

DIN EN ISO 22476-16

ICS 93.020

Einsprüche bis 2023-05-10

Entwurf

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Felduntersuchungen –
Teil 16: Bohrscherversuch mit Phikometer (ISO/DIS 22476-16:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 22476-16:2023**

Geotechnical investigation and testing –

Field testing –

Part 16: Borehole shear test (ISO/DIS 22476-16:2023);

German and English version prEN ISO 22476-16:2023

Reconnaissance et essais géotechniques –

Essais en place –

Partie 16: Essai de cisaillement en forage (ISO/DIS 22476-16:2023);

Version allemande et anglaise prEN ISO 22476-16:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-03-10 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 bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 104 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-16:2023) 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 deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-09 AA „Baugrund; Feldversuche (SpA zu 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 10012	siehe	DIN EN ISO 10012
ISO 14688-1	siehe	DIN EN ISO 14688-1
ISO 14688-2	siehe	DIN EN ISO 14688-2
ISO 14689-1	siehe	DIN EN ISO 14689-1*
ISO 22475-1	siehe	DIN EN ISO 22475-1
ISO 22476-4	siehe	DIN EN ISO 22476-4

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

* Die Norm wurde inzwischen zurückgezogen und durch DIN EN ISO 14689 ersetzt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

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

DIN EN ISO 14688-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen*

DIN EN ISO 22475-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen für die Probenentnahme von Boden, Fels und Grundwasser*

DIN EN ISO 22476-4, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 4: Vorgebohrter Pressiometerversuch nach Ménard*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 22476-16:2023-04

– Leerseite –

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 16:
Bohrscherversuch mit Phikometer (ISO/DIS 22476-16:2023)**

Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 16: Borehole shear test (ISO/DIS 22476-16:2023)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais en place – Partie 16: Essai de cisaillement en forage
(ISO/DIS 22476-16:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Abkürzungen	13
4 Ausrüstung	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Phikometersonde	15
4.3 Verbindungsleitung und Zuggestänge	15
4.3.1 Verbindungsleitung	15
4.3.2 Zuggestänge	15
4.4 Ausrüstung auf der Geländeoberkante	18
4.4.1 Zugvorrichtung	18
4.4.2 Druck-Volumen-Steuereinheit	18
4.4.3 Regelsystem für die Zuggeschwindigkeit der Sonde	18
4.5 Mess- und Regel-/Steuermittel	18
4.5.1 Zeit	18
4.5.2 Druck, Volumen und Zugkraft	19
4.5.3 Axiale Bewegung	19
4.5.4 Anzeige der Ablesewerte	19
4.5.5 Abmessungen der Scherzone der Sonde	19
5 Prüfverfahren	19
5.1 Überprüfungen und Messungen vor dem Einführen der Sonde in den Boden	19
5.2 Bohrphase, Sondenplatzierungsphase und Nullpunkteinstellung	19
5.3 Mindestabstand zwischen Prüfungen	20
5.4 Zahneindringphase	22
5.5 Scherphase	24
5.5.1 Belastungsprogramm – angewendete Haltedrucke in der Sonde	24
5.5.2 Aufeinanderfolgende Scherstufen mit Druckhaltestufen	24
5.5.3 Ende des Versuchs	25
6 Verfüllen des Phikometer-Bohrlochs	26
7 Sicherheitsanforderungen	26
8 Versuchsergebnisse	26
8.1 Allgemeines	26
8.2 Scherkurvendiagramm – Scherfestigkeitsparameter φ_i und c_i	26
8.3 Zugehörige Diagramme	27
8.4 Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels φ_i und der In-situ-Kohäsion c_i	27
8.5 Beispiele für die Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels φ_i und der In-situ-Kohäsion c_i	27
9 Bericht	29
9.1 Allgemeines	29
9.2 Feldprotokoll	29
9.3 Prüfbericht	32
9.4 Versuchsprotokoll	32
Anhang A (normativ) Charakteristika der Phikometersonde	33
A.1 Geometrische Spezifikationen der Phikometersonde	33
Anhang B (normativ) Kalibrierung, Überprüfungen und Korrekturen	34
B.1 Messgeräte	34

B.2	Kalibrierung und Überprüfung der korrekten Funktion des vor Ort ausgeführten Versuchs	34
B.2.1	Messmittel	34
B.2.2	Phikometersonde	34
Anhang C	(normativ) Herstellung des PBST-Bohrlochs	38
C.1	Bohren des Phikometer-Bohrlochs	38
C.2	Länge des Bohrlochs vor dem Einführen der Sonde	39
C.3	Auswahl der Membran	39
C.4	Zeitspanne zwischen Bohrung und Versuch	39
Anhang D	(normativ) Bestimmung der Scherparameter	40
D.1	Bestimmung der Werte für τ und p_c	40
D.1.1	Bestimmung des Radialdrucks	40
D.1.2	Berechnung der Grenzscherspannung τ_l der einzelnen Scherstufen	40
D.2	Bestimmung der Scherkurve des Bodens	40
D.2.1	Bestimmung der signifikanten Zone der Scherkurve	40
D.2.2	Bestimmung der In-situ-Scherparameter ϕ_i und c_i	41
Anhang E	(informativ) Korrelationen zur Abschätzung von p_{LM} aus den übrigen Bodenfestigkeitsparametern q_c und N	42
Anhang F	(normativ) Genauigkeit und Unsicherheiten	43
F.1	Messunsicherheiten	43
F.2	Unsicherheiten der Versuchsergebnisse	44
Anhang G	(informativ) Beispiele für die Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels ϕ_i und der In-situ-Kohäsion c_i	45
Anhang H	(informativ) Beispiel für die Installation des PBST-Geräts	50
Literaturhinweise		51

Bilder

Bild 1	— Gesamtanordnung und Abfolgen des Bohrscherversuchs nach dem Phikometerverfahren	8
Bild 2	— Schaubild des PBST-Versuchsgeräts und seiner Komponenten	11
Bild 3	— Phikometersonde	17
Bild 4	— Position der Sonde und der Ablesevorrichtung für den Flüssigkeitsdruck sowie Definition der Niveaus während des Versuchs	23
Bild 5	— Beispiele für die Diagramme der Ergebnisse des PBST	28
Bild B.1	— Position der Sonde und des Druckreglers während der Kalibrierung	35
Bild E.1	— Korrelationen zur Abschätzung von p_{LM} anhand von q_c und N für verschiedene Bodenarten — Beispiel (Bustamante, M. und Ganeselli, L. (1993) — siehe Anmerkung)	42
Bild G.1	— Beispiel für einen korrekt durchgeführten Versuch in kompaktem feinem Sand	46
Bild G.2	— Beispiel für einen korrekt durchgeführten Versuch in plastischem Ton	47
Bild G.3	— Beispiel für einen korrekt durchgeführten Versuch in sandigem Ton mit Kies	48
Bild G.4	— Beispiel für einen inkorrekt durchgeführten Versuch in plastischem Ton	49
Bild H.1	— Beispiel für die Installation des PBST-Geräts	50

Tabellen

Tabelle 1	— Symbole	13
Tabelle 2	— Werte der Druckhaltestufen p_r des Belastungsprogramms für die Scherstufen 1 bis 8	25
Tabelle 3	— Beispiel für einen PBST-Prüfbogen (Seite 1/2) — Zahneindringphase	30
Tabelle 4	— Beispiel für einen PBST-Prüfbogen (Seite 2/2) — Phase der Scherstufen	31
Tabelle A.1	— Spezifikationen der Phikometersonde — expandierbares Scherrohr und Messzelle	33
Tabelle B.1	— Kriterien für die Überprüfung des Zustands der Phikometersonde	35
Tabelle B.2	— Kalibrierung der Sonde — Beispiel	36

Tabelle C.1 — Verfahren für das Bohren von Phikometer-Bohrlöchern	38
---	----

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-16:2023) 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.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 22476-16:2023 wurde von CEN als prEN ISO 22476-16:2023 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-Directives, 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-Directives, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

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

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182, *Geotechnics* erarbeitet.

Die Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden ist für die geotechnische Erkundung und Untersuchung von Böden von größter Bedeutung. Der durch den Reibungswinkel φ und die Kohäsion c charakterisierte Scherwiderstand von Böden und Materialien stellt für geotechnische Ingenieure einen wichtigen Parameter bei der Untersuchung der Stabilität von baulichen Anlagen und Strukturen im Hinblick auf Böden und Materialien dar. Dieser Widerstand wird üblicherweise durch im Labor an Feldproben durchgeführte Triaxialversuche oder direkte Scherwiderstandsprüfungen gemessen, jedoch nur dann, wenn die Probenahme, die Konservierung und die Präparierung es zulassen, die Proben als unberührt und für den In-situ-Boden repräsentativ zu betrachten.

Seit den 1960er Jahren wurden verschiedene experimentelle Vorrichtungen für die direkte Bestimmung der Scherfestigkeit in situ durch in Bohrlöchern, in unterschiedlichen Böden und in unterschiedlichen Tiefen durchgeführte Versuche entworfen und entwickelt.

Die Auswertung der in den Literaturhinweisen genannten Literatur zeigt, dass die Mehrzahl der bestehenden Bohrloch-Scherversuche auf der Verwendung von Sonden, die eine kontinuierliche Normalspannung auf die Wände des Bohrlochs ausüben, und auf der Durchführung einer Scherphase durch lineare Bewegung der Sonde gegen den Boden an den Wänden des Bohrlochs beruhen. Dieses Verfahren wird dann mehrmals unter Erhöhung der Normalspannung wiederholt, um weitere Werte in Bezug auf die Normalspannung und den Scherwiderstand zu erhalten.

Die Prüfeinrichtungen und -geräte unterscheiden sich durch Geometrie und Größe der Sonden, durch die Form des Reibungsteils der Sonden und durch das Verfahren für die Durchführung der Normalspannungs- und Scherphasen voneinander.

Eines der ersten Geräte dieser Art ist der in den USA entwickelte Borehole Shear Tester (BST) (Handy et al., 1967). Der Versuch wird durchgeführt, indem eine mit diametral gegenüberliegenden Scherplatten ausgestattete beidseitig aufweitbare Sonde in einem vorgebohrten Bohrloch platziert und gegen die Bohrlochwand ausgeweitet, axial im Bohrloch entlanggezogen und so Scherversagen im Boden verursacht wird. Die Größe der Scherplatten ist relativ klein ($32,3 \text{ cm}^2$) und erlaubt die Prüfung von Böden mit groben Bestandteilen nicht, was den Anwendungsbereich in gewissem Umfang begrenzen kann.

In den frühen 1970er Jahren hat H. Mori in Japan eine In-situ-Schervorrichtung mit dem Namen IST entwickelt, die bei zahlreichen Projekten verwendet wurde. Das Versuchsprinzip sieht vor, dass eine Scherkraft ausgeübt wird, während eine zylindrisch aufweitbare und mit in die Bohrlochwand getriebenen Zähnen ausgestattete Sonde aufwärts gezogen wird, aber es ist nicht bekannt, ob der IST-Versuch aktuell noch angewendet wird.

Ein später ebenfalls in Japan entwickelter In-situ-Selbstbohrungs-Reibungsversuch (en: self-boring in situ friction test, SBIFT) (Yoshido Maeda et al., 1998) erlaubt die Beurteilung von Bodeneigenschaften, etwa der initialen horizontalen Ruhespannung, des Verformungsmoduls und der Festigkeitscharakteristika (Kohäsion und innerer Reibungswinkel) des Bodens. Der SBIFT umfasst eine Selbstbohrfunktion, die die Störung des untersuchten Bodens reduzieren kann. Es stehen jedoch nur sehr wenige Daten und Ergebnisse für eine aktuelle Bewertung dieses Geräts und der von ihm ermittelten Bodencharakteristika zur Verfügung.

Ebenso wie beim SBIFT wurde vor kurzem in China ein selbstbohrendes In-situ-Scherdruckmessgerät (en: self-boring in situ shear pressuremeter, SBISP) entwickelt (Kunpeng Wang et al., 2018), das die Bewertung druckmesstechnischer Charakteristika, etwa der initialen horizontalen Ruhespannung, der Verformungs-Fließgrenze, des Verformungsmoduls und auch der Festigkeitsmerkmale (Kohäsion und innerer Reibungswinkel) des Bodens erlaubt. Der SBISP umfasst eine Selbstbohrfunktion, die die Störung des untersuchten Bodens erheblich reduzieren kann. Es stehen jedoch nur sehr wenige Daten und Ergebnisse für eine aktuelle Bewertung dieses Geräts und der von ihm ermittelten Bodencharakteristika zur Verfügung.

Diese Norm (ISO 22476-16) bezieht sich auf den Bohrloch-Scherversuch nach dem Phikometerverfahren, allgemein bezeichnet als Phikometer-Bohrscherversuch (en: Phicometer Borehole shear test, PBST). Dieser Versuch wurde in den 1980er Jahren von Gérard PHILIPPONNAT erfunden und entwickelt (Philipponnat, G., 1986).

Zwischen 1986 und 1992 war dieser Versuch Gegenstand verschiedener Anwendungsforschungsprogramme, um das Gerät und seine Komponenten zu designen und um ein allgemeines Prüfverfahren zu entwickeln und zu optimieren, das in der Mehrzahl der Böden angewendet werden kann. Als Ergebnis dieser Forschungsvorhaben wurden verschiedene Artikel veröffentlicht, und bis heute werden PBSTs vorgenommen, um die Scherfestigkeitsparameter zu bestimmen und Werte für die undränierete Scherfestigkeit sowie eine Schätzung der dränierten effektiven Scherwiderstandsparameter abzuleiten (siehe Literaturhinweis [3]: Philipponnat, G., Zerhouni, M. I., 1993). Der Versuch ist in Frankreich seit 1997 genormt (Afnor, XP P94-120).

Diese Norm (ISO 22476-16) bezieht sich auf den Bohrloch-Scherversuch nach dem Phikometerverfahren, allgemein bezeichnet als Phikometer-Bohrscherversuch (en: Phicometer Borehole shear test, PBST).

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 22476 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 zu finden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 22476 ist auf den Bohrloch-Scherversuch nach dem Phikometerverfahren anwendbar, der allgemein als *Phikometerversuch* bezeichnet wird (die Wortherkunft ergibt sich aus *phi* für den Reibungswinkel, *ko* für Kohäsion und *meter* für Messgerät).

Das Prüfverfahren umfasst vier Schritte, nämlich das Bohren eines Bohrlochs, das Absenken der Sonde auf die Versuchstiefe, das Expandieren der Sonde in die Bohrlochwand und das Scheren des Bodens durch Ausübung mehrerer Schritte kontrollierten Radialdrucks und gleichzeitiges Herausziehen der Sonde mit einer konstanten Bewegungsgeschwindigkeit. Die Prüfabfolgen sind in Bild 1 dargestellt.

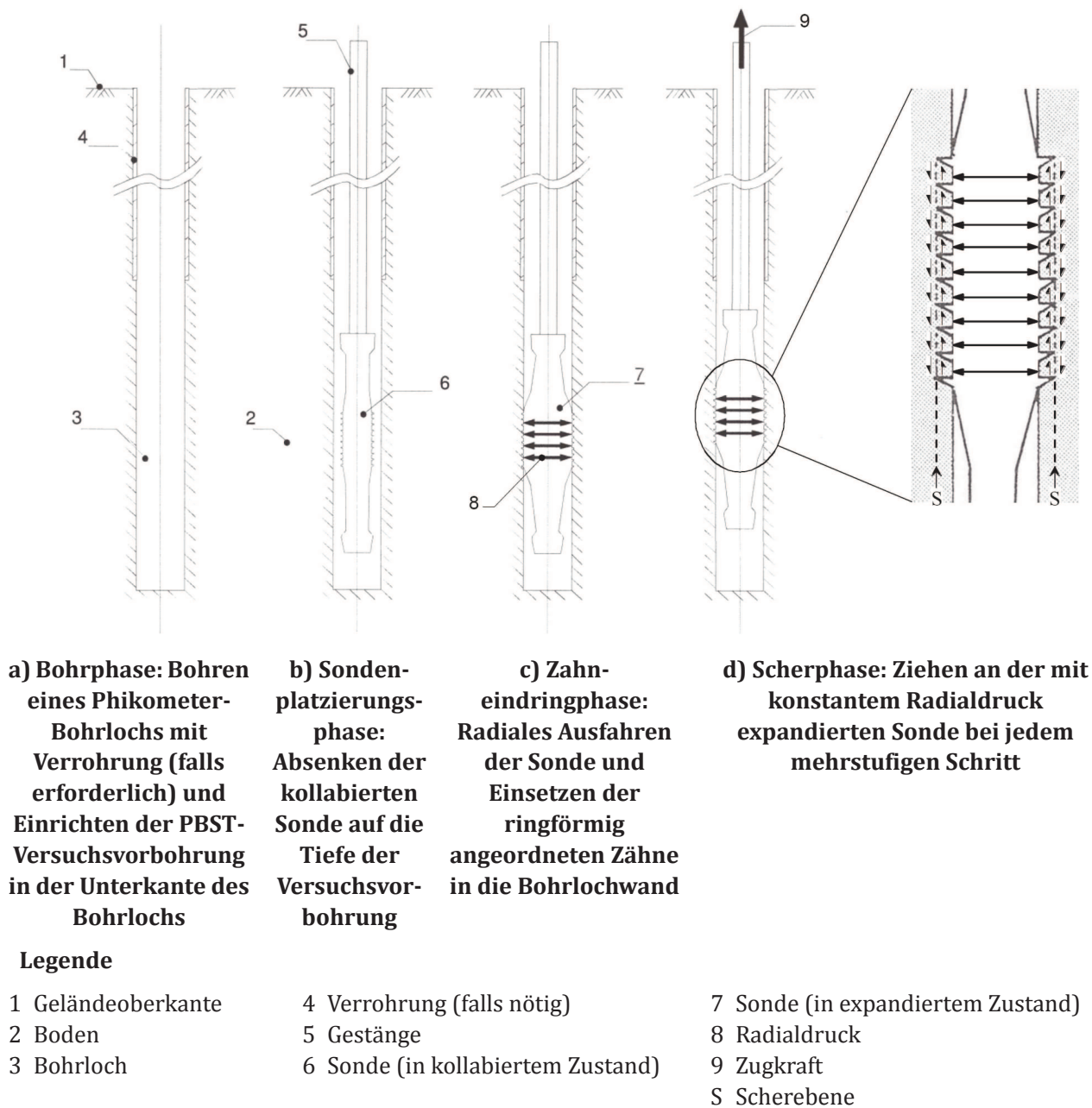


Bild 1 — Gesamtanordnung und Abfolgen des Bohrscherversuchs nach dem Phikometerverfahren

Der Versuch kann in natürlichen Böden, Schüttmaterial und künstlichen Böden aller Arten durchgeführt werden, die gesättigt und ungesättigt sein können.

Er ist nicht auf sehr weiche Böden, weiche Tone, sehr lockere Böden, Gestein, leicht umgewandeltes Gestein sowie natürliche und künstliche Böden, in denen Geröll mit einer Korngröße von mehr als 150 mm vorherrscht, anwendbar.

Im Allgemeinen ist der Versuch anwendbar in Böden, deren In-situ-Widerstandscharakteristika größenordnungsmäßig wie folgt sind:

- Grenzdruck des Ménard-Pressiometers: ungefähr $0,4 \text{ MPa} < p_{LM} < 3,5 \text{ MPa}$ oder mehr als 4 MPa in körnigen, nicht kohäsiven Böden;
- CPT-Spitzenwiderstand: ungefähr $1,5 \text{ MPa} < q_c < 15 \text{ MPa}$, je nach Art des Bodens (siehe Anhang E);
- SPT N: ungefähr $8 < N < 50$, je nach Art des Bodens (siehe Anhang E);

ANMERKUNG Der Versuch darf auch in Böden durchgeführt werden, deren Widerstand außerhalb dieser Anwendbarkeitsgrenzen liegt. Die Repräsentativität der Ergebnisse muss jedoch durch Analyse der PBST-Kurven (siehe 6.1) beurteilt oder validiert werden.

Dieses Dokument ist nur auf Versuche anwendbar, die in einer Tiefe von nicht mehr als 30 m durchgeführt werden.

In weichen Böden ist der Versuch bei großen Tiefen unter Umständen nicht anwendbar.

Die aus diesem Versuch abgeleiteten Parameter sind die Scherfestigkeitseigenschaften: Kohäsion und Reibungswinkel.

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).

ISO 10012, *Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment*

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

ISO 14688-2, *Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 2: Principles for a classification*

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 the sampling of soil, rock and groundwater*

ISO 22476-4, *Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 4: Prebored pressuremeter test by Ménard procedure*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Bohrloch-Scherversuch

Verfahren, bei dem eine spezielle Schersonde in einer festgelegten Tiefe in einem Bohrloch (siehe 3.1.4) installiert, gegen die Bohrlochwand expandiert und gezogen wird, um die sich ergebende Scherkraft des Bodens zu bestimmen. Das Verfahren wird mit aufeinanderfolgend ansteigenden und aufrechterhaltenen Normalspannungsstufen wiederholt, um das Verhältnis zwischen Druck und Scherspannung des Bodens zu ermitteln.

3.1.2

Phikometer-Bohrscherversuch

PBST, en: phicometer borehole shear test

in einem Bohrloch (siehe 3.1.1) mit einer Phikometersonde (siehe 3.1.3) nach dem Phikometer-Prüfverfahren (siehe 5) durchgeführter Scherversuch

3.1.3

Phikometer

PBST-Gerät

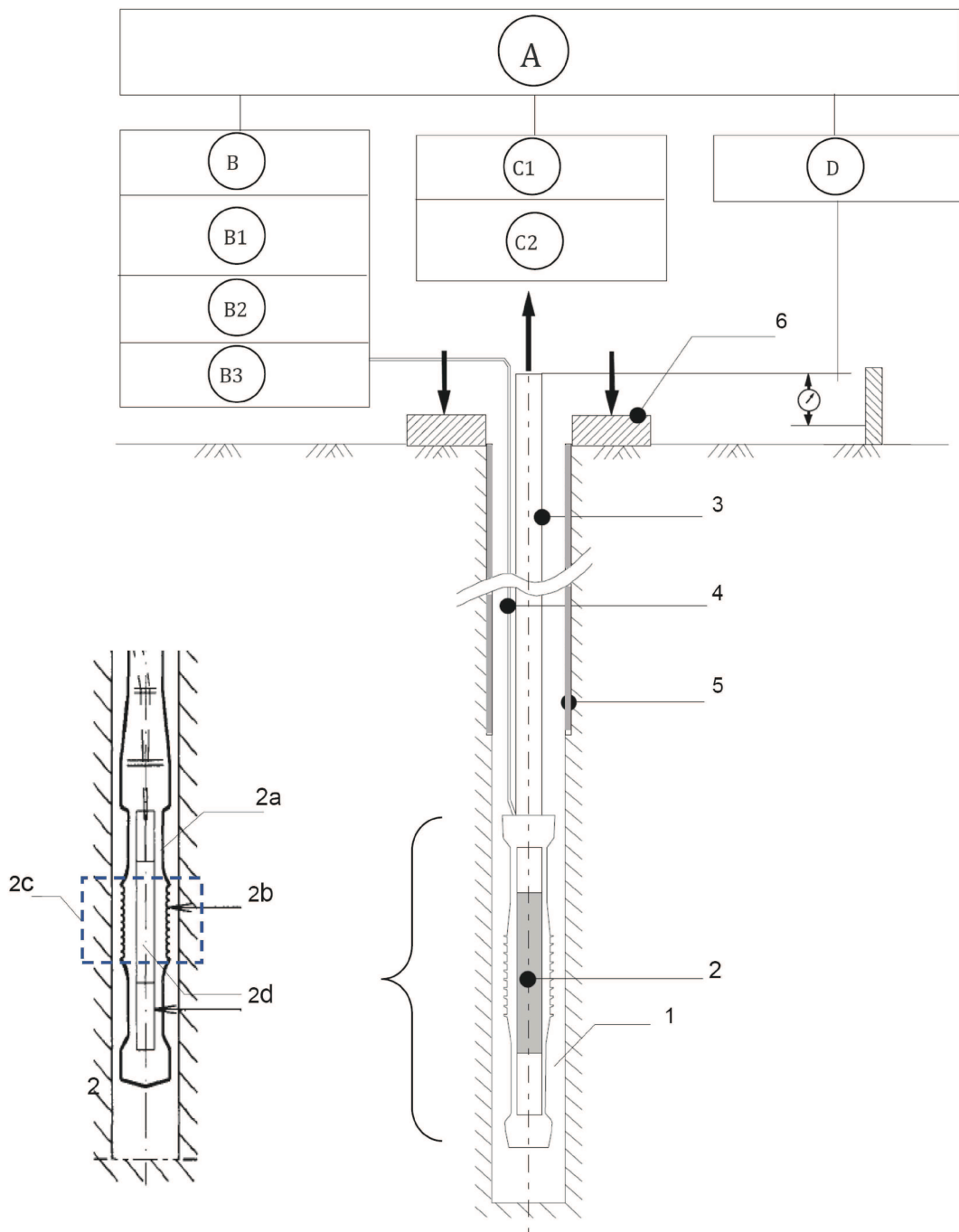
Die gesamte für die Durchführung eines Phikometer-Bohrscherversuchs verwendete Ausrüstung wird als Phikometer bezeichnet. Sie besteht aus den folgenden Teilen:

- einer Phikometersonde
- einer Druck-Volumen-Steuereinheit (Steuereinheit)
- einer Leitung zum Anschließen der Sonde an die Steuereinheit
- einer auf einer Abstützbasis auf der Geländeoberfläche platzierten und über ein Gestänge mit der Sonde verbundenen Zugvorrichtung
- einer Vorrichtung zum Messen der Zugkraft
- einer Vorrichtung zur Steuerung der Scherbewegungsgeschwindigkeit und zur Messung der Bewegung während der Prüfung

Das Gerät darf auch eine Messwerterfassungsanlage umfassen.

Bild 2 zeigt ein komplettes Phikometer-Bohrscherversuchsgerät:

Anhang H enthält ein Beispiel für die Installation des PBST-Geräts.



Legende

- | | | |
|--|--|------------------------------------|
| 1 Bohrloch | 3 Gestänge | 5 Bohrlochverrohrung (falls nötig) |
| 2 Phikometersonde | 4 Verbindungsleitung | 6 Abstützbasis |
| <u>Details der Phikometersonde:</u> | | |
| A Messwerterfassungsanlage (optional) | 2a expandierbares Schlitzrohr | 2c Scherzone an den Sondenzähnen |
| B Druck-Volumen-Steuereinheit | 2b ringförmig angeordnete Zähne | 2d expandierbare Messzelle |
| B1 Druckregel- und Einpressvorrichtung | B2 Volumenmessung | C2 Zugvorrichtung mit Zeitgeber |
| | B3 Anzeige der Ablesewerte | D Steuerung der axialen Bewegung |
| | C1 Vorrichtung zum Messen der Zugkraft | |

Bild 2 — Schaubild des PBST-Versuchsgeräts und seiner Komponenten

3.1.4

Phikometer-Bohrloch

Teil des Bohrlochs, in dem die Versuchsvorbohrung eingerichtet wird. Seine Merkmale müssen den in 5.2 angegebenen Kriterien entsprechen und die Bohrung muss in Übereinstimmung mit den Spezifikationen und Anforderungen von Anhang C durchgeführt werden.

Der Durchmesser der Bohrung über dem Phikometer-Bohrloch kann größer oder gleich dem Durchmesser des Phikometer-Bohrlochs sein, ohne dass die Anforderungen an das Phikometer-Bohrloch notwendigerweise eingehalten werden müssen.

Der Abstand zwischen der Oberkante des Phikometer-Bohrlochs und der Mitte der Versuchsvorbohrung (d. h. der Mitte der Scherzone der Phikometersonde) darf nicht kleiner als 1,0 m sein.

In den meisten Fällen ist es erforderlich, die Bohrlochwände durch Verwendung von Spülflüssigkeit und/oder durch Anbringen einer Verrohrung über der Versuchsvorbohrung abzustützen.

Die Wahl zwischen den verschiedenen Bohrtechniken und Werkzeugen wird anhand des Bodentyps getroffen, um an der Bohrlochwand eine möglichst unberührte zylindrische Prüfzone (siehe Anhang C) zu erreichen und die Versuchsvorbohrung herzustellen. Es ist nicht zulässig, die Sonde direkt in den Boden zu treiben.

3.1.5

Versuchsvorbohrung für den Phikometerversuch

in einem Bohrloch hergestellter zylindrischer Hohlraum mit kreisförmigem Querschnitt, in dem die Sonde des Phikometers platziert, in Kontakt gebracht und während der Prüfphasen aufwärts gezogen wird

3.1.6

Phikometersonde

(siehe 4.2 und Bild 3)

3.1.7

Phikometer-Prüfdiagramm

sich aus dem Phikometer-Bohrscherversuch ergebende Kurven, die die Bestimmung der Schercharakteristika des Bodens erlauben (siehe Bild 6 und Abschnitt 8)

3.1.8

Phikometer-Kohäsion

aus dem Phikometer-Prüfdiagramm ermittelte In-situ-Kohäsion c_i , siehe Beispiel in Bild 6

3.1.9

Phikometer-Reibungswinkel

aus dem Phikometer-Prüfdiagramm ermittelter In-situ-Reibungswinkel φ_i , siehe Beispiel in Bild 6

3.1.10

Erhöhung oder Verringerung des Volumens

Volumenänderung der Messzelle

3.1.11

Versuchstiefe

Abstand zwischen der Geländeoberkante und dem Mittelpunkt der Scherzone der Phikometersonde, gemessen entlang der Bohrlochachse

3.1.12

Prüfer

in der Durchführung von Phikometer-Bohrscherversuchen in Übereinstimmung mit dieser Norm geschulter Techniker

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
T	auf die Sonde wirkende Zugkraft	kN
T_1	maximale Zugkraft	kN
V	auf der Steuereinheit abgelesener Wert des in die Messzelle der Sonde eingepressten Volumens	cm ³
V_d	zu Beginn der Ausübung der Zugkraft in die Messzelle der Sonde eingepresstes Volumen	cm ³
V_f	bei Beendigung der Ausübung der Zugkraft in die Messzelle der Sonde eingepresstes Volumen	cm ³
V_{30}	nach 30 s in einer Phase konstanten Drucks in die Messzelle der Sonde eingepresstes Volumen	cm ³
V_{60}	nach 60 s in einer Phase konstanten Drucks in die Messzelle der Sonde eingepresstes Volumen	cm ³
d_{s0}	anfänglicher Durchmesser der ruhenden Sonde in der Scherzone (siehe Bild 3)	mm
c_i	in situ durch den PBST gemessene Phikometer-Kohäsion	kPa
d_s	Durchmesser der Sonde in der Scherzone nach Einpressen eines Volumens V (siehe Bild 3)	mm
d_t	Durchmesser der Vorbohrung in der Prüftiefe	mm
d_c	Außendurchmesser der Messzelle der Sonde	mm
l_t	Schlitzlänge des expandierbaren Scherrohrs	mm
l_c	Abstand zwischen den Ringen der Messzelle der Sonde	mm
l_s	konventionelle Länge der Scherzone (siehe Bild 3)	mm
N	Zahl der Rammschläge beim Standard-Penetration-Test (SPT) nach ISO 22476-3	—
p_c	auf den Boden ausgeübter konventioneller Radialdruck nach Korrekturen	kPa
p_e	durch Kalibrierung bestimmter Steifigkeits-Druckverlust der Sonde	kPa
p_h	durch die eingepresste Flüssigkeitssäule in der Sonde verursachter Druck (zwischen z_c und z_s)	kPa
p_{IM}	Grenzdruck des Ménard-Pressiometers (ISO 22476-4)	MPa
p_r	Druck der in die Messzelle des Phikometers eingepressten Flüssigkeit, abgelesen auf der Höhe z_c der Steuereinheit	kPa
p_z	Druck der Flüssigkeit in der Mitte der Messzelle	kPa
q_c	Spitzenwiderstand (ISO 22476-1 oder ISO 22476-12)	MPa
t	Zeit	s
v	axiale Bewegungsgeschwindigkeit der Sonde in der Zugphase	mm/min
z	über der Bezugsebene gemessene Höhe	m
z_0	Höhe der Geländeoberkante am Versuchsort	m

Tabelle 1 (*fortgesetzt*)

Symbol	Beschreibung	Einheit
z_c	Höhe des Messgerätes für den Druck der in die Phikometermesszelle eingepressten Flüssigkeit	m
z_e	Niveau der Spülflüssigkeit im Bohrloch	m
z_{ei}	anfängliches Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch, gemessen vor Beginn der Prüfung	m
z_{ef}	finales Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch, gemessen nach dem Ende der Prüfung	m
z_s	Höhe des Mittelpunkts der Scherzone der Phikometersonde bei Beginn der Prüfung	m
z_w	Höhe des Grundwasserspiegels (oder der freien Wasseroberfläche in Meeres- und Flussumgebung)	m
γ_l	Wichte der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit	kN/m ³
γ_w	Wichte des Wassers	kN/m ³
Δl	axialer Vorschub der Sonde während des Scherens	mm
Δp	Druckzunahmestufe des Belastungsdrucks	kPa
Δt	Dauer der Aufrechterhaltung des Drucks in einer Belastungsphase	s
Δt_p	Dauer der Aufrechterhaltung des Belastungsdrucks in einer Vorversuchsphase	s
ΔV	Änderung des eingepressten Volumens in der Zeit zwischen 30 s und 60 s nach Erreichen der Druckerhaltung	cm ³
φ_i	in situ mit dem Phikometer-Bohrscherversuch gemessener Reibungswinkel	°
τ	konventionelle Grenzscherspannung	kPa

4 Ausrüstung

4.1 Allgemeines

Für die Durchführung eines Bohrloch-Scherversuchs nach dem Phikometerverfahren ist die Herstellung einer zylindrischen Versuchsvorbohrung durch Vorbohren eines Phikometer-Bohrlochs unterhalb der Prüftiefe erforderlich. Die Wahl zwischen den verschiedenen Bohrtechniken und Werkzeugen wird anhand des Bodentyps getroffen, um an der Bohrlochwand eine möglichst unberührte zylindrische Prüfzone (siehe Anhang C) zu erzielen und so die Versuchsvorbohrung herzustellen.

In den meisten Fällen ist es erforderlich, die Bohrlochwände durch Verwendung von Spülflüssigkeit und/oder durch Anbringen einer Verrohrung über der Versuchsvorbohrung abzustützen.

Es ist nicht zulässig, die Sonde direkt in den Boden zu treiben.

Die für die Durchführung von Phikometer-Bohrscherversuchen verwendete Ausrüstung muss aus den folgenden Komponenten bestehen:

- Phikometersonde,
- Verbindungsleitungen und Zugestänge,

- Zugvorrichtung,
- Druck-Volumen-Steuereinheit,
- Regelsystem für die Zuggeschwindigkeit der Sonde,
- Messmittel und Anzeigen für Druck, Volumen, Zugkraft, axiale Bewegung und Außendurchmesser der Scherzone der Sonde.

4.2 Phikometersonde

Die Phikometersonde ist in Bild 3 dargestellt. Sie besteht aus einer geschlitzten Stahlvorrichtung, die als „expandierbares Scher-Schlitzrohr“ bezeichnet wird und in dem sich eine radial aufweitbare zylindrische Zelle befindet, die als „Messzelle“ bezeichnet wird.

Das expandierbare Scher-Schlitzrohr ist ein hohler Stahlzylinder, der mit dem Zuggestänge verbunden ist, um ihre Funktion sicherzustellen und die Zugkraft von der Bodenoberfläche auf die Sonde zu übertragen. Es ist aus verschiedenen Teilen designt, unter anderem:

- einer zentralen Scherzone, die aus sechs zunächst anliegenden starren Platten besteht, die parallel zur Sondenachse angeordnet sind und zehn vertikal gleichmäßig verteilte ringförmig angeordnete Zähne umfassen;
- zwei Führungszonen aus Metallstreifen, die als Federn dienen;
- einer in Höhe der zentralen Scherzone im Inneren des expandierbaren Scher-Schlitzrohrs platzierten expandierbaren Messzelle, die aus einem Stahlkern, einer deformierbaren elastischen Membran und einem Schlauch für das Einpressen der zum Erweitern der Zelle und zum Messen ihres Volumens verwendeten Flüssigkeit.

Die Eigenschaften der Sonde sind in Anhang A angegeben. Es gibt zwei Typen deformierbarer elastischer Gummimembrane:

- Standardmembran;
- verstärkte Membran.

Standardmembrane werden für alle Bodentypen verwendet.

Verstärkte Membrane werden ausschließlich für aggressive Böden verwendet, bei denen die Zellen-sonde häufig beschädigt wird und birst.

4.3 Verbindungsleitung und Zuggestänge

4.3.1 Verbindungsleitung

Die elastische Leitung, die die Druck-Volumen-Steuereinheit mit der Sonde verbindet, dient dazu, die Flüssigkeit in die Messzelle zu pressen.

Der Ausdehnungskoeffizient der Leitung muss kleiner als $0,1 \text{ cm}^3/\text{MPa je Meter Leitung}$ sein.

4.3.2 Zuggestänge

Die Sonde ist über ein Zuggestänge mit der auf der Bodenoberfläche platzierten Ausrüstung verbunden. Das Zuggestänge muss über eine für die in den verschiedenen Phasen des Versuchs auftretenden Belastungen und Kräfte ausreichende Zugfestigkeit verfügen.

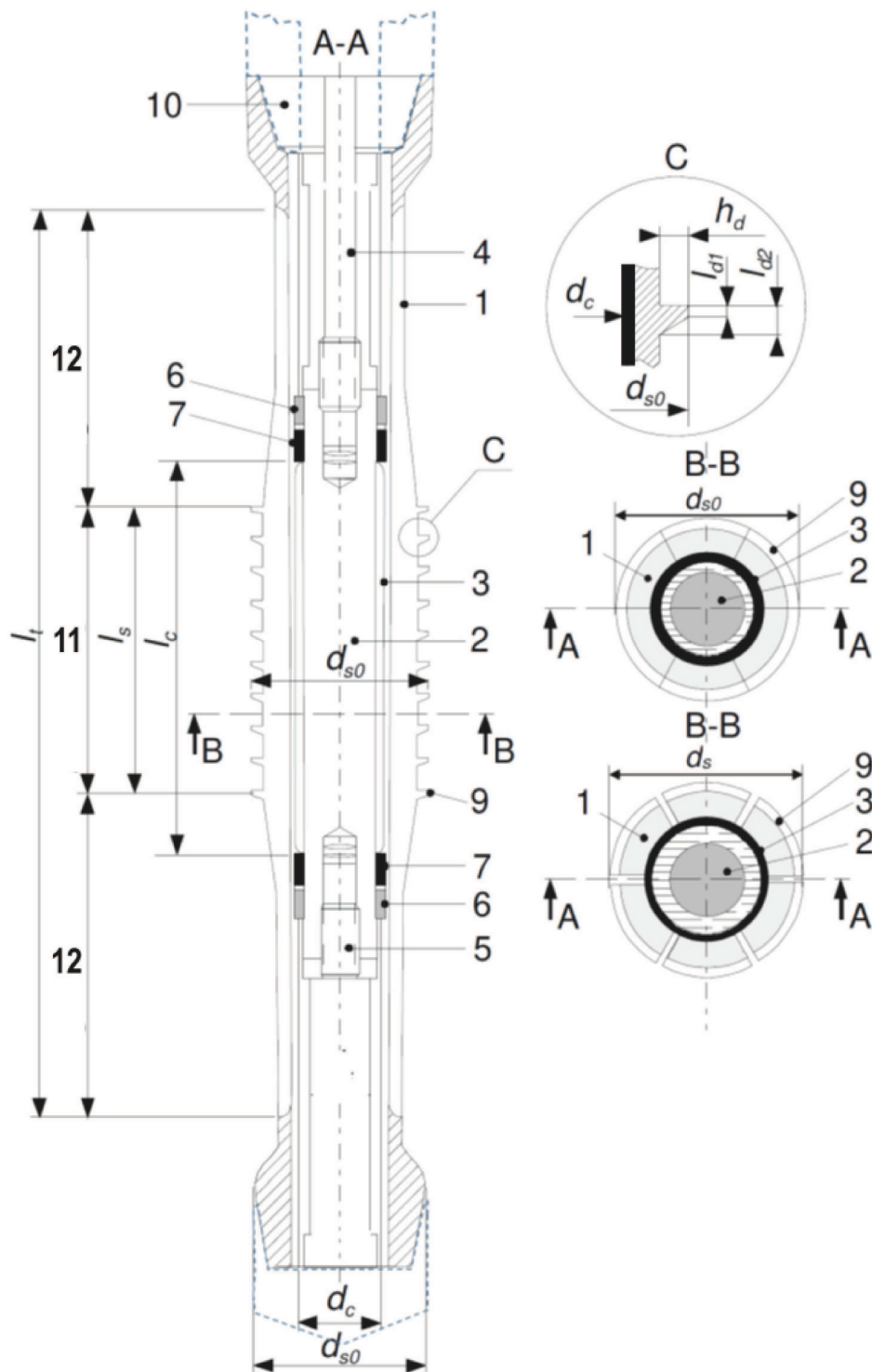
- Entwurf -

E DIN EN ISO 22476-16:2023-04
prEN ISO 22476-16:2023 (D)

Die Längung des Bohrgestänges darf 0,05 % der Gesamtlänge nicht erreichen bzw. überschreiten.

Der Querschnitt der Stangen und der Verbindungen muss die freie Beweglichkeit des Bohrgestänges im Bohrloch zulassen.

Der über der Geländeoberkante liegende Teil des Zuggestänges ist über die gesamte Länge mit einem Gewinde versehen, um die Einstellung der Sperrvorrichtung zur Befestigung des Gestänges an der Zugvorrichtung (siehe 4.4.1) zu ermöglichen.



Legende

- | | | | | | |
|----|-------------------------------|----|------------------------------|----|-------------------------------|
| 1 | expandierbares Scher-Schlitz- | 2 | Stahlkern der expandierbaren | 3 | Membran der Messzelle |
| | rohr | | Messzelle, zwischen zwei | 6 | Ringe zum Spannen der |
| 4 | Schlauchleitung zum Einpres- | | Abstandhaltern platziert | | Membran |
| | sen von Flüssigkeit | 5 | Spülöffnung | 9 | ringförmig angeordnete Zähne, |
| 7 | Verbindungen | 8 | Flüssigkeit zum Ausdehnen | | die die Scherzone bilden |
| 10 | Kupplungssystem Gestänge- | | der Membran | 12 | Führungszonen der Sonde |
| | Sonde | 11 | Scherzone der Sonde | | |

Bild 3 — Phikometersonde

4.4 Ausrüstung auf der Geländeoberkante

Die Ausrüstung umfasst:

- eine Zugvorrichtung;
- eine Druck-Volumen-Steuereinheit, mit der die Sonde mit Druck beaufschlagt und expandiert werden kann;
- ein Regelsystem für die Zuggeschwindigkeit der Sonde.

4.4.1 Zugvorrichtung

Die Zugvorrichtung umfasst:

- eine Abstützbasis mit optionalen Platten für die Verteilung von Lasten auf der Geländeoberkante;
- einen Hohlzylinderbock mit einem Loch, dessen Durchmesser das ungehinderte Passieren des oberen Endes des Zuggestänges erlaubt und der zum axialen Spannen des Zuggestänges und der damit verbundenen Sonde dient
- eine Vorrichtung zum Sperren des oberen Endes des Zuggestänges über dem Hohlzylinderbock;
- eine Vorrichtung, die die Zugkraft misst. Diese zwischen der Sonde und der Sperrvorrichtung angeordnete Vorrichtung kann sich entweder auf der Geländeoberkante oder im Bohrloch befinden.

4.4.2 Druck-Volumen-Steuereinheit

Mit der auf der Geländeoberkante platzierten Druck-Volumen-Steuereinheit können die Expansion der Sonde sichergestellt sowie Druck und Volumen der in die Messzelle der Sonde eingepressten Flüssigkeit zeitabhängig gemessen werden.

Die Vorrichtung der Steuereinheit zur Druckbeaufschlagung muss in der Lage sein:

- einen Druck von mindestens 1,5 MPa zu erreichen;
- den Druck in der Messzelle in den Prüfphasen konstant zu halten;
- eine Druckstufe in weniger als 20 s zu setzen und zu erreichen.

ANMERKUNG Eine Druck-Volumen-Steuereinheit wie die für den Pressiometerversuch nach Ménard nach ISO 22476-4 ist geeignet. In diesem Fall wird nur der Flüssigkeitskreis der zentralen Messzelle dieser Einheit verwendet.

4.4.3 Regelsystem für die Zuggeschwindigkeit der Sonde

Das Regelsystem dient dazu, während der Scherstufen die Bewegungsgeschwindigkeit des Zuggestänges und der mit ihm verbundenen Sonde zu erreichen und konstant zu halten. Die Bewegung wird durch Vergleich mit einem festen Bezugszeichen gemessen.

4.5 Mess- und Regel-/Steuermittel

4.5.1 Zeit

Das verwendete Messmittel muss die Messung der Zeit mit einer Messunsicherheit von weniger als 2 s erlauben.

4.5.2 Druck, Volumen und Zugkraft

Die maximalen Messunsicherheiten der Druck-, Volumen- und Zugkraftmessgeräte dürfen die in Anhang F angegebenen Werte nicht überschreiten.

4.5.3 Axiale Bewegung

Die für die Messung der axialen Bewegung verwendeten Messmittel müssen eine Messung der Bewegung mit einer Messunsicherheit erlauben, die die in Anhang F angegebenen Werte nicht überschreitet.

4.5.4 Anzeige der Ablesewerte

Die Prüfer müssen vor Ort Zugang zu gleichzeitigen Echtzeitvisualisierungen oder -anzeigen der folgenden Ablesewerte haben: Zeit, Druck, Volumen der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit, Scherbewegung und Zugkraft.

4.5.5 Abmessungen der Scherzone der Sonde

Der Außendurchmesser d_s der Scherzone der Sonde wird mindestens bei jeder Kalibrierung der Sonde (siehe B.2.2) mit einer Schieblehre mit einer Messunsicherheit von 0,1 mm gemessen. Die Länge l_s der Scherzone der Sonde und die Abmessungen ihrer ringförmig angeordneten Zähne sind in Tabelle A.1 festgelegt.

5 Prüfverfahren

Die folgenden Schritte müssen nacheinander in Übereinstimmung mit dem in Schaubild 1 gezeigten Flussdiagramm durchgeführt werden.

In diesem Flussdiagramm entspricht:

- eine Druckhaltestufe einem Schritt, bei dem der Druck p_r konstant gehalten wird;
- eine Belastungsstufe einer Stufe, bei der der Druck in der Sonde während der Belastungsphase auf einen der in 5.3 und in Tabelle 2 festgelegten Werte eingestellt und reguliert wird;
- eine Belastungsphase den aufeinanderfolgenden Belastungsstufen und Druckhaltestufen, die entweder während der Zahneindringphase oder während der Scherphasen angewendet werden;
- eine Scherstufe der Stufe, bei der die expandierte Phikometersonde während der Scherphase mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 mm/min unter konstantem Druck aufwärts gezogen wird;
- die Scherphase der aufeinanderfolgenden Anwendung der in Tabelle 2 festgelegten Scherstufen in Abhängigkeit von p_{LM} und p_h .

5.1 Überprüfungen und Messungen vor dem Einführen der Sonde in den Boden

Vor dem Einführen der Sonde in das Bohrloch müssen die in Anhang B beschriebenen Kalibrierungen und Funktionsüberprüfungen durchgeführt worden sein.

Das Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch wird unmittelbar vor Beginn des Einführens der Sonde gemessen.

5.2 Bohrphase, Sondenplatzierungsphase und Nullpunkteinstellung

Die Techniken für das Bohren des Phikometer-Bohrlochs, in dem die Sonde installiert werden soll, müssen den Spezifikationen von Anhang C entsprechen.

In dem Fall, dass in demselben Bohrloch aufeinanderfolgend zwei Prüfungen durchzuführen sind (siehe 5.3), darf die Unterkante des Phikometer-Bohrlochs für die erste Prüfung nicht um mehr als 0,8 m tiefer als die für die zweite Prüfung sein, um Störungen der zweiten Versuchsvorbohrungszone zu vermeiden.

Der Durchmesser der Versuchsvorbohrung d_t muss im folgenden Bereich liegen:

$$62 \text{ mm} \leq d_t \leq 65 \text{ mm}$$

Die Höhe oder Tiefe z_s der Prüfung entspricht der Mitte der Scherzone der Sonde (zum Zeitpunkt der Installation).

Nach dem Hinablassen der Sonde auf die Prüftiefe ist es entscheidend, zu überprüfen, dass das System im Bohrloch gleitet und die durch das Gewicht des Bohrgestänges und der Sonde verursachten Kräfte sowie die parasitären Kräfte durch mögliche Reibung an den Bohrlochwänden zu berücksichtigen.

Zu diesem Zweck werden das Bohrgestänge und die angebrachte Sonde einige Zentimeter angehoben, damit Sonde und Bohrgestänge straff hängen, und die Veränderung der entsprechenden notwendigen Hubkraft wird verfolgt. Diese Kraft muss sich nach einer Hubstrecke von 1 cm bis 5 cm stabilisieren und grob dem theoretischen Gewicht des hängenden Gestänges und der Sonde entsprechen.

Diese Hubkraft T_0 wird aufgezeichnet und als Ausgangswert für die Messung der Zugkraft verwendet.

ANMERKUNG 1 Der Ausgangswert kann auch auf null zurückgesetzt werden, um die reine auf die Sonde wirkende Zugkraft abzulesen.

ANMERKUNG 2 In dem Fall, dass das Messgerät für die Zugkraft auf der Sonde im Bohrloch angeordnet werden kann, kann die auf das Zuggestänge wirkende parasitäre Kraft minimiert werden.

Der Flüssigkeitsdruck wird vor Beginn der Prüfung in der Steuereinheit auf null gesetzt.

5.3 Mindestabstand zwischen Prüfungen

Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Prüfungen in demselben Bohrloch darf nicht kleiner als 1,2 m sein. Der Abstand zwischen zwei Phikometer-Bohrlöchern darf nicht kleiner als 1,2 m sein.



- a) Belastungsphase: Druckerhöhung zwischen aufeinanderfolgenden Scherstufen
- b) Scherstufe
- c) Ende der Prüfung

Schaubild 1 — Flussdiagramm und Phasen des Phikometer-Bohrscherversuchs

5.4 Zahneindringphase

Nach dem Einführen der Sonde in den Boden (siehe 5.2) wird die Sonde durch aufeinanderfolgende Belastungsstufen, in denen der Druck p_r konstant gehalten wird, expandiert, um sicherzustellen, dass die ringförmig angeordneten Zähne in den Boden an der Bohrlochwand eindringen.

Der Druck p_r wird in Druckstufen Δp allmählich wie folgt erhöht:

- $\Delta p = 50$ kPa für kaum bis leidlich konsistente Böden mit einem Grenzdruck des Ménard-Pressiometers p_{LM} zwischen 0,4 MPa und 1,0 MPa;
- $\Delta p = 100$ kPa für konsistente und kompakte Böden mit einem Grenzdruck des Ménard-Pressiometers p_{LM} von 1,0 MPa oder mehr;

ANMERKUNG 1 Anhang E enthält Korrelationen für die Abschätzung von p_{LM} aus anderen üblichen Bodenfestigkeitsparametern für den Fall, dass für den Boden keine Ménard-Pressiometer-Grenzdruckwerte verfügbar sind. Diese Korrelationen werden nur zu Informationszwecken angegeben und um die Anwendung dieser Norm zu ermöglichen.

Der Druck wird während jeder Belastungsstufe für die Dauer Δt_p von 60 s aufrechterhalten.

Bei jeder Stufe werden der ausgeübte Druck p_r und das in die Messzelle eingepresste Volumen zu den Zeitpunkten $t = 30$ s (V_{30}) und $t = 60$ s (V_{60}) sowie die Volumendifferenz ($V_{60} - V_{30}$) aufgezeichnet.

Der in Höhe der Sonde ausgeübte Druck p_z ist konventionell gegeben durch:

$$p_z = p_r + p_h$$

wobei p_h wie jeweils zutreffend (siehe Bild 4) anhand der folgenden Gleichungen berechnet wird:

- Wenn die Prüftiefe über dem Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch liegt (z_w und $z_e < z_s$):

$$p_h = (z_c - z_s) \cdot \gamma_l$$

- Wenn die Prüftiefe unter dem Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch liegt (z_w oder $z_e > z_s$):

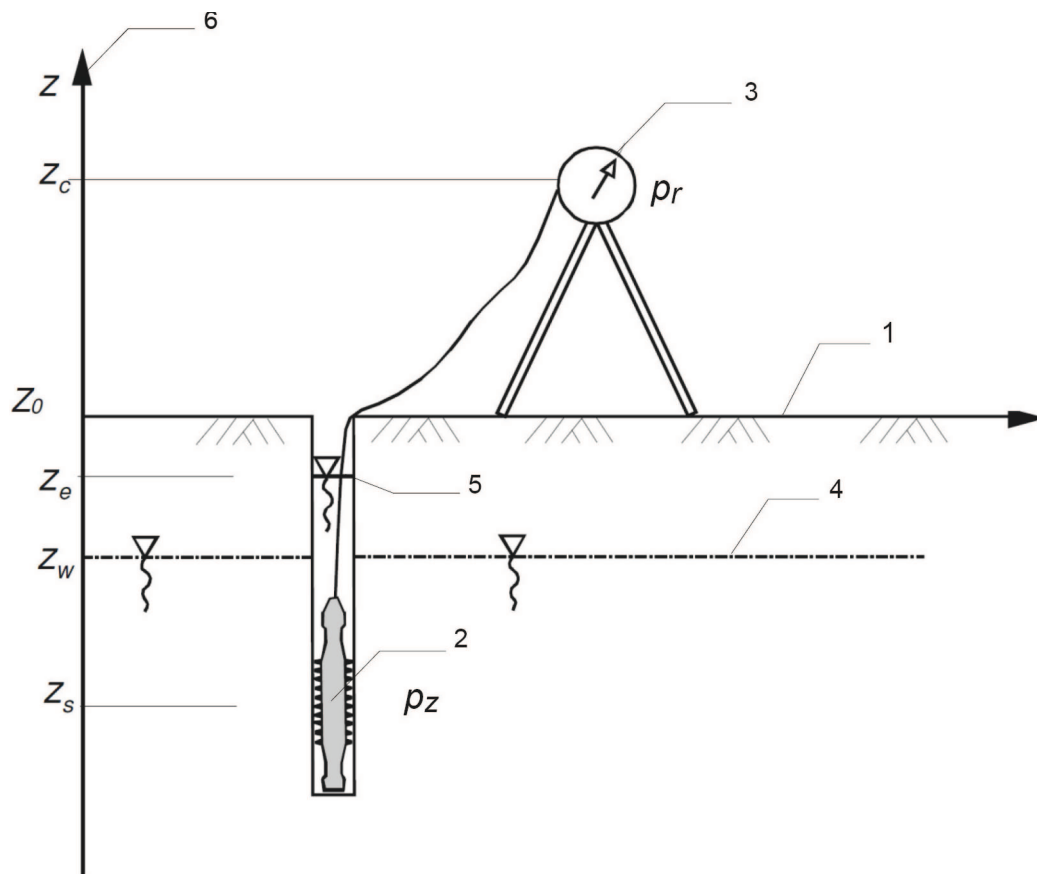
$$p_h = (z_c - z_e) \cdot \gamma_l \text{ oder } p_h = (z_c - z_w) \cdot \gamma_l$$

Die Wichte von Wasser oder Spülflüssigkeit γ_l wird konventionell mit 10 kN/m^3 angesetzt, z_e wird konventionell wie folgt definiert:

$$z_e = (z_{ei} - z_{ef}) / 2$$

Dabei sind z_{ei} und z_{ef} das im Bohrloch zu Beginn der Prüfung bzw. nach deren Ende gemessene anfängliche bzw. finale Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau ohne Sonde im Bohrloch.

Bei jeder Druckhaltestufe wird die das Volumen V_{60} als Funktion von p_z repräsentierende Kurve fortlaufend auf dem Prüfbogen (siehe Tabelle 3) aufgetragen und mit der Druckverlust-Kalibrierkurve der Sonde $V(p_e)$ verglichen (siehe Anhang B).



Legende

- | | | |
|---|---|---|
| 1 Geländeoberkante | 4 Grundwasserspiegel | p_r Ablesewert des Drucks auf der Steuereinheit |
| 2 PBST-Sonde | 5 Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch | p_z Druck in der Sonde |
| 3 Ablesevorrichtung für den Flüssigkeitsdruck | 6 Höhe | $(p_z = p_r + p_h)$ |

Bild 4 — Position der Sonde und der Ablesevorrichtung für den Flüssigkeitsdruck sowie Definition der Niveaus während des Versuchs

Um im Voraus sicherzustellen, dass die Sonde in Kontakt mit der Bohrlochwand kommt, ist es notwendig, dass der Druck in der Sonde p_z während dieser Expansionsphase mindestens 50 kPa größer ist als der für dasselbe Volumen durch die Druckverlust-Kalibrierkurve der Sonde angegebene Druckverlust p_e .

Sobald dieses Kriterium erfüllt ist, wird die Zahneindringphase fortgesetzt, bis eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- das Volumen V_{60} der Sonde beträgt mindestens 200 cm³;
- der abgelesene Druck hat 600 kPa erreicht;
- der Boden beginnt zu kriechen. Das beginnende Kriechen kann durch die Variation des Volumens zwischen 30 s und 60 s erkannt werden, wenn es 6 cm³ erreicht und in der vorherigen Stufe das 1,5-fache dieser Variation gemessen wurde.

ANMERKUNG 1 Wenn das Volumen der Sonde am Ende der Zahneindringphase weniger als 80 cm³ beträgt, wird empfohlen, eine Überprüfung durchzuführen, um sicherzustellen, dass über der Sonde im Bohrloch kein Boden herabgefallen oder kollabiert ist. In einem solchen Fall sollte der Versuch in demselben Bohrloch in einer anderen Tiefe oder in derselben Tiefe in einem standortnahen neuen Bohrloch wiederholt werden.

Am Ende der Zahneindringphase wird dann der Druck p_r auf den Wert der ersten Druckhaltstufe in Übereinstimmung mit Tabelle 2 reduziert und unmittelbar die Scherphase ausgeführt.

5.5 Scherphase

5.5.1 Belastungsprogramm – angewendete Haltedrucke in der Sonde

Die Scherphase besteht aus aufeinanderfolgenden Stufen, in denen mit konstantem, mit dem Druckmessgerät gemessenem Druck p_r an der Sonde gezogen wird.

Die Druckhaltstufen des Belastungsprogramms der Scherphase sind in Tabelle 2 in Übereinstimmung mit dem geschätzten Ménard-Grenzdruck p_{LM} des Bodens und für verschiedene Werte von p_h angegeben.

ANMERKUNG 1 Anhang E enthält Korrelationen für die Abschätzung von p_{LM} aus anderen üblichen Bodenfestigkeitsparametern für den Fall, dass keine Ménard-Pressiometer-Grenzdruckwerte für den Boden verfügbar sind. Diese Korrelationen werden nur zu Informationszwecken angegeben und um die Anwendung dieser Norm zu ermöglichen.

5.5.2 Aufeinanderfolgende Scherstufen mit Druckhaltstufen

Nach Auswahl des geeigneten Belastungsprogramms in Abhängigkeit von p_{LM} und p_h wird der Druck p_r auf den Wert für die erste Stufe in Übereinstimmung mit Tabelle 2 eingestellt.

Die von den Messgeräten für die Zugkraft und die Zugbewegung angezeigten Werte werden aufgezeichnet oder auf null gesetzt.

Während der ersten Minute der ersten Druckhaltstufe muss das Volumen der Messzelle bei $t = 30$ s und bei $t = 60$ s abgelesen werden. Der letztgenannte Volumenwert entspricht V_d .

Dann wird bei konstant gehaltenem Druck p_r Scherung bewirkt, indem die Sonde mit der Zugvorrichtung von der Geländeoberkante aus mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 mm/min aufwärts gezogen wird. Die Zugkraft wird mindestens alle 30 s oder nach jeweils 1 mm Bewegung aufgezeichnet.

Diese Scherstufe wird beendet, wenn sich die Zugkraft nach mindestens 4 mm Bewegung stabilisiert hat oder wenn eine maximale Bewegung von 7 mm erreicht ist. Von einer erreichten Stabilisierung wird ausgegangen, wenn die Differenz zwischen drei aufeinanderfolgenden Messungen höchstens 5 % beträgt. Das Volumen V_f am Ende der Stufe wird aufgezeichnet.

Daraufhin wird das Verfahren für die nächsten Scherstufen und Druckhaltstufen in Übereinstimmung mit Tabelle 2 wiederholt.

Tabelle 2 — Werte der Druckhaltestufen p_r des Belastungsprogramms für die Scherstufen 1 bis 8

Geschätzter Ménard p_{LM} (MPa)	p_h (MPa)	Druck während der Stufen 1 bis 4 (MPa)				Druck während der Stufen 5 bis 8 (MPa)				
		Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Zustand überprüfen	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8
$0,4 \leq p_{LM} < 1,0$	$p_h < 0,10$	0,20	0,25	0,30	0,35	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,40	0,45	0,50	0,55
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,45	0,55	0,65	0,75
	$0,10 \leq p_h \leq 0,15$	0,10	0,15	0,20	0,25	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,30	0,35	0,40	0,45
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,35	0,45	0,55	0,65
	$0,15 < p_h \leq 0,20$	0,05	0,10	0,15	0,20	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,25	0,30	0,35	0,40
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,30	0,40	0,50	0,60
	$0,20 < p_h \leq 0,30$	0,05	0,10	0,15	0,20	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,25	0,30	0,35	0,40
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,30	0,40	0,50	0,60
$p_{LM} \geq 1,0$	$p_h < 0,10$	0,25	0,30	0,35	0,40	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,45	0,55	0,65	0,75
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,55	0,70	0,85	1,00
	$0,10 \leq p_h \leq 0,15$	0,15	0,20	0,25	0,30	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,35	0,45	0,55	0,65
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,45	0,60	0,75	0,90
	$0,15 < p_h \leq 0,20$	0,10	0,15	0,20	0,25	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,30	0,40	0,50	0,60
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,40	0,55	0,70	0,85
	$0,20 < p_h \leq 0,30$	0,05	0,10	0,15	0,20	$V_f > 350 \text{ cm}^3$	0,25	0,35	0,45	0,55
						$V_f \leq 350 \text{ cm}^3$	0,35	0,50	0,65	0,80

5.5.3 Ende des Versuchs

Die Scherphase wird weitergeführt, bis:

- entweder die acht in Tabelle 2 angegebenen Scherstufen ausgeführt wurden;
- oder das in die Messzelle der Sonde eingepresste Volumen 600 cm^3 überschreitet;
- oder die maximale Zugkraft 50 kN übersteigt.

Dann wird der Druck in der Sonde vollständig auf null entspannt und die residuale Zugkraft jeweils nach einer Wartezeit von $t = 60 \text{ s}$ und $t = 120 \text{ s}$ aufgezeichnet.

Nach dem vollständigen Kollaps des Sondenvolumens werden das Zuggestänge und die Sonde aus dem Bohrloch entnommen.

Das Wasser- oder Spülflüssigkeitsniveau im Bohrloch z_{ef} wird unmittelbar nach der Entnahme der Sonde gemessen.

Die Beschaffenheit des Bodens, der den Raum zwischen den ringförmig angeordneten Zähnen der geborgenen Sonde füllt, sowie der Grad der Füllung (vollständige Füllung, teilweise Füllung oder keine Füllung) werden aufgezeichnet.

6 Verfüllen des Phikometer-Bohrlochs

Das Verfahren zum Verfüllen des beim Phikometer-Bohrscherversuch entstandenen Bohrlochs ist zu vereinbaren und in Übereinstimmung mit ISO 22475-1 unter Berücksichtigung der nationalen Bestimmungen sowie der technischen oder behördlichen Anforderungen durchzuführen.

Falls das Verfüllen des Bohrlochs erforderlich ist, muss es im Prüfbericht dokumentiert werden.

7 Sicherheitsanforderungen

Es wird vorausgesetzt, dass nationale Sicherheits- und Gesundheitsbestimmungen befolgt werden, z. B. für:

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

8 Versuchsergebnisse

8.1 Allgemeines

Die Datenreduktion und Auswertung der Messung besteht aus der Bestimmung der folgenden In-situ-Scherfestigkeitsparameter (siehe Anhang D) aus den PBST-Ergebnissen:

- in situ gemessener Reibungswinkel φ_i ;
- in situ gemessene Kohäsion c_i .

Um dies zu erreichen, werden das folgende Verfahren und die folgenden Schritte ausgeführt:

- Bestimmung der Kalibriercharakteristik der Sonde, um den Radialdruck p_c und die Scherfestigkeit τ nach B.2.2.4 zu korrigieren;
- Bestimmung des korrigierten Radialdrucks p_c für jede Stufe nach dem in D.1.1 beschriebenen Verfahren;
- Bestimmung der Grenzscherspannung τ_l nach dem in D.1.2 beschriebenen Verfahren;
- Erstellung der folgenden Prüfdiagramme:
 - Diagramm der Scherkurve (siehe Bild 5.a), die $\tau_l(p_c)$ repräsentiert;
 - zugehöriges Kriechdiagramm (siehe Bild 5.b), das $V_f - V_d(p_c)$ repräsentiert;
 - zugehöriges Diagramm des eingepressten Volumens (siehe Bild 5.c), das das eingepresste Volumen $V(p_c)$ repräsentiert;
- Bestimmung der signifikanten Anpassungszone aus den Kurven (siehe Bild 5)
- Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels φ_i und der In-situ-Kohäsion c_i aus der $\tau_l(p_c)$ -Kurve (siehe D.2.2).

8.2 Scherkurvendiagramm – Scherfestigkeitsparameter φ_i und c_i

In einem Diagramm mit dem Radialdruck p_c als x-Koordinate und der Grenzscherspannung τ_l als y-Koordinate werden die Punkte $\tau_l(p_c)$ aller Stufen der Scherphase dargestellt.

Die x- und y-Achse des Diagramms müssen linear sein und denselben Maßstab haben. Bild 5a zeigt ein Beispiel für ein solches Diagramm.

8.3 Zugehörige Diagramme

Zum Scherkurvendiagramm gehören zwei weitere Diagramme. Diese repräsentieren:

- die Kriechausdehnungskurve der Sonde, die die zwischen Anfang und Ende jeder Stufe der Zugphase in die Sonde eingepresste Volumendifferenz ($V_f - V_d$) aufgetragen gegen p_c repräsentiert (siehe Bild 5b);
- die Kurve des eingepressten Volumens, die das in die Sonde eingepresste Volumen V aufgetragen gegen p_c repräsentiert (siehe Bild 5c).

8.4 Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels φ_i und der In-situ-Kohäsion c_i

Das Prüfdiagramm in Bild 5 umfasst drei Kurven (5a, 5b und 5c). Diese repräsentieren die Ergebnisse aller während des Versuchs durchgeführten Scherstufen.

Im Allgemeinen können in jeder dieser Kurven 3 Zonen identifiziert werden:

- die den ersten Scherstufen entsprechende Anfangszone (Zone 1), in der die Punkte angeben, dass das in der Zahneindringphase (siehe 5.4) eingeleitete Eindringen der Zähne in die Bohrlochwand erfolgt ist und dass der Kontakt des unter den Zähnen eingeschlossenen Bodens mit dem unberührten Boden am Ende der ersten Zone hergestellt ist;
- die zentrale Zone (Zone 2), in der die Scherstufen mit niedrigen Kriechwerten ($V_f - V_d$) identifiziert werden können und in denen die Aufeinanderfolge dieser repräsentativen Punkte in den Kurven 5a und 5b quasi linear ist;
- die finale Zone (Zone 3), die die Scherstufen des Versuchs angibt, in denen das Kriechen (Kurve 5b) und die Änderungsrate des Volumens (Kurve 5c) zunehmen.

Für die Bestimmung der Einhüllenden des Scherversagens oder der Coulombschen Schergeraden durch lineare Regression werden nur die Punkte in der zentralen Zone herangezogen. Die Steigung dieser Linie im Scherkurvendiagramm (Bild 5a) ist der Tangens des Reibungswinkels φ_i und der Ordinatenabschnitt dieser Linie ist die mit dem PBST in situ gemessene Kohäsion c_i .

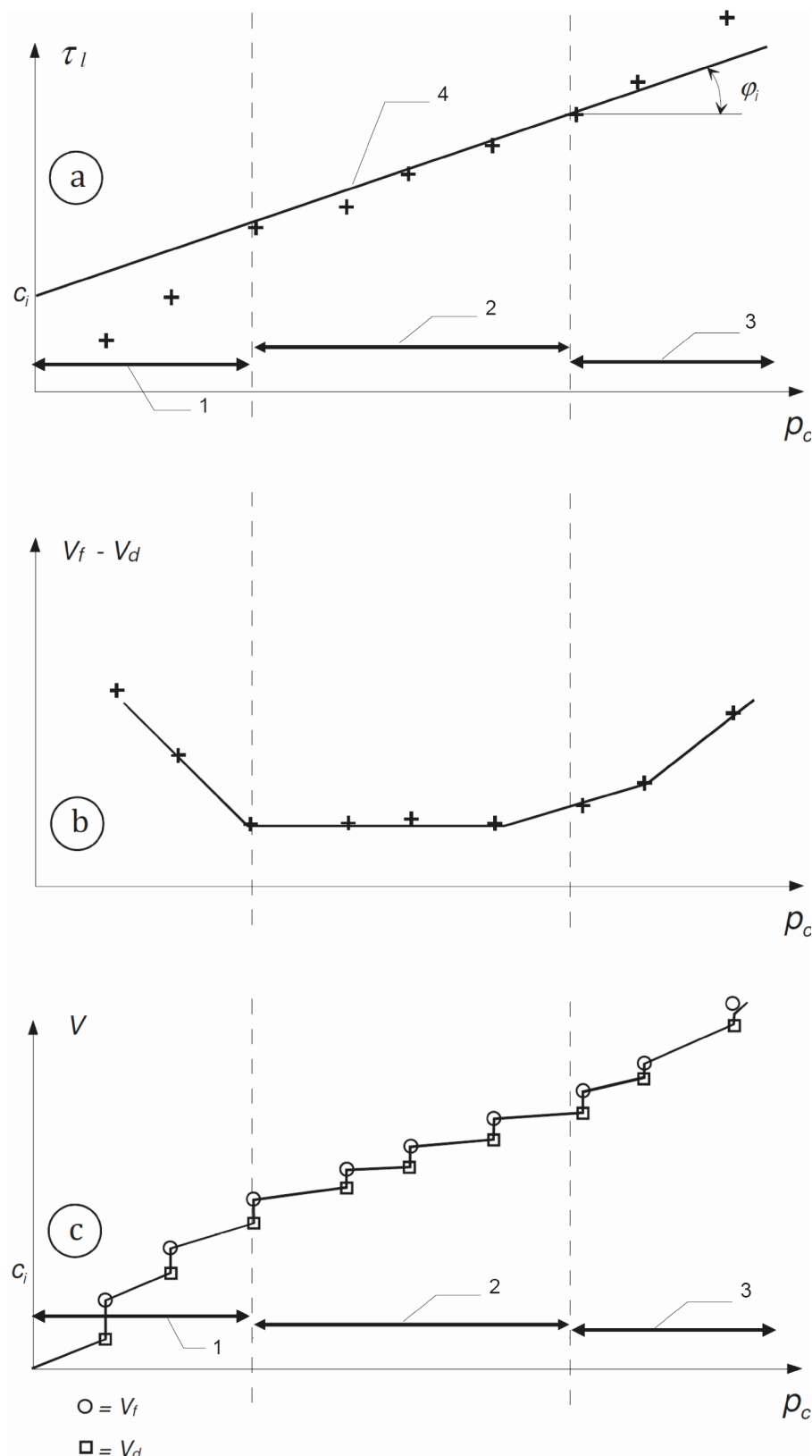
ANMERKUNG 1 Eine Abschätzung der undrained Scherparameter φ_u und c_u sowie der effektiven Scherparameter φ' und c' anhand des Reibungswinkels φ_i und der Kohäsion c_i in situ kann aus den in [2] und [3] (siehe Literaturhinweise) veröffentlichten Leitfäden gewonnen werden.

8.5 Beispiele für die Anpassung und Bestimmung des In-situ-Reibungswinkels φ_i und der In-situ-Kohäsion c_i

Zur Information enthält Anhang G Beispiele für die Regression der Messpunkte.

Sie zeigen für verschiedene typische Fälle, wie die Anpassungszone und die zugehörigen gewonnenen Werte für φ_i und c_i bestimmt werden.

Anhang G enthält auch Beispiele für schwierig zu interpretierende Versuche. Die Beispiele sind nicht erschöpfend.



Legende

- | | | | | | |
|---|--|---|-------------------------------------|---|---------------------|
| 1 | Zone 1: Anfangszone | 2 | Zone 2: signifikante Anpassungszone | 3 | Zone 3: finale Zone |
| 4 | Einhüllende des Scherversagens (Coulombsche Schergerade) | | | | |

Bild 5 — Beispiele für die Diagramme der Ergebnisse des PBST