

DIN EN ISO 22476-4

ICS 93.020

Mit DIN EN ISO
22476-5:2013-03 und
DIN EN ISO 22476-7:2013-03
Ersatz für
DIN 4094-5:2001-06

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Felduntersuchungen –****Teil 4: Pressiometerversuch nach Ménard (ISO 22476-4:2012);
Deutsche Fassung EN ISO 22476-4:2012**

Geotechnical investigation and testing –

Field testing –

Part 4: Ménard pressuremeter test (ISO 22476-4:2012);

German version EN ISO 22476-4:2012

Reconnaissance et essais géotechniques –

Essais en place –

Partie 4: Essai au pressiomètre de Ménard (ISO 22476-4:2012);

Version allemande EN ISO 22476-4:2012

Gesamtumfang 61 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 22476-4:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ (Sekretariat: Griechenland, ELOT) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnik“ erarbeitet (CEN-Lead).

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der Arbeitsausschuss NA 005-05-09 AA „Baugrund, Feldversuche“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN 4094-5:2001-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) DIN 4094-5 wurde auf DIN EN ISO 22476-4, DIN EN ISO 22476-5 und DIN EN ISO 22476-7 aufgeteilt.

Frühere Ausgaben

DIN 4094-5: 2001-06

Deutsche Fassung

Geotechnische Erkundung und Untersuchung —
Felduntersuchungen —
Teil 4: Pressiometerversuch nach Ménard (ISO 22476-4:2012)

Geotechnical investigation and testing —
Field testing —
Part 4: Ménard pressuremeter test (ISO 22476-4:2012)

Reconnaissance et essais géotechniques —
Essais en place —
Partie 4: Essai au pressiomètre Ménard
(ISO 22476-4:2012)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. November 2012 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole	7
4 Ausrüstung	9
4.1 Allgemeine Beschreibung	9
4.2 Pressiometer-Sonde	11
4.3 Druck-Volumen-Steuereinheit (CU)	16
4.4 Verbindungsleitungen	16
4.5 Eingepresste Flüssigkeit	16
4.6 Messen und Steuern	16
4.7 Elektronische Messwerterfassungsanlage	17
5 Versuchsdurchführung	17
5.1 Zusammenbau der Teile	17
5.2 Kalibrierung und Korrekturen	17
5.3 Pressiometer-Vorbohrung und Einbringen der Messsonde	17
5.4 Vorbereitung des Versuchs	18
5.5 Festlegen des Belastungsprogramms	19
5.6 Festlegen des Differenzdruckes	20
5.7 Aufweitung	20
5.8 Verfüllen der Vorbohrungen	21
5.9 Sicherheitsanforderungen	21
6 Versuchsergebnisse	21
6.1 Datenblatt und Ausdruck am Versuchsort	21
6.2 Korrigierte Pressiometerkurve	22
6.3 Berechnete Ergebnisse	23
7 Berichte	23
7.1 Allgemeines	23
7.2 Feldprotokoll	23
7.3 Untersuchungsbericht	24
Anhang A (normativ) Geometrische Merkmale von Pressiometer-Sonden	26
Anhang B (normativ) Kalibrierung und Korrekturen	29
Anhang C (normativ) Einbringen der Pressiometer-Sonde in den Baugrund	37
Anhang D (normativ) Ermitteln der Pressiometer-Parameter	45
Anhang E (normativ) Auflösung und Unsicherheiten	54
Anhang F (normativ) Untersuchungsberichte für Pressiometerversuche	55
Literaturhinweise	59

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 22476-5:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ erarbeitet.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2013, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2013 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

EN ISO 22476 besteht aus den folgenden Teilen unter dem Haupttitel *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen*:

- Teil 1: *Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck*
- Teil 2: *Rammsondierungen*
- Teil 3: *Standard Penetration Test*
- Teil 4: *Pressiometerversuch nach Ménard*
- Teil 5: *Versuch mit dem flexiblen Dilatometer*
- Teil 7: *Seitendruckversuch*
- Teil 9: *Flügelscherversuch*
- Teil 10: *Gewichtssondierung (Technische Spezifikation)*
- Teil 11: *Flachdilatometerversuch (Technische Spezifikation)*
- Teil 12: *Drucksondierungen mit mechanischen Messwertaufnehmern (CPMT)*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 22476 legt Anforderungen an die Ausrüstung, die Durchführung und die Berichte in Zusammenhang mit dem Pressiometerversuch nach Ménard fest.

ANMERKUNG 1 Dieser Teil von ISO 22476 erfüllt die Anforderungen an den Pressiometerversuch nach Ménard als Teil der geotechnischen Erkundung und Untersuchung nach EN 1997-1 und EN 1997-2.

Dieser Teil von ISO 22476 beschreibt das Verfahren zur Durchführung eines Pressiometerversuchs nach Ménard in natürlichen Böden, behandelten oder unbehandelten Aufschüttungen sowie Weichgestein, zur Anwendung entweder an Land oder vor der Küste.

Die Ergebnisse des Pressiometerversuchs nach diesem Teil von ISO 22476 sind für eine quantitative Bestimmung der Festigkeits- und Verformungsparameter von Boden geeignet. Sie können lithologische Angaben liefern. Sie können auch mit der direkten Erkundung (z. B. Probenahme nach ISO 22475-1) kombiniert oder mit weiteren *In-situ*-Versuchen verglichen werden (siehe EN 1997-2:2007, 2.4.1.4 (2)P, 4.1 (1)P und 4.2.3 (2)P).

Der Pressiometerversuch nach Ménard erfolgt durch radiale Ausdehnung einer in den Baugrund eingebrachten Messsonde aus drei Zellen (siehe Bild 1). Während des Einpressens des Flüssigkeitsvolumens in die Messsonde bewirkt das Aufdehnen der drei Zellen zunächst, dass der Außenmantel der Messsonde die Vorbohrungswandung berührt, und übt dann einen Druck auf diese aus, was schließlich zu einer Verdrängung des Bodens führt. Der ausgeübte Druck und die zugehörige Volumenzunahme der Messsonde werden gemessen und aufgezeichnet, um das Verhältnis von Belastung und Verformung des Bodens im Untersuchungszustand zu ermitteln.

Gemeinsam mit den verfügbaren Ergebnissen der Untersuchungen nach ISO 22476-1 oder zumindest mit der während der Durchführung des Pressiometerversuchs ermittelten Identifizierung und Beschreibung des Baugrunds nach ISO 14688-1 und ISO 14689-1 sind die nach diesem Teil von ISO 22476 erzielten Prüfergebnisse geeignet für die quantitative Bestimmung eines Bodenprofils, einschließlich des:

- Ménard-Pressiometer-Moduls, E_M ;
- Ménard-Pressiometer-Grenzdruckes, p_{LM} ; und
- Ménard-Pressiometerkriechdruckes, p_{fM} .

Dieser Teil von ISO 22476 bezieht sich auf eine Sonde, die traditionell als 60-mm-Messsonde der Bauart G beschrieben wird. Dieser Teil von ISO 22476 gilt für auf 50 m begrenzte Versuchstiefen und einen auf 5 MPa begrenzten Versuchsdruck.

ANMERKUNG 2 Der Pressiometerversuch nach Ménard wird auch mit Messsonden anderer Durchmesser bzw. mit anderen Bohrlochdurchmessern, wie nachfolgend angegeben, durchgeführt:

Sonde		Bohrlochdurchmesser mm	
Bezeichnung	Durchmesser mm	min.	max.
AX	44	46	52
BX	58	60	66
NX	70/74	74	80

Die beiden folgenden alternativen Messverfahren stehen zur Verfügung:

- Verfahren A: die Daten werden manuell aufgezeichnet;
- Verfahren B: die Daten werden automatisch aufgezeichnet.

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).

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

ISO 14689-1, *Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of rock — Part 1: Identification and description*

ISO 22475-1, *Geotechnical investigation and testing — Sampling methods and groundwater measurements — Part 1: Technical principles for execution*

ENV 13005:1999, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Pressiometer

gesamte Ausrüstung, die zur Durchführung eines Pressiometerversuchs nach Ménard angewendet wird, mit Ausnahme der Hilfsmittel, die zum Einbringen der Pressiometer-Sonde in den Baugrund erforderlich sind

ANMERKUNG 1 Ein Pressiometer besteht aus einer Pressiometer-Sonde, einer Druck-Volumen-Steuerereinheit, die als CU (en: control unit) bezeichnet wird, Leitungen zum Verbinden der Messsonde mit der CU und, bei Verfahren B, einer elektronischen Messwerterfassungsanlage, die entweder in die CU eingebaut oder mit dieser verbunden ist.

ANMERKUNG 2 Siehe Bild 2.

3.1.2

Pressiometer-Versuchsvorbohrung

kreisförmiger zylindrischer Hohlraum, der im Boden gebildet wird, um eine Pressiometer-Sonde aufzunehmen

3.1.3

Pressiometer-Bohrloch

Bohrloch, in dem im Baugrund Pressiometer-Vorbohrungen mit kreisförmigem Querschnitt hergestellt werden und in das die Pressiometer-Sonde einzubringen ist

3.1.4

Pressiometerversuch

Verfahren, bei dem eine Messsonde im Baugrund aufgedehnt und die dadurch entstehende Aufweitung der Vorbohrung nach einem bestimmten Programm als Volumenanteil als Funktion der Zeit und der Druckzunahmestufen gemessen wird

ANMERKUNG Siehe Bild 4 und F.1.

3.1.5

Pressiometer-Sondierung

gesamte aufeinanderfolgende Tätigkeiten, die zur Durchführung eines Pressiometerversuchs nach Ménard an einem gegebenen Ort erforderlich sind, d. h. Herstellen von Pressiometer-Versuchsvorbohrungen und Durchführen von Pressiometerversuchen darin

ANMERKUNG Siehe F.2.

3.1.6

Ablesewert des Pressiometerdruckes

p_r

Druck, p_r , wie er auf CU-Höhe im die zentrale Messzelle versorgenden Flüssigkeitskreislauf abgelesen wird

3.1.7

Druckverlust

Differenz zwischen dem Druck in der Sonde und dem auf die Vorbohrungswandung aufgebrauchten Druck

3.1.8

Volumenverlust

Differenz zwischen dem tatsächlich in die Sonde eingepressten Volumen und dem am Messgerät abgelesenen Volumen

3.1.9

unkorrigierte Pressiometerkurve

graphische Darstellung der eingepressten Volumina zum Zeitpunkt 60 s, V_{60} , gegen den ausgeübten Druck auf jeder Druckstufe, p_r

3.1.10

korrigierte Pressiometerkurve

graphische Darstellung des korrigierten Volumens, V , gegen den korrigierten Druck, p

ANMERKUNG Siehe Bild 5.

3.1.11

Ménard-Kriechen

Differenz zwischen den auf jeder Druckhaltstufe nach 60 s und nach 30 s aufgezeichneten Volumina:

$$V_{60} - V_{30} = \Delta V_{60/30}$$

3.1.12

korrigierte Ménard-Kriechkurve

graphische Darstellung des korrigierten Ménard-Kriechens gegen den korrigierten, auf jeder Druckstufe aufgebrauchten Druck

ANMERKUNG Siehe Bild 5.

3.1.13

Pressiometer-Protokoll

schriftlicher Bericht der Ergebnisse der in aufeinanderfolgenden Tiefen in denselben Vorbohrungen durchgeführten Pressiometerversuche, zusammen mit allen während des Bohrens gewonnenen Angaben

ANMERKUNG Siehe Anhang F.

3.1.14

Ménard-Pressiometer-Modul

E_M

E-Modul, ermittelt aus dem Abschnitt der Pressiometerkurve zwischen (p_1 , V_1) und (p_2 , V_2)

ANMERKUNG Siehe Bild 5 und Anhang D.

3.1.15

Grenzdruck des Ménard-Pressiometers

p_{LM}

Druck, bei dem sich das ursprüngliche Volumen der Pressiometer-Versuchsvorbohrung in Höhe der Messzelle verdoppelt hat

ANMERKUNG Siehe Anhang D.

3.1.16

Pressiometer-Kriechdruck

p_{fM}

aus der Kriechkurve abgeleiteter Druck

ANMERKUNG Siehe Anhang D.

3.1.17

Durchführender

fachkundige Person, die den Versuch durchführt

3.1.18

Verrohrung

in das Bohrloch eingebaute Rohrschüsse, die oberhalb der Vorbohrung einen Einsturz des Bohrlochs oder den Verlust des Spülmediums an die umgebende Formation verhindern sollen

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
a	Volumenverlust-Koeffizient der Ausrüstung	cm ³ /MPa
d_{ci}	Außendurchmesser des Innenteils der Messsonde mit Schlitzrohr	mm
d_i	Innendurchmesser des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes	mm
d_c	Außendurchmesser der zentralen Messzelle, einschließlich jeglicher zusätzlicher Schutzeinrichtung, wie z. B. ein Schlitzrohr	mm
d_t	Durchmesser des Bohrwerkzeugs	mm
e	Wanddicke des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes	mm
l_p	Länge des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes	mm
l_g	Länge jeder Schutzzelle	mm
l_{gs}	Länge jeder Schutzzelle für eine Pressiometer-Sonde mit kurzer zentraler Messzelle	mm
l_{gl}	Länge jeder Schutzzelle für eine Pressiometer-Sonde mit langer zentraler Messzelle	mm
l_m	Länge des geschlitzten Abschnitts des Schlitzrohrs entlang der Rohrachse	mm
l_c	Länge der zentralen Messzelle der Messsonde, gemessen nach dem Anbringen der Membran	mm
l_{cs}	Länge der kurzen zentralen Messzelle nach dem Anbringen der Membran	mm
l_{cl}	Länge der langen zentralen Messzelle nach dem Anbringen der Membran	mm
m_E	Mindestwert der m_i -Anstiege, grundsätzlich positiv	cm ³ /MPa
m_i	Anstieg der korrigierten Pressiometerkurve zwischen den beiden Punkten mit den Koordinaten (p_{i-1}, V_{i-1}) und (p_i, V_i)	cm ³ /MPa
p	Der durch die Sonde auf den Baugrund aufgebrachte Druck nach der Korrektur	MPa
p_e	Korrektur der MembranstEIFigkeit, üblicherweise als Druckverlust der Messsonde bezeichnet	MPa
p_E	Druck am Beginn des Abschnitts, der den Anstieg m_E aufweist	MPa
p_{el}	Enddruckverlust der Messsonde	MPa
p_{fM}	Pressiometer-Kriechdruck	MPa
p_g	Gasdruck, der durch die Steuereinheit auf die Schutzzellen der Pressiometer-Sonde aufgebracht wird	MPa
p_h	Hydrostatischer Druck zwischen der Anzeige der Steuereinheit und der zentralen Messzelle der Pressiometer-Sonde	MPa
p_k	Gasdruck in den Schutzzellen	MPa

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Beschreibung	Einheit
p_{LM}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers im Baugrund	MPa
p_{LM}^*	Netto-Grenzdruck des Ménard-Pressiometers im Baugrund	MPa
p_{LMH}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers, extrapoliert nach dem hyperbolischen Ausgleichsverfahren	MPa
p_{LMDH}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers, extrapoliert nach dem doppel-hyperbolischen Verfahren	MPa
p_{LMR}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers, extrapoliert nach dem Umkehrkurvenverfahren	MPa
p_m	Druckverlust der Membran der zentralen Messzelle bei einer spezifischen Ausdehnung	MPa
p_r	Ablesewert des Druckes auf der Höhe des CU-Messwandlers im Flüssigkeitskreislauf der zentralen Messzelle	MPa
p_c	Flüssigkeitsdruck in der zentralen Messzelle der Pressiometer-Sonde	MPa
p_t	Zieldruck für jede Druckhaltstufe entsprechend dem Belastungsprogramm	MPa
p_1	Korrigierter Druck am Beginn des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls	MPa
p_2	Korrigierter Druck am Ende des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls	MPa
t	Zeit(dauer)	s
t_i	Zeit, die zur Erhöhung auf die nächste Druckstufe erforderlich ist	s
t_h	Zeitdauer, während der die Höhe des Belastungsdruckes gehalten wird	s
u_s	Porenwasserdruck im Baugrund in Versuchstiefe	MPa
z	Über der Bezugsebene positiv gemessene Höhe	m
z_c	Höhe des Messgerätes für den Druck der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit	m
z_{cg}	Höhe des Messgerätes für den Druck des in die Schutzzellen der Pressiometer-Sonde eingepressten Gases	m
z_N	Höhe der Geländeoberkante am Ort der Pressiometer-Sondierung	m
z_p	Höhe der Messzelle während des Versuchs	m
z_w	Höhe des Grundwasserspiegels (oder der freien Wasseroberfläche in See- und Flussumgebung)	m
CU	Druck-Volumen-Steuereinheit	–
E	Bauart einer Pressiometer-Sonde, bei der die drei Zellen durch drei nacheinander angeordnete Membranen gebildet werden	–
E_M	Ménard-Pressiometer-Modul	MPa
G	Bauart einer Pressiometer-Sonde, bei der die zentrale Messzelle durch eine speziell dafür vorgesehene Membran gebildet wird, über die eine äußere Membran zur Bildung der Schutzzellen angebracht wird (siehe Bild 2)	–
K_0	Erdruchedruckbeiwert in Versuchstiefe	–
V	Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens nach dem Nullsetzen und der Datenkorrektur, gemessen 60 s nach dem Beginn einer Druckhaltstufe	cm ³
V_c	Ursprüngliches Volumen der zentralen Messzelle, einschließlich des Schlitzrohrs, sofern zutreffend	cm ³
V_m	Mittleres korrigiertes Volumen zwischen V_1 und V_2	cm ³
V_p	Beim Kalibrierversuch des Volumenverlustes ermitteltes Volumen (siehe Bild B.2)	cm ³
V_E	Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens beim Druck p_E , nach der Datenkorrektur	cm ³
V_L	Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens, wenn sich das ursprüngliche Volumen des Pressiometer-Hohlraums verdoppelt hat, nach der Datenkorrektur	cm ³
V_r	An der CU abgelesener Wert des in die Messzelle eingepressten Volumens vor der Datenkorrektur	cm ³
V_t	Volumen der zentralen Messzelle, ggf. einschließlich des Schlitzrohrs	cm ³

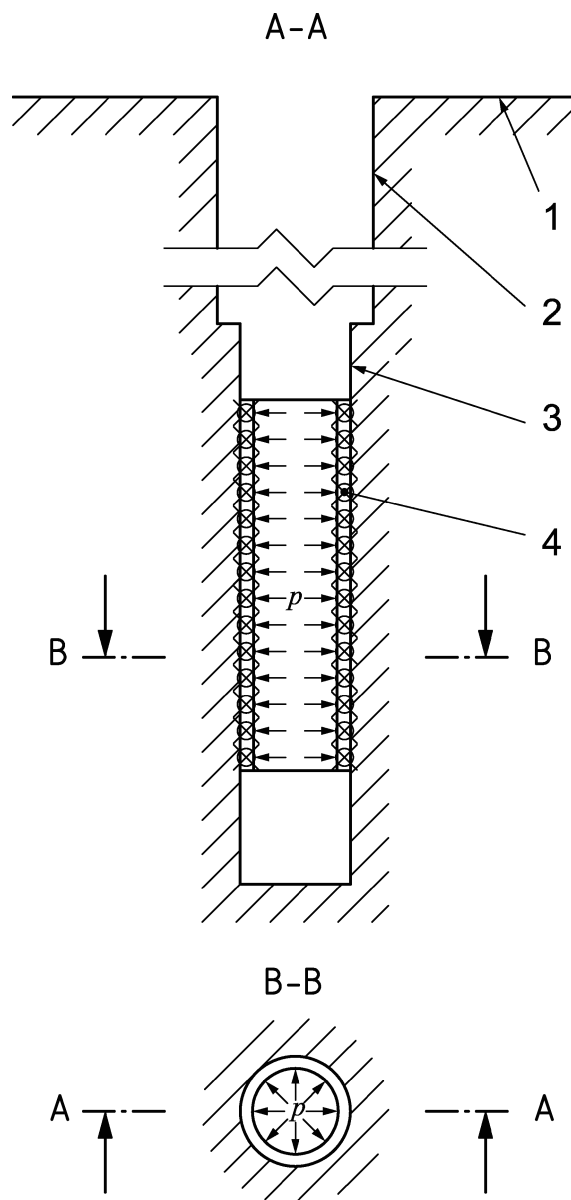
Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Beschreibung	Einheit
V_1	Korrigiertes Volumen am Beginn des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls (siehe Bild 5)	cm ³
V_2	Korrigiertes Volumen am Ende des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls	cm ³
V_{30}	30 s nach dem Beginn der Druckstufe abgelesener Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens	cm ³
V_{60}	60 s nach dem Beginn der Druckstufe abgelesener Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens	cm ³
β	Koeffizient zur Bestimmung des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls	–
γ	Wichte des Bodens zum Zeitpunkt des Versuchs	kN/m ³
γ_i	Wichte der in die zentrale Messzelle eingepressten Flüssigkeit	kN/m ³
γ_w	Wichte des Wassers	kN/m ³
λ_g	Änderungsgeschwindigkeit der Druckhöhe des Gases bei Druck, p_k , je Tiefenmeter	m ⁻¹
ν	Poissonzahl	–
σ_{vs}	Vertikale Gesamtbelastung im Baugrund in Versuchstiefe	kPa
σ_{hs}	Horizontale Gesamtbelastung im Baugrund auf Versuchshöhe	kPa
Δp	Druckzunahmestufe des Belastungsdruckes	MPa
Δp_1	Anfängliche Druckzunahmestufe	MPa
$\Delta V_{60/30}$	Änderung des eingepressten Volumens in der Zeit zwischen 30 s bis 60 s nach Erreichen der Druckhaltestufe – das Ménard-Kriechen	cm ³
$\Delta V_{60/60}$	Änderung des eingepressten Volumens nach 60 s zwischen aufeinanderfolgenden Druckstufen	cm ³

4 Ausrüstung

4.1 Allgemeine Beschreibung

Das Prinzip des Ménard-Pressiometers ist in Bild 1 dargestellt.



Legende

- 1 Geländeoberkante
- 2 Baugrund
- 3 Vorbohrung
- 4 sich ausdehnende Pressiometer-Sonde

p aufgebracht Druck

A-A Axialschnitt

B-B Querschnitt

Bild 1 — Prinzip eines Pressiometerversuchs nach Ménard

Das in Bild 2 schematisch dargestellte Pressiometer muss bestehen aus:

- einer Messsonde aus drei Zellen;
- einem Gestänge zum Handhaben der Messsonde;
- einer Steuereinheit (CU);
- Leitungen zum Verbinden der Steuereinheit mit der Messsonde.

Die Steuereinheit (CU) muss umfassen:

- Ausrüstung zum Aufdehnen der Messsonde durch Beaufschlagung mit Druck und zum Aufrechterhalten der während des Versuchs erforderlichen konstanten Drücke;
- Ausrüstung zum Aufrechterhalten einer geeigneten Druckdifferenz zwischen der zentralen Messzelle und den Schutzzellen;
- ein Gerät, das ein direktes Ablesen und, im Fall des Verfahrens B, die automatische Aufzeichnung der zu messenden Parameter gestattet: Zeit, Druck und Volumen.

Die Geräte für die Messung des Druckes der Flüssigkeit in der zentralen Messzelle und des Gases in den Schutzzellen müssen wie folgt positioniert sein:

- entweder oberhalb der Geländeoberkante;
- oder in der Messsonde, weniger als 1 m oberhalb des Mittelpunkts der zentralen Messzelle.

Im ersten Fall muss die CU mit einer Einrichtung zur Überprüfung des stabilisierten Druckwerts an der Messsonde versehen sein.

Eine Messeinrichtung ist vorzusehen, um die Versuchstiefe mit einer angemessenen Genauigkeit zu bestimmen.

4.2 Pressiometer-Sonde

Je nach Art und Beschaffenheit des Baugrunds sind zwei Bauarten von Messsonden zu verwenden:

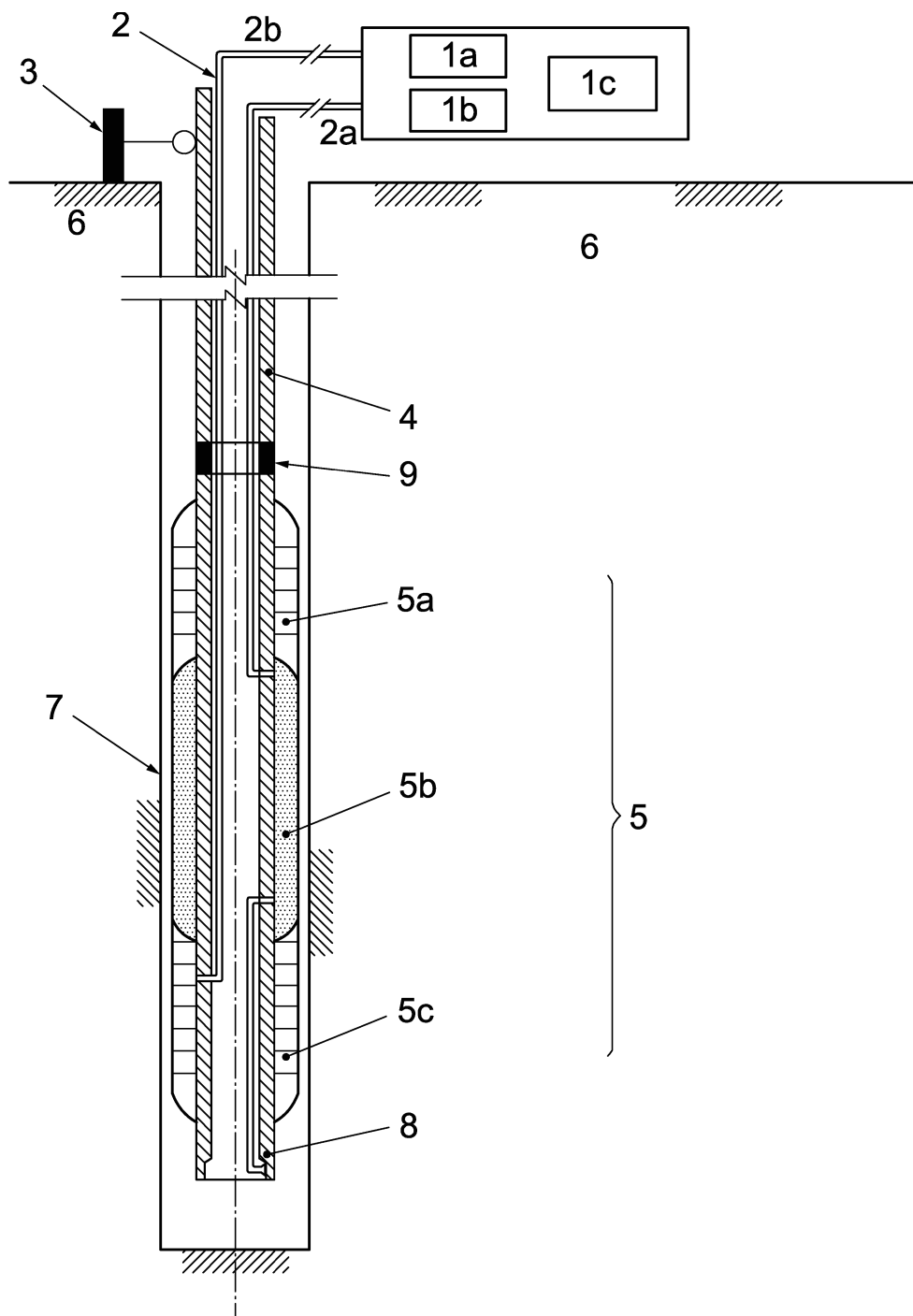
- eine Messsonde mit elastischem Mantel;
- eine Messsonde mit elastischem Mantel und entweder einer zusätzlichen starreren Schutzeinrichtung oder einem geschlitzten Stahlrohr.

Die Messsonden sind jeweils in den Bildern 3a) und 3b) beschrieben, und ihre geometrischen Merkmale sind in Tabelle A.1 angegeben.

Wird die Sonde in den Boden gerammt oder eingepresst (siehe C.3), muss sie mit einer starreren Schutzvorrichtung oder einem geschlitzten Stahlrohr gemeinsam mit einem Dehnrohr einschließlich einer Spitze oder eines Schneidfußes ausgestattet sein.

ANMERKUNG Wird kein geschlitztes Stahlrohr verwendet, muss die Auslegung des Sondenkörpers gegen Rammen oder Einpressen beständig sein.

Die Messsonde muss eine Volumenzunahme von mindestens 700 cm^3 (550 cm^3 bei einer Messsonde mit einer kurzen zentralen Messzelle in einem Schlitzrohr) zulassen.



Legende

- | | | | |
|----|---|----|---------------------------------|
| 1 | Steuereinheit (CU) | 5 | Pressiometer-Sonde |
| 1a | Geräte zum Beaufschlagen mit Druck, für die Erzeugung einer Druckdifferenz und zum Einpressen | 5a | Obere Schutzzelle |
| 1b | Druck- und Volumenmessgeräte | 5b | Zentrale Messzelle |
| 1c | Erfassung, Speicherung und Ausdruck der Daten (erforderlich für Verfahren B) | 5c | Untere Schutzzelle |
| 2 | Verbindungsleitungen | 6 | Baugrund |
| 2a | Leitung zum Einpressen von Flüssigkeit | 7 | Pressiometer-Versuchsvorbohrung |
| 2b | Leitung zum Einpressen von Gas | 8 | Messsondenkörper, hohl |
| 3 | Tiefenmesssystem | 9 | Messsonden-Gestänge-Verbindung |
| 4 | Gestänge | | |

Bild 2 — Schematische Darstellung eines Pressimeters nach Ménard

4.2.1 Messsonde mit elastischem Mantel

Diese Messsonde setzt sich aus drei zylindrischen Zellen mit kreisförmigem Querschnitt entlang derselben Achse zusammen (siehe Bild A.1). Während eines Versuchs denen sich diese Zellen gleichzeitig an der Vorbohrungswandung aus. Die Messsonde enthält:

- eine zentrale Messzelle mit einem Außendurchmesser, d_c , und einer Länge, l_c (l_{cl} für eine lange bzw. l_{cs} für die kurze Sonde – siehe Tabelle A.1), die sich radial in einer Vorbohrung ausdehnen und eine gleichförmige Last auf die Wandung der Vorbohrung aufbringen muss. Diese Zelle muss durch Einpressen einer Flüssigkeit aufgeweitet werden, die als nicht komprimierbar angesehen wird;
- zwei Schutzzellen mit einem Außendurchmesser, d_g , und einer Länge, l_g (l_{gl} bzw. l_{gs}), die sich oberhalb bzw. unterhalb der zentralen Messzelle befinden. Diese Zellen sind so zu konstruieren, dass sie eine Last auf die Vorbohrungswandung aufbringen, die der durch die zentrale Messzelle aufgebrachten Last nahe kommt, jedoch nicht größer als diese ist. Diese Zellen müssen durch Gasdruck aufgeweitet werden.

Die Messsonde muss aus einem hohlen Stahlkern mit Durchlässen zum Einpressen geeigneter Flüssigkeiten bestehen, um die Zellen aufzuweiten. Die Messsonde ist mit einer Membran für die zentrale Messzelle und einem elastischen Mantelrohr zu versehen. Der Stahlkern muss gewöhnlich an seiner äußeren gekrümmten Oberfläche ein Netz von Rillen aufweisen, das die Flüssigkeit gleichmäßig in die Messzelle unter der Membran verteilt. An diesem Kern sind die Membran und der elastische Mantel zu befestigen. Das obere Ende des Kerns ist mit einem Gewinde zu versehen und mit dem Gestänge zu verschrauben, das die Handhabung der Messsonde von der Oberfläche des Baugrunds aus gestattet. Die Membran der zentralen Messzelle muss die Flüssigkeit in der Messzelle vom Gas der Schutzzellen trennen. Der über der Messzellen-Membran liegende elastische Mantel muss auch die Form der Schutzzellen bestimmen. Ein elastischer Schutz aus dünnen Stahlstreifen mit einer Breite von üblicherweise 17 mm, die sich entweder (bis zur Hälfte) überlappen oder isoliert zwischen Befestigungsringen verlaufen (siehe Bild A.1), kann über den Mantel gegeben werden. Leitungen für die Flüssigkeit müssen die Zellen der Messsonde mit der Druck-Volumen-Steuereinheit (CU) verbinden. Der Ablasshahn der Messzelle muss aus dem Boden des Stahlkerns herausragen.

ANMERKUNG Die elastische Schutzeinrichtung darf hinzugefügt werden, um eine Beschädigung des Mantels durch scharfe Fragmente zu vermindern, die aus der Vorbohrungswandung hervorstehen.

4.2.2 Messsonde mit Schlitzrohr

Diese Messsonde setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- einem Innenteil, der aus einer Baugruppe von drei zylindrischen Zellen mit kreisförmigem Querschnitt entlang derselben Achse bestehen muss; und
- einem Außenteil, der aus einem geschlitzten Stahlrohr gefertigt sein muss (siehe Bild A.1). Wird dieses Schlitzrohr in den Boden gerammt oder eingepresst, muss es mit einem Dehnrohr einschließlich einer Spitze oder eines Schneidfußes ausgestattet sein.

Das Innenteil umfasst:

- eine zentrale Messzelle, mit einem Außendurchmesser, d_c , und einer Länge, l_c (l_{cl} für eine lange bzw. l_{cs} für die kurze Sonde – siehe Tabelle A.1), die sich radial im Schlitzrohr ausdehnen und eine gleichförmige Last auf dessen Wandung aufbringen muss. Diese Zelle muss durch Einpressen einer Flüssigkeit aufgeweitet werden, die als nicht komprimierbar angesehen wird;
- zwei Schutzzellen mit einem Außendurchmesser, d_g , und einer Länge, l_g (l_{gl} bzw. l_{gs}), die sich oberhalb bzw. unterhalb der zentralen Messzelle befinden. Diese Zellen müssen so konstruiert sein, dass sie eine Last auf die Wandung des Schlitzrohrs aufbringen, die der durch die zentrale Messzelle aufgebrachten Last nahe kommt, diese jedoch nicht überschreitet. Diese Zellen werden durch Gasdruck aufgeweitet.

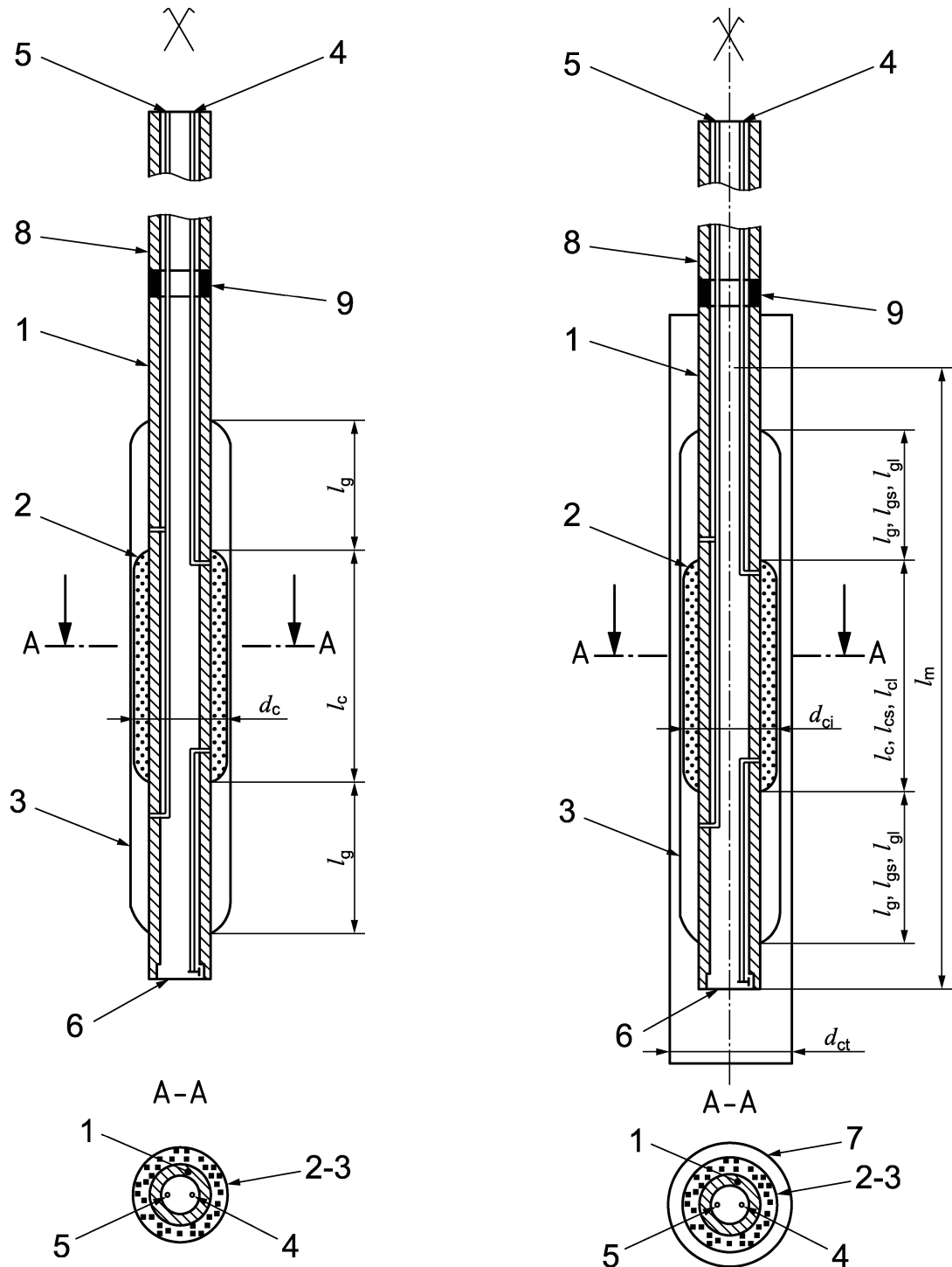
Während eines Versuchs müssen diese Zellen gleichzeitig auf die Innenwand des Schlitzrohrs wirken, die die Spannungen auf die Vorbohrungswandung übertragen muss.

Das äußere Stahlrohr muss mit mindestens sechs axialen oder spiralförmigen Schlitzen, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind (Bild 3b)), versehen sein. Die Schlitzlänge, l_m , wird entlang der Rohrachse gemessen. Bei dieser Länge muss es sich um den größeren der beiden folgenden Werte handeln:

$$1,3(l_c + 2l_g) \text{ oder } 800 \text{ mm.}$$

Vor und nach jeder Aufweitung muss die Öffnung jedes Rohrschlitzes kleiner oder gleich 0,4 mm sein. Nach der Aufweitung müssen das Schlitzrohr und die Schlitzte wieder ihre ursprüngliche Form und Größe annehmen.

Die im Schlitzrohr befindliche Baugruppe ist durch elastische Abstandshalter so angeordnet, dass sich die Messsonde mit nur geringem Widerstand radial ausdehnen kann.



a) Pressiometer-Sonde mit elastischem Mantel

b) Pressiometer-Sonde mit Schlitzrohr

Legende

- 1 Hohler Sondenkörper
- 2 Messzellen-Membran
- 3 Außenrohr oder elastischer Mantel
- 4 Flüssigkeitseintritt in die Messzelle
- 5 Gaseintritt in die Schutzzelle

- 6 Ablauföffnung der Messzelle
- 7 Schlitzrohr
- 8 Gestänge
- 9 Messsonden-Gestänge-Verbindung

Maße sind Anhang A zu entnehmen.

Bild 3 — Pressiometer-Sonde (schematisch)

4.3 Druck-Volumen-Steuereinheit (CU)

Die Steuereinheit (CU) ist um ein zylindrisches Volumenmessgerät anzuordnen, das mit einem Gerät zur Druckbeaufschlagung und einem Messgerätesatz versehen ist. Die CU muss die Ausdehnung der Zellen in der Messsonde steuern und das gleichzeitige Ablesen der Flüssigkeits- und Gasdrücke und des eingepressten Flüssigkeitsvolumens als Funktion der Zeit gestatten.

Das Gerät zur Beaufschlagung mit Druck muss in der Lage sein:

- den Grenzdruck des Pressimeters oder einen Druck, p_r , zu erreichen, der mindestens 5 MPa entspricht;
- die Höhe jeder Drucklast in der Messzelle und in den Schutzzellen während der Einstelldauer konstant zu halten;
- in weniger als 20 s eine durch die CU gemessene Druckzunahme von 0,5 MPa umzusetzen;
- die Druckdifferenz zwischen Messzelle und Schutzzellen zu steuern;
- ein Flüssigkeitsvolumen von mehr als 700 cm³ in die Messzelle einzupressen.

Darüber hinaus muss ein in der Steuereinheit zwischen dem Volumenmessgerät und dem Druckmessgerät befindliches Ventil das Stoppen des Einpressens ermöglichen.

4.4 Verbindungsleitungen

Die elastischen Leitungen müssen die Druck-Volumen-Steuereinheit (CU) mit der Messsonde verbinden. Sie müssen die Flüssigkeit in die Messzelle und das Gas in die Schutzzellen leiten. Sie dürfen parallel oder koaxial sein. Sind die Leitungen koaxial, muss die innen liegende Leitung die Flüssigkeit und die äußere Leitung das Gas transportieren.

4.5 Eingepresste Flüssigkeit

Die in die Messzelle eingepresste Flüssigkeit ist entweder Wasser oder eine Flüssigkeit mit ähnlicher Viskosität, die unter Versuchsbedingungen nicht gefrieren darf.

4.6 Messen und Steuern

4.6.1 Zeit

Die Genauigkeit des Zeitmessgerätes muss Anhang E entsprechen.

4.6.2 Druck und Volumen

Die Messauflösung der Geräte zur Messung von Druck und Volumen muss Anhang E entsprechen.

4.6.3 Anzeige der Ablesewerte

Die Druck-Volumen-Steuereinheit (CU) muss vor Ort eine gleichzeitige und unverzügliche Anzeige der folgenden Messgrößen ermöglichen: Zeit, Druck der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit, Volumen der eingepressten Flüssigkeit und Druck des Gases im Schutzzellen-Kreislauf.

4.6.4 Kalibrierzylinder für den Volumenverlust

Die Hauptmerkmale dieses Stahlzylinders (Bild B.1) müssen folgende sein:

- ein gemessener Innendurchmesser d_i von nicht mehr als 66 mm;
- eine Wanddicke, e , von mindestens 8 mm;
- eine Länge, l_p , von mehr als 1 m oder die Schlitzlänge, l_m , wobei der größere Wert gilt.

4.7 Elektronische Messwerterfassungsanlage

Die elektronische Messwerterfassungsanlage, das Gerät zum Erfassen und Aufzeichnen der Daten im Verfahren B, muss ausgestattet sein mit:

- einer internen Uhr;
- einem Drucker; und
- einer Speichereinheit, die durch einen Computer gelesen werden kann.

Die elektronische Messwerterfassungsanlage muss so konstruiert sein, dass sie die unkorrigierten Daten der Messwandler, die Nullsignale, die Kalibrierkoeffizienten und deren jeweilige Identifizierung sowie die resultierenden Kalibrierdaten von Druck und Volumen aufzeichnet.

Die elektronische Messwerterfassungsanlage darf die in 5.7 festgelegte Versuchsdurchführung nicht beeinträchtigen und die Signale der anderen Messgeräte nicht verdecken. Sie muss so konstruiert sein, dass sie automatisch:

- ihre eigenen Identifizierungsparameter aufzeichnet: Datum, Stunde, Minute, Sekunde, CU-Nummer, Nummer der elektronischen Messwerterfassungsanlage, Nummer der Speichereinheit;
- die zum Identifizieren des Versuchs erforderlichen Angaben anfordert, wie in 5.4 beschrieben;
- den Eingang von Druck- und Volumendaten oder anderen Angaben verhindert, die nicht während der Versuchsdurchführung gewonnen werden.

Die elektronische Messwerterfassungsanlage muss eine Alarmeinrichtung oder eine besondere Anzeige für die folgenden Vorkommnisse besitzen:

- keine Speichereinheit eingelegt;
- keine Aufzeichnung der Identifizierungs-Parameter des Versuchs nach 5.4;
- keine elektrische Energie vorhanden.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Zusammenbau der Teile

Der Mantel, die Membran und bei Bedarf das Schlitzrohr müssen in Abhängigkeit von den erwarteten Belastungs-Verformungs-Parametern des Baugrunds ausgewählt werden, in dem die Sonde für den Einsatz vorgesehen ist. Sie müssen jeweils die Festlegungen nach Anhang A erfüllen. Anschließend muss die Messsonde über die Verbindungsleitungen mit der Steuereinheit verbunden werden.

Das gesamte System muss mit Flüssigkeit gefüllt und gespült werden, um Luftblasen zu entfernen.

5.2 Kalibrierung und Korrekturen

Kalibrierung und Korrekturen sind nach Anhang B durchzuführen. Kopien der Kalibrierergebnisse müssen am Versuchsstandort verfügbar sein.

5.3 Pressiometer-Vorbohrung und Einbringen der Messsonde

Bei den Pressiometerversuchen ist dem Erreichen einer hohen Qualität der Vorbohrungswandungen größte Bedeutung beizumessen. Die Anforderungen und Verfahren nach Anhang C sind zu befolgen.

Die Herstellung zufrieden stellender Vorbohrungen muss der wichtigste Schritt sein, um beim Pressiometerversuch annehmbare Ergebnisse zu erhalten.