. über eine Öltrennschicht erzeugt werden.

Der Unterwasserspiegel wird durch einen definierten Gegen- druck (siehe Bild 9 und Bild 10) oder durch einen Überlauf konstant gehalten, über den die zu messende Wassermenge abläuft (siehe Bild 6).

Der Unterwasserspiegel muß bei einer Durchströmung von unten nach oben über der Oberfläche des Probekörpers liegen. Wird die Probe von oben nach unten durchströmt, muß der Unterwasserspiegel oberhalb der Probenunterkante liegen. Seine Höhe ist während einer Messung in beiden Fällen auf $\pm 1\%$ der Spiegelhöhendifferenz konstant zu halten.

5.1.2 Veränderliches hydraulisches Gefälle

Das hydraulische Gefälle wird durch eine Wassersäule in einem Standglas erzeugt, deren Spiegelhöhe während des Versuchs abnimmt (siehe Bild 5 und Bild 11).

Für die Ermittlung der Durchlässigkeit wird die Spiegelhöhe der Wassersäule im Standrohr in bestimmten Zeitabständen gemessen.

Bei schnellem Absinken der Wassersäule im Standrohr ist es stattdessen zweckmäßiger, die Zeiten zu messen, in denen der sinkende Wasserspiegel Markierungen des Standrohrs durchwandert.

Bei geringem Standrohrdurchmesser können sehr kleine Wassermengen direkt im kalibrierten Standrohr gemessen werden; deshalb ist diese Versuchsanordnung besonders für feinkörnige Probekörper geeignet.

5.2 Strömungsrichtungen

Bei den Versuchsanordnungen nach Abschnitt 5.1.1 und Abschnitt 5.1.2 kann der Probekörper grundsätzlich von unten nach oben oder von oben nach unten durchströmt werden.

Bei Durchströmung von unten nach oben muß durch Auflast oder Einspannung verhindert werden, daß sich die Probe auflockert.

5.3 Messung der Standrohrspiegelhöhen

Bei durchlässigen bis stark durchlässigen Probekörpern wird der Standrohrspiegelhöhenunterschied nur längs eines Teils des durchströmten Probekörpers mit Standrohren gemessen (siehe Bild 6), um Spiegelhöhenverluste außerhalb der Probe und Störungseinflüsse an den Enden des Probekörpers auf das Meßergebnis auszuschalten. Die Standrohre sollen einen lichten Durchmesser von 3 bis 4 mm haben und vom oberen und unteren Rand des Probekörpers in einem Abstand von etwa 3 cm angeordnet werden. Das in den Probekörper einbindende Ende ist gegen Verstopfung durch ein Feinsieb zu schützen. Bei schwach durchlässigen Böden sind die Spiegelhöhenverluste außerhalb des Probekörpers vernachlässigbar klein, so daß der Spiegelhöhenunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser dem Spiegelhöhenunterschied zwischen den Enden des Probekörpers gleichgesetzt werden kann.

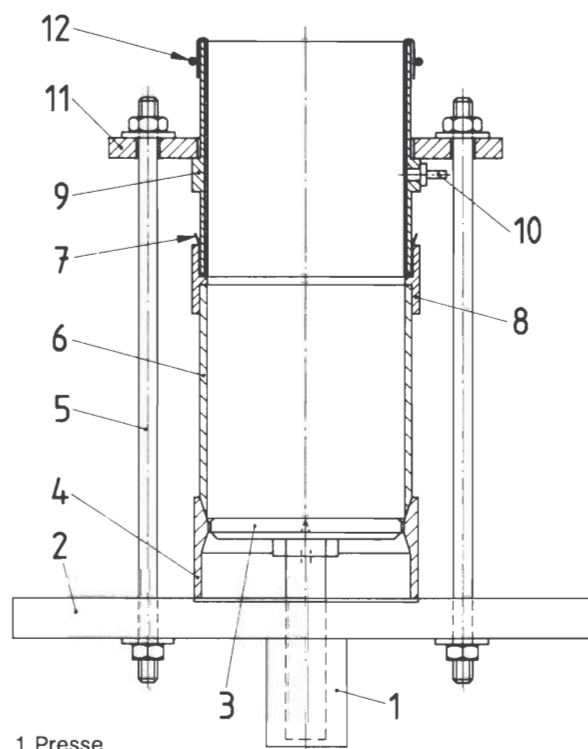
5.4 Messung der durchströmenden Wassermenge

Die zur Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwerts maßgebende Wassermenge ist bei stationärer Strömung zu messen. Die stationäre Strömung kann nur durch Vergleich der ein- und ausströmenden Wassermenge kontrolliert werden. Auf einen stationären Strömungszustand kann auch geschlossen werden, wenn bei konstantem Strömungsgefälle die in der Zeiteinheit ein- oder ausströmende Wassermenge gleich bleibt.

Bei Versuchen mit konstantem hydraulischen Gefälle und größeren durchströmenden Wassermengen wird das unterwasserseitig überlaufende Wasser gemessen.

Sehr geringe Wassermengen werden zweckmäßig mittels Piezometern (siehe Bild 5) oder Kapillaren (siehe Bild 10) gemessen.

Bei geringen Wassermengen ist auf mögliche Verfälschung der Meßergebnisse durch Verdunstung zu achten. Eventuell



- 1 Presse
- 2 Grundplatte
- 3 Kolben
- 4 Zentrierrohr
- 5 Halteschrauben
- 6 Ausstechzylinder mit Probekörper
- 7 Gummihülle
- 8 Zwischenring
- 9 Versuchszyylinder für den Durchlässigkeits-Versuch
- 10 Unter- bzw. Überdruckanschluß
- 11 Ringplatte
- 12 Spannring

Bild 4. Vorrichtung zum Ummanteln eines Probekörpers mit einer Gummihülle

kann diese Fehlerquelle durch Erhöhung des hydraulischen Gefälles vermieden werden, falls die in den Abschnitten 4.2 und 4.6 besprochenen Umstände nicht dagegen sprechen. Während des Meßvorgangs darf keine die Wassermenge nennenswert verändernde Konsolidation der Probe auftreten.

In Versuchen mit veränderlichem hydraulischen Gefälle ist die durchströmende Wassermenge gleich dem Innenvolumen des Standrohres, das sich aus der Höhendifferenz zweier Ablesungen ergibt.

5.5 Verhinderung der Umläufigkeit

Bei ungestörten Probekörpern können durch eingelagerte Steine und Fremdkörper sowie Hohlräume entlang der Wand des Versuchszyinders Umläufigkeiten auftreten, die eine höhere Durchlässigkeit vortäuschen.

Augenscheinlich vorhandene Gänge an der Zylinderwand sind abzudichten, z. B. mit Bentonit. Ist bei grobkörnigen Probekörpern eine Umläufigkeit entlang der Zylinderwand infolge größerer Bestandteile anders nicht auszuschließen, empfiehlt es sich, den Ausstechzylinder vor der Probenentnahme mit einem festen Belag auszukleiden, der einen niedrigen Schmelzpunkt hat (z. B. Paraffin), so daß durch Erwärmen nach Probenentnahme eine Ver kittung der Anschlußfuge herbeigeführt werden kann.

Das Abdichtmittel darf in die Probe nicht eindringen. Dieses ist nach Versuchsdurchführung zu über die Probe zu entfernen.

Probekörper können zur Verhinderung der Umläufigkeit in einen Versuchszylinder gestellt werden, dessen Innendurchmesser um einige Millimeter größer als der Durchmesser des Probekörpers ist. Der Zwischenraum wird durch eine Vergußmasse ausgefüllt.

Mit einem Gerät nach Bild 4 kann ein standfester Probekörper zur Verhinderung der Umläufigkeit in einen Versuchszylinder eingeschoben werden, der mit einer Gummihülle aus Latex ausgekleidet ist. Beim Einbau wird die Gummihülle durch Unterdruck an die Behälterwand gezogen. Der Innendurchmesser des Versuchszylinders muß um mehr als das Doppelte der Gummidicke größer als der des Ausstechzylinders sein. Während der Versuchsdurchführung wird die Gummihülle mit einem Druck gegen den Probekörper gedrückt, der um 20 % über dem höchsten Druck des Porenwassers liegt. Dieser Außendruck muß durch Wasser aufgebracht werden, da Latex nicht luftdicht ist. Anordnungen zur Verhinderung von Umläufigkeit bei standfesten Probekörpern zeigen die Bilder 8, 9 und 10.

Das beschriebene Vorgehen ist auf für den Einbau von Probekörpern in Gummihüllen zur Bestimmung der Durchlässigkeit in Triaxialzellen (siehe Abschnitt 8) geeignet.

5.6 Sättigung

Feinkörnige und gemischtkörnige Böden sowie Sande werden durch Aufbringen eines Sättigungsdrucks gesättigt. Dazu wird das Porenwasser in dem Probekörper mit einem hydrostatischen Druck (Sättigungsdruck, back pressure) belastet (siehe Tabelle 3). Dies ist nur mit den Versuchsanordnungen nach Bild 9 und Bild 10 möglich.

Tabelle 3. **Sättigungsdruck u_0 in Abhängigkeit von der Sättigungszahl S_r**

S_r %	u_0 kN/m ²
100	0
95	300
90	600
85	900

Der aufgebrachte Sättigungsdruck muß während des Durchströmungsvorganges aufrecht erhalten bleiben.

Anmerkung: Künstlich aufbereitete Probekörper sind in der Regel nicht voll wassergesättigt. Gleiches trifft für Proben zu, bei denen sich das Porenwasser bei der Entnahme entspannt hat, so daß gelöstes Gas freigesetzt wird. Im durchströmenden Wasser gelöste Luft kann sich auch während des Strömungsvorgangs in dem Probekörper ausscheiden und damit zu einer Verringerung der Durchlässigkeit führen.

5.7 Spannungszustände des Probekörpers

Um den Einfluß des Porenanteils auf die Durchlässigkeit zu ermitteln, wird der Versuch bei stark zusammendrückbaren Probekörpern unter verschiedenen Spannungszuständen durchgeführt.

Eine äußere statische Belastung ist auch bei Aufbringen eines Sättigungsdrucks (siehe Abschnitt 5.6) oder bei Durchströmung von unten nach oben (siehe Abschnitt 5.2) aus Gleichgewichtsgründen erforderlich.

5.8 Auswahl der Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung ist entsprechend den jeweiligen Erfordernissen des Anwendungsfalls zusammenzustellen. Je nach Bodenart bestehen verschiedene Möglichkeiten der

Versuchsanordnung (siehe Tabelle 4). Bei Auswahl der Versuchsanordnung ist zu beachten, ob der Durchlässigkeitsbeiwert bei voller Wassersättigung benötigt wird, ob eine Bestimmung bei nicht voller Wassersättigung mit stationärer Strömung ausreicht oder ob nur eine überschlägliche Ermittlung ohne Kontrolle der stationären Strömung genügt.

In den folgenden Abschnitten 6 bis 10 werden Beispiele verschiedener Versuchsanordnungen beschrieben.

6 Untersuchung mit statischer Belastung des Probekörpers im Kompressions-Durchlässigkeitsgerät

6.1 Bodenarten, Probengröße

Der Versuch eignet sich für feinkörnige Böden, insbesondere für Tone und Schluffe. Die Probe soll einen Durchmesser von mindestens 70 mm und eine Höhe von mindestens 20 mm haben.

6.2 Geräte (siehe Bild 5)

Anlage zum Entlüften von Wasser
Vorratsbehälter für entlüftetes Wasser
Ausstech- oder Beschneidegeräte
Abgleichlineal

Kompressions-Durchlässigkeitsgerät mit Standrohr und Belastungseinrichtung

6.3 Anordnung

Der Versuch wird mit einer Anordnung für veränderliches hydraulisches Gefälle (siehe Abschnitt 5.1.2) durchgeführt. Es wird ein Kompressions-Durchlässigkeitsgerät benutzt, an das ein Standrohr so angeschlossen ist, daß der Probekörper von unten nach oben durchströmt wird. Zur Füllung des Standrohrs wird diesem über ein Dreiwegeventil entlüftetes Wasser aus einem Vorratsbehälter zugeleitet. Damit das entlüftete Wasser im Vorratsbehälter nicht mit Luft in Berührung kommt, ist dieser mit einer luftdichten, beweglichen Haut verschlossen. Das Standrohr ist zur genauen Volumenbestimmung zu kalibrieren. Sein Durchmesser ist der Durchlässigkeit des Probekörpers anzupassen (z. B. $d = 4$ mm bei $k = 10^{-10}$ m/s). Die im Kompressions-Durchlässigkeitsgerät eingebauten Filtersteine müssen hinreichend durchlässig sein ($k > 10^{-6}$ m/s). Ihre Durchlässigkeit ist regelmäßig zu prüfen; dabei ist auf den möglichen Einfluß der Ventile und Zuleitungen zu achten.

6.4 Durchführung

6.4.1 Vorbereitung der Versuchsgерäte

Nach der Füllung des Vorratsbehälters mit entlüftetem Wasser sind die Lufteinschlüsse im Versuchsgерät zu beseitigen. Dabei werden Zuleitungen und die Kammern des unteren Filtersteins mit entlüftetem Wasser gefüllt. Der Filterstein selbst wird durch Kochen in Wasser entlüftet und in die wassergefüllte Kammer gedrückt.

6.4.2 Herstellung des Probekörpers

Ist die Durchlässigkeit einer Bodenprobe der Güteklasse 1 oder 2 nach DIN 4021 Teil 1 zu untersuchen, so ist aus dieser der Probekörper mit einem Ausstechring herauszuschneiden. Je nach Bauweise des Gerätes wird der Ausstechring anschließend als Probenring verwendet oder die Probe aus dem Ausstechring in den Probenring des Gerätes hineingedrückt. Im zweiten Fall muß der Probenring zuvor aus dem Gerät ausgebaut werden. Zur Vermeidung von Umläufigkeiten sind etwa vorhandene Hohlräume an den Verbindungs-