

## DIN EN ISO 22476-4



ICS 93.020

**Entwurf**

Einsprüche bis 2020-09-03  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN ISO 22476-4:2013-03

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –  
Felduntersuchungen –  
Teil 4: Vorgebohrter Pressiometerversuch nach Ménard  
(ISO/DIS 22476-4:2020);  
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 22476-4:2020**

Geotechnical investigation and testing –  
Field testing –

Part 4: Prebored pressuremeter test by Ménard procedure (ISO/DIS 22476-4:2020);  
German and English version prEN ISO 22476-4:2020

Reconnaissance et essais géotechniques –  
Essais en place –

Partie 4: Essai au pressiomètre Ménard (ISO/DIS 22476-4:2020);  
Version allemande et anglaise prEN ISO 22476-4:2020

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-03 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 von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 124 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-4:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-09 AA „Baugrund; Feldversuche (SpA zu CEN/TC 341/WG 5 sowie ISO/TC 182/WG 2, WG 5, WG 6, WG 7 und WG 8)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 14688-1      siehe      DIN EN ISO 14688-1

ISO 14689      siehe      DIN EN ISO 14689

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 22476-4:2013-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige technische Überarbeitung;
- b) vollständige redaktionelle Überarbeitung.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

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

DIN EN ISO 14689, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels*

|                  |                                                                                                                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel de:</i> | Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen —<br>Teil 4: Vorgebohrter Pressiometerversuch nach Ménard<br>(ISO/DIS 22476-4:2020) |
| <i>Titel en:</i> | Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 4: Prebored<br>pressuremeter test by Ménard procedure (ISO/DIS 22476-4:2020)        |
| <i>Titel fr:</i> | Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place — Partie 4: Essai<br>au pressiomètre Ménard (ISO/DIS 22476-4:2020)                       |

## Inhalt

|                                                                                                   | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                        | 4     |
| Vorwort .....                                                                                     | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                         | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                    | 7     |
| 3 Begriffe und Symbole .....                                                                      | 7     |
| 3.1 Begriffe .....                                                                                | 7     |
| 3.2 Symbole .....                                                                                 | 10    |
| 4 Ausrüstung .....                                                                                | 13    |
| 4.1 Allgemeine Beschreibung .....                                                                 | 13    |
| 4.2 Pressiometer-Sonde .....                                                                      | 13    |
| 4.2.1 Messsonde mit elastischem Mantel .....                                                      | 15    |
| 4.2.2 Messsonde mit elastischem Mantel und einer zusätzlichen starrereren Schutzeinrichtung ..... | 15    |
| 4.2.3 Messsonde mit elastischem Mantel und geschlitztem Stahlrohr .....                           | 15    |
| 4.3 Verbindungsleitungen und eingepresste Flüssigkeit .....                                       | 16    |
| 4.4 Druck-Volumen-Steuereinheit (CU) .....                                                        | 17    |
| 4.4.1 Messen und Steuern .....                                                                    | 18    |
| 4.4.2 Elektronische Messwerterfassungsanlage .....                                                | 18    |
| 5 Versuchsdurchführung .....                                                                      | 19    |
| 5.1 Zusammenbau der Teile .....                                                                   | 19    |
| 5.2 Kalibrierung und Korrekturen .....                                                            | 19    |
| 5.3 Pressiometer-Vorbohrung und Einbringen der Messsonde .....                                    | 19    |
| 5.4 Vorbereitung des Versuchs .....                                                               | 20    |
| 5.5 Festlegen des Belastungsprogramms .....                                                       | 20    |
| 5.6 Festlegen des Differenzdruckes .....                                                          | 22    |
| 5.7 Aufweitung .....                                                                              | 22    |
| 5.7.1 Ablesewerte und Aufzeichnungen .....                                                        | 22    |
| 5.7.2 Ende des Versuchs .....                                                                     | 22    |
| 5.8 Verfüllen der Vorbohrungen .....                                                              | 23    |
| 5.9 Sicherheitsanforderungen .....                                                                | 23    |
| 6 Versuchsergebnisse .....                                                                        | 23    |
| 6.1 Datenblatt und Ausdruck oder Anzeige am Versuchsort .....                                     | 23    |
| 6.1.1 Datenblatt bei Steuereinheit Typ A .....                                                    | 23    |
| 6.1.2 Ausdruck am Versuchsstandort für Steuereinheit Typ B und Typ C .....                        | 23    |
| 6.1.3 Unkorrigierte Pressiometerkurve .....                                                       | 24    |
| 6.2 Korrigierte Pressiometerkurve .....                                                           | 24    |
| 6.3 Berechnete Ergebnisse .....                                                                   | 25    |
| 7 Berichte .....                                                                                  | 26    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                             | 26    |
| 7.2 Feldprotokoll .....                                                                           | 26    |
| 7.3 Untersuchungsbericht .....                                                                    | 26    |
| 7.3.1 Bericht des Pressiometerversuchs nach Ménard .....                                          | 26    |
| 7.3.2 Pressiometer-Protokoll .....                                                                | 27    |
| Anhang A (normativ) Geometrische Merkmale von Pressiometer-Sonden .....                           | 29    |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Anhang B (normativ) Kalibrierung und Korrekturen .....                      | 31 |
| Anhang C (normativ) Einbringen der Pressiometer-Sonde in den Baugrund ..... | 39 |
| Anhang D (informativ) Ermitteln der Pressiometer-Parameter .....            | 50 |
| Anhang E (normativ) Auflösung und Unsicherheiten .....                      | 59 |
| Anhang F (normativ) Untersuchungsberichte für Pressiometerversuche.....     | 61 |
| Literaturhinweise.....                                                      | 65 |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-4:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 22476-4:2012 ersetzen.

### Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 22476-4:2020 wurde von CEN als prEN ISO 22476-4:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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 staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) 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. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee [oder Projektkomitee] ISO/TC [oder ISO/PC] ###, [Titel des Komitees], Unterkomitee SC ##, [Titel des Unterkomitees] erarbeitet.

Diese zweite/dritte/... Ausgabe ersetzt die erste/zweite/... Ausgabe (ISO #####:#####), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

— xxx xxxxxxxx xxx xxxxx

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO ##### ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html) zu finden.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt Anforderungen an die Ausrüstung, die Durchführung und die Berichte in Zusammenhang mit dem Pressiometerversuch nach Ménard.

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

Das vorliegende Dokument beschreibt das Verfahren zur Durchführung eines Pressiometerversuchs nach Ménard in natürlichen Böden, behandelten oder unbehandelten Aufschüttungen sowie Gestein, zur Anwendung entweder an Land oder vor der Küste.

Die Ergebnisse der Pressiometerversuche nach diesem Dokument sind für eine quantitative Bestimmung der Festigkeits- und Verformungsparameter von Boden geeignet. In Verbindung mit der Messung während des Bohrens eines Bohrloches können sie lithologische Angaben liefern (nach EN ISO 22476-15). Sie können auch mit der direkten Erkundung (z. B. Probenahme nach EN ISO 22475-1) kombiniert oder mit weiteren In-situ-Versuchen verglichen werden (siehe EN 1997-2, 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 zylindrischen Messsonde mit einer Schlankheit von mindestens 6 (siehe Bild 1). Während des Einpressens des Flüssigkeitsvolumens in die Messsonde bewirkt das Aufdehnen der Messzelle 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 radiale Ausdehnung der Messsonde werden entweder durch Volumen- oder Radial-Messwertaufnehmer gemessen und aufgezeichnet, um das Verhältnis von Belastung und Verformung des Bodens im Untersuchungszustand zu ermitteln.

Gemeinsam mit den verfügbaren Ergebnissen der Untersuchungen nach EN ISO 22475-1 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 Dokument erzielten Prüfergebnisse geeignet für die quantitative Bestimmung eines Bodenprofils, einschließlich des

- Ménard-Pressiometer-Moduls  $E_M$ ,
- Ménard-Pressiometer-Grenzdruckes  $p_{LM}$  und
- Ménard-Pressiometer-Kriechdruckes  $p_c$ .

Diese Norm bezieht sich auf eine Sonde, die traditionell als 60-mm-Messsonde (auch BX bezeichnet) der Bauart G mit einer Druckbegrenzung von 5 MPa beschrieben wird. Sofern von der zuständigen Behörde festgelegt oder für ein bestimmtes Projekt von den maßgeblichen Parteien vereinbart, kann eine höhere Druckbegrenzung erforderlich sein.

**ANMERKUNG 1** Eine Messsonde der Bauart G steht für Messsonden, deren äußerer Mantel von Schutzzellen gebildet wird (siehe 4.2).

**ANMERKUNG 2** Der Pressiometerversuch nach Ménard kann auch mit Messsonden anderer Durchmesser, wie 32 mm, 44 mm und 76 mm, durchgeführt werden.

**ANMERKUNG 3** Beispiele für andere Abmessungen der Messsonde oder Vorbohrung sind nachfolgend angegeben:

| Sonde<br>Bezeichnung | Sonde<br>Durchmesser<br>mm | Bohrlochdurchmesser<br>mm |      |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|------|
|                      |                            | min.                      | max. |
| AX                   | 44                         | 46                        | 52   |
| NX                   | 70/74                      | 74                        | 80   |

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

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).

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

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

ISO 14689, *Geotechnical investigation and testing — Identification, description and classification of rock*

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

EN ISO 24283-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Qualifikationskriterien und Bewertung — Teil 1: Qualifiziertes Fachpersonal*

EN ISO 24283-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Qualifikationskriterien und Bewertung — Teil 2: Zuständiger Sachverständiger*

EN ISO 24283-3, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Qualifikationskriterien und Bewertung — Teil 3: Qualifiziertes Unternehmen*

EN ISO 22476-5, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 5: Versuch mit dem flexiblen Dilatometer*

EN ISO 22476-8, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 8: Versuch mit dem Verdrängungspressiometer*

EN ISO 22476-15, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 15: Aufzeichnung der Bohrparameter*

EN ISO 10012, *Messmanagementsysteme — Anforderungen an Messprozesse und Messmittel*

## 3 Begriffe und Symbole

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

#### 3.1

##### **Pressiometer-Sonde**

zylindrische elastische Messsonde, die durch Aufbringen von hydraulischem Druck und Einsatz von Druckgas ausgedehnt werden kann

### 3.1.2

#### Pressiometer-Steuereinheit

Anordnung geeigneter Einrichtungen, mit deren Hilfe Flüssigkeits- und Gasdruck zur Messsonde geliefert werden kann

### 3.1.3

#### Verbindungsleitungen

Kabel, das die Steuereinheit mit der Messsonde verbindet sowie Flüssigkeits- und Gasdruck zu den Mess- und Schutzzellen leitet

### 3.1.4

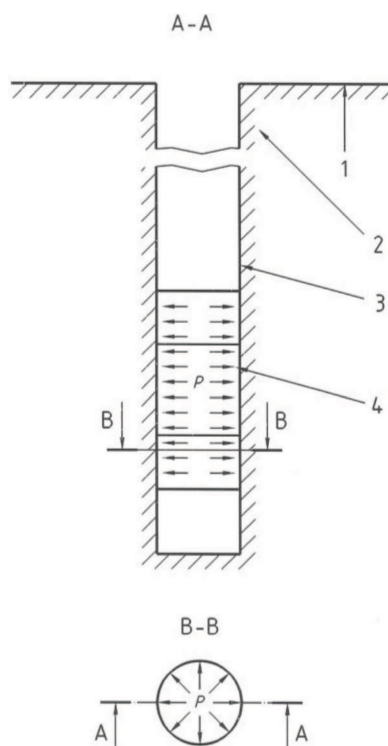
#### Pressiometer-Versuchsvorbohrung

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

### 3.1.5

#### Pressiometer-Bohrloch

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



#### Legende

- |   |                                     |     |                     |
|---|-------------------------------------|-----|---------------------|
| 1 | Geländeoberkante                    | p   | aufgebrachter Druck |
| 2 | Baugrund                            | A-A | Axialschnitt        |
| 3 | Vorbohrung                          | B-B | Querschnitt         |
| 4 | sich ausdehnende Pressiometer-Sonde |     |                     |

**Bild 1— Prinzip eines Pressiometerversuchs nach Ménard**

### 3.1.6

#### **Pressiometerversuch nach Ménard**

Verfahren, bei dem eine Pressiometer-Sonde in der Pressiometer-Versuchsvorbohrung aufgedehnt und die dadurch entstehende Aufweitung der Vorbohrung nach einem bestimmten Programm als Funktion der Zeit und der Druckzunahmestufen gemessen wird (siehe Bild 4)

### 3.1.7

#### **Pressiometer-Sondierung**

Abfolge der Pressiometerversuche nach Ménard, die von derselben Station im Pressiometer-Bohrloch ausgeführt wird

### 3.1.8

#### **Ablesewert des Pressiometerdruckes**

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

### 3.1.9

#### **Druckverlust**

Druckverlust ist die Differenz zwischen dem Druck in der Sonde und dem auf die Vorbohrungswandung aufgetragenen Druck

### 3.1.10

#### **Volumenverlust**

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

### 3.1.11

#### **unkorrigierte Pressiometerkurve**

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

### 3.1.12

#### **korrigierte Pressiometerkurve**

korrigierte Pressiometerkurve ist die graphische Darstellung der korrigierten Volumina,  $V$ , oder radialen Verdrängungen gegen den korrigierten Druck  $p$  (siehe Bild 5)

### 3.1.13

#### **Pressiometer-Kriechen**

Pressiometer-Kriechen ist die Differenz zwischen den auf jeder Druckhaltestufe nach 60 s und nach 30 s aufgezeichneten Volumina:  $V_{60} - V_{30} = V_{60/30}$

### 3.1.14

#### **korrigierte Pressiometer-Kriechkurve**

graphische Darstellung des korrigierten Ménard-Kriechens gegen den korrigierten, auf jeder Druckstufe aufgetragenen Druck (siehe Bild 5)

### 3.1.15

#### **Pressiometer-Protokoll**

grafischer Bericht der Ergebnisse der Pressiometer-Sondierung, zusammen mit allen während des Bohrens gewonnenen Angaben (siehe F.2)

### 3.1.16

#### **Ménard-Pressiometer-Modul**

Modul  $E_M$ , ermittelt aus dem Abschnitt der Pressiometerkurve zwischen  $(p_1, V_1)$  und  $(p_2, V_2)$  (siehe Bild 5 und Anhang D)

### 3.1.17

#### Grenzdruck des Ménard-Pressiometers

Druck  $p_{LM}$ , bei dem sich das ursprüngliche Volumen der Pressiometer-Versuchsvorbohrung in Höhe der Messzelle verdoppelt hat (siehe Anhang D)

### 3.1.18

#### Pressiometer-Kriechdruck

Druck  $p_f$ , der als Schnittpunkt zweier gerader Linien auf der Kriechkurve definiert wird (siehe Anhang D)

### 3.1.19

#### Durchführender

Person, die den Versuch durchführt und nach EN ISO TS 24283-1 qualifiziert ist

### 3.1.20

#### 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 dieser Norm gelten die folgenden Symbole:

**Tabelle 1 — Symbole**

| Symbol   | Beschreibung                                                                                                                     | Einheit                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $a$      | Volumenverlust-Koeffizient der Ausrüstung                                                                                        | $\text{cm}^3/\text{MPa}$ |
| $d_c$    | Außendurchmesser der zentralen Messzelle, einschließlich jeglicher zusätzlicher Schutzeinrichtung, wie z. B. ein Schlitzrohr     | mm                       |
| $d_{ci}$ | Außendurchmesser des Innenteils der Messsonde mit Schlitzrohr                                                                    | mm                       |
| $d_i$    | Innendurchmesser des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes                                                | mm                       |
| $d_r$    | an der CU abgelesener Wert des Außendurchmessers der zentralen Messzelle während der Ausdehnung vor der Datenkorrektur           | $\text{cm}^3$            |
| $d_t$    | Durchmesser des Bohrwerkzeugs                                                                                                    | mm                       |
| $e$      | Wanddicke des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes                                                       | mm                       |
| $l_c$    | Länge der zentralen Messzelle der Messsonde, gemessen nach dem Anbringen der Membran oder des Mantels                            | mm                       |
| $l_g$    | Länge jeder Schutzzelle                                                                                                          | mm                       |
| $l_m$    | Länge des geschlitzten Abschnitts des Schlitzrohrs entlang der Rohrachse                                                         | mm                       |
| $l_p$    | Länge des Kalibrierzylinders für die Kalibrierung des Volumenverlustes                                                           | mm                       |
| $l_t$    | Mantellänge                                                                                                                      | mm                       |
| $m_E$    | Mindestwert der $m_i$ -Anstiege, grundsätzlich positiv                                                                           | $\text{cm}^3/\text{MPa}$ |
| $m_i$    | Anstieg der korrigierten Pressiometerkurve zwischen den beiden Punkten mit den Koordinaten $(p_{i-1}, V_{i-1})$ und $(p_i, V_i)$ | $\text{cm}^3/\text{MPa}$ |
| $p$      | auf den Baugrund aufgebracht Druck nach der Korrektur                                                                            | MPa                      |
| $p_c$    | Flüssigkeitsdruck in der zentralen Messzelle der Pressiometer-Sonde                                                              | MPa                      |

| Symbol     | Beschreibung                                                                                                    | Einheit |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $p_e$      | Korrektur der Membransteifigkeit, üblicherweise als Druckverlust der Messsonde bezeichnet                       | MPa     |
| $p_E$      | Druck am Ursprung des Segments, der die Steigung $m_E$ aufweist                                                 | MPa     |
| $p_{el}$   | Enddruckverlust der Messsonde                                                                                   | MPa     |
| $p_f$      | 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     |
| $p_i$      | korrigierter Pressiometer-Druck                                                                                 | MPa     |
| $p_{LM}$   | Grenzdruck des Ménard-Pressiometers im Baugrund                                                                 | MPa     |
| $p_{LMDH}$ | Grenzdruck des Ménard-Pressiometers, extrapoliert nach dem doppel-hyperbolischen Verfahren                      | MPa     |
| $p_{LMH}$  | Grenzdruck des Ménard-Pressiometers, extrapoliert nach dem hyperbolischen Ausgleichsverfahren                   | 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     |
| $p_t$      | Zieldruck für jede Druckhaltestufe entsprechend dem Belastungsprogramm                                          | MPa     |
| $p_0$      | horizontaler Ruhedruck am Pressiometer                                                                          | 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       |

| Symbol        | Beschreibung                                                                                                                                                      | Einheit           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 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 ausschließlich die zentrale Messzelle durch eine speziell dafür vorgesehene Membran gebildet wird (siehe Bild 2)         | ---               |
| $V$           | Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens nach dem Nullsetzen und der Datenkorrektur, gemessen 60 s nach dem Beginn einer Druckhaltestufe         | cm <sup>3</sup>   |
| $V_c$         | ursprüngliches Volumen der zentralen Messzelle, einschließlich des Schlitzrohrs, sofern zutreffend                                                                | cm <sup>3</sup>   |
| $V_i$         | korrigiertes Volumen                                                                                                                                              | cm <sup>3</sup>   |
| $V_m$         | mittleres korrigiertes Volumen zwischen $V_1$ und $V_2$                                                                                                           | cm <sup>3</sup>   |
| $V_p$         | beim Kalibrierversuch des Volumenverlustes ermitteltes Volumen (siehe Bild B.2)                                                                                   | cm <sup>3</sup>   |
| $V_E$         | Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens beim Druck $p_E$ , nach der Datenkorrektur                                                              | cm <sup>3</sup>   |
| $V_L$         | Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens, wenn sich das ursprüngliche Volumen des Pressiometer-Hohlraums verdoppelt hat, nach der Datenkorrektur | cm <sup>3</sup>   |
| $V_r$         | an der CU abgelesener Wert des in die Messzelle eingepressten Volumens vor der Datenkorrektur                                                                     | cm <sup>3</sup>   |
| $V_t$         | Volumen der zentralen Messzelle, einschließlich des Schlitzrohrs                                                                                                  | cm <sup>3</sup>   |
| $V_1$         | korrigiertes Volumen am Beginn des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls (siehe Bild 5)                                                                           | cm <sup>3</sup>   |
| $V_2$         | korrigiertes Volumen am Ende des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls                                                                                            | cm <sup>3</sup>   |
| $V_{30}$      | 30 s nach dem Beginn der Druckstufe abgelesener Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens                                                         | cm <sup>3</sup>   |
| $V_{60}$      | 60 s nach dem Beginn der Druckstufe abgelesener Wert des in die zentrale Messzelle eingepressten Volumens                                                         | cm <sup>3</sup>   |
| $\beta$       | Koeffizient zur Bestimmung des Druckbereichs des Pressiometer-Moduls                                                                                              | ---               |
| $\gamma$      | Wichte des Bodens zum Zeitpunkt des Versuchs                                                                                                                      | KN/m <sup>3</sup> |
| $\gamma_i$    | Wichte der in die zentrale Messzelle eingepressten Flüssigkeit                                                                                                    | KN/m <sup>3</sup> |
| $\gamma_w$    | Wichte des Wassers                                                                                                                                                | KN/m <sup>3</sup> |
| $\lambda_g$   | Änderungsgeschwindigkeit der Druckhöhe des Gases bei Druck $p_k$ je Tiefenmeter                                                                                   | m <sup>-1</sup>   |
| $\nu$         | Poissonzahl                                                                                                                                                       | ---               |
| $\sigma_{vs}$ | vertikale Gesamtbelastung im Baugrund in Versuchstiefe                                                                                                            | kPa               |
| $\sigma_{hs}$ | horizontale Gesamtbelastung im Baugrund auf Versuchshöhe                                                                                                          | kPa               |

| Symbol       | Beschreibung                                                                                                                           | Einheit         |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $\Delta p$   | Druckzunahmestufe des Belastungsdruckes                                                                                                | MPa             |
| $\Delta p_1$ | anfängliche Druckzunahmestufe                                                                                                          | MPa             |
| $V_{60/30}$  | Änderung des eingepressten Volumens in der Zeit zwischen 30 s bis 60 s nach Erreichen der Druckhalttestufe – das Pressiometer-Kriechen | cm <sup>3</sup> |
| $V_{60/60}$  | Änderung des eingepressten Volumens nach 60 s zwischen aufeinanderfolgenden Druckstufen                                                | cm <sup>3</sup> |

## 4 Ausrüstung

### 4.1 Allgemeine Beschreibung

Das in Bild 2 schematisch dargestellte Pressiometer muss bestehen aus:

- einer Pressiometer-Sonde;
- einem Gestänge zum Handhaben der Messsonde;
- einer Steuereinheit (CU);
- Leitungen zum Verbinden der Steuereinheit mit der Messsonde.

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

Wie in Bild 2 dargestellt, dürfen andere Messverfahren verwendet werden, um die Ausdehnung zu verfolgen.

ANMERKUNG Wegaufnehmer können eine genaue Messung der Ausdehnung des mittleren Abschnitts der Messsonde vornehmen.

### 4.2 Pressiometer-Sonde

Diese Messsonde muss aus zylindrischen Zellen mit kreisförmigem Querschnitt entlang derselben Achse zusammengesetzt sein (siehe Bild 2). Die Messsonde muss aus einem hohlen Stahlkern mit Durchlässen zum Einpressen geeigneter Flüssigkeiten bestehen, um die Zellen aufzuweiten. 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. 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.

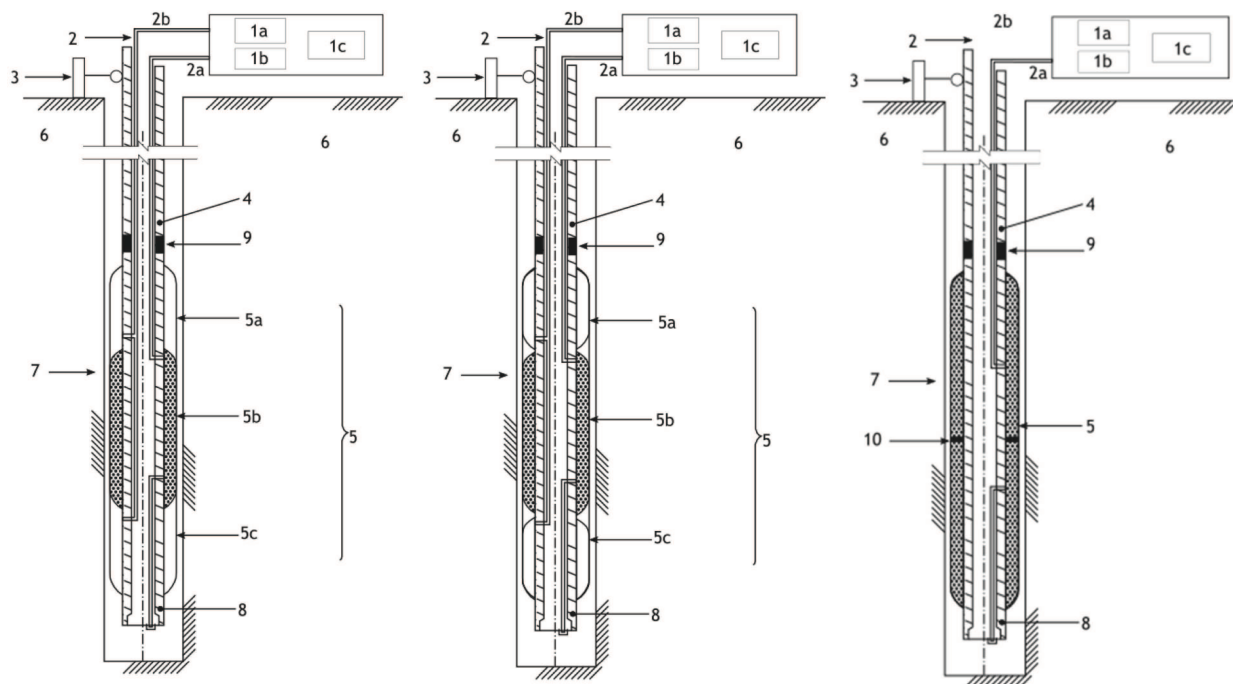
Sofern die Messzelle eine Schlankheit von mindestens 6 aufweist, darf die Messsonde aus einer Zelle bestehen. Andernfalls muss die Sonde aus drei Zellen bestehen, um dieses Kriterium zu erfüllen. Eine Membran der zentralen Messzelle muss die Flüssigkeit in der Messzelle vom Gas der Schutzzellen trennen.

ANMERKUNG Durch die Erfüllung dieses Kriteriums wird sichergestellt, dass das Spannungsfeld zweidimensional ist.

Die zentrale Messzelle muss

- von einem Mantel aus Schutzzellen (Messsonde der Bauart G),
- von einem Mantel aus bestimmten Membranen für Schutzzellen (Messsonde der Bauart E) oder
- von einem Mantel ohne Schutzzellen (Bauart mit einer Zelle) bedeckt sein.

Alle drei Messsonden können für volumetrische Messungen mit einem Radial-Messwertaufnehmer oder mit einem anderen Messgerät ausgerüstet sein, das entweder das Volumen oder den Radius der Messsonde zuverlässig misst. Der Druck kann auf Bodenhöhe oder auf Höhe der Sonde gemessen werden.



#### Legende

- |    |                       |    |                                                                                                |
|----|-----------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Steuereinheit (CU):   | 1a | Geräte zum Beaufschlagen mit Druck, für die Erzeugung einer Druckdifferenz und zum Einpressen  |
|    |                       | 1b | Druck- und Volumenmessgeräte                                                                   |
|    |                       | 1c | Erfassung, Speicherung und Ausdruck der Daten (erforderlich für Steuereinheit Typ B und Typ C) |
| 2  | Verbindungsleitungen: | 2a | Leitung zum Einpressen von Flüssigkeit                                                         |
|    |                       | 2b | Leitung zum Einpressen von Gas                                                                 |
| 3  | Tiefenmesssystem      | 5c | untere Schutzzelle                                                                             |
| 4  | Gestänge              | 6  | Baugrund                                                                                       |
| 5  | Pressiometer-Sonde    | 7  | Pressiometer-Versuchsvorbohrung                                                                |
| 5a | obere Schutzzelle     | 8  | Messsondenkörper, hohl                                                                         |
| 5b | zentrale Messzelle    | 9  | Messsonden-Gestänge-Verbindung                                                                 |
| 10 | Messumwandler         |    |                                                                                                |

**Bild 2— Schematische Darstellung eines Pressiometers nach Ménard**

Diese Messzelle muss durch Einpressen einer Flüssigkeit aufgeweitet werden, die als nicht komprimierbar angesehen wird.

ANMERKUNG Alternativ kann die Messzelle auch mit Luft aufgeweitet werden und die Ausdehnung von einem Wegaufnehmer verfolgt werden.

Je nach Art und Beschaffenheit des Baugrunds sind nach Anhang C drei Bauarten von Pressiometer-Sonden zu verwenden:

- ein hohler Sondenkörper mit elastischem Mantel;
- ein hohler Sondenkörper mit elastischem Mantel und einer zusätzlichen starreren Schutzeinrichtung;
- ein hohler Sondenkörper mit elastischem Mantel und einem geschlitzten Stahlrohr.

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

Die 60-mm-Pressiometer-Sonde muss zu einer mindestens 1,2fachen volumetrischen Aufweitung ihres Ruhevolumens  $V_c$  in der Lage sein.

#### 4.2.1 Messsonde mit elastischem Mantel

Die Messsonde enthält

- eine Messzelle mit einem Außendurchmesser  $d_c$  und einer Mindestlänge  $l_c$ , die sich in einer Vorbohrung radial aufweiten und eine gleichmäßige Spannung auf die Vorbohrungswandung ausüben muss,
- zwei Schutzzellen, falls zutreffend, mit einem Außendurchmesser  $d_g$  und einer Länge  $l_g$ , 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 nahekommt, jedoch nicht größer als diese ist. Diese Zellen sollten durch Gasdruck aufgeweitet werden.

Die Messsonde mit drei Zellen sollte mit einer Membran für die zentrale Messzelle und einem elastischen Mantelrohr versehen werden. Die Membran und der elastische Mantel müssen mit dem Stahlkern mithilfe eines Dichtsystems verbunden sein, um eine Undichtigkeit oder einen Druckverlust zu vermeiden.

Der elastische Mantel kann mit Textilien oder metallischem Gewebe verstärkt werden. Bei Messzellen mit einer Zelle muss die Steifigkeit des elastischen Mantels eine zylindrische Form der Messzelle bis mindestens 700 cm<sup>3</sup> zulassen.

#### 4.2.2 Messsonde mit elastischem Mantel und einer zusätzlichen starrereren Schutzeinrichtung

Ein elastischer Schutz aus dünnen Kunststoff- oder Stahlstreifen, die sich entweder (bis zur Hälfte) überlappen oder isoliert zwischen Befestigungsringen verlaufen, darf über den Mantel gegeben werden.

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

#### 4.2.3 Messsonde mit elastischem Mantel und geschlitztem Stahlrohr

Diese Messsonde muss aus zwei Teilen bestehen:

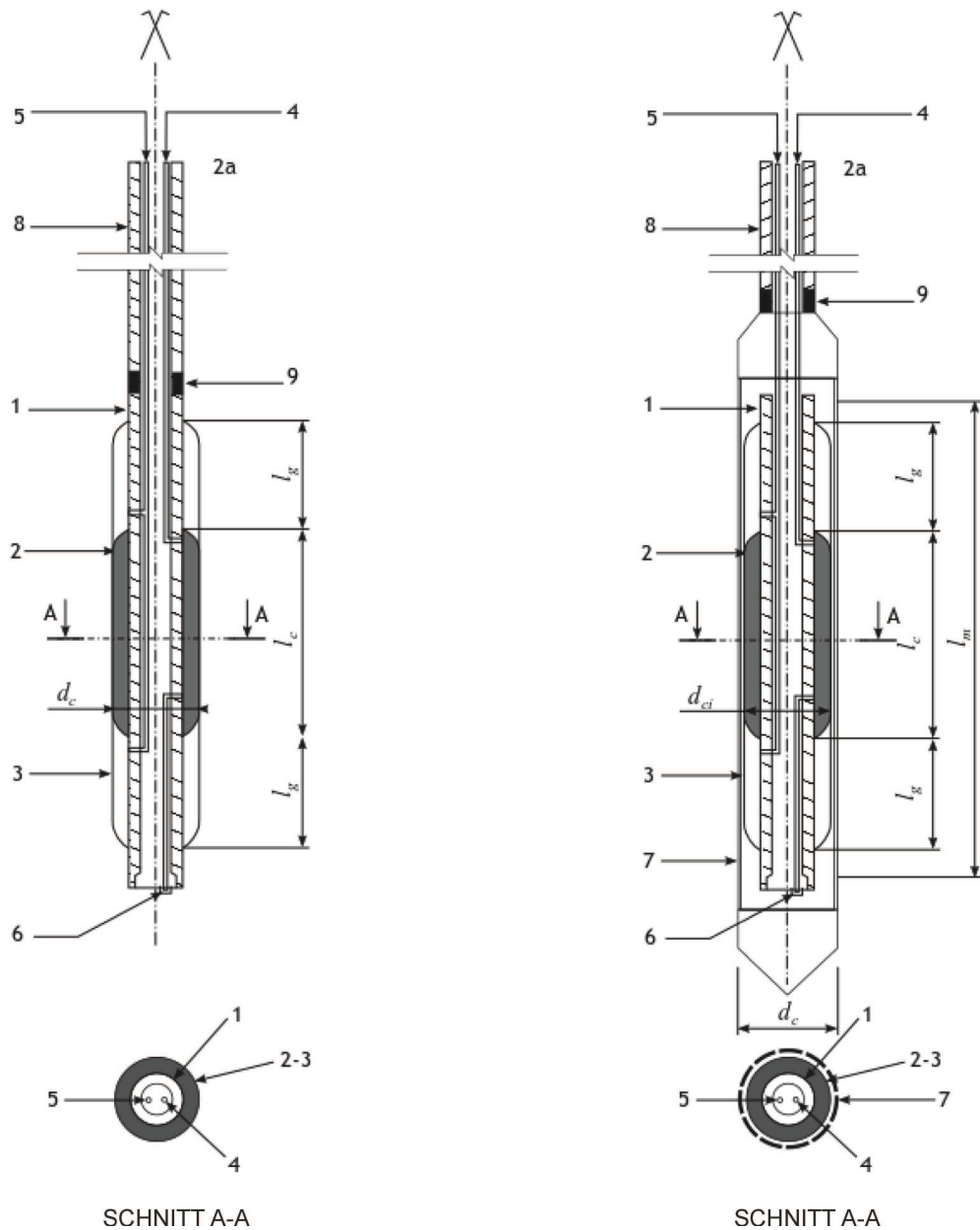
- einem Innenteil, der den zuvor beschriebenen Messsonden entspricht; und
- einem Außenteil, der aus einem geschlitzten Stahlrohr gefertigt sein muss (siehe Bild 3). Wird dieses Schlitzrohr in den Boden gerammt oder eingepresst, muss es mit einem Dehnrohr einschließlich einer Spitze oder eines Schneidfußes ausgestattet sein.

Das äußere Stahlrohr muss mit mindestens 6 gewöhnlich axialen Schlitzten, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind (Bild 3b), versehen sein.

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 Schlitze wieder ihre ursprüngliche Form und Größe annehmen.

Die im Schlitzrohr befindliche Baugruppe ist so anzuordnen, dass sich die Messsonde mit nur geringem Widerstand radial ausdehnen kann. Die Mittelebene der Messzelle muss der Mittelebene der Schlitze entsprechen. Die Position der Messzelle darf mithilfe elastischer Abstandshalter gehalten werden, wenn das Schlitzrohr auf das Verlängerungsrohr gesetzt wird.

„Maße nach Anhang A“



3a) Pressiometer-Sonde mit elastischem Mantel

3b) Pressiometer-Sonde mit Schlitzrohr

#### Legende

- |   |                                       |   |                                |
|---|---------------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | hohler Sondenkörper                   | 5 | Gaseintritt in die Schutzzone  |
| 2 | Messzellen-Membran                    | 6 | Ablauföffnung der Messzelle    |
| 3 | Außenrohr oder elastischer Mantel     | 7 | Schlitzrohr                    |
| 4 | Flüssigkeitseintritt in die Messzelle | 8 | Gestänge                       |
|   |                                       | 9 | Messsonden-Gestänge-Verbindung |

Bild 3— Pressiometer-Sonde (schematisch)

### 4.3 Verbindungsleitungen und eingepresste Flüssigkeit

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.

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

Die eingepresste Flüssigkeit und der Innendurchmesser der Verbindungsleitungen müssen so gewählt werden, dass die Flüssigkeit von der Steuereinheit zur Messsonde in einer Zeit übertragen wird, die für die auf den Boden aufzubringende Druckstufe angemessen ist. Eine Zunahme des Volumens  $V_{60} - V_{30}$  sollte während der Druckverlustprüfung der zentralen Membran bei Enddruckverlust der Messsonde  $p_{el}$  geringer als  $30 \text{ cm}^3$  sein.

ANMERKUNG Zusatzstoffe wie Ethylenglykol erhöhen die Viskosität der Flüssigkeit deutlich, und daher nimmt auch die Zeit zum Übertragen der Flüssigkeit von der Steuereinheit zur Messsonde zu. Es dürfen alternative Flüssigkeiten wie Öl gewählt werden.

#### 4.4 Druck-Volumen-Steuereinheit (CU)

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;
- Gerät, das je nach dem in Tabelle 1 definierten Typ das Ablesen und Aufzeichnen der zu messenden Parameter gestattet: Zeit, Druck und Volumen.

**Tabelle 1 — Typen einer Pressiometer-Steuereinheit**

| Typ der Steuereinheit | Art des Prüfverfahrens | Art des Ablesens und Aufzeichnens |
|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| A                     | manuell                | manuell                           |
| B                     | manuell                | automatisch                       |
| C                     | automatisch            | automatisch                       |

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 Pressiometers oder einen Druck  $p_r$  zu erreichen, der mindestens dem vom Hersteller der Steuereinheit angegebenen Höchstdruck 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 in die Messzelle einzupressen, das mindestens das Ruhevolumen  $V_c$ , d. h.  $700 \text{ cm}^3$  bei einer 60-mm-Pressiometer-Sonde, übersteigt.

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

#### 4.4.1 Messen und Steuern

##### 4.4.1.1 Zeit

Die Genauigkeit des Zeitmessgerätes muss Anhang E entsprechen.

##### 4.4.1.2 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 in der Steuereinheit;
- oder in der Messsonde, weniger als 1 m oberhalb des Mittelpunkts der zentralen Messzelle.

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

##### 4.4.1.3 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.

##### 4.4.1.4 Kalibrierzylinder für den Volumenverlust

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

- ein gemessener Innendurchmesser  $d_i$  von nicht mehr als 10 % des Messsondendurchmessers  $d_c$ ;
- 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.

#### 4.4.2 Elektronische Messwerterfassungsanlage

Die elektronische Messwerterfassungsanlage, die Einrichtung zum Erfassen und Aufzeichnen der Daten bei den Steuereinheiten des Typs B oder Typs C, muss so konstruiert sein, dass sie die Zeit, 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 B oder C zeichnet  $p_r$  und  $V_r$  auf und im Falle von Radiusmessungen durch Messumwandler  $p_r$  und  $d_r$ .

Die elektronische Messwerterfassungsanlage muss die Anzeige oder das Drucken der Rohdaten von Druck und Volumen ( $p_r$ ,  $V_r$ ) in dem durch das Belastungsprogramm definierten Zeitabstand sowie der unkorrigierten Pressiometerkurve ermöglichen.

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: CU-Nummer, Nummer der elektronischen Messwerterfassungsanlage,
- die Eingabe der für den Versuch erforderlichen Angaben fordert, wie in 5.4 beschrieben,
- den Eingang von Druck- und Volumendaten oder anderen Angaben verhindert, die nicht während der Versuchsdurchführung gewonnen werden.

## 5 Versuchsdurchführung

### 5.1 Zusammenbau der Teile

Der Mantel, die Membran und bei Bedarf die starre Schutzeinrichtung oder das Schlitzrohr müssen in Abhängigkeit von den erwarteten Belastungs-Verformungs-Parametern und der Art 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. Die Kopien oder die Anzeige der Kalibrierergebnisse müssen/muss am Versuchsstandort verfügbar sein und später mit den Rohdaten zur Verfügung gestellt werden.

### 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. Die Verwendung von Ergebnissen aus der Messung während der Bohrung [(MWD, en: measuring while drilling), siehe CEN ISO 22476-15] kann hilfreich sein, um einen geologischen Übergang zu erkennen oder optional die Position der Versuchsvorbohrung nach Anhang C festzulegen.

Drei Bedingungen müssen erfüllt sein, um eine zufrieden stellende Versuchsvorbohrung zu erhalten:

- die Ausrüstung und das Verfahren zur Herstellung der Versuchsvorbohrung dürfen den Boden an der Wandung des Hohlraums nur so wenig wie möglich stören (siehe C.1);
- der Durchmesser des Schneidwerkzeugs muss den festgelegten zulässigen Abweichungen entsprechen (siehe C.2.2);
- der Pressiometerversuch muss unmittelbar nach der Herstellung der Vorbohrung durchgeführt werden (siehe Tabelle C.1 sowie C.1.2 und C.1.3).

**ANMERKUNG** Die Form der Pressiometerkurve und der Streuwert der Ablesewerte des Versuchs in einer geotechnischen Einheit geben einen Hinweis auf die Qualität der Versuchsvorbohrung (siehe D.2).

## 5.4 Vorbereitung des Versuchs

Die Druck-Volumen-Steuereinheit (CU) und die elektronische Messwerterfassungsanlage müssen vor direktem Sonnenlicht geschützt werden.

Die Lage der Pressiometer-Sondierung muss auf einem Lageplan gekennzeichnet sein und durch Einzelheiten zur Lage identifiziert werden.

Erfolgt die Sondierung in geeigneter Ebene, sind deren Neigung und Richtung aufzuzeichnen (siehe Anhang F).

Als nächster Schritt für jede Sondierung sind

- das Erfassungs- und Aufzeichnungsgerät, d. h. die elektronische Messwerterfassungsanlage, zu initialisieren (Typ B und Typ C),
- der Anfangsablesewert jedes Messwandlers zu prüfen und, wenn geeignet, aufzuzeichnen (Typ A, Typ B und Typ C).

Die Identifizierungsparameter des Versuchs werden entweder auf der Speichereinheit oder auf dem Datenblatt mit einem Durchschlag aufgezeichnet (siehe Anhang F):

- Identifizierung des Versuchsdurchführenden;
- Nummer des Berichts;
- Nummer der Sondierung;
- Bauart der Messsonde;
- angewendetes Bohrverfahren (siehe Anhang C);
- Identifizierung und Beschreibung des Baugrunds nach ISO 14688-1 und ISO 14689-1;
- Verfahren beim Einbringen der Messsonde;
- Verweisungen in Bezug auf Kalibrierversuche (siehe Anhang B);
- Höhe  $z_c$  des Druckwandlers oder der Wert von  $z_c - z_N$  für diesen Messwandler (siehe Bild D.1);
- Höhe  $z_s$  des Versuchsorts oder Tiefe ( $z_N - z_s$ ) der Messsonde (siehe Bild D.1);
- Differenzdruckeinstellung (siehe B.4.4).

## 5.5 Festlegen des Belastungsprogramms

Das Belastungsprogramm eines Pressiometerversuchs muss das Verhältnis zwischen der Zeit und dem Druck sein, der durch die Messsonde auf den Baugrund aufgebracht wird (Bild 4).

Bei jeder Druckhaltestufe ist der Druck in der Messzelle und, sofern zutreffend, den Schutzzellen für eine Zeitdauer  $t_h$  konstant zu halten. Die Dauer  $t_h$  der Stufe wird derart gewählt, dass das Bodenverhalten und nicht die hydraulischen Eigenschaften des CU-Schaltkreises und der Verbindungsleitungen erfasst wird. Häufig wird ein Wert von 60 s verwendet.

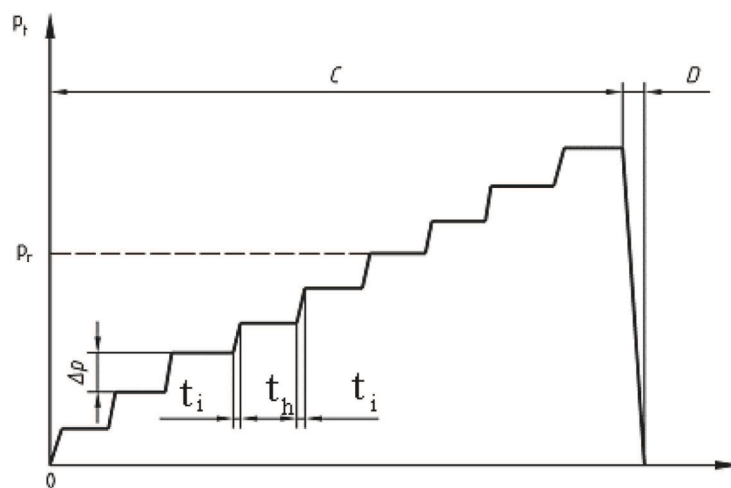
Im Falle einer langen Verbindungsleitung und niedriger Außentemperatur, wodurch Zusatzstoffe in der Flüssigkeit mit einer höheren Viskosität als Wasser zu verwenden sind und dies eine langsame Reaktion des Systems bedeutet, muss eine entsprechende Anpassung von  $t_h$  vorgenommen werden oder es kann eine spezifische (experimentelle oder theoretische) Überprüfung des Druckverlusts in Betracht gezogen werden.

Die Differenz zwischen Zieldruck und erfasstem Druck sollte 25 kPa oder 0,5 % für Typ A und Typ B bzw. 10 kPa oder 0,2 % für Typ C nicht überschreiten. Sofern die erfassten Druckwerte diese Werte überschreiten, muss der letzte Druckwert aufgezeichnet werden.

Der ausgeübte Druck darf während der letzten 10 s der Druckhaltestufe nicht verändert werden.

Über die anzuwendende anfängliche Druckzunahme  $\Delta p_1$  muss der Durchführende entscheiden nach Beobachtung der Bohrparameter, einer Untersuchung des Bohrkerns oder des Bohrkleins und durch Anweisung. Sobald die Anfangsablesewerte aufgezeichnet wurden, muss der Durchführende den Kriechparameter  $V_{60/30}$  und die Differenzen  $V_{60/60}$  der im Abstand von 60 s abgelesenen Volumina beobachten und darf im Ergebnis die Druckzunahme so verändern, dass

- während des Versuchs annähernd 10 Punkte erreicht werden und
- das Ende des Versuchs erreicht wird (siehe 5.7.2).



#### Legende

|            |                                         |       |                                  |
|------------|-----------------------------------------|-------|----------------------------------|
| $p_t$      | Zieldrücke                              | $t$   | Zeit                             |
| $\Delta p$ | Druckzunahmestufe                       | $t_i$ | Zeitspanne der Druckzunahmestufe |
| $p_r$      | Druckhaltestufe mit der Zeitdauer $t_h$ | $t_h$ | Dauer einer Druckhaltestufe      |
| $C$        | Belastungsphase                         | $D$   | Entlastungsphase                 |

**Bild 4— Belastungsprogramm für einen Pressiometerversuch nach Ménard**

Es sollte eine konstante Druckstufe verwendet werden. Der Grenzdruck des vorherigen Versuchs darf verwendet und durch zehn geteilt werden. Gegebenenfalls darf dessen Wert bis zu zweimal während des Versuchs in der pseudoelastischen Phase angepasst werden. Der Wert der Druckstufen sollte nach Überschreiten des Kriechdrucks nicht verringert werden.

Die zum Erhöhen des Druckes um die nächste Stufe  $\Delta p$  erforderliche Zeitspanne  $t_i$  muss kürzer als 20 s sein. Ist die Verbindungsleitung lang (sofern aufgewickelt) und die eingepresste Flüssigkeit viskos, ist eine geeignete Anpassung von  $t_i$  vorzunehmen. Die Zeitspanne  $t_i$  muss während des Versuchs konstant gehalten werden. Ist der Versuch wie unter 5.7.2 beschrieben abgeschlossen, ist eine stetige Entlastung ohne Unterbrechung durchzuführen.

## 5.6 Festlegen des Differenzdruckes

Der Gasdruck in den Schutzzellen muss um mindestens das Doppelte des Druckverlustes  $p_m$  der Membran der Messzelle, wie in B.2 definiert, geringer sein als der Druck in der Messzelle.

Die Druckdifferenz in Höhe der Steuereinheit (CU), die für die Aufrechterhaltung des bereits erwähnten Gleichgewichtes erforderlich ist, wird als Differenzdruck bezeichnet. Sie muss nach B.4.4 berechnet werden. Dieser Differenzdruck muss vor Versuchsbeginn eingestellt und auf jeder Druckstufe überprüft werden.

Dem Durchführenden muss an der Versuchsstelle vor der Durchführung der Versuche eine Tabelle zur Verfügung gestellt werden, in der je nach Bauart der verwendeten Messsonden Differenzdrücke als Funktion der Tiefe angegeben sind.

## 5.7 Aufweitung

Das Verfahren der Aufweitung muss Folgendes umfassen:

- das Aufbringen eines gleichförmigen Druckes auf die Vorbohrungswandung mit Hilfe der Pressiometer-Sonde entsprechend dem Belastungsprogramm (siehe 5.5);
- das Aufzeichnen der zeitbezogenen Volumenänderungen der Messzelle als Funktion des auf die Messzelle aufgetragenen Belastungsdruckes.

### 5.7.1 Ablesewerte und Aufzeichnungen

Bei jeder Druckhaltestufe sind die folgenden Ablesungen vorzunehmen:

- bei Typ A muss der für das Belastungsprogramm erforderliche Flüssigkeitsdruck einmal und das in die Messsonde eingepresste Volumen zu folgenden Zeitpunkten nach dem Erreichen des Zieldruckes aufgezeichnet werden: 1 s, 15 s, 30 s und 60 s. Der Flüssigkeits- und der Gasdruck, der Differenzdruck und deren Schwankungen sind zu überprüfen. Extreme Schwankungen müssen aufgezeichnet werden (siehe auch 5.5);
- bei Typ B und Typ C müssen der aufgetragene Flüssigkeitsdruck und die in die Messsonde eingepressten Volumina angezeigt und mindestens zu folgenden Zeitpunkten aufgezeichnet werden: 1 s, 15 s, 30 s und 60 s. Ablesewerte der Gasdrücke zu denselben Zeitpunkten dürfen zur Kontrolle verwendet werden.

Der Nullpunkt der Zeitdauer jeder Druckhaltestufe wird am Ende der zugehörigen Druckzunahmeperiode  $t_i$  genommen.

### 5.7.2 Ende des Versuchs

Sofern nicht anders festgelegt, wird der Versuch beendet, wenn im Rahmen der vollen Leistung der Geräte ausreichend Daten für den vorgesehenen Zweck zusammengetragen wurden. Dies ist üblicherweise der Fall, wenn

- der Druck  $p_r$  mindestens den Höchstdruck des Geräts erreicht oder
- das Volumen der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit das 1,2fache des Volumens der Messsonde  $V_c$  übersteigt oder die Ausdehnung während der laufenden Stufe so groß ist, dass dieser Wert vor dem Ende einer weiteren Stufe erreicht werden würde, oder
- die Messsonde platzt.

ANMERKUNG Sofern diese Bedingungen nicht auftreten, kann der Versuch weiterhin vollständig analysiert werden, wenn drei hinter  $p_r$  liegende Druckhaltestufen erreicht werden.

ANMERKUNG Bei einer 60-mm-Messsonde mit drei Zellen entspricht das 1,2fache des Volumens  $V_c$  der Messsonde einem Volumen von 600 cm<sup>3</sup>.

## 5.8 Verfüllen der Vorbohrungen

Das Verfahren zum Verfüllen der sich aus der Pressiometer-Sondierung ergebenden Vorbohrungen ist zu vereinbaren und in Übereinstimmung mit EN ISO 22475 und nationalen Bestimmungen sowie technischen oder behördlichen Anforderungen durchzuführen und muss die Schichten, die Verunreinigung des Baugrunds und dessen Tragfähigkeit berücksichtigen.

Bei Bedarf ist das Verfüllen des sich aus der Pressiometer-Sondierung ergebenden Bohrlochs im Baugrund abzuschließen und im Untersuchungsbericht zu dokumentieren.

## 5.9 Sicherheitsanforderungen

Nationale Sicherheitsbestimmungen sind für z. B. Folgendes zu beachten:

- persönliche Schutzausrüstung;
- die Bereitstellung von sauberer Luft bei Arbeiten in abgeschlossenen Räumen;
- Sicherstellen der Sicherheit des Personals und der Gerätesicherheit.

Bohrgeräte müssen EN ISO 22476-15 entsprechen, sofern zutreffend.

## 6 Versuchsergebnisse

### 6.1 Datenblatt und Ausdruck oder Anzeige am Versuchsort

#### 6.1.1 Datenblatt bei Steuereinheit Typ A

Sämtliche in F.1 dargestellten Daten müssen vollständig und sorgfältig aufgezeichnet werden.

Der Durchführende muss das Datenblatt durch seine Unterschrift und seinen vollständigen Namen in Blockschrift beglaubigen.

#### 6.1.2 Ausdruck am Versuchsstandort für Steuereinheit Typ B und Typ C

Die folgenden Mindestangaben müssen bei jedem Versuch am Versuchsstandort ausgedruckt oder angezeigt werden:

- a) vor Versuchsbeginn:
  - Identifizierung des Durchführenden;
  - Angabe, dass der Versuch die vorliegende Norm erfüllt: EN ISO 22476-4;
  - Parameter der elektronischen Messwerterfassungsanlage;
  - Nummer der Druckbeaufschlagungs- und Ableseeinheit (und die Nummer der elektronischen Messwerterfassungsanlage, sofern von der Einheit getrennt);
  - Angaben zur Identifizierung des Versuchs: wie unter 5.4 aufgelistet;

- b) zu Beginn des Versuchs:
  - Datum (Jahr, Monat, Tag, Stunde und Minute) zu Beginn des Versuchs;
- c) am Ende jeder Druckstufe:
  - Nummer der Belastungsdruckstufe in der Versuchsreihe;
  - ein Ablesewert für den Flüssigkeitsdruck im Zeitintervall zwischen dem Beginn der Druckhaltestufe und 15 s später, angegeben auf mindestens drei signifikante Stellen;
  - Ablesewerte des eingepressten Volumens 30 s und 60 s nach Beginn der Druckhaltestufe, gerundet auf den nächsten  $\text{cm}^3$ ;
  - die Differenz zwischen diesen beiden Ablesewerten, d. h.  $V_{60/30}$ ;
  - die Differenz zwischen den Ablesewerten des nach 60 s eingepressten Volumens der laufenden und der vorhergehenden Druckstufe  $V_{i+1/i}$ ;
- d) bei Abschluss des Versuchs:
  - Datum und Uhrzeit bei Abschluss des Versuchs;
  - rechnergestützte Darstellung der Ablesewerte des Volumens  $V_r$  gegen die Ablesewerte des Druckes  $p_r$  nach 60 s, die die unkorrigierte Pressiometerkurve ergeben;
  - der Durchführende muss den vollständigen Ausdruck durch seine Unterschrift und seinen vollständigen Namen in Blockschrift beglaubigen.

### 6.1.3 Unkorrigierte Pressiometerkurve

Die unkorrigierte Pressiometerkurve muss sich durch die Darstellung der CU-Messwerte für  $V_r$  in Abhängigkeit von  $p_r$  nach jeweils 60 s ergeben.

Bei den Steuereinheiten Typ B und Typ C muss der Drucker oder der Bildschirm der elektronischen Messwerterfassungsanlage die unkorrigierte Pressiometerkurve ausgeben.

## 6.2 Korrigierte Pressiometerkurve

Die korrigierte Pressiometerkurve (Bild 5) muss das Volumen  $V$  der zentralen Messzelle der Messsonde als Funktion des auf die Wandung der Vorbohrung aufgetragenen Druckes  $p$  angeben:

$$V = f(p)$$

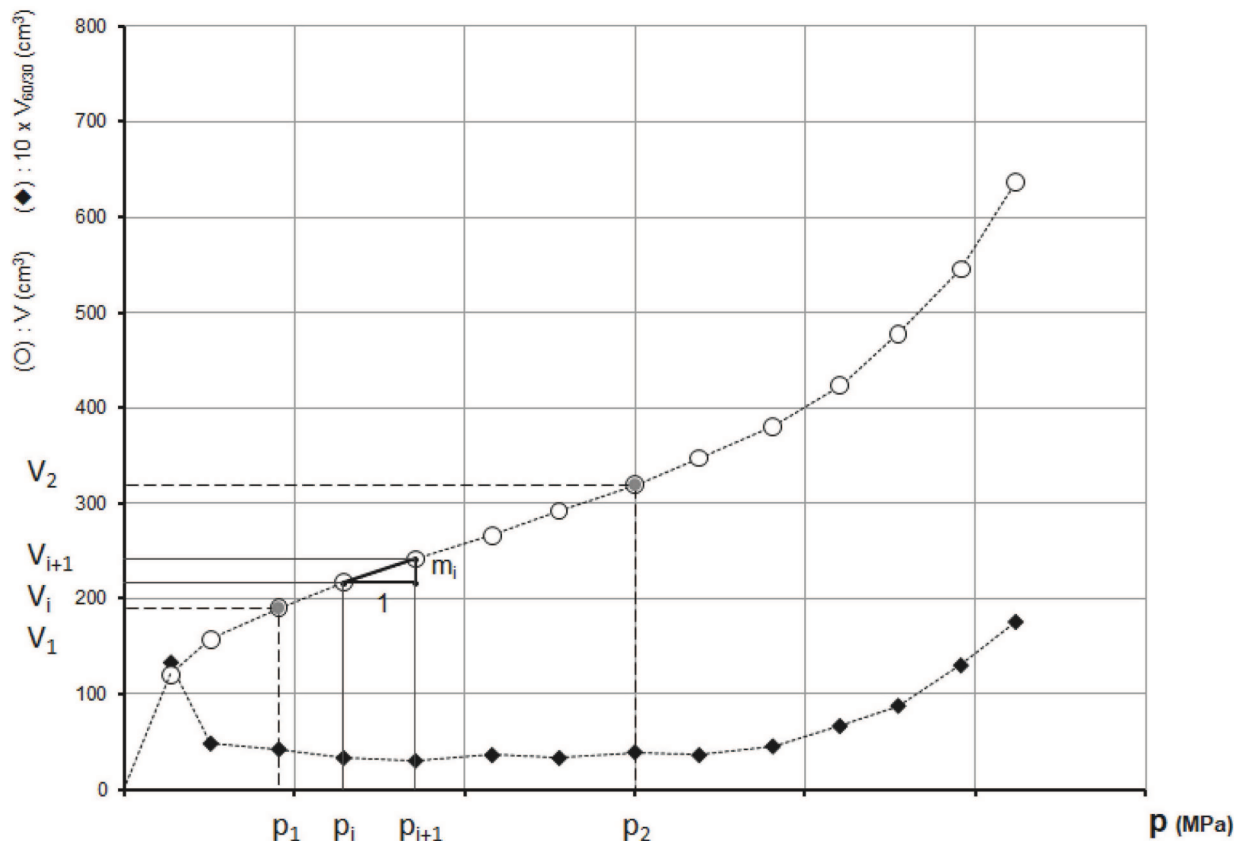
Dabei ist

- $p$  der nach 60 s durch den äußeren Mantel der Messsonde auf die Wandung der Vorbohrung aufgetragene Druck nach der Korrektur der hydrostatischen Druckhöhe und des Druckverlustes (siehe D.1.2 und D.1.3);
- $V$  das entsprechende Volumen der in die Messsonde eingepressten Flüssigkeit nach dem Nullsetzen (siehe B.4.1) und nach der Korrektur des Volumenverlustes (siehe D.1.4).

Das zur Modellierung der Versuchskurve des Druckverlustes und der Parameter eingesetzte Verfahren muss angegeben werden (siehe D.1.3).

Die korrigierte Pressiometerkurve muss durch die in Bild 5 dargestellte Koordinatenfolge ( $p$ ,  $V$ ) definiert sein. Zu Beginn des Pressiometerversuchs muss die Bohrlochwandung durch die Messsonde belastet werden, bis sie annähernd in ihren ursprünglichen Zustand zurückkehrt.

Ab diesem Punkt sollte der Anstieg der Pressiometerkurve im Allgemeinen für mehrere folgende Stufen nahezu konstant sein. Sobald ungefähr die Hälfte des Versuchs erreicht ist, sollte die Rate der radialen Ausdehnung der Messsonde mit steigendem Druck rascher ansteigen, bis die Endbedingungen des Versuchs nach 5.7.2 erreicht sind.



#### Legende

- korrigierte Pressiometerkurve
- ◆ korrigierte Kriechkurve
- korrigierte Anstiegskurve

**Bild 5— Graphische Darstellung eines korrigierten Pressiometerversuchs**

Die Kriechkurve ist (nach D.3) graphisch darzustellen wie im unteren Teil von Bild 5 gezeigt. Änderungen der Kriechrate können wichtige Ereignisse während des Versuchs anzeigen.

### 6.3 Berechnete Ergebnisse

Die Parameter des Pressiometerversuchs müssen sich aus den Angaben ergeben, die entweder auf dem Datenblatt (Typ A) oder in einem Zahlenformat (Typ B und Typ C) aufgezeichnet sind.

Um festzustellen, ob und in welchem Ausmaß die Kurve analysiert werden kann, müssen die Daten zunächst so untersucht werden, wie sie aufgezeichnet wurden (siehe Anhang D).

Anschließend sind die in Anhang D beschriebenen Verfahren anzuwenden, um

- den Pressiometer-Kriechdruck  $p_f$  zu bestimmen (D.3),
- den Ménard-Pressiometer-Grenzdruck  $p_{LM}$  zu bestimmen (D.4),
- den Ménard-Pressiometer-E-Modul  $E_M$  zu berechnen (D.5).

## 7 Berichte

### 7.1 Allgemeines

Die Versuchsergebnisse sind so protokollieren, dass Dritte in der Lage sind, sie zu überprüfen und vollständig zu verstehen.

### 7.2 Feldprotokoll

Das Feldprotokoll muss alle vor Ort zusammengetragenen Daten enthalten (siehe 5.4 und 6.1).

Das Feldprotokoll muss durch den verantwortlichen Versuchsdurchführenden unterzeichnet werden (6.1.1 und 6.1.2).

Ein Beispiel für das Feldprotokoll für einen einzelnen Pressiometerversuch ist in Anhang F enthalten.

### 7.3 Untersuchungsbericht

Der Prüfbericht muss das Feldprotokoll (7.2) und den Bericht des Pressiometerversuchs nach Ménard umfassen, einschließlich der erhaltenen Pressiometerparameter sowie die Angabe des Auswertungsverfahrens. Der Prüfbericht muss durch den vor Ort für das Projekt verantwortlichen Durchführenden unterzeichnet werden.

#### 7.3.1 Bericht des Pressiometerversuchs nach Ménard

Der Bericht eines einzelnen Pressiometerversuchs muss entsprechend Anhang F die korrigierten Daten, die Pressiometerkurve und die Parameter des Pressiometerversuchs enthalten.

Er muss darüber hinaus die Feldprotokolle einschließlich einer Kopie entweder des unterzeichneten Datenblatts (siehe 6.1.1) oder des unterzeichneten Ausdruckes (siehe 6.1.2) sowie bei Typ B und Typ C die zugehörigen lesbaren elektronischen, auf einem elektronischen Träger aufgezeichneten Daten enthalten, wie in 5.7 beschrieben.

Der Bericht muss mindestens die folgenden Daten enthalten:

- a) eine Verweisung auf die vorliegende Norm EN ISO 22476-4;
- b) Typ der für den Versuch verwendeten Steuereinheit: A, B oder C;
- c) Kennnummer der Sondierung, bei der der Pressiometerversuch durchgeführt wurde;
- d) Höhe des Versuchs oder dessen Tiefe von der Oberkante der Sondierung oder Verrohrung;
- e) Art des verwendeten Bohrverfahrens und des Bohrwerkzeugs zum Herstellen der Vorbohrung sowie die Höhe der Oberkante und der Unterkante des Bohrabschnitts;
- f) Zeitpunkt der Fertigstellung der Versuchsvorbohrung, auf die Minute gerundet;

- g) Bauart, den Markennamen und die Seriennummer der Steuereinheit und der elektronischen Messwerterfassungsanlage, sofern von der Steuereinheit getrennt;
- h) Angaben zu kürzlich durchgeführten Überprüfungen aller verwendeten Steuerungs- und Messeinrichtungen (siehe B.1);
- i) Zeitpunkt des Versuchsbeginns, auf die Minute gerundet;
- j) Bauart der Messsonde (siehe 4.2) und deren Einzelheiten (Manteltyp, starre Schutzeinrichtung, Schlitzrohr usw.), die Ergebnisse des Volumenverlust- und Druckverlust-Kalibrierversuchs nach Anhang B;
- k) Differenzdruck ( $p_r - p_g$ ) auf CU-Höhe;
- l) Tabelle der Ablesewerte des Flüssigkeitsdruckes und -volumens nach 1 s (nur Typ B und Typ C), 15 s, 30 s und 60 s für jeden Druckbelastungsschritt;
- m) Koordinaten ( $p$ ,  $V$ ) jedes Punktes, der zur graphischen Darstellung der korrigierten Pressiometerkurve verwendet wird;
- n) sämtliche Zwischenfälle während des Versuchs (z. B. das Bersten einer Sonde);
- o) Höhe der Oberkante der Pressiometer-Sondierung  $z_N$  und der Druckwandler  $z_c$  wie in F.1 und Bild D.1 dargestellt;
- p) Höhenlage des Stützflüssigkeitspegels im Bohrloch, sofern zutreffend, sowie des Grundwasserspiegels, sofern bekannt:  $z_w$ ;
- q) Name des Unternehmens, das die Pressiometer-Sondierung durchführt, d. h. Bohrung und Versuch;
- r) korrigierte Pressiometerkurve und die Verfahren zur Korrektur des Druck- und des Volumenverlustes;
- s) Ménard-Pressiometer-Modul  $E_M$  und das Verfahren zu dessen Bestimmung;
- t) Ménard-Pressiometer-Grenzdruck  $p_{LM}$  und das Verfahren zu dessen Bestimmung;
- u) Kriechdruck  $p_f$  und das Verfahren zu dessen Bestimmung;
- v) Identifizierung und Beschreibung des Baugrunds nach ISO 14688-1 und 14689-1 für die Pressiometer-Versuchsvorbohrung;

### 7.3.2 Pressiometer-Protokoll

Ein Pressiometer-Protokoll nach F.2 muss mindestens Folgendes enthalten:

- a) eine Verweisung auf die vorliegende Norm EN ISO 22476-4;
- b) Typ der verwendeten Steuereinheit: A, B oder C;
- c) Lageplan der Pressiometer-Sondierungen und, falls angemessen, die Rasterbezugspunkte der Sondierungen;
- d) Höhe  $z_N$  der Geländeoberkante am Pressiometer-Bohrloch, gemessen von einem festen Bezugspunkt;
- e) Wasserstand im Bohrloch im Baugrund, der sich zu festgelegten Zeiten als Folge der Pressiometer-Sondierung ergeben hat, und die Höhe des Grundwasserspiegels, sofern bekannt;

- f) Verfahren zur Herstellung der Vorbohrungen unter Bezugnahme auf Tabelle C.1 und die Daten, zu denen die verschiedenen Vorbohrungen hergestellt wurden;
- g) Neigung und Richtung der Pressiometer-Sondierung;
- h) Angaben zu den Schichten des Baugrunds;
- i) Bohrparameter nach EN ISO 22476-15;
- j) graphische Darstellung der Pressiometer-Parameter als Funktion der Tiefe, mit einer Tiefenskale und folgenden Werten:
  - dem Ménard-Pressiometer-Modul,  $E_M$ ;
  - dem Ménard-Pressiometer-Grenzdruck,  $p_{LM}$ ;
  - dem Pressiometer-Kriechdruck,  $p_f$ .

Drücke und Pressiometer-Module sind mit mindestens zwei signifikanten Stellen anzugeben.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, an ein und demselben Versuchsstandort für alle Pressiometer-Protokolle einen gemeinsamen Abbildungsmaßstab zu verwenden.

- k) Kommentare zur Versuchsdurchführung, zu Zwischenfällen sowie weiteren Angaben, die die Versuchsergebnisse beeinflussen könnten.

## Anhang A (normativ)

### Geometrische Merkmale von Pressiometer-Sonden

#### A.1 Geometrische Spezifikationen für Messsonden

Tabelle A.1 ist in Verbindung mit 4.2 und den Bildern 3 zu lesen.

**Tabelle A.1 — Geometrische Spezifikationen für 60-mm-Pressiometer-Sonden mit drei Zellen**

|                                            |                               |                                          | Symbole  | Einheit | Wert  | Grenzabweichung |
|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|----------|---------|-------|-----------------|
| Hohler Sondenkörper mit elastischem Mantel |                               | Länge der zentralen Messzelle            | $l_c$    | mm      | 210   | +5<br>0         |
|                                            |                               | Länge der Schutzzellen                   | $l_g$    | mm      | 120   | ±15             |
|                                            |                               | Außendurchmesser                         | $d_c$    | mm      | 60    | ±5              |
| Messsonde mit Schlitzrohr (siehe Bild 3b)  | Innenteil: zentrale Messzelle | Länge der zentralen Messzelle            | $l_c$    | mm      | 370   | ±5              |
|                                            |                               | Länge der Schutzzellen                   | $l_g$    | mm      | 110   | ±5              |
|                                            |                               | Außendurchmesser der zentralen Messzelle | $d_{ci}$ | mm      | 44    | ±2              |
|                                            | Schlitzrohr                   | Außendurchmesser                         | $d_c$    | mm      | 60    | ±5              |
|                                            |                               | Schlitzlänge (entlang der Rohrachse)     | $l_m$    | mm      | ≥ 800 | -               |

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 ( $l_c + 2 l_g$ ) oder 800 mm

**ANMERKUNG** Andere Längen der Messzelle dürfen verwendet werden. Für das 60-mm-Schlitzrohr wurde bisher eine 210-mm-Messzelle verwendet. Es dürfen bestimmte Kriterien zur Beendigung des Versuchs verwendet werden.

**ANMERKUNG** Als Innenteil eines Schlitzrohrs mit einem Außendurchmesser von 76 mm darf eine 60-mm-Messsonde mit elastischem Mantel verwendet werden. Alternativ darf eine 76-mm-Messsonde mit elastischem Mantel verwendet werden.

Der Innendurchmesser der Messsonde muss in der Lage sein, Wasser oder Schlamm durch die Spindel zu entleeren, damit bei Einsetzen der Messsonde eine Vorbelastung oder Ansaugung im Bohrloch verhindert wird.

Der Ablasshahn der Messzelle muss aus dem Boden des Stahlkerns herausragen. Zum Schutz des Ablasshahns darf ein Sonden- oder Schneidschuh bei Einsetzen der Messsonde in den Versuchshohlraum verwendet werden. Aus denselben Gründen müssen diese Schuhe über Öffnungen verfügen.

ANMERKUNG Diese Druckschwankungen haben möglicherweise Auswirkungen auf die Qualität der Bohrlochwand.

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

## A.2 Auswählen der Pressiometer-Sonde und der Komponenten

Der Druckverlust der Pressiometer-Sonde, einschließlich des Schlitzrohrs, sofern anwendbar, muss im Vergleich zum erwarteten Wert des Grenzdruckes auf Versuchstiefe so klein wie möglich sein.

Die Auswahl der Hauptkomponenten der Sonde muss sich nach den folgenden Bedingungen richten:

a) für die Membran der zentralen Messzelle:

$$p_m \leq 80 \text{ kPa};$$

b) für die gesamte Sonde:

wenn  $p_{LM} \leq 900 \text{ kPa}$ , dann:  $p_{el} \leq p_l/3 + 25 \text{ kPa}$ ;

wenn  $p_{LM} \geq 900 \text{ kPa}$ , dann:  $p_{el} \leq \min \{[p_l/18 + 275 \text{ kPa}]; 350 \text{ kPa}\}$ .

## Anhang B (normativ)

### Kalibrierung und Korrekturen

#### B.1 Messgeräte

Sämtliche Steuer- und Messgeräte müssen regelmäßig überprüft und gegen Bezugsnormale (EN 13005:1999) kalibriert werden, um nachzuweisen, dass mit ihnen zuverlässige und genaue Messungen möglich sind. Das Kalibrierintervall muss so sein, dass die erforderliche Auflösung nachgewiesen werden kann.

ANMERKUNG Der Nachweis der erforderlichen Auflösung kann auf dem Protokoll der vorhergehenden Kalibrierungen beruhen.

Die in E.2 zusammengefassten Messunsicherheiten sind zu berücksichtigen.

Wird ein Teil des Systems repariert oder ausgetauscht, ist die Kalibrierung erneut nachzuweisen.

Eine Kopie des Berichts zum letzten Kalibrierungsversuch muss am Versuchsstandort verfügbar sein.

Zusätzlich zur Kalibrierung der Messgeräte müssen Korrekturen auf die vor Ort durchgeführten Ablesungen des Druck- und des Volumenverlustes der gesamten Ausrüstung angewendet werden. Ist die Steifigkeit der Membran der zentralen Messzelle einer Messsonde mit drei Zellen nicht durch den Lieferanten angegeben, muss sie separat nach B.2 gemessen werden.

ANMERKUNG 1 Der Druckverlust ergibt sich aus der zusätzlichen Steifigkeit der Membran (im Fall einer Messsonde mit drei Zellen) der zentralen Messzelle, des elastischen Mantels und des Schlitzrohrs (sofern vorhanden). Er schwankt in Abhängigkeit vom Volumen der aufgedehnten Sonde.

ANMERKUNG 2 Der Volumenverlust ergibt sich aus der Ausdehnung der Druckleitung, dem Druckmessgerät und der Verdichtung jeglicher Gase, die in der in die zentrale Messzelle eingepressten Flüssigkeit enthalten sind. Er schwankt in Abhängigkeit vom Druck der Sonde.

#### B.2 Einzelner Druckverlust der Membran der zentralen Messzellen

Der Druckverlustwert  $p_m$  der für jede Charge von Membranen der zentralen Messzellen konstant ist, muss beim Lieferanten der Membran erfragt werden. Ist dieser Wert nicht verfügbar, muss er durch einen Aufdehnversuch an jeder Membran nach B.2.1 und B.2.2 ermittelt werden.

Der Druckverlustwert der Membran muss vor Beginn des Versuchs bekannt sein, um die ordnungsgemäße Druckdifferenz zwischen der zentralen Messzelle und den Schutzzellen einzustellen.

##### B.2.1 Vorbereitung der Pressiometer-Sonde für den Druckverlust-Versuch der Membran der zentralen Messzelle

Die Messsonde muss lediglich mit der Membran der zentralen Messzelle ausgestattet, über eine kurze Leitung (weniger als 2 m) verbunden und vertikal gehalten werden. Die zentrale Messzelle und die Leitung müssen gespült werden, um Luftblasen zu entfernen. Anschließend muss die Membran mindestens drei Mal durch Einpressen eines Flüssigkeitsvolumens von 700 cm<sup>3</sup> aufgedehnt werden.

Für diesen Vorgang muss die Druckbeaufschlagungs- und Ableseeinheit mit einem Druckmessgerät mit einer Fehlergrenze besser als 10 kPa ausgestattet sein.

Das Gerät zur Messung des eingepressten Volumens muss auf null gestellt werden, indem der Mittelpunkt der Messzelle auf die Höhe des Druckmessgerätes gebracht wird.

### B.2.2 Messung des Druckverlustes der Membran der zentralen Messzellen

Die Membran muss in Druckzunahmestufe von  $\Delta p = 10$  kPa aufgedehnt werden. Das nach 60 s gemessene Flüssigkeitsvolumen  $V_{60}$  muss zur Erstellung der Kurve verwendet werden:

$$V_{60} = f(p)$$

Der Membran-Druckverlust  $p_m$  entspricht dem Druck, bei dem das in die Zelle eingepresste Flüssigkeitsvolumen, wie in B.4.2.2 festgelegt, gleich dem 1,2fachen des Volumens der Messsonde  $V_c$  ist (ungefähr 700 cm<sup>3</sup> bei einer 60-mm-Pressiometer-Sonde mit drei Zellen).

### B.3 Überprüfung der Messgeräte vor Ort

Die Ablesewerte der analog und digital anzeigenden Messgeräte der Steuereinheit (CU) müssen mindestens zu Beginn eines neuen Vertrages mit jedem anderen zur Verfügung stehenden Messgerät (z. B. der Anzeige der elektronischen Messwerterfassungsanlage, zusätzlichen Druckmessgeräten usw.) verglichen werden. Jede Abweichung ist zu untersuchen.

Ferner ist die Steuereinheit auf einwandfreien Betrieb der Druck- und Volumenmessgeräte zu überprüfen, wobei nach einem schriftlich festgelegten Verfahren vorzugehen ist, beispielsweise durch Vergleich der mittels der verschiedenen Druckaufnehmer gewonnenen Messwerte untereinander sowie bei einer Steuereinheit des Typs B und Typs C durch einen Vergleich zwischen der Anzeige des Volumenmessgerätes und der Anzeige der elektronischen Messwerterfassungsanlage.

Die Ausrüstung ist zu korrigieren, zu ersetzen oder zu reparieren, wenn die Differenz zwischen den Ablesewerten die folgenden Werte überschreitet:

- a) bei Ablesewerten des Druckes entweder:
  - 5 % des Mittelwerts von zwei Ablesewerten; oder
  - 1 % des Vollausschlags der Messskala, je nachdem welcher Wert größer ist;
- b) beim Volumen: 3 cm<sup>3</sup>.

### B.4 Korrekturen der Ablesewerte

Die Steifigkeit der Membran und der Mantelbaugruppe verringert sich während der ersten Aufweitungen, und diese Verringerung muss mit Hilfe einer Voraufweitung nach B.4.1 auf ein Mindestmaß verringert werden.

Anschließend sind die in B.4.2 und B.4.3 beschriebenen Tätigkeiten wie folgt durchzuführen:

- bei jeder Änderung der Konfiguration der Pressiometer-Sonde;
- bei jedem Auswechseln von Leitungen zwischen der Messsonde und der Druckbeaufschlagungs- und Ableseeinheit;
- in Abständen, die der Häufigkeit des Einsatzes der Messsonde angemessen sind, z. B. wöchentlich bei täglichem Betrieb.

Diese Tätigkeiten sind durchzuführen, wenn die Messsonde für das Einbringen in die Pressiometer-Vorbohrung bereit ist, das heißt, wenn die korrekten Schlauchleitungen angebracht sind und die Gasblasen aus der zentralen Messzelle und dem Flüssigkeitskreislauf herausgespült wurden.

#### B.4.1 Voraufdehnen der Messsonde und Nullsetzen des Volumenmessgerätes

Vor Gebrauch ist jede Messsonde mindestens 3 Mal im Freien durch Einpressen eines Flüssigkeitsvolumens aufzudehnen, das das 1,2fache des Volumens der Messsonde  $V_c$  übersteigt oder die Ausdehnung während der laufenden Stufe ist so groß, dass dieser Wert vor dem Ende einer weiteren Stufe erreicht werden würde.

Anschließend muss

- das Volumenmessgerät durch Anpassen des Flüssigkeitsvolumens auf null gesetzt werden, während die Mitte der Messzelle auf der Höhe des Druckmessgerätes gehalten wird,
- das Erfassung- und Aufzeichnungsgerät, d. h. die elektronische Messwerterfassungsanlage, initialisiert werden (Typ B und Typ C),
- der Anfangsablesewert jedes Messwandlers überprüft und bei Bedarf aufgezeichnet werden (Typ A, Typ B und Typ C).

#### B.4.2 Kalibrierversuch des Volumenverlustes der Ausrüstung

Die entweder einfach mit ihrem Gummimantel oder mit ihrem Schlitzrohr ausgestattete Messsonde muss entsprechend 4.5.4 und Bild B.1 in den Kalibrierzylinder für den Druckverlust geschoben werden. Die Messsonde muss in Druckzunahmestufen  $\Delta p$  von anfänglich 100 kPa mit Druck beaufschlagt werden, bis der Sondenmantel oder das Schlitzrohr den Kalibrierzylinder berührt. Anschließend ist der Druck in gleich großen Druckzunahmestufen zu steigern, bis der maximale Nenndruck der Messsonde erreicht ist. Während des zweiten Teils dieses Versuchs ist jede Druckstufe innerhalb von 20 s aufzubringen und für 60 s zu halten.

Der Druck in den Schutzzellen muss die nachstehend in B.4.4 angegebenen Bedingungen erfüllen.

##### B.4.2.1 Ermitteln der Korrektur des Volumenverlustes für die Ausrüstung

Das eingepresste Volumen muss am Ende jeder Druckstufe aufgezeichnet und zum Erstellen folgender Kurve verwendet werden:

$$V_r = f(p_r)$$

wobei sich die Kurve der Korrektur des Volumenverlustes ergibt.

Der Volumenverlust-Faktor „ $a$ “, auf den in D.1.3 verwiesen wird, muss der Anstieg der Ausgleichsgeraden für diesen Teil der Kurve sein, der auftritt, nachdem die Messsonde den Kalibrierzylinder berührt (siehe Bild B.2):

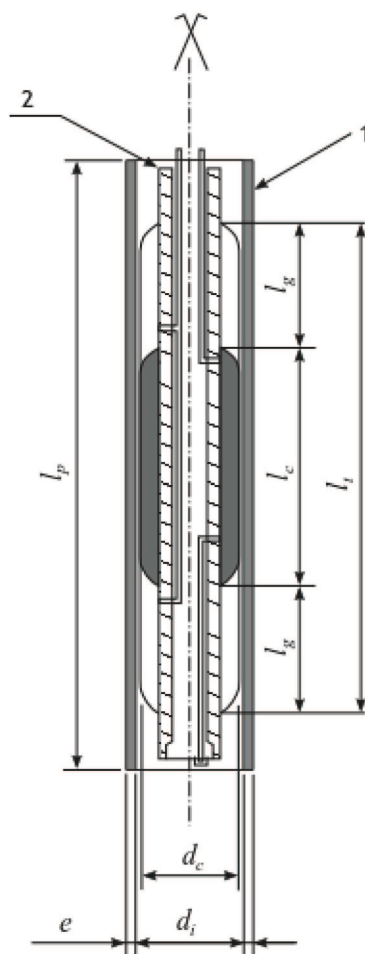
$$V_r = V_p + a \cdot p_r$$

Dabei ist

$V_p$  der Abschnitt der Geraden, die die Datenpunkte am besten miteinander verbindet, auf der Volumen-Achse.

Der Wert für „ $a$ “ muss kleiner als 6 cm<sup>3</sup>/MPa sein.

Höhere Werte für „a“ lassen auf unangemessenes Befüllen mit der Flüssigkeit, eine Undichtigkeit im Flüssigkeitskreislauf oder ein anderes Problem schließen. Die gesamte Ausrüstung, einschließlich Steuereinheit, Leitungen und Messsonde, ist dann erneut zu überprüfen.



#### Legende

- 1 Kalibrierzylinder
- 2 Pressiometer-Sonde

**Bild B.1 — Kalibrierzylinder für die Korrektur des Volumenverlustes (Beispiel einer Messsonde mit drei Zellen)**

#### B.4.2.2 Ermitteln des Volumens der zentralen Messzelle $V_c$

Das externe Anfangsvolumen der zentralen Messzelle bei einer Messsonde mit elastischem Mantel mit oder ohne starre Schutzeinrichtung ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$V_c = 0,25 \pi l_c d_i^2 - V_p$$

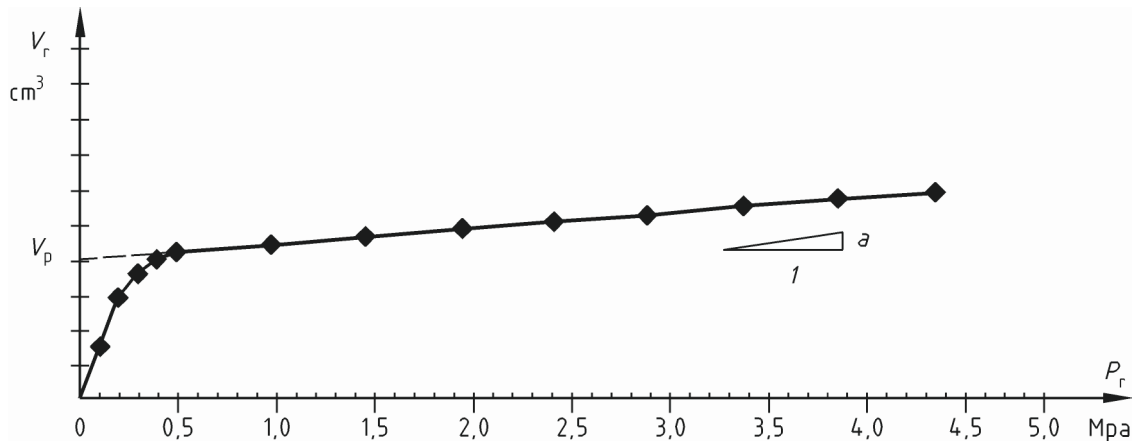
Dabei ist

- $V_p$  der Abschnitt der die in B.4.2.1 ermittelten Werte am besten verbindenden Geraden auf der Volumen-Achse;
- $l_c$  die Länge der zentralen Messzelle, gemessen wenn die Zellmembran mit dem Stahlkern der Messsonde verbunden ist, wie in Bild B.1 und in Tabelle A.1 dargestellt;

$d_i$  der Innendurchmesser des Kalibrierzylinders. Dieser Wert muss im Bericht zum Pressiometerversuch aufgezeichnet werden (Bild 6).

Bei einer Messsonde in einem geschlitzten Stahlrohr ist das externe Anfangsvolumen der zentralen Messzelle nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$V_c = 0,25 \pi l_c (d_i^2 - (d_c^2 - d_{ci}^2)) - V_p$$



#### Legende

- $V_r$  eingepresstes Flüssigkeitsvolumen am Ende jeder Druckhaltestufe
- $p_r$  Druck in der Messzelle
- $V_p$  Schnittpunkt der Geraden  $V_r = V_p + a \cdot p_r$

**Bild B.2 — Kalibrierung des Volumenverlustes – Beispiel**

### B.4.3 Kalibrierversuch des Druckverlustes der Messsonde

Die Messsonde muss im Freien nahe dem Druckmessgerät angeordnet werden, wie in Bild B.3 dargestellt. Die Messsonde muss aufgedehnt werden, als würde sie sich im Baugrund befinden, wobei die Druckzunahmestufen  $\Delta p$  1/5 des erwarteten Druckverlustes der Messsonde  $p_{el}$  betragen. Jede Druckstufe muss für 60 s gehalten werden. In die zentrale Messzelle muss ein Volumen von mindestens 700 cm³ eingepresst werden.

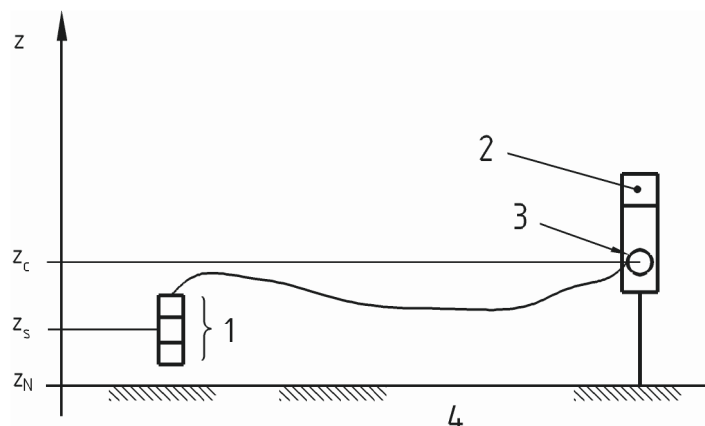
Die Rate der volumetrischen Dehnung während der Druckverlustprüfung sollte nicht wesentlich von der während des Pressiometerversuchs abweichen. Alternativ kann der Druckverlust-Kalibrierversuch in Volumenstufen erfolgen, wobei die Gesamtdauer dem Mindestwert beim Pressiometerversuch (10 mn) entspricht.

**ANMERKUNG** Der Druckverlust  $p_{el}$  der Messsonde ist abhängig von der verwendeten Bauart der Membran, des Mantels und des Schlitzrohrs, sofern vorhanden. Er ist grundsätzlich an die Art des zu prüfenden Bodens angepasst. Er kann zwischen 0,05 MPa und 0,3 MPa schwanken.

Die resultierende Druck-Volumen-Kurve,  $V_{60} = f(p_e)$  ist in Bild B.4 dargestellt. Der Wert  $z_c - z_s$  ist zu minimieren, dass jegliche Korrektur der Druckmesswerte vernachlässigt wird (siehe D.1.1 und Bild D.1).

Die aus dieser Kurve für jede Druckstufe ermittelten Druckwerte müssen für die Korrektur des Druckverlustes verwendet werden (siehe D.1.3).

Der Enddruckverlust der Messsonde  $p_{el}$  (Bild B.4) muss der abgelesene Messwert des Druckes bei einem eingepressten Flüssigkeitsvolumen gleich dem 1,2fachen des Volumens der Messsonde  $V_c$  sein (ungefähr 700 cm³ bei einer 60-mm-Pressiometer-Sonde).



#### Legende

- 1 Pressiometer-Sonde
- 2 Druckmessgerät
- 3 Druckregler
- 4 Geländeoberkante
- z Höhe

$z_c$ ,  $z_s$  und  $z_N$  sind den Bildern B.5 und D.1.1 zu entnehmen.

**Bild B.3 — Höhe der Messsonde und des Druckreglers während einer Kalibrierung des Druckverlustes**

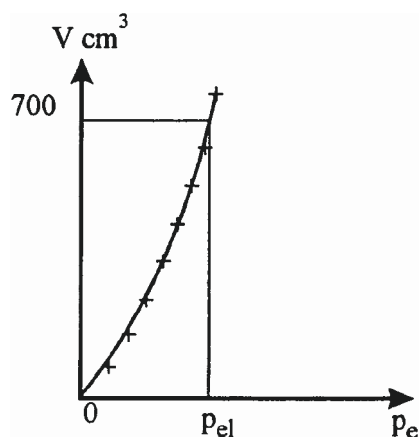


**Bild B.4 — Beispiel einer Druckverlustkurve für eine Pressiometer-Sonde**

#### B.4.4 Abschätzung des Gasdruckes in den Schutzzellen bei einem gegebenen Versuch

Der Gasdruck in den Schutzzellen darf nicht größer sein als der Druck in der zentralen Messzelle. Der Wert des Schutzzellen-Druckes ist vor jedem Versuch zu bestimmen und bei der ersten Druckhaltestufe festzusetzen.

Während des Beaufschlagens der zentralen Messzelle mit dem Druck  $p_c$  ist der Gasdruck  $p_k$  in den Schutzzellen nach den folgenden Vorschriften zu regeln (für die Bedeutung der Symbole siehe Symbolverzeichnis in 3.2, Tabelle 1, sowie Bild B.5 und Bild D.1).

Bei Messsonden der Bauart G, bei denen die Schutzzellen durch den gesamten Mantel gebildet werden, muss der Gasdruck  $p_k$  in den Schutzzellen geringer als der Druck in der zentralen Messzelle, jedoch ausreichend hoch sein, um den Mantel der Pressiometer-Sonde in einer zylindrischen Form zu halten:

$$p_c - 3p_m \leq p_k \leq p_c - 2p_m$$