

DIN 18137-2

ICS 93.020

Ersatz für
DIN 18137-2:1990-12**Baugrund, Untersuchung von Bodenproben –
Bestimmung der Scherfestigkeit –
Teil 2: Triaxialversuch**

Soil, investigation and testing –
Determination of shear strength –
Part 2: Triaxial test

Sol, reconnaissance et essai –
Détermination de la résistance au cisaillement –
Partie 2: Essai triaxial

Gesamtumfang 48 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Bezeichnung	9
5 Geräte	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Druckzelle	10
5.3 Druckkappe und Sockel	12
5.4 Konsolidationsstand	13
5.5 Gerät zur Erzeugung der axialen Belastung bzw. Verformung	13
5.6 Geräte zur Erzeugung kontrollierten Wasserdrucks in der Zelle und im Probekörper	13
5.7 Geräte zur Messung von Kraft, Zellen- und Sättigungsdruck und Verformung	14
5.8 Porenwasserdruckmessgerät	14
5.9 Volumenänderungsmessgeräte	14
5.10 Leitungssystem, Hähne, Versuchsanordnung	14
5.11 Gummihüllen, Filterplatten und Filtrierpapiere	15
5.11.1 Gummihüllen	15
5.11.2 Filterplatten	15
5.11.3 Filtrierpapier	15
5.12 Geräte zur Herstellung der Probekörper und zum Einbau in die Druckzelle	15
5.12.1 Probekörper aus Proben in einem Entnahmestutzen oder Ausstechzylinder	15
5.12.2 Standfeste Probekörper	15
5.12.3 Nichtstandfeste Probekörper	16
5.12.4 Gemeinsame Geräte für die Herstellung standfester und nicht standfester Probekörper	17
6 Proben	17
6.1 Art	17
6.2 Abmessungen	17
6.3 Herstellung der Probekörper	18
6.3.1 Allgemeines	18
6.3.2 Standfeste Probekörper	19
6.3.3 Nichtstandfeste, bindige Probekörper	20
6.3.4 Probekörper aus aufbereiteten Böden	21
6.3.5 Feststellen der Abmessungen und Masse des Probekörpers und des Wassergehalts	21
6.4 Einbau in die Druckzelle	21
6.4.1 Vorbereiten des Geräts	21
6.4.2 Standfeste bindige Probekörper	21
6.4.3 Nichtstandfeste bindige Probekörper	21
6.4.4 Nichtbindige Probekörper	22
7 Durchführung	22
7.1 Allgemeines	22
7.2 Sättigungsvorgang	22
7.2.1 Höhe des Sättigungsdrucks	22
7.2.2 Sättigung bei offener Drainageleitung vor der Konsolidation	23
7.2.3 Sättigung bei offener Drainageleitung nach der Konsolidation	23
7.2.4 Sättigung bei geschlossener Drainageleitung	24
7.2.5 Prüfung der Dichtheit der Gummihülle und des Porenwasserdruckmesssystems	24

7.2.6	Prüfung der Wassersättigung	24
7.3	Konsolidationsvorgang	24
7.4	Abschervorgang	25
7.4.1	Allgemeines	25
7.4.2	Konsolidierter, dränkter Versuch (D-Versuch)	26
7.4.3	Konsolidierter undränkter Versuch (CU-Versuch)	29
7.4.4	Konsolidierter, dränkter Versuch mit konstant gehaltenem Volumen (CCV-Versuch)	33
7.4.5	Unkonsolidierter, undränkter Versuch (UU-Versuch)	33
8	Darstellung der Versuchsergebnisse	35
9	Anwendungsbeispiele	36
9.1	Konsolidierter, dränkter Versuch (D-Versuch)	36
9.1.1	Allgemeine Angaben	36
9.1.2	Sättigung und Konsolidation	36
9.1.3	Abschervorgang	37
9.1.4	Darstellung der Ergebnisse	41
9.2	Konsolidierter, undränkter Versuch (CU-Versuch)	41
9.2.1	Allgemeine Angaben	41
9.2.2	Sättigung und Konsolidation	41
9.2.3	Abschervorgang	42
9.2.4	Darstellung der Ergebnisse	43
9.3	Konsolidierter dränkter Versuch mit konstant gehaltenem Volumen (CCV-Versuch)	43
9.3.1	Allgemeine Angaben	43
9.3.2	Sättigung und Konsolidation	44
9.3.3	Abschervorgang	44
9.3.4	Darstellung der Ergebnisse	46
9.4	Unkonsolidierter, undränkter Versuch (UU-Versuch)	47
9.4.1	Allgemeine Angaben	47
9.4.2	Abschervorgang	48
9.4.3	Darstellung der Ergebnisse	48

Bilder

Bild 1	— Spannungen am Probekörper	7
Bild 2	— Flächenkorrektur für die Spannungsermittlung	8
Bild 3	— Schema einer Druckzelle mit Druckkappe und Sockel	11
Bild 4	— Schema einer Versuchsanordnung	12
Bild 5	— Schema der Vorrichtung zum Ausschneiden von nichtstandfesten Probekörpern	18
Bild 6	— Schema des Führungsgestells zum Einbau nichtstandfester Probekörper in die Druckzelle	20
Bild 7	— Beispiel einer Zeit-Volumenänderungslinie; Ermittlung von t_{100} zur Bestimmung der höchstzulässigen axialen Vorschubgeschwindigkeit	25
Bild 8	— Beispiel einer Serie von D-Versuchen	28
Bild 9	— Beispiel einer Serie von D-Versuchen; Spannungspfade im $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$, $(\sigma_1' + \sigma_3')/2$ -Diagramm	29
Bild 10	— Beispiel einer Serie von CU-Versuchen	32
Bild 11	— Auswertung der Serie von CU-Versuchen von Bild 10 im $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$, $(\sigma_1' + \sigma_3')/2$ -Diagramm, Grenzbedingung als Umhüllende der Zustände mit größtem Spannungsverhältnis	32
Bild 12	— Beispiel einer Serie von UU-Versuchen	34

Bild 13 — Zeit-Volumenänderungslinie für den Probekörper 1 bei der Laststufe $\sigma_3 - u_0 = 100 \text{ kN/m}^2$ (t im Wurzel-Maßstab).....	39
Bild 14 — Beispiel einer Serie von CCV-Versuchen, Porenwasserdruckänderungen Δu beim Abscheren unter Regelung des Zellendrucks	45
Bild 15 — Beispiel einer Serie von CCV-Versuchen, σ'_3, ε_1 - Diagramm	46
Bild 16 — Beispiel einer Serie von CCV-Versuchen, $(\sigma_1 - \sigma_3)/2, \varepsilon_1$ - Diagramm	46
Bild 17 — Beispiel einer Serie von CCV-Versuchen, $(\sigma_1 - \sigma_3)/2, (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ -Diagramm	47

Tabellen

Tabelle 1 — Bestandteile der Normbezeichnung	9
Tabelle 2 — Durchlässigkeitsbeiwerte von Filterplatten für verschiedene Böden	15
Tabelle 3 — Sättigungsdruck u_0 in Abhängigkeit von der Sättigungszahl S_r	23
Tabelle 4 — Axiale Vorschubgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Plastizitätszahl für die Normalprobe mit 10 cm^2 Querschnitt und $h_0 = 7,2 \text{ cm}$	27
Tabelle 5 — Beispiel einer Serie von D-Versuchen, Zellendrücke, Anfangs- und Endwassergehalte	36
Tabelle 6 — Sättigung und Konsolidation bei einem D-Versuch, Beispiel.....	37
Tabelle 7 — Abschervorgang bei einem D-Versuch, Beispiel 9.1, Versuch 4	40
Tabelle 8 — Abschervorgang bei einem CU-Versuch, Beispiel.....	42
Tabelle 9 — Beispiel einer Serie von CCV-Versuchen, Anfangszellendrücke, Anfangs- und Endwassergehalte	44
Tabelle 10 — Abschervorgang bei einem CCV-Versuch (Versuch Nr. 4).....	45
Tabelle 11 — Abschervorgang bei einem UU-Versuch, Beispiel.....	48

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-05-03 AA „Baugrund; Laborversuche“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. erarbeitet.

DIN 18137 *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Scherfestigkeit* besteht aus:

- *Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen*
- *Teil 2: Triaxialversuch*
- *Teil 3: Direkter Scherversuch*

Änderungen

Gegenüber DIN 18137-2:1990-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Bild 7 wurde neu gestaltet;
- b) das Beispiel für einen D-Versuch wurde erneuert;
- c) ein Beispiel für einen CCV-Versuch wurde neu aufgenommen;
- d) die übrigen Beispiele wurden inhaltlich überarbeitet;
- e) die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 18137-2: 1983-04, 1990-12

1 Anwendungsbereich

Der Triaxialversuch wird im Erd- und Grundbau angewendet.

Diese Norm gilt für die Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden durch Triaxialversuche an zylindrischen Probekörpern. Die Ergebnisse dienen als Ausgangsgrößen für erdstatische Berechnungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 862, *Messschieber — Anforderungen, Prüfung*

DIN 18137-1, *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben — Bestimmung der Scherfestigkeit — Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen*

DIN 18196, *Erd- und Grundbau — Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke*

DIN 51818, *Schmierstoffe — Konsistenz-Einteilung für Schmierfette — NLGI-Klassen*

DIN EN 1997-2, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

DIN EN ISO 14688-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

DIN EN ISO 22475-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach DIN 18137-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

Triaxialversuch

zylinder- und axialsymmetrischer Druckversuch an homogenen kreiszylindrischen Probekörpern, wobei die radialen Hauptspannungen $\sigma_2 = \sigma_3$ durch Flüssigkeitsdruck (Zellendruck), die axiale Hauptspannung durch einen verschieblichen Stempel aufgebracht werden.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 1.

ANMERKUNG 2 Im Regelfall ist die axiale Hauptspannung σ_1 die betragsmäßig größte Hauptspannung.

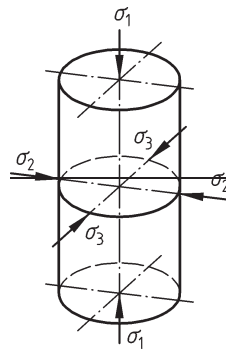


Bild 1 — Spannungen am Probekörper

3.2

Konsolidationsvorgang

Versuchsabschnitt vor dem Abschervorgang, bei dem der Probekörper unter konstanter totaler Spannung konsolidiert

ANMERKUNG Diese Norm beschreibt als Regelfall eine Konsolidation unter einem hydrostatischen (isotropen) Spannungszustand, bei dem $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_c$ ist. Eine Konsolidation unter anisotropem Spannungszustand mit $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_c$ kann bei D- und CU-Versuchen (siehe 3.7 und 3.8) an normal konsolidierten oder leicht überkonsolidierten Böden sinnvoll sein. Der Abschervorgang (siehe 3.4) wird je nach Versuchsart mit oder ohne Konsolidationsvorgang durchgeführt.

3.3

Rekonsolidation

Konsolidation im Triaxialversuch unter einem effektiven Spannungszustand, der im Baugrund vor Entnahme der Proben geherrscht hat

ANMERKUNG Rekonsolidation dient zum Ausgleich von Probestörungen.

3.4

Abschervorgang

Teil des Versuchs, bei dem durch axiale Stauchung mit konstanter Geschwindigkeit (Verformungsgeschwindigkeit) unter konstanter totaler Radialspannung $\sigma_2 = \sigma_3$ der Grenzzustand (Bruch) des Probekörpers herbeigeführt wird

ANMERKUNG 1 Siehe DIN 18137-1.

ANMERKUNG 2 In Sonderfällen kann der Grenzzustand auch durch Verminderung der Radialspannung $\sigma_2 = \sigma_3$ bei konstanter Axialspannung σ_1 oder durch Verminderung der Axialspannung σ_1 bei konstanter Radialspannung $\sigma_2 = \sigma_3$ erzeugt werden.

3.5

axiale Stauchung

ε_1

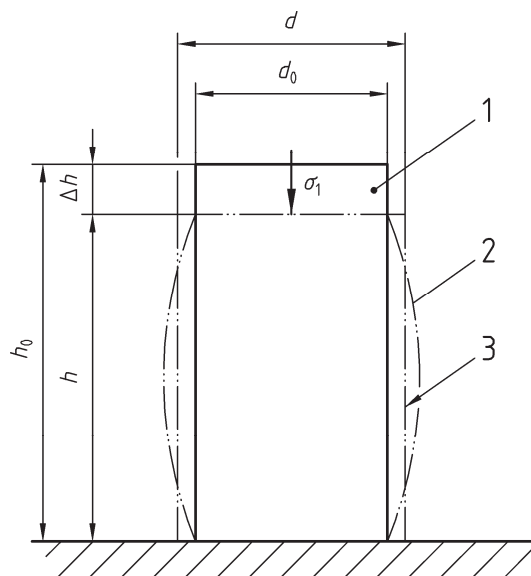
auf die Anfangshöhe h_0 vor dem Abschern bezogene Zusammendrückung des Probekörpers

$$\varepsilon_1 = \Delta h / h_0 \quad (1)$$

Dabei ist

$\Delta h = h_0 - h$ siehe Bild 2;

h die momentane Höhe des Probekörpers.



Legende

- 1 Ausgangsform des Probekörpers
- 2 Form nach der Stauchung
- 3 rechnerische Annahme

Bild 2 — Flächenkorrektur für die Spannungsermittlung

3.6

axiale Stauchungsgeschwindigkeit

$$\dot{\varepsilon}_1$$

Änderung der Stauchung mit der Zeit

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{d(\Delta h / h_0)}{dt} = \frac{d(\Delta h)}{dt} \cdot \frac{1}{h_0} \quad (2)$$

3.7

konsolidierter dränkter Triaxialversuch

D-Versuch

Triaxialversuch, bei dem der Probekörper konsolidiert und danach dränkter abgesichert wird

3.8

konsolidierter, undränkter Versuch mit Messung des Porenwasserdrucks

CU-Versuch

Triaxialversuch, bei dem der Probekörper konsolidiert und danach undränkter unter Messung und Berücksichtigung des Porenwasserdrucks abgesichert wird.

3.9

unkonsolidierter, undränkter Versuch ohne Messung des Porenwasserdrucks

UU-Versuch

Triaxialversuch, bei dem der Probekörper ohne vorherige Konsolidation und ohne Messung des Porenwasserdrucks undränkter abgesichert wird

3.10**konsolidierter, dräniertes Versuch mit konstant gehaltenem Volumen****CCV-Versuch**

Triaxialversuch, bei dem der Probekörper konsolidiert und dann undränniert unter durch Regelung des Zellen-drucks konstant gehaltenem Porenwasserdruck abgesichert wird

ANMERKUNG Je nach Versuchsart werden unterschiedliche Scherparameter erhalten; CU- und CCV-Versuche führen zum gleichen Ergebnis, siehe DIN 18137-1.

3.11**Sättigungsdruck beim Triaxialversuch**

ein dem Porenwasserdrucksystem und dem Zellen-druck σ_3 gleichzeitig aufgeprägter Überdruck u_0 , der zur möglichst weitgehenden Sättigung der Probe dient

ANMERKUNG Siehe DIN 18137-1, Der Überdruck ist dem totalen hydrostatischen Druck $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ aufzuprägen; bei der Gerätebauweise nach dieser Norm wird dies durch Erhöhung des Zellen-druckes σ_3 erreicht.

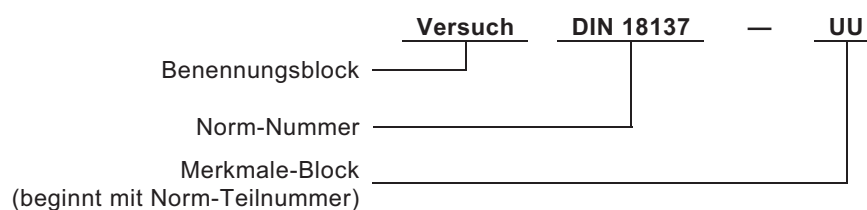
4 Bezeichnung

Folgende Bestandteile ergeben die Bezeichnung dieser Norm.

Tabelle 1 — Bestandteile der Normbezeichnung

Bestandteil der Normbezeichnung	Angabe in dieser Norm
Benennungsblock	Versuch
Identifizierungsblock	
Norm-Nummer	DIN 18137-2
Merkmale	konsolidierter dräniertes Triaxialversuch (D) konsolidierter, undränniertes Versuch mit Messung des Porenwasser-drucks (CU) unkonsolidierter, undränniertes Versuch ohne Messung des Porenwasser-drucks (UU) konsolidierter, dräniertes Versuch mit konstant gehaltenem Volumen (CCV)

BEISPIEL Bezeichnung eines Triaxialversuchs für den unkonsolidierten, undrännierten Versuch (UU):



5 Geräte

5.1 Allgemeines

Die Geräte dienen zur Ermittlung der Scherfestigkeit des Bodens mit oder ohne Berücksichtigung von Porenwasserdruck sowie zur Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts (siehe DIN 18130-1) und der Verformungseigenschaften des Bodens.

ANMERKUNG Die Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts und der Verformungseigenschaften im Triaxialgerät wird in dieser Norm nicht behandelt.

Das Triaxialgerät setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen, die zu Funktionsgruppen zusammengesaltet werden.

Die unter Flüssigkeitsdruck stehenden Teile (z. B. Druckzelle, Leitungen, Hähne) müssen für einen Druck $\max \sigma_3 = \max (\sigma_c + u_0)$ ausgelegt sein. Der Höchstdruck ist am Gerät für den Benutzer deutlich sichtbar anzugeben.

5.2 Druckzelle

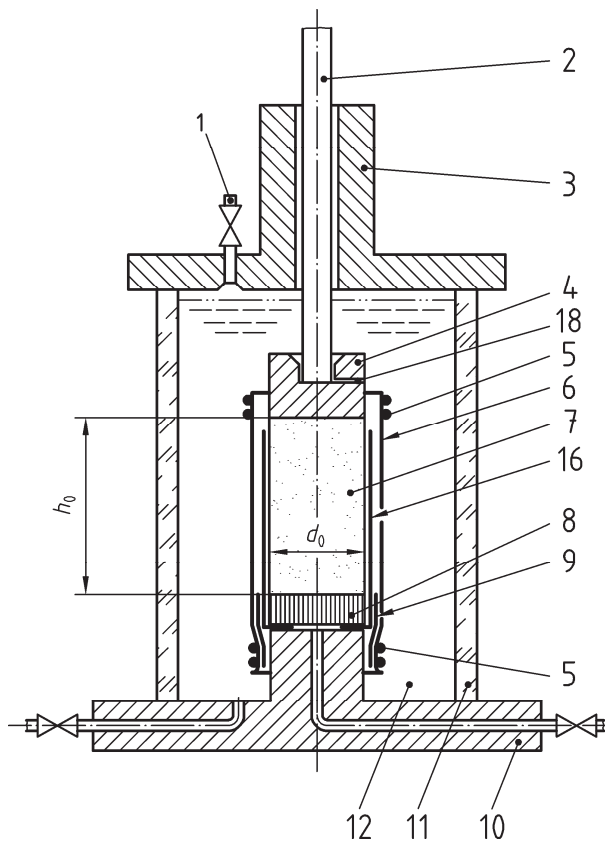
Die Maße der Druckzelle, die den Probekörper umgibt, müssen den Maßen der Probekörper (siehe 6.2) angepasst sein (siehe Bild 3). Die Druckzelle muss ausreichend groß sein, um die nach 7.4 zulässige Verformung des Probekörpers zu ermöglichen.

Die Druckzelle besitzt Vorrichtungen zum Ausführen einer axialen Verformung bzw. Aufbringen einer axialen Last. Diese Vorrichtungen müssen so konstruiert sein, dass eine Verdrehung der zur Probekörperachse senkrechten Probekörper-Endflächen während des Abscherens verhindert wird (siehe z. B. Bild 3). Die Druckzelle muss so konstruiert sein, dass nach ihrem Zusammenbau die Achsen von Stempel und Sockel übereinstimmen.

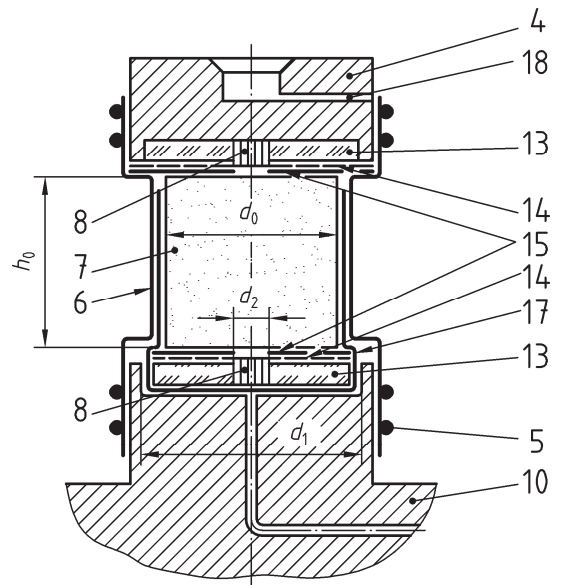
Die Druckzelle enthält Anschlüsse für die Zu- und Ableitung der Zellenflüssigkeit, für die Entlüftung der Zelle und zur Dränage bzw. zur Messung des Porenwasserdrucks (siehe Bild 4).

Als Zellenflüssigkeit wird in der Regel entlüftetes Leitungswasser verwendet.

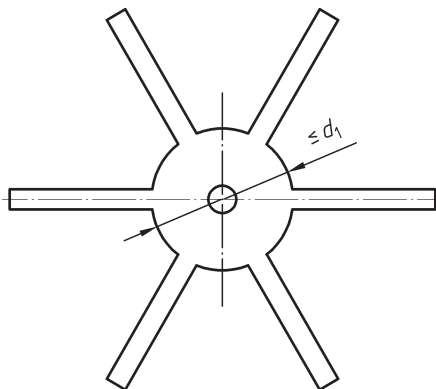
Sollen über die Zellenflüssigkeit Volumenänderungsmessungen durchgeführt werden, so muss sichergestellt sein, dass diese Messungen nicht über die Fehlergrenze nach 5.9 hinaus durch andere Einflüsse, z. B. Temperaturänderungen, elastische Verformungen und Kriechverformungen der Zelle, Leckagen und Wasseraufnahmen durch den Zellenwerkstoff verfälscht werden.



a) Anordnung für schlanke Probekörper
($h_0/d_0 = 2$ bis $2,5$)



b) Detailanordnung für gedrungene Probekörper
($h_0/d_0 \geq 0,8$)

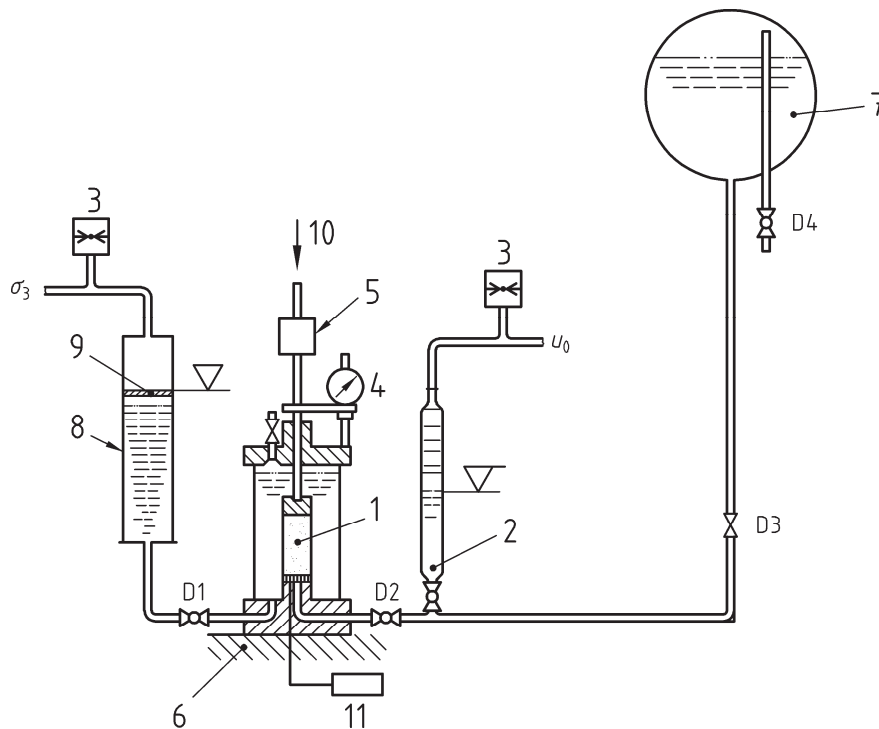


c) Schnittmuster für (17)

Legende

- 1 Entlüftung
- 2 Druckstempel
- 3 Kopfplatte
- 4 Druckkappe
- 5 Gummiringe
- 6 Gummihülle
- 7 Probekörper
- 8 Filterstein
- 9 Gummimanschette
- 10 Fußplatte mit Sockel
- 11 Zylinder
- 12 Zellenflüssigkeit
- 13 glatte Platten (z. B. Glas)
- 14 Schmierung
- 15 Gummiabdeckung
- 16 Filtrierpapierstreifen
- 17 Drainage aus Filtrierpapier
- 18 Bohrung für Druckausgleich

Bild 3 — Schema einer Druckzelle mit Druckkappe und Sockel



Legende

- 1 Probekörper
- 2 Standrohr
- 3 Überdruckmessgerät
- 4 Messuhr
- 5 Kraftmessgerät (kann auch als elektrische Kraftmessdose
im Stempel innerhalb der Zelle oder im Sockel angeordnet werden)
- 6 Auflager
- 7 Wasserbehälter
- 8 Wasserbehälter (Wasservorlage)
- 9 Flüssigkeitstrennschicht
- 10 axialer Vorschub
- 11 Porenwasserdruck-Messgerät
- D1 bis D4 Hähne

Bild 4 — Schema einer Versuchsanordnung

5.3 Druckkappe und Sockel

Druckkappe und Sockel bilden die festen Verbindungsteile zwischen Probekörper und Versuchsgerät. Der Sockel ist fest mit der Fußplatte der Zelle verbunden; die Druckkappe wird verdrehungsfrei und seitlich unverschiebbar am Stempel angeschlossen.

Zwischen Probekörper und dem Messsystem für den Porenwasserdruck ist eine Filterplatte auf dem Sockel anzuordnen (siehe Bild 3a) und b)).

ANMERKUNG Eine zweite Filterplatte ist an der Druckkappe für Entlüftung und Konsolidierung des Probekörpers zweckmäßig und für Versuche zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts notwendig.

Ausbildung der Kontaktflächen der Druckkappe und des Sockels für

- a) **schlanke Probekörper** mit rauen Endflächen: die Filterplatte überdeckt die gesamte Grundfläche des Probekörpers. Dieser liegt mit beiden Endflächen unmittelbar und vollständig an der Filterplatte bzw. an der Druckkappe an (siehe Bild 3a)). Zur Verbesserung der Dränage dürfen am Mantel des Probekörpers Filtrierpapierstreifen angebracht und unter die Filterplatte geführt werden (siehe Bild 3a) (Pos. Nr. 16)).
- b) **gedrungene Probekörper** (geschmierte Endflächen): je eine Filterplatte mit dem Durchmesser $d_2 = 0,1 d_0$ bis $0,2 d_0$ ist mittig in die Stirnfläche von Sockel und Druckkappe mit dem Durchmesser $d_1 = 1,1 d_0$ bis $1,15 d_0$ eingelassen (siehe Bild 3b)). Die Filterplatte in der Druckkappe dient zur oberen Zentrierung des Probekörpers; an ihrer Stelle darf auch ein spitzer Zentrierstift verwendet werden. Außerhalb der Filterplatten bestehen die Kontaktflächen aus druck- und kratzfestem Werkstoff mit glatter Oberfläche (z. B. Glasplatten von etwa 5 mm Dicke). Diese glatten Flächen werden mit einem Gummi nicht angreifenden Schmiermittel¹⁾ dünn bestrichen, welches unter den Spannungen σ'_1 nicht ausgepresst wird. Darauf wird eine Gummiabdeckung mit Aussparung im Bereich der Filterplatten gelegt. Glasplatte, Gummi und Schmiermittel dienen dazu, Reibung an den Endflächen des Probekörpers so weit wie möglich zu verhindern. Zur Verbesserung der Dränage sollte am Mantel des Probekörpers Filtrierpapier angebracht werden, das unter die Endplatte im Sockel hindurch zur unteren Filterplatte geführt wird (siehe Bild 3b) (Pos. Nr. 17)).

5.4 Konsolidationsstand

Im Konsolidationsstand werden die Druckzellen mit den Probekörpern zum Zwecke des Konsolidierens abgestellt. Dieser Stand muss möglichst erschütterungsfrei sein. Er muss die Möglichkeit bieten, alle zur Konsolidierung notwendigen Leitungen an die Druckzellen anzuschließen. Konsolidationsstand und Belastungseinrichtung dürfen auch identisch sein.

5.5 Gerät zur Erzeugung der axialen Belastung bzw. Verformung

Die Belastungsmaschine muss so beschaffen sein, dass der Druckstempel mit Wegsteuerung (konstante Stempelgeschwindigkeit) bewegt werden kann. Die möglichen Vorschubgeschwindigkeiten müssen zwischen etwa 2 % und 0,000 5 % der Probekörperhöhe je min liegen. Zwischen diesen beiden Grenzgeschwindigkeiten müssen mindestens 5 Geschwindigkeitsstufen möglich sein. Bei Regelung in Stufen sollte das Geschwindigkeitsverhältnis von Stufe zu Stufe möglichst konstant sein, z. B. 4 bzw. $\frac{1}{4}$.

Die Abweichung der über einen Weg von 0,1 mm gemittelten Geschwindigkeit darf höchstens 10 %, bei Geschwindigkeiten unter 0,005 mm/min höchstens 20 % des Sollwertes betragen.

Die Belastungsmaschine muss möglichst erschütterungsfrei aufgestellt sein und arbeiten. Dazu dürfen die Beschleunigungen am Sockel und am Druckstempel während des Vorschubs höchstens 1 m/s^2 betragen.

5.6 Geräte zur Erzeugung kontrollierten Wasserdrucks in der Zelle und im Probekörper

Für die Erzeugung der Drücke in der Druckzelle und im Probekörper sind Geräte erforderlich, die den Druck auf 1 % der wirksamen Konsolidationsspannung σ'_c halten können.

Für den Normalfall reichen Anlagen mit Drücken bis $1,5 \text{ MN/m}^2$ aus.

ANMERKUNG 1 Ist die effektive Konsolidationsspannung klein gegenüber dem Zellendruck, eignet sich zu ihrer Konstanthaltung ein Differenzdruckerzeuger zwischen den Wasserdrücken in der Zelle und im Probekörper.

1) Geeignet ist folgendes Schmiermittel: Ein Silikonfett auf der Basis Phenylmethylsilikon und Natrium-Komplexseifenverdicker, NLGI-Klasse 3 nach DIN 51818.

Wird als Zellenflüssigkeit Wasser benutzt, so muss dieses entlüftet sein, wenn der Probekörper von nur einer Gummihülle nach 5.11.1 umgeben ist. Wird dabei der Wasserdruck durch Druckluft über eine Wasservorlage erzeugt, so ist bei undrained Versuchen die Wasseroberfläche in der Vorlage gegen die Druckluft durch eine Trennschicht abzudichten (z. B. mittels einer schwimmenden Ölschicht). Wird der Probekörper durch eine doppelte Gummihülle mit einer Silikonölschicht als Zwischenlage abgedichtet, so darf die Zellenflüssigkeit Luft enthalten.

ANMERKUNG 2 Durch diese Abdichtungen wird verhindert, dass Druckluft in das Porenwasser diffundiert und dort wegen des Druckgefälles zwischen Zellenflüssigkeit und Porenwasser Luftblasen bildet. Die Luftblasen würden die Entwicklung von Porenwasserdruck beim Abscheren stark vermindern.

5.7 Geräte zur Messung von Kraft, Zellen- und Sättigungsdruck und Verformung

Die Axialkraft ist auf 1 % zu messen. Die Messung der Axialkraft darf durch Reibung an der Kolbenführung nicht verfälscht werden. Deshalb ist eine Messung der Axialkraft in der Zelle oder eine reibungsarme Kolbenführung vorzusehen, die auch gegenüber Exzentrizität und Querkraft unempfindlich ist. Die axiale Verformung muss auf 0,01 mm gemessen werden. Für Messungen des Zellen- und des Sättigungsdrucks sind Überdruckmessgeräte der Klasse 0,6 zu verwenden. Sämtliche Messgeräte, speziell die Überdruckmessgeräte, sind periodisch zu überprüfen.

5.8 Porenwasserdruckmessgerät

Der Kontakt zwischen dem Porenwasserdruckmessgerät und dem Porenwasser des Probekörpers wird über eine Filterplatte am Fuß des Probekörpers hergestellt. Voraussetzung für die einwandfreie Druckübertragung ist die volle Sättigung der Filterplatte und aller Leitungen und Hähne zwischen Filterplatte und Druckübertragungsstelle mit entlüftetem Wasser. Darüber hinaus müssen die Leitungen und Verbindungen im gegebenen Messbereich ausreichend volumenkonstant sein.

Der zu messende Druck wird mit einem elektrischen Druckgeber gemessen, wobei eine Volumenkompensation nicht erforderlich ist. Die gesamte systembedingte Volumenänderung ΔV einschließlich Geberverformung, bezogen auf das Probekörpervolumen V und den Porenwasserdruck u darf dabei nicht mehr als

$$\frac{\Delta V}{V \cdot u} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{kN} \text{ betragen.}$$

5.9 Volumenänderungsmessgeräte

Die Volumenänderung in drainierten Versuchen darf bei wassergesättigten Probekörpern anhand der ausgedrückten Wassermenge, bei nicht wassergesättigten Probekörpern anhand der Volumenänderung der Zellenflüssigkeit gemessen werden. Zur Messung sind in beiden Fällen Standrohre geeignet, an denen eine Volumenänderung von 0,4 ‰ des Probekörpervolumens deutlich ablesbar sein muss.

ANMERKUNG Bei Messung über die Volumenänderung der Zellenflüssigkeit ist eine gleichzeitige Kompensation der Verdrängung des Druckstempels beim Eindringen zweckmäßig.

5.10 Leitungssystem, Hähne, Versuchsanordnung

Ein Beispiel für die Anordnung der einzelnen Geräte in Verbindung mit dem Probekörper ist in Bild 4 dargestellt. Die Anordnung und Schaltung der Hähne muss so beschaffen sein, dass es möglich ist, von einer Versuchsphase zur anderen einen störungsfreien Übergang herzustellen.

5.11 Gummihüllen, Filterplatten und Filtrierpapiere

5.11.1 Gummihüllen

Die Gummihüllen (siehe Bild 3 (Pos. Nr. 6)) müssen wasserdicht sein und eine eindimensionale Bruchdehnung von mindestens 600 % aufweisen.

Die Gummidicke darf höchstens 1/150 des Probekörperdurchmessers betragen. Der Durchmesser der Gummihülle muss bis 3 % kleiner sein als der anfängliche Probekörperdurchmesser.

5.11.2 Filterplatten

Die Filterplatten müssen eine Druckfestigkeit von mindestens 6 MN/m² besitzen. Um die Filtersicherheit für verschiedene Böden sicherzustellen, sind Filter unterschiedlicher Durchlässigkeit notwendig (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 — Durchlässigkeitsbeiwerte von Filterplatten für verschiedene Böden

Boden	Durchlässigkeitsbeiwert
	k m/s
grobkörnige Böden	10^{-3} bis 10^{-4}
gemischtkörnige Böden	10^{-5} bis 10^{-6}
feinkörnige Böden	10^{-6} bis 10^{-7}

In allen Fällen muss der Durchlässigkeitsbeiwert der Filterplatte etwa um den Faktor 10 größer als derjenige des Bodens sein.

5.11.3 Filtrierpapier

Für die Seitenentwässerung von Probekörpern aus feinkörnigem Boden sind Filtrierpapiere nach DIN 53135 mit einem Gewicht von 80 g/m² und einer Wasseraufnahmefähigkeit von 200 g/m² zu verwenden.

5.12 Geräte zur Herstellung der Probekörper und zum Einbau in die Druckzelle

5.12.1 Probekörper aus Proben in einem Entnahmestutzen oder Ausstechzylinder

Zur Herstellung dieser Probekörper ist zusätzlich zu den Geräten nach 5.12.2 bzw. 5.12.3 das folgende Gerät erforderlich: Vorrichtung zum Herausdrücken bindiger Proben aus einem Entnahmestutzen oder Ausstechzylinder.

5.12.2 Standfeste Probekörper

Zum Ausschneiden von Probekörpern aus Sonderproben kohäsiver Böden und aus künstlich hergestellten standfesten Proben werden folgende Geräte verwendet:

5.12.2.1 Ausstechvorrichtung mit manuell oder maschinell geführtem Ausstechzylinder; der Ausstechzylinder muss dünnwandig sein (Flächenverhältnis C_a nach DIN EN ISO 22475-1 höchstens 10 %), Schneidendurchmesser 0,5 % bis 1 % kleiner als der Innendurchmesser des Ausstechzylinders; Schneidenwinkel 15° bis 30°; Schneidenbreite $\leq 0,2$ mm.

5.12.2.2 Fräsvorrichtung und Drehbank.