

DIN EN ISO 22476-1



ICS 93.020

Entwurf

Einsprüche bis 2021-07-28
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 22476-1:2013-10

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Felduntersuchungen –****Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und
Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO/DIS 22476-1:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 22476-1:2021**

Geotechnical investigation and testing –
Field testing –

Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test (ISO/DIS 22476-1:2021);
German and English version prEN ISO 22476-1:2021

Reconnaissance et essais géotechniques –
Essais en place –

Partie 1: Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône (ISO/DIS 22476-1:2021);
Version allemande et anglaise prEN ISO 22476-1:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-05-28 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 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 153 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-1:2021) 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 14688-2	siehe	DIN EN ISO 14688-2
ISO 17025	siehe	DIN EN ISO/IEC 17025
ISO 19901-8	siehe	DIN EN ISO 19901-8
ISO 22475-1	siehe	DIN EN ISO 22475-1
ISO 22476-12	siehe	DIN EN ISO 22476-12

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 22476-1:2013-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Maßtoleranzen der Drucksondierspitze angepasst;
- b) System der Genauigkeitsklassen durch Systemklassen aus Drucksondierspitzen und Prüfungskategorien ersetzt;
- c) Hinzufügen normativer Anforderungen für die Kalibrierung von Drucksondierspitzen;
- d) Aktualisierungen von Bildern und Text;
- e) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

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

DIN EN ISO 22476-12, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 12: Drucksondierungen mit mechanischen Messwertaufnehmern*

DIN EN ISO 19901-8, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Spezielle Anforderungen für Offshore-Anlagen — Teil 8: Meeresbodenuntersuchungen*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO/DIS 22476-1:2021)
<i>Titel en:</i>	Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test (ISO/DIS 22476-1:2021)
<i>Titel fr:</i>	Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place — Partie 1: Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône (ISO/DIS 22476-1:2021)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Symbole	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole	14
4 Gerät	16
4.1 Drucksondierspitze	16
4.2 Toleranzen	16
4.3 Oberflächenrauigkeit und -härte	16
4.4 Kegel	16
4.5 Reibungshülse	18
4.6 Filterelement	19
4.6.1 Allgemeine Filteranordnung	19
4.6.2 Porenwasserdruck u_1	20
4.6.3 Porenwasserdruck u_2	20
4.6.4 Porenwasserdruck u_3	20
4.7 Spalte und Bodendichtungen	20
4.8 Sondierstangen	20
4.9 Messsystem	21
4.9.1 Fehlergrenze	21
4.9.2 Sensoren für den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung	21
4.9.3 Sensor für den Porenwasserdruck	21
4.9.4 Sensor für die Neigung	22
4.9.5 Sensor für die Temperatur	22
4.9.6 Messung der Sondierlänge	22
4.9.7 Rohdaten	22
4.10 Eindrückvorrichtung	22
5 Versuchsdurchführung	23
5.1 Auswahl des Gerätes, Vorgehensweise und Evaluierung der Ergebnisse	23
5.1.1 Erforderliche Kalibrierungen für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze	23
5.1.2 Konformitätsbewertung der Klasse der Drucksondierspitze	24
5.2 Lage und Höhe der Eindrückvorrichtung	26
5.3 Vorbereitung der Drucksondierung	26
5.4 Eindrücken der Drucksondierspitze	27
5.5 Verwendung von Reibungsminderungstechniken	27
5.6 Häufigkeit der Parameteraufzeichnung	28
5.7 Aufzeichnung der Sondierlänge	28
5.8 Dissipationsversuch (DPT, en: dissipation test)	28
5.9 Versuchsabschluss	29
5.10 Evaluierung von CPT-/CPTU-Daten und Prüfkategorie	30
5.11 Geräteüberprüfung und Kalibrierung	31

5.12	Sicherheitsanforderungen	31
6	Versuchsergebnisse.....	31
6.1	Gemessene Parameter	31
6.2	Korrektur von Parametern.....	32
6.3	Berechnete Parameter	34
7	Berichterstattung.....	34
7.1	Allgemeines	34
7.2	Bericht über Versuchsergebnisse	35
7.3	Darstellung der Versuchsergebnisse	37
7.4	Darstellung der Ergebnisse und der berechneten Parameter.....	38
Anhang A (informativ) Eignung von Prüfverfahren		40
Anhang B (normativ) Wartung, Überprüfungen und Kalibrierung		43
Anhang C (informativ) Kalibrierbericht (Beispiel).....		65
Anhang D (normativ) Berechnung der Sondiertiefe		77
Anhang E (informativ) Korrektur der Mantelreibung im Hinblick auf den Wasserdruck.....		78
Anhang F (informativ) Vorbereitung der Piezospitze		79
Anhang G (informativ) Reibungsminderungstechniken.....		80
Literaturhinweise.....		81

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 22476-1:2021) 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 22476-1:2013 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 22476-1:2021 wurde von CEN als prEN ISO 22476-1:2021 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).

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 Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 341, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung*, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 182, *Geotechnics*, Unterkomitee SC 1, *Geotechnical investigation and testing*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 22476-1:2012), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Grenzabmaße der Drucksondierspitze;
- das Genauigkeitsklassensystem wurde durch die Klasse der Drucksondierspitze und das Prüfkategoriesystem ersetzt;
- Hinzufügung von normativen Anforderungen an die Kalibrierung von Drucksondierspitzen;
- geringe Aktualisierungen von Bildern und Text.

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.

Einleitung

Die elektrische Drucksondierung (CPT/CPTU) besteht aus dem Eindrücken einer Sondierspitze mit mehreren Sondierstangen in den Boden bei gleichbleibender Sondiergeschwindigkeit. Während des Sondiervorgangs können Messungen des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung aufgezeichnet werden. Die Drucksondierung mit der Piezospitze schließt auch die Messung des Porenwasserdruckes an oder im Bereich der Sondierspitze ein. Die Versuchsergebnisse können zur Bestimmung der Schichtung, zur Klassifizierung der Bodenarten und zur Abschätzung von technischen Bodenkennwerten benutzt werden. Es wurden zwei Internationale Normen zum Thema Drucksondierungen erstellt: ISO 22476-1 definiert das CPT- und CPTU-Verfahren mit elektronischen Messwertaufnehmern; ISO 22476-12 definiert das CPT-Verfahren mit mechanischen messenden Systemen.

In der Praxis sowie in diesem Teil von ISO 22476 wird der Begriff „Spitzenwiderstand“ gebraucht, wenn auch die Worte „Widerstand gegen das Eindringen einer Sondierspitze“ das Verfahren genauer beschreibt.

Die Versuchsergebnisse, die mit den Verfahren nach diesem Teil von ISO 22476 erzielt werden, sind insbesondere für die qualitative und/oder quantitative Bestimmung von Bodenprofilen im Zusammenhang mit direkten Aufschlüssen (z. B. Probenahme nach ISO 22475-1 [2]) oder zum Vergleich mit anderen Felduntersuchungen vor Ort geeignet.

Die Ergebnisse einer Drucksondierung werden in der Regel verwendet zur Bewertung von:

- Schichtung;
- Art des Bodenverhaltens;
- geotechnischen Kennwerten wie:
 - Lagerungsdichte;
 - Scherfestigkeitsparametern;
 - Verformungs- und Konsolidationseigenschaften;
 - hydraulische Leitfähigkeit und Grundwasserdruck;
- die Ergebnisse einer Drucksondierung können auch direkt in geotechnischen Bemessungsberechnungen verwendet werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 22476 behandelt die Geräteanforderungen, die Durchführung und die Ergebnisdarstellung von elektrischen Drucksondierungen und Drucksondierungen mit der Piezospitze.

ANMERKUNG 1 Dieser Teil von ISO 22476 erfüllt die Anforderungen für elektrische Drucksondierungen und Drucksondierungen mit der Piezospitze als Teil von geotechnischen Untersuchungen und Versuchen nach EN 1997 (alle Teile).

Es werden zwei Unterkategorien von Drucksondierungen betrachtet:

- die elektrische Drucksondierung (CPT), die die Messung des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung umfasst;
- die elektrische Drucksondierung mit der Piezospitze (CPTU), die eine Drucksondierung mit zusätzlicher Messung des Porenwasserdruckes ist.

Die CPTU-Sondierung wird wie eine CPT-Sondierung ausgeführt, mit dem Unterschied, dass der Porenwasserdruck an einer oder mehreren Stellen an der Oberfläche der Sondierspitze gemessen wird.

ANMERKUNG 2 Sowohl die CPT-Sondierung als auch die CPTU-Sondierung können ohne Bestimmung der Mantelreibung ausgeführt werden; dies wird jedoch nicht in diesem Teil von ISO 22476 behandelt.

Dieser Teil von ISO 22476 legt die folgenden Aspekte fest:

- a) Typ der Drucksondierung;
- b) Klasse der Drucksondierspitze nach Tabelle 1;
- c) Prüfkategorien nach Tabelle 2;
- d) die erreichbare Sondierlänge oder Sondiertiefe;
- e) die Höhe der Geländeoberfläche oder die Gewässergrundoberfläche am Ort der Drucksondierung mit Verweis auf eine Bezugshöhe;
- f) die Lage der Drucksondierung mit Bezug zu einem reproduzierbaren örtlich festgelegten Lagebezugspunkt; und
- g) Porenwasserdruck-Dissipationsversuche.

ANMERKUNG 3 Dieser Teil von ISO 22476 behandelt CPT-Sondierungen an Land und im Nearshore-Bereich. Für Anforderungen an CPT-Sondierungen in Offshore-Bereichen siehe ISO 19901-8.

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 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Begriffe

3.1.1

durchschnittliche Oberflächenrauigkeit

R_a

durchschnittlicher Abstand zwischen der tatsächlichen Oberfläche der Sondierspitze und einer mittleren Bezugsfläche, die an der Oberfläche der Sondierspitze angeordnet ist

3.1.2

Kegel

kegelförmiger unterer Teil der Sondierspitze und der zylindrischen Verlängerung

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Sondierspitze in den Boden eingedrückt wird, wird der Spitzenwiderstand durch den Kegel auf den Druckaufnehmer übertragen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Teil von ISO 22476 setzt voraus, dass der Kegel starr ist, d.h. dass seine Verformung bei Belastung im Verhältnis zur Verformung anderer Teile der Sondierspitze sehr klein ist.

3.1.3

unteres Ende der Drucksondierspitze

zylindrischer Teil der Drucksondierspitze direkt hinter dem konischen Teil der Kegelspitze

3.1.4

Drucksondierung

CPT, en: cone penetration test

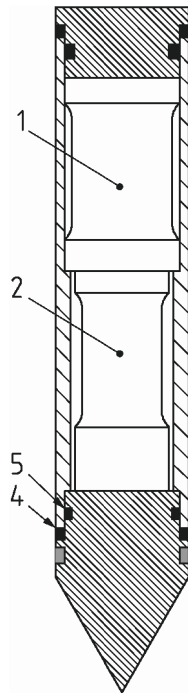
Eindrücken einer Sondierspitze mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Boden am Ende einer Reihe von Sondierstangen und elektrische Messung der Kräfte in der Drucksondierspitze

3.1.5

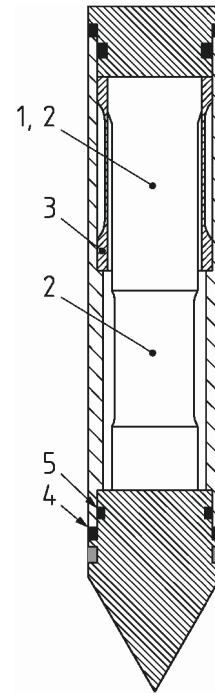
Drucksondierspitze

Vorrichtung, die den Kegel, die Reibungshülse, alle weiteren Sensoren und Messsysteme sowie die Verbindung zu den Sondierstangen beinhaltet

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel für eine Drucksondierspitze ist in Bild 1 dargestellt, andere Filteranordnungen sind aus Bild 2 ersichtlich.



a) Druckdosen zur Messung des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung unter Druckbeanspruchung



b) subtrahierende Drucksondierspitze

Legende

- 1 Druckdose zur Messung der Mantelreibung
- 2 Druckdose im Kegel
- 3 Gewinde
- 4 Bodendichtung
- 5 Wasserdichtung

Bild 1 — Beispiel für den Querschnitt durch eine Drucksondierspitze

3.1.6

Spitzenwiderstand

Widerstand gegen das Eindringen einer Sondierspitze

3.1.7

korrigierter Spitzenwiderstand

q_t

um die Porenwasserdruckwirkung korrigierter gemessener Spitzenwiderstand q_c

Anmerkung 1 zum Begriff: Auch als Gesamtpitzenwiderstand bezeichnet.

3.1.8

korrigiertes Reibungsverhältnis

R_{ft}

Verhältnis der gemessenen oder korrigierten Mantelreibung zum korrigierten, in gleicher Tiefe gemessenen Spitzenwiderstand

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel wird die gemessene Mantelreibung benutzt; liegt die korrigierte Mantelreibung jedoch vor, ist diese zu benutzen.

3.1.9

korrigierte Mantelreibung

f_t

gemessene Mantelreibung f_s , die um die Porenwasserdruckwirkung korrigiert wurde

3.1.10

Dissipationsversuch

Messung der Änderung des Porenwasserdruckes über die Zeit während einer Unterbrechung des Eindrückvorganges, bei der die Drucksondierspitze stationär gehalten wird

3.1.11

Porenwasserdruckdifferenz

$\Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3$

durch das Eindrücken der Drucksondierspitze in den Untergrund in Höhe des Filters erzeugter Porenwasserdruck, der den Umgebungs-Porenwasserdruck übersteigt:

$$\Delta u_1 = u_1 - u_0 \quad (1)$$

$$\Delta u_2 = u_2 - u_0 \quad (2)$$

$$\Delta u_3 = u_3 - u_0 \quad (3)$$

3.1.12

Filterelement

poröser Bestandteil der Drucksondierspitze, der den Porenwasserdruck zum Porenwasserdruckaufnehmer überträgt, wobei die Geometrie der Drucksondierspitze beibehalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Als Filterelement darf ein Schlitzfilter zur Messung von u_2 bei bestimmten Bodenbedingungen verwendet werden.

3.1.13

Reibungsverhältnis

R_f

Verhältnis der gemessenen Mantelreibung zu dem in gleicher Tiefe gemessenen Spitzenwiderstand

3.1.14

Reibungsminderer

Vorrichtung zur Verringerung der Reibung entlang der Sondierstangen

3.1.15

Reibungshülse

Bereich der Drucksondierspitze, in dem sich die Reibung zwischen dem Boden und der Hülse entwickelt und die Belastung auf die Druckdose zur Messung der Mantelreibung übertragen wird

3.1.16

Porenwasserdruck *in situ*

u_0

ursprünglicher *im Feld vorhandener* Porenwasserdruck

3.1.17

Neigung

Winkelabweichung der Drucksondierspitze von der Vertikalen

3.1.18

Anfangsporenwasserdruck

u_i

zu Beginn des Dissipationsversuchs gemessener Porenwasserdruck

3.1.19

gemessener Spitzenwiderstand

q_c

Quotient aus der gemessenen, auf den Kegel wirkenden Kraft Q_c und der projizierten Fläche des Kegels A_c :

$$q_c = Q_c / A_c \quad (4)$$

3.1.20

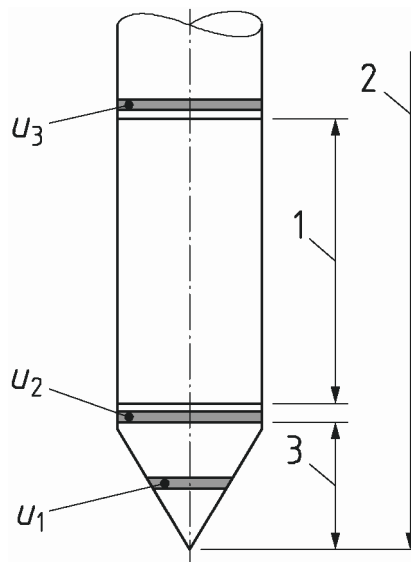
gemessener Porenwasserdruck

u_1, u_2, u_3

während des Eindrückens, des Dissipationsversuchs und des Porenwasserdruckbeobachtungsversuchs im Filterelement gemessener Druck

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Porenwasserdruck kann wie folgt an verschiedenen Stellen gemessen werden (siehe Bild 2):

- u_1 an der Vorderseite des Kegels;
- u_2 am zylindrischen Abschnitt des Kegels (die Messung erfolgt im Spalt zwischen Kegel und Hülse);
- u_3 unmittelbar hinter der Reibungshülse.



Legende

- 1 Reibungshülse
- 2 Drucksondierspitze
- 3 Kegel

Bild 2 — Lagen der Filterelemente zur Messung des Porenwasserdrucks

3.1.21

gemessene Mantelreibung

f_s

Quotient aus der gemessenen, auf die Reibungshülse wirkenden Kraft F_s und der Fläche der Hülse A_s :

$$f_s = F_s / A_s \quad (5)$$

3.1.22

Messsystem

alle Sensoren und Hilfsmittel, die zur Weiterleitung und/oder Speicherung der im Zuge der Drucksondierung erzeugten elektrischen Signale genutzt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messsystem umfasst üblicherweise Bauteile zur Messung der Kraft (Spitzenwiderstand, Mantelreibung), des Drucks (Porenwasserdruck), der Neigung, der Uhrzeit und der Sondierlänge.

3.1.23

Grundflächenfaktor des Kegels

a

Verhältnis der Querschnittsfläche der Druckdose oder des Schaftes A_{st} der Drucksondierspitze über dem Kegel an der Position des Spaltes, in dem der Porenwasserdruck wirken kann, zur nominellen Querschnittsfläche an der Kegelbasis A_c

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 6.

3.1.24

Grundflächenfaktor der Reibungshülse

b

Verhältnis der Differenz zwischen der Querschnittsfläche des unteren Endes der Reibungshülse A_{sb} und des oberen Endes der Reibungshülse A_{st} zur Fläche der Reibungshülse A_s

3.1.25

Nettospitzenwiderstand

q_n

um den gesamten Überlagerungsdruck des Erddrucks und des Porenwasserdrucks korrigierter gemessener Spitzenwiderstand

3.1.26

Nettoreibungsverhältnis

R_{fn}

Verhältnis der Mantelreibung zu dem in gleicher Tiefe gemessenen Nettospitzenwiderstand

3.1.27

normalisierte Porenwasserdruckdifferenz

U

mit der Anfangsporenwasserdruckdifferenz verglichene Porenwasserdruckdifferenz während eines Dissipationsversuchs

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 7.4.

3.1.28

Sondiertiefe

z

vertikale Tiefe der Kegelbasis bezogen auf einen festgelegten Punkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3.

3.1.29

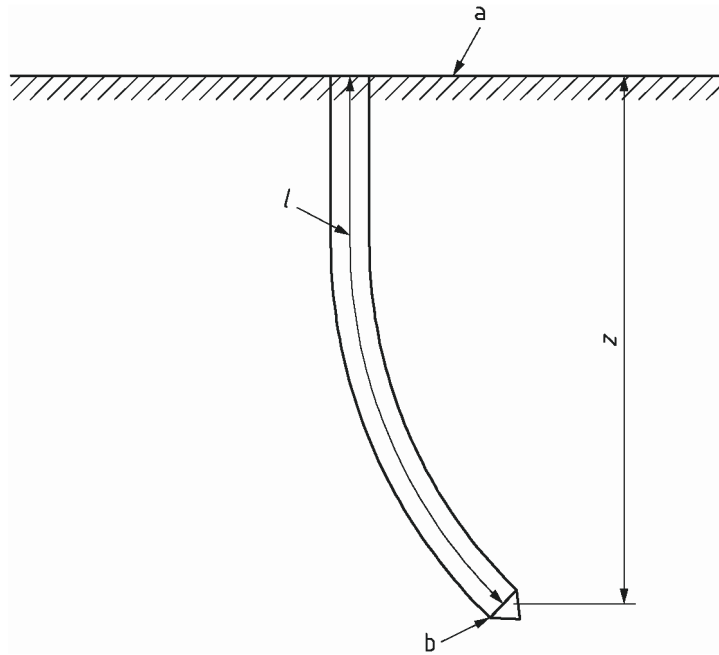
Sondierlänge

l

um die Höhe des konischen Teiles der Sondierspitze reduzierte Summe der Längen der Sondierstangen und der Sondierspitze, bezogen auf eine festgelegte horizontale Ebene

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die festgelegte horizontale Ebene stimmt üblicherweise mit der Geländeoberfläche (ob Onshore oder Offshore) überein. Dies kann vom Anfangspunkt des Versuches abweichen.



Legende

- a festgelegte horizontale Ebene
- b Basis des konischen Teiles des Kegels
- l Sondierlänge
- z Sondiertiefe

Bild 3 — Sondierlänge und Sondiertiefe (schematische Darstellung)

3.1.30

Drucksondierung mit Porenwasserdruckmessung

CPTU, en: piezocone penetration test

elektrische Drucksondierung mit Messung des Porenwasserdruckes an oder nahe dem Kegel

3.1.31

Porenwasserdruckverhältnis

B_q

Verhältnis der Porenwasserdruckdifferenz an der Filterposition u_2 zum Nettospitzenwiderstand

3.1.32

Sondierstange

Teil der Stangenreihe zur Kraftübertragung auf die Sondierspitze

3.1.33

Referenzmessung

stabile Auslesung aus einer Messsystemanzeige eines Messwertgebers unmittelbar vor Eintritt der Sondierspitze in den Untergrund oder unmittelbar nach dem Verlassen des Untergrunds

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Versuchen, die onshore an der Geländeoberfläche beginnen, stimmt die Referenzmessung mit der Nullmessung überein.

3.1.34

Eindrückvorrichtung

Einrichtung, die die Sondierspitze und die Stangen mit einer konstanten Sondiergeschwindigkeit in den Untergrund eindrückt

3.1.35

gesamte Überlagerungsspannung

σ_{vo}

Spannung, die durch das Gesamtgewicht der Bodenschichten in Höhe der Kegelbasis erzeugt wird

3.1.36

Nullabweichung

absolute Differenz zwischen den Referenzmessungen des Messsystems am Beginn und nach Beendigung der Drucksondierung

3.1.37

Kalibrierabweichung

Änderung der Nullpunktauslesung im Messsystem über eine angegebenen Zeitspanne des normalen Dauerbetriebs

3.2 Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A_c	projizierte Querschnittsfläche des Kegels	mm ²
A_n	Querschnittsfläche der Druckdose oder des Schaftes	mm ²
A_s	Fläche der Reibungshülse	mm ²
A_{sb}	Querschnittsfläche des unteren Endes der Reibungshülse	mm ²
A_{st}	Querschnittsfläche des oberen Endes der Reibungshülse	mm ²
a	Grundflächenfaktor des Kegels	
b	Grundflächenfaktor der Hülse	
B_q	Porenwasserdruckverhältnis	
C_{inc}	Korrekturfaktor für die Auswirkung der Neigung der Sondierspitze, bezogen auf die vertikale Achse	
d_{cone}	Durchmesser des Kegels in einer bestimmten Höhe	mm
d_c	Durchmesser des zylindrischen Teils des Kegels	mm
d_{fil}	Durchmesser des Filters	mm
d_2	Durchmesser der Reibungshülse	mm

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$\Delta u_{1,2,3}$	Porenwasserdruckdifferenz an Filterposition 1, 2 und 3	MPa
F_s	an der Reibungshülse axial gemessene Kraft	kN
f_s	gemessene Mantelreibung	MPa
f_t	korrigierte Mantelreibung	MPa
h_c	Höhe des konischen Abschnittes des Kegels	mm
h_e	Länge der zylindrischen Verlängerung des Kegels	mm
l	Sondierlänge	m
l_s	Länge der Reibungshülse	m
Q_c	am Kegel axial gemessene Kraft	kN
q_c	gemessener Spitzenwiderstand	MPa
q_n	Nettospitzenwiderstand	MPa
q_t	korrigierter Spitzenwiderstand	MPa
R_a	durchschnittliche Oberflächenrauigkeit	μm
R_f	Reibungsverhältnis	%
R_{ft}	korrigiertes Reibungsverhältnis	%
R_{fn}	Nettoreibungsverhältnis	%
t	Zeit	s
t_{50}	Zeit, die für das Abklingen von 50 % der Porenwasserdruckdifferenz benötigt wird	s
U	normalisierte Porenwasserdruckdifferenz	
u	Porenwasserdruck	MPa
u_i	Porenwasserdruck bei Beginn des Dissipationsversuchs	MPa
u_t	Porenwasserdruck zur Zeit t des Dissipationsversuchs	MPa
u_0	<i>in situ</i> gemessener Anfangsporenwasserdruck	MPa
u_1	am Messpunkt 1 gemessener Porenwasserdruck	MPa
u_2	am Messpunkt 2 gemessener Porenwasserdruck	MPa
u_3	am Messpunkt 3 gemessener Porenwasserdruck	MPa
z	Sondiertiefe	m
α	gemessener Gesamtwinkel zwischen der vertikalen Achse und der Achse der Sondierspitze	°
β_1	gemessener Winkel zwischen der vertikalen Achse und der Projektion der Achse der Sondierspitze auf eine festgelegte vertikale Ebene	°

Symbol	Bezeichnung	Einheit
β_2	gemessener Winkel zwischen der vertikalen Achse und der Projektion der Achse der Sondierspitze auf eine vertikale Ebene, die senkrecht zur Ebene des Winkels β_1 ist	°
σ_{vo}	gesamte Überlagerungsspannung	MPa

4 Gerät

4.1 Drucksondierspitze

Die Drucksondierspitze muss innere Lastsensoren für die Messung der auf den Kegel wirkenden Kräfte (Spitzenwiderstand), die seitliche Reibung auf die Reibungshülse (Mantelreibung) und, sofern erforderlich, den Porenwasserdruck an einer oder mehreren Stellen an der Oberfläche der Drucksondierspitze besitzen.

ANMERKUNG 1 Andere Sensoren können in der Drucksondierspitze enthalten sein.

Die Achsen aller Teile der Drucksondierspitze müssen miteinander übereinstimmen.

Drucksondierspitzen sollten im Idealfall einen Grundflächenfaktor des Kegels von etwa 1 und einen Grundflächenfaktor der Hülse haben, der sich 0 nähert; dabei sollte die Robustheit der Drucksondierspitze berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Der Grundflächenfaktor a gebräuchlicher Drucksondierspitzen variiert zwischen 0,5 und 0,9.

4.2 Toleranzen

Die Maßtoleranzen sind Toleranzen während der Versuchsdurchführung.

Die Toleranz für die Oberflächenrauigkeit ist eine Fertigungstoleranz.

4.3 Oberflächenrauigkeit und -härte

Die Verschleißteile einer CPT-Sondierspitze müssen eine Fertigungshärte von mindestens 45 HRc aufweisen.

Die in 4.4 und 4.5 erwähnte Oberflächenrauigkeit bezieht sich auf die durchschnittliche Rauigkeit Ra , die mit einem Oberflächenprofilkomparator nach ISO 8503 oder mit einem gleichwertigen Gerät bestimmt wurde.

ANMERKUNG 1 Mit der Anforderung an die Oberflächenrauigkeit wird beabsichtigt, die Verwendung einer „ungewöhnlich glatten“ oder „ungewöhnlich rauen“ Sondierspitze oder Reibungshülse zu verhindern. Stahl, einschließlich gehärteter Stahl, wird im Boden (insbesondere in Sanden) abgenutzt, und die Reibungshülse entwickelt dadurch eine eigene Rauigkeit beim Gebrauch. Es ist daher wichtig, dass die Rauigkeit bei der Herstellung annähernd der beim Gebrauch entstehenden Rauigkeit entspricht.

ANMERKUNG 2 Es wird angenommen, dass den Anforderungen an die Oberflächenrauigkeit in der Praxis mit den gewöhnlichen, bei der Herstellung von Sondierspitzen verwendeten Stahlsorten und bei gewöhnlichen Baugrundverhältnissen (Sand und Ton) entsprochen wird. Die erforderlichen Bemühungen hinsichtlich einer metrologischen Bestätigung können somit in der Praxis begrenzt sein.

4.4 Kegel

Der Kegel besteht aus einem konischen Teil und einer zylindrischen Verlängerung. Der Kegel muss nominal einen Öffnungswinkel von 60° haben. Die Querschnittsfläche des Kegels muss 1 000 mm² betragen, was einem Durchmesser von 35,7 mm entspricht.

In Abhängigkeit von den Untergrundverhältnissen dürfen Kegel mit einem Durchmesser zwischen 25 mm ($A_c = 500 \text{ mm}^2$) und 50 mm ($A_c = 2\,000 \text{ mm}^2$) für spezielle Zwecke benutzt werden, ohne einen Korrekturfaktor anzuwenden. In diesem Fall muss die Geometrie der Drucksondierspitze proportional dem Durchmesser angepasst werden. Die Geometrie der Reibungshülse sollte so angepasst werden, dass vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Die Verwendung einer Drucksondierspitze mit $A_c \neq 1\,000 \text{ mm}^2$ ist anzugeben.

Der Durchmesser des zylindrischen Teiles muss dabei innerhalb der nach Bild 4 geforderten Toleranzen liegen:

$$35,3 \text{ mm} \leq d_c \leq 36,0 \text{ mm}$$

Die Höhe der zylindrischen Verlängerung muss innerhalb der folgenden Toleranzen liegen:

$$7,0 \text{ mm} \leq h_e \leq 10,0 \text{ mm}$$

Die Höhe des kegelförmigen Bereiches muss innerhalb der folgenden Toleranzen liegen:

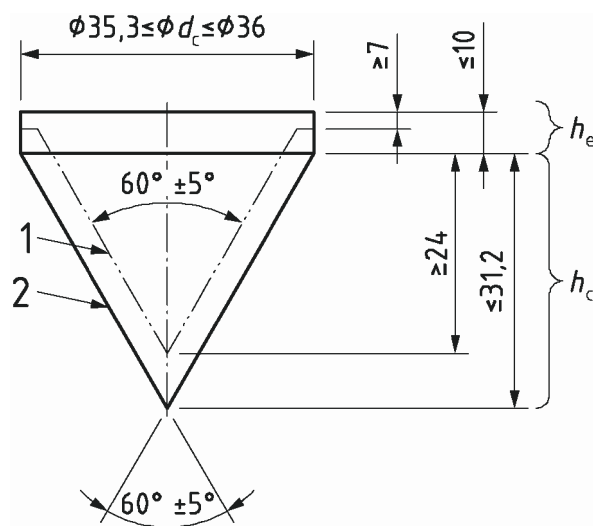
$$24,0 \text{ mm} \leq h_c \leq 31,2 \text{ mm}$$

Wenn ein Filter an Position u_2 eingebaut ist, muss der Durchmesser des Filterelements selbst gleich dem Durchmesser der Drucksondierspitze d_c mit einer Toleranz von $-0,1 \text{ mm}$ bis 0 mm sein (siehe auch 4.5 und 4.6).

Der Kegel muss mit einer Oberflächenrauigkeit R_a von weniger als $5 \text{ }\mu\text{m}$ hergestellt werden.

Der Kegel darf nicht benutzt werden, wenn eine zusätzliche Sichtprüfung ergibt, dass er asymmetrisch abgenutzt oder ungewöhnlich rau ist, selbst wenn er ansonsten die geforderten Toleranzen erfüllt.

Maße in Millimeter



Legende

- 1 minimale Abmessungen des Kegels nach der Abnutzung
- 2 maximale Abmessungen des Kegels

Bild 4 — Anforderungen an die Toleranzen beim Gebrauch von Drucksondierspitzen mit einer Querschnittsfläche von $1\,000 \text{ mm}^2$

4.5 Reibungshülse

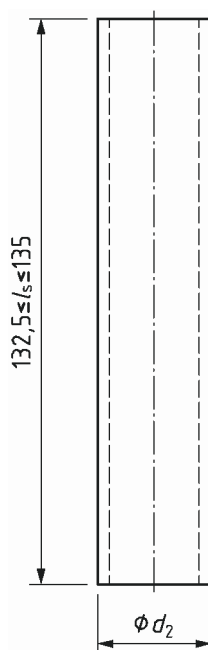
Die Reibungshülse muss unmittelbar oberhalb des Kegels angeordnet sein. Der Abstand infolge Spalten und Bodendichtungen darf 5,0 mm nicht überschreiten.

Die nominelle Oberfläche muss 15 000 mm² betragen. Anforderungen an die Toleranz sind in Bild 5 dargestellt.

Reibungshülsen mit einem äußeren Durchmesser zwischen 25 mm und 50 mm dürfen für spezielle Zwecke ohne Ansatz von Korrekturfaktoren benutzt werden, wenn sie mit Kegeln des entsprechenden Durchmessers benutzt werden. Der Nennwert des Verhältnisses der Länge zum Durchmesser sollte vorzugsweise 3,75 betragen. Verhältniswerte zwischen 3 und 5 sind zulässig.

Der Durchmesser der Reibungshülse d_2 muss dem Durchmesser des Kegels d_c mit einer Toleranz von 0 mm bis +0,25 mm entsprechen.

Maße in Millimeter



Legende

l_s Länge der Reibungshülse

d_2 Durchmesser der Reibungshülse

^a $A_s = 15\,000\text{ mm}^2$

Bild 5 — Geometrie und Toleranzen der Reibungshülse

Die Geometrie und die Toleranzen der Reibungshülse müssen innerhalb der in Bild 5 dargestellten geforderten Toleranzen liegen:

$$d_c \leq d_2 < (d_c + 0,25) \text{ mm}$$

und

$$d_2 < 36,1 \text{ mm}$$

Die Länge des zylindrischen Teils muss innerhalb der folgenden Toleranzen liegen:

$$132,5 \text{ mm} < l_s \leq 135,0 \text{ mm}$$

Die Reibungshülse muss mit einer Oberflächenrauigkeit R_a von $0,4 \mu\text{m} \pm 0,25 \mu\text{m}$, gemessen in Längsrichtung, gefertigt sein.

Die Reibungshülse darf nicht verwendet werden, wenn in einer Sichtprüfung festgestellt wurde, dass die Hülse Kratzer aufweist, asymmetrisch abgenutzt ist oder ungewöhnlich rau ist, selbst wenn sie ansonsten die Anforderungen an die Toleranzen erfüllt.

Die Querschnittsfläche des oberen Endes der Reibungshülse darf nicht kleiner als die Querschnittsfläche des unteren Endes sein.

4.6 Filterelement

4.6.1 Allgemeine Filteranordnung

Eine Anordnung des Filters in oder kurz hinter der zylindrischen Verlängerung des Kegels, siehe Bild 2, wird empfohlen.

ANMERKUNG 1 Neben den Messungen an den empfohlenen Filterpositionen können Messungen an anderen Positionen zusätzlich wertvolle Informationen zum Zustand des Untergrundes liefern.

ANMERKUNG 2 Der gemessene Porenwasserdruck wird durch die Bodenart, den Porenwasserdruck *in situ* und die Lage des Filters an der Oberfläche der Drucksondierspitze beeinflusst. Der Porenwasserdruck setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen - dem ursprünglichen Porenwasserdruck *in situ* und dem zusätzlichen Porenwasserdruck bzw. der Porenwasserdruckdifferenz, welche(r) beim Eindringen der Drucksondierspitze in den Untergrund verursacht wird.

Der Messwert des Spitzenwiderstands oder der Mantelreibung darf nicht durch den Filter beeinflusst werden.

Toleranzen bei den Filterabmessungen sind Toleranzen am Beginn des Versuches.

Das Messsystem für den Porenwasserdruck muss am Beginn des Versuches gesättigt sein.

Der Filter sollte gesättigt bleiben, selbst wenn die Drucksondierspitze eine ungesättigte Schicht durchfährt.

ANMERKUNG 3 Dies ist unter Umständen nicht immer möglich; in solchen Fällen können andere Verfahren wie Vordrücken, Vorbohren oder das Auswechseln der Sättigungsflüssigkeit erforderlich sein.

Poröse Filter sollten eine Porengröße zwischen $2 \mu\text{m}$ und $20 \mu\text{m}$, was einer Durchlässigkeit zwischen 10^{-4} m/s und 10^{-5} m/s entspricht, aufweisen. Filtermaterialien, die verstopfen, sollten vermieden werden.

ANMERKUNG 4 Die folgenden Materialarten wurden mit guten Erfahrungen in weichen, normal konsolidierten Tonen verwendet: gesinterter nichtrostender Stahl, Siliciumcarbid, Keramik, poröses PVC und HDPE und poröser Messingfilter.

Die Verwendung eines Schlitzfilters muss den gleichen Zweck und die allgemeinen Anforderungen wie ein poröser Filter erfüllen.

Die Drucksondierspitze muss so konstruiert sein, dass der Filter leicht zu ersetzen und der Flüssigkeitsraum leicht zu sättigen ist (siehe 5.3).

ANMERKUNG 5 Im Hinblick auf die Auswahl der Sättigungsflüssigkeit, der Sättigung des Porenwasserdruckmesssystems und der Anwendung von Schlitzfiltern, siehe Anhang E.

Die Filter sollten vor jedem Versuch ausgewechselt werden.

4.6.2 Porenwasserdruck u_1

Die Oberfläche des Filters muss in die Form des Kegels eingepasst sein. Der Filter darf um nicht mehr als 0,1 mm hervorstehen bzw. vertieft sein.

Die Abweichung der Oberfläche des Filters von der Oberfläche des Kegels sollte visuell abgeschätzt werden.

Das Filterelement sollte im mittleren Drittel des kegelförmigen Teils angeordnet sein.

4.6.3 Porenwasserdruck u_2

Das Filterelement muss in oder unmittelbar hinter dem zylindrischen Teil des Kegels angeordnet sein. Der Durchmesser des Filters am Beginn des Versuches muss mit dem Durchmesser des zylindrischen Teils des Kegels und der Reibungshülse mit einer Toleranzgrenze von $-0,1$ mm bis 0 mm übereinstimmen.

Der Durchmesser des Filters muss kleiner oder gleich dem Durchmesser des zylindrischen Teils des Kegels und darf nicht größer als der Durchmesser der Reibungshülse sein:

$(d_c - 0,1) \leq d_{\text{fil}} \leq d_c$ Um Auswirkungen des Porenwasserdruckes auf den Spitzenwiderstand zu korrigieren, sollte das Filterelement im Spalt zwischen dem Kegel und der Reibungshülse angeordnet werden. Da dies in der Praxis nicht möglich ist, sollte der Filter im zylindrischen Teil des Kegels so nahe am Spalt wie möglich angeordnet werden.

4.6.4 Porenwasserdruck u_3

Der Durchmesser des Filters muss mit dem Durchmesser der Reibungshülse mit einer Toleranzgrenze von $-0,1$ mm bis 0 mm übereinstimmen, d. h. der Durchmesser des Filters muss kleiner oder gleich dem Durchmesser der Reibungshülse sein:

$$(d_2 - 0,1) \leq d_{\text{fil}} \leq d_2$$

Das Filterelement sollte so nahe wie möglich am Spalt zwischen der Reibungshülse und dem Schaft der Drucksondierspitze angeordnet werden.

4.7 Spalte und Bodendichtungen

Spalte zwischen verschiedenen Teilen der Drucksondierspitze dürfen eine Höhe von 5 mm nicht überschreiten. Eine Bodendichtung muss den Spalt schützen, um zu verhindern, dass Bodenteilchen die Messung beeinflussen.

Die Bodendichtung muss sich relativ zur Druckdose und zu den anderen Bestandteilen der Drucksondierspitze leicht verformen, um die Übertragung wesentlicher Kräfte über den Spalt zu verhindern.

4.8 Sondierstangen

Die Sondierstangen müssen den gleichen Durchmesser wie der Kegel über mindestens 400 mm, gemessen von der Kegelbasis bei Kegeln mit einer Grundfläche von $1\,000\text{ mm}^2$, aufweisen. Bei anderen Kegelgrößen muss dieser Abstand linear im Verhältnis zum Durchmesser angepasst werden.

Vor jedem Gebrauch muss die Gradlinigkeit visuell überprüft werden. Die Gradlinigkeit der Sondierstangen muss wie in B.1.1 festgelegt in den in Tabelle A.1 angegebenen Abständen bestimmt werden.

Die Reibung entlang der Sondierstangen kann durch eine örtliche Vergrößerung des Stangendurchmessers (Reibungsminderer) vermindert werden. Eine Verminderung der Reibung kann auch durch Schmierung der Sondierstangen, zum Beispiel durch Injektion von Schlamm während der Prüfung, erreicht werden. Bei Kegeln mit einer Grundfläche von $1\,000\text{ mm}^2$ sollte die Injektionsstelle mindestens 400 mm oberhalb der Kegelbasis liegen. Bei anderen Kegelgrößen ist dieser Abstand linear im Verhältnis zum Durchmesser des Kegels anzupassen.

Oberhalb der Geländeoberfläche sollten die Sondierstangen durch Rollen, ein Führungsrohr oder ähnliche Vorrichtungen geführt werden, um das Risiko des Ausknickens zu vermindern. Die Sondierstangen dürfen auch im Wasser oder in weichen Schichten mittels eines Führungsrohres gehalten werden, um ein Ausknicken zu vermeiden.

Die Sondierstangen müssen unter Berücksichtigung des gewählten Datenübertragungssystems gewählt werden.

ANMERKUNG Die Sondierstangen können auch zum Unterstützen und/oder Schützen von Teilen des Messsystems genutzt werden. Bei akustischer Übertragung der Sondierergebnisse werden Sondierstangen auch zur Weiterleitung der Daten genutzt.

4.9 Messsystem

4.9.1 Fehlergrenze

Die Auflösung des Messsystems muss besser sein als ein Drittel der maximal zulässigen Unsicherheit, die für die in Tabelle 2 angegebene Drucksondierspitzenklasse gilt.

Unsicherheiten im Messsystem sind in 5.1.2 aufgeführt sowie die erforderlichen Berechnungen in Anhang B.2 beschrieben.

4.9.2 Sensoren für den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung

Der Lastsensor muss mögliche Exzentrizitäten der axialen Kräfte kompensieren. Der Sensor zur Aufzeichnung der Mantelreibung muss so konstruiert sein, dass er die Reibung entlang der Hülse misst und nicht den Erddruck, der auf diese wirkt.

Vorverdichtungsgeräte können zum Überwinden des von Dichtungen und Dichtringen erzeugten Innenwiderstands eingesetzt werden, um die Betriebsleistung der Sensoren zu erhöhen.

ANMERKUNG 1 Üblicherweise werden spannungsmessende Lastaufnehmer zur Aufzeichnung des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung benutzt.

4.9.3 Sensor für den Porenwasserdruck

Während der Belastung sollte der Sensor keine bedeutenden Verformungen aufweisen. Der Sensor steht über eine mit Flüssigkeit gefüllte Kammer mit dem an der Oberfläche der Drucksondierspitze angeordneten porösen Filter in Verbindung. Das Messsystem sollte so starr wie möglich sein (siehe 5.3), um eine gute Reaktion sicherzustellen.

ANMERKUNG 1 Der Porenwasserdrucksensor ist üblicherweise ein membranartiger Druckaufnehmer.

ANMERKUNG 2 Dieses System misst den Porenwasserdruck im umgebenden Boden während des Sondiervorganges.

4.9.4 Sensor für die Neigung

Das Inklinometer muss in der Regel einen Messbereich von mindestens $+15^\circ$ relativ zur vertikalen Achse haben.

Andere Messbereiche dürfen angewandt werden, wobei diese die maximal erreichbare Sondiertiefe beeinflussen können (siehe 4.9.6).

Ein Sensor für die Neigung ist im Fall eines Sondierzieles von weniger als 5 m und bei Prüfkategorie D nicht erforderlich.

4.9.5 Sensor für die Temperatur

Der Temperatursensor muss in die Sondierspitze integriert sein und einen Temperaturbereich von -10° bis $+50^\circ$ aufweisen.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderung gilt nur im Fall einer Drucksondierspitze der Klasse 1+.

4.9.6 Messung der Sondierlänge

Das Messsystem muss die Sondierlänge während des Betriebs messen.

Wenn sachdienlich, muss das Messsystem für die Tiefe auch ein Verfahren zur Korrektur der Messungen beinhalten, wenn aufwärts gerichtete Bewegungen der Sondierstangen relativ zum Tiefensensor bedingt durch ein Nachlassen der Kräfte auf die Sondierstangen eintreten.

4.9.7 Rohdaten

Die Prüfergebnisse müssen als Rohdaten aufgezeichnet werden.

Rohdaten sind die Auslesung des Aufzeichnungsgeräts nach Konvertierung in Einheiten für Kraft q_c und f_s und Druck u_2 , ohne Einsatz von Filterung oder sonstigen Korrekturen, die manuell, elektronisch oder durch Mikroprozessoren vorgenommen wurden.

4.10 Eindrückvorrichtung

Das Gerät muss belastet oder verankert werden, um während des Sondiervorgangs die Bewegungen der Eindrückvorrichtung relativ zur Geländeoberfläche zu minimieren.

Die erforderliche Reaktion (Gegengewicht) der Eindrückvorrichtung kann durch Ballast und/oder Erdanker erreicht werden.

Hämmern auf die Drucksondierspitze/-stangen oder Drehen der Drucksondierspitze ist während des Versuchs nicht gestattet.

Die Eindrückvorrichtung muss einen Vorschub von mindestens 1 m haben. Andere Vorschublängen dürfen bei speziellen Verhältnissen verwendet werden.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Auswahl des Gerätes, Vorgehensweise und Evaluierung der Ergebnisse

Das einzusetzende Gerät und die Durchführung sollten unter Berücksichtigung des erwarteten Zustands des Untergrundes und der Projektanforderungen ausgewählt werden.

Drucksondierungen werden klassifiziert unter Berücksichtigung der Messunsicherheitseigenschaften der Drucksondierspitze sowie der Diagnosekontrollen der Sensoren bei den Feldversuchen (siehe 5.2.2 und 5.10):

1) Klasse der Drucksondierspitze

Die Klasse der Drucksondierspitze muss auf der Grundlage der dokumentierten Ergebnisse der Kalibrierung und der Analysen der Messunsicherheit, wie in 5.1.1 und Anhang B.2 beschrieben, bestimmt werden.

2) Prüfkategorie

Aufgezeichnete Beobachtungen und Messungen bei der Prüfungsvorbereitung und -durchführung müssen zusammen mit der Klasse der Drucksondierspitze zur Evaluierung der Prüfkategorie der durchgeführten CPT-/CPTU-Sondierungen verwendet werden. Die Beschreibung der erforderlichen Dokumentation ist in 5.10 aufgeführt.

5.10 und der informative Anhang A bieten einen Leitfaden für die Auswahl der Art der Drucksondierspitze und einen Anhaltspunkt für die Prüfkategorie, die auf der Grundlage des geforderten Vertrauensniveaus erreicht werden könnte.

5.1.1 Erforderliche Kalibrierungen für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze

Die Kalibrierung der Sensoren der Drucksondierspitze muss in einem Kalibrierlaboratorium durchgeführt werden, das den Anforderungen nach ISO/IEC 17025 entspricht. Das Kalibrierlaboratorium sollte für die Kalibrierungstätigkeiten akkreditiert sein.

Der normative Anhang B.2 bietet spezielle Anforderungen an die Kalibrierung und Verifizierung von Drucksondierspitzen.

Die Kalibrierung muss mindestens alle zwölf Monate erfolgen oder dann, wenn Sensoren überlastet sind oder Anzeichen von Fehlfunktionen aufweisen.

Der Prüfbericht der Kalibrierung muss enthalten:

- Beschreibung und Identifizierung des CPTU-Prüfkopfs und des Messsystems;
- Identifizierung des Kalibrierlaboratoriums;
- Beschreibung der Kalibrierlaboratoriumsumgebung bei der Kalibrierung, Durchschnittstemperatur und Streubereich;
- Identifizierung und Messunsicherheitseigenschaften der verwendeten Bezugsmessgeräte;
- Datum der Kalibrierung, Kalibrierbereiche und Kalibrierungsergebnisse einschließlich der Interpolationsgleichung nach Anhang B.2;
- Ergebnisse vor und nach Justierung oder Reparatur;

- die Kalibrierungsergebnisse der Flächenverhältnisse des Kegels (a) und der Reibungshülse (b) nach Anhang B.2. Diese Werte sind für jede Drucksondierspitze einzigartig und müssen im Feldbericht dokumentiert werden;
- Analyse der Messunsicherheit der Kalibrierung für jede der Sensoren der Drucksondierspitze. Die Berechnungen der Messunsicherheit für jeden der aufgeführten Faktoren müssen dem normativen Anhang B.2 entsprechen;
- Erklärung der Festlegung der Fähigkeit des Messsystems zur Erfüllung einer bestimmten Klasse der Drucksondierspitze;
- Übereinstimmungserklärung mit dieser Norm; und
- Identifizierungserklärung über die metrologische Rückführbarkeit der Messungen.

5.1.2 Konformitätsbewertung der Klasse der Drucksondierspitze

Kalibrierzertifikat und Kalibrierbericht liefern wertvolle Informationen über die Eigenschaften der Drucksondierspitze, einschließlich der Messbereiche und Messunsicherheiten. Drucksondierspitzen müssen nach dem in Tabelle 2 dargestellten Schema klassifiziert werden. Der Kegel muss Sensoren für den Spitzenwiderstand, die Mantelreibung und den Porenwasserdruck haben, um die Klasse 1+, 1 und 2 zu erfüllen. Zur Erfüllung der Klasse 1+ muss ein Temperatursensor im Kegelgehäuse und in direkter Nähe zu den Lastsensoren angeordnet sein und wird für Klasse 1 empfohlen. Drucksondierspitzen der Klasse 3 müssen über Sensoren für den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung verfügen. Die Drucksondierspitze muss alle Anforderungen für jeden der Sensoren für eine jeweils zu erreichende Klasse erfüllen.

Jede Drucksondierspitze muss über eine Übereinstimmungserklärung für mindestens eine der Klassen der Drucksondierspitzen wie in Tabelle 2 aufgeführt haben. Die Übereinstimmungserklärung muss in einem Prüfbericht der Kalibrierung und einem Kalibrierzertifikat enthalten sein.

Die Übereinstimmung mit einer Klasse der Drucksondierspitze muss nach jeder Kalibrierung der Drucksondierspitze bestimmt werden. Die erweiterte Messunsicherheit für jede Messgröße der Drucksondierspitze muss die in Tabelle 1 definierten Unsicherheitsfaktoren enthalten. Die erweiterte Messunsicherheit für die Übereinstimmungserklärung muss nach den in Anhang B.2 angegebenen Gleichungen berechnet werden.

Tabelle 1 — Unsicherheitsfaktoren für jede der Messgrößen

Unsicherheitsfaktoren	Messgröße		
	Spitzenwiderstand	Mantelreibung	Porenwasserdruck
Maße	√	√	√
Referenzwert	√	√	√
Vergleichpräzision	√	√	
Wiederholpräzision	√	√	√
Auflösung	√	√	√
Nullabweichung	√	√	√
Interpolation	√	√	√
Reversibilität	√	√	√
Erkennbare Lastübertragung	√	√	

ANMERKUNG Es ist nicht notwendig, die Messunsicherheit der Referenzlast als einen Faktor zur kombinierten Messunsicherheit einzuschließen.

Die Übereinstimmung mit einer Klasse der Drucksondierspitze muss gelten, wenn sämtliche der folgenden Anforderungen erfüllt sind:

- Jeder Wert der erweiterten Messunsicherheit erfüllt die Anforderungen nach Tabelle 2 für jede der Messgrößen für eine gegebene Klasse der Drucksondierspitze;
- Die Auflösung und Stabilität der Auslesung sind besser als ein Drittel der zulässigen maximalen kombinierten Standardmessunsicherheitswerte in Tabelle 2 für eine gegebene Klasse der Drucksondierspitze;
- Die Werte der Umgebungstemperaturstabilität, der transienten Temperaturstabilität und des Biegefehlers nach Anhang B entsprechen den Anforderungen in Tabelle 2 für eine gegebene Klasse der Drucksondierspitze; und
- Jeder Wert der kombinierten Standardmessunsicherheit für die Neigung der Drucksondierspitze ist besser als 1 Grad für jedwede Klasse der Drucksondierspitze.

Tabelle 2 — Anforderungen für die Übereinstimmung mit einer Klasse der Drucksondierspitze

Klasse der Drucksondierspitze	Messgröße	Zulässige maximale Messunsicherheit ^a	Umgebungstemperaturstabilität ^b	Transiente Temperaturstabilität ^c	Biegefehler ^d
1+	Spitzenwiderstand	15 kPa oder 0,5 %	0,5 kPa/°C	2 kPa/°C	0,3 kPa/N
	Mantelreibung	2 kPa oder 1 %	0,1 kPa/°C	0,5 kPa/°C	0,1 kPa/N
	Porenwasserdruck	3 kPa oder 0,5 %	0,1 kPa/°C	0,5 kPa/°C	0,05 kPa/N
	Temperatur	0,5 °C	—	—	—
1	Spitzenwiderstand	35 kPa oder 1 %	2 kPa/°C	10 kPa/°C	0,3 kPa/N
	Mantelreibung	5 kPa oder 1 %	0,1 kPa/°C	0,5 kPa/°C	0,1 kPa/N
	Porenwasserdruck	10 kPa oder 0,5 %	0,1 kPa/°C	0,5 kPa/°C	0,05 kPa/N
2	Spitzenwiderstand	100 kPa oder 2 %	10 kPa/°C	50 kPa/°C	1 kPa/N
	Mantelreibung	15 kPa oder 2 %	0,5 kPa/°C	2,5 kPa/°C	0,5 kPa/N
	Porenwasserdruck	25 kPa oder 1 %	1 kPa/°C	2,5 kPa/°C	0,1 kPa/N
3	Spitzenwiderstand	200 kPa oder 5 %	10 kPa/°C	100 kPa/°C	2 kPa/N
	Mantelreibung	25 kPa oder 10 %	1 kPa/°C	5 kPa/°C	1 kPa/N
	Porenwasserdruck ^e	50 kPa oder 5 %	1 kPa/°C	5 kPa/°C	0,2 kPa/N
^a Die zulässige maximale Mindestunsicherheit der gemessenen Parameter ist der größere der beiden angegebenen Werte. Die relative Unsicherheit bezieht sich nicht auf den Messbereich, sondern auf den Messwert. ^b Die Werte der Umgebungstemperaturstabilität stellen die maximal zulässigen Werte für jede Klasse dar. ^c Die Werte der transienten Temperaturstabilität stellen die maximal zulässigen Werte für jede Klasse dar. ^d Die Werte des Biegefehlers stellen die maximal zulässigen Werte für jede Klasse dar. ^e Der Porenwasserdruck gilt nur für die CPTU-Sondierung.					

5.2 Lage und Höhe der Eindrückvorrichtung

Der Abstand zwischen der Lage des Versuches und der Lage von vorausgegangenen Untersuchungen sollte ausreichend sein, um Wechselwirkungen zu verhindern.

Zwischen Drucksondierungen ist üblicherweise ein waagerechter Abstand von 2 m ausreichend. Der Abstand zu einem vorher hergestellten Bohrloch sollte mindestens dem 20fachen Bohrlochdurchmesser entsprechen. Einige Bohrverfahren, wie Bohrungen im Luft- oder Wasserhebeverfahren, können größere Abstände erfordern. Nahegelegene Aufgrabungen sollten vermieden werden.

Die Eindrückvorrichtung muss die Sondierstangen so eindrücken, dass die Achse der eindrückenden Kraft so nahe wie möglich an der Vertikalen liegt. Die Abweichung von der vorgesehenen Achse sollte weniger als 2° auf der Geländeoberfläche betragen. Die Achse der Drucksondierspitze muss beim Beginn des Sondiervorgangs mit der Belastungsachse übereinstimmen.

5.3 Vorbereitung der Drucksondierung

Wird die Drucksondierspitze als Teil einer routinemäßigen betrieblichen Wartung und Instandhaltung auseinandergebaut, sollte sie nach den Wartungs- und Bedienungsanleitungen des Herstellers der Drucksondierspitze wieder zusammengebaut werden.

Bei Drucksondierspitzen mit Messung des Porenwasserdruckes sind das Filterelement und andere Teile des Porenwasserdruckmesssystems vor dem Feldeinsatz mit einer nicht kompressiblen, entgasten Flüssigkeit zu sättigen. Während des Versuches sollten geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die Sättigung zu erhalten.

Bei Versuchen in gesättigten Böden darf entlüftetes destilliertes Wasser, Glyzerin oder Silikonöl verwendet werden. Bei der Ausführung von Drucksondierungen in ungesättigten Böden, überkonsolidierten Tonen, dilativen Böden (z. B. dichtgelagerten Sanden oder Silt) oder über dem Grundwasserspiegel sollte der Filter mit Glyzerin, Silikonöl o. ä. gesättigt oder die Verwendung von Schlitzfiltern erwogen werden.

Vor der Sondierung bzw. während Sondierungen in Vorbohrungen kann die Sättigung der Drucksondierspitze durch Verwendung einer dünnen Gummimembran, die um den Filter montiert wird, aufrechterhalten werden. Während der Sättigung und der Montage der Gummimembran werden auf die Drucksondierspitze kleine Drücke abgegeben, sodass der Sensor von Null abweichende Werte anzeigen kann.

Die Abnutzung des Kegels und der Reibungshülse muss vor Beginn der Prüfung kontrolliert werden. Werden Drucksondierspitzen der Klasse 1+ verwendet, muss der Durchmesser des Kegels und der Hülse vor Beginn der Prüfung gemessen und aufgezeichnet werden. Die Ergebnisse müssen dazu benutzt werden, die Werte für den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung in Druckeinheiten anzugeben. Anhang B enthält weitere Informationen zur geforderten Bestimmung der Maße.

ANMERKUNG 1 Bei Verwendung eines Schlitzfilters siehe Anhang E.

ANMERKUNG 2 Beim Sondieren von grobem Material dürfen in Teilen des Profils Vorbohrungen durchgeführt werden, wenn die Sondierung in dichtgelagerten, groben oder steinreichen Schichten endet. In groben Deckschichten dürfen Vorbohrungen manchmal in Kombination mit einer Verrohrung verwendet werden, um ein Zufallen des Bohrloches zu verhindern. In weichen oder lockergelagerten Böden können Vorbohrungen verwendet werden, um die Kruste zu durchörtern und die Grundwasseroberfläche zu erreichen. Vorbohrungen können durch Rammen einer Stange mit einem Durchmesser von 45 mm bis 50 mm durch die dichtgelagerten Schichten erfolgen, um ein offenes Loch zu erhalten und den Sondierwiderstand zu vermindern.

Die Referenzmessungen des Spitzenwiderstandes, der Mantelreibung und, wenn erforderlich, des Porenwasserdruckes und der Neigung der Drucksondierspitze bezogen auf die vertikale Achse sind vor und nach der Prüfung aufzuzeichnen. Referenzmessungen müssen mit der in vertikaler Lage befindlichen Drucksondierspitze, ohne Last und unter ähnlichen Temperaturbedingungen wie denen möglichst nahe der Erdoberfläche vorgenommen werden. Die Auslesung des Spitzenwiderstandes, der Mantelreibung und, wenn erforderlich, des Porenwasserdruckes der Drucksondierspitze sind für die Dauer von einer Minute bei einer Frequenz von mindestens 1 Hz vor und nach der Prüfung aufzuzeichnen. Referenzmessungen für jeden Sensor müssen als Mittelwert der aufgezeichneten Werte berechnet werden. Die Stabilität der Auslesung für jeden Sensor muss durch Subtraktion der über eine Minute aufgezeichneten Höchst- und Mindestwerte berechnet und dokumentiert werden.

Zulässige maximale Messunsicherheiten sind in Tabelle 2 aufgeführt. Anhang B enthält Verfahren für die Wartung, Überprüfung und Kalibrierung.

ANMERKUNG 3 Wenn die Drucksondierspitze in den Untergrund oder Wasser abgesenkt wird, werden kleine Temperaturgefälle vorkommen, wenn die Lufttemperatur sich von der Temperatur des Untergrundes unterscheidet. Dies wird die Sensoren beeinflussen. Es ist daher erforderlich, die Drucksondierspitze ins Gleichgewicht kommen zu lassen, sodass das Temperaturgefälle vor der Referenzmessung und Sondierung auf Null vermindert werden kann. Normalerweise tritt das größte Temperaturgefälle nach 2 min bis 3 min ein. Drucksondierspitzen sind üblicherweise nach 10 min bis 15 min temperaturstabilisiert.

5.4 Eindringen der Drucksondierspitze

Bei einer Drucksondierung muss die Drucksondierspitze mit einer konstanten Sondiergeschwindigkeit von 20 ± 5 mm/s und 20 ± 2 in den Untergrund eingedrückt werden, wenn Drucksondierspitzen der Klasse 1+ verwendet werden. Die Geschwindigkeit ist durch Aufzeichnen der Zeit und der Sondiertiefe zu kontrollieren.

In dichtgelagerten Sanden und Kiesen sind zur Vermeidung von Schäden an der Drucksondierspitze und an den Sondierstangen oder um größere Tiefen zu erreichen langsamere Eindringgeschwindigkeiten als üblich zulässig. Diese Abweichung der Eindringgeschwindigkeit muss aufgezeichnet und angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Der Sondiervorgang wird als kontinuierlich angesehen, selbst wenn die Sondierung regelmäßig für einen neuen Hub oder zum Aufsetzen einer neuen Sondierstange angehalten wird. Einige Eindrückvorrichtungen können tatsächliche kontinuierliche Sondierungen ohne Halte ausführen. Dies kann insbesondere in geschichteten Schluff- und Tonablagerungen von Vorteil sein. Halte liefern ebenfalls wertvolle Informationen über das Verhalten und die Reaktionen des Porenwasserdruckes nach dem Fortführen der Sondierung und helfen bei der Einschätzung, wie gut eine Sättigung erreicht wurde.

ANMERKUNG 2 Der Sondiervorgang wird als diskontinuierlich betrachtet, wenn größere Halte eintreten, wie bei Durchführung eines Dissipationsversuchs (siehe 5.8) oder auf Grund von unvorhersehbaren Fehlfunktionen des Gerätes.

ANMERKUNG 3 Bei der CPTU-Sondierung für Korrelationen mit Laborprüfungen in weichem Boden (Spitzenwiderstand < 3 MPa) sollte die Abweichung der Eindringgeschwindigkeit auf (20 ± 2) mm/s begrenzt werden.

5.5 Verwendung von Reibungsminderungstechniken

Die Verwendung von Reibungsminderungstechniken durch Vergrößerung des Durchmessers oder Injektion von Wasser oder Bohrflüssigkeiten ist zulässig. Vor dem Einsatz einer Reibungsminderungstechnik müssen die Drucksondierspitze und ggf. die Sondierstangen über mindestens 400 mm, gemessen von der Kegelbasis, den gleichen Durchmesser haben.

ANMERKUNG Zusätzliche Informationen sind in Anhang F angegeben.

5.6 Häufigkeit der Parameteraufzeichnung

Die Häufigkeit der Parameteraufzeichnung muss mindestens einmal alle 20 mm betragen, mit Ausnahme bei Prüfkategorie A, bei der für die Porenwasserdrücke alle 10 mm Messungen erforderlich sind. Die Aufzeichnungen müssen die Uhrzeit enthalten.

Das Aufzeichnungsintervall für die verschiedenen zu messenden Werte kann auch in Abhängigkeit von der geforderten Detaillierung im Profil, z. B. die Ermittlung dünner Schichten, gewählt werden. Üblicherweise wird das gleiche Ausleseintervall für die Aufzeichnung von Spitzenwiderstand, Mantelreibung und Porenwasserdruck verwendet.

Erfolgen die Messungen öfter als in den geforderten Auswertungsintervallen, kann der errechnete Mittelwert angegeben werden. Es sind jedoch auch andere Verfahren anwendbar. Das verwendete Verfahren ist anzugeben.

5.7 Aufzeichnung der Sondierlänge

Die Auflösung der Messung der Sondierlänge muss mindestens 10 mm betragen.

Bei Versuchen für die Prüfkategorie A nach Tabelle 3 muss die Sondierlänge mindestens alle 5 m geprüft und aufgezeichnet werden. Bei anderen Kategorien muss die Sondierlänge am Ende des Versuches geprüft und aufgezeichnet werden. Die Sondierlänge ist ohne Verwendung des Tiefensensors zu prüfen.

ANMERKUNG 1 Die Parameter, die mit einer Drucksondierspitze mit einer großen Neigung gemessen werden, können von den Werten abweichen, die mit einer vertikalen Drucksondierspitze erreicht worden wären.

Die Sondiertiefe sollte aus der Sondierlänge und den Neigungsmessungen berechnet werden, wie in Anhang C angegeben.

5.8 Dissipationsversuch (DPT, en: dissipation test)

Sofern die Entwässerungs- und/oder Konsolidierungseigenschaften zu bewerten sind, dürfen Dissipationsversuche an vorbestimmten Tiefen im Boden durchgeführt werden. In Dissipationsversuchen wird die Abnahme des Porenwasserdrucks durch Aufzeichnung der Porenwasserdrücke über die Zeit bestimmt.

ANMERKUNG 1 Ein Dissipationsversuch darf durchgeführt werden, um die geohydraulischen in-situ-Eigenschaften abzuschätzen.

ANMERKUNG 2 Für feinkörnige Böden mit niedriger hydraulischer Leitfähigkeit darf die Aufzeichnung des Porenwasserdrucks zur Beurteilung des Konsolidierungsbeiwertes verwendet werden.

Porenwasserdruck und Spitzenwiderstand sind über die Zeit zu messen. Besonders erforderlich ist es, zu Beginn des Dissipationsversuchs Auslesungen häufiger durchzuführen.

Dissipationsversuche müssen unverzüglich durchgeführt werden, nachdem die Sondierspitze die angegebene Tiefe erreicht hat. Die Sondierspitze muss während der Durchführung des Versuchs in der gleichen Tiefe bleiben, ohne sich abwärts oder aufwärts zu bewegen.

Der Dissipationsversuch darf mit gelösten oder ungelösten Sondierstangen erfolgen. Die auf die Sondierstangen einwirkende Gesamtkraft, der Sondierspitzendruck und die Mantelreibung müssen beim Versuch in den gleichen zeitlichen Abständen wie der Porenwasserdruck aufgezeichnet werden. Das Ausführungsverfahren (z. B. gelöst/ungelöst) muss aufgezeichnet und angegeben werden.

ANMERKUNG 3 Sofern das Gewicht der Ausrüstung höher ist als der Gesamtwiderstand des Bodens, sollte der Dissipationsversuch mit ungelösten Sondierstangen durchgeführt werden, um ein Eindringen des Geräts beim Versuch zu verhindern.

ANMERKUNG 4 Die erforderliche Tiefe und die Minstdauer eines Dissipationsversuches hängen von den Bodenverhältnissen und dem Zweck der Messungen ab. Im Allgemeinen wird auch eine Empfehlung für die maximale Dauer zur Vermeidung unpassend langer Unterbrechungen gegeben.

Die Aufzeichnungshäufigkeit sollte mindestens 1 Hz während der ersten Minute am Anfang des Dissipationsversuches betragen, darf aber für jeden späteren Aufzeichnungs(zeit)-Zyklus halbiert werden.

Die Dauer eines Dissipationsversuches sollte üblicherweise mindestens mit der Zeit t_{50} übereinstimmen, die für eine 50 %ige Dissipation des Porenwasserdruckes ($u_t \leq u_0 + 0,5 \times \Delta u_i$) benötigt wird, da t_{50} die Zeit ist, die in den meisten Auswertverfahren benutzt wird.

Wenn u_0 nicht bekannt ist, sollte der Wert vorsichtig geschätzt werden.

ANMERKUNG 5 Schwankungen des Spitzenwiderstandes sind in der Praxis unvermeidbar und hängen von Faktoren wie Gerätetyp und Bodenverhältnissen ab.

5.9 Versuchsabschluss

Der Sondiervorgang mit Drucksondierspitze und Sondiergestänge muss beendet werden, wenn einer der folgenden Fälle eintritt:

- Die gewünschte Sondierlänge oder Sondiertiefe wurde erreicht.
- Die Neigung der Drucksondierspitze relativ zur Vertikalen überschreitet den Messbereich oder 15°.
- Die vereinbarte maximale Schubkraft oder die maximale Kapazität der Drucksondierspitze bzw. des Messsystems wurde erreicht.
- Mögliche Beschädigungen der Ausrüstung können ebenfalls ein gültiger Grund sein, den Versuch zu beenden.
- Abrupte Neigungsänderungen über eine kurze Sondierlänge können ebenfalls als Grund angesehen werden, den Versuch zu beenden, um Beschädigungen am Gerät zu vermeiden.

Der Porenwasserdruckbeobachtungsversuch am Ende einer CPTU-Sondierung darf durchgeführt werden, wenn die in dieser Tiefe angetroffenen Böden im Wesentlichen grobkörnig sind. Im Porenwasserdruckbeobachtungsversuch wird der Porenwasserdruck durch die Beobachtung oder Aufzeichnung der Porenwasserdrücke über die Zeit bestimmt. Für grobkörnige Böden mit hoher Porosität wird der Porenwasserdruckbeobachtungsversuch zur Beurteilung des Porenwasserdrucks in der Messungstiefe verwendet. Die Dauer des Porenwasserdruckbeobachtungsversuchs sollte mehr als 1 Minute betragen. Der Porenwasserdruck am Ende der Beobachtung muss zusammen mit dem Beobachtungszeitraum, der Versuchstiefe und der Klasse der Drucksondierspitze angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Es wird empfohlen, einen Porenwasserdruckbeobachtungsversuch als momentane Ergänzung eines offenen oder geschlossenen Standrohrs zu verwenden.

Die Referenzablesungen der gemessenen Parameter und die Stabilität der Auslesung sind nach dem Ziehen der Drucksondierspitze aus dem Boden, und wenn notwendig nach Reinigung der Sondierspitze, aufzuzeichnen. Referenzablesungen sollten mit unbelasteter Drucksondierspitze unter ähnlichen Temperaturbedingungen wie denen möglichst nahe der Erdoberfläche vorgenommen werden. Die Auslesung des Spitzenwiderstandes, der Mantelreibung und, wenn erforderlich, des Porenwasserdruckes der Drucksondierspitze sind für die Dauer von einer Minute bei einer Frequenz von mindestens 1 Hz vor und

nach der Prüfung aufzuzeichnen. Referenzmessungen für jeden Sensor müssen als Mittelwert der aufgezeichneten Werte berechnet werden. Die Stabilität der Auslesung für jeden Sensor muss durch Subtraktion der über eine Minute aufgezeichneten Höchst- und Mindestwerte berechnet und dokumentiert werden.

Die beobachteten Unterschiede bei den Referenzmessungen vor und nach Versuchsabschluss müssen zur Bestimmung der in Tabelle 3 aufgeführten Prüfkategorie verwendet werden.

Nach Beendigung des Versuches ist die Drucksondierspitze zu überprüfen, und übermäßiger Verschleiß oder Beschädigungen, sofern vorhanden, sind festzuhalten.

ANMERKUNG 2 Die Nullabweichung, die aus den Referenzmessungen vor dem Versuch und der nach der Reinigung bestimmt wird, ist ein Maß für die einwandfreie Funktion der Ausrüstung und wird verwendet, um abzuschätzen, ob die Anforderungen der Tabelle 3 erfüllt werden können. Die Referenzmessungen an der ungereinigten Sondierspitze sind ebenfalls wichtig für die Auswertung der Versuchsergebnisse.

Wenn es möglich ist, können die gemessenen Parameter mit der Nullabweichung korrigiert werden.

5.10 Evaluierung von CPT-/CPTU-Daten und Prüfkategorie

Die Klasse der Drucksondierspitze, beobachtete Unterschiede in den Referenzmessungen und der größere, vor und nach der Prüfung erhaltene Wert der Stabilität der Auslesung muss zur Bestimmung der Prüfkategorie nach Tabelle 3 verwendet werden. Die Prüfungen müssen alle Anforderungen für jeden Sensor für eine jeweils zu erreichende Prüfkategorie erfüllen.

Tabelle 3 — CPT-/CPTU-Prüfkategorien

Prüfkategorie	Klasse der Drucksondierspitze	Überprüfungen der Referenzmessung		
		Parameter	Maximal zulässige Differenz zwischen den Referenzwerten vor und nach der Prüfung	Maximale Abweichung der Stabilität der Auslesung
A	1+	Spitzenwiderstand	15 kPa	1 kPa
		Mantelreibung	2 kPa	0,5 kPa
		Porenwasserdruck	3 kPa	0,5 kPa
B	1+, 1	Spitzenwiderstand	35 kPa	5 kPa
		Mantelreibung	5 kPa	1,5 kPa
		Porenwasserdruck	10 kPa	3 kPa
C	1+, 1, 2	Spitzenwiderstand	100 kPa	11 kPa
		Mantelreibung	15 kPa	3 kPa
		Porenwasserdruck	25 kPa	8 kPa
D	1+, 1, 2, 3	Spitzenwiderstand	200 kPa	33 kPa
		Mantelreibung	25 kPa	5 kPa
		Porenwasserdruck	50 kPa	16 kPa

ANMERKUNG 1 Temperaturänderungen verursachen erhebliche Sensorabweichungen, daher ist es erforderlich, sicherzustellen, dass eine ähnliche Temperatur der Sondierspitze bei der Durchführung der Referenzmessungen vor und nach der Prüfung vorliegt.

ANMERKUNG 2 Beim Rückzug der Sondierspitze kann Boden an der Drucksondierspitze anheften oder in den Spalten der Drucksondierspitze eingeschlossen werden. Dies kann Einfluss auf die abgelesenen Referenzmessungen nach der Prüfung haben. Die Sondierspitze sollte nach Abschluss der Prüfung und vor dem Ablesen der Referenzmessungen gewissenhaft gereinigt oder abgespült, aber nicht bei vorgespannten Sensoren der Sondierspitze auseinandergebaut und vor Durchführung von Referenzmessungen abgelesen werden.

ANMERKUNG 3 Es ist ein internes Inklinometer zur Bestimmung der Neigung der Drucksondierspitze vorhanden, um die Anforderungen der Prüfkategorien A, B und C zu erfüllen.

5.11 Geräteüberprüfung und Kalibrierung

Die Ausrüstung insgesamt muss regelmäßig gewartet, überprüft und kalibriert werden, wie in Anhang B festgelegt. Das Kalibrierintervall muss so sein, dass die für die jeweilige Klasse der Drucksondierspitze geforderte Genauigkeit verifiziert werden kann.

5.12 Sicherheitsanforderungen

Die nationalen Sicherheitsanforderungen sind einzuhalten, z. B. im Hinblick auf

- persönliche Schutzausrüstungen;
- Sauberkeit der Luft bei Arbeiten unter räumlich begrenzten Bedingungen;
- Sicherheit der Ausrüstung.

6 Versuchsergebnisse

6.1 Gemessene Parameter

Die folgenden Parameter sind zu bestimmen:

l Sondierlänge;

q_c gemessener Spitzenwiderstand; q_c muss in Druckeinheiten angegeben werden, die aus dem Verhältnis der gemessenen Widerstandskraft und der Querschnittsfläche der Sondierspitze bestimmt werden. Die Querschnittsfläche der Sondierspitze muss vor Versuchsbeginn gemessen werden, wenn Drucksondierspitzen der Klasse 1+ verwendet werden.

f_s gemessene Mantelreibung; f_s muss in Druckeinheiten angegeben werden, die aus dem Verhältnis der gemessenen Widerstandskraft und der Oberfläche der Reibungshülse bestimmt werden. Die Oberfläche der Reibungshülse muss vor Versuchsbeginn gemessen werden, wenn Drucksondierspitzen der Klasse 1+ verwendet werden.

u Porenwasserdruck – einer oder mehrere der folgenden Werte:

u_1 Porenwasserdruck an der Oberfläche des Kegels;

u_2 Porenwasserdruck in der zylindrischen Erweiterung des Kegels;

u_3 Porenwasserdruck oberhalb der Reibungshülse.

α gemessener Gesamtwinkel zwischen der Vertikalen und der Achse der Drucksondierspitze;

T Temperatur.

6.2 Korrektur von Parametern

Aufgezeichnete Werte, die auf Grund einer Unterbrechung der Sondierung nicht repräsentativ sind, sind nicht zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Der umgebende Wasserdruck beeinflusst die Messwerte des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung. Der Grund dafür ist die Wirkung des Wasserdruckes im Spalt zwischen dem Kegel und der Reibungshülse sowie im Spalt oberhalb der Reibungshülse.

Wenn der Wasserdruck mit Verwendung eines Filterelements in der zylindrischen Verlängerung des Kegels gemessen wird (u_2), muss der gemessene Spitzenwiderstand unter Verwendung der folgenden Gleichung (6) korrigiert werden:

$$q_t = q_c + u_2 \times (1 - a) \quad (6)$$

Dabei ist

q_t der korrigierte Spitzenwiderstand, in MPa;

q_c der gemessene Spitzenwiderstand, in MPa;

u_2 der Porenwasserdruck an dem zylindrischen Teil der Verlängerung des Kegels (es wird angenommen, dass dieser dem Porenwasserdruck im Spalt zwischen dem Kegel und der Hülse entspricht), in MPa;

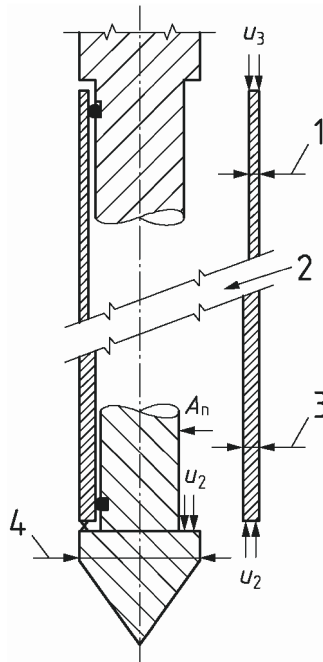
a der Grundflächenfaktor:

$$a = A_n / A_c$$

Dabei ist

A_c die projizierte Querschnittsfläche des Kegels (siehe Bild 6), in mm²;

A_n die Querschnittsfläche der Druckdose oder des Schaftes (siehe Bild 6), in mm².



Legende

- 1 Querschnittsfläche (oberes Ende) A_{st}
- 2 Fläche der Reibungshülse A_s
- 3 Querschnittsfläche (unteres Ende) A_{sb}
- 4 Querschnittsfläche A_c

Bild 6 — Korrektur des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung infolge unterschiedlicher Grundflächenwirkungen

Die Messungen sollten nur korrigiert werden, wenn u_2 gemessen wurde.

ANMERKUNG 2 u_2 kann aus u_1 oder u_3 anhand von empirischen Beziehungen abgeleitet werden, um einen approximativen korrigierten Spitzenwiderstand zu erreichen. In weichen Tonen und Schluffen kann eine größere Korrektur erforderlich sein, und u_2 sollte vorzugsweise gemessen und eine Korrektur vorgenommen werden, wenn die Aufzeichnungen des Spitzenwiderstandes zur Auswertung mechanischer Parameter verwendet werden.

Das Flächenverhältnis (a) kann nicht allein über geometrische Überlegungen ermittelt werden, sondern muss bei der Kalibrierung in einer Druckkammer oder auf vergleichbare Art und Weise bestimmt werden. Daher ist das angegebene Flächenverhältnis das bei der letzten Kalibrierung bestimmte Flächenverhältnis.

ANMERKUNG 3 Die gemessene Mantelreibung ist durch den umgebenden Wasserdruck beeinflusst. Da es nicht üblich ist, den Porenwasserdruck u_3 oberhalb der Reibungshülse zu messen, wird gewöhnlich die unkorrigierte Mantelreibung f_s verwendet. Eine mögliche Vorgehensweise zur Korrektur der aufgezeichneten Mantelreibung ist in Anhang D angegeben.

Verschiedene andere Korrekturen können notwendig sein, um die Anforderungen der Prüfkategorie zu erfüllen, wie z. B. Temperatureinflüsse, die Querschnittsfläche des Kegels, Zusammendrückung des Sondiergestänges und Zurückprallen der Eindrückvorrichtung.

6.3 Berechnete Parameter

Die folgenden Parameter sind auf der Grundlage der gemessenen Parameter zu berechnen:

R_f Reibungsverhältnis;

z Sondiertiefe.

Eine Korrektur im Hinblick auf die Neigung, z. B. die Berechnung der Sondiertiefe aus der Sondierlänge, ist für die Prüfkategorien A, B und C nach der in Anhang C angegebenen Methode durchzuführen.

Der folgende Parameter ist auf der Grundlage der korrigierten Parameter zu berechnen:

R_{ft} korrigiertes Reibungsverhältnis.

7 Berichterstattung

7.1 Allgemeines

Bei der Darstellung der Versuchsergebnisse sollten die Informationen leicht zugänglich sein, zum Beispiel in Form von Tabellen oder als standardisiertes Archivierungssystem. Zur Erleichterung des Datenaustausches ist die Darstellung in digitaler Form zulässig.

Rohdaten müssen im digitalen Format ohne die Anwendung einer Filterung oder anderer manuell, mit elektronischen Mitteln oder Mikroprozessoren durchgeführter Korrekturen vorgelegt werden. Sämtliche Messungen müssen relativ zum unteren Ende der Drucksondierspitze in technischen Einheiten angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Verfahren zum Spitzenausgleich und andere Korrekturen können sich mit der Zeit ändern. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass Rohdaten für eine zukünftige Verwendung mit den Messwerten ohne Korrekturen gespeichert werden.

In 7.2 ist festgelegt, welche Informationen anzugeben sind:

- im **Feldbericht** der Versuchsergebnisse und
- im **Versuchsbericht**.

Die Feldaufzeichnung, die am Projektstandort gefertigt wird, und der Versuchsbericht müssen die in 7.2 angegebenen Informationen enthalten. Die Versuchsergebnisse sind so darzustellen, dass sie für Dritte überprüfbar und verständlich sind.

Während der Drucksondierung müssen Besonderheiten oder Abweichungen von diesem Teil von ISO 22476, die die Messergebnisse und die Sondierlänge beeinflussen können, aufgezeichnet und angegeben werden.

7.2 Bericht über Versuchsergebnisse

7.2.1 Allgemeine Angaben

	Feldauf- zeichnung	Versuchs- bericht
a) Verweisung auf diesen Teil von ISO 22476	x	x
b) Datum der Prüfung	X	x
c) Anfangszeit des Versuches	x	x
d) Uhrzeit während des Versuches	x	x
e) Tiefe des Beginns der Sondierung in Bezug auf die Geländehöhe		x
f) Sättigungsflüssigkeit, die im Porenwasserdruckmesssystem verwendet wird (bei der Piezospitze)	x	x
g) Versuchstyp	x	x
h) Besonderheiten oder Abweichungen von diesem Teil von ISO 22476	x	x
i) Unternehmen, das den Versuch ausführt	x	x
j) Name und Unterschrift des Geräteführers, der den Versuch ausführt	x	x
k) Name und Unterschrift des für die Versuchsergebnisse verantwortlichen Leiters	—	x
l) Tiefe der Grundwasseroberfläche (wenn protokolliert)	x	x
m) Angaben zum Porenwasserdruck (z. B. von den Messeinrichtungen für Porenwasserdruck) (sofern verfügbar)	—	x
n) Tiefe einer Vorbohrung oder Ausgrabungstiefe	x	x
o) Wenn möglich, die Art des angetroffenen Materials	x	x
p) Sondiertiefe und mögliche Ursache irgendwelcher Halte während der Sondierung (z. B. Dissipationsversuche)	x	x
q) Angewandte Abbruchkriterien, d. h. Endtiefe, maximale Sondierkraft oder Neigung	x	x
r) Verfahren zur Verfüllung der Bohrung, sofern zutreffend	x	x
s) Beobachtungen während des Versuchs, z. B. — Vorkommen von Steinen, — Geräusche der Sondierstangen, — Vorfälle, — verzogene Stangen, — ungewöhnliche Abnutzung	x	x
t) Änderungen bei Referenzmessungen	x	x
u) Besondere Anordnungen, die von der gebräuchlichen Konfiguration der Eindrückvorrichtung abweichen, z. B. Hubinsel	x	x

7.2.2 Lage des Versuchs

	Feldaufzeichnung	Versuchsbericht
a) Identifizierung des Versuches	x	x
b) Höhe der Drucksondierung	—	x
c) Örtliche oder allgemeine Koordinaten	—	x
d) Referenzsystem und Toleranzen	—	x
e) Referenzhöhe zu einem bekannten Bezugspunkt	—	x

Im Vertrag muss festgelegt sein, wer für die Bereitstellung der Koordinaten und Höhen der Untersuchungsstellen verantwortlich ist.

7.2.3 Versuchsgerät

	Feldaufzeichnung	Versuchsbericht
a) Art der Drucksondierspitze	x	x
b) Klasse der Drucksondierspitze	x	x
c) Geometrie und Abmessungen der Drucksondierspitze	x	x
d) Typ der verwendeten Eindrückvorrichtung, Eindrückkapazität sowie der angebauten Hub- und Ankersysteme	x	x
e) Hersteller der Drucksondierspitze	x	x
f) Identifizierungsnummer der Drucksondierspitze	x	x
g) Messbereich der Messwertaufnehmer	x	x
h) Kalibrierungszertifikat	-	x
i) Lage des Filters	x	x
j) Filtertyp und -material	x	x
k) Grundflächenfaktor (a und b)	x	x
l) Versatz der Sensoren bezogen auf die Ebene der Kegelbasis	x	x

7.2.4 Versuchsergebnisse

	Feldauf- zeichnung	Versuchs- bericht
a) Prüfkategorie nach 5.10	x	x
b) Gemessen nach 6.1	x	x
c) Einsatz von Vorspannungseinrichtungen oder -verfahren		x
d) Korrigierte Parameter nach 6.2 und 6.3		x
e) Referenzmessungen von Spitzenwiderstand, Mantelreibung und, falls zutreffend, Porenwasserdruck vor und nach dem Versuch und die Nullabweichung (in technischen Einheiten)	x	x
f) Während der Datenverarbeitung angewandte Korrekturen (z. B. Nullabweichungen, Korrekturen des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung)	—	x
g) Messungen des Porenwasserdruckes <i>in situ</i> (wenn protokolliert)	x	x
h) Neigung der Drucksondierspitze zur Vertikalen für die maximale Sondiertiefe im Meterabstand, sofern zutreffend	—	x

7.3 Darstellung der Versuchsergebnisse

Bei einer grafischen Darstellung der Versuchsergebnisse sollten die folgenden Achsenmaßstäbe verwendet werden:

— Sondiertiefe z :	1 Maßstabseinheit = 1 m;
— Spitzenwiderstand q_c, q_t :	1 Maßstabseinheit = 2 MPa oder 0,5 MPa;
— Mantelreibung f_s, f_t :	1 Maßstabseinheit = 0,05 MPa;
— Porenwasserdruck u :	1 Maßstabseinheit = 0,2 MPa oder 0,02 MPa;
— Reibungsverhältnis R_f, R_{ft} :	1 Maßstabseinheit = 2 %;
— Porenwasserdruckverhältnis B_q :	1 Maßstabseinheit = 0,5.

Eine Maßstabseinheit sollte 1 cm betragen.

In der Darstellung darf ein anderer Maßstab verwendet werden, wenn der empfohlene Maßstab in einem zusätzlichen Diagramm verwendet wird. Der empfohlene Maßstab kann zum Beispiel für eine allgemeine Darstellung verwendet werden, während ausgewählte Teile für detaillierte Untersuchungen unter Verwendung eines anderen Maßstabes dargestellt werden dürfen. In Tönen und dort, wo die Versuchsergebnisse für die Ableitung von Bodenkennwerten verwendet werden (Kategorien A und B in Tabelle 3), ist es besonders wichtig, einen vergrößerten Maßstab bei der Darstellung der Versuchsergebnisse zu verwenden.

Bei den Prüfkategorien A und B muss der Spitzenwiderstand und die Mantelreibung über die Querschnittsfläche der Sondierspitze und die Oberfläche der Hülse vor Versuchsbeginn berechnet werden.

Der Achsenmaßstab von Dissipationsversuchsergebnissen (Spitzenwiderstand q_c , Porenwasserdruck u und Zeit t) muss den Versuchsergebnissen angepasst sein.

ANMERKUNG Ein übliches Darstellungsformat ist die Verwendung eines linearen Maßstabes für q_c und u und eines logarithmischen Maßstabes für t .

7.4 Darstellung der Ergebnisse und der berechneten Parameter

Die Versuchsergebnisse sind als kontinuierliches Profil als Funktion der Sondiertiefe (bei Kategorien A, B und C) oder der Sondierlänge (bei Kategorie D) relativ zum unteren Ende der Drucksondierspitze für alle Sensoren darzustellen.

Bei Berichten, in denen korrigierte Daten angegeben werden, müssen die angewandten Korrekturen deutlich beschrieben werden und es muss angegeben werden, in welchen Intervallen sie durchgeführt wurden.

Die darzustellenden Versuchsergebnisse (entsprechend Prüfkategorie und Versuchsart) sind:

- Spitzenwiderstand – Tiefe/Länge q_c (MPa) – z (m);
- Mantelreibung – Tiefe/Länge f_s (MPa) – z (m);
- gemessener Porenwasserdruck – Tiefe/Länge $u_{1,2,3}$ (MPa) – z (m);
- Neigung – Tiefe/Länge $\alpha(^{\circ})$ – z (m) oder in Tabellenform als Funktion der Tiefe.

Die Sondiertiefe ist die gemessene Länge, die mit der gemessenen Neigung korrigiert wurde.

Einheiten in Kilopascal (kPa) dürfen in Abhängigkeit vom Maßstab der gemessenen Parameter verwendet werden.

Die Darstellung der Versuchsergebnisse entsprechend der Kategorien A und B muss, wenn gefordert, mindestens tabellarische Daten nach 7.1 enthalten.

Bei Kategorie A ist die zusätzliche Darstellung des korrigierten Spitzenwiderstands (q_t) obligatorisch und die zusätzliche Darstellung der korrigierten Mantelreibung (f_t) freigestellt. Bei einer weiteren Verarbeitung der Daten sollten die korrigierten Parameter verwendet werden. Eine Ausnahme wird bei der Untersuchung von grobkörnigem Material gemacht, wo der Einfluss der Endflächenkorrektur vernachlässigbar ist.

Der Porenwasserdruck *in-situ* kann aus der Lage der Grundwasseroberfläche oder vorzugsweise durch örtliche Porenwasserdruckmessungen abgeschätzt werden. Er kann auch aus Versuchsergebnissen von Dissipationsversuchen, die in durchlässigen Schichten ausgeführt werden, abgeleitet werden. Der Verlauf der gesamten Überlagerungsspannungen kann aus *in situ* durchgeführten Messungen der Dichte oder aus ungestörten Proben im Labor bestimmt werden. In Ermangelung ausreichender Informationen darf eine Abschätzung der Dichte mit der Verwendung von Auswertediagrammen erfolgen, die auf den Ergebnissen von Drucksondierungen und örtlicher Erfahrung basieren.

Für die weitere Verarbeitung der gemessenen Werte sollten die folgenden Beziehungen, sofern zutreffend, verwendet werden:

- Porenwasserdruckdifferenz $\Delta u = u - u_0$;
- Nettospitzenwiderstand $q_n = q_t - \sigma_{vo}$;
- Reibungsverhältnis $R_f = (f_s/q_c) \times 100 \%$;
- korrigiertes Reibungsverhältnis $R_{ft} = (f_s/q_t) \times 100 \%$ (wenn f_t bekannt ist, ist es anstelle von f_s zu verwenden);
- Porenwasserdruckverhältnis $B_q = (u_2 - u_0)/(q_t - \sigma_{vo}) = \Delta u_2/q_n$
- normalisierte Porenwasserdruckdifferenz $U = (u_t - u_0)/(u_i - u_0)$;

Zur weiteren Verarbeitung der Versuchsergebnisse sind Informationen zu den folgenden Parametern erforderlich:

- *In-situ* Anfangsporenwasserdruck über die Tiefe u_o (MPa) über z (m);
- gesamter Überlagerungsdruck über die Tiefe σ_{vo} (MPa) über z (m).

Diese Parameter oder zusätzliche berechnete Werte können sowohl für die Bestimmung der Schichtenfolge und der Bodenarten als auch als Grundlage für die Ableitung technischer Parameter dienen.

Das Reibungsverhältnis ist im Diagramm darzustellen. Die Darstellung der anderen berechneten Parameter ist freigestellt, da diese von der Auswertung abhängig sind.

Anhang A (informativ)

Eignung von Prüfverfahren

A.1 Verwendung dieses informativen Anhangs

Dieser informative Anhang bietet einen zusätzlichen Leitfaden für die Auswahl der Prüfkategorie und der entsprechenden Klasse der Drucksondierspitze für die Eignung der Prüfverfahren.

A.2 Vertrauen in die Prüfergebnisse und allgemeine Kommentare zur Prüfung

Tabelle A.1 definiert das erwartete Vertrauensniveau für die geotechnische Charakterisierung von Bodeneigenschaften für eine gegebene Sondierspitzenklasse und Prüfkategorie.

Die Vertrauensniveaus in diesem Anhang können durch eine statistische Analyse vor Ort und spezifische Daten der Sondierspitze verbessert werden.

Tabelle A.1 — Vertrauensniveaus von Messungen für die Charakterisierung von geotechnischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Typ der Sondierspitze und der Prüfkategorie

Anwendung	Vertrauensniveau	Klasse der Drucksondierspitze			
		1+	1	2	3
Charakterisierung geotechnischer Eigenschaften von abgelagerten Böden mit $q_{c,max} < 1 \text{ MPa}$	hoch	A			
	mittel	B			
	gering	C			
Charakterisierung geotechnischer Eigenschaften von abgelagerten Böden mit $1 \text{ MPa} < q_{c,max} < 3 \text{ MPa}$	hoch	B			
	mittel	C			
	gering	D			
Charakterisierung geotechnischer Eigenschaften von abgelagerten Böden mit $q_{c,max} > 3 \text{ MPa}$	hoch	nicht empfohlen	B und C		
	mittel		D		

ANMERKUNG A, B, C und D sind die Prüfkategorien nach Tabelle 2.

A.3 Unsicherheiten beim Drucksondierverfahren

A.3.1 Allgemeines

Die Prüfkategorie der Sondierspitze dient zur Bewertung darüber, ob ein Drucksondiergerät wie erwartet funktioniert, aber sie liefert keine Informationen über die weitere Unsicherheit der ermittelten Daten. Die Unsicherheit einzelner Datenpunkte eines Drucksondierungsprofils wird durch viele Faktoren beeinflusst und sollte bei der Ableitung geotechnischer Parameterwerte aus den Aufzeichnungsdaten berücksichtigt werden. Einige der Faktoren, die die Unsicherheit der Drucksondierung beeinflussen, sind im Folgenden aufgeführt:

- ambiente und transiente Temperatureinflüsse;
- Sensorabweichung, verursacht durch Überlast oder Biegung;
- geringe Sättigung;
- mangelhafte Kraftübertragung infolge Schmutz in Spalten und Dichtungen;
- Abweichung von der Geometrie des Kegels.

Es kann eine Aussage zur Unsicherheit im Bericht getroffen werden, die das Ergebnis einer Unsicherheitsanalyse darstellt, die einige dieser Quellen der Unsicherheit berücksichtigt. Die Unsicherheitsanalyse kann nach den folgenden in WECC DOC enthaltenen Empfehlungen erstellt werden. 19-1990 [6] und ISO 10012.

Einige der Faktoren, die die Unsicherheit des Drucksondierungsversuchs beeinflussen, sind in A.3.2 bis A.3.6 aufgeführt.

A.3.2 Temperatureinflüsse

Bei einem Bodenprofil, in dem dichter Sand weichen Ton überlagert, besteht eine größere Unsicherheit bei den im weichen Ton erfolgten Messungen, als sie bei einem Profil nur aus weichem Ton bestehen würde, aufgrund von thermischen Einflüssen und Hystereseeinflüssen im Ansprechverhalten der Drucksondierspitze. So kann etwa die Reibung in dichtem Sand typischerweise dazu führen, dass sich eine Drucksondierspitze um etwa den Spitzenwiderstand von 1 °C/MPa erhitzt und der resultierende Wärmestrom in der Drucksondierspitze eine erkennbare Verschiebung des Spitzenwiderstands verursacht (Post und Nebbeling, 1995). Systeme zur Kompensation der Umgebungstemperatur kann Wärmestromeinflüsse nicht verhindern. Eine Sondierungsunterbrechung, um der Drucksondierspitze zu ermöglichen, wieder eine stabile Umgebungstemperatur zu erreichen, kann den Einfluss auf die Messergebnisse der Drucksondierspitze abmildern. Eine alternative Methode besteht darin, den Ort der Untersuchung abermals aufzusuchen, eine Vorbohrung in die bekannten Tiefen durchzuführen, um die harten Schichten zu umgehen und CPT-Daten in den weicheren Schichten zu erheben. Es ist ebenfalls möglich, die Temperatur in der Drucksondierspitze zu messen und CPT-Parameter teilweise hinsichtlich der Wärmestromeinflüsse zu korrigieren. In diesem Fall müssen alle Korrekturen dokumentiert und angegeben werden.

A.3.3 Sensorüberlast

In der Praxis können Sondierspitzen über den Bereich ihrer maximalen Auslegungsleistung hinaus überlastet werden. Dies kann zu erheblichen Sensorabweichungen führen und die Genauigkeit der Prüfungsmessungen beeinträchtigen. Es ist sinnvoll, ein Protokoll zu führen, in dem einige der Betriebsparameter der Sondierspitze dokumentiert werden, z. B. Anzahl der Prüfungen, Gesamtmetierzahl der Durchdringung, Referenzmesswerte, maximale Last und maximale Temperatur. Die neuesten Sondierspitzen sind mit Datenerfassungsgeräten ausgestattet, um dem Anwender zu bestätigen, dass die Geräte nur innerhalb ihres kalibrierten Bereichs verwendet wurden.

A.3.4 Porenwasserdruck

Um die Genauigkeit der geotechnischen Parameter zu verbessern, werden die aus den Spitzenwiderstandsmessungen abgeleiteten Werte und der Spitzenwiderstand häufig um die Einflüsse des durch das Eindringen der Sondierspitze erzeugten Porenwasserdrucks auf den Spitzenwiderstand korrigiert. Wenn jedoch der vom Porenwasserdrucksensor aufgezeichnete Porenwasserdruck nicht repräsentativ für den Wasserdruck um die Drucksondierspitze ist, ist die auf den Spitzenwiderstand angewandte Korrektur falsch. Ein solcher Fehler könnte dadurch entstehen, dass der Porenwasserdruckfilter verstopft, oder der Porenwasserdrucksensor kann aufgrund von Kavitation durch den im Versuch erzeugten hohen negativen Porenwasserdruck entsättigt werden und daher aufgrund des Bodenverhaltens unterhalb dieses Wertes nicht repräsentativ reagieren. Es ist zu beachten, dass der Spalt hinter der Drucksondierspitze, über den sich der Porenwasserdruck auf den Spitzenwiderstand auswirkt, möglicherweise nicht gesättigt ist und der Porenwasserdruck im Spalt deutlich vom gemessenen Porenwasserdruck abweichen kann. In all diesen Fällen ist die angenommene Korrektur für die Porenwasserdruckeinflüsse auf den Spitzenwiderstand fehlerhaft und kann zu Fehlern bei den abgeleiteten geotechnischen Parameterwerten führen.

Porendrucksensoren können an Sättigung verlieren, während die Sondierspitze in ungesättigte oder teilgesättigte Böden oberhalb des Grundwasserspiegels eindringt, was zu ungenauen Porenwasserdruckmessungen führt. Dies kann durch den Einsatz von Schlitzfiltern oder durch einen Neustart des Versuchs mit einer vollständig gesättigten Drucksondierspitze nach dem Vorbohren bis zum Grundwasserspiegel vermieden werden.

A.3.5 Mantelreibung

Bei den Messungen der Mantelreibung, die mit verschiedenen Ausführungen von Drucksondierspitzen durchgeführt wurden, die alle den ISO-Anforderungen entsprechen, wird eine erhebliche Variabilität angegeben. Daher besteht im Vergleich zu den Spitzenwiderstandsmessungen eine größere Unsicherheit bei den Mantelreibungsmessungen, die bei der Drucksondierung durchgeführt werden.

A.3.6 Abweichungen der Prüfgeschwindigkeit

Es ist nicht ungewöhnlich, dass die Eindringgeschwindigkeiten variieren und niedriger (typisch) oder höher (ungewöhnlich) als gewünscht sind. Die Eindringgeschwindigkeit der Drucksondierspitze ist abhängig von der aufgebrachten Schubkraft, die in der Regel durch den Druck im Schubsystem gesteuert wird.

Die Eindringgeschwindigkeit der Drucksondierspitze kann das Porenwasserdruckverhalten (entwässert, teilweise entwässert oder nicht entwässert) bestimmter Böden/Weichgesteine, z. B. Kreide, Schluff usw., beeinflussen. Das Porenwasserdruckverhalten beeinflusst wiederum den Spitzenwiderstand während des Eindringens. Zum Beispiel verfügt ein Boden, der während einer Drucksondierung nicht entwässert reagiert, typischerweise über einen geringeren Widerstand gegen das Eindringen der Sondierspitze. Die Geschwindigkeit des Eindringens der Sondierspitze kann das Porenwasserdruckverhalten beeinflussen, d. h. bei niedrigeren Geschwindigkeiten treten teilentwässerte oder entwässerte Zustände auf, während bei höheren Geschwindigkeiten ein nicht entwässertes Bodenverhalten auftreten kann. Änderungen im Porenwasserdruckverhalten sind die dominierende Mechanik, die zu einem signifikant unterschiedlichen Eindringwiderstand einer Drucksondierspitze führen kann.

Die Auswirkungen einer variierenden Eindringgeschwindigkeit auf den Spitzenwiderstand in Böden mit konstantem Porenwasserdruckverhalten, d. h. entweder entwässert oder nicht entwässert, sind begrenzt. DeJong et.al. (2012) geben Beispiele für die Auswirkung der variablen Eindringgeschwindigkeit der Drucksondierspitze. Weicht die Eindringgeschwindigkeit von den geforderten 20 ± 5 mm/s ab, sollte dies im Prüfbericht aufgeführt werden.