

DIN EN ISO 18674-4



ICS 13.080.20; 93.020

Einsprüche bis 2019-09-12

Entwurf

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Geotechnische Messungen –
Teil 4: Porenwasserdruckmessungen: Piezometer (ISO/DIS 18674-4:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18674-4:2019**

Geotechnical investigation and testing –
Geotechnical monitoring by field instrumentation –
Part 4: Measurement of pore water pressure: Piezometers (ISO/DIS 18674-4:2019);
German and English version prEN ISO 18674-4:2019

Reconnaissance et essais géotechniques –
Surveillance géotechnique par instrumentation in situ –
Partie 4: Titre manque (ISO/DIS 18674-4:2019);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18674-4:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-07-12 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, 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 111 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18674-4:2019) 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 CEN/TC 341/WG 5 sowie ISO/TC 182/WG 2, WG 5, WG 6, WG 7 und WG 8)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

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

ISO 22476-1:2012+Cor.1:2013 siehe DIN EN ISO 22476-1:2013-10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 22476-1:2013-10, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen — Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO 22476-1:2012 + Cor. 1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 22476-1:2012 + AC:2013*

Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geotechnische Messungen — Teil 4: Porenwasserdruckmessungen: Piezometer (ISO/DIS 18674-4:2019)

Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ — Partie 4 : Titre manque (ISO/DIS 18674-4:2019)

Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 4: Measurement of pore water pressure: Piezometers (ISO/DIS 18674-4:2019)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
Vorwort.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole	13
5 Messeinrichtungen	13
5.1 Allgemeines.....	13
5.2 Offene Piezometersysteme	16
5.3 Geschlossene Piezometersysteme.....	19
5.4 Gegenüberstellung von Absolut- und Relativmessung und Kompensation des atmosphärischen Drucks.....	23
5.5 Anforderungen an Filter	25
5.6 Messbereich und Genauigkeit.....	26
6 Einbau und Messdurchführung	26
6.1 Einbau	26
6.2 Messdurchführung.....	31
7 Datenverarbeitung und Auswertung.....	32
8 Bericht	32
8.1 Installationsbericht.....	32
8.2 Messtechnischer Bericht.....	32
Anhang A (normativ) Mess- und Auswertungsverfahren	33
A.1 Offene Piezometer.....	33
A.1.1 Messverfahren.....	33
A.1.2 Auswertungsverfahren.....	34
A.2 Geschlossene Piezometer	36
A.2.1 Messverfahren.....	36
A.2.2 Auswertungsverfahren.....	37
Anhang B (informativ) Geotechnische Anwendungen.....	39
Anhang C (informativ) Schutz des Piezometers auf Bodenhöhe	41
C.1 Allgemeines.....	41
C.2 Offene Systeme.....	41
C.3 Geschlossene Systeme	43
Anhang D (informativ) Ansprechzeit bei Messungen des Porenwasserdrucks.....	44
Anhang E (normativ) Einbau von Piezometern durch vollständiges Verpressen.....	46
Anhang F (normativ) Messung des negativen Porenwasserdrucks (Bodensaugdruck).....	48

Anhang G (informativ) Beispiele für Messungen.....	49
G.1 Allgemeines.....	49
G.2 Offenes Standrohr-Piezometer	49
G.3 Geschlossenes Piezometer: Membran-Piezometer (Schwingsaitensensor)	52
G.4 Geschlossenes Piezometer: pneumatisches Piezometer	57
Literaturhinweise	61

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18674-4:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 18674-4:2019 wurde von CEN als prEN ISO 18674-4:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (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 Themen 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*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 18674 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

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

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Festlegungen für die mit Piezometern durchgeführte Messung von Porenwasserdrücken und piezometrischen Pegeln in gesättigtem Baugrund zum Zweck der geotechnischen Überwachung. Die allgemeinen Regeln für die messtechnische Überwachung des Baugrunds, der mit dem Baugrund in Wechselwirkung stehenden Bauwerke, geotechnischer Auffüllungen und geotechnischer Bauarbeiten sind in ISO 18674-1:2015 angegeben.

In Verbindung mit ISO 18674-5 erlauben die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren die Bestimmung der im Baugrund wirkenden effektiven Spannungen.

Dieses Dokument gilt für:

- die Überwachung von auf und in geotechnischen Bauwerken (z. B. Kaimauern, Deiche, Baugrubenwände, Gründungen, Dämme, Tunnel, Böschungen, Aufschüttungen usw.) vor, während und nach dem Bau wirkenden Wasserdrücken;
- die Überwachung von Festigungsprozessen von Böden und Schüttmaterial (z. B. unterhalb von Gründungen und in Aufschüttungen);
- die Bewertung der Stabilität und Gebrauchstauglichkeit von geotechnischen Bauwerken;
- die Überprüfung geotechnischer Entwürfe im Zusammenhang mit der Beobachtungsmethode.

ANMERKUNG Dieses Dokument erfüllt die Anforderungen für die mittels Piezometern durchgeführte messtechnische Überwachung des Baugrunds, der mit dem Baugrund in Wechselwirkung stehenden Bauwerke und geotechnischer Bauarbeiten im Rahmen der geotechnischen Erkundung und Untersuchung nach den Verweisungen [1] und [2]. Dieses Dokument bezieht sich auf Messgeräte, die im Baugrund platziert werden. Für Informationen zu im Zusammenhang mit Drucksondierungen durchgeführten Porenwasserdruckmessungen siehe ISO 22476-1.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

EN ISO 14689-1, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels — Teil 1: Benennung und Beschreibung*

EN ISO 18674-1:2015, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geotechnische Messungen — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN ISO 22475-1:2006, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung*

ISO 22476-1:2012+Cor.1:2013, *Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 18674-1:2015 und die folgenden Begriffe.

3.1

Piezometer

Feldmessgerätesystem für die Messung des Porenwasserdrucks (siehe 3.2) oder piezometrischen Pegels (siehe 3.4), bei der der Messpunkt innerhalb des Baugrunds liegt, sodass die Messung auf den den gemessenen Bereich/den Messpunkt umgebenden Fluiddruck anspricht und nicht auf Fluiddrücke auf einer anderen Höhe

Anmerkung 1 zum Begriff: Das System besteht aus einem abgedichteten, mit einem Fluid gefüllten Reservoir (siehe 3.1.2), einem Filter (siehe 3.1.3) und einem Messgerät (siehe 3.1.7).

Anmerkung 2 zum Begriff: Es handelt sich entweder um ein offenes System (siehe 3.6) oder um ein geschlossenes System (siehe 3.7).

3.1.1

Zuflussbereich

Bereich, der von Dichtungen begrenzt ist, zwischen denen Wasser im Baugrund zum Messgerät fließen kann, wodurch der Messpunkt definiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Es wird angenommen, dass sich entlang des Zuflussbereichs eine hydrostatische Porenwasserdruckverteilung einstellt.

3.1.1.1

Zuflussfaktor

Proportionalitätskonstante zwischen dem Zufluss in ein Piezometer oder dem Abfluss aus einem Piezometer heraus und der Änderung des Porenwasserdrucks

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Zuflussfaktor muss beim Entwurf von Piezometern mit Filterpackungen (siehe 3.1.5) berücksichtigt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Anhang D.

3.1.2

Reservoir

Raum zwischen dem Baugrund und dem Messgerät (siehe 3.1.7), der mit einem Fluid ausgefüllt ist, wodurch der Porenwasserdruck auf den Signalgeber des Messgeräts wirken kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Poren innerhalb des Filters (siehe 3.1.3) sind untrennbarer Bestandteil des Reservoirs.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei offenen Piezometersystemen (siehe 3.6) ist der wassergefüllte Teil des Standrohrs Teil des Reservoirs.

3.1.3

Filter

durchlässiger Abschnitt eines Piezometers, der den Zuflussbereich (siehe 3.1.1) definiert. Er ermöglicht das Eindringen von Wasser und verhindert zugleich das Eindringen von Bodenpartikeln in das Standrohr oder das Messgerät

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Filter kann aus einer Kombination von Bauelementen wie etwa Sandtaschen, gelochten Rohren, geotextilen Schläuchen, Filterspitzen und, in besonderen Fällen, Injektionsgutverfüllungen bestehen.

3.1.4

Filterspitze

Filterelement als ein häufig verwendeter Bestandteil eines geschlossenen Piezometersystems

Anmerkung 1 zum Begriff: Filterspitzen bestehen aus einem Werkstoff mit speziell ausgelegten Porendurchmessern (siehe 3.1.4.1 und 3.2.4.2).

3.1.4.1

Filter mit hohem Lufteindringwiderstand

Filterspitze mit vergleichsweise kleinen Poren, die einen höheren Widerstand gegen das Durchströmen mit Luft als gegen das Durchströmen mit Wasser bieten

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise liegen die Porendurchmesser von Filterspitzen mit hohem Lufteindringwiderstand zwischen 1 und 3 Mikrometer.

Anmerkung 2 zum Begriff: HAE-Filterspitzen (en: high air entry) werden verwendet, um das Eindringen von Gasen in das Messgerät zu verhindern.

Anmerkung 3 zum Begriff: In ungesättigtem Boden oder bei der Messung von negativen Wasserdrücken (d. h. Saugdruck, siehe Anhang F) ist der Druck der gasförmigen Phase stets höher als der Porenwasserdruck. Der erforderliche Porendurchmesser der HAE-Filterspitze ist abhängig von der Differenz zwischen dem Porenluftdruck und dem Porenwasserdruck.

3.1.4.2

Filter mit niedrigem Lufteindringwiderstand

Filterspitze mit vergleichsweise großen Poren, die einen geringeren Widerstand gegen das Durchströmen mit Luft bieten und das Durchströmen sowohl mit Luft als auch mit Wasser ermöglichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise liegen die Porendurchmesser von Filterspitzen mit niedrigem Lufteindringwiderstand zwischen 20 und 50 Mikrometer.

3.1.5

Filterpackung

durchlässiger Werkstoff, der einen geschlitzten Abschnitt eines offenen Piezometers oder einer Filterspitze umhüllt und ermöglicht, dass Wasser an das Messgerät gelangt

3.1.6

Dichtung

Schicht in einem Bohrloch, die aus einem Werkstoff mit einer Durchlässigkeit besteht, die zur hydraulischen Trennung von zwei Grundwasserleitern geeignet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dichtungen werden allgemein verwendet, um Zuflussbereiche zu begrenzen.

3.1.7

Messgerät

Teil des Piezometersystems, der zum Messen des piezometrischen Pegels in einem offenen System oder des Porenwasserdrucks in einem geschlossenen System verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei offenen Piezometersystemen (siehe 3.6) handelt es sich bei dem Messgerät üblicherweise um ein Wasserstandsmessgerät (siehe 3.1.7.1) für manuelle Messungen oder um einen Drucksensor für automatische Messungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei geschlossenen Piezometersystemen (siehe 3.7) handelt es sich bei dem Messgerät üblicherweise um einen Membran-Drucksensor (siehe 7 in Bild 1b). Die Membran trennt die innere und äußere Kammer des Sensors, wobei die Durchbiegung der Membran eine Funktion des Porenwasserdrucks ist (siehe Bild 3).

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei geschlossenen Piezometersystemen wird das Messgerät häufig synonym als Piezometer im engeren Sinne bezeichnet.

3.1.7.1

Wasserstandsmessgerät

Messgerät mit einem mit einer Längeneinteilung versehenen Maßband und einer Spitze, die ein Signal (Licht, Ton) auslöst, wenn sie in Kontakt mit Wasser gerät

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Wasserstandsmessgerät wird üblicherweise für manuelle Messungen in offenen Systemen oder während des Einbaus von Piezometern verwendet.

3.1.7.2

elektrisches Piezometer

Piezometer, bei dem das Messgerät mit einer Membran ausgestattet ist und die vom Porenwasserdruck abhängige Durchbiegung der Membran von einem elektrischen Sensor gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Elektrische Piezometer basieren üblicherweise auf Dehnungsmessstreifen, piezoelektrischen Sensoren, Schwingsaiten oder kapazitiven Sensoren. Es existieren Geräte zur fernerkundlichen Aufnahme für alle Arten von elektrischen Piezometern.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 3.

3.1.7.3

faseroptisches Piezometer

Piezometer, bei dem das Messgerät mit einer Membran ausgestattet ist, und bei dem die Durchbiegung der Membran von einem optischen Sensor gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei faseroptischen Piezometern ist keine elektrische Verbindung zwischen Ableseeinheit und Sensor erforderlich.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für faseroptische Piezometer werden spezielle Ableseeinheiten benötigt.

3.1.7.4

pneumatisches Piezometer

Piezometer, bei dem das Druckmessgerät mit einem Ventil ausgestattet ist, das aufgrund eines Gasdrucks, der von außen über gasgefüllte Schläuche beaufschlagt wird, pneumatisch öffnet und aufgrund des Porenwasserdrucks schließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.2

Porenwasserdruck

u

Druck des Wassers in den Hohlräumen im Baugrund oder in einer Aufschüttung

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Porenwasserdruck ist die Differenz zwischen der totalen Spannung und der effektiven Spannung in gesättigtem Baugrund (siehe Verweisungen [3] und [6]).

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Fels lautet die zugehörige Benennung Kluftwasserdruck.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Zustand von Böden oder Aufschüttungen, bei dem die Poren vollständig mit Wasser gefüllt sind, wird als „gesättigt“ bezeichnet.

Anmerkung 4 zum Begriff: Messungen des Porenwasserdrucks können positive oder negative Werte ergeben (siehe Verweisung [4] und Anhang F). Messgeräte, mit denen negative Porendrücke direkt gemessen werden können, werden gelegentlich als „Tensiometer“ bezeichnet, sie fallen jedoch nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm.

Anmerkung 5 zum Begriff: Änderungen des Porenwasserdrucks können durch Änderungen des atmosphärischen Luftdrucks beeinflusst werden.

3.3

Druckhöhe

ψ

Verhältnis u/γ_w des Porenwasserdrucks u und der Wichte des Wassers γ_w oberhalb eines Punkts

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem offenen Piezometersystem (siehe 3.6) ist die Druckhöhe proportional zum Höhenunterschied zwischen dem piezometrischen Pegel (siehe 3.4) und der Höhe des Messpunkts (siehe 3.15 und Bild 1).

3.4

piezometrischer Pegel

z_w

Höhe, bis auf die Wasser in einem offenen Standrohr-Piezometer (siehe 3.6.1) steigt und gleich der Höhe ist, bei der der Druck des Wassers im Baugrund dem atmosphärischen Luftdruck entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Der piezometrische Pegel z_w ist die Summe der geometrischen Höhe z und der Druckhöhe ψ (siehe 3.3): $z_w = z + u/\gamma_w$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.5

Grundwasserspiegel

Höhe, unterhalb derer die Poren vollständig mit Grundwasser gefüllt sind, sodass ein „gesättigter Zustand“ vorherrscht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine alternative Benennung ist phreatische Oberfläche.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Grundwasserspiegel ist das Niveau des Grundwasserspiegels an einer geographischen Koordinate.

3.6

offenes (Piezometer-) System

Feldmessgerätesystem, bei dem das Fluid in direktem Kontakt mit der Atmosphäre steht, und der piezometrische Pegel (siehe 3.4) am Messpunkt gemessen wird

3.6.1

offenes Standrohr-Piezometer

offenes Piezometersystem, das aus einem (in ein Bohrloch eingebrachtes) Rohr besteht, dessen oberes Ende zur atmosphärischen Umgebung hin offen ist und einen perforierten Abschnitt aufweist, der sich im Zuflussbereich befindet

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Bild 1a) und Bild 2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Innendurchmesser des Rohrs beträgt üblicherweise 19 mm bis 60 mm.

3.6.2

Casagrande-Piezometer

offenes Standrohr-Piezometer mit ein oder zwei Rohren mit vergleichsweise kleinem Innendurchmesser und einer porösen Filterspitze am Messpunkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 5.2.2.3, Bild 2 und Verweisung [5].

3.6.3

Grundwassermessstelle

offenes Standrohr-Piezometer mit einem großen Innendurchmesser des Rohrs (üblicherweise ≥ 100 mm)

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Grundwassermessstelle darf als Standrohr-Piezometer verwendet werden, falls die Ansprechzeit zufriedenstellend ist (siehe Anhang D).

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Grundwassermessstelle wird häufig für die Probenahme von Grundwasser oder die Durchführung von Pumpprüfungen genutzt.

3.6.4

Beobachtungsbrunnen

offenes Rohr innerhalb eines Bohrlochs, bei dem der Zuflussbereich freiliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Beobachtungsbrunnen werden häufig fälschlicherweise als offenes Standrohr-Piezometer bezeichnet. Beobachtungsbrunnen fallen nicht unter den Begriff des Piezometers, da sie nicht mit Dichtungen ausgestattet sind.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 5.2.2.2.2.

3.7

geschlossenes (Piezometer-) System

Messsystem, in dem das Reservoir (siehe 3.1.2) nicht in direktem Kontakt mit der Atmosphäre steht, und in dem der Druck im Fluid mit einem Druckmessgerät gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1 b) und Bild 3 bis Bild 5.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beispiele für in geschlossenen Systemen verwendete Druckmessgeräte sind elektrische Sensoren, faseroptische Sensoren und Druckventile (siehe 3.1.7.2 bis 3.1.7.4).

3.7.1

Membran-Piezometer

geschlossenes System mit einer Filterspitze, einem kleinen Reservoir und einer Membran, die das Porenwasser vom Messsystem abtrennt, und bei dem die Durchbiegung der Membran gemessen und das Signal durch ein Kabel zu einer zugänglichen Stelle geleitet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Mögliche Membran-Piezometer sind elektrische Piezometer (siehe 3.1.7.2) oder faseroptische Piezometer (siehe 3.1.7.3).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Druck wird im an die Filterspitze angrenzenden Bereich gemessen.

3.7.2

geschlossenes hydraulisches Piezometer mit zwei Rohren

geschlossenes System mit einer porösen Keramikfilterspitze, die sich innerhalb eines Zuflussbereichs befindet und über zwei fluidgefüllte Rohre mit einem entfernt gelegenen Standort verbunden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Druckmessung findet am entfernt gelegenen Standort statt, nicht an der Filterspitze. Die Messungen müssen um Höhenunterschiede zwischen der Filterspitze und dem entfernt gelegenen Standort korrigiert werden.

3.7.3

Sonden-Piezometer

geschlossenes System, bei dem ein bewegliches Messgerät in ein Rohr eingebracht wird, das mit einem oder mehreren Messfenstern ausgestattet ist, die jeweils in einem Zuflussbereich liegen

3.8

Multilevel-Piezometer

System mit mehreren dauerhaft auf verschiedenen Höhen im Baugrund installierten Messpunkten, bei dem jeder Messpunkt einen eigenen Zuflussbereich hat

3.9

hydrodynamische Zeitverzögerung

Zeitspanne zwischen einer Änderung des Porenwasserdrucks im Baugrund und der damit verbundenen Änderung in der Messung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Zeitverzögerung ist hauptsächlich von der Art und den Abmessungen des Piezometers (im Wesentlichen der Größe des Reservoirs), der Durchlässigkeit des Baugrunds und dem Einbauverfahren abhängig (siehe Anhang D).

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine alternative Benennung ist Ansprechzeit. Die Bezeichnung „langsame Ansprechzeit“ des Piezometers ist synonym für eine lange hydrodynamische Zeitverzögerung.

3.10

Grundwasserleiter

großes, in Körpern aus durchlässigem Gestein und/oder Sediment konzentriertes Vorkommen an Grundwasser

3.11

ungespannter Grundwasserleiter

Grundwasserleiter, der zur Oberfläche hin nicht mit einem Grundwasserhemmer bedeckt ist

3.12

gespannter Grundwasserleiter

Grundwasserleiter, der von einem Grundwasserhemmer bedeckt ist, wobei der piezometrische Pegel vom Grundwasserspiegel abweichen kann

3.13

Grundwasserhemmer

Schicht aus Fels oder Boden, die den Grundwasserfluss einschränkt

3.14

Grundwassernichtleiter

Grundwasserhemmer, der zwei Grundwasserleiter voneinander trennt

3.15

Messpunkt

Punkt im Baugrund, auf den sich der Porenwasserdruck bezieht

4 Symbole

Symbol	Benennung	Einheit
A	Querschnittsfläche des Standrohrs	m^2
d	Bohrlochdurchmesser/Durchmesser des Zuflussbereichs	m
D	Durchmesser eines Standrohrs	m
F	Zuflussfaktor	—
GWT	Grundwasserspiegel	m
HAE	hoher Lufteindringwiderstand	—
k_s	hydraulische Leitfähigkeit des Bodens	m/s
k_g	hydraulische Leitfähigkeit des Injektionsguts	m/s
L	Länge des Zuflussbereichs	m
LAE	niedriger Lufteindringwiderstand	—
p	Druck	kPa
q_u	einaxiale Druckfestigkeit	Pa
RL	Bezugshöhe	m
t	Zeit	
u	Porenwasserdruck	kPa
z	geometrische Höhe	m
z_{mp}	geometrische Höhe der Messpunkte	m
z_w	piezometrischer Pegel	m
γ_w	Einheitsgewicht des Wassers	kN/m^3
Ψ	Druckhöhe	m

5 Messeinrichtungen

5.1 Allgemeines

5.1.1 Es sollte zwischen offenen Piezometersystemen und geschlossenen Piezometersystemen unterschieden werden (siehe Tabelle 1 und Bild 1).

Tabelle 1 — Typen von Piezometern

Nr.	Typ	Untertyp	Merkmal
1	offenes Piezometersystem (siehe 5.2)	<ul style="list-style-type: none"> — offenes Standrohr-Piezometer — Grundwassermessstelle — Casagrande-Piezometer 	<p>Ein Filter und ein Reservoir, im Baugrund installiert und offen zur Atmosphäre.</p> <p>Das Messgerät ist ausbaubar. Die Ablesung kann entweder manuell oder automatisch erfolgen.</p> <p>Ein Hauptvorteil von offenen Systemen ist die Möglichkeit, die automatischen Messungen durch manuelle Messungen zu überprüfen.</p> <p>Die Ansprechzeit von offenen Piezometern ist in schwach durchlässigen Böden möglicherweise unzureichend.</p>
2	Geschlossenes Piezometersystem (siehe 5.3)	<ul style="list-style-type: none"> — elektrisches, faseroptisches oder Sonden-Piezometer — pneumatisches Piezometer — Piezometer mit zwei Rohren 	<p>Ein Filter, ein Reservoir und ein Drucksensor sind im Baugrund installiert und zur Atmosphäre hin abgeschlossen.</p> <p>Bei Verwendung spezieller Systeme sind ausbaubare Drucksensoren möglich.</p> <p>Geschlossene Systeme haben üblicherweise eine kürzere Zeitverzögerung als offene Systeme.</p>

5.1.2 Die Auswahl zwischen offenen oder geschlossenen Systemen sollte nach dem Überwachungsplan (siehe ISO 18674-1:2015, 4.3) und unter Berücksichtigung der hydrodynamischen Zeitverzögerung des Systems erfolgen (siehe Anhang D).

ANMERKUNG Klimatische Bedingungen spielen bei der Auswahl zwischen einem offenen und geschlossenen System ebenfalls eine wichtige Rolle. Beispielsweise ist bei Frostgefahr ein geschlossenes System vorzuziehen.

5.1.3 Der Zuflussbereich sollte auf einen angemessen kurzen vertikalen Abschnitt des Grundwasserleiters begrenzt sein.

ANMERKUNG Porenwasserdrücke können je nach Tiefe oder in geschichteten Grundwasserleitern oder bei vertikalem Grundwasserdurchfluss variieren

5.1.4 Alle für den Einbau im Baugrund bestimmten Bauteile und Geräte müssen ausreichend widerstandsfähig gegen mechanische Belastung und chemischen Angriff durch Bestandteile des Grundwassers sein. Reaktionen zwischen den verwendeten Werkstoffen und dem Baugrund, insbesondere das Auftreten galvanischer Effekte, müssen verhindert werden.

ANMERKUNG Galvanische Effekte können eine Änderung des Porenwasserdrucks zur Folge haben. Dieser Effekt wird durch Gase verursacht, die aufgrund von elektrischen Strömen entstehen, die von galvanischen Elementen ausgehen, die aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Metalle oder Legierungen in der Piezometerspitze erzeugt werden.



GL	Bodenhöhe	A	ungesättigter Bereich	B	gesättigter Bereich
I	ungespannter Grundwasserleiter	II	Grundwassernichtleiter	III	gespannter Grundwasserleiter
Z _w	piezometrischer Pegel	GWT	Grundwasserspiegel	RL	Bezugshöhe (z. B. Meeresspiegel)
1a	Wasserstandsmessgerät	1b	Ableseeinheit mit Barometer	2a	belüftete obere Verschlusskappe mit Grundplatte
2b	Grundplatte	3a	Standrohr	3b	Signalkabel
4	Verfüllung	5	Bohrlochwand	6	Dichtung
7a	perforierter oder geschlitzter Abschnitt	7b	Druckmessgerät	7b1	innere Kammer mit Filterspitze
7b2	äußere Kammer	7e	untere Verschlusskappe	8	Filterpackung
9	Zuflussbereich	10	Druckhöhe	11	Höhe des Messpunkts

Bild 1 — Typen von Piezometersystemen

5.2 Offene Piezometersysteme

5.2.1 Allgemeines

5.2.1.1 Ein offenes Piezometersystem muss folgende Bauteile umfassen: einen den Messpunkt umgebenden Filter, eine Dichtung oberhalb des Filters und ein offenes Rohr, das vom Filter ausgehend durch die Dichtung nach oben zur Geländeoberkante reicht.

BEISPIEL Siehe Bild 1a)

ANMERKUNG 1 Zwischen dem Wasserdruck am piezometrischen Pegel und dem atmosphärischen Luftdruck herrscht ein Gleichgewicht.

ANMERKUNG 2 Falls das Bohrloch tiefer reicht als der Zuflussbereich, kann eine Dichtung unterhalb des Filters erforderlich sein. Es hat sich außerdem bewährt, eine Dichtung unterhalb des Filters zu verwenden, falls eine horizontale Durchströmung erforderlich ist (z. B. für die Durchführung von Versuchen mit steigender oder fallender Druckhöhe).

5.2.1.2 Der Messpunkt eines offenen Piezometers ist als Mittelpunkt des Zuflussbereichs definiert.

ANMERKUNG 1 Der am Messpunkt eines offenen Piezometers gemessene piezometrische Pegel wird durch den Zuflussbereich beeinflusst. Es wird davon ausgegangen, dass über die Höhe des Zuflussbereichs eine hydrostatische Druckverteilung vorherrscht.

ANMERKUNG 2 Bei einem offenen Piezometer ist der Messpunkt nicht an die Position des Messgeräts gebunden. Beispielsweise ist bei der Verwendung eines Drucksensors in einem offenen Piezometer der Messpunkt weiterhin der Mittelpunkt des Zuflussbereichs, der üblicherweise nicht der Position des Drucksensors entspricht.

5.2.1.3 Die Verschlusskappe am oberen Ende des Standrohrs muss mit einer Lüftungsöffnung ausgestattet sein, damit unbegrenzte Schwankungen des Wasserstands im Rohr möglich sind.

5.2.1.4 Messungen können entweder durch die Bestimmung des piezometrischen Pegels (z. B. mit einem Wasserstandsmessgerät) oder durch die Messung des Wasserdrucks im Standrohr in einer festgelegten Tiefe unterhalb des piezometrischen Pegels (z. B. mit einem Drucksensor) erfolgen.

ANMERKUNG Wenn zur Bestimmung des piezometrischen Pegels ein Drucksensor verwendet wird, muss ein Ausgleich von Schwankungen des atmosphärischen Luftdrucks in Betracht gezogen werden (siehe 5.4).

5.2.1.5 Piezometrische Pegel oberhalb der Bodenhöhe bedeuten ein Überlaufen des Standrohrs und werden als „artesisch“ bezeichnet. In diesen Fällen kann das Standrohr auf eine Höhe über dem höchsten piezometrischen Pegel verlängert werden, oder das offene System kann in ein geschlossenes System (siehe 5.3) umgewandelt werden, z. B. indem ein Druckmessgerät mit Dichtungsmittel am oberen Ende des Standrohrs angebracht wird.

5.2.2 Typen offener Piezometersysteme

Offene Piezometersysteme können folgenden Typs sein:

- offenes Standrohr-Piezometer
- Grundwassermessstelle
- Casagrande-Piezometer

5.2.2.1 Offenes Standrohr-Piezometer

Ein offenes Standrohr-Piezometer muss aus folgenden Komponenten bestehen:

- einem geraden Rohr mit einem Mindestinnendurchmesser von 12 mm;

ANMERKUNG 1 Dieser Mindestinnendurchmesser ist üblicherweise für selbstentlüftende Systeme mit offenem Standrohr erforderlich.

ANMERKUNG 2 Bei der Auswahl des Innendurchmessers sind im Wesentlichen der Zustand des Baugrunds und die hydrodynamische Zeitverzögerung zu berücksichtigen. Röhre mit größerem Durchmesser verursachen eine längere hydrodynamische Zeitverzögerung.

- einem geschlitzten oder perforierten Abschnitt im unteren Teil des Standrohrs;

ANMERKUNG Bei Verwendung in stark durchlässigem Baugrund mit großen und raschen Wasserschwankungen müssen die Öffnungen im perforierten oder geschlitzten Rohr ausreichend groß sein, damit der Strömungswiderstand minimiert wird.

- einer den geschlitzten oder perforierten Abschnitt des Standrohrs umgebenden Filterpackung nach 5.5.1.1 und 5.5.1.2;
- einer Abdichtung mit mindestens einem Meter Länge in einem Grundwasserhemmer. Die Lage und Länge der Abdichtung sollten an den Zustand des Baugrunds angepasst werden.

ANMERKUNG 1 Wenn kein Grundwasserhemmer vorhanden ist, ist die Abdichtung dennoch erforderlich, um den Zuflussbereich zu begrenzen und zu verhindern, dass Regenwasser direkt in das Piezometersystem eindringt.

ANMERKUNG 2 Wenn Tonpellets als Abdichtung verwendet werden, muss sich mindestens 1 m der Abdichtung unterhalb des Grundwasserspiegels befinden, damit die Pellets aufquellen können. Wenn dies nicht möglich ist, sollte eine Injektionsmischung als Abdichtung verwendet werden.

5.2.2.2 Grundwassermessstelle

5.2.2.2.1 Eine Grundwassermessstelle (siehe 3.6.3) mit geeigneten Dichtungen darf als offenes Standrohr-Piezometer (siehe 5.2.2.1) genutzt werden, sofern die Ansprechzeit akzeptabel ist.

5.2.2.2.2 Grundwassermessstellen sollten klar von Beobachtungsbrunnen unterschieden werden.

ANMERKUNG Beobachtungsbrunnen (siehe 3.6.4) fallen nicht unter den Begriff des Piezometers, da sie nicht mit Dichtungen ausgestattet sind, weshalb sie Verbindungen zwischen verschiedenen Grundwasserleitern herstellen und so die Grundwasserbilanz stören könnten. Die Verwendung von Beobachtungsbrunnen ist beschränkt auf die Messung des Grundwasserspiegels in der obersten Schicht des Baugrunds, in der, ausgehend vom Grundwasserspiegel, der Wasserdruck mit zunehmender Tiefe gleichmäßig ansteigt. Da die Grundwasserbilanz *a priori* nicht bekannt sein kann, wird von der Verwendung von Beobachtungsbrunnen ausdrücklich abgeraten.

5.2.2.3 Casagrande-Piezometer

5.2.2.3.1 Ein Casagrande-Piezometer muss aus folgenden Komponenten bestehen:

- einem Filter mit niedrigem Lufteindringwiderstand aus einem geeigneten Werkstoff wie etwa Quarzsand, Keramikwerkstoff, Sintermetall oder porösem Kunststoff, der in einem Bohrloch platziert wird;
- einem oder zwei Standrohren mit einem vergleichsweise kleinen Innendurchmesser, die am Filter befestigt sind und nach oben an die Oberfläche reichen.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 2.

ANMERKUNG 2 Der Innendurchmesser der Standrohre beträgt üblicherweise 12 mm. Rohre mit kleineren Innendurchmessern können verwendet werden, sind dann aber möglicherweise nicht selbstentlüftend.

5.2.2.3.2 Piezometer mit zwei Rohren können gespült werden, um Luft und/oder Bodenpartikel aus dem System zu entfernen.

ANMERKUNG 1 Werden zwei Rohre (siehe Bild 2b) verwendet, kann der Durchmesser der Rohre kleiner als 12 mm sein.

ANMERKUNG 2 Die Verwendung eines Rohrs mit einem größeren Durchmesser (siehe Bild 2c) ermöglicht den Einbau eines Druckmessgeräts in das Standrohr. Das Gerät kann ausgebaut und ausgetauscht werden.

ANMERKUNG 3 Durch die Verwendung einer speziellen Spitzenverbindung (siehe 9 in Bild 2c) kann ein Casagrande-Piezometer in ein geschlossenes Piezometersystem umgewandelt werden.

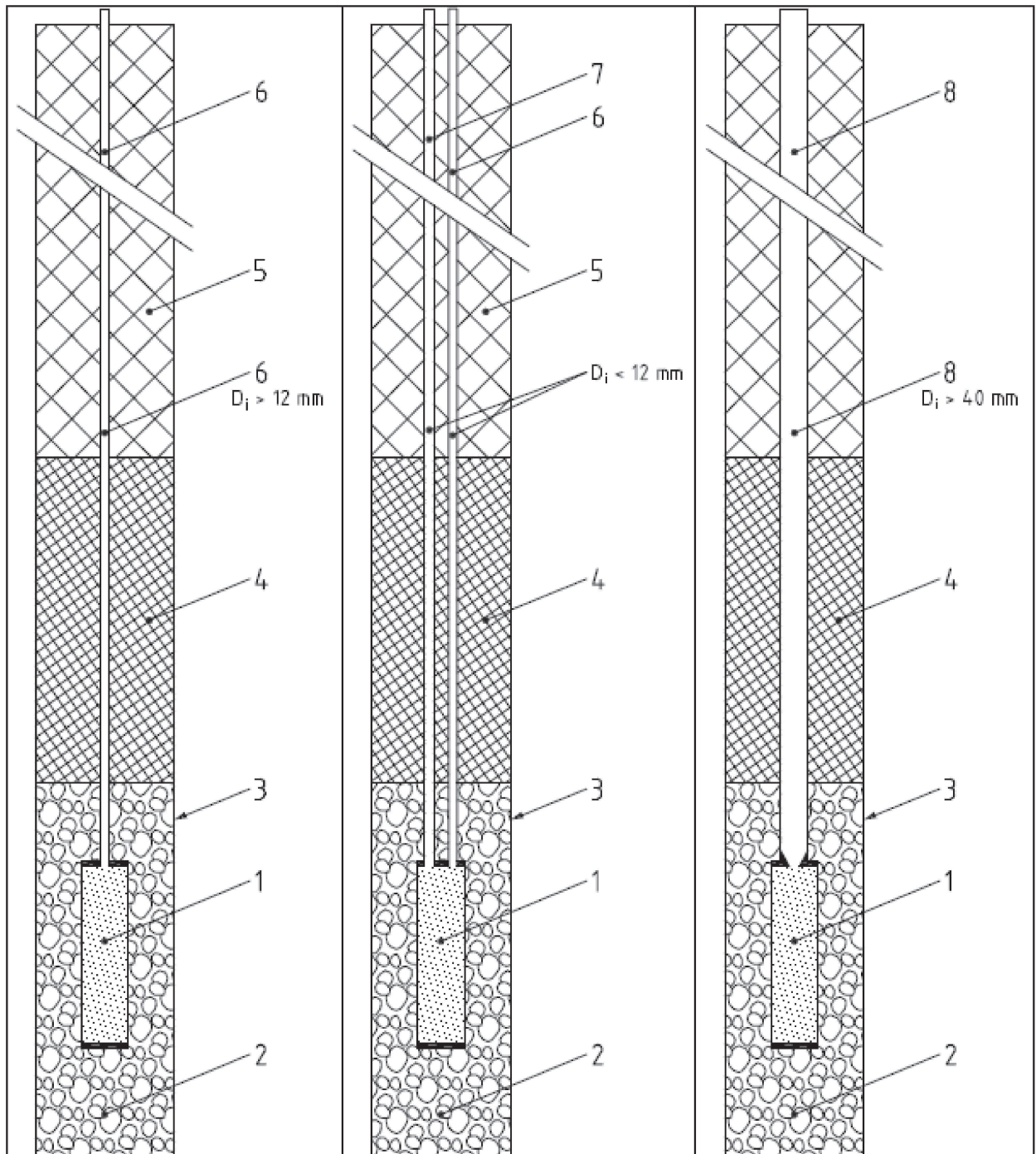


Bild 2 — Casagrande-Piezometer mit unterschiedlichen Verbindungen zur Oberfläche

5.3 Geschlossene Piezometersysteme

5.3.1 Allgemeines

5.3.1.1 Geschlossene Piezometersysteme müssen die in Tabelle 2 aufgeführten Bauteile umfassen. Die Bauteile des Systems sind abhängig vom Einbauverfahren.

Tabelle 2 — Piezometerbauteile in Abhängigkeit vom Einbauverfahren

Einbauverfahren	Piezometerbauteil			
	Filterspitze am Messpunkt	die Filterspitze umgebende Filterpackung	Abdichtung oberhalb der Filterpackung	Messgerät
Traditionell	+	+	+	+
Vollständiges Verpressen ¹⁾	+	+		+
Eindrücken	+	–	–	+
Einbetten	+	+	–	+

Legende

- + wesentlich
– nicht vorhanden
- 1) das Injektionsgut dient als Filterpackung und Abdichtung

BEISPIEL Traditionell eingebaute Systeme siehe Bild 1b).

ANMERKUNG 1 Falls das Bohrloch beim traditionellen Einbauverfahren tiefer reicht als der Zuflussbereich, kann eine Dichtung auch unterhalb der Filterpackung erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Zwischen dem Wasserdruck am Druckmessgerät und dem atmosphärischen Luftdruck herrscht nicht notwendigerweise ein Gleichgewicht.

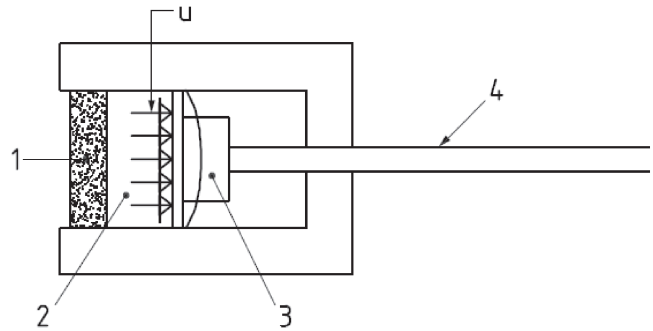
5.3.1.2 Der Messpunkt entspricht der Position der an die Filterspitze angrenzenden Membran.

ANMERKUNG Wenn eine die Filterspitze umgebende Filterpackung vorhanden ist, wird der an der Membran gemessene Druck durch den Zuflussbereich beeinflusst und entspricht nicht notwendigerweise dem Druck am Messpunkt im Baugrund.

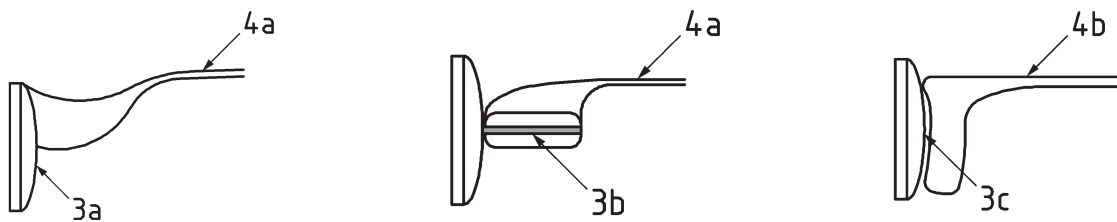
5.3.1.3 Druckmessgeräte oder deren Bauteile müssen entweder in direkter Nähe zur Filterspitze oder an der Geländeoberkante angeordnet werden. Das Gerät in der Nähe der Filterspitze kann entweder ein Membran-Drucksensor (siehe Bild 3) oder ein Druckventil (siehe Bild 4) sein. Messgeräte an der Geländeoberkante können Druckmessgeräte (siehe Bild 5), Ableseeinheiten und/oder Regeleinrichtungen sein.

Legende

- u Porenwasserdruck
- 1 Filterspitze
- 2 mit Wasser gefüllte innere Kammer
- 3 Sensor
 - 3a elektrisch (z. B. Dehnungsmessgerät)
 - 3b Schwingsaiten-Sensor
 - 3c faseroptisch
- 4 Signalkabel
 - 4a elektrisches Kabel
 - 4b Glasfaserkabel



a) Piezometer mit Membran-Drucksensor (schematische Darstellung)



b) Typen möglicher Membran-Drucksensoren

Bild 3 — Verschiedene Typen von Piezometern mit Membran-Drucksensor für geschlossene Systeme

Legende

- 1 Gaszufuhr
- 2 Druckmessgerät
- 3 Zuleitung
- 4 Rückleitung
- 4a Lüftungsöffnung zur Atmosphäre
- 5 Bohrlochwand
- 6 Dichtung
- 7 Gehäuse des Druckmessgeräts
 - 7a Druckventil (flexible Membran)
 - 7b mit Wasser gefüllte innere Kammer
 - 7c Filterspitze (LAE)
- 8 Filterpackung

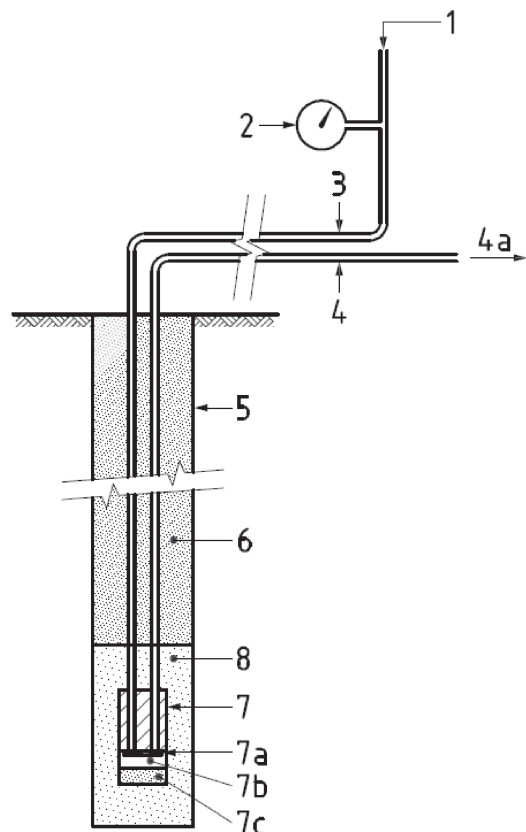


Bild 4 — Pneumatisches Piezometer (schematische Darstellung, nach [7])

Legende

- z_w piezometrischer Pegel
1 Baugrund
2 Filterspitze (LAE)
3 Filterpackung
4 zwei Hydraulikrohre
5 Druckmessgerät
6 Ventil

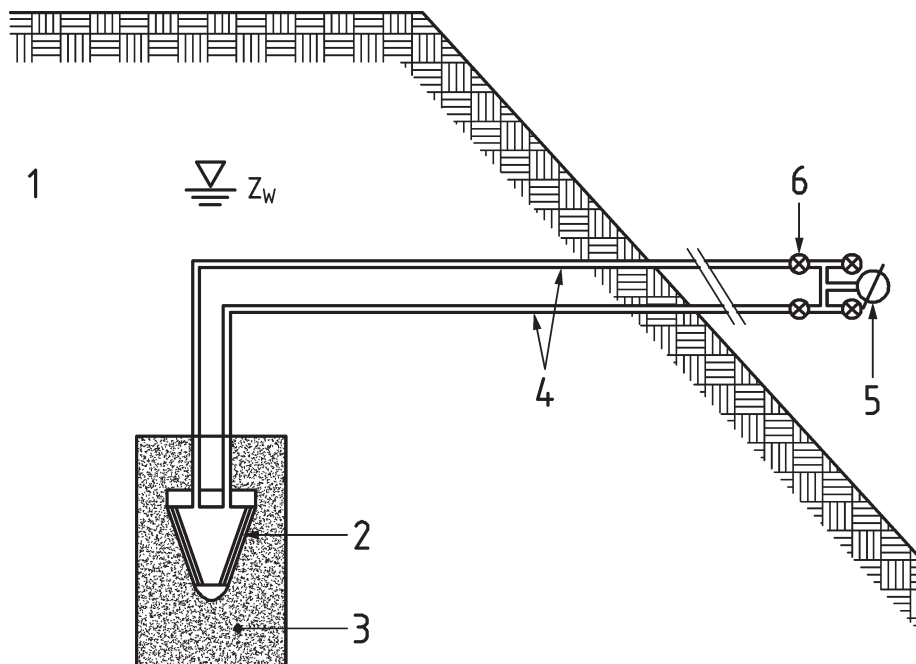


Bild 5 — Hydraulisches Piezometer (schematische Darstellung)

5.3.2 Typen geschlossener Piezometersysteme

Geschlossene Piezometersysteme können folgenden Typs sein:

- Piezometer mit Membran-Drucksensoren
- Piezometer mit pneumatisch betätigtem Druckventil
- Hydraulisches Piezometer mit zwei Rohren

5.3.2.1 Piezometer mit Membran-Drucksensoren

Das Piezometer muss mit einem Drucksensor mit verformbarer Membran ausgestattet sein, die zwei Kammern voneinander trennt: eine mit Wasser gefüllte innere Kammer, die eine Filterspitze als Einlass für das Porenwasser umfasst (7a in Bild 1), und eine äußere Kammer (7b in Bild 1), die Anschlüsse für eine externe Anzeige enthält.

BEISPIELE Elektrische (einschließlich Schwingsaiten-Sensoren) und faseroptische Sensoren.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 3, 3.1.7.2 und 3.1.7.3.

ANMERKUNG 2 Schwingsaiten, Stromschleifenschnittstellen und faseroptische Sensoren werden häufig eingesetzt, wenn das Messsignal mit Kabeln über große Entfernungen ohne messbare Verluste der Signalqualität übertragen werden muss.

5.3.2.2 Piezometer mit pneumatisch betätigtem Druckventil

Das Piezometer muss mit einem Membranventil im Messgerät ausgestattet sein.

ANMERKUNG 1 Pneumatische Piezometer gelten im Allgemeinen als über lange Zeit zuverlässig.

ANMERKUNG 2 Siehe Bild 4 und 3.1.7.4.

ANMERKUNG 3 Pneumatische Systeme messen den Porenwasserdruck bezogen auf den atmosphärischen Luftdruck an der Geländeoberkante (siehe 5.4), da die Rückleitung zur Atmosphäre hin offen ist.

5.3.2.3 Hydraulisches Piezometer mit zwei Rohren

5.3.2.3.1 Hydraulische Piezometer mit zwei Rohren müssen aus einem Filter mit niedrigem oder hohem Lufterdringwiderstand und zwei am Filterkörper befestigten Rohren bestehen.

ANMERKUNG Siehe Bild 5.

5.3.2.3.2 Die hydraulischen Rohre dürfen nicht über die Höhe des Niveaus der kleinsten hydraulischen Druckhöhe hinaus reichen. Sie sollten zur Vermeidung von Leckagen aus Polyamid mit einer Polyethylenbeschichtung bestehen und zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen mit einer Umhüllung versehen sein.

5.3.2.3.3 Nach dem Einbau und immer wenn während des Betriebs erforderlich, sollten die Rohre mit Wasser gespült werden, sodass eingeschlossene Luft aus dem System entfernt wird.

ANMERKUNG 1 Durch Anschließen von Druckmessgeräten an die beiden hydraulischen Rohre kann ermittelt werden, ob sich Luft im Piezometer befindet. Unterschiedliche Anzeigewerte der Druckmessgeräte deuten auf im System befindliche Luft hin.

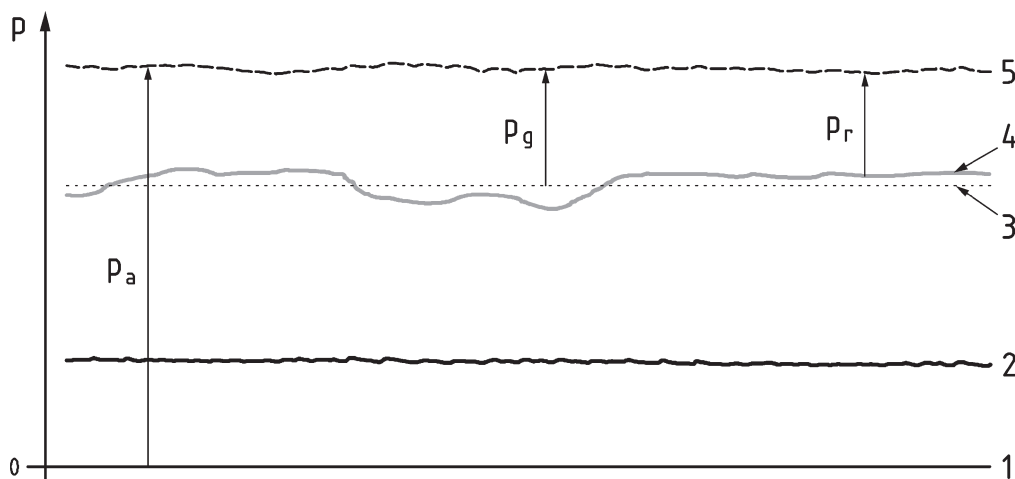
ANMERKUNG 2 Zur Langzeit-Stabilität des Systems wird beigetragen, wenn ausschließlich nicht-mechanische und nicht-elektrische Bauteile eingesetzt werden.

5.4 Gegenüberstellung von Absolut- und Relativmessung und Kompensation des atmosphärischen Drucks

5.4.1 Bei der Auswahl eines Porenwasserdruck-Messgeräts und bei der Durchführung der Messungen muss zwischen Absolutdruck, Überdruck und Relativdruck unterschieden werden.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 6.

ANMERKUNG 2 Der Bezugsdruck für den Absolutdruck ist der Druck im luftleeren Raum (Vakuum). Der Bezugsdruck für Überdruck ist der atmosphärische Umgebungsluftdruck, daher entspricht der Überdruck dem Absolutdruck minus dem atmosphärischen Luftdruck zum Bezugszeitpunkt. Der Bezugsdruck für den Relativdruck ist der atmosphärische Luftdruck.



Legende

P	Druck	1	Druck „Null“ im luftleeren Raum (Vakuum)
P_a	Absolutdruck-Messung	2	kompensierter Porenwasserdruck
P_g	Überdruck-Messung	3	atmosphärischer Luftdruck bei Kalibrierung
P_r	Relativdruck-Messung	4	tatsächlicher atmosphärischer Luftdruck
		5	Absolutdruck

Bild 6 — Messung von Absolut-, Über- und Relativdruck

5.4.2 Bei der Messung des Absolut- oder Überdrucks muss die äußere Kammer (7b in Bild 1) des Messgeräts hermetisch abgeschlossen sein.

ANMERKUNG 1 Für Überdruck-Messungen wird die Druckkammer des Sensors üblicherweise zum Herstellungszeitpunkt bei 100 kPa oder atmosphärischem Luftdruck versiegelt. Ist dies der Fall, kann der gemessene Druck unter 0 kPa liegen.

ANMERKUNG 2 Der Druck in der hermetisch abgeschlossenen äußeren Kammer kann, falls erforderlich, vom Hersteller angepasst werden, z. B. für einen Einbau von Piezometern in großen Höhenlagen.

ANMERKUNG 3 Wenn eine Kompensation des atmosphärischen Luftdrucks erforderlich ist, ist für Piezometer, die bei atmosphärischem Luftdruck versiegelt wurden, nur eine Kompensation der im Kalibrierbericht des Herstellers angegebenen Abweichung vom atmosphärischen Luftdruck erforderlich.

5.4.3 Für die Differenzdruck-Messung sind mindestens zwei Messgeräte mit hermetisch abgeschlossenen äußeren Kammern (7b in Bild 1) erforderlich.

ANMERKUNG Wenn ein Gerät den atmosphärischen Luftdruck misst und ein anderes zum selben Zeitpunkt den Porenwasserdruck, kann die atmosphärische Kompensation durch Subtrahieren der beiden Werte errechnet werden; siehe Anhang A.

5.4.4 Bei der Messung des Relativdrucks muss die äußere Kammer des Messgeräts mit der Atmosphäre in Verbindung stehen.

ANMERKUNG Üblicherweise wird für die Verbindung der äußeren Kammer mit der Atmosphäre ein Belüftungsschlauch verwendet. Dieser Schlauch weist möglicherweise einen vergleichsweise kleinen Innendurchmesser auf (z. B. wenn er in das elektrische Kabel integriert ist). Er ist daher anfällig für Verstopfungen, und es besteht das Risiko einer Beschädigung des Sensors durch Kondenswasser. Zur Reduzierung dieses Risikos kann eine Feuchtefalle verwendet werden. Alternativ können Differenzdruck-Messungen zur atmosphärischen Kompensation in Betracht gezogen werden.

5.4.5 Der Einfluss des atmosphärischen Luftdrucks muss berücksichtigt werden. Falls der Porenwasserdruck durch den atmosphärischen Luftdruck beeinflusst wird, muss der Porenwasserdruck in der Auswertung und im Bericht als relativ zum atmosphärischen Luftdruck angegeben werden.

5.5 Anforderungen an Filter

5.5.1 Filter in offenen Piezometersystemen

5.5.1.1 Der Filter für ein offenes Piezometersystem muss aus einer Filterpackung bestehen, die einen perforierten oder geschlitzten Abschnitt umgibt. Die Filterpackung bestimmt den Zuflussbereich des Piezometers und muss oberhalb und unterhalb mindestens einen halben Meter über den perforierten oder geschlitzten Abschnitt hinausreichen.

5.5.1.2 Die Kriterien für die Filterpackung fordern, dass sie aus einem gleichkörnigen Werkstoff bestehen sollte, der ausreichend grob ist, um den Zufluss und Abfluss von Wasser in und aus dem Piezometer zu ermöglichen, und dass sie das Eindringen von Bodenpartikeln in den geschlitzten oder perforierten Abschnitt verhindern sollte. Der geschlitzte oder perforierte Abschnitt kann mit einer Umhüllung aus Geotextil versehen sein, um das Eindringen von Bodenpartikeln zu verhindern.

5.5.2 Filter in geschlossenen Piezometersystemen

5.5.2.1 Bei der Auswahl des Filters müssen die Merkmale des Baugrunds, der erwartete piezometrische Druck, der Typ des zu installierenden Piezometers und das Einbauverfahren berücksichtigt werden (siehe Tabelle 2). HAE-Filterspitzen müssen vor dem Einbau gesättigt und in Baugrund installiert werden, der sich im gesättigten Zustand befindet. Die innere Kammer eines LAE-Filters (en: low air entry) sollte mit entlüftetem Wasser gefüllt werden, um Lufteinschlüsse in der inneren Kammer zu verhindern.

5.5.2.2 Wenn die Filterspitze innerhalb eines Bohrlochs und in einer Filterpackung platziert wird, darf sie mit dem oberen Ende nach unten positioniert werden, damit keine Luftblasen in die Filterspitze eindringen und dort verbleiben können.

Tabelle 2 — Anforderungen an Filtertypen und Sättigung bei geschlossenen Piezometern in verschiedenen Anwendungen

Anwendung	Einbauverfahren	Gesättigter Boden oder Fels	
		Filtertyp	Sättigung erforderlich
Positive Porenwasserdrücke	eingedrückt	LAE	bevorzugt
	in einem Bohrloch, innerhalb einer abgedichteten Filterpackung	LAE	bevorzugt
	in einem Bohrloch, vollständig verpresst	LAE	bevorzugt
	in Auffüllung platziert	HAE	erforderlich
Negative Porenwasserdrücke	eingedrückt oder in einem vollständig verpressten Bohrloch	HAE	erforderlich

5.6 Messbereich und Genauigkeit

Tabelle 3 enthält Informationen, die bei der Auswahl von Piezometern berücksichtigt werden sollten.

ANMERKUNG 1 Messbereich und Genauigkeit von Piezometersystemen sind unter anderem vom Einbauverfahren, der Tiefe, in der das Piezometer platziert wird, dem hydraulischen Druck oberhalb des Piezometers, der atmosphärischen Kompensation, der hydrodynamischen Zeitverzögerung und dem eingesetzten Messgerät abhängig.

ANMERKUNG 2 Bei der Bestimmung des piezometrischen Pegels hat die Genauigkeit bei der Ermittlung des Bezugspunkts (Kopf des Piezometerrohrs oder Bodenhöhe) und/oder der Höhe des Messgeräts signifikante Auswirkungen.

ANMERKUNG 3 Anhang B gibt einen Überblick über die verschiedenen Typen von Piezometern für einige geotechnische Anwendungen.

Tabelle 3 — Typen und übliche Messbereiche von Piezometermessgeräten

Piezometertyp	Offenes System		Geschlossenes System			
	manuell	automatisch	elektrisch	faseroptisch	pneumatisch	hydraulisch mit zwei Rohren
Üblicher Messbereich	0-30 m	0-100 kPa 0-3 MPa	0-100 kPa 0-3 MPa	0-100 kPa 0-3 MPa	0-2 MPa	0,06-5 MPa
Übliche Messgenauigkeit	0,01 m	0,2 ÷ 0,5 % EW	0,2 ÷ 0,5 % EW	0,2 ÷ 0,5 % EW	0,5 ÷ 1 % EW	0,5 % EW

6 Einbau und Messdurchführung

6.1 Einbau

6.1.1 Allgemeines

6.1.1.1 Der Einbau des Piezometers muss nach dem Überwachungsplan erfolgen und in einer Verfahrensbeschreibung erläutert werden.

6.1.1.2 In geschichtetem Untergrund muss die Veränderung der Druckhöhe mit der Tiefe bei der Wahl der Einbautiefe und der Filterlängen berücksichtigt werden.

6.1.1.3 Der Einbau darf Grundwasserfluss und -qualität nicht dauerhaft beeinträchtigen. Beim Einbau entstandene hydraulische Verbindungen zwischen verschiedenen Schichten müssen mit einer geeigneten Abdichtung verschlossen werden. Die Höhe der Abdichtung und des Abdichtungswerkstoffs richtet sich nach der Dicke und Durchlässigkeit der abzudichtenden Schicht.

ANMERKUNG 1 Die Länge der Abdichtung darf nicht weniger als 1,0 m betragen.

ANMERKUNG 2 Es hat sich bewährt, wenn sich die Abdichtung im Grundwassernichtleiter bis auf 0,5 m oberhalb und unterhalb des Grundwassernichtleiters erstreckt.

ANMERKUNG 3 Zur Abdichtung werden üblicherweise quellfähiger Ton (z. B. Pellets, Kügelchen, Granulat) oder ein Injektionsgut verwendet.

ANMERKUNG 4 Die meisten quellfähigen Bentonite quellen in Salzwasser nicht vollständig auf. Nur aktivierter Bentonit weist eine ausreichende Quellfähigkeit in Salzwasser auf.

ANMERKUNG 5 Das Injektionsgut wird üblicherweise mit einem Kontraktorrohr im Ringraum oder über ein Verpresstück im Bereich der Verrohrung eingebracht. Der Abdichtungsprozess verläuft von der Sohle aus nach oben über den verpressten Abschnitt.

6.1.1.4 In Fels muss beim Einbau von Filterbereichen und Abdichtungen besonders vorsichtig vorgegangen werden.

ANMERKUNG In Fels zirkuliert Wasser vorwiegend in Trennflächen, und es können plötzliche Druckänderungen zwischen angrenzenden Trennflächen auftreten. Falls Bohrungen mit Filterbereichen solche Trennflächen miteinander verbinden, kann die Grundwasserbilanz grundlegend verändert werden. Es kann ratsam sein, in kurzen Abschnitten Wasserdruckprüfungen zur Bestimmung des Einschlussdrucks und der örtlichen Durchlässigkeit durchzuführen.

6.1.1.5 Falls das Piezometer in einem Bohrloch installiert werden soll, muss die Bohrung in Übereinstimmung mit EN ISO 22475-1:2006 vorgenommen und dokumentiert werden.

6.1.1.6 Der Durchmesser des Bohrlochs muss groß genug sein, um das Piezometersystem einschließlich der Filterpackung und der Dichtung aufzunehmen.

6.1.1.7 Beim Einbau von Piezometern in Bohrungen sollte am besten für jedes Grundwasserstockwerk und jedes Piezometer ein gesondertes Bohrloch gebohrt werden.

6.1.1.8 Beim Herstellen von Bohrungen für Piezometer sollte auf Zusatzstoffe verzichtet werden. Falls Zusatzstoffe verwendet werden, müssen Typ und Menge des Zusatzstoffs dokumentiert werden.

ANMERKUNG Beispiele für Zusatzstoffe sind Bentonit, Polymere oder auch Frischwasser bei Einwirkung von Salzwasser.

6.1.1.9 Es müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, damit das Piezometer vor den Risiken durch Verunreinigung, Überflutung, Verkehr oder Frost geschützt ist. Es müssen Maßnahmen durchgeführt werden, um die Installation im Beobachtungszeitraum zu schützen.

6.1.1.10 Der Einbau des Piezometers einschließlich Lage und Höhe des Messpunkts sowie Werkstoffe und Lage der Filter und Dichtungen müssen dokumentiert werden (siehe 8.1).

6.1.2 Einbau offener Piezometersysteme

6.1.2.1 Offene Standrohr-Piezometer sollten in Bohrlöchern installiert werden. In weichen Baugrund dürfen sie auch durch Rammen, Eindringen oder mittels Hochdruck-Wasserstrahltechnik eingebaut werden. Bei der Auswahl des Einbauverfahrens müssen Überlegungen zu Störungen des Baugrunds erfolgen.

6.1.2.2 Verbindungsstellen an Standrohren müssen wasserdicht sein.

6.1.2.3 Das Eindringen von Oberflächenwasser in ein offenes Standrohr-Piezometer muss verhindert werden.

BEISPIEL Dichtung am oberen Ende des Standrohrs, ausreichende Höhe des Standrohrs über dem Boden, belüftete Verschlusskappe am oberen Ende des Standrohrs.

6.1.2.4 Über die gesamte Höhe der Dichtung muss eine vollständige Verfüllung des Ringraums zwischen der Bohrlochwand und dem Standrohr erfolgen.

6.1.2.5 Der Kies oder Sand einer Filterpackung muss kontinuierlich in kleinen Mengen eingebracht werden, um Brückenbildungen zu vermeiden.

6.1.2.6 Bei artesischen Verhältnissen und falls sich aus beliebigen Gründen das obere Ende eines Standrohrs unterhalb der Geländeoberkante befindet, könnte die Druckhöhe das obere Ende des Standrohrs übersteigen. Das obere Ende des Rohrs kann dann mit einer selektiv permeablen Membran ausgestattet

werden, um den Abfluss von Wasser aus dem Rohr zu verhindern und dennoch ein Entlüften des Systems zu ermöglichen.

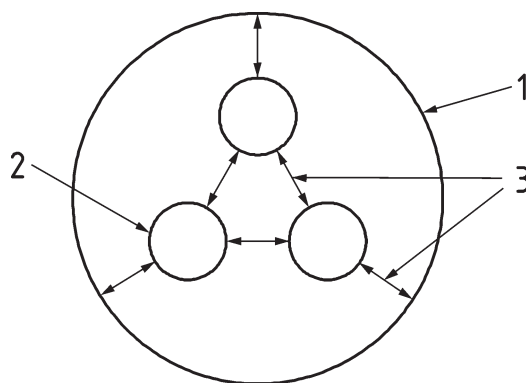
ANMERKUNG Ein Beispiel für eine selektiv permeable Membran ist Goretex.

6.1.2.7 Wenn Drucksensoren in einem offenen System installiert werden, müssen sie sicher an Ort und Stelle befestigt werden. Die Membran des Sensors muss unterhalb des niedrigsten piezometrischen Pegels platziert werden.

6.1.2.8 Sollten, abweichend von 6.1.1.7, in einem einzigen Bohrloch mehrere Standrohr-Piezometer eingebaut werden, muss der Nachweis erbracht werden, dass mit der Ausrüstung und dem genutzten Verfahren trotzdem korrekte Messungen in allen Grundwasserstockwerken durchgeführt werden können. Der Abstand zwischen den Standrohren und deren Abstand zur Bohrlochwand oder Verrohrung sollte mehr als 25 mm betragen.

BEISPIEL Höchstens drei Standrohre mit $\varnothing 50$ mm, platziert in einem Bohrloch mit $\varnothing 178$ mm (siehe Verweisung [6]).

ANMERKUNG Siehe Bild 7.



Legende

- 1 Bohrlochwand oder Verrohrung
- 2 Standrohr
- 3 Abstand > 25 mm

Bild 7 — Zulässige geometrische Anordnung bei drei offenen Standrohr-Piezometern in einem einzigen Bohrloch (Querschnitt)

6.1.2.10 Um die Filterstabilität sicherzustellen, müssen die Dicke und die Kornverteilung der Filterpackung an die Kornverteilung des umgebenden Baugrunds und den Zweck der Messung angepasst werden. Die Öffnungen des perforierten Abschnitts des Standrohrs sind in Abstimmung mit der Filterpackung zu wählen.

ANMERKUNG Filterpackungen sind im Allgemeinen für offene Systeme erforderlich, um das Eindringen von Bodenmaterial und ein Zusetzen des Filters zu verhindern.

6.1.2.9 Das obere Ende des Piezometer-Standrohrs kann sich oberhalb oder unterhalb der Bodenhöhe befinden. Es müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden, um Beschädigungen des Piezometers und ein Eindringen von Wasser in das Piezometer zu verhindern (siehe Anhang C).

6.1.3 Einbau geschlossener Piezometersysteme

6.1.3.1 Vor und während des Einbaus muss die Wassersättigung des Filters und eine Funktionsüberprüfung des Messgeräts durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Das Vorhandensein von Gas oder Luft in einem Piezometer hat nachteilige Auswirkungen auf die Messung des Porenwasserdrucks.

ANMERKUNG 2 Die Wassersättigung wird in der Regel durch Kochen oder Vakuumkochen erreicht.

6.1.3.2 Eine Verunreinigung des Filters sowie unzureichende Sättigung während der Lagerung und des Transports müssen vermieden werden.

BEISPIELE Verunreinigung durch ölige oder fettige Substanzen, Berührung mit bloßen Fingern.

6.1.3.3 Durch Überlegungen zur Auswahl des Einbauverfahrens muss sichergestellt werden, dass ein guter Kontakt zwischen dem Messgerät und dem Baugrund besteht. Geschlossene Piezometer können durch die Verwendung einer Filterpackung und einer Dichtung oder durch vollständiges Verpressen in Bohrlöcher eingebaut werden (siehe Anhang E). In ausreichend weichen Baugrund können sie auch durch Rammen, Einbringen oder Eindrücken nach dem Vorbohren eingebaut werden.

ANMERKUNG 1 Wenn geplant ist, ein Piezometer nach dem Vorbohren einzudrücken, endet die Vorbohrung üblicherweise 0,5 m oberhalb der Einbautiefe.

ANMERKUNG 2 Beim Einbringen des Piezometers bis auf die Einbautiefe hat sich in weichen Böden die Verwendung von Ultraschallbohrern nicht bewährt.

ANMERKUNG 3 Hydraulische Piezometer mit zwei Rohren werden üblicherweise in Gräben installiert. Der Einbau in Bohrlöcher begrenzt die Möglichkeiten zur Messung negativer Porenwasserdrücke (siehe Anhang F).

6.1.3.4 Sollten, abweichend von 6.1.1.7, in einem einzigen Bohrloch mehrere Standrohr-Piezometer eingebaut werden, wird das Einbauverfahren durch die Verwendung von Multilevel-Piezometersystemen oder durch das vollständige Verpressen (siehe Anhang E) bedeutend vereinfacht, weshalb diese als mögliche Optionen für den Einbau in Betracht gezogen werden sollten.

6.1.3.5 Beim vollständigen Verpressen muss der Bohrlochdurchmesser so klein wie möglich sein.

ANMERKUNG Größere Bohrlochdurchmesser bedeuten längere Fließwege vom Zuflussbereich zum Messgerät (oder umgekehrt), wodurch die Ansprechzeit des Piezometers zunimmt.

6.1.3.6 Beim Einbau von Piezometern durch Eindrücken müssen Piezometer verwendet werden, die mit für diesen Zweck ausgelegten Eindrückspitzen unterhalb des Filters ausgestattet sind.

6.1.3.7 Der Strang aus Aufsatzrohren, der üblicherweise für den Einbau von einzudrückenden Piezometern verwendet wird, kann im Baugrund belassen werden, um als Dichtung zu dienen. Falls der Strang gezogen wird, muss der entstehende Hohlraum mit einem Schlamm verfüllt werden, der nach dem Abbinden eine niedrigere Durchlässigkeit aufweisen sollte als der ihn umgebende Boden.

ANMERKUNG 1 Falls eine Wiederverwendung des einzudrückenden Piezometers vorgesehen ist (z. B. nach einem kurzen Messeinsatz), kann die Verrohrung zum späteren Ziehen des kompletten Piezometers im Boden verbleiben.

ANMERKUNG 2 Wenn das Eindrückgestänge vor den Messungen herausgezogen wird, wird der Schlamm zum Verfüllen des entstandenen Hohlraums üblicherweise durch das Eindrückgestänge eingeleitet. Der untere Teil des Strangs (z. B. ein Rohr mit 1 m Länge) verbleibt häufig als zusätzliches Dichtungselement im Baugrund.

ANMERKUNG 3 Ein Adapter zwischen dem einzudrückenden Piezometer und dem Eindrückgestänge verhindert eine Hebung der Filterspitze.

6.1.3.8 Bei einzudrückenden Piezometern in gering durchlässigem Untergrund kann durch das Eindrücken ein erheblicher lokaler Porenwasserüberdruck entstehen. Es muss sichergestellt werden, dass das Messgerät nicht durch Überlastung beschädigt wird. Die Überlastung sollte durch Messungen während des Einbaus überprüft werden.

ANMERKUNG 1 Eine Verringerung des Porenwasserüberdrucks beim Eindrücken kann durch Reduzierung der Eindrückgeschwindigkeit erreicht werden.

ANMERKUNG 2 Eine Überlastung des Drucksensors lässt sich auch durch Verwendung eines Sensors verhindern, der nach dem Einbau des Filters eingebracht wird.

6.1.3.9 Wenn es im Verlauf des Überwachungsprojekts zu Gasentwicklungen und -einschlüssen im Piezometersystem kommen könnte (z. B. aufgrund von Bakterien im Baugrund oder elektrochemischer Effekte), muss ein Piezometer mit einem System zum Entfernen des Gases verwendet werden.

BEISPIEL 1 Verwendung eines Entlüftungsschlauchs oder hydraulischen Piezometers mit zwei Rohren. Im letztgenannten Fall ist es möglich, den Sensor nach dem Einbau zu kalibrieren.

BEISPIEL 2 Verwendung eines ausbaubaren Messsystems.

ANMERKUNG Selbstentlüftung kann ermöglicht werden, wenn ein Piezometer mit einem nach oben zeigenden LAE-Filter eingebaut wird.

6.1.3.10 Bei hydraulischen Systemen mit zwei Rohren müssen Überlegungen zum Schutz des Systems gegen Frost und Temperaturschwankungen erfolgen und dokumentiert werden. Vor dem Anschluss des Anzeigegegeräts an das System müssen Schläuche und Filter zur Entfernung von etwaigen Gasblasen gespült werden.

6.1.3.11 Leitungen, Rohre und Kabel geschlossener Systeme müssen vor mechanischen Beschädigungen zwischen Messpunkt und Anzeigegegerät, z. B. durch Verlegung in ausgehobenen und verfüllten Gräben, geschützt werden.

6.1.4 Überprüfungen während und nach dem Einbau

6.1.4.1 Allgemeines

6.1.4.1.1 Vor dem Einbau muss die Funktionsfähigkeit des Messgeräts anhand der vom Hersteller vorgeschlagenen Prüfungen und Überprüfungen überprüft werden.

6.1.4.1.2 Es muss sichergestellt sein, dass das Gerät unauslöschlich gekennzeichnet ist. Für jedes Piezometer muss ein Installationsprotokoll erstellt werden. Die Höhe der Filterpackung, der Dichtung und der Verfüllung müssen während des Einbaus gemessen und aufgezeichnet werden.

6.1.4.2 Überprüfung offener Piezometersysteme

6.1.4.2.1 Das Standrohr offener Standrohr-Piezometer muss nach dem Einbau mit klarem Wasser gespült werden. Es muss so lange gespült werden, bis das nach oben ausströmende Wasser klar ist.

ANMERKUNG Wird das Piezometer mit einem Druckluftsystem mit Luft gespült, kann es bei hohem Eisengehalt des Grundwassers auf Filterhöhe zu einer Oxidation kommen.

6.1.4.2.2 Vor Inbetriebnahme muss die Funktionsfähigkeit von offenen Standrohr-Piezometern durch Anheben oder Absenken des Wasserstands im offenen Standrohr geprüft werden. Dies muss erfolgen, nachdem sich der Wasserstand im Piezometer stabilisiert hat. Die Funktionsfähigkeit kann bewertet werden, indem (durch Sichtprüfung oder Messung der Anstiegs-/Absinkrate) nachgewiesen wird, dass sich der Wasserstand im Piezometer innerhalb eines Zeitrahmens verändert und stabilisiert, der aufgrund der Eigenschaften des Messgeräts/Bodens plausibel ist. Datum und Ergebnis der Funktionsüberprüfung müssen im Installationsbericht enthalten sein.

6.1.4.2.3 Wenn Langzeitmessungen vorgenommen werden (> 1 Jahr), muss die Funktionsüberprüfung bei offenen Piezometern jedes Jahr wiederholt werden.

ANMERKUNG In stark durchlässigen Böden (Sand und Kies) sollte das Piezometer unverzüglich innerhalb von Minuten bis Stunden auf den piezometrischen Pegel auf Einbautiefe ansprechen. In weniger durchlässigen Böden (Schluff, Ton) kann dies Tage oder Wochen dauern. Die Zeitverzögerung muss kleiner sein als die zu messenden Veränderungen des piezometrischen Pegels.

6.1.4.3 Überprüfung geschlossener Piezometersysteme

6.1.4.3.1 Es müssen während und unmittelbar nach dem Einbau Messungen durchgeführt werden, deren Ergebnisse aufzuzeichnen sind.

6.1.4.3.2 Bei pneumatischen Systemen müssen nach dem Einbau der Gasdruck auf die Zuleitung aufgebracht und der Stabilisierungsprozess bis zum Erreichen eines konstanten Drucks bei vorgegebenem Fluss überwacht werden. Nach Aufhebung des Luftdrucks in der Zuleitung sollte der Vorgang zur Kontrolle wiederholt werden. Der Druck sollte über die Zeit aufgezeichnet werden, um auf Grund der zeitlichen Entwicklung der Messungen die Funktionsfähigkeit des Piezometers beurteilen zu können.

6.1.5 Instandhaltung

6.1.5.1 Funktionsüberprüfungen für offene Systeme müssen nach 6.1.4.2, für geschlossene Systeme nach 6.1.4.3 erfolgen. Die Ergebnisse müssen mit den früheren Überprüfungen verglichen werden.

6.1.5.2 Wenn eine Verstopfung vermutet wird, sollten offene Piezometer und hydraulische Piezometer mit zwei Rohren mit reinem Wasser gespült werden. Bei hydraulischen Piezometern mit zwei Rohren sollte das Wasser entlüftet werden.

6.1.5.3 Falls die Ergebnisse der Funktionsüberprüfungen bei offenen Systemen wesentlich von den früheren Ergebnissen abweichen, müssen folgende Maßnahmen getroffen werden:

- Überprüfung, ob das Standrohr über die gesamte Innenlänge frei zugänglich ist, zum Nachweis, dass sich im Standrohr kein Schlamm angesammelt hat;
- falls sich Schlamm angesammelt hat, müssen Versuche zur Entfernung des Schlamms unternommen werden (z. B. Spülen);
- Verifizierung durch eine zusätzliche Funktionsüberprüfung nach 6.1.4.2, dass die Funktion des Piezometers erfolgreich wiederhergestellt wurde.

Falls die Funktion nicht wiederhergestellt wurde, muss das Piezometer verworfen werden.

6.2 Messdurchführung

6.2.1 Geräteüberprüfung und Kalibrierung

6.2.1.1 Informationen zu allgemeinen Funktionsüberprüfungen und Kalibrierungen siehe EN ISO 18674-1:2015, 5.6.

6.2.1.2 Bei offenen Systemen kann nur das Messgerät kalibriert werden. Wenn ein Drucksensor verwendet wird, müssen dessen Messungen mindestens jährlich verifiziert werden. Wenn ein Wasserstandsmessgerät verwendet wird, muss es jedes Jahr kalibriert werden.

ANMERKUNG Die Prüfung von Drucksensoren kann durch manuelle Messungen oder Kalibrierprüfungen des Drucksensors erfolgen. Manuelle Messungen erfolgen idealerweise ohne dass oder bevor der Drucksensor ausgebaut wird. In Bohrlöchern mit kleinen Durchmessern ist dies möglicherweise nicht machbar. Je nach Durchlässigkeit des Bodens kann dies zu einer Abweichung des gemessenen Wasserstands führen.

6.2.1.3 Bei offenen Systemen sollte die Höhe des oberen Endes des Rohrs überprüft werden, wenn das Risiko besteht, dass diese Höhe schwankt.

6.2.1.4 Bei geschlossenen Systemen sind nachträgliche Kalibrierprüfungen nur an ausbaubaren Messgeräten möglich.

6.2.2 Messung

Messungen an offenen Piezometern müssen in Übereinstimmung mit Anhang A.1.1, an geschlossenen Piezometern in Übereinstimmung mit Anhang A.2.1 erfolgen, wobei jeweils auch die Anforderungen nach ISO 18674-1:2015, Abschnitt 7 gelten.

7 Datenverarbeitung und Auswertung

7.1 Die Verarbeitung und Auswertung der Messdaten muss bei offenen Piezometern in Übereinstimmung mit Anhang A.1.2 und bei geschlossenen Piezometern in Übereinstimmung mit Anhang A.2.2 erfolgen.

7.2 Die ausgewerteten Ergebnisse müssen in Tabellen und/oder graphisch dargestellt werden. Zusätzlich zu den Anforderungen nach EN ISO 18674-1:2015, Abschnitt 8 müssen folgende Daten aufgezeichnet werden:

- Typ des Piezometers (offen, geschlossen) und Untertyp nach 5.2.2 und 5.3.2;
- Typ der Filterspitze (LAE, HAE);
- Art der Messungen (manuell, automatisch): Häufigkeit der Messung, Häufigkeit der Aufzeichnung und Häufigkeit der Datenübertragung.

BEISPIELE Siehe Anhang G.

7.3 Bei der Auswertung der Messungen müssen die Auswirkungen des Einbaus des Messsystems berücksichtigt werden. Mögliche Auswirkungen können mit dem Einbauverfahren (traditionell, vollständiges Verpressen, Eindrücken; siehe Tabelle 2), dem Spülmedium (Änderung der Dichte des Wassers), einem Porenwasserüberdruck, Verstopfungen und Abkürzungen zwischen Grundwasserleitern in Zusammenhang stehen.

8 Bericht

8.1 Installationsbericht

Der Installationsbericht muss in Übereinstimmung mit EN ISO 18674-1:2015, 9.1, erstellt werden.

8.2 Messtechnischer Bericht

Der messtechnische Bericht muss in Übereinstimmung mit EN ISO 18674-1:2015, 9.2, erstellt werden.