

Bodenbeschaffenheit
Bestimmung des Porenwasserdrucks
Tensiometerverfahren
(ISO 11276:1995)

DIN
ISO 11276

ICS 13.080.20

Ersatz für
DIN 19682-4:1972-01

Soil quality – Determination of pore water pressure – Tensiometer methods (ISO 11276:1995)

Qualité du sol – Détermination de la pression d'eau dans les pores – Méthode du tensiomètre (ISO 11276:1995)

Die Internationale Norm ISO 11276:1995-09-01 „Soil quality – Determination of pore water pressure – Tensiometer methods“ ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Diese Norm wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 190 „Bodenbeschaffenheit“ aufgestellt. Für Deutschland war der NAW I 2/UA 3 „Physikalische Verfahren“ an der Bearbeitung beteiligt.

Es ist erforderlich, bei den Arbeiten nach dieser Norm Fachleute oder Facheinrichtungen einzuschalten.

Änderungen

Gegenüber DIN 19682-4:1972-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Der Inhalt wurde vollständig überarbeitet und im Hinblick auf die Erkenntnisse und Einsatzmöglichkeiten aufgrund der Weiterentwicklung der Verfahren stark erweitert.

Frühere Ausgaben

DIN 19682-4: 1972-01

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 4220, *Bodenkundliche Standortuntersuchung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen)*.

DIN 19685, *Klimatologische Standortuntersuchung – Ermittlung der meteorologischen Größen*.

E DIN ISO 10381-1, *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahme-programmen (ISO/DIS 10381:1995)*.

Hartge, K. H., Horn, R. (1992): *Die physikalische Untersuchung von Böden*. – Enke Verlag, Stuttgart, 177 S.

Hartge, K. H., Horn, R. (1992): *Einführung in die Bodenphysik*. – Enke Verlag, Stuttgart, 303 S.

Fortsetzung Seiten 2 bis 18

Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Deutsche Übersetzung

Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Porenwasserdrucks – Tensiometerverfahren

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitgliedskörperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet bei allen Angelegenheiten der elektrotechnischen Normung eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedskörperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften.

Die Internationale Norm ISO 11276 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 190 „Bodenbeschaffenheit“, Unterkomitee SC 5 „Physikalische Bodenuntersuchungsverfahren“ erstellt.

Anhang A ist normativer Bestandteil dieser Internationalen Norm.

Die Anhänge B, C, D, E und F sind nur zur Information.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt Tensiometerverfahren zur Bestimmung des Porenwasserdrucks sowohl in ungesättigtem als auch in gesättigtem Boden. Die Verfahren sind auf In-situ-Messungen des Porenwasserdrucks im Freiland sowie für die Bestimmung des Porenwasserdrucks z. B. in Pflanzenbehältern oder Bodenkernen für experimentelle Untersuchungen anwendbar.

Bei normalem atmosphärischen Druck (d. h. etwa 100 kPa) ist die Anwendung dieser Verfahren auf einen Bereich von Drücken bis etwa – 85 kPa begrenzt. Der Bereich verringert sich bei geringerem atmosphärischen Druck. Tensiometer sind nicht einsetzbar, wenn in der Messtiefe Temperaturen unter 0 °C auftreten. Ihre Genauigkeit wird von Temperaturschwankungen des Bodens und der Luft beeinflusst. Die Einstellzeit von Tensiometern reicht von einigen Sekunden bis zu mehreren Tagen. Zuverlässige Messungen unter Freilandbedingungen erfordern eine häufige Wartung der Tensiometer.

Tensiometer liefern Punktmessungen des Porenwasserdrucks. Um den Porenwasserdruck in unterschiedlichen Tiefen messen zu können, sind mehrere Tensiometer erforderlich. Im Freiland werden parallele Gerätesätze erforderlich, wenn die räumliche Variabilität des Bodens zu berücksichtigen ist.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Definitionen:

ANMERKUNG 1 Zusätzliche Definitionen enthält Anhang E.2 (informativ).

2.1 Porenwasserdruck

Summe aus Matrixdruck und pneumatischem Druck

ANMERKUNG 2 Der Porenwasserdruck wird auch als Wasser- oder Saugspannung bezeichnet.

ANMERKUNG 3 Der Porenwasserdruck ergibt sich aus der Summe von Kräften an den Grenzflächen, die zwischen Luft, Wasser und dem festen Boden (Matrixdruck) wirken, dem Teil des Gewichtes des darüber liegenden Materials, das nicht vom Bodenskelett getragen und deshalb durch das Bodenwasser getragen wird (Deckschichtdruck), sowie dem örtlichen Luftdruck innerhalb des Bodens (pneumatischer Druck). In den meisten Fällen ist der pneumatische Druck Null.

2.2 Matrixdruck

Betrag der Arbeit, die verrichtet werden muss, um eine unendlich kleine Wassermenge, die in ihrer Zusammensetzung identisch mit dem Bodenwasser ist, reversibel und isotherm von einem Becken in Höhe des betrachteten Punktes und bei externem Gasdruck zum betrachteten Punkt zu transportieren, dividiert durch das Volumen des transportierten Wassers

2.3 Pneumatischer Druck

Betrag der Arbeit, die verrichtet werden muss, um eine unendliche kleine Wassermenge, die in ihrer Zusammensetzung identisch mit dem Bodenwasser ist, reversibel und isotherm von einem Becken bei Normalluftdruck und in Höhe des betrachteten Punktes zu einem ähnlichen Becken bei externem Gasdruck des betrachteten Punktes zu transportieren, dividiert durch das Volumen des transportierten Wassers

ANMERKUNG 4 Der Bodenwasserdruck kann als Druckäquivalent des Bodenwasserpotentials betrachtet werden. Dies gilt auch für die Bodenwasserdruckhöhe, dem Druckhöhenäquivalent des Bodenwasserpotentials.

Die Beziehung zwischen diesen ist:

$$\Psi \times \rho_w = p - h \times g \times \rho_w$$

Dabei ist:

Ψ das Bodenwasserpotential, auf Basis der Masse, in $\text{J} \times \text{kg}^{-1}$;

p das Druckäquivalent des Bodenwasserpotentials auf Basis des Volumens ($\text{J}/\text{m}^3 = 1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa}$);

h das Druckhöhenäquivalent des Bodenwasserpotentials, auf Basis des Gewichts ($1 \text{ J}/\text{N} = 1 \text{ m}$);

ρ_w die Dichte des Wassers, in $\text{kg} \times \text{m}^{-3}$;

g die Fallbeschleunigung, in $\text{m} \times \text{s}^{-2}$.

In dieser Internationalen Norm werden Druckäquivalente verwendet. Die entsprechende Maßeinheit ist das Pascal (Pa). Tabelle 1 enthält Umrechnungsfaktoren zwischen dem Bodenwasserpotential, dem Druck und der Druckhöhe für die am häufigsten verwendeten SI-Einheiten.

3 Grundlage des Verfahrens

Ein Tensiometer enthält eine wasserdurchlässige poröse, meist becherförmige Zelle, die mit einer Druckmess-einrichtung verbunden ist. Die Poren der Zellenwand sind klein genug, um zu verhindern, dass Luft durch sie hindurchtritt, wenn die Wand nass ist. Die poröse Zelle ist mit Wasser gefüllt. Wenn die Zelle im Boden eingebaut ist, fließt das Wasser innerhalb des Tensiometers durch die poröse Wand in den Boden, oder Bodenwasser fließt in das Tensiometer, bis der Wasserdruck auf beiden Seiten der porösen Wand gleich ist. Nach Erreichen des Gleichgewichts ist der gemessene Druck des Wassers innerhalb des Tensiometers nach Korrektur für den Höhenunterschied zwischen Drucksensor und poröser Zelle gleich dem Druckpotential des Bodenwassers am Ort der porösen Zelle.

Tabelle 1 – Umrechnungstabelle zwischen Bodenwasserpotential und seinem Druck- und Druckhöhenäquivalent

Umzurechnender Parameter	Druckäquivalent Pa	Druckhöhenäquivalent m	Potential J/kg
Druckäquivalent in Pa	1	$0,102\ 0 \times 10^{-3}$	10^{-3}
Druckhöhenäquivalent in m	9 807	1	9,807
Potential in J/kg	10^3	0,102 0	1
Hinweise			
1 Zur Umrechnung vom Potential oder seinen Äquivalenten in der ersten Spalte zu einem anderen Äquivalent oder Potential ist mit dem angegebenen Faktor zu multiplizieren. Zum Beispiel: einem Potential von 1 J/kg entspricht ein Druckäquivalent von 10^3 Pa und ein Druckhöhenäquivalent von 0,102 0 m.			
2 Fallbeschleunigung = $9,807 \text{ m}/\text{s}^2$ Dichte des Wassers = $1\ 000 \text{ kg}/\text{m}^3$			

4 Geräte

4.1 Tensiometer

Ein Tensiometer besteht üblicherweise aus einer porösen Zelle, einer Verbindungsleitung und/oder einer Hauptleitung, einem Drucksensor und einem Mechanismus zum Ausspülen der Luft, die sich im Tensiometer angesammelt hat. Einzelheiten der Konstruktion hängen im Wesentlichen davon ab, ob das Gerät für die Anwendung im Freiland oder im Laboratorium gedacht ist, und vom Typ des verwendeten Drucksensors. In Bild 1 sind Beispiele dargestellt. Anhang B enthält Informationen über Werkstoffe und den Bau von Tensiometern.

4.1.1 Poröse Zelle, aus einem porösen Werkstoff hergestellt, dessen Lufteintrittswert (Druck, der erforderlich ist, um Luft durch die wassergesättigte Zelle zu drücken) größer ist als der niedrigste zu messende Porenwasserdruck und als die bekannte Wasserdurchlässigkeit. Der Werkstoff muss formstabil sein und darf im Boden keinen Qualitätsverlust erleiden. Üblicherweise wird unglasierte Keramik verwendet; Alternativen sind in Anhang B beschrieben.

4.1.2 Verbindungs- und Hauptleitungen, aus geeigneten Werkstoffen mit sehr geringer Wasser- und Gasdurchlässigkeit hergestellt und mittels lecksicherer Verbindungen verbunden. Als Verbindung zwischen poröser Zelle des Tensiometers mit dem Drucksensor ist starres oder semiflexibles Leitungsmaterial zu verwenden (siehe Anhang B). Die Funktion der Verbindungsleitung kann teilweise oder vollständig durch die Hauptleitung übernommen werden.

Die Hauptleitung füllt üblicherweise das Loch aus, das über oder hinter der Tensiometerzelle nach deren Einsetzen in dem Boden verbleibt. Es ist ein starres Rohr mit demselben Außendurchmesser wie der der porösen Zelle. In vielen Konstruktionen ist es mit Wasser gefüllt, in anderen bildet es jedoch ein Gehäuse für kleinere Leitungen, die mit der porösen Zelle verbunden sind, und/oder für Kabel und Leitungen, die zu dem Druckaufnehmer hinter der Zelle führen.

4.1.3 Drucksensoren. In Tensiometern werden mehrere Arten von Drucksensoren verwendet. Übliche Drucksensoren sind Quecksilberdruckmessgeräte, Bourdon-Manometer und elektrische Druckaufnehmer. Die Verwendung anderer Druckmessgerätetypen ist zulässig. Die Empfindlichkeit des Drucksensors bestimmt, wie genau der Wasserdruck innerhalb des Tensiometers gemessen werden kann.

Anhang A beschreibt die Konstruktion und Verwendung von Quecksilberdruckmessgeräten für Tensiometer im Detail. Andere Drucksensoren sind in Anhang C beschrieben.

Die Genauigkeit von Bourdon-Manometern und Drucksensoren ist vor dem Einbau zu prüfen und dann mindestens einmal jährlich.

ANMERKUNG 5 Die Genauigkeit von Geräten für die Messung im Freiland kann mit einem Quecksilber-Referenzmanometer geprüft werden. Das vollständig zusammengebaute Tensiometer kann im Freiland durch Einsetzen eines „T“-Stückes in die Verbindungsleitung geprüft werden. Falls erforderlich, wird eine weitere Verbindungsleitung zum Anschluss an ein Quecksilberdruckmessgerät befestigt. Sollte für Laboratoriumsanwendungen eine größere Genauigkeit erforderlich sein, werden spezielle Prüfeinrichtungen erforderlich.

4.2 Aufbau des Tensiometers

Einzelheiten zu Werkstoffen für Tensiometer und deren Bau enthält Anhang B. Da das Innere eines in ungesättigtem Boden installierten Tensiometers unter Teilvakuum steht, muss eine luftdichte Konstruktion (Fertigung) sichergestellt sein. Die Anzahl der Verbindungsstellen im System ist so gering wie möglich zu halten. Klebestellen sind so herzustellen, dass der freie Raum zwischen Bauteilen vollständig ausgefüllt ist. Verbindungsstellen, die auf einem dichten Sitz zweier Werkstoffe beruhen, z. B. Stopfen, müssen die passende Größe und eine möglichst große Kontaktfläche aufweisen.

Das System wird häufig in feuchter Umgebung verwendet. Folglich müssen alle eingesetzten Werkstoffe feuchtigkeitsbeständig sein. Dies gilt insbesondere für Klebemittel, von denen einige Arten in feuchter Umgebung weich werden oder quellen können (was zum Versagen geklebter Teile führt).

Wenn ein Tensiometer neuer Bauart oder mit nicht erprobten Werkstoffen eingesetzt wird, ist es vorher unter Druck und/oder im Vakuum auf Dichtheit zu prüfen. Dieses Verfahren wird generell empfohlen.

5 Durchführung

5.1 Installation von Tensiometern

Tensiometer können vertikal oder horizontal eingebaut werden, je nachdem, wie es für den Untersuchungszweck geeignet ist. Jedes Tensiometer ist so zu installieren, dass die Mitte der porösen Zelle sich in der jeweiligen Tiefe befindet, in der die Messung erfolgen muss. Es ist darauf zu achten, dass das Bodengefüge im Messbereich des Tensiometers nicht übermäßig gestört wird. Ein guter Kontakt zwischen poröser Zelle und Boden ist sicherzustellen, das Verschmieren des Bodens um die Zelle ist zu vermeiden.

ANMERKUNG 6 Üblicherweise wird vorsichtig ein Loch mit dem Durchmesser des Tensiometers in den Boden gebohrt und das Tensiometer hineingeschoben. Einzelheiten von alternativen Verfahren für die Herstellung von Bohrungen, in die Tensiometer im Freiland eingesetzt werden, sind in Anhang D angegeben. Bei der Installation von Tensiometern in Pflanzenbehältern, Bodenkernen, Lysimetern usw. sollte ähnlichen Verfahren gefolgt werden, wie den in Anhang D beschriebenen, jedoch sind sie maßstäblich entsprechend zu verkleinern.

Es ist darauf zu achten, dass das Tensiometersystem gegen Temperaturschwankungen geschützt ist. Temperaturschwankungen rufen thermische Ausdehnung und Kontraktion von Systemteilen und dem darin befindlichen Wasser hervor, die die Druckmessung beeinflussen. Im Freiland sind alle exponierten Teile des Tensiometers, soweit es praktisch möglich ist, vor Sonneneinstrahlung zu schützen. (Dies hält Wärmeeinflüsse an der Tensiometeranzeige gering und verlängert auch die Lebensdauer der Bauteile.)

Es sind auch Vorkehrungen zu treffen, um das Einsickern von Regen- oder Bewässerungswasser entlang der Seitenwand des Tensiometers nach unten zur Zelle zu verhindern. Alle Geräte sind gegen Beschädigung durch Nagetiere oder andere Tiere zu schützen.

5.2 Vorbereitung für den Einsatz von Tensiometern

5.2.1 Herstellung von luftfreiem Wasser

Gelöste Luft ist entweder durch Kochen oder mit einem Vakuumsystem aus dem für das Tensiometer zu verwendenden Wasser zu entfernen. Luftfreies Wasser ist so aufzubewahren, dass keine Luft damit in Berührung kommen kann. Luftfreies Wasser ist vorsichtig und ohne Verwirbelung einzufüllen, um den Kontakt mit Luft gering zu halten.

5.2.2 Füllen des Systems mit Wasser

Es ist wesentlich, beim Füllen des Tensiometersystems mit luftfreiem Wasser Lufteinschlüsse im Innern zu vermeiden. Tensiometersysteme mit Quecksilberdruckmessgeräten sind nach Anhang A unter Freilandbedingungen zu befüllen.

ANMERKUNG 7 Unter experimentellen Laboratoriumsbedingungen wird das System vorzugsweise nicht gespült, da dies sonst den Wasserhaushalt eines Bodenkerns beeinflussen kann.

Es ist möglich, mit einer Vakuumpumpe die Luft aus Freilandsystemen mit Bourdon-Manometern oder elektrischen Druckaufnehmern zu entfernen. Die Luft im System expandiert und perlt heraus. Bei Aufheben des Vakuums ersetzt Wasser die Luft. Manchmal sind zum vollständigen Entfernen von Luft mehrere derartiger Entleerungszyklen erforderlich.

5.3 Ablesen von Tensiometern

Es ist wichtig, mit dem Ablesen zu warten, bis sich das hydraulische Gleichgewicht im Tensiometersystem eingestellt hat.

ANMERKUNG 8 In einem feuchten, grobkörnigen Boden kann man zuverlässige Ablesungen innerhalb 1 h oder weniger nach Installation oder Wartung erhalten, wohingegen in trockenem Boden mehrere Tage erforderlich sein können. Es wird empfohlen, mindestens 4 h und vorzugsweise 16 h (über Nacht) vergehen zu lassen, bevor Freilandtensiometer nach der Installation oder Wartung abgelesen werden.

ANMERKUNG 9 Die Häufigkeit der Ablesungen hängt davon ab, für welchen Zweck sie erforderlich sind. Bis 0,5 m Tiefe oder darunter ändern sich Ablesungen nach einem Regen schnell (Zeitmaßstab in Stunden) und im Fall von Verdunstung etwas weniger schnell (Zeitmaßstab in Tagen). Bei größeren Tiefen erfolgen die Änderungen langsamer. Wenn jedoch mehr als eine Woche zwischen den Ablesungen vergeht, wird es oft erforderlich, Druckmessgerät- und Bourdon-Tensiometer zu warten, bevor zuverlässige Ablesungen möglich sind. Um die Effekte täglicher Temperatur- und Porenwasserdruckschwankungen aufgrund des Wasserentzugs durch Pflanzen auf das Ergebnis zu verringern, ist die Ablesung der Tensiometer bevorzugt zur gleichen Stunde an den Tagen durchzuführen, an denen die Untersuchung stattfindet, wenn die Ablesefrequenz tagesweise oder höher ist.

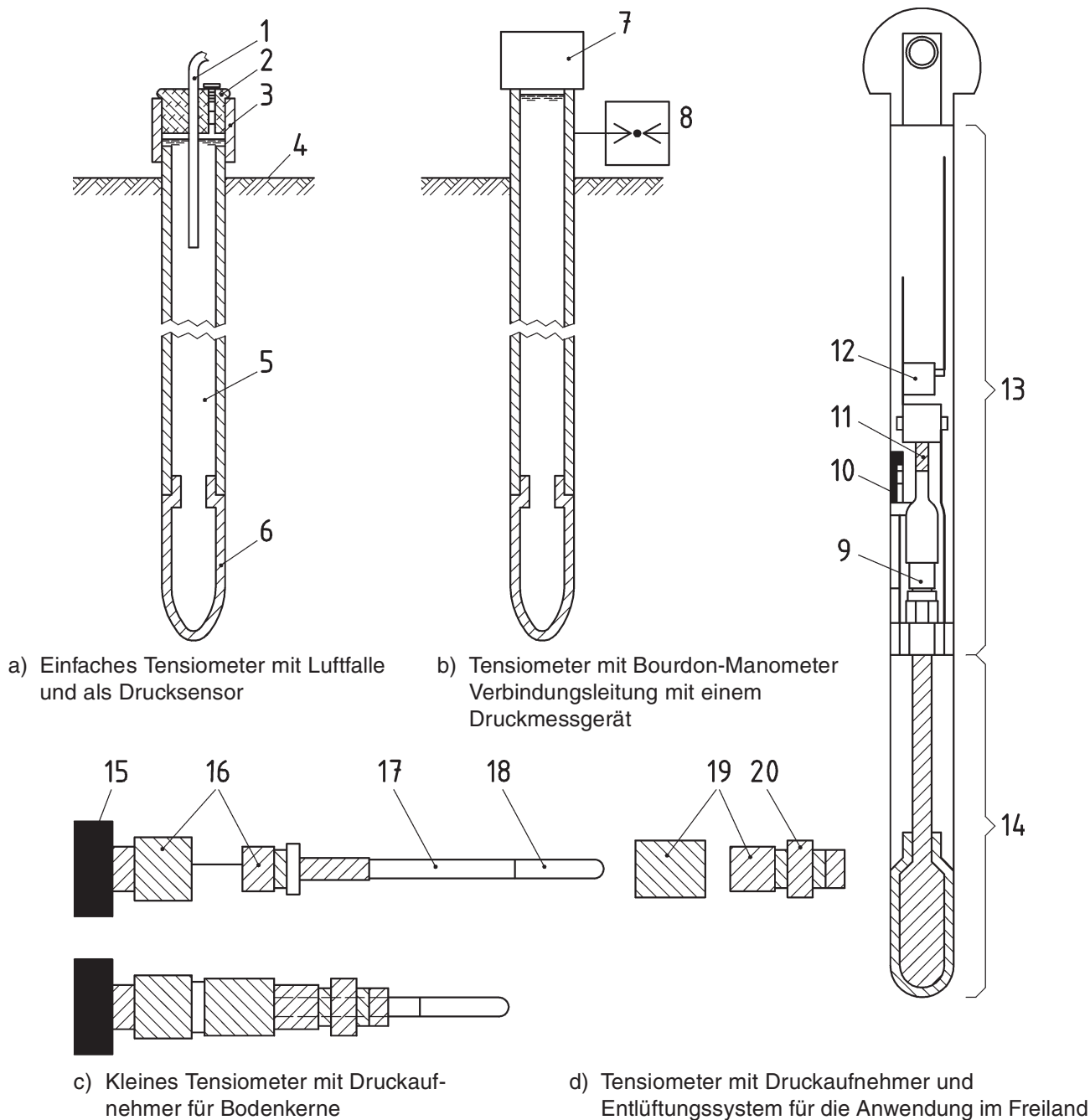
5.4 Wartung und Instandhaltung von Tensiometern

Das größte, immer wiederkehrende Problem beim Gebrauch von Tensiometern sind Lufteinschlüsse. Die Geräte, bei denen der Drucksensor hinter der porösen Zelle angeordnet ist, sind hiervon weniger betroffen. Es ist jedoch wichtig, dass Lufteinschlüsse durch wiederholtes Entlüften gering gehalten werden.

Bei anderen Gerätetypen beeinflussen kleine Luftblasen in der Luftfalle die Genauigkeit des Tensiometers nicht, verlängern jedoch seine Einstellzeit. In den meisten Fällen wird empfohlen, das Tensiometer mit luftfreiem Wasser neu zu füllen, wenn sich eine Luftblase mit einem Volumen von mehr als 100 mm³ in der Luftfalle angesammelt hat. Das Verfahren ist das gleiche wie in 5.2.2 beschrieben.

Ständig zu niedrige Tensiometeranzeigen (d. h. sehr negative Anzeigen) können bei schlechtem Kontakt mit dem Boden oder wegen Undichtigkeiten im System auftreten. In letzterem Fall sammeln sich im Tensiometer große Luftmengen an. Tritt ein derartiger Fall ein, ist das Tensiometer auszubauen und zu reparieren.

Eine Prüfung und, falls erforderlich, Wartung sind üblicherweise mindestens wöchentlich durchzuführen.



Legende

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Verbindungsleitung | 11 Aufnehmerkabel (mit Belüftung) |
| 2 Gummistopfen | 12 Einlassventil |
| 3 Luftfalle | 13 Abgedichtete obere Hauptleitung |
| 4 Bodenoberfläche | 14 Wassergefüllte untere Hauptleitung |
| 5 Entlüftungswasser | 15 Druckaufnehmer |
| 6 Poröse Zelle | 16 Drucksichere Schraubverbindung |
| 7 Abnehmbare luftdichte Kappe | 17 Wassergefüllte Hauptleitung |
| 8 Vakuumdruckmessgerät | 18 Poröse Zelle |
| 9 Aufnehmer (entlüftend) | 19 Schraubverbindung zur Befestigung |
| 10 Auslassventil | 20 Halterung für Tensiometerzelle |

Bild 1 – Hauptbestandteile eines Tensiometers, die in einer Vielzahl von Konstruktionen für den Freiland- und Laboratoriumseinsatz verwendet werden