

DIN EN ISO 22476-1

ICS 93.020

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 22476-1:2022);
Deutsche Fassung EN ISO 22476-1:2023**

Geotechnical investigation and testing –
Field testing –

Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test (ISO 22476-1:2022);
German version EN ISO 22476-1:2023

Reconnaissance et essais géotechniques –
Essais en place –

Partie 1: Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône (ISO 22476-1:2022);
Version allemande EN ISO 22476-1:2023

Gesamtumfang 90 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 22476-1:2023) 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).

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

ISO 6508-1:2016	siehe	DIN EN ISO 6508-1:2016-12
ISO 8503-2	siehe	DIN EN ISO 8503-2
ISO 10012:2003	siehe	DIN EN ISO 10012:2004-03
ISO 14688-1	siehe	DIN EN ISO 14688-1
ISO/IEC 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) die Grenzabmaße der Drucksondierspitze wurden aktualisiert;
- b) das Genauigkeitsklassensystem wurde durch die Klasse der Drucksondierspitze und das Prüfkategoriesystem ersetzt;
- c) der Temperatureinfluss auf die Überwachung der Messungen sowie die Anforderungen an den Innentemperatursensor für Drucksondierspitzen der Klasse 0 wurden hinzugefügt;
- d) Anforderungen an die Kalibrierung von Drucksondierspitzen wurden hinzugefügt;
- e) Aktualisierungen von Bildern und Text;
- f) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4094: 1960-12, 1990-12
DIN 4094-1: 1964-05, 1974-11, 2002-06
DIN 4094-2: 1965-06, 1980-05
DIN 4904 Beiblatt 1: 1990-12
DIN EN ISO 22476-1: 2013-01, 2013-10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 6508-1:2016-12, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Rockwell — Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6508-1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 6508-1:2016*

DIN EN ISO 8503-2, *Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen - Rauheitskenngrößen von gestrahlten Stahloberflächen — Teil 2: Verfahren zur Prüfung der Rauheit von gestrahltem Stahl — Vergleichsmusterverfahren*

DIN EN ISO 10012:2004-03, *Messmanagementsysteme — Anforderungen an Messprozesse und Messmittel (ISO 10012:2003) Dreisprachige Fassung EN ISO 10012:2003*

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

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

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

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Geotechnische Erkundung und Untersuchung —
Felduntersuchungen —
Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen
Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den
Porenwasserdruck (ISO 22476-1:2022)

Geotechnical investigation and testing —
Field testing —
Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test
(ISO 22476-1:2022)

Reconnaissance et essais géotechniques —
Essais en place —
Partie 1: Essais de pénétration au cône électrique et au
piézocône (ISO 22476-1:2022)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. September 2022 angenommen.

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

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

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



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Symbole	15
4 Gerät.....	19
4.1 Allgemeines	19
4.1.1 Toleranzen	19
4.1.2 Fugen und Abdichtungen gegen Eintrag von Bodenmaterialien	19
4.2 Drucksondierspitze	19
4.3 Oberflächenrauigkeit und -härte.....	20
4.4 Kegel.....	20
4.5 Reibungshülse.....	21
4.6 Filterelement.....	23
4.6.1 Allgemeine Filteranordnung	23
4.6.2 Porenwasserdruck u_1	23
4.6.3 Porenwasserdruck u_2	23
4.6.4 Porenwasserdruck u_3	24
4.7 Sondierstangen.....	24
4.8 Messsystem	24
4.8.1 Fehlergrenze	24
4.8.2 Sensoren für den Spitzenwiderstand und die Mantelreibung	25
4.8.3 Sensor für den Porenwasserdruck.....	25
4.8.4 Sensor für die Neigung.....	25
4.8.5 Sensor für die Temperatur.....	25
4.8.6 Messung der Sondierlänge	25
4.8.7 Rohdaten.....	26
4.9 Eindrückvorrichtung.....	26
5 Versuchsdurchführung.....	26
5.1 Auswahl des Gerätes, Vorgehensweise und Evaluierung der Ergebnisse	26
5.1.1 Allgemeines	26
5.1.2 Anforderungen an die Kalibrierung und Verifizierung.....	27
5.1.3 Konformitätsbewertung der Klasse der Drucksondierspitze.....	28
5.2 Lage und Vertikalität der Eindrückvorrichtung	30
5.3 Vorbereitung der Drucksondierung.....	30
5.4 Eindrücken der Drucksondierspitze	31
5.5 Verwendung von Reibungsminderungstechniken.....	31
5.6 Häufigkeit der Aufzeichnung von Prüfdaten	32
5.7 Aufzeichnung der Sondierlänge	32
5.8 Porenwasserdruck-Dissipationsversuch (PPDT, en: Pore pressure dissipation test)	32
5.9 Versuchsabschluss	33
5.10 Evaluierung von CPT/CPTU in Beziehung zur Prüfkategorie	34

5.11	Geräteüberprüfung und Kalibrierung	35
5.12	Sicherheitsanforderungen	35
6	Versuchsergebnisse.....	35
6.1	Gemessene Parameter	35
6.2	Korrektur von Parametern.....	35
6.3	Berechnete Parameter	38
7	Berichterstattung	38
7.1	Allgemeines	38
7.2	Bericht über Versuchsergebnisse	38
7.2.1	Allgemeine Informationen	38
7.2.2	Lage des Versuchs	39
7.2.3	Versuchsgerät.....	40
7.2.4	Versuchsergebnisse.....	40
7.3	Darstellung der Versuchsergebnisse	40
Anhang A (informativ)	Eignung von Versuchsverfahren.....	43
A.1	Allgemeines	43
A.2	Vertrauen in die Versuchsergebnisse und allgemeine Kommentare zum Versuch	43
A.3	Unsicherheiten beim Drucksondierverfahren	44
A.3.1	Allgemeines	44
A.3.2	Temperatureinflüsse	44
A.3.3	Sensorüberlast	44
A.3.4	Porenwasserdruck.....	45
A.3.5	Mantelreibung	45
A.3.6	Abweichungen der Prüfgeschwindigkeit.....	45
Anhang B (normativ)	Wartung, Überprüfungen und Kalibrierung	46
B.1	Wartung und Überprüfungen	46
B.1.1	Linearität des Sondiergestänges.....	46
B.1.2	Abnutzung des Sondiergerätes.....	46
B.1.3	Fugen und Dichtungen.....	47
B.1.4	Porenwasserdruck-Messsystem	47
B.1.5	Verfahren zur Wartung	47
B.2	Kalibrierung und Verifizierung der Drucksondierspitze	48
B.2.1	Umgebung und Vorbereitung.....	48
B.2.2	Messintervalle für die Kalibrierung.....	48
B.2.3	Kalibrierung des Spitzenwiderstands und der Mantelreibung.....	48
B.2.4	Kalibrierung des Porenwasserdrucksensors	54
B.2.5	Bestimmung der Maße des Kegels und der Mantelreibungshülse.....	57
B.2.6	Neigungskalibrierung einer Drucksondierspitze.....	60
B.2.7	Verifizierung einer Drucksondierspitze bezüglich Temperatureinfluss	62
B.2.8	Verifizierung einer Drucksondierspitze bezüglich der Biegungseinflüsse	64
Anhang C (informativ)	Kalibrierbericht (Beispiel).....	66
C.1	Allgemeines	66
Anhang D (normativ)	Berechnung der Sondiertiefe	82
Anhang E (informativ)	Korrektur der Mantelreibung im Hinblick auf den Wasserdruck.....	83
Anhang F (informativ)	Vorbereitung der Piezospitze	84
F.1	Sättigung.....	84
F.2	Schlitzfilter.....	84
Anhang G (informativ)	Reibungsminderungstechniken.....	85
Literaturhinweise.....		86

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 22476-1:2023) 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.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2023, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2023 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 22476-1:2012 und EN ISO 22476-1:2012/AC:2013.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 22476-1:2022 wurde von CEN als EN ISO 22476-1:2023 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-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 vom Technischen Komitee ISO/TC 182, *Geotechnics*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 341, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung*, 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. Sie enthält auch das Technische Korrigendum ISO 22476-1:2012/Cor 1:2013.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- die Grenzabmaße der Drucksondierspitze wurden aktualisiert;
- das Genauigkeitsklassensystem wurde durch die Klasse der Drucksondierspitze und das Prüfkategoriesystem ersetzt;
- der Temperatureinfluss auf die Überwachung der Messungen sowie die Anforderungen an den Innentempertursensor für Drucksondierspitzen der Klasse 0 wurden hinzugefügt;
- Anforderungen an die Kalibrierung von Drucksondierspitzen wurden hinzugefügt;
- geringe Aktualisierungen von Bildern und Text wurden vorgenommen.

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

Dieses Dokument legt allgemeine Grundsätze, Geräteanforderungen, die Durchführung und die Ergebnisdarstellung von Drucksondierungen mit Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck fest.

Die Drucksondierung (CPT) besteht aus dem Eindringen einer Sondierspitze mit mehreren Sondierstangen in den Boden bei gleichbleibender Sondiergeschwindigkeit. Während des Sondiervorgangs werden Messungen des Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung aufgezeichnet. Die Drucksondierung mit der Piezospitze (CPTU) schließt auch die Messung des Porenwasserdruckes an oder im Bereich der Sondierspitze ein. Es wurden zwei Internationale Normen zum Thema Drucksondierungen erstellt: Dieses Dokument 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 Dokument wird der Begriff „Spitzenwiderstand“ verwendet, wenn auch die Worte „Widerstand gegen das Eindringen einer Sondierspitze“ das Verfahren genauer beschreibt.

Die Versuchsergebnisse, die mit den Verfahren nach diesem Dokument erzielt werden, sind insbesondere für die qualitative und/oder quantitative Bestimmung von Bodenprofilen im Zusammenhang mit anderen Aufschlüssen (z. B. Probenahme nach ISO 22475-1 und Benennung nach ISO 14688-1) oder zum Vergleich mit 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

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Ausrüstung, die Verfahren sowie für die Ergebnisdarstellung von Drucksondierungen mit Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck fest und gibt Empfehlungen hierfür.

ANMERKUNG Dieses Dokument erfüllt die Anforderungen für Drucksondierungen mit Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck als Teil von geotechnischen Untersuchungen und Versuchen nach der Normenreihe EN 1997.

Dieses Dokument legt die folgenden Aspekte fest:

- a) Typ der Drucksondierung;
- b) Klasse der Drucksondierspitze nach Tabelle 2;
- c) Prüfkategorien nach Tabelle 3;
- 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;
- g) Porenwasserdruck-Dissipationsversuche.

Dieses Dokument behandelt Drucksondierungen (CPT) 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/IEC 17025, *General requirements -for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Begriffe

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 <https://www.electropedia.org/>

3.1 Terms and definitions

3.1.1

durchschnittliche Oberflächenrauigkeit

R_a

durchschnittlicher Abstand zwischen der tatsächlichen Oberfläche der *Drucksondierspitze* (3.1.6) und einer mittleren Bezugsoberfläche, die an der Oberfläche der Sondierspitze angeordnet ist

3.1.2

unteres Ende der Drucksondierspitze

zylindrischer Teil des *Kegels* (3.1.4) direkt hinter dem konischen Teil der Kegelspitze

3.1.3

Kalibrierabweichung

Differenz zwischen der *Referenzmessung* (3.1.34) vor Beginn der Untersuchung und der ersten *Referenzmessung* (3.1.34) nach der Kalibrierung

3.1.4

Kegel

kegelförmiger unterer Teil der *Sondierspitze* (3.1.6) und der zylindrischen Verlängerung

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Sondierspitze in den Boden eingedrückt wird, wird der Spitzenwiderstand (3.1.7) durch den Kegel auf den Druckaufnehmer übertragen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieses Dokument 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.

3.1.5

Drucksondierung

CPT, en: cone penetration test

Versuch, bei dem eine *Drucksondierspitze* (3.1.6) am Ende einer Reihe von *Sondierstangen* (3.1.33) mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Boden eingedrückt wird und die Kräfte in der Drucksondierspitze elektrisch gemessen werden

3.1.6

Drucksondierspitze

Vorrichtung, die den *Kegel* (3.1.4), die *Reibungshülse* (3.1.16), alle weiteren Sensoren und das *Messsystem* (3.1.23) sowie die Verbindung zu den *Sondierstangen* (3.1.33) beinhaltet

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

3.1.7

Spitzenwiderstand

Widerstand gegen das Eindringen einer Sondierspitze

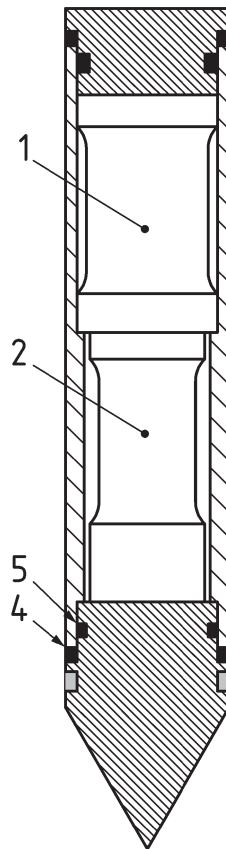
3.1.8

korrigierter Spitzenwiderstand

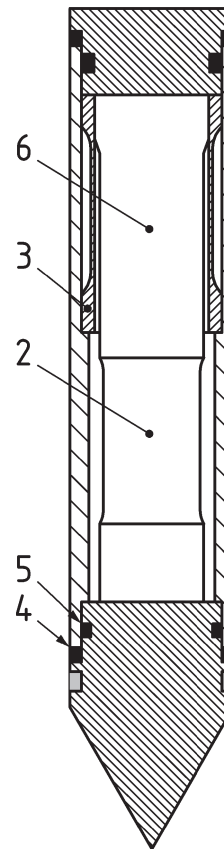
Gesamtspitzenwiderstand

q_t

um die Porenwasserdruckwirkung korrigierter *gemessener Spitzenwiderstand* (3.1.20), q_c



a) Messwertgeber zur Erfassung des
Spitzenwiderstandes und der Mantelreibung
unter Druckbeanspruchung



b) subtrahierende Drucksondierspitze

Legende

- 1 Messwertgeber zur Erfassung der Mantelreibung
- 2 Messwertgeber für Kegel
- 3 Gewinde
- 4 Abdichtung gegen Eintrag von Bodenmaterial
- 5 Abdichtung gegen Wasser
- 6 Messwertgeber für auf den Kegel und die Reibungshülse wirkende kombinierte axiale Kräfte

Bild 1 — Querschnitte durch beispielhafte Drucksondierspitzen

3.1.9

korrigiertes Reibungsverhältnis

R_{ft}
Verhältnis der *gemessenen Mantelreibung* (3.1.22) oder der *korrigierten Mantelreibung* (3.1.10) zum in gleicher Tiefe gemessenen *korrigierten Spitzenwiderstand* (3.1.8)

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

3.1.10

korrigierte Mantelreibung

f_t
gemessene Mantelreibung (3.1.22) f_s , die um die Porenwasserdruckwirkung korrigiert wurde

3.1.11

Dissipationsversuch

Messung der Änderung des Porenwasserdruckes über die Zeit während einer Unterbrechung des Eindrückvorganges, bei der die *Drucksondierspitze* (3.1.6) stationär gehalten wird

3.1.12

Porenwasserüberdruck

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

durch das Eindrücken der *Drucksondierspitze* (3.1.6) in den Untergrund in Höhe des Filters erzeugter Porenwasserdruck, der den ursprünglichen *Porenwasserdruck in situ* (3.1.17) übersteigt, siehe Gleichung (1), Gleichung (2) und Gleichung (3):

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

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

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

3.1.13

Filterelement

poröser Bestandteil der *Drucksondierspitze* (3.1.6), der den Porenwasserdruck zum Porenwasserdruckaufnehmer überträgt, wobei die Geometrie der *Drucksondierspitze* beibehalten wird

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

3.1.14

Reibungsverhältnis

R_f

Verhältnis der *gemessenen Mantelreibung* (3.1.22) zu dem in gleicher Tiefe *gemessenen Spitzenwiderstand* (3.1.20)

3.1.15

Reibungsminderer

Vorrichtung zur Verringerung der Reibung entlang der *Sondierstangen* (3.1.33)

3.1.16

Reibungshülse

Bereich der *Drucksondierspitze* (3.1.6), in dem sich die Reibung zwischen dem Boden und der Hülse entwickelt und die Belastung auf den Messwertgeber zur Erfassung der Mantelreibung übertragen wird

3.1.17

Porenwasserdruck in situ

u_0

ursprünglicher im Boden herrschender Grundwasserdruck

3.1.18

Neigung

Winkelabweichung der *Drucksondierspitze* (3.1.6) von der Vertikalen

3.1.19

Anfangsporenwasserdruck

u_i

zu Beginn des *Dissipationsversuchs* (3.1.11) *gemessener Porenwasserdruck* (3.1.21)

3.1.20

gemessener Spitzenwiderstand

q_c
Quotient aus der gemessenen, auf den Kegel wirkenden Kraft Q_c und der projizierten Fläche des Kegels A_c , siehe Gleichung (4):

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

3.1.21

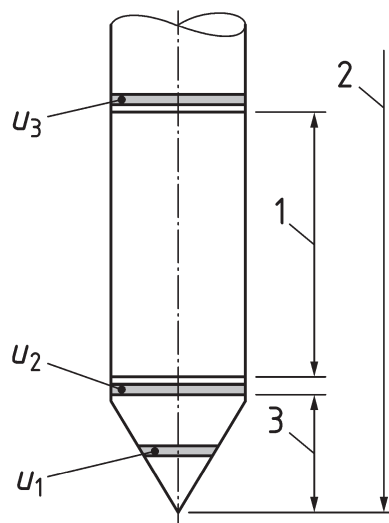
gemessener Porenwasserdruck

u_1, u_2, u_3

während des Eindrückens, des *Dissipationsversuchs* (3.1.11) und des Porenwasserdruckbeobachtungsversuchs im *Filterelement* (3.1.13) gemessener Druck

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

- u_1 an der Mantelfläche des Kegels;
- u_2 am zylindrischen Abschnitt des Kegels (die Messung erfolgt in der Fuge zwischen Kegel und Hülse);
- u_3 unmittelbar hinter der *Reibungshülse* (3.1.16).



Legende

- 1 Reibungshülse
- 2 Drucksondierspitze
- 3 Kegel

Bild 2 — Lagen der Filterelemente zur Messung des Porenwasserdrucks

3.1.22

gemessene Mantelreibung

f_s

Quotient aus der gemessenen, auf die *Reibungshülse* (3.1.16) wirkenden Kraft F_s und der Fläche der Hülse A_s , siehe Gleichung (5):

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

3.1.23

Messsystem

alle Sensoren und Hilfsmittel, die zur Weiterleitung und/oder Speicherung der im Zuge der *Drucksondierung* (3.1.6) erzeugten elektrischen Signale genutzt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messsystem umfasst üblicherweise Bauteile zur Messung der Kraft (Spitzenwiderstand und Mantelreibung), des Drucks (Porenwasserdruck), der Neigung (3.1.18), der Uhrzeit und der Sondierlänge (3.1.30).

3.1.24

Grundflächenfaktor des Kegels

a

Verhältnis der Querschnittsfläche des Schaftes A_n der *Drucksondierspitze* (3.1.6) über dem Kegel an der Position der Fuge, in dem der Porenwasserdruck wirken kann, zur nominellen Querschnittsfläche an der *Kegelbasis* (3.1.2) A_c

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 6.

3.1.25

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* (3.1.16) A_s

3.1.26

Nettospitzenwiderstand

q_n

um den gesamten Überlagerungsdruck des Erddrucks und des Porenwasserdrucks korrigierter *gemessener Spitzenwiderstand* (3.1.20)

3.1.27

Nettoreibungsverhältnis

R_{fn}

Verhältnis der Mantelreibung zu dem in gleicher Tiefe gemessenen *Nettospitzenwiderstand* (3.1.26)

3.1.28

normalisierte Porenwasserdruckdifferenz

U

mit der Anfangsporenwasserdruckdifferenz verglichene *Porenwasserdruckdifferenz* (3.1.12) während eines *Dissipationsversuchs* (3.1.11)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 7.3.

3.1.29

Sondiertiefe

z

vertikale Tiefe der *Kegelbasis* (3.1.2) bezogen auf einen festgelegten Punkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3.

3.1.30

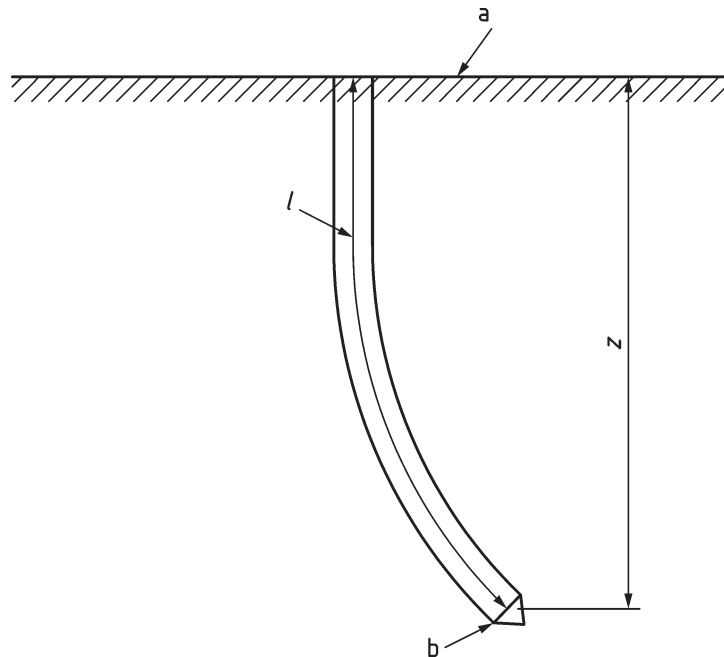
Sondierlänge

l

um die Höhe des konischen Teiles der Sondierspitze reduzierte Summe der Längen der *Sondierstangen* (3.1.33) und der *Sondierspitze* (3.1.6), 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 Nearshore) 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)

3.1.31

Drucksondierung mit Porenwasserdruckmessung

CPTU, en: piezocone penetration test

Drucksondierung (3.1.5) mit Messung des Porenwasserdruckes an oder nahe dem Kegel

3.1.32

Porenwasserdruckverhältnis

B_q
Verhältnis der Porenwasserdruckdifferenz (3.1.12) an der Filterposition u_2 zum Nettospitzenwiderstand (3.1.26)

3.1.33

Sondierstange

Teil der Stangenreihe zur Kraftübertragung auf die *Sondierspitze* (3.1.6)

3.1.34

Referenzmessung

stabile Auslesung eines Messwertgebers durch ein *Messsystem* (3.1.23) 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.

3.1.35

Eindrückvorrichtung

Einrichtung, die die *Sondierspitze* (3.1.6) und die *Sondierstangen* (3.1.33) mit einer konstanten Sondiergeschwindigkeit in den Untergrund eindrückt

3.1.36

gesamte Überlagerungsspannung

σ_{vo}

Spannung, die durch das Gesamtgewicht der Bodenschichten in Höhe der *Kegelbasis* (3.1.2) erzeugt wird

3.1.37

Nullabweichung

absolute Differenz zwischen den *Referenzmessungen* (3.1.34) des *Messsystems* (3.1.23) am Beginn und nach Beendigung der *Drucksondierung* (3.1.5)

3.2 Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A_c	projizierte Querschnittsfläche des Kegels	mm ²
A_n	Querschnittsfläche des Messwertgebers 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'	Wiederholpräzisionsfehler ohne Drehung	
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
$d_{2l;\theta}$	Durchmesser des unteren Fünftels der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
$d_{2m;\theta}$	Durchmesser des mittleren Fünftels der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
$d_{2u;\theta}$	Durchmesser des oberen Fünftels der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
$d_{c;\theta}$	Durchmesser des zylindrischen Teils in Drehposition θ	mm

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$d_{\text{fil};\theta}$	Durchmesser des Filterelements in Drehposition θ	mm
$\Delta u_{1,2,3}$	Porenwasserdruckdifferenz an Filterposition 1, 2 und 3	MPa
F_{fs}	Kraftausgang Mantelreibung	kN
F_{N}	der Bereich zwischen Höchstwert und Mindestwert des Kalibrierbereichs	kN
F_{qc}	Kraftausgang Spitzenwiderstand	kN
$F_{\text{qc+fs}}$	durch den Sensor gemessene Kraft für den kombinierten Spitzenwiderstand und die Mantelreibung	kN
F_{r}	während der Kalibrierung ausgeübte axiale Referenzkraft (kann F_{rqc} oder F_{rfs} sein)	kN
F_{rfs}	Referenzkraft Mantelreibung	kN
F_{rqc}	Referenzkraft des Spitzenwiderstands	kN
F_{s}	an der Reibungshülse axial gemessene Kraft	kN
f_{s}	gemessene Mantelreibung	MPa
$f_{\text{s;a}}$	erkennbare Mantelreibung	kN
$f_{\text{s;ac}}$	temperaturkorrigierte erkennbare Mantelreibung	kPa
$f_{\text{s;r}}$	Referenz-Mantelreibung	kN
f_{t}	korrigierte Mantelreibung	MPa
h_{c}	Höhe des konischen Abschnittes des Kegels	mm
$h_{\text{c};\theta}$	Höhe des kegelförmigen Abschnitts in Drehposition θ	mm
h_{e}	Höhe der zylindrischen Verlängerung des Kegels	mm
$h_{\text{e};\theta}$	Länge der zylindrischen Verlängerung des Kegels in Drehposition θ°	mm
i_{a}	erkennbare Neigung	°
i_{fi}	X_i entspricht $F_{\text{r}} = 0$ nach Aufbringen einer Serie i	kN
i_{r}	Referenzneigung	°
i_{0i}	X_i entspricht $F_{\text{r}} = 0$ vor Aufbringen einer Serie i	kN
k	Erweiterungsfaktor	
l	Sondierlänge	m
$l_{\text{gl};\theta}$	Länge der Fuge zwischen dem zylindrischen Teil des Kegels und dem unteren Ende der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
$l_{\text{gu};\theta}$	Länge der Fuge über dem oberen Ende der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
l_{s}	Länge der Reibungshülse	m
$l_{\text{s};\theta}$	Länge der Reibungshülse in Drehposition θ	mm
Q_{c}	am Kegel axial gemessene Kraft	kN
q_{c}	gemessener Spitzenwiderstand	MPa
$q_{\text{c;a}}$	erkennbarer Spitzenwiderstand	MPa
$q_{\text{c;ac}}$	temperaturkorrigierter erkennbarer Spitzenwiderstand	MPa

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$q_{c;amax}$	Höchstwert von $q_{c;a}$ für einen festgelegten Zeitraum	MPa
$q_{c;amin}$	Mindestwert von $q_{c;a}$ für einen festgelegten Zeitraum	MPa
$q_{c;r}$	Referenz-Spitzenwiderstand	MPa
q_n	Nettospitzenwiderstand	MPa
$q_{c;max}$	Höchstwert des während der Eindringphase des Versuchs gemessenen Spitzenwiderstands	MPa
q_t	korrigierter Spitzenwiderstand	MPa
r	Sensorauflösung	
R_a	durchschnittliche Oberflächenrauigkeit	μm
R_f	Reibungsverhältnis	%
R_{ft}	korrigiertes Reibungsverhältnis	%
R_{fn}	Nettoreibungsverhältnis	%
S	gleich A_c für q_c und gleich A_f für f_s	mm^2
t	Zeit	s
t_{50}	Zeit, die für das Abklingen von 50 % der Porenwasserdruckdifferenz benötigt wird	s
U	normalisierte Porenwasserdruckdifferenz	
u	Porenwasserdruck	MPa
u_a	erkennbarer Porenwasserdruck	MPa
U_{Ac}	erweiterte Messunsicherheit für die Querschnittsfläche des Kegels	mm^2
u_{Ac}	kombinierte Standardmessunsicherheit für die Querschnittsfläche des Kegels	mm^2
u_{ac}	temperaturkorrigierter erkennbarer Porenwasserdruck	MPa
U_{As}	erweiterte Messunsicherheit für die Fläche der Reibungshülse	mm^2
u_{As}	kombinierte Standardmessunsicherheit für die Fläche der Reibungshülse	mm^2
U_c	erweiterte Messunsicherheit für die Kalibrierung von Spitzenwiderstand und der Mantelreibung	kPa
u_c	kombinierte Standardmessunsicherheit für die Kalibrierung	kN
$u_{c,dim}$	kombinierte Standardmessunsicherheit von u_c und u_{dim}	kPa
U_{cfs}	erweiterte Messunsicherheit für die Kalibrierung der Mantelreibung	kPa
U_{class}	Messunsicherheit für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze	kPa
U_{cqc}	erweiterte Messunsicherheit für die Kalibrierung des Spitzenwiderstands	kPa
u_{d2}	kombinierte Standardmessunsicherheit für den Durchmesser der Reibungshülse	mm^2
u_{dc}	kombinierte Standardmessunsicherheit für den Durchmesser des Kegels	mm^2
u_{dim}	kombinierte Standardmessunsicherheit gleich u_{Ac} für q_c und gleich u_{As} für f_s	mm^2
$U_{fs:class}$	Messunsicherheit der Mantelreibung für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze	kPa
u_i	anfänglicher Porenwasserüberdruck ($t=0$) zur Zeit des Dissipationsversuchs	kPa

Symbol	Bezeichnung	Einheit
u_i	jeder der Messunsicherheitseinflüsse wird für die Berechnung der kombinierten Standardmessunsicherheit berücksichtigt	
U_{inc}	erweiterte Messunsicherheit für die Neigung der Drucksondierspitze	°
u_{inc}	kombinierte Standardmessunsicherheit für die Neigung der Drucksondierspitze	°
u_{ls}	kombinierte Standardmessunsicherheit für die Länge der Reibungshülse	mm
$U_{\text{qc:class}}$	Messunsicherheit des Spitzenwiderstands für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze	kPa
u_{r}	während der Kalibrierung ausgeübter Referenzdruck	MPa
u_{ref}	Standardunsicherheit des Referenz-Messgeräts	
u_t	Porenwasserdruck zur Zeit t des Dissipationsversuchs	MPa
U_u	erweiterte Messunsicherheit des Porenwasserdrucks	kPa
$U_{u:\text{class}}$	Messunsicherheit des Porenwasserdrucks für die Bestimmung der Klasse der Drucksondierspitze	kPa
u_o	Porenwasserdruck in situ	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
v	relativer Reversibilitätsfehler des Sensors	
X_a	berechneter Wert der aus der Interpolationsgleichung erhaltenen Auslenkung	
X_i	Ausgangswert der Auslenkung für eine Kalibrierstufe der Serie i	
X_N	der Wert von F_{qc} (oder F_{fs}) entsprechend F_N	kN
$\overline{X_r}$	Mittelwert der Werte X_i	kN
$\overline{X_{\text{wr}}}$	Mittelwert der Werte X_i ohne Drehung	kN
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	°
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	°
Δb_{fs}	Einfluss der Biegung auf die Mantelreibung	kPa/N
Δb_{qc}	Einfluss der Biegung auf den Spitzenwiderstand	kPa/N
Δb_u	Einfluss der Biegung auf den Porenwasserdruck	kPa/N
Δa_{fs}	Umgebungstemperaturstabilität der Mantelreibung	kPa/°C
Δa_{fsc}	Umgebungstemperaturstabilität der korrigierten Mantelreibung	kPa/°C
Δa_{qc}	Umgebungstemperaturstabilität des Spitzenwiderstands	kPa/°C

Symbol	Bezeichnung	Einheit
Δa_{qcc}	Umgebungstemperaturstabilität des korrigierten Spitzenwiderstands	kPa/°C
Δa_u	Umgebungstemperaturstabilität des Porenwasserdrucks	kPa/°C
Δa_{uc}	Umgebungstemperaturstabilität des korrigierten Porenwasserdrucks	kPa/°C
Δt_{fs}	Temperaturtransientenstabilität der Mantelreibung	kPa/°C
Δt_{fsc}	Temperaturtransientenstabilität der korrigierten Mantelreibung	kPa/°C
Δt_{qc}	Temperaturtransientenstabilität des Spitzenwiderstands	kPa/°C
Δt_{qcc}	Temperaturtransientenstabilität des korrigierten Spitzenwiderstands	kPa/°C
Δt_u	Temperaturtransientenstabilität des Porenwasserdrucks	kPa/°C
Δt_{uc}	Temperaturtransientenstabilität des korrigierten Porenwasserdrucks	kPa/°C

4 Gerät

4.1 Allgemeines

4.1.1 Toleranzen

Die Maßtoleranzen sind Toleranzen während der Versuchsdurchführung.

Die Toleranz für die Oberflächenrauigkeit ist eine Fertigungstoleranz.

4.1.2 Fugen und Abdichtungen gegen Eintrag von Bodenmaterialien

Fugen zwischen verschiedenen Teilen der Drucksondierspitze dürfen eine Breite von 5 mm nicht überschreiten. Eine Abdichtung muss die Fuge schützen, um zu verhindern, dass Bodenteilchen die Messung beeinflussen.

Die Abdichtung gegen Eintrag von Bodenmaterialien muss sich relativ zum Messwertgeber und zu den anderen Bestandteilen der Drucksondierspitze leicht verformen, um die Übertragung wesentlicher Kräfte über der Fuge zu verhindern.

4.2 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 von gebräuchlichen Drucksondierspitzen variiert zwischen 0,5 und 0,9.

4.3 Oberflächenrauigkeit und -härte

Der Kegel und die Reibungshülse der Drucksondierspitze müssen eine Fertigungshärte von mindestens 45 HRc aufweisen. Die Rockwell-Härteskala C ist in ISO 6508-1:2016 definiert.

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

ANMERKUNG Mit der Anforderung an die Oberflächenrauigkeit wird beabsichtigt, die Verwendung einer „ungewöhnlich glatten“ oder „ungewöhnlich rauen“ Sondierspitze oder Reibungshülse zu verhindern. Stahl, einschließlich gehärteten Stahls, 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.

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 $1\,000\text{ mm}^2$ 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:

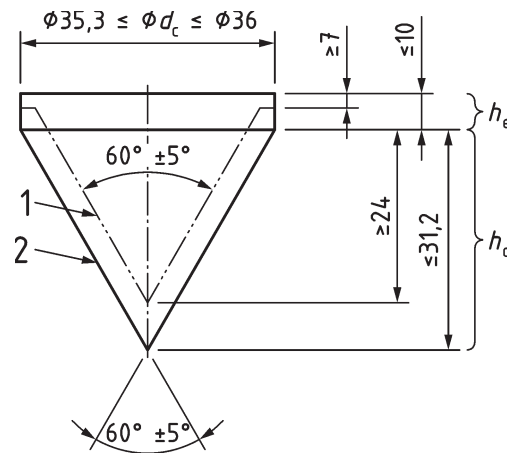
$$24,0\text{ mm} \leq h_c \leq 31,2\text{ mm}$$

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

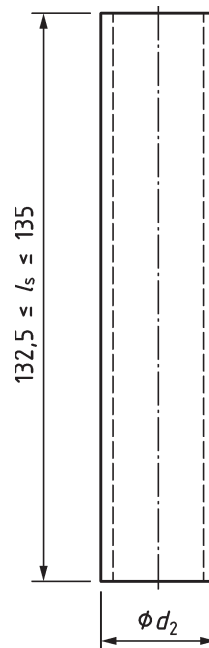
Bild 4 — Anforderungen an die Toleranzen beim Gebrauch von Drucksondierspitzen mit einer Querschnittsfläche von 1 000 mm²

4.5 Reibungshülse

Die Reibungshülse muss unmittelbar oberhalb des Kegels angeordnet sein. Der Abstand infolge von Fugen und Abdichtungen gegen Eintrag von Bodenmaterial darf 5,0 mm nicht überschreiten.

Die Oberfläche A_s 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 von 3 bis 5 sind zulässig.



Legende

l_s Länge der Reibungshülse

d_2 Durchmesser der Reibungshülse

Bild 5 — Geometrie und Toleranzen der Reibungshülse

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

Der Durchmesser d_2 der Reibungshülse muss innerhalb der folgenden 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. Dies ist 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 µm und 20 µm aufweisen, was einer Durchlässigkeit zwischen 10⁻⁴ m/s und 10⁻⁵ m/s entspricht. Filtermaterialien, die verstopfen, sollten vermieden werden.

ANMERKUNG 3 Die folgenden Materialarten wurden mit guten Erfahrungen in weichen, normal konsolidierten Tonen verwendet: gesinterter nichtrostender Stahl, Siliciumcarbid, Keramik, poröses PVC (Polyvinylchlorid) und HDPE (hochdichtes Polyethylen) 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 4 Im Hinblick auf die Auswahl der Sättigungsflüssigkeit, der Sättigung des Porenwasserdruckmesssystems und der Anwendung von Schlitzfiltern siehe Anhang F.

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.

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