

DIN EN ISO 17892-9



ICS 13.080.20; 93.020

Entwurf

Einsprüche bis 2016-12-07
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO/TS 17892-9:2005-01;
vorgesehen als
teilweiser Ersatz für
DIN 18137-2:2011-04

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Laborversuche an Bodenproben –
Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten
Böden (ISO/DIS 17892-9:2016);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 17892-9:2016**

Geotechnical investigation and testing –
Laboratory testing of soil –
Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils
(ISO/DIS 17892-9:2016);
German and English version prEN ISO 17892-9:2016

Reconnaissance et essais géotechniques –
Essais de laboratoire sur les sols –
Partie 9: Essai en compression à l'appareil triaxial consolidé sur sols saturés
(ISO/DIS 17892-9:2016);
Version allemande et anglaise prEN ISO 17892-9:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-10-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 61 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17892-9:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-03 AA „Baugrund; Laborversuche (SpA zu CEN/TC 341/WG 6)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 17892-9 beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN ISO/TS 17892-9:2005-01 und teilweise DIN 18137-2:2011-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige technische und redaktionelle Überarbeitung;
- b) Überführung der Technischen Spezifikation in eine Norm.

Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden (ISO/DIS 17892-9:2016)

Reconnaissance et essais géotechniques — Essais de laboratoire sur les sols — Partie 9 : Essais en compression à l'appareil triaxial consolidés sur sols saturés (ISO/DIS 17892-9:2016)

Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 9: Consolidated triaxial compression tests on water saturated soils (ISO/DIS 17892-9:2016)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole	9
5 Versuchsgeräte	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Triaxialzelle	13
5.3 Membran	13
5.4 Filterplatten	13
5.5 Filterpapier	14
5.6 Drucksysteme	14
5.7 Belastungseinrichtung	14
5.8 Messgeräte	14
5.8.1 Kraftmesseinrichtung	14
5.8.2 Druckmesseinrichtungen	15
5.8.3 Aufnehmer zur Messung der vertikalen Verformung	15
5.8.4 Volumenänderungs-Messgerät	15
5.9 Zellen- und Gegendruck-Flüssigkeiten	15
5.10 Hilfsgeräte	15
6 Versuchsdurchführung	16
6.1 Allgemeine Anforderungen und Vorbereitung der Versuchsgeräte	16
6.2 Herstellung von Probekörpern	16
6.3 Sättigung von Probekörpern	17
6.3.1 Sättigung	17
6.3.2 Aufbringen des Zellen- und Gegendrucks	18
6.3.3 Überprüfung der Sättigung	18
6.4 Isotrope Konsolidation (CIU- und CID-Versuche)	19
6.5 Anisotrope Konsolidation (CAU- und CAD-Versuche)	19
6.6 Ende der Konsolidation	19
6.7 Abscheren	20
6.7.1 Allgemeines	20
6.7.2 CIU- und CAU-Versuch	20
6.7.3 Dränierete Versuche (CID und CAD)	21
6.8 Ausbau	21
7 Versuchsergebnisse	21
7.1 Dichte, Trockendichte und Wassergehalt	21
7.2 Berechnung der Versuchsparameter	22
7.2.1 Falls die Höhe des Probekörpers nach der isotropen Konsolidation H_c nicht gemessen wird, sollte diese nach Gleichung (3) abgeschätzt werden:	22
7.2.2 Korrigierte Querschnittsfläche:	22

7.2.3	Korrektur für die Gummihülle	22
7.2.4	Korrektur für die Filterstreifen	22
7.2.5	Totale Vertikalspannung:.....	23
7.2.6	Wirksame Vertikalspannung:.....	23
7.2.7	Totale Horizontalspannung:.....	23
7.2.8	Wirksame Horizontalspannung:.....	23
7.2.9	Änderung des Porenwasserdrucks:.....	24
7.2.10	Vertikaldehnung:.....	24
7.2.11	Vertikaldehnung während des Abscherens:	24
7.2.12	Volumetrische Verformung:.....	24
7.2.13	Volumetrische Verformung während des Abscherens:.....	24
8	Versuchsbericht	24
8.1	Obligatorische Angaben.....	24
8.2	Graphische Darstellung.....	25
8.3	Optionale Angaben.....	26
Anhang A (normativ) Kalibrierung, Instandhaltung und Überprüfungen		27
A.1	Allgemeine Anforderungen	27
A.2	Umgebungsbedingungen	27
A.3	Versuchsgeräte.....	28
A.3.1	Membran	28
A.3.2	Filterplatten	28
A.3.3	Verformung des Versuchsgerätes	28
A.3.4	Belastungseinrichtung	28
A.3.5	Messeinrichtungen	28
Anhang B (informativ) Zusätzliche Berechnungen.....		30
B.1	Wirksame Scherparameter.....	30
Literaturhinweise.....		32

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17892-9:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 17892-9:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 17892-9:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 182 „Geotechnics“.

ISO 17892 besteht unter dem allgemeinen Titel *Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil* aus folgenden Teilen:

- *Part 1: Determination of water content*
- *Part 2: Determination of bulk density*
- *Part 3: Determination of particle density*
- *Part 4: Determination of particle size distribution*
- *Part 5: Incremental loading oedometer test*
- *Part 6: Fall cone test*
- *Part 7: Unconfined compression test*
- *Part 8: Unconsolidated undrained triaxial test*
- *Part 9: Consolidated triaxial compression tests*
- *Part 10: Direct shear tests*
- *Part 11: Permeability tests*
- *Part 12: Determination of liquid and plastic limits*

Einleitung

Dieses Dokument gilt für einen internationalen Bereich der Geotechnik, der zuvor noch nicht genormt wurde. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Dokument die gängige weltweite Praxis wiedergibt, und dass bedeutende Unterschiede zu nationalen Dokumenten nicht bestehen. Das Dokument beruht auf internationaler Praxis (siehe [1]).

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren für konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden fest.

Diese Internationale Norm gilt für die im Labor durchgeführte Bestimmung der triaxialen Scherfestigkeit unter Kompressionsbelastung innerhalb des Anwendungsbereichs geotechnischer Erkundungen.

Der zylindrische Probekörper, der aus ungestörtem, nachverdichtetem, aufbereitetem oder aufbereitetem und konsolidiertem Boden bestehen kann, wird einem isotropen oder anisotropen Spannungszustand unter dränierten Bedingungen ausgesetzt und anschließend unter undränierten oder dränierten Bedingungen abgesichert. Der Versuch ermöglicht die Bestimmung von Scherfestigkeit, Beziehungen zwischen Spannung und Dehnung und von wirksamen Spannungspfaden. Sämtliche Spannungen und Dehnungen sind als positive numerische Werte bei der Kompression angegeben.

Besondere Verfahren wie:

- a) Versuche mit geschmierten Endflächen;
- b) Mehrstufenversuche;
- c) Versuche, bei denen die Querdehnungs-Konsolidation null (K_0) ist;
- d) Versuche mit lokaler Messung der Verformungen oder des Porenwasserdrucks;
- e) Versuche ohne Gummihülle;
- f) Extensionsversuche;
- g) Abscheren mit veränderlichem Zellendruck;
- h) Abscheren bei konstantem Volumen

werden in dieser Norm nicht vollständig behandelt. Allerdings können diese spezifischen Versuche auf allgemeine Verfahren verweisen, die in dieser Norm beschrieben sind.

ANMERKUNG Dieses Dokument erfüllt die Anforderungen an konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche für geotechnische Erkundung und Untersuchung nach EN 1997-1 und EN 1997-2.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

ISO 14688-1, *Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 1: Identification and description*

ISO 17892-1, *Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 1: Determination of water content*

ISO 17892-2, *Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 2: Determination of bulk density*

ISO 17892-3, *Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil — Part 3: Determination of particle density*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

CIU-Versuch

isotrop konsolidierter undrännierter Versuch

3.2

CAU-Versuch

anisotrop konsolidierter undrännierter Versuch

3.3

CID-Versuch

isotrop konsolidierter drännierter Versuch

3.4

CAD-Versuch

anisotrop konsolidierter drännierter Versuch

3.5

Porenwasserdruck

Wasserdruck in den Poren innerhalb des Probekörpers

3.6

Gegendruck (Sättigungsdruck)

Druck, um den der Zellen- und Porenwasserdruck vor dem Abscheren erhöht wird, um eine Sättigung während des Abscherens sicherzustellen

3.7

Zellendruck

auf die Zellenflüssigkeit aufgebracht Druck

3.8

Deviatorspannung

Differenz zwischen der totalen Vertikalspannung und der totalen Horizontalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers

3.9

wirksame Spannung

Differenz zwischen der totalen Spannung und dem Porenwasserdruck, in mittlerer Höhe des Probekörpers

3.10

Bruchzustand

Spannungs- oder Verformungszustand, bei dem eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- Höhepunkt der Deviatorspannung;
- Höhepunkt der wirksamen Spannung, d. h. das Verhältnis zwischen der Vertikalspannung und der Horizontalspannung;
- ein festgelegtes Verformungskriterium, z. B. 10 % Vertikalverformung;
- andere Festlegungen (falls erforderlich).

4 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole.

A	Anfangsquerschnittsfläche des Probekörpers
A_{cor}	Querschnittsfläche des Probekörpers zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Abscherens
a	Querschnittsfläche des Stempels, falls ein externer Kraftaufnehmer verwendet wird. Wenn ein interner Kraftaufnehmer verwendet wird, ist a gleich null
B	Koeffizient des Porenwasserdrucks, d. h. die Verhältniszahl des Porenwasserdruckanstiegs D_w , der sich aus der Zellendruckerhöhung $D_{\sigma c}$ ergibt, unter undrännierten Bedingungen
D_c	Durchmesser des Probekörpers am Ende der Konsolidation
D_m	innerer Anfangsdurchmesser der Gummihülle (bevor sie auf die Probe gesetzt wird)
E_m	Elastizitätsmodul der Gummihülle bei Zug
F	Faktor, der vom Typ des Versuchs und den Drainagebedingungen abhängig ist, wie in Tabelle 1 angegeben
f	Faktor der Beziehung der Vertikaldehnung zur volumetrischen Verformung des Probekörpers Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert von f ist üblicherweise 1/3 für homogene Böden mit isotropen Spannungen, für anisotrope Böden können jedoch andere Werte angemessen sein.
H_c	Höhe des Probekörpers am Ende der Konsolidation
H_i	Anfangshöhe des Probekörpers
H	Abstand von der Oberkante der Druckkappe zur Mitte des Probekörpers
K_{fp}	Last, die (bei voller Mobilisierung) von dem Filterpapier übernommen wird, welches eine Längeneinheit des Probenumfangs bedeckt
P	Ablesung der Vertikalkraft
P_{fp}	Anteil des Umfangs, der durch Filterpapier bedeckt ist
t_m	Anfangsdicke der unbelasteten Gummihülle
t_{50}	Zeit, die erforderlich ist, um 50 % der Primärkonsolidation zu erreichen
t_{100}	Zeit, die erforderlich ist, um 100 % der Primärkonsolidation zu erreichen
u	gesamter Porenwasserdruck, in mittlerer Höhe des Probekörpers
u_B	Gegendruck (d. h. der gesamte Porenwasserdruck bei Beginn des Abscherens)
V_i	Anfangsvolumen des Probekörpers

v_{max}	vertikale Stempelgeschwindigkeit der Belastungseinrichtung während des Abscherens
W	Gewichtskraft aus der Summe der Belastungsaufhängung (falls vorhanden), dem Stempel, der Druckkappe und der halben Probenmasse
y	Einheitsgewicht der Zellenflüssigkeit
ΔH	Änderung der Höhe des Probekörpers (wobei die Kompression ein positiver numerischer Wert ist)
ΔH_c	Vertikalverformung während der Konsolidation, einschließlich jedweder Vertikalverformung während der Sättigung (falls gemessen)
Δu	Änderung des Porenwasserdrucks, in mittlerer Höhe des Probekörpers
ΔV	Volumenänderung des Probekörpers (wobei eine Volumenverminderung ein positiver numerischer Wert ist)
ΔV_c	Volumenänderung am Ende der Konsolidation, einschließlich jedweder Volumenänderung während der Sättigung (falls gemessen)
$(\Delta\sigma_h)_m$	Korrektur der totalen Horizontalspannung für die Gummihülle
$(\Delta\sigma_v)_{fp}$	Korrektur der totalen Vertikalspannung für das Filterpapier
$(\Delta\sigma_v)_m$	Korrektur der totalen Vertikalspannung für die Gummihülle
ε	Dehnung (wobei die Kompression ein positiver numerischer Wert ist)
ε_{sv}	Vertikaldehnung beim Abscheren
$\varepsilon_{s\ vol}$	volumetrische Verformung beim Abscheren
ε_v	Vertikaldehnung
ε_{vf}	erwartete Vertikaldehnung im Bruchzustand (ausgedrückt als Verhältniszahl)
$(\varepsilon_v)_m$	Vertikaldehnung der Gummihülle (ausgedrückt als Verhältniszahl)
ε_{vol}	volumetrische Verformung
$(\varepsilon_{vol})_m$	volumetrische Verformung des von der Gummihülle umschlossenen Volumens (ausgedrückt als Verhältniszahl)
σ_c	Zellendruck
σ_h	totale Horizontalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers (siehe Anmerkung)
σ'_h	wirksame Horizontalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers (siehe Anmerkung)
σ'_{hc}	wirksame Horizontalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers, am Ende der Konsolidation

σ_v	totale Vertikalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers (siehe Anmerkung)
σ'_v	wirksame Vertikalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers (siehe Anmerkung)
$\sigma_v - \sigma_h$	Deviatorspannung
σ'_{vc}	wirksame Vertikalspannung, in mittlerer Höhe des Probekörpers, am Ende der Konsolidation

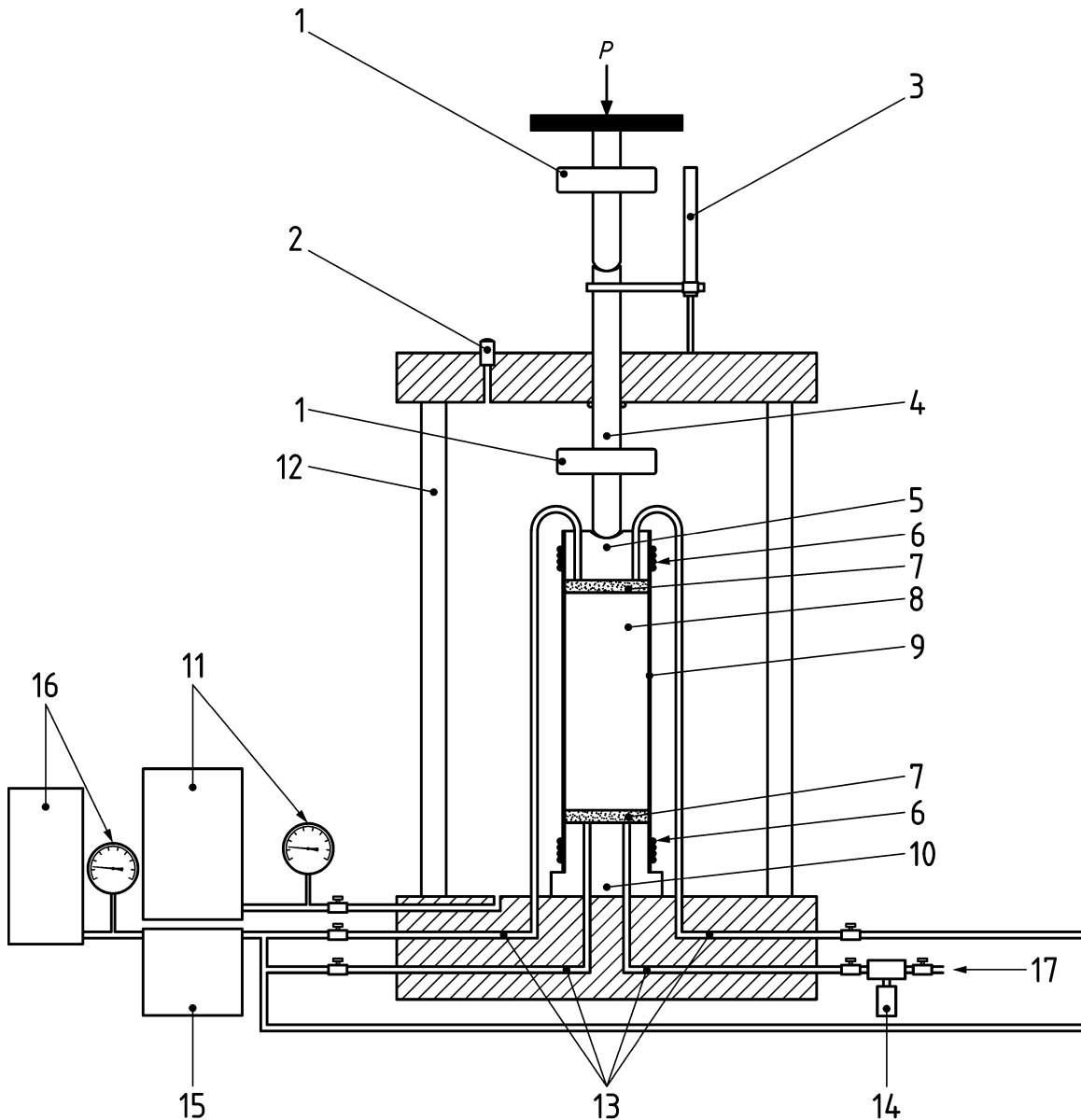
ANMERKUNG In dieser Norm sind wirksame Spannungen durch eine Primzahl angegeben. Vertikale und horizontale Richtungen sind durch die Suffixe „v“ bzw. „h“ angegeben. Durch diese Konvention ist sichergestellt, dass die Richtungen der Spannungen, die auf den Probekörper wirken, eindeutig und von ihrer relativen Größe unabhängig sind.

5 Versuchsgeräte

5.1 Allgemeines

Die Ausrüstung muss einer regelmäßigen Kalibrierung, Wartung und Überprüfung nach den Festlegungen in Anhang A unterzogen werden.

Eine schematische Darstellung eines typischen Gerätes für triaxiale Kompressionsversuche zeigt Bild 1.



Legende

- | | |
|--|--|
| 1 alternative Anordnungen für die Kraftmesseinrichtung | 10 Grundplatte mit Sockel |
| 2 Auslass für Luft | 11 Gerät zur Messung und Regelung des Zellendrucks |
| 3 Aufnehmer zur Messung der vertikalen Verformung | 12 Triaxialzelle |
| 4 Stempel | 13 Dränageleitungen |
| 5 Druckkappe | 14 Einrichtung zur Messung des Porenwasserdrucks |
| 6 Gummiringe | 15 Volumenänderungs-Messgerät |
| 7 Filterplatte | 16 Gerät zur Messung und Regelung des Gegendrucks |
| 8 Probekörper | 17 Spülvorrichtung |
| 9 Gummihülle (mit oder ohne seitliche Entwässerung) | P Vertikalkraft |

Bild 1 — Schematische Darstellung eines typischen Triaxialversuchsgerätes

5.2 Triaxialzelle

5.2.1 Die Triaxialzelle muss in der Lage sein, den Zellendruck als Summe aus Konsolidationsspannung und Gegendruck aufzunehmen, ohne dass große Mengen an Flüssigkeit aus der Zelle austreten. Sofern möglich, sollten die Zellen durchsichtig sein.

5.2.2 Die Dichtung des Lagers und die Führung des Stempels müssen so konstruiert sein, dass der Stempel gleichmäßig und mit minimaler Reibung läuft und seine Richtung beibehält.

5.2.3 Das Material der Druckkappe und des Sockels sowie der Verbindung zwischen Druckkappe und Druckstempel ist so auszuführen, dass ihre Verformungen vernachlässigbar klein sind gegenüber den Verformungen des Probekörpers. Im Falle steifer Böden muss die Vertikalverformung korrigiert werden, um die Anforderungen an das Versuchsgerät zu erfüllen.

5.2.4 Der Durchmesser der Druckkappe und des Sockels müssen genau so groß sein wie der Durchmesser des Probekörpers. Es können jedoch auch Probekörper mit kleinerem Durchmesser untersucht werden, vorausgesetzt, dass Hohlräume unter der Gummihülle an den Enden des Probekörpers vermieden werden können.

5.2.5 Die Vertikalspannung auf den Probekörper aus dem Gewicht der Druckkappe sollte 2 % der abgeschätzten undrained Scherfestigkeit oder 1 kPa nicht überschreiten, wobei der größere Wert maßgebend ist.

5.2.6 Die Hähne an den Drainageleitungen von den Filterplatten dürfen beim Schließen oder Öffnen in einem geschlossenen System zur Messung des gesättigten Porenwasserdrucks keine Druckänderung von mehr als 1 kPa auslösen. Alle Hähne müssen in der Lage sein, die aufgebrachten Drücke ohne Leckagen aufzunehmen. Sowohl die Druckkappe als auch der Sockel sollten vorzugsweise jeweils zwei Drainageleitungen haben, so dass die Filterplatten mit Wasser gespült werden können, nachdem die Probe eingebaut worden ist.

5.3 Membran

5.3.1 Der Probekörper ist mit einer elastischen Membran zu umgeben, die verhindert, dass Zellenflüssigkeit in den Probekörper eindringt. Membranen mit einem Elastizitätsmodul von etwa 1 400 kPa haben sich als geeignet erwiesen.

5.3.2 Eine Kombination aus Membran und seitlichen Filterstreifen, die gemeinsam eine Veränderung der Deviatorspannung im Bruchzustand von mehr als 10 % ergeben, sollte nicht verwendet werden (siehe 5.5, 7.2.3 und 7.2.4).

5.3.3 Wenn Gummiringe für den dichten Anschluss der Membran an der Druckkappe und am Sockel verwendet werden, so müssen ihre Maße und ihre elastischen Eigenschaften eine zuverlässige Dichtung sicherstellen.

5.3.4 Wenn Membranen aus Gummi verwendet werden, so sollten diese folgende Eigenschaften haben:

- der Durchmesser der ungedehnten Membran sollte zwischen 95 % und 100 % des Durchmessers des Probekörpers betragen (nachdem sie in Wasser gelagert wurde);
- die Dicke sollte nicht mehr als 1 % des Durchmessers des Probekörpers betragen.

5.4 Filterplatten

5.4.1 Filterplatten müssen biegesteif und korrosionsfest sein und eine höhere Druckfestigkeit aufweisen als die zu untersuchenden Böden.

5.4.2 Der Durchmesser der Filterplatten an den Enden des Probekörpers sollte gleich dem Durchmesser des Probekörpers sein. Die Filterplatten müssen ebene und glatte Oberflächen haben, und ihre Zusammendrückung muss vernachlässigbar klein gegenüber der Zusammendrückung des Probekörpers sein.

5.5 Filterpapier

5.5.1 Ein Filterpapier (oder ähnliches Material) darf zwischen den Probekörper und die Filterplatte gelegt werden, um zu verhindern, dass Feinmaterial in die Filterplatte eingeschleppt wird. Es darf nicht zu einer Reaktion des Filterpapiers mit dem Probekörper kommen. Für jeden Versuch ist neues Filterpapier zu verwenden.

5.5.2 Neue Filterstreifen (für die seitliche Entwässerung) dürfen ebenfalls verwendet werden, um die Dränage am Umfang bei Probekörpern mit geringer Durchlässigkeit zu verstärken. Diese können vertikal oder spiralförmig, d. h. in einem schiefen Winkel, ausgerichtet werden. Spiralförmige Filterstreifen werden vorzugsweise für Probekörper mit einer undranierten Scherfestigkeit unterhalb von 50 kPa verwendet.

5.5.3 Vertikal ausgerichtete Filterstreifen müssen gleichmäßig verteilt sein und dürfen nicht mehr als 50 % der radialen Fläche des Probekörpers bedecken. Spiralförmige Filterstreifen sind gleichermaßen zu verteilen, sollten in einem Winkel von 30° bis 45° zur vertikalen Strecke ausgerichtet sein und dürfen nicht mehr als 50 % der radialen Fläche des Probekörpers bedecken.

5.6 Drucksysteme

Die Einrichtungen für das Aufbringen von Druck auf die Zelle und auf das Gegendrucksystem müssen in der Lage sein, einen stabilen Druck konstant zu halten, entweder

- auf 1 kPa oder 1 % des Absolutdrucks, wobei der größere Wert maßgebend ist, oder
- auf 2 kPa oder 3 % der erforderlichen wirksamen Spannung, wobei der größere Wert maßgebend ist.

Wenn Versuche bei niedrigen wirksamen Spannungen durchgeführt werden, kann die erste Anforderung möglicherweise nicht erfüllt werden.

5.7 Belastungseinrichtung

5.7.1 Die Belastungseinrichtung muss in der Lage sein, den für den Versuch erforderlichen Bereich der vertikalen Verformungsgeschwindigkeiten zu erzeugen (siehe 6.7.2 und 6.7.3). Die tatsächliche Geschwindigkeit beim Aufbringen der Belastung bis zum Bruch darf nicht mehr als ± 10 % von den geforderten Werten abweichen. Der durch die Belastungseinrichtung erzeugte Vorschub muss gleichmäßig und erschütterungsfrei sein, so dass in den Versuchsergebnissen keine Abweichungen auftreten.

ANMERKUNG Für die meisten Versuche sind Belastungseinrichtungen mit einer Last im Bereich von 10 kN bis 50 kN ausreichend, die in der Lage sind, den Stempel mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten von 0,0005 mm/min bis 2 mm/min mit mindestens zehn unterschiedlichen konstanten Geschwindigkeiten zu bewegen.

5.7.2 Der Weg der Belastungseinrichtung muss größer sein als der für den Versuch geforderte Weg. In der Regel ist ein Wert von 30 % der Höhe des Probekörpers angemessen.

5.8 Messgeräte

5.8.1 Kraftmesseinrichtung

Die Fehlergrenze der Messeinrichtung für die Vertikalkraft, im Bereich von 20 % bis 100 % der Tragkraft der Einrichtung, muss 1 N oder 1 % des tatsächlichen Wertes entsprechen, wobei der größere Wert maßgebend ist. Während eines Versuchs sollte die Einrichtung unempfindlich gegenüber Änderungen der Horizontalkraft oder des Biegemoments sowie Änderungen der Temperatur oder des Zellendrucks sein, sofern die Leistung nicht ausreichend konstant ist, so dass der Einfluss korrigiert werden kann.

Die Tragkraft der Kraftmesseinrichtung sollte so gewählt werden, dass die Bruchkraft mindestens 20 % der Tragkraft beträgt.

ANMERKUNG Kraftmesseinrichtungen der Klasse 1 nach ISO 7500-1 erfüllen diese Anforderung an die Fehlergrenze.

5.8.2 Druckmesseinrichtungen

5.8.2.1 Die Aufnehmer für den Zellendruck und den Porenwasserdruck müssen in der Lage sein, den Zellendruck und den Porenwasserdruck auf 1 kPa oder 0,5 % des gesamten Bereichs der Messeinrichtung zu bestimmen, wobei der größere Wert maßgebend ist.

5.8.2.2 Für die Phase des Abscherens eines undrännierten Versuchs müssen die Messeinrichtung für den Porenwasserdruck und die zugehörigen Kopplungen ausreichend biegesteif sein, so dass die Volumenänderung vernachlässigbar ist (siehe Anhang A).

5.8.3 Aufnehmer zur Messung der vertikalen Verformung

Die Änderung der Höhe des Probekörpers ist auf 0,1 mm oder 0,1 % der Anfangshöhe des Probekörpers zu bestimmen, wobei der größere Wert maßgebend ist.

5.8.4 Volumenänderungs-Messgerät

Die Volumina von Wasser und von Luft, die in die Probe eindringen oder sie verlassen, sind auf mindestens 0,1 % des Anfangsvolumens des Probekörpers oder auf 0,1 cm³ zu bestimmen, wobei der größere Wert maßgebend ist.

5.9 Zellen- und Gegendruck-Flüssigkeiten

5.9.1 Als Zellenflüssigkeit sollte eine Flüssigkeit gewählt werden, die weder nennenswert durch die Membran in den Probekörper eindringt, noch selbst Porenwasser aus dem Probekörper durch die Membran extrahiert.

ANMERKUNG Entlüftetes Wasser entspricht in der Regel diesen Anforderungen.

5.9.2 Die Flüssigkeit, mit der die Filterplatten und das Filterpapier gesättigt bzw. durchspült werden, muss entlüftet sein. Häufig wird Leitungswasser verwendet. Unter Bedingungen, die die Ergebnisse beeinflussen können, darf jedoch Wasser mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung wie das Porenwasser des Probekörpers verwendet werden.

5.9.3 Die Zellenflüssigkeit und die zur Sättigung des Probekörpers verwendete Flüssigkeit sollten auf dieselbe Temperatur gebracht werden wie beim Versuch.

5.10 Hilfsgeräte

Die Hilfsgeräte bestehen aus:

- Waage, Fehlergrenze 0,01 g oder 0,1 % des Messwertes, wobei der größere Wert maßgebend ist;
- Uhr, ablesbar auf 1 s;
- Maximum-/Minimum-Thermometer, ablesbar auf 1 °C;
- Geräte zur Bestimmung des Wassergehalts.
- Die Geräte zur Herstellung von Probekörpern sind:
 - Schneide- und Zuschneidewerkzeuge (z. B. scharfes Messer, Seilsäge, Spatel, Bohrkronen, Bodenschneidegerät);
 - Schneidelineal mit Stahlkante, mit einer maximalen Abweichung von der Geradheit von 0,1 % der jeweiligen Länge;

- Anschlagwinkel oder Haltevorrichtung (z. B. Gehrungslade) oder geteilte Probenform, um sicherzustellen, dass eine Ebenheit mit Grenzabmaßen innerhalb von 0,5 % jedes Maßes eingehalten wird und dass rechte Winkel innerhalb von 0,5° des wahren Wertes liegen;
- Messschieber, analog oder digital, ablesbar auf 0,1 mm oder 0,1 % der gemessenen Länge, wobei der größere Wert maßgebend ist.

6 Versuchsdurchführung

6.1 Allgemeine Anforderungen und Vorbereitung der Versuchsgeräte

6.1.1 Die Probekörper müssen zylindrisch sein mit einem Durchmesser nicht kleiner als 35 mm und einer Höhe zwischen dem 1,8-fachen und 2,5-fachen Wert des Durchmessers. Das Größtkorn sollte 1/6 des Durchmessers des Probekörpers nicht überschreiten. Probekörper anderer Größen oder mit einer anderen Verhältniszahl zwischen Höhe und Durchmesser können mithilfe besonderer Verfahren untersucht werden.

6.1.2 Die Dränageleitungen und Hähne müssen vor jedem Versuch überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie nicht verstopft sind.

6.1.3 Membranen sollten vor ihrer Verwendung für mindestens 24 Stunden in Wasser eingetaucht werden. Die Membran muss an ihrer Innenseite frei von überschüssigem Oberflächenwasser sein, bevor sie auf den Probekörper gezogen wird.

6.1.4 Die Filterplatten müssen sauber und frei von Verstopfungen sein.

6.1.5 Vor jedem Versuch sicherstellen, dass an sämtlichen Versuchsgeräten keine Schäden sichtbar sind und der Stempel gleichmäßig läuft.

6.1.6 Wenn zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Versuchs Wasser aus der Zelle oder einer Wasserleitung austritt, muss der Versuch gestoppt, der Druck, falls erforderlich, aus dem undichten Teil abgelassen und die Leckage beseitigt werden, bevor der Versuch fortgeführt wird. Die Auswirkung der Leckage auf die Probe muss bewertet werden und, falls nachteilig, darf der Versuch als ungültig bewertet werden.

6.1.7 Das System darf auf Leckagen untersucht werden, bevor die Triaxialzelle aufgesetzt wird. Ein geringer Unterdruck (z. B. 10 kPa, aber nicht größer als die empfohlene kleine Hauptspannung) darf auf das Dränagesystem aufgebracht werden. Dann ist die Vakuumleitung zu schließen. Wenn das Vakuum in 2 min abfällt, sollten die Membran und die Dränageleitungen auf Leckagen untersucht und diese beseitigt werden.

6.2 Herstellung von Probekörpern

Die folgenden Verfahren gelten für ungestörte, nachverdichtete, aufbereitete sowie aufbereitete und konsolidierte Proben. Im Falle aufbereiteter und konsolidierter Proben und der Zugabe von Wasser sollte vor dem Verdichten ein Zeitraum von mindestens 16 Stunden zur Verfügung stehen, damit sich das Wasser gleichmäßig verteilt.

6.2.1 Ungestörte Proben werden vor dem Versuch untersucht und das am wenigsten gestörte Material wird ausgewählt. Nennenswerte Störungen im Probekörper sollten im Versuchsbericht festgehalten werden. Hochgradig gestörte Proben führen zu wenig aussagekräftigen Ergebnissen und sollten nicht für den Versuch herangezogen werden.

6.2.2 Dafür sorgen, dass der Wassergehalt des Probekörpers während der Herstellung konstant bleibt. Wenn der Herstellungsvorgang über einen Zeitraum von wenigen Minuten hinaus unterbrochen wird, ist der Probekörper in Plastikfolie einzuhüllen. Luftzirkulation, um den Probekörper herum, ist zu vermeiden.

6.2.3 Der Probekörper muss ausgestochen und auf die erforderlichen Maße zugeschnitten werden. Verformungen des Probekörpers vermeiden.

6.2.4 Die Endflächen des Probekörpers müssen eben und senkrecht zur Längsachse nach ISO 17892-2 sein. Furchen und Löcher in den Endflächen und der Seitenfläche des Probekörpers sollten durch weiteres Zuschneiden beseitigt werden, oder es sollte ein neuer Probekörper, falls verfügbar, gewählt werden. Anderenfalls Furchen oder Löcher, die $\frac{1}{6}$ des Durchmessers des Probekörpers nicht überschreiten, mit aufbereitetem Probenmaterial füllen. Furchen und Löcher an den Endflächen dürfen mit Material gefüllt werden, das mit der Zeit aushärtet und das kein Wasser an die Probe abgibt oder von der Probe aufnimmt.

6.2.5 Bei ungestörten Probekörpern aus Ton oder tonigen Böden ist ein Schwellen durch Wasseraufnahme aus den Filterplatten zu verhindern. Die bevorzugte Methode, um dies zu erreichen, besteht darin, den Probekörper mit trockenen Filterplatten einzubauen und sie mit Wasser zu fluten, und gleichzeitig eine Vertikalspannung und Horizontalspannung aufzubringen, die hoch genug sind, um ein Schwellen zu verhindern.

6.2.6 Probekörper dürfen im Labor hergestellt werden durch schichtweises Verdichten des Bodenmaterials in eine geteilte Probenform, in die innen eine Gummihülle eingelegt ist. Falls Wasser zugegeben wird, sollte vor dem Verdichten genügend Zeit zur Verfügung stehen, damit es sich gleichmäßig über die gesamte Bodenmasse verteilt. Um homogene Probekörper aus Sand zu erhalten, darf stufenweise verdichtet werden, wobei die unteren Schichten zunächst weniger verdichtet werden, da sie durch die Verdichtung der darauffolgenden Schichten nachverdichtet werden (en: under-compaction). Probekörper aus Sand können auch hergestellt werden, indem das Material in Luft oder unter Wasser 'eingeregnet' wird.

6.2.7 Probekörper aus grobkörnigem Material können nach dem Entfernen der geteilten Probenform stabilisiert werden, indem ein leichtes Vakuum (üblicherweise 10 kPa bis 20 kPa) aufgebracht wird, bis ein positiver Zellendruck in gleicher Größe aufgebracht ist.

6.2.8 Höhe, Durchmesser und Masse des Probekörpers werden mit dem Ausmessverfahren nach ISO 17892-2 bestimmt.

6.2.9 Die zu verwendende Gummihülle wird auf Schäden überprüft, die während des Versuchs zu einer Leckage führen können.

6.2.10 Der Probekörper mit dem Filterpapier(falls verwendet), der Gummihülle und den Gummiringen muss so in das Versuchsgerät eingebaut werden, dass er zwischen der Druckkappe und dem Sockel zentriert ist. Besonders darauf achten, dass sich der Probekörper beim Einbauvorgang so wenig wie möglich verformt. Sehr weiche Probekörper müssen möglicherweise eingebaut werden, ohne dass sie in jedweder Phase der Herstellung mit der Hand berührt werden.

6.2.11 Die Triaxialzelle fertigstellen.

6.3 Sättigung von Probekörpern

6.3.1 Sättigung

6.3.1.1 Damit der gemessene Porenwasserdruck einem Boden unter undrännierten Bedingungen beim undrännierten Abscheren entspricht und eine genaue Messung der Volumenänderungen beim drännierten Abscheren erreicht wird, sind die Filterplatten und das Filterpapier, das System zur Messung des Porenwasserdrucks und der Probekörper ausreichend zu sättigen.

6.3.1.2 Der Zellendruck ist zu erhöhen, um eine ausreichende wirksame Spannung auf den Probekörper aufzubringen, die ein Schwellen des Probekörpers verhindert, aber niedriger ist als die wirksame Spannung, die am Ende der Konsolidation benötigt wird.