

DIN EN ISO 18674-5

ICS 13.080.20; 93.020

Einsprüche bis 2018-10-31
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 4107-4:2012-02

Entwurf

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –
Geotechnische Messungen –
Teil 5: Spannungsänderungsmessungen mittels Druckmessdosen
(ISO/DIS 18674-5:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18674-5:2018**

Geotechnical investigation and testing –
Geotechnical monitoring by field instrumentation –
Part 5: Stress change measurements by Total Pressure Cells (TPC) (ISO/DIS 18674-5:2018);
German and English version prEN ISO 18674-5:2018

Reconnaissance et essais géotechniques –
Surveillance géotechnique par instrumentation in situ –
Partie 5: Mesures avec capteurs hydrauliques (ISO/DIS 18674-5:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18674-5:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-08-31 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, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18674-5:2018) 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 Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-09 AA „Baugrund; Feldversuche (SpA zu CEN/TC 341/WG 3 und 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 beigefügt. 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 18674-4:2019	siehe	DIN EN ISO 18674-4:2019-xx
ISO 22475-1:2006	siehe	DIN EN ISO 22475-1:2007-01
ISO 22476-1:2012	siehe	DIN EN ISO 22476-1:2013-10

Änderungen

Gegenüber DIN 4107-4:2012-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt der nationalen Norm übernommen;
- b) komplette redaktionelle Überarbeitung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 18674-4:2019-xx, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geotechnische Messungen — Teil 4: Porenwasserdruckmessungen: Piezometer (ISO 18674-4:20xx)*

DIN EN ISO 22475-1:2007-01, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen — Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006)*

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)*

Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geotechnische Messungen — Teil 5: Spannungsänderungsmessungen mittels Druckmessdosen (ISO/DIS 18674-5:2018)

Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ — Partie 5: Mesures avec capteurs hydrauliques (ISO/DIS 18674-5:2018)

Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 5: Stress change measurements by Total Pressure Cells (TPC) (ISO/DIS 18674-5:2018)

ICS:

Deskriptoren:

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

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Symbole	10
5 Messeinrichtung	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Deformationsmessverfahren	12
5.3 Kompensationsmessverfahren	13
5.4 Steifigkeit des Druckkissens	13
5.5 Form des Druckkissens	13
5.6 Genauigkeit	15
6 Installation und Messdurchführung	15
6.1 Installation	15
6.1.1 Installation im Baugrund	15
6.1.2 Installation in Auffüllungen	16
6.1.3 Installation in Beton/Spritzbeton	17
6.1.4 Installation in Kontaktebenen	18
6.2 Messdurchführung	19
6.2.1 Geräteüberprüfung und Kalibrierung	19
6.2.2 Messung	19
7 Datenverarbeitung und Auswertung	19
8 Berichterstattung	19
8.1 Installationsbericht	19
8.2 Messtechnischer Bericht	19
Anhang A (normativ) Auswerteverfahren	20
Anhang B (informativ) Geotechnische Anwendungen	22
Anhang C (informativ) Beispiele für Messungen	23
C.1 Allgemeines	23
C.2 Erddrücke in einem Steinschüttdamm	23
C.3 Auf die Seitenwand einer Schleusenkammer wirkende Erddrücke	27
C.4 Radial- und Tangentialspannungen in einer Tunnelauskleidung	30
Literaturhinweise	33

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 18674-5:2018) 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 18674-5:2018 wurde von CEN als prEN ISO 18674-5:2018 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.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: 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, veröffentlicht unter dem allgemeinen Titel *Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation* ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt für Spannungsänderungsmessungen mittels Druckmessdosen. Es bezieht sich auf Druckmessdosen, die dauerhaft entweder im Baugrund, in angrenzenden Bauwerken oder in Kontaktebenen zwischen zwei beliebigen Medien platziert werden. 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.

Im Verein mit ISO 18674-4:2019 erlaubt dieses Dokument die Bestimmung der im Baugrund wirkenden effektiven Spannung.

Dieses Dokument gilt nicht für indirekte Verfahren zur Messung der mechanischen Spannung (siehe 18674-1:2015, Tabelle B.2).

Dieses Dokument gilt für:

- die Überwachung von Änderungen des Spannungszustands im Baugrund und in geotechnischen Bauwerken (z. B. Erddämme oder Tunnelauskleidungen);
- die Überwachung von Flächenlasten an der Grenzfläche zwischen zwei Medien (z. B. Erddruck auf Böschungsmauer; Flächenlast an der Unterkonstruktion einer Gründung);
- die Überprüfung geotechnischer Entwürfe und die Anpassung des Aufbaus im Zusammenhang mit der Beobachtungsmethode;
- die Bewertung der Stabilität während oder nach dem Bau.

ANMERKUNG Dieses Dokument erfüllt die Anforderungen für die mittels Druckmessdosen durchgeführte messtechnische Überwachung des Baugrunds, der mit dem Baugrund in Wechselwirkung stehenden Bauwerke und geotechnischer Bauarbeiten im Rahmen der geotechnischen Erkundung und Untersuchung nach EN 1997-1 und EN 1997-2, siehe Verweisungen [1] und [2].

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).

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

ISO 18674-4:2019, *Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by field instrumentation — Part 4: Measurement of pore water pressure: Piezometer*

ISO 22475-1:2006, *Geotechnical investigation and testing — Sampling methods and groundwater measurements — Part 1: Technical principles for execution*

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

3 Begriffe

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

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

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

3.1 Druckmessdose TPC

(en: total pressure cell)

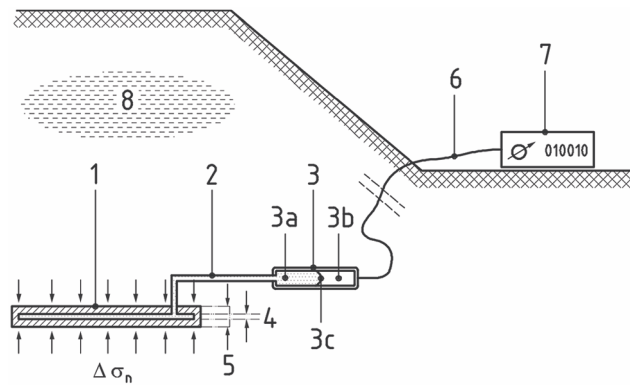
baustellentaugliches Gerät für die Messung von Spannungsänderungen mit einer Druckmessdose als Messfühler

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Druckmessdose besteht aus einem Druckkissen (1), einer Druckleitung (2) und einem Druckmessgerät (3) (siehe Bild 1 und Verweisung [3]).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Druckkissen (1) besteht aus zwei Stahlplatten, die am Rand miteinander verschweißt sind. Der dazwischen befindliche Hohlraum ist mit einer Flüssigkeit gefüllt. Der Hohlraum ist mit der inneren Kammer (3a) des Druckmessgeräts über eine flüssigkeitsgefüllte Druckleitung (2) verbunden. Die innere und äußere Kammer (3a und 3b) des Druckmessgeräts sind durch eine elastische Membran (3c) voneinander getrennt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Druckmessdosen sind ortsfeste, in ein Medium eingebettete (siehe 3.2) Geräte, die an der Grenzfläche zwischen zwei beliebigen Medien (siehe 3.3) platziert oder in Bohrlöchern installiert werden (siehe 3.4).

Anmerkung 4 zum Begriff: Das Messziel ist die Bestimmung der Änderung der auf die flache Seite des Kissens wirkenden totalen Normalspannung $\Delta\sigma_n$ des Mediums.



Legende

- 1 Druckkissen
- 2 Druckleitung
- 3 Druckmessgerät
 - 3a innere Kammer
 - 3b äußere Kammer
 - 3c Membran
- 4 Höhe des Hohlraums im Druckkissen
- 5 Höhe des Druckkissens
- 6 Messleitung (Kabel oder Hydraulik-Zwillingsschlauch)
- 7 Steuer- und Anzeigeeinheit
- 8 untersuchtes Medium

Bild 1 — Grundlegende Komponenten eines Messsystems mit Druckmessdose

3.2

eingebettete Druckmessdose

Druckmessdose, die vollständig in ein Medium eingebettet wird

BEISPIELE Druckmessdose zum Eindringen in weiche Böden; Druckmessdose für die Einbettung in Aufschüttungen, „Tangential-Druckmessdose“ (siehe 3.10) für Tunnelauskleidungen aus Spritzbeton.

3.3

Flächenlast-Messdose

Druckmessdose, die in der Kontaktebene zwischen zwei Medien platziert wird

BEISPIELE Druckmessdose an der Unterkonstruktion einer Plattengründung; „Radial-Druckmessdose“ (siehe 3.9) für Tunnelauskleidungen aus Spritzbeton.

3.4

Bohrloch-Druckmessdose

Druckmessdose, die in einem Bohrloch installiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 2 in Bild 2.

3.5

Seitenverhältnis

Verhältnis der Höhe zum kleinsten seitlichen Maß des Druckkissens

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei rechteckigen Kissens ist das kleinste seitliche Maß die Breite, bei runden Kissens ist es der Durchmesser.

Anmerkung 2 zum Begriff: Typische Seitenverhältnisse liegen in der Größenordnung von 1:20 bis 1:40.

3.6

totaler Spannungszustand

Zustand des Baugrunds, wenn die innerhalb des Baugrunds wirkenden Kräfte durch den festen Anteil (Skelett) des Baugrunds und das Porenwasser aufgenommen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit einer Druckmessdose kann nur eine Spannungskomponente gemessen werden (und zwar die Änderung der totalen Normalspannung $\Delta\sigma_n$; siehe 3.1).

Anmerkung 2 zum Begriff: Änderungen von 2-D- und 3-D-Spannungszuständen können mit einer ausreichenden Anzahl von unabhängig voneinander ausgerichteten Druckmessdosen gemessen werden, die als Gerätegruppe an einem Messort installiert werden: drei (3) Druckmessdosen für einen 2-D-Spannungszustand und sechs (6) Druckmessdosen für einen 3-D-Spannungszustand.

Anmerkung 3 zum Begriff: Wenn das Druckkissen einer Druckmessdose mit seiner Sensorseite in Richtung der Senkrechten platziert wird, kann die vertikale Komponente der Normalspannung σ_v direkt gemessen werden.

3.7

effektiver Spannungszustand

Zustand des Baugrunds, wenn die innerhalb des Baugrunds wirkenden Kräfte durch den festen Anteil (Skelett) des Baugrunds aufgenommen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gilt: $\{\sigma'\} = \{\sigma\} - u$

Dabei ist

$\{\sigma'\}$ der effektive Spannungstensor;

$\{\sigma\}$ der totale Spannungstensor;

u der Porenwasserdruck.

3.8

Kontaktspannung

Spannungskomponente, die senkrecht zu einer Kontaktfläche wirkt

BEISPIEL Normalspannung, die in der Grenzfläche zwischen einer Plattengründung und dem Baugrund wirkt.

Anmerkung 1 zum Begriff: Schubspannungen, die innerhalb der Kontaktfläche wirken, können mit einer Druckmessdose nicht gemessen werden.

3.9

Radialspannung

spezifische Kontaktspannung zwischen dem Baugrund und einer Tunnelauskleidung

Anmerkung 1 zum Begriff: Radiale Druckmessdosen („Radial-Druckmessdosen“) sind speziell für die Messung von Radialspannungen ausgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 3 in Bild 2.

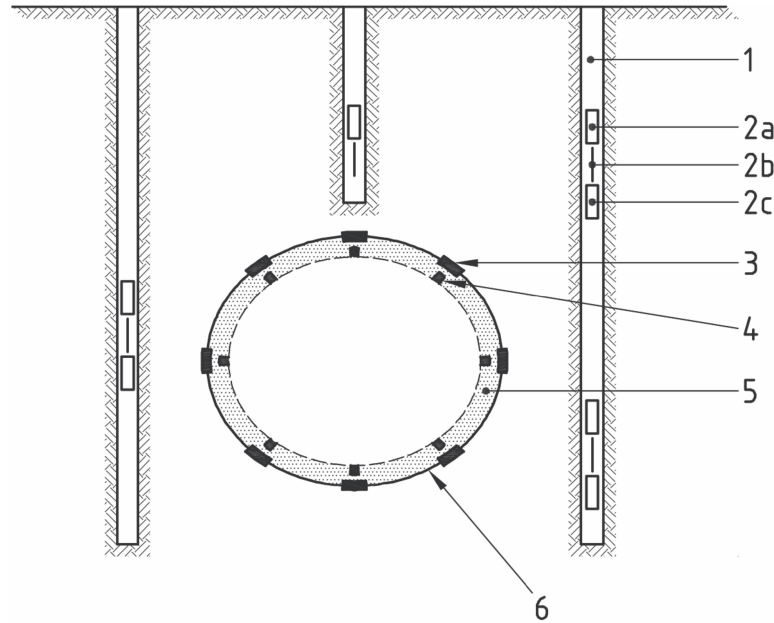
3.10

Tangentialspannung

Spannung in Umfangsrichtung innerhalb von Tunnelauskleidungen aus Spritzbeton oder Beton

Anmerkung 1 zum Begriff: Tangentiale Druckmessdosen („Tangential-Druckmessdosen“) sind speziell für die Messung von Tangentialspannungen in Tunnelauskleidungen ausgelegt. Ein alternativer Begriff ist „Beton-Druckmessdose“.

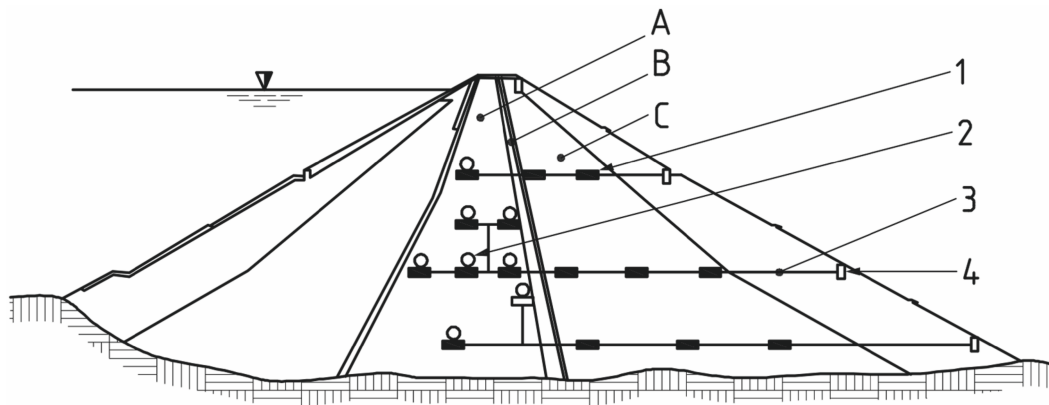
Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 4 in Bild 2.



Legende

- 1 Bohrloch (senkrecht eingebracht; verfüllt)
- 2 Anordnung aus drei unterschiedlich ausgerichteten Bohrloch-Druckmessdosen zur Messung von Horizontalspannungen im Baugrund
- 3 Radial-Druckmessdosen an der Grenzfläche zwischen Baugrund und Spritzbetonauskleidung
- 4 Tangential-Druckmessdosen in der Spritzbetonauskleidung
- 5 Spritzbetonauskleidung
- 6 Umriss der Tunnelbaugrube

Bild 2 — Beispiel für die Anordnung von Druckmessdosen beim oberflächennahen Tunnelbau



Legende

- | | |
|------------------|--|
| A Lehmkern | 1 Druckmessdose(einzeln oder als Gruppe) |
| B Filterschicht | 2 Piezometer |
| C Steinschüttung | 3 Messkabelführung |
| | 4 Anschluss |

Bild 3 — Beispiel (schematisch) für die Anordnung von Druckmessdosen in einem Erddamm

4 Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
C	Korrekturfaktor für Druckmessdosenkanten	–
E	Elastizitätsmodul	MPa
p_a	Druck in der äußeren Kammer des Messgeräts	MPa
p_h	Differenz des hydrostatischen Drucks zwischen der äußeren Messstation und der Druckmessdose	MPa
p_L	Druckabfall in der Messleitung	MPa
p_{p-t}	Vorspannungsdruck	MPa
p_i	Druck in der inneren Kammer des Messgeräts	MPa
p_F	Druck bei der Folgemessung	MPa
p_R	Druck bei der Referenzmessung	MPa
γ_{fluid}	spezifisches Gewicht des Ausgleichsfluids	N/m ³
$\Sigma_n \sigma_n'$	Normalspannung (total; effektiv)	MPa
$\Delta \sigma_n$	Differenz der totalen Normalspannung	MPa
σ_v	Vertikalspannung	MPa
σ_H	Höchsthorizontalspannung	MPa
σ_h	Mindesthorizontalspannung	MPa

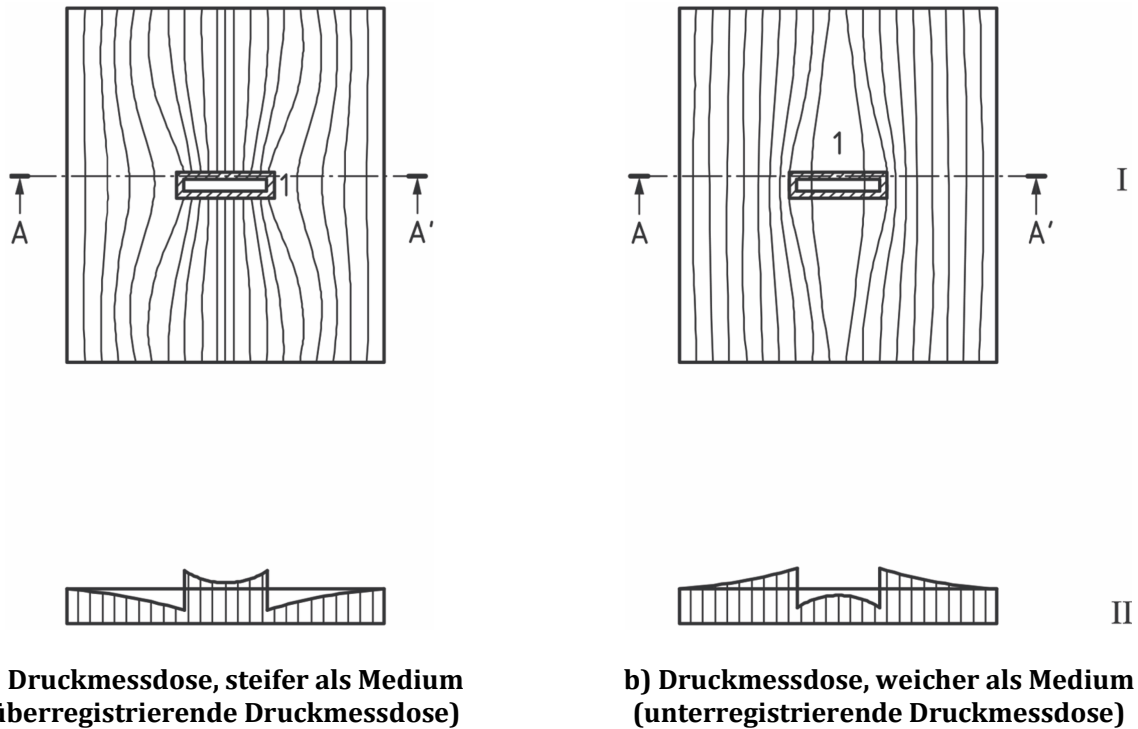
5 Messeinrichtung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Es muss angemerkt werden, dass bei Messungen mit Druckmessdosen die Gefahr erheblicher Abweichungen besteht, da durch die Gegenwart der Druckmessdose im Medium wesentliche Änderungen des zu messenden Spannungsfelds verursacht werden können.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 4 (Verweisung [5]).

ANMERKUNG 2 Die Auswahl geeigneter Messgeräte, die Einhaltung ihrer Anwendungsbereiche und angemessene Einbauverfahren sind entscheidend für die Verringerung dieser Abweichungen auf annehmbare Werte (siehe 5.4 und 5.6).



Legende

- I Spannungstrajektorien um eine Druckmessdose 1 in ein Medium eingebettete Druckmessdose
II Normalspannung im Schnitt A — A'

Bild 4 — Registrierungseffekt bei eingebetteten Druckmessdosen

5.1.2 Es sollte zwischen dem Deformations- und dem Kompensationsmessverfahren unterschieden werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 — Merkmale der Messung bei Messverfahren mit Druckmessdosen

Mess- verfahren	Steifigkeit der Druck- messdose	Langfristige Stabilität des Sensorsignals	Kompensation des atmosphärischen Drucks	Automa- tische Daten- erfassung	Aufzeich- nungs- geschwindig- keit
Deformation (siehe 5.2)	eher weich	u. a. abhängig vom Typ der verwendeten elektrischen Sensoren	unabhängige Messung des Luftdrucks kann erforderlich sein belüftete Druckmess- dosen sind eher unzuverlässig	relativ gut	vergleichs- weise schnell
Kompensation (siehe 5.3)	eher steif	eher langfristig stabil	belüftete Druckmess- dosen sind eher zuverlässig	mühsam; vergleichs- weise kosten- intensiv	vergleichs- weise langsam

5.1.3 Jede Änderung der auf die flache Seite eines Druckkissens (1 in Bild 1) wirkenden totalen Normalspannung $\Delta\sigma_n$ muss stets mit einer Druckänderung des Fluids im Hohlraum der Druckmessdose in Verbindung gebracht werden.

ANMERKUNG Eine Änderung der auf das Kissen wirkenden totalen Normalspannung $\Delta\sigma_n$ verursacht eine Änderung der Durchbiegung der Platten, woraufhin die Flüssigkeit durch den Hohlraum der verbundenen Komponenten (1), (2) und (3a) fließt, was eine Durchbiegung der Membran (3c) zwischen (3a) und (3b) (siehe Bild 1) zur Folge hat.

5.1.4 Die Steifigkeit des Druckkissens in Messrichtung sollte im Vergleich zur Steifigkeit der Druckleitung und des Gehäuses des Druckmessgeräts niedrig sein.

5.1.5 Form und Einbauort des Druckmessgeräts dürfen die totale Normalspannung σ_n des auf das Druckkissen wirkenden Mediums nicht beeinflussen.

ANMERKUNG Eine gebräuchliche technische Lösung ist eine Druckmessdose, bei der das Messgerät (3) in ausreichender Entfernung vom Druckkissen (1) platziert wird und bei der (1) und (3) durch eine steife Druckleitung (2) verbunden sind.

5.1.6 Das Druckmessgerät (3 in Bild 1) muss aus einer inneren Kammer (3a) und einer äußeren Kammer (3b) bestehen, die durch eine elastische Membran (3c) getrennt sind. Der Hohlraum der verbundenen Komponenten (1), (2) und (3a) muss vollständig mit einer im technischen Sinne inkompressiblen und entgasten Flüssigkeit gefüllt sein.

5.1.7 Das Gehäuse des Druckmessgeräts sollte ausreichend steif sein, sodass auch hohe Drücke im Baugrund, die auf die Außenseite des Geräts wirken, das mechanische Verhalten der Membran, insbesondere ihre Kalibrierungsmerkmale, nicht beeinflussen.

ANMERKUNG Die Erfahrungen mit hohen Aufschüttungen haben gezeigt, dass der auf das Gehäuse eines Druckaufnehmers wirkende Erddruck eine erhebliche Verschiebung des Nullpunkts und eine Änderung der Linearität des Druckaufnehmers verursachen kann.

5.2 Deformationsmessverfahren

5.2.1 Die Messung der Durchbiegung der Membran des Druckmessgeräts (siehe 3c in Bild 1) sollte als Verfahren für die Messung des Flüssigkeitsdrucks in den Hohlräumen verwendet werden.

ANMERKUNG Üblicherweise ist die (3a) und (3b) trennende Membran (3c) dieselbe wie die Messmembran eines elektrischen Druckaufnehmers.

5.2.2 Der Druck in der äußeren Kammer des Messgeräts (siehe 3b in Bild 1) muss entweder konstant oder der atmosphärische Druck sein.

ANMERKUNG Falls Messungen mit Druckmessdosen durch Änderungen des atmosphärischen Drucks beeinflusst werden, sollten diese Änderungen separat gemessen werden. Versuche, diesen Fall durch das Einfügen eines kleinen Belüftungsschlauchs in die Messleitung (siehe 6 in Bild 1) zu vermeiden, gehen häufig mit Problemen einher, da derartige Schläuche tendenziell durch Kondenswasser verstopft werden. Dieser Punkt steht im Gegensatz zum Kompensationsmessverfahren (siehe 5.3 und Tabelle 1).

5.2.3 Die Durchführung einer Überwachungsvermessung direkt an den Platten des Druckkissens, z. B. mittels Dehnungsmessstreifen oder eingebauten Schwingsaiten-Kraftaufnehmern, sollte vermieden werden, da dieses Messverfahren i. d. R. Kissenmaße mit hohen Seitenverhältnissen (siehe 3.5) ergibt, was zu ungünstigen Einbettungsbedingungen (siehe 6.1) und schlecht definierten Kantenkorrekturfaktoren (siehe A.1) führt.

5.3 Kompensationsmessverfahren

5.3.1 Bei Kompensationsmesssystemen mit Druckmessdosen müssen alle durch $\Delta\sigma_n$ verursachten Änderungen des Abstands zwischen den Platten des Druckkissens durch einen von außen beaufschlagten Druck p_a ausgeglichen werden.

ANMERKUNG Übliche Verfahren sind die Beaufschlagung mit einem hydraulischen Druck p_a bei vergleichsweise hohen Druckwerten und die Beaufschlagung mit einem pneumatischen Druck p_a bei vergleichsweise niedrigen Druckwerten.

5.3.2 Die Kompensation sollte an der Membran (3c in Bild 1) des Druckmessgeräts (3 in Bild 1) erfolgen. Eine in 5.2.1 beschriebene Durchbiegung der Membran muss durch einen in der äußeren Kammer (3b) des Geräts wirkenden Druck p_a ausgeglichen werden.

5.3.3 Der Kompensationspunkt muss klar definiert und während der Messung gut erkennbar sein. Druckventile oder Verfahren mit elektrischen Membranschaltern dürfen verwendet werden.

5.4 Steifigkeit des Druckkissens

In Messrichtung sollte die Steifigkeit des Druckkissens mit der Steifigkeit des Mediums übereinstimmen.

ANMERKUNG 1 Spannungskonzentrationen beeinflussen die Messergebnisse, indem sie entweder systematisch zu niedrige oder zu hohe Werte verursachen (siehe Bild 4).

ANMERKUNG 2 Unter anderem beeinflussen folgende Faktoren die Steifigkeit des Druckmessdosensystems:

- Messverfahren (Deformation, siehe 5.2, oder Kompensation, siehe 5.3; siehe auch Tabelle 1);
- Seitenverhältnis (siehe 3.5);
- Höhe des flüssigkeitsgefüllten Hohlraums (4 in Bild 1);
- Volumen und Kompressibilität der Flüssigkeit im geschlossenen inneren System;
- Verformbarkeit des Gehäuses des geschlossenen inneren Systems (siehe 5.1.7).

ANMERKUNG 3 Weitere Probleme ergeben sich, wenn sich die Steifigkeit des Mediums im Verlauf des Überwachungsprojekts verändert, z. B. Schwellung von Auffüllungen oder Aushärtung von Spritzbeton. Weitere Beeinflussungsfaktoren siehe Verweisung [4].

5.5 Form des Druckkissens

5.5.1 Das Druckkissen kann eine rechteckige, quadratische, ovale oder runde Form aufweisen. Falls nicht von anderen Beschränkungen betroffen (z. B. Aufbau; Form und Maße des Mediums oder der Kontaktfläche), sollten runde Formen bevorzugt werden.

ANMERKUNG 1 Übliche Kissenmaße sind Durchmesser bzw. Kantenlängen in der Größenordnung von 100 mm bis 400 mm.

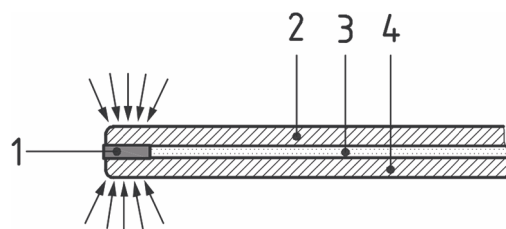
ANMERKUNG 2 Üblich bei Böden und feinkörnigen Auffüllungen sind runde Kissen mit einem Durchmesser von ungefähr 120 mm bis 300 mm; bei Baugrund-Beton-Kontaktflächen: rechteckige Kissen von 200 mm × 300 mm; bei Baugrund-Tunnelauskleidung-Kontaktflächen: Radial-Kissen von 150 mm × 250 mm; und bei Einbettungen von Tunnelauskleidungen: Tangential-Kissen von 100 mm × 200 mm.

5.5.2 Das Seitenverhältnis (siehe 3.5) sollte bei Böden und Auffüllungen nicht größer als 1:15 und bei Fels und Beton nicht größer als 1:25 sein. Kissen mit kleinen Seitenverhältnissen müssen bevorzugt werden, vorausgesetzt, dass die Kissenplatten sich durch den flüssigkeitsgefüllten Hohlraum hindurch nicht berühren.

ANMERKUNG Üblicherweise sind Druckmessdosen ungefähr 4 mm bis 12 mm dick.

5.5.3 Bei der Auswahl der Kissen sollte der Einfluss der Kanten und Ecken der Druckkissen auf die Spannungsverteilung um das Kissen (Bild 5) und somit auf die Messung berücksichtigt werden. In Bild 6 sind zwei technische Lösungen zur Verringerung des Einflusses der Kanten dargestellt. Diese Lösungen sollten bei der Auswahl der Druckmessdosen in Betracht gezogen werden.

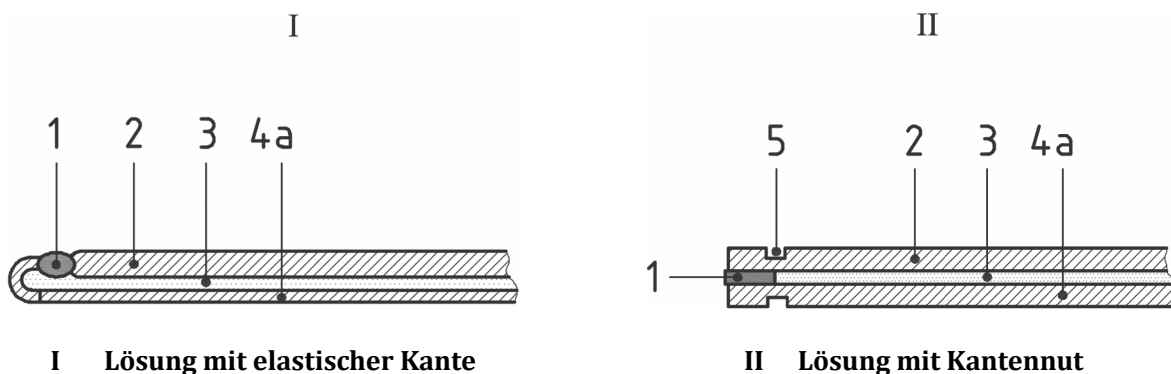
ANMERKUNG Die Kanten und Ecken von Druckkissen sind üblicherweise steifer als der Sensorbereich der Kissen und daher überproportional hohen Spannungen ausgesetzt. Dieser Effekt ist insbesondere bei großen Seitenverhältnissen relevant.



Legende

- 1 Schweißnaht
- 2 obere Platte
- 3 flüssigkeitsgefüllter Hohlraum
- 4 untere Platte

Bild 5 — Einfluss der Kanten von Druckkissen: Spannungskonzentration an einer vergleichsweise steifen Kante (schematisch)



Legende

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 Schweißnaht | 1 Schweißnaht |
| 2 steife Auflagerplatte | 2 obere Platte |
| 3 flüssigkeitsgefüllter Hohlraum | 3 flüssigkeitsgefüllter Hohlraum |
| 4a elastische Abdeckplatte | 4b untere Platte |
| | 5 Nut |

Bild 6 — Beispiele für technische Lösungen zur Verringerung der Kanteneinflüsse

5.5.4 Die in aggressiven Medien, z. B. sulphathaltiger Fels oder Grundwasser, verwendeten Werkstoffe für Druckmessdosen sollten korrosionsbeständig sein.

5.5.5 Falls nach Abschluss des Überwachungsprojekts Druckmessdosen im Baugrund verbleiben, muss darauf geachtet werden, dass die Werkstoffe, insbesondere die Druckmessdosenflüssigkeit, umweltverträglich sind.

BEISPIEL Verwendung von biologisch abbaubarem Hydrauliköl.

5.6 Genauigkeit

5.6.1 Es muss deutlich gemacht werden, dass der Grad der Übereinstimmung zwischen der eingebetteten Druckmessdose und dem umgebenden Medium für die Genauigkeit des Druckmessdosensystems ausschlaggebend ist.

ANMERKUNG 1 Der Grad der Übereinstimmung ist schwierig festzulegen (siehe 5.4, ANMERKUNG 2) und wird häufig im Verlauf des Messprojekts geändert (siehe 5.4, ANMERKUNG 3).

ANMERKUNG 2 Eine Kalibrierung der verbundenen Druckmessdosenkomponenten 1, 2 und 3 (siehe Bild 1) in einer Druckkammer lässt keine Aussage über die Genauigkeit des Druckmessdosensystems zu, da sie (nahezu) ideale Werte für fast alle Formen von Druckmessdosenkissen und für alle Druckmessgeräte liefert.

ANMERKUNG 3 Hersteller geben üblicherweise die Genauigkeit der Druckmessdosen-Druckaufnehmer (siehe 3 in Bild 1) an, zum Beispiel: Genauigkeit $\pm 0,1$ % v. E.

5.6.2 Die Genauigkeit eines Druckmessdosensystems kann am besten durch Plausibilitätsprüfungen der Feldmessergebnisse und mittels unabhängiger Informationen eingeschätzt werden.

BEISPIEL Siehe ANMERKUNG unter 6.1.2.6.

5.6.3 Laborprüfungen zur Bestimmung der Genauigkeit des Druckmessdosensystems dürfen nur durchgeführt werden, wenn das vorgesehene Installationsverfahren durch den Prüfaufbau reproduziert wird.

ANMERKUNG Realistische Kalibrierprüfungen von Druckmessdosensystemen im Labor sind kostenintensiv und nur in Ausnahmefällen gerechtfertigt.

6 Installation und Messdurchführung

6.1 Installation

6.1.1 Installation im Baugrund

6.1.1.1 In weiche Böden sollten Druckmessdosen mit geeigneten Geräten, z. B. mit einem CPT-Gerät (siehe ISO 22476-1:2012) eingedrückt werden. Messungen müssen nach der Dissipation von möglicherweise durch die Druckmessdoseninstallation entstandenem überschüssigen Porenwasserdruck begonnen werden.

ANMERKUNG Speziell dafür ausgelegte Druckmessdosen, häufig mit eingebautem Piezometer, sind im Handel erhältlich.

6.1.1.2 Bei steifen Böden und Fels sollten Druckmessdosen in Bohrlöchern installiert werden. Die Bohrlöcher müssen nach EN ISO 22475-1:2006 gebohrt werden. Die Druckmessdose oder Anordnung aus mehreren Druckmessdosen (siehe Bild 2) muss im Bohrloch platziert und befestigt werden, während die Einbautiefe und die Ausrichtung der Messrichtung des Kissens überprüft werden.

ANMERKUNG Bei oberflächennahen Anwendungen dürfen die Druckmessdosen auch in einem geschnittenen Spalt installiert werden.

6.1.1.3 Die Bohrlöcher am Messort müssen mit einem Material verfüllt werden, das der Steifigkeit des Baugrunds entspricht.

ANMERKUNG Übliche Verfüllmaterialien sind: (1) bei weichem Fels und steifen Böden ($E < 5$ GPa): Bentonit und andere Zementsuspensionen mit geringer Festigkeit in Kombination mit tonhaltigen Komponenten; (2) bei Fels mit mittlerer Steifigkeit ($5 \text{ GPa} \leq E < 20 \text{ GPa}$): zementbasierte Mörtel oder Suspensionen; (3) bei Fels mit hoher Steifigkeit ($20 \text{ GPa} \leq E < 30 \text{ GPa}$): Zahnzement in Kombination mit anschließender Vorspannung von mindestens 0,5 MPa; (4) bei Fels mit sehr hoher Steifigkeit ($E > 30 \text{ GPa}$): nicht anwendbar.

6.1.1.4 Nach dem Aushärten des Verfüllmaterials muss sichergestellt sein, dass ein vollständiger und enger Kontakt zwischen der Druckmessdose und der Bohrlochwand hergestellt und die Druckmessdosenanordnung vorgespannt ist (siehe Tabelle 2). Zu diesem Zweck kann die Druckmessdose expandiert werden, z. B. durch das Zusammendrücken eines Quetschschlauchs (siehe 6.1.3.3 und Bild 7) oder durch Kontaktinjektion. Für den letztgenannten Fall sollten Injektionsschläuche zu jeder Druckmessdose führen. Der wirksame Injektionsdruck am Messort sollte mindestens dem in Tabelle 2 angegebenen Wert des Vorspannungsdrucks p_{p-t} entsprechen, maximal jedoch dem doppelten Wert.

Tabelle 2 — Vorspannungsdruck p_{p-t} für die Installation von Druckmessdosen in steifen Böden und Fels

Elastizitätsmodul des Mediums [MPa]	Vorspannungsdruck p_{p-t} [MPa]
sehr niedrig (< 100 MPa)	0,02
niedrig (100 MPa bis 5 000 MPa)	0,05
mittel (5 000 MPa bis 20 000 MPa)	0,10
hoch (20 000 MPa bis 30 000 MPa)	0,50
sehr hoch ($> 30 000$ MPa)	nicht anwendbar

6.1.1.5 Messungen können nach erfolgter Vorspannung und Stabilisierung des Druckmessdosen-Messsignals begonnen werden.

6.1.2 Installation in Auffüllungen

6.1.2.1 Die Installation der Druckmessdose sollte begonnen werden, wenn die Auffüllung eine Höhe von mindestens 800 mm über dem Gerät erreicht hat. Eine Baugrube mit breiter Sohle und an allen Seiten geneigten Böschungen mit einem Böschungsverhältnis $< 1:3$ muss ausgehoben werden. Die Größe der Baugrube sollte von der Anzahl der zu installierenden Druckmessdosen abhängig gemacht werden.

BEISPIEL Die Installation von einer Gruppe aus drei Druckmessdosen erfordert i. d. R. eine Baugrubensohle in der Größenordnung von $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$.

6.1.2.2 Die Druckmessdosen sollten direkt an der Baugrubensohle platziert und befestigt werden. Einzelne Druckmessdosen sollten nicht in getrennten Vertiefungen in der Sohle installiert werden. Vor der Platzierung der Druckmessdosen sollte die Sohle der Baugrube (erneut) verdichtet worden sein. Eine dünne, durchgängige Schicht eines Sand-Zement-Gemischs mit geringer Festigkeit darf zur Stabilisierung auf die Installationsfläche aufgetragen werden.

6.1.2.3 Bei Gruppierungen muss der Mindestabstand zwischen angrenzenden Druckmessdosen die dreifache Abmessung einer Druckmessdose betragen, üblicherweise ungefähr 1,5 m.

6.1.2.4 Druckmessdosen und Messleitungen müssen so robust sein, dass sie beständig gegen die beim Bau von Erddämmen typischerweise vorherrschende raue Umgebung sind. Die Messleitungen müssen ausreichend schlaff sein, damit große Dehnungen ausgeglichen werden können. Für die Leitungen muss ein zusätzlicher Schutz in Bereichen vorgesehen sein, in denen sie einer potentiell übermäßigen Scherverformung ausgesetzt sind, wie z. B. im Übergangsbereich zwischen dem Kern und der Filterschicht.

ANMERKUNG In Erddämmen zu installierende Messleitungen müssen außerdem so ausgelegt sein, dass ein Wasserdurchfluss zwischen Kern und Filterschicht vermieden wird.

6.1.2.5 Nach der Platzierung der Druckmessdosen und der Verlegung der Messleitungen sollte die Baugrube schichtweise (Schichtdicke jeweils 100 mm bis 200 mm) mit Aufschüttungsmaterial mit unverändertem Wassergehalt verfüllt werden, nachdem Gesteinskörnungen, die größer als 25 mm sind, entfernt worden sind. Jede Schicht sollte einzeln mit manuell zu bedienenden Geräten verdichtet werden, bevor auf einer Höhe von etwa 800 mm über der Installationsebene die allgemeine Verdichtung erfolgt.

6.1.2.6 Nach der Installation sollten so bald wie möglich die Leistungsüberprüfungen der Druckmessdosen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Dabei ist die Berücksichtigung des Überlagerungsdrucks sinnvoll, der mit der Auffüllung stetig steigt. Im unteren Bereich eines Erdschüttdamms ist das Spannungsfeld während des Baus grundsätzlich 2-dimensional, falls das Tal breit und nicht überwiegend V-förmig ist. In diesem Fall ist es möglich, aus der Dichte und Dicke der Auffüllung zu errechnen, welche Werte für die Vertikalspannungen σ_v gemessen werden sollten. Dieses Verfahren wird üblicherweise für die Überprüfung der Leistung von Druckmessdosen in hohen Aufschüttungen verwendet.

6.1.3 Installation in Beton/Spritzbeton

6.1.3.1 Die Druckmessdose muss sicher befestigt werden, z. B. mit weichem Eisendraht an Bewehrungsstäben oder nahegelegenen Stahlkonstruktionen, damit sichergestellt ist, dass Position und Ausrichtung der Druckmessdose während des Betonierens (*Torkretierens*) beibehalten werden. Es sollte besonders sorgfältig vorgegangen werden, um das Entstehen von Lufteinschlüssen (*Spritzschatten*) während des Betonierens (*Auftragens des Spritzbetons*) zu vermeiden.

ANMERKUNG Bei Tunnelauskleidungen aus Spritzbeton ist eine Befestigung der Druckmessdose an einem Stahlgitter häufig nicht ausreichend, da durch das Torkretieren ausgelöste Schwingungen des Gitters eine gute Einbettung der Druckmessdose verhindern.

6.1.3.2 Bei Messungen in Beton mit Gesteinskörnungen, die größer als 25 mm sind, ist es ratsam, die Druckmessdose mit einem speziellen Betongemisch zu umgeben, aus dem die gröberen Gesteinskörnungen entfernt wurden.

6.1.3.3 Der Schrumpfspalt zwischen der Sensoroberfläche des Kissens und dem Beton (*Spritzbeton*), der häufig gegen Ende des Aushärtungsvorgangs entsteht, muss vor der Durchführung der Messungen geschlossen werden. Zu diesem Zweck müssen in Beton eingebettete Druckmessdosen mit einer Vorspannungseinrichtung (5 in Bild 7) ausgestattet sein, die mindestens drei Vorspannungsvorgänge ermöglichen sollte.

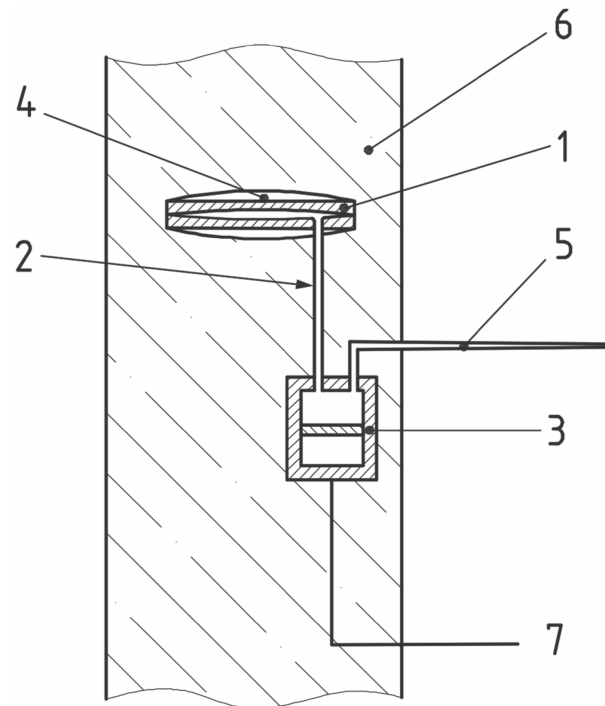
BEISPIELE (1) Flüssigkeitsgefüllter, mit dem Hohlraum der Druckmessdose verbundener Quetschschlauch, der lang genug ist, um aus dem Beton (Spritzbeton) herauszuragen (siehe Bild 7); (2) direkt in den Spalt führende Injektionsleitung zur Vorspannungsinjektion.

ANMERKUNG Je länger der Quetschschlauch, desto geringer die Steifigkeit der Druckmessdose.

6.1.3.4 Die Schlauchleitung der Vorspannungseinrichtung sollte so verlegt werden, dass sie vor Beschädigungen durch Bauarbeiten geschützt und gegen Temperaturänderungen geschirmt ist.

ANMERKUNG Änderungen der Umgebungstemperatur am Quetschschlauch beeinflussen den Druck in der Druckmessdose.

6.1.3.5 Messungen können nach erfolgter Vorspannung und Stabilisierung des Druckmessdosen-Messsignals begonnen werden.



Legende

- 1 Druckkissen im Zustand nach Dissipation der Aushärtungstemperatur
- 2 Druckleitung
- 3 Druckmessgerät
- 4 Schrumpfspalt
- 5 Vorspannungseinrichtung (Quetschschlauch)
- 6 Beton (*Spritzbeton*)
- 7 Messleitung

Bild 7 — Möglicher Aufbau einer in Beton eingebetteten Druckmessdose mit Quetschschlauch

6.1.4 Installation in Kontaktebenen

6.1.4.1 Flächenlast-Messdosen müssen bündig mit der Grenzfläche des Aufnahmemediums installiert und befestigt werden.

BEISPIELE (a) Gründungsplatte auf Boden; (b) Oberfläche einer Tunnelbaugrube in Fels; (c) Anlagefläche eines Betonwiderlagers; (d) Dichtwand oder Spundbohle.

6.1.4.2 Bei einer ungleichmäßig geformten Aufnahmeebene, z. B. einer durch Sprengvortrieb freigelegten Felsoberfläche, muss das Kissen der Druckmessdose auf einer Bettung platziert werden, die diese Unebenheiten ausgleicht. Das Bettungsmaterial sollte eine ähnliche Steifigkeit wie das Aufnahmemedium aufweisen. Die Bettungsdicke sollte so gering wie praktisch möglich sein.

6.1.4.3 Das Überdeckungsmedium muss gleichmäßig auf dem Aufnahmemedium und dem Druckmessdosenkissen platziert werden. Es muss sichergestellt sein, dass das Kissen vollständig von dem neuen Material bedeckt ist.

BEISPIELE Typische Überdeckungsmaterialien sind: (a) gegen Betonwiderlager wirkende Verfüllung; (b) gegen Spundwand wirkender Boden; (c) gegen Druck im Baugrund wirkende Spritzbetonauskleidung bei Tunneln („Radial-Druckmessdose“).