



METER
ENVIRONMENT

Bedienungsanleitung



T5 / T5x

Druckaufnehmer-Tensiometer

© METER Group AG München
Art.Nr. T5
Version 08/2018
Author: tk, ge

Inhalt

1	Tensiometer T5/T5x	4
1.1	Sicherheits- und Gefahrenhinweise	4
1.2	Lieferumfang	5
1.3	Vorwort	6
1.4	Garantie	6
1.5	Lebensdauer	6
1.6	Allgemeines	7
1.6.1	Boden und Bodenwasser	7
1.6.2	Bestimmungsgemäße Verwendung	7
1.6.3	Typische Anwendung	8
1.6.4	Erweiterter Messbereich des T5x	8
1.6.5	Besondere Hinweise	9
1.7	Kurzanleitung	10
2	Produktbeschreibung des T5/T5x	12
2.1	Aufbau des T5/T5x	12
2.1.1	Korpus und Schaft	12
2.1.2	Drucksensor	12
2.1.3	Referenzdruck	12
2.1.4	Die keramische Kerze	13
2.2	Analoge Ausgangssignale	13
3	Installation	14
3.1	Konzeption	14
3.1.1	Einsatzbereiche des T5	14
3.1.2	Anzahl der Tensiometer je Horizont	14
3.1.3	Größe des Messfeldes	14
3.1.4	Ideale Einbaubedingungen	15
3.1.5	Dokumentation	15
3.1.6	Wahl der Einbaulage	15
3.2	Installation des T5	16
3.3	Offset-Korrektur für nicht horizontale Einbaulage	17
3.4	Anschluss des T5	18
3.4.1	Stichpunktmessungen mit dem INFIELD7	18
3.4.2	Anschlusskabel	18
3.4.3	Generelle Anforderungen	18
3.4.4	TV-batt Tensiometerversorgung	19
3.4.5	Anschluss an Datenlogger	19
3.4.6	Tensiometer-Logger DL6-te und GP1-te	19
4	Wartung und Pflege	20
4.1	Befüllung	20
4.1.1	Wann muss das Tensiometer befüllt werden?	20
4.1.2	Befüllung in Labor und Gelände	21
4.2	Überprüfung	32
4.2.1	Kalibrierung	32
4.2.2	Überprüfen des Offset	32

4.3	Reinigung	33
4.4	Lagerung	33
5	Schutz der Messeinrichtung	33
5.1	Diebstahl und Vandalismus	33
5.2	Schutz der Kabel	33
5.3	Frost	33
6	Zusätzliche Hinweise	34
6.1	Erweiterter Messbereich	34
6.1.1	Der Lufteintrittsdruck(punkt) der porösen Kerze.	34
6.1.2	Der Dampfdruck von Wasser:	34
6.1.3	Der Siedeverzug:	35
6.2	Maximaler Messbereich und Interpretation von Messdaten	36
6.3	Temperatureinflüsse während der Messung	38
6.4	Einfluss des Wasserdampfdruckes auf den Zusammenhang pF/WG:	38
6.5	Osmotischer Effekt	39
7	Fehlersuche	39
8	Anhang	40
8.1	Technische Daten	40
8.2	Anschlussbelegung	41
8.3	Zubehör	42
8.3.1	Anschluss- und Verlängerungskabel	42
8.3.2	Handanzeigegerät INFIELD7	43
8.3.3	Tensiometer-Logger	43
8.3.4	TV-batt power supply	44
8.3.5	T5 Bohrer-Set	44
8.3.6	T5/T5x-Servicekoffer	44
8.4	Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale	45
9	Stichwortverzeichnis	46
Kontakt:	Fehler! Textmarke nicht definiert.	

1 Tensiometer T5/T5x

1.1 Sicherheits- und Gefahrenhinweise

Beim Umgang mit Produkten, die mit elektrischer Spannung in Berührung kommen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden, insbesondere VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860.

Bitte beachten Sie, dass Bedien- und Anschlussfehler außerhalb unseres Einflussbereiches liegen. Verständlicherweise können wir für Schäden, die daraus entstehen, keine Haftung übernehmen.

Tensiometer sind Messgeräte zur Messung der Bodenwasser-
spannung beziehungsweise des Matrixpotentials und des
Bodenwasserdruckes und nur für diesen Zweck einzusetzen.

An dieser Stelle möchten wir besonders auf folgende Gefahren-
quellen hinweisen:

- ⚠ **Blitzeinschlag:** Lange Messleitungen wirken wie Antennen und können bei Blitzeinschlägen hohe Überspannungen leiten und dadurch Sensoren und angeschlossene Geräte zerstören. Wir bieten geeignete Schutzeinrichtungen hierfür an.
 - ⚠ **Frost:** Tensiometer sind mit Wasser gefüllt und daher frostempfindlich! Schützen Sie Ihr Tensiometer vor Frost, bauen Sie es vor der Frostperiode aus und lagern es frostsicher. Im Winter keinesfalls über Nacht in Auto oder Messhütte liegen lassen!
 - ⚠ **Überdruck:** Die zerstörungsfreie maximale Drucklast beträgt 3000 hPa. Höhere Drücke, die beim Verschrauben oder beim Einbau in nasse, tonige Böden oder bei Verwendung in Triaxialgefäßen entstehen können, können den Sensor zerstören!
 - ⚠ **Elektroinstallationen:** Elektroinstallationen dürfen nur vom Fachmann durchgeführt werden!
 - ⚠ **Keramik:** Die Keramik nicht mit bloßen Fingern berühren. Fette oder Seifen beeinträchtigen die hydrophilen Eigenschaften der Keramik.
-
- ⚠ **Achtung!** Bitte die Kerze nicht gegen den Korpus verdrehen!

1.2 Lieferumfang

Im Lieferumfang **T5** bzw. **T5x** sind enthalten:

- Tensiometer, befüllt und kalibriert, mit Stecker M12/IP67 und Schutzkappe
- Diese Bedienungsanleitung
- Pipettensauger, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt zum Feuchthalten und Schutz der Keramikkerze

Erhältliches Zubehör finden Sie im Kapitel "Zubehör".

Im Lieferumfang **T5-Set** bzw. **T5x-Set** sind enthalten:

- Blauer Kunststoffkoffer, Länge 340 mm x Breite 270 mm x Höhe 80 mm
- Tensiometer, befüllt und kalibriert, mit Stecker M12/IP67 und Schutzkappe
- Bedienungsanleitung
- Pipettensauger, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt zum Feuchthalten und Schutz der Keramikkerze
- Päckchen Taschentücher
- PE-Flasche 250 ml mit Wasser
- Evakuiererspritze mit Acrylglasadapter für Sensorkorpus
- Evakuiererspritze für die T5-Kerze
- Wasservorratsspritze für die T5-Kerze
- Spritze mit Pipettenspitze
- Stechbohrer, Durchmesser 5 mm, Länge 200 mm
- Sensorkorpusbohrer, Durchmesser 18 mm, Länge 200 mm
- Anschlusskabel 1,5 m Länge

1.3 Vorwort

Messsysteme müssen zuverlässig, wartungsarm und langlebig sein, um präzise Ergebnisse zu liefern und um den Betreuungsaufwand minimal zu halten. Der Erfolg jeder technischen Einrichtung ist aber auch von der sachgerechten Anwendung abhängig.

Zu Beginn einer Messaufgabe oder eines Forschungsprojektes müssen aus der Zieldefinition alle Einflussgrößen gesamtheitlich betrachtet – sowie Gegebenheiten und Randbedingungen definiert werden. Daraus leiten sich die Anforderungen an das wissenschaftliche und technische Projektmanagement ab, das alle qualitätsrelevanten Prozesse definiert, die Auswahl der einzusetzenden Verfahren trifft, die der technischen und messtechnischen Werkzeuge, der Verifizierung, der Datenablage und der Modellierung.

Das kontinuierlich optimierte Zusammenwirken der einzelnen Teilbereiche und deren Qualitätssicherung sind schließlich ausschlaggebend für den Erfolg des Projektes.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei Ihren Messprojekten und stehen Ihnen gerne weiter zur Verfügung.

Ihr,

Georg von Unold

1.4 Garantie

Die Garantiedauer beträgt 12 Monate und erstreckt sich bei bestimmungsgemäßer Verwendung auf Herstellungsfehler und Mängel. Der Umfang ist beschränkt auf die ersatzweise Lieferung oder Reparatur inkl. Verpackung. Versandkosten werden nach Aufwand berechnet. Erfüllungsort ist München, Mettlacher Straße 8.

1.5 Lebensdauer

Die nominelle Lebensdauer beträgt 10 Jahre. Diese kann durch einen Schutz vor UV-Strahlung und Frost sowie durch sachgerechte und sorgfältige Pflege deutlich verlängert werden.

1.6 Allgemeines

1.6.1 Boden und Bodenwasser

Alle Wasserbewegungen im Boden sind direkt abhängig von der Bodenwasserspannung, da sich das Wasser - in Böden wie auch an der Oberfläche - immer von Orten höheren Potentials zu Orten eines niedrigeren Potentials bewegt.

Der Großteil der Bodenwasserflüsse findet bei geringen Wasserspannungen statt, die nur mit Tensiometern direkt und sehr präzise gemessen werden können.

Natürlich gelagerte Böden sind heterogen. Dadurch bestimmen nicht nur Niederschlag und Verdunstung die Prozesse, sondern auch die Textur, Korngrößenverteilung, Risse, Verdichtung, Wurzeln und Hohlräume. Wegen dieser Heterogenitäten variieren die Wasserspannungen, weshalb insbesondere nahe der Bodenoberfläche Wiederholungsmesspunkte sinnvoll sind.

1.6.2 Bestimmungsgemäße Verwendung

Tensiometer werden zur Messung der Bodenwasserspannung beziehungsweise des Matrixpotentials eingesetzt. Dieses Tensiometer arbeitet von +1000 hPa (Stauwasserbereich) bis -850 hPa (Saugspannung/Wasserspannung), das T5x je nach Befüllung weit darüber hinaus. Wird der Boden trockener, dann läuft das Tensiometer trocken und muss befüllt werden, wenn der Boden wieder feucht genug ist (siehe Kap. 4.1ff Befüllung).

Das Bodenwasser und das Wasser im Tensiometer haben Kontakt über die poröse Keramik, die wasserdurchlässig ist. Die Bodenwasserspannung überträgt sich direkt auf den Sensor, der das entsprechende analoge elektronische Messsignal liefert. Der atmosphärische Referenzdruck wird durch das Kabel und eine Membrane am Kabel übertragen - eine patentierte, praktikable Methode.

Das T5 Miniatur-Tensiometer ist speziell geeignet für punktuelle Messungen, z. B. in Bodensäulen und Kleinlysometern.

Die Keramikspitze hat eine aktive Oberfläche von nur 0,5 cm² und einen Durchmesser von 5 mm und damit alle Vorteile kleiner Abmessungen: geringe Bodenstörung, punktuelle Messung und dabei schnelles Ansprechverhalten.

1.6.3 Typische Anwendung

Typische Anwendungen für das T5 sind:

- Punktuelle Messung der Bodenwasserspannung
- Kleinlysimeterstudien, z. B. in Verbindung mit Saugwurzeln und Bodentemperaturfühlern
- Bestimmung von pF/WG und K/Psi Kurven in Bodensäulen oder Stechzylinderringen
- Beschreibung von Sickerwasser- oder Kapillarwasserbewegungen
- Steuersensor für Bewässerungsanlagen
- Pflanzentopf-Experimente
- Messungen in den obersten Bodenschichten
- Monitoring mit Datenloggern
- Stichpunktmessungen mit dem INFIELD7

Für einen Feldeinsatz möchten wir an dieser Stelle das T4/T4e oder das T8 empfehlen.

1.6.4 Erweiterter Messbereich des T5x

Die spezielle Version T5x wird vor Auslieferung auf einen erweitertem Messbereich von -1600 hPa getestet. Um dies zu erreichen, muss das T5x absolut blasenfrei befüllt sein. Einige T5x können sogar -2500 hPa erreichen, bevor sie trocken laufen, evtl. sogar bis zu -4500 hPa. Dies ist aber nur in Ausnahmen der Fall und kann nicht garantiert werden.

Das T5x ist identisch mit dem T5, hat aber eine andere Keramik. Der erweiterte Messbereich wird erreicht durch Siedeverzug, der Keramik mit kleineren Poren und, als Voraussetzung, einer absolut gasfreien Befüllung

- ⚠ Bitte achten Sie darauf, dass das Tensiometer nicht an Umgebungsluft austrocknet, da eventuell der Berstdruck erreicht werden kann und der Druckaufnehmer beschädigt wird.
- ⚠ Wegen der feinporigen Keramik ist die Wasserleitfähigkeit geringer. Dadurch spricht das Tensiometer langsamer an.

-
- ! Wird der Schaft durch Berühren erwärmt, dann findet eine kurzfristige Druckänderung statt! Der Schaft dehnt sich aus, was zu einem kurzfristigen Druckabfall führt.

1.6.5 Besondere Hinweise

T5/T5x sind nicht für trockene Böden geeignet sowie nicht frostbeständig.

Im Freilandeinsatz ist ein geeigneter mechanischer Schutz erforderlich.

Je weniger Luft im Tensiometer ist und je besser die Bodenwasserleitfähigkeit, umso schneller reagiert das Tensiometer.

Ist der Boden trockener als -900 hPa (bzw. -4000 hPa beim T5x) hat es keinen Sinn, das T5 Tensiometer neu zu befüllen.

Einschlämmen ist nur bei tonigen Böden sinnvoll und nur dann, wenn der Bohrlochdurchmesser größer als der Kerzendurchmesser (5 mm) ist. METER bietet den passformgerechten Bohrer (Artikelbezeichnung „TBT5“) an, der ein Einschlämmen überflüssig macht. Bei Grobsanden und Kiesen würde eine feinkörnigere Schlammmasse wie ein Wasserreservoir wirken und damit das Ansprechen deutlich verzögern.

Das T5 kann in jeder Lage eingebaut werden. Luftblasen sind durch den transparenten Schaft leicht erkennbar.

Wie alle METER Tensiometer liefert es abgegliche Signale.

1.7 Kurzanleitung

Die Kurzanleitung ersetzt nicht die Bedienungsanleitung. Bitte lesen Sie vor Inbetriebnahme die Bedienungsanleitung sorgfältig durch!

Das T5 wird fertig befüllt ausgeliefert und kann daher sofort eingebaut werden.

In weichem Boden kann das T5 auch ohne Vorbohren eingedrückt werden.

Für härtere Böden ist das METER Bohr-Set TBT5 (auch Bestandteil des Servicekoffers) als Zubehör erhältlich.

Gehen Sie wie folgt vor:

1. Mit dem T5 Bohrer ein entsprechend großes und tiefes Loch ausbohren und die Tiefe an Bohrer und Tensiometerschaft markieren.

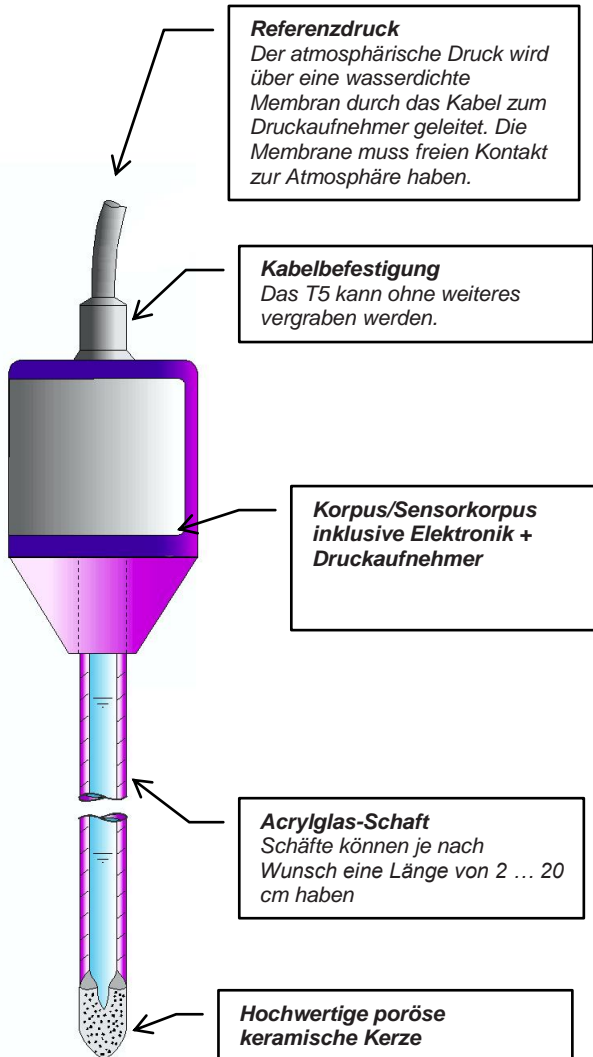
2. Schließen Sie das Tensiometer an ein Messgerät, z. B. Datenlogger oder das INFIELD7, an, um den Überdruck beim Einsetzen kontrollieren zu können.

⚠ Insbesondere bei nassen, tonigen Böden kann sich beim Einführen des Tensiometers ein hoher Überdruck aufbauen (Luftpumpeneffekt). Daher sollten die Druckwerte mit einem INFIELD7 Messgerät oder einem Datenlogger während des Einbaus kontrolliert werden.

3. Nehmen Sie den mit etwas Wasser gefüllten Pipettensauger vorsichtig ab und führen das T5 mit sanftem gleichmäßigem Druck bis zur Markierung ein.

⚠ Ein installiertes T5 niemals im Bohrloch drehen, da dies den Schaft lösen könnte.

⚠ Belassen Sie stets die Schutzkappe auf dem Stecker, sofern dieser unverschraubt ist, weil Schmutz die Dichtigkeit beeinflussen kann.



2 Produktbeschreibung des T5/T5x

2.1 Aufbau des T5/T5x

2.1.1 Korpus und Schaft

Im Korpus ist die gesamte Elektronik des T5 integriert. Das Gehäuse besteht aus Kunststoff. Die Elektronik ist komplett hermetisch vergossen. Dadurch ist sie optimal gegen Feuchte geschützt.

2.1.2 Drucksensor

Der piezoelektrische Drucksensor misst die Bodenwasserspannung differenziell gegen den Umgebungsluftdruck. Dieser wird über die wasserabweisende Membran am Kabel (weißes Schlauchstück) in der Nähe des Sensors an die Referenzseite des Drucksensors herangeführt.

- ⚠ Die zerstörungsfreie maximale Drucklast beträgt 3000 hPa. Höhere Drücke, die beim Zusammenschrauben, beim Einbau in nasse, tonige Böden oder bei Verwendung in Triaxialgefäßen entstehen können, können den Sensor zerstören!

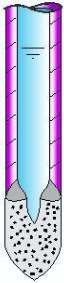
2.1.3 Referenzdruck

Der atmosphärische Referenzdruck wird durch die weiße Teflonmembran am Kabel durch das Kabel hindurch zum Druckaufnehmer geleitet. Die hydrophobe Membran absorbiert kein Wasser und lässt kein Wasser durch. Kondenswasser kann jedoch aus dem Kabelinneren entweichen.

- ⚠ Die weiße Membran am Kabel muss während den Messungen Luftkontakt haben und darf dabei z. B. nicht untergetaucht sein, weil sonst der Wasserdruck auf die Membrane als Fehler gemessen würde.

2.1.4 Die keramische Kerze

Um die Bodenwasserspannung als Unterdruck in das Tensiometer zu übertragen, ist eine semipermeable Membran nötig. Diese muss mechanisch stabil, wasserdurchlässig und gasundurchlässig sein.



Die Kerze besteht aus keramischem Al_2O_3 -Sintermaterial. Das spezielle Herstellungsverfahren garantiert homogene Porosität bei guter Wasserleitfähigkeit und sehr hoher Festigkeit. Der Bubble-Point liegt bei der T5-Kerze bei ca. 2000 hPa, bei der T5x-Kerze bei ca. 5000 hPa. Wird der Boden trockener als diese Werte, dann tritt Luft durch die Poren der Kerze ein und der Unterdruck im Tensiometer geht gegen 0 hPa. Mit diesen Eigenschaften ist sie hervorragend als semipermeable Membran für Tensiometer geeignet und hat sich zigtausendfach bewährt.

- ⚠ Die Kerze nicht mit der bloßen Hand berühren und nicht mit Fetten oder Seifen in Berührung bringen, da diese das hydrophile Verhalten verändern.
- ⚠ Wenn die Kerze an der Umgebungsluft liegt, dann saugt die Luft das Wasser aus dem Tensiometer. Dabei kann der Bubblepoint ebenfalls überschritten werden und die Anzeige geht gegen 0 hPa. Es treten Luftblasen ein und das Tensiometer muss neu befüllt werden.

2.2 Analoge Ausgangssignale

Das T5 liefert als analoges Signal die Bodenwasserspannung. Die Bodenwasserspannung wird als lineares Spannungssignal ausgegeben, wobei 10 hPa 1 mV entsprechen.

Da es sich um ein Vollbrückensignal handelt muss es differenziell gemessen werden. Bitte lesen Sie Kapitel 3.5.3 zum Anschluss der Tensiometer.

3 Installation

3.1 Konzeption

3.1.1 Einsatzbereiche des T5

Das T5 ist für den Einsatz in Topfpflanzen oder in kleineren Laborlysometern bzw für sehr kleinräumige, punktuelle Messungen konzipiert worden.

Generell gilt auch für das T5:

Der Messpunkt sollte repräsentativ für das zu messende Bodenvolumen sein. Eventuell sind Sondierungen notwendig. Bei eingefüllten Böden ist auf eine möglichst homogene Verteilung zu achten und dass der Boden gleichmäßig verdichtet wird.

Bei bewirtschafteten Flächen (Pflanzenbestand) sind Wurzelverteilung und Wachstum während der Messdauer zu berücksichtigen. Feinwurzeln bilden sich um die Tensiometerkerze aus, da diese eine zwar magere – aber sichere Wasserquelle darstellt. Daher eher den Wurzelraum vermeiden oder das Tensiometer gelegentlich umsetzen.

3.1.2 Anzahl der Tensiometer je Horizont

Die Varianz der Wasserpotentiale nimmt nach unten hin ab. In sandigen oder kiesigen Unterböden genügt in der Regel ein Messpunkt je Tiefe, - nahe der Bodenoberfläche sind ca. 3 Messpunkte empfehlenswert.

♥ Faustregel: Je heterogener der Messort und der Bodenaufbau, desto mehr Messpunkte sind erforderlich.

3.1.3 Größe des Messfeldes

Je weiter die Messpunkte auseinander liegen und je höher deren Anzahl der Parallelen, umso geringer wirken örtlich bedingte Heterogenitäten.

Für die Berechnung des Wasserflusses nach Darcy sind 2 Tensiometer pro Horizont nötig, eines im oberen und eines im unteren Bereich des Horizontes.

Blitzexponiertheit der Fläche: Die Messkabel wirken wie Antennen und sollten daher nur so lang wie nötig gewählt werden (siehe auch http://www.ums-muc.de/support/faq/erdung_und_blitzschutz_von_freilandmessstationen.html)

Eine Länge von mehr als 20 m ist daher generell nicht empfehlenswert, jedoch möglich. Anschlusskabel finden Sie im Kapitel 7.2 "Zubehör".

3.1.4 Ideale Einbaubedingungen

Ideale Einbaubedingungen sind:

- frostfreie Zeit,
- feuchte Schluff- und Lößböden,
- geringer Skelettanteil (Steine).

3.1.5 Dokumentation

Jeder Messpunkt sollte:

- über 2 Bezugspunkte eingemessen werden;
- vor, während und nach dem Einbau fotografiert werden,
- mit einer Bodenprobe „kartiert“ werden,
- unter Angabe der Messtiefe und Seriennummer notiert werden,
- Sämtliche Verlängerungsmessleitungen sollten beidseitig mit der Seriennummer des Tensiometers oder der Kanalnummer markiert werden (aufclipsbare Kabelnummern sind als Zubehör lieferbar)

3.1.6 Wahl der Einbaulage

Ideal ist die Einbaulage dann, wenn der ortstypische Wasserfluss durch das Tensiometer nicht gestört wird. Weiter soll kein präferenzierter Fluss am Schaft entlang zur Tensiometerkerze geschaffen werden. Daher soll präzise vorgebohrt (TBT5 siehe Zubehör im Anhang), der Boden leicht angedrückt und das Messkabel zugentlastet werden.

3.2 Installation des T5

Zum Einbau des T5 im Freiland benötigen Sie folgendes Zubehör:

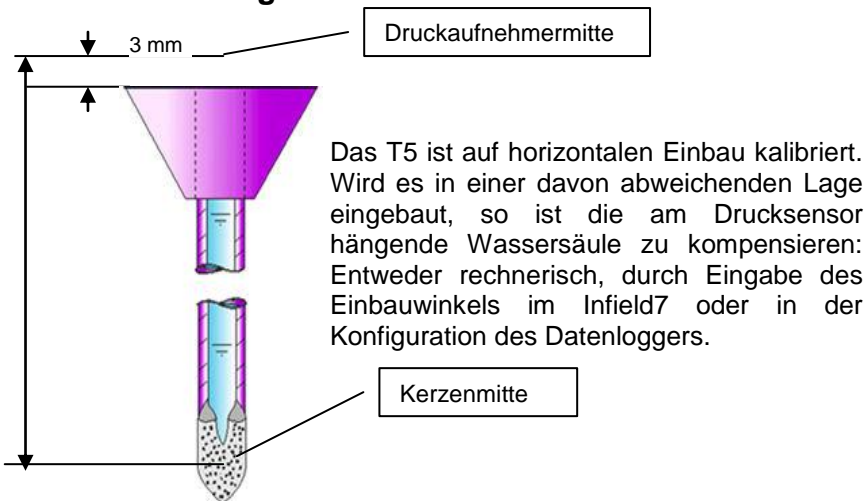
- Einen Tensiometer-Bohrer mit 5 mm Durchmesser, idealerweise das METER Tensiometer-Bohr-Kit TBT5.
- Meterstab, Wasserwaage, Winkelmesser, Marker.
- Protokollbuch und ggf. Fotoapparat zur Dokumentation des Messstandortes, der Bodenprofile und Einbauorte.
- Evtl. Plastikbeutel für die Bodenprobe am Messpunkt.

Vorgehensweise:

1. Markieren Sie die Bohrtiefe an Stechbohrer. Bohren Sie an der Stelle, an der das Tensiometer eingebaut werden soll, ein Loch mit der gewünschten Tiefe.
 2. Bei Bohrern mit einem Durchmesser über 5 mm rühren Sie eine Paste aus fein zerstoßenem Bodenmaterial an.
 3. Nehmen Sie den mit etwas Wasser gefüllten Pipettensauger von der Tensiometerkerze ab. Diesen nicht drehen sondern hin- und her kippen.
 4. Schließen Sie das Tensiometer an ein Messgerät an, um den Überdruck beim Einsetzen kontrollieren zu können.
- ⚠ Drücken Sie das Tensiometer vorsichtig in den Boden; Erhöhen Sie langsam den Druck auf das Tensiometer beim Einsetzen. Ein Stoß wirkt wie eine schlagartige Druckerhöhung und kann den Druckaufnehmer zerstören! (Tensiometer nicht drehen!)
- ⚠ Der Überdruck darf nicht über 3000 hPa steigen. Insbesondere bei tonigen Böden kann sich ein hoher Überdruck aufbauen!
- ⚠ Je weniger Luft im Tensiometer ist und je besser die Bodenwasserleitfähigkeit, umso schneller reagiert das Tensiometer.
5. Belassen Sie stets die Schutzkappe auf dem Stecker, sofern dieser unverschraubt ist.

6. Tensiometer-Anschlusskabel mit 5 m, 10 m oder 20 m Länge werden gemäß Belegung (siehe technische Daten) an Logger, PC-Karten etc. angeschlossen.
7. Notieren Sie Seriennummer, Position und Einbautiefe.
8. Führen Sie das Messkabel in einen Schutzschlauch verbissicher bis zum Messschrank bzw. Gebäude.

3.3 Offset-Korrektur für nicht horizontale Einbaulage



Bei vertikalem Einbau ist die Abweichung am größten. In diesem Fall hängt eine Wassersäule von 2...20 cm zusätzlich am Drucksensor. (je nach Schaftlänge) Diese verschiebt den Nullpunkt um 2...20 hPa. Das heißt, bei 0 hPa Bodenwasserspannung zeigt das T5 bereits - 2...-20 hPa an.

1 cm „hängende“ Wassersäule \cong -0,983 hPa Druck

3.4 Anschluss des T5

3.4.1 Stichpunktmessungen mit dem INFIELD7

Das T5 wird mit einem 4-poligen Stecker ausgeliefert. Dieser kann direkt an ein INFIELD7 Handgerät angeschlossen werden. Das INFIELD7 ist ein Anzeige- und Speichergerät, sehr handlich und komfortabel in der Bedienung. Der Wert der Bodenwasserspannung kann im INFIELD7 abgespeichert werden. Mit den als Zubehör erhältlichen USB-Konvertern tL-8/USB oder tL-8/USB-Mini können Daten vom INFIELD7 auf den PC geladen werden.

- ⚠ Nicht vergessen nach einer Stichprobenmessung die Schutzkappe auf den Tensiometerstecker zu stecken.

3.4.2 Anschlusskabel

Zum Anschluss an einen Datenlogger oder anderes Datenaufnahmegeräte sind Anschluss- oder Verlängerungskabel erforderlich. Kabel im Kapitel Zubehör.

- ⚠ Schrauben Sie immer die mitgelieferte Schutzkappe auf nicht angeschlossene Stecker um Feuchte und Schmutz im Stecker zu vermeiden.

3.4.3 Generelle Anforderungen

Der T5 Druckaufnehmer liefert ein unverstärktes Vollbrückensignal. Dieser wurde mit 10,6 VDC kalibriert und erfordert eine stabilisierte Spannungsversorgung.

Das Vollbrückensignal muss differenziell gemessen werden, also die Differenz aus Signal – gegen Masse und Signal + gegen Masse gebildet werden.

- ⚠ Die Versorgungsspannung muss konstant und stabilisiert sein.
- ⚠ Die maximale Versorgungsspannung ist 18 VDC.
- ⚠ Schließen Sie die Signal-Ausgänge des T5 niemals an eine Versorgungsspannung an!
- ⚠ warm-up ...

- ⚠ Wird das Tensiometer mit 10,6 V versorgt, dann liegen die Signale in etwa in der Mitte bei 5,3 V. Diese Spannungsablage muss der Datenlogger messen können. Viele Logger können das nicht. Dann muss die TV-batt verwendet werden.

3.4.4 TV-batt Tensiometerversorgung

Das TV-batt Spannungsversorgungsmodul ist speziell für die Versorgung der Tensiometer T3, T4, T4e, T5 und T5x ausgelegt.

Die TV-batt liefert stabilisierte 10,6 V, wobei Versorgung minus bei -5 V und Versorgung plus bei +5,6 V liegt. Dadurch zieht die TV-batt die Signale auf einen Bereich <1 V, was einem loggerüblichen Signalspannungsbereich entspricht.

Die TV-batt wird direkt mit 12 V (8...16 VDC) , z. B. einer Batterie, versorgt.

3.4.5 Anschluss an Datenlogger

T5/T5x können nur ohne zusätzliche Maßnahmen an eine Logger angeschlossen werden, wenn der Logger Vollbrückensignale direkt messen kann, da Tensiometersignal minus und Versorgung minus nicht die selbe Masse haben.

3.4.6 Tensiometer-Logger DL6-te und GP1-te

T5 und T5x können direkt und ohne weitere Stromversorgung an die Tensiometer-Logger DL6-te und GP1-te angeschlossen werden.

Beide Logger sind wetterfest (IP68) mit internen Batterien, die bei üblichem Messintervall einen Messbetrieb von einem Jahr erlauben.

Der DL6-te ist ein 6-Kanal-Logger mit 4-poligen Buchsen. Tensiometer mit 4-poligem Stecker M12 werden mit *Verlängerungskabeln EC-4/...* verbunden.

Der GP1-te ist eine 3-Kanal-Logger mit PG-Verschraubungen. Tensiometer mit 4-poligem Stecker M12 werden mit *Anschlusskabeln CC-4/...* verbunden.

4 Wartung und Pflege

4.1 Befüllung

Damit das T5 in der Lage ist, die Bodenwasserspannung schnell und zuverlässig zu messen, muss es möglichst blasenfrei mit entionisiertem und entgastem Wasser befüllt sein. Nach Trockenperioden oder vielen trocken/nass Zyklen muss das T5 neu befüllt werden.

Zum Befüllen brauchen Sie idealerweise das T5-Servicekoffer und ein INFIELD7 Handmessgerät. Zumindest aber:

- Entgastes, entionisiertes oder destilliertes Wasser
- Messgerät zum Überprüfen des Drucksignals

4.1.1 Wann muss das Tensiometer befüllt werden?

Tensiometer müssen neu befüllt werden wenn:

- der Verlauf der Messkurve zusehends flacher wird
- der Endwert von -850 hPa nicht mehr erreicht wird
- Es hat jedoch immer erst Sinn das Tensiometer zu befüllen, wenn der Boden feucht genug ist.

Wird der Boden trockener als -850 hPa, dann verweilt der Messwert auf dem Dampfdruck (zum Beispiel bei -927 hPa bei 20 °C und 950 hPa Umgebungsdruck). Durch Siedeverzugeseffekte kann der Messwert deutlich tiefere Potentiale erreichen. Durch Diffusion und geringe Leckagen fällt dieser Wert langsam ab.

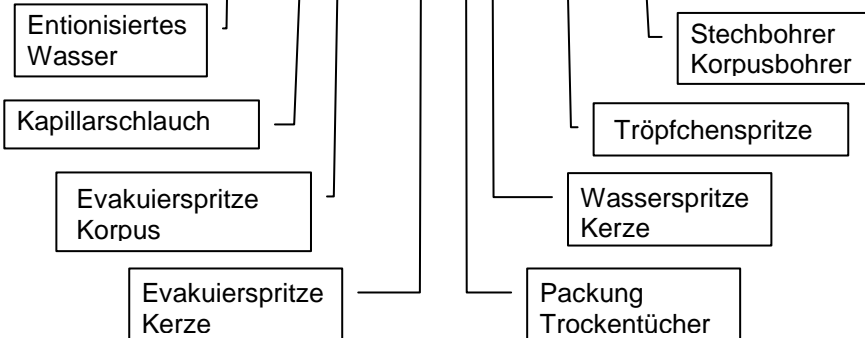
Wird der Boden trockener als der Lufteintrittspunkt der Kerze (bei ca 8.500 hPa), dann wird der Unterdruck deutlich schneller abfallen, weil die Kerze luftdurchlässig wird und durch die einströmende Luft das Vakuum schnell abbaut.

4.1.2 Befüllung in Labor und Gelände

Im folgendem wird die Befüllung mittels Servicekoffer beschrieben.
Der Befüllvorgang setzt sich aus 4 Schritten zusammen:

1. Überprüfung des T5 Tensiometers
2. Entlüftung der Kerze und des Schaftes
3. Entlüftung des Korpus
4. Zusammenbau
5. Kontrolle

Das T5 Set enthält:



Überprüfung

1. Überprüfen Sie, ob das Tensiometer befüllt werden muss. Dazu stecken Sie es an das Infield7 an und verschrauben den Stecker leicht. Alternativ kann es an ein Netzgerät und ein Voltmeter angeschlossen werden.



2. Trocknen Sie die Kerze mit einem Tuch ab.



Bei kurzen Schaftlängen bitte darauf achten, dass die Kerzenspitze nicht berührt wird!

3. Danach schwenken Sie die Keramikspitze an der Luft. Der Messwert sollte innerhalb von 10 Sekunden auf 800 hPa gehen, dann ist das Tensiometer gut befüllt.



4. Ist das nicht der Fall muss es befüllt werden. Halten Sie dazu die Kerze am Schaft fest (bei kurzen Kerzen ein Tuch verwenden), und schrauben den Schaft ab (gegen Uhrzeigersinn/Wasserhahn auf)



Entlüftung der Kerze

⚠ Ist die Kerze komplett trocken, wird sie zunächst über Nacht in ein Becherglas mit entionisiertem oder destilliertem Wasser gestellt. Dabei sollten Sie darauf achten, dass kein Wasser in den Schaft eingefüllt wird, da dies die Luft in den Poren „einsperrt“.

1. Ziehen Sie die Kerzenwasserspritze mit 10 ml entionisiertem oder destilliertem Wasser auf. Achten Sie darauf das Wasser blasenfrei aufzuziehen. Diese Spritze hat einen Schlauchstutzen.



2. Entlüften Sie das Wasser, indem Sie zunächst die Luftblasen herausdrücken. Dann schließen Sie die Spritze mit dem Finger und ziehen Sie auf. Drehen Sie dabei die Spritze, um die Blasen „einzufangen“. Es entsteht Vakuum, so dass die gelösten Gase gasförmig werden. Diese drücken Sie heraus und wiederholen den Vorgang, bis nur noch Wasser in der Spritze ist.



3. Jetzt stecken Sie die Kerze in den Schlauchstutzen, bis die Keramik an der Spritze ansteht. Ziehen Sie die Spritze kurz auf und klopfen leicht gegen die Spritze, so dass alle Blasen nach hinten aufsteigen.



4. Ziehen Sie von der Spritze den Schlauchstutzen ab, und drücken die Luft wieder komplett aus der Spritze.



5. Schließlich wird die Kerze wieder auf den Schlauchstutzen der Spritze gesteckt.



⚠ Achten Sie darauf, dass keine Blasen vor der Keramik sind.

6. Nun wird die Evakuier-spritze mit 10 ml Wasser aufge-zogen.

Anmerkung: Diese Spritze hat zwei schwarze Bolzen (Spreizer) zum fixieren und einen O-Ring über dem Schlauchstutzen.



7. Entlüften Sie auch hier das Wasser wie unter Punkt 2 angegeben.



8. Jetzt setzen Sie die Kerze gewindeseitig komplett auf die Spritze. Rollen Sie den O-Ring bis er den Schlauchstutzen direkt nach dem Gewinde gegen den blanken Schaft drückt. Da hier später Vakuum anliegt, muss der Schaft sauber sein.



⚠ Bitte achten sie darauf, dass kein Schmutz auf die Teile gerät, andernfalls kann keine Evakuierung erfolgen.

9. Evakuieren Sie jetzt die Evakuier-spritze durch auf-ziehen, bis die beiden Spreizer einrasten. Entfernen Sie alle Blasen durch drehen der Spritze. (Vermeiden Sie an die Spritzenwand zu klopfen) Drücken Sie die Spreizer zusammen, so dass Wasser in die Kerze läuft. Ziehen Sie den Schlauchstutzen vorsichtig von der Spritze ab und entlüften die Spritze (siehe 6,) und evakuieren

erneut. Vor dem Evakuieren achten Sie bitte darauf, daß keine Luft im Stutzen ist.



Dies können sie dadurch tun, indem sie mit der Evakuier-spritze vorsichtig ein paar Tropfen in den Schlauchstutzen einfüllen.

Entlüften des Korpus

1. Nun wird die Korpuspritze* aufgezogen, bis die Spreizer fast einrasten.



2. Drücken Sie die Luft heraus.



*Anmerkung: Die Korpuspritze hat einen Acrylglasadapter aufgesteckt.

3. Setzen Sie den Korpus bis zum Anschlag auf, eventuell dabei leicht drehen (dadurch wird die Reibung geringer).



4. Ziehen Sie die Spritze mehrmals auf, damit alle Luftblasen in die Spritze aufsteigen.



5. Entlüften Sie die Spritze (wie vorher beschrieben).



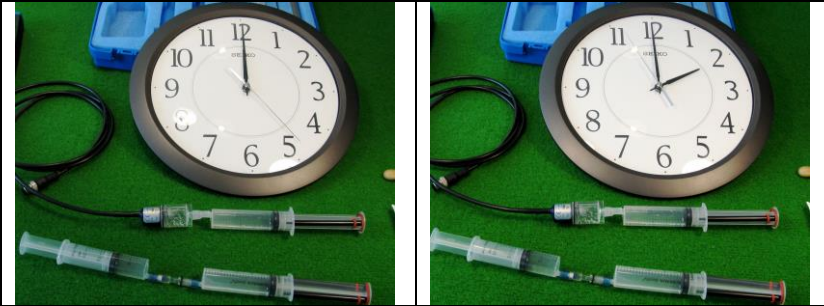
6. Und setzen den Adapter blasenfrei auf. Drücken Sie dazu den Schlauchstutzen leicht zusammen.



7. Ziehen Sie die Spritze wieder auf, bis die Spreizer einrasten. Das Korpuswasser wird nun entlüftet.

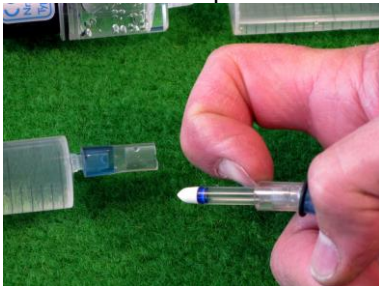


So, jetzt haben Sie sich eine Pause verdient! Lassen Sie beide Teile für ca. 2 Stunden (je länger umso besser) entlüften.



Zusammenbau

1. Ziehen Sie die Kerze durch drehen von den Spritzen ab.



2. Nehmen Sie die Spritze **fest** in die Hand. Drücken Sie die beiden Spreizer **fest** zusammen und entspannen **langsam** die Spritze.



⚠ Vorsicht: Eine zu schlagartige Rückführung kann den Druckaufnehmer beschädigen!!

3. Nun werden die letzten Blasen aus dem Korpus „gezogen“. Ziehen Sie dazu die Korpuspritze nochmals auf ... und wieder vorsichtig entspannen. Lösen Sie den Schlauchstutzen und drücken die Luftblase aus der Spritze ...



4. ...und evakuieren den Korpus ein letztes Mal. Klopfen Sie dazu leicht an den Korpus, um alle Blasen aufsteigen zu lassen.



6. Ziehen Sie den Adapter vom Korpus ab ...



... setzen einen Tropfen Wasser auf Korpus und Kerze ,sofern nötig (Meniskus)



7. ... und schrauben die Kerze sehr vorsichtig und unter Kontrolle des Überdruckes am INFIELD7 zusammen. Wegen der Druckstöße beim Verschrauben darf der Druck nicht über 1 bar gehen. Die Bruchlast liegt bei 3 bar.



8. bis zum Erreichen des O-Rings baut sich kein Druck auf.



Spüren sie beim Einschrauben einen Widerstand, dann haben Sie den Schaft bis zum O-Ring auf Anschlag eingeschraubt. Der Druck steigt nun sehr schnell an. Bitte schrauben sie den Schaft nur noch langsam eine viertel Umdrehung zu.

-
- ❗ Die Sensormembran liegt berührungssicher in einer Bohrung (ca. $\varnothing 2$ mm) im Korpus. Diese ist sehr empfindlich und kann selbst bei nur leichter Berührung (z.B. mit einer Nadel) zerstört werden. Dichtflächen und O-Ringe sollten vor Verschmutzung geschützt werden.

Kontrolle

Nullpunktkontrolle: Legen Sie das Tensiometer flach auf den Tisch und geben einen Tropfen Wasser auf die Kerze. Damit herrscht Null-Potential → das Tensiometer soll 0 hPa +/- 3 hPa anzeigen.



Kontrolle der Ansprechgeschwindigkeit:

Halten Sie das offene Fläschchen bereit, denn das Ansprechen geht bei Werten über -500 hPa extrem schnell, wenn das Tensiometer gut befüllt ist. Trocknen Sie die Kerze. Danach schwenken Sie die Keramikspitze an der Luft. Der Messwert sollte innerhalb von 10 Sekunden auf -800 hPa gehen, dann ist das Tensiometer gut befüllt.



Wenn Sie den maximal erreichbaren Wert messen wollen, dann halten Sie die Kerze über das freie Wasser im Fläschchen. Je weiter Sie von der Wasseroberfläche entfernen, umso trockener ist die Luft und umso stärker saugt sie. Halten Sie daher die Kerze nur soweit entfernt, wie der Wasserspannungswert langsam steigt. Je nach Befüllung gehen die Werte von -850 ... -4500 hPa. Danach springt der Wert auf den Dampfdruck (ca. -900 hPa je nach Meereshöhe) zurück. Geben Sie sofort wieder Wasser auf die Kerze und stülpen die halbvolle Schutzkappe über die Kerze. Nach ca. einem Tag wird das Tensiometer wieder auf den ursprünglichen Wert gehen.

4.2 Überprüfung

4.2.1 Kalibrierung

Das T5 ist werksseitig kalibriert. Der Offset liegt (bei liegendem Tensiometer) bei 0 hPa, die Kennliniensteigung ist linear (Steigung abhängig vom eingestellten Signalbereich). Generell empfehlen wir, dass alle Messgeräte, zur Qualitätssicherung der Messdaten, jährlich überprüft und alle zwei Jahre nachkalibriert werden.

Eine Kalibrierung kann durch METER oder mit als Zubehör (siehe Anhang 7.2.4 Befüll- und Kalibrierkits) erhältlichen Geräten durchgeführt werden.

4.2.2 Überprüfen des Offset

Ohne Druckunterschied zwischen Kerzeninnerem und Umgebung sollte das Signal idealerweise 0 hPa betragen. Eine evtl. Abweichung kann auf zweierlei Arten gemessen werden:

Stellen Sie das befüllte T5 in ein Becherglas und füllen dieses mit entionisiertem Wasser bis Korpusmitte (siehe 3.4) auf. Warten Sie, bis sich der Wert stabilisiert hat. Sind Blasen im Tensiometer dauert dies evtl. sehr lange. Der gemessene Wert entspricht annähernd dem Nullpunkt und sollte bei ± 3 hPa liegen. Zuverlässiger kann der Nullpunkt überprüft werden, indem die Kerze abgeschraubt wird.

⚠ Die Sensormembran liegt berührungssicher in einer Bohrung (ca. $\varnothing 2$ mm) im Korpus. Diese ist sehr empfindlich und kann selbst bei nur leichter Berührung (z.B. mit einer Nadel) zerstört werden. O-Ring und Gewinde müssen von Verschmutzungen frei gehalten werden.

Entfernen Sie nach dem Öffnen durch Schütteln das Wasser aus dem Korpus/Druckaufnehmer. Der Druckwert muss nun ebenfalls im Bereich ± 3 hPa liegen.

Vor dem Zusammenschrauben des T5-Korpus mit der Kerze müssen der Drucksensor und die Kerze wieder mit entgastem und entionisiertem Wasser befüllt werden (siehe dazu Kap. 4.1.2 "Befüllung in Labor und Gelände").

4.3 Reinigung

Kerze und Korpus sind nur mit einem feuchten Tuch zu reinigen. Ist die Keramik verstopft, kann sie mit Rehalon® gespült werden. Sind die Poren mit Tonpartikel verstopft, dann wird die Kerze wassergesättigt und mit wasserfestem, nassem Schleifpapier (Körnung 150...240) abgeschliffen.

4.4 Lagerung

Wird das T5/T5x mehr als ein Jahr nicht verwendet, dann sollten Korpus und Kerze zur Vermeidung von Algenbildung entleert und trocken gelagert werden.

5 Schutz der Messeinrichtung

5.1 Diebstahl und Vandalismus

Ausreichender Schutz vor Diebstahl, Vandalismus oder durch die Bewirtschaftung sollte gegeben sein. Daher sollten Messflächen eingezäunt sein und ein Hinweisschild den Untersuchungszweck erläutern.

5.2 Schutz der Kabel

Kabel sollten gegen Verbiss durch Schutzschläuche geschützt werden. Wir bieten dazu auch nachträglich montierbare, teilbare Schutzschläuche an.

Im Labor werden die Kabel zugentlastet und sollten so verlegt und fixiert werden, dass Sie keine Gefahr für T5 und Mitarbeiter darstellen.

5.3 Frost

Tensiometer sind mit Wasser gefüllt und daher vor Frost schützen. Das T5 ist gegen Frost nicht geschützt und sollte daher nur im frostfreien Bereich betrieben werden.

- ⚠ Befüllte Tensiometer nicht bei Temperaturen unter 0 °C lagern, auch nicht über Nacht im Auto oder in Messhütten liegen lassen.

- ⚠ Bitte befüllen Sie die Tensiometer nicht mit Ethanol, da dies korrosiv auf PMMA (Schaft, Korpus) wirkt und diese zerstören kann.

6 Zusätzliche Hinweise

6.1 Erweiterter Messbereich

Bei Tensiometern wird der Messbereich durch drei Faktoren begrenzt, oder erweitert:

1. Lufteintrittspunkt
2. Dampfdruck von Wasser (Siedepunkt)
3. Siedeverzug

6.1.1 Der Lufteintrittsdruck(punkt) der porösen Kerze.

Dieser Wert ist spezifisch für eine poröse, hydrophile Struktur und abhängig von Benetzungswinkel und Porengröße. Bei METER-Tensiometern liegt der Lufteintrittspunkt weit über dem Messbereich, so dass dieser nicht limitierend wirkt (8,8 bar).

6.1.2 Der Dampfdruck von Wasser:

Der Dampfdruck liegt bei einer Temperatur von 20°C bei 23 hPa über Vakuum. Bei einem Luftdruck von 1000 hPa beginnt das Wasser also bei 20°C bei Drücken kleiner als 23 hPa oder 977 hPa Differenzdruck zum Luftdruck zu sieden bzw. zu verdampfen, - das Tensiometer "steigt aus". Der messbare Bereich reicht daher bei 1000 hPa Luftdruck bis - 977 hPa.

- ⚠ Der Luftdruck wird immer auf Meereshöhe bezogen.

Beispiel: Bei einer Ortshöhe von 500 Meter über NN (Meereshöhe) bedeuten 1000 hPa Luftdruck laut Wetterdienst nur einen tatsächlichen (Absolut-)Druck von 942 hPa. Der Messbereich der Tensiometer wäre dann in dieser Höhe und bei einer Temperatur von 20°C auf - 919 hPa begrenzt.

Trocknet der Boden stärker aus, als der maximal mögliche Messbereich (wie im Beispiel bei -919 hPa), dann verweilt der Messwert auf diesem Niveau und nimmt sehr langsam gegen Null ab. Erst bei Erreichen des Lufteintrittspunktes erfolgt ein spontaner Druckausgleich mit der Atmosphäre. Dann dringt Luft in die Tensiometerkerze ein und der Wert geht auf 0.

Höhe über NN	Luftdruck
0	1013
500	955
1000	899
1500	846
2000	795
2500	745
3000	701

Tabelle der tatsächlichen Luftdrücke, bei angegebenem, auf Meereshöhe bezogenen Luftdruck laut Wetterdienst.

6.1.3 Der Siedeverzug:

Damit Wasser sieden kann, ist ein Siedekeim notwendig. Da unsere Tensiometer polierte Oberflächen haben und gasfrei befüllt sind tritt der sogenannte Siedeverzug ein, - das Tensiometer misst über den Siedepunkt hinaus. Um dies zu erreichen muss das T5x absolut blasenfrei befüllt sein. Mit einigen T5x können sogar -2500 hPa erreicht werden, bevor sie trocken laufen, einzelne messen sogar bis zu -4500 hPa. Dies ist aber nur in Ausnahmen der Fall und kann nicht garantiert werden.

6.2 Maximaler Messbereich und Interpretation von Messdaten

Tensiometer messen nur bis zum Dampfdruck, der bei 20°C bei 23 hPa über Vakuum liegt. Bei einem Atmosphärendruck von 950 hPa messen die Tensiometer daher bis maximal 927 hPa, auch wenn der Boden weiter austrocknet (siehe Abb. 7.1).

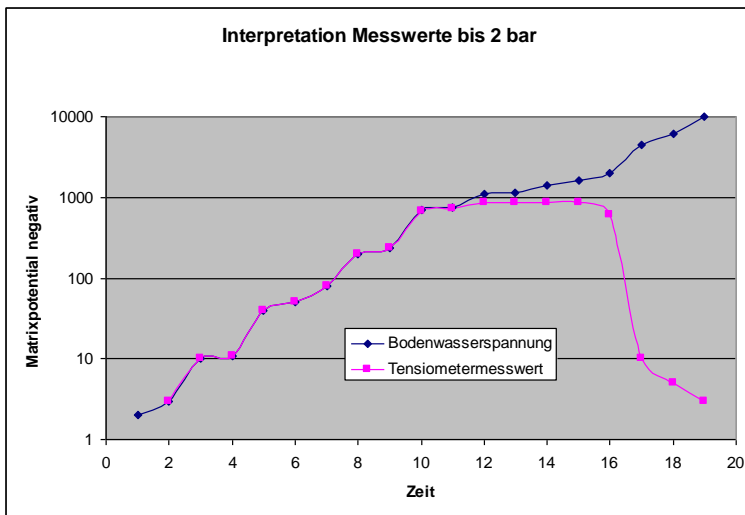


Abb. 7.1: Interpretation der Messwerte bis 2 Bar

Trocknet der Boden weiter als 2.000 hPa aus, dann wird die Keramik luftdurchlässig und der Messwert geht schnell gegen Null.

Trocknet der Boden nicht bis zu 2 bar aus, weil es vorher geregnet hat, dann saugt sich das Tensiometer das Bodenwasser wieder zurück. Dieses Wasser enthält jedoch gelöste Gase, die beim erneuten Austrocknen ausgasen werden, wodurch das Ansprechverhalten schlechter wird,- die Kurve wird flacher und das Tensiometer erreicht nur langsam die Wasserspannung des Bodens. Je nach Größe der Luftblase im Tensiometer wird auch der maximale Wert nicht mehr erreicht. (Siehe Abb. 7.2)

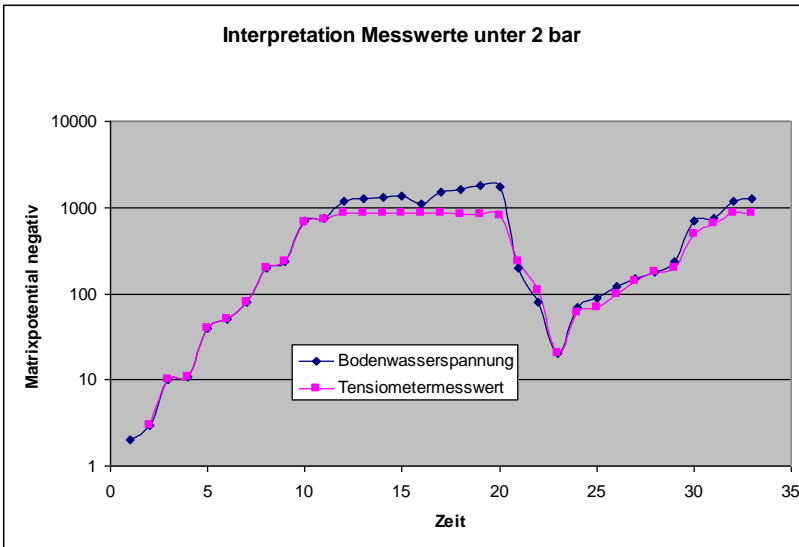


Abb. 7.2 Interpretation der Messwerte unter 2 Bar

Wasserspannungsänderungen geschehen vergleichsweise langsam, daher ist ein sprunghafter Kurvenverlauf ein Anzeichen für eine Störung wie zum Beispiel Wackelkontakte, Feuchtigkeit in beschädigten Leitungen oder Steckern, schlechte Stromversorgung oder Datenloggerprobleme.

6.3 Temperatureinflüsse während der Messung

Wird der Sensor getaktet versorgt, so sollte der Sensor 10 Sekunden vor der Messung mit Spannung versorgt werden. Bei einer getakteten Messung ist der Selbsterwärmungseffekt vernachlässigbar.

Die Korrelation Wasserspannung/Wassergehalt ist temperaturabhängig. Der Einfluss ist gering bei Wasserspannungen 0 ... 100 hPa \Rightarrow 0 ... 6 hPa/K, jedoch hoch bei Wasserspannungen über 1.000 hPa:

$$\Psi = \left(\frac{R \cdot T}{M} \right) \cdot \ln \left(\frac{P}{P_o} \right)$$

Ψ = Wasserspannung R = Gaskonstante (8,31J/mol K)
 M = Molekulargewicht p = Dampfdruck
 p_o = Sättigungsdampfdruck bei Bodentemperatur
 (siehe Wasserdampf tafeln, Scheffler/Straub, Grigull)

6.4 Einfluss des Wasserdampfdruckes auf den Zusammenhang pFWG:

Wird ein Boden mit konstantem Wassergehalt von 20 °C auf 25 °C erwärmt, so reduziert sich die Wasserspannung im Boden durch den gestiegenen Wasserdampfdruck (wirkt der Wasserspannung entgegen) um etwa 8,5 hPa.

Temperatur in °C	4	10	16	20	25	30	50	70
Druck-änderung je Kelvin in [hPa]	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,5	7,2	14

6.5 Osmotischer Effekt

Die Keramik mit einer Porenweite ($r=0,3 \mu\text{m}$) kann Ionen kaum sperren. Eine Beeinflussung des Messwertes durch osmotischen Effekt ist daher vernachlässigbar. Hält man das T5 in eine gesättigte NaCl-Lösung, so zeigt es kurzzeitig 10 hPa an und geht dann wieder auf 0 hPa zurück.

7 Fehlersuche

An dieser Stelle möchten wir auf unsere Internetseite hinweisen, da Sie sich dort immer aktuell über die FAQ's informieren können.

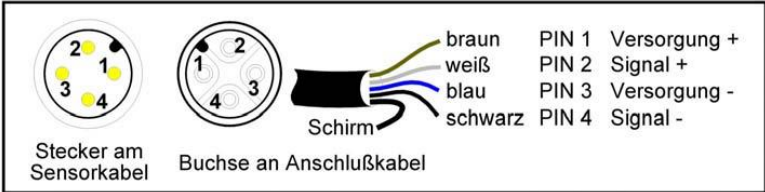
<http://www.ums-muc.de/support/faq/tensiometer.html#203>

8 Anhang

8.1 Technische Daten

Material u. Abmessungen	
Keramik	Al ₂ O ₃ Sinter, Lufteintrittspunkt 8.500 hPa, bzw. 5.000 hPa (T5x); Länge 6 mm, Ø 5 mm
Gehäusematerial	PMMA Ø 20 mm
Schaftmaterial	Kerbschlagfestes PMMA, Ø 5 mm
Kabel (Standard)	
Länge	1,5 m ab Druckaufnehmer-Kopf
Stecker	4- polig, Schraubgewinde M12, (IP67)
Messbereich	
Druckaufnehmer	-1000 hPa ... +1000 hPa (elektronisch) -850 hPa ... +1000 hPa (physikalisch)
Bodenwasserspannung	-850 hPa ... 0 hPa
Erweiterter Bereich T5x	-850 hPa ...-3.000 hPa
Signal	
Druckaufnehmer	-100 mV..85 mV entspr.
Druckpotential	1.000 hPa ... -850 hPa
Genauigkeit	
Druck	± 5 hPa
Versorgung	
Versorgungsspannung V _{in}	10,6 V DC über TV-batt (empfohlen)
Strombedarf	1,3 mA bei 10,6 V (TV- batt)
Medienverträglichkeit	
PH-Bereich:	pH 3 ... pH 10 Begrenzt für Medien, die nicht Silizium, Floursilikon, EPDM, PMMA und Polyetherimid angreifen.

8.2 Anschlussbelegung

Anschlußbelegung			
 <p style="text-align: center;"><i>Pin- und Farbbelegung für UMS Anschlußkabel CC-4</i></p>			
Signal	Farbe	Pin	Funktion
V _{in}	braun	1	Versorgung +10,6 V _{DC} (6...18V) geregelt
V-	blau	3	Versorgung minus
A-OUT+	weiß	2	Analoger Ausgang +
A-OUT-	schwarz	4	Analoger Ausgang -

8.3 Zubehör

Das folgende Tensiometer Zubehör ist bei METER erhältlich.

8.3.1 Anschluss- und Verlängerungskabel

Anschluss- oder Verlängerungskabel bitte separat bestellen.

Anschlusskabel CC haben eine Buchse sowie 12 cm Litzen mit Aderendhülsen, z. B. zum Anschluss an Datenlogger. Verlängerungskabel EC haben jeweils eine Buchse und einen Stecker.

Stecker und Buchsen werden mit einer Schutzkappe geliefert.

Produkt	Best.-Nr.
4 Pin Anschlusskabel für T5 und T5x	
Länge 1,5 m	CC-4/1.5
Länge 5 m	CC-4/5
Länge 10 m	CC-4/10
Länge 20 m	CC-4/20
4 Pin Verlängerungskabel für T5 und T5x	
Länge 5 m	EC-4/5
Länge 10 m	EC-4/10
Länge 20 m	EC-4/20

Sonderzubehör	Best.-Nr.
Kabelmarkierclips, 30 x Nummern 0-9	KMT

Schutzschlauch: Mehrere Größen, auch teilbar für spätere Nachrüstung.

8.3.2 Handanzeigegerät INFIELD7

Handanzeigegerät mit Grafikdisplay und Messwertespeicher zum manuellen Auslesen von allen METER Tensiometern. Kompensation der hängenden Wassersäule.

Lieferung inkl. Ladegerät, Tragekoffer, Befüllzubehör. Messwerte über USB Adapter tL-8/USB-Mini auf PC übertragbar. tL-8/USB-Mini einschl. Software tensioVIEW.



Produkt	Best.-Nr.
INFIELD7 set	INFIELD7C
USB PC-Adapter für INFIELD7	tL-8/USB-Mini

8.3.3 Tensiometer-Logger



6-Kanal Logger für METER Tensiometer T3, T4 und T5 mit wetterfestem Gehäuse, interner Sensorversorgung (86 x Mignon), 16k-Speicher sowie zusätzlichen Kanälen. Anschluss mit EC-4 Kabeln



Datenlogger GP1-te mit Kanälen für 2 x Tensiometers, 2 x Temperatur, 2 Zähler, 1 Relaisausgang, interne 9 V Blockbatterie, IP67

Produkt	Best.-Nr.
6-Kanal-Freiland-Datenlogger inkl. RS232 Kabel und Konfigurationssoftware	DL6-te
2-Kanal-Datenlogger inkl. RS232 Kabel und Konfigurationssoftware	GP1-te

8.3.4 TV-batt power supply



Im DL2e Rahmen für den direkten Anschluss der Tensiometer an die Versorgung und an den Datenlogger DL2e (links) oder als Modul für Vorverdrahtungen im Schaltschrank (rechts).

Produkt	Best.-Nr.
TV-batt für DL2e Logger	TV-Batt/DL2e
TV-batt Modul	TV-Batt/modul



8.3.5 T5 Bohrer-Set

Bohrer-Set für T5 und T5x best. aus Schaftbohrer, Länge 250 mm und Korpusbohrer, Länge 200 mm.

Produkt	Best.-Nr.
T5-Bohrer-Set	TBT5

8.3.6 T5/T5x-Servicekoffer

Servicekoffer, ohne T5! Lieferung in blauem Koffer 35 cm x 30 cm x 8 cm, Bohrset, Befüllutensilien, Anschlusskabel 1,5 m Typ CC-4/1.5



Produkt	Best.-Nr.
T5-Servicekoffer	T5-Servicekoffer

8.4 Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale

	pF	hPa	Cm WS	kPa = J/kg	MPa	bar	psi	%rF
	1	-10	9,8	-1	-0,001	-0,01	-0,1450	99,9993
	2,01	-100	98,1	-10	-0,01	-0,1	-1,4504	99,9926
FK Feldkapazität	2,53	-330	323,6	-33	-0,033	-0,33	-4,9145	99,9756
Standardtensiometer Messbereich	2,93	-851	834,5	-85,1	-0,085	-0,85	-12,345	
	3	-1.000	980,7	-100	-0,1	-1	-14,504	99,9261
	4	-10.000	9806,6	-1.000	-1,0	-10	-145,04	99,2638
Permanenter Weilkepunkt	4,18	-15.000	14709,9	-1.500	-1,5	-15	-219,52	98,8977
	5	-100.000	98.066,5	-10.000	-10	-100	-1.450,4	92,8772
Lufttrocken, luftfeuchteabhängig	6	-1.000.000	980.665	-100.000	-100	-1.000	-14.504	47,7632
ofentrocken		-10.000.000	9.806.650	-1.000.000	-1.000	-10.000	-145.038	0,0618

9 Stichwortverzeichnis

A

aktive Oberfläche	7
Anschlußbelegung.....	39
Anschlußfehler	4
atmosphärische Referenzdruck	12

B

blasenfreie Befüllung.....	20
Blitz	4
Blitzexponiertheit.....	15
Bodenwasserleitfähigkeit.....	9, 16
Bodenwasserspannung	13
Bohr-Kit TBT5	10
Bohrlochdurchmesser.....	9
Bubble Point.....	13

D

Datenlogger.....	18
Drucklast maximale	12

E

Einheitenübersicht.....	43
Einschlämmen.....	9
entionisiertes Wasser	32
Epfindlichkeit der Sensormembran	30
erweiterterMessbereich	8
Ethanol.....	34

G

Garantiedauer	6
---------------------	---

H

hydrophil	4, 13
-----------------	-------

I

Ideale Einbaubedingungen.....	15
INFIELD7	10, 18

K

kartiert.....	15
Keramik.....	4
Kerzenmaterial	13
Kleinlysimeter	7
Kleinlysimeterstudien	8
Korrelation Wasserspannung/Wassergehalt.....	36
Kurzanleitung	11

L

Laborlysimeter.....	14
Lebensdauer	6
Luft Eintrittspunkt	20

M

Markierung	15
maximale Drucklast	4
Messleitungen	4

O

Offset	32
--------------	----

Offset-Korrektur.....	17
Offsetüberprüfung	32
Osmose.....	37

P

pF/WG.....	36
pF/WG und K/Psi Kurve	8
piezoelektrisch	12
Pipettensauger	5, 10
PMMA	34
Porosität	13
präferenzierter Fluss	15
punktueller Messungen.....	7

R

Referenzdruck.....	12
--------------------	----

S

semipermeable Membran.....	13
----------------------------	----

T

Technische Daten	38
Teflonmembran	12
Tensiometer-Anschlusskabel.....	17
Tensiometer-Bohr-Kit TBT5.....	16
Triaxialgefäße	4, 12
TV-batt	19, 42
Typische Anwendungen für das T5 ..	8

U

Überdruck	16
-----------------	----

V

Vandalismus.....	33
VDE-Vorschriften.....	4
Verifizierung	6

Z

Zubehör für Befüllung.....	20
Zubehör für den Einbau.....	16

Kontakt:

Kontakt:

Support:

Email:

support@metergroup.de

Sales:

Email:

sales@metergroup.de



METER
ENVIRONMENT

Meter Group AG
D-81379 München
Mettlacher Straße 8

Ph.: +49-89-126652-0

Fax: +49-89-126652-20

www.metergroup.com/de



■
Rücknahme nach Elektro G
WEEE-Reg.-Nr. DE 69093488