



Kontaktperson WSL

Oliver Schramm **079 751 04 83**, Nouredine Hajjar **044 739 29 65**, Elisabeth Graf Pannatier **044 739 23 30**

e-mail: lwf-logistik@wsl.ch

Tensiometer (Bestand)

1. Allgemeine Hinweise

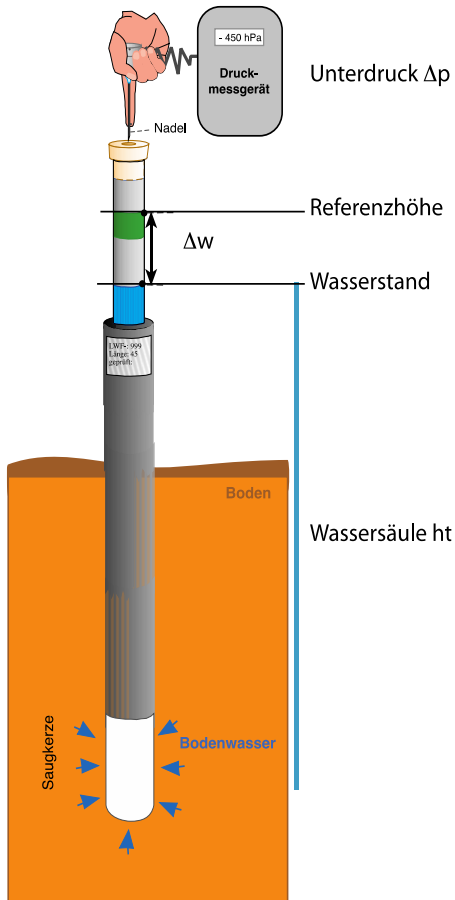
1. Ziel der Tensiometermessungen ist, das pflanzenverfügbare Wasser auf den LWF Flächen während des Jahres zu untersuchen. Die Wasserverfügbarkeit wird größtenteils durch die Bodensaugspannung bestimmt.
2. Die Messung erfolgt mittels Tensiometern. Ein Tensiometer besteht aus einem Rohr, welches luftdicht verschlossen ist und via einer porösen Membran (Kerze) mit dem Boden in Kontakt steht. Ein nahtloser Kontakt zwischen Kerze und Boden ist grundlegend für eine korrekte Messung.
3. Gemessen wird der Unterdruck Δp im Rohr, der sich aufbaut, wenn Wasser aus dem Rohr in den Boden „gezogen“ wird. Dieser Wert muss mit dem Wasserstand im Rohr korrigiert werden. Es werden immer erst der Unterdruck und dann der Wasserstand gemessen.
4. Der Unterdruck wird mit dem Druckmessgerät durch Einstechen einer Nadel durch einen Gummipfropfen gemessen. Wegen dem Druckverlust bei der Messung sollte mehrmaliges Einstechen vermieden werden (nicht mehr als zwei Einstiche, wenn möglich nur einer)
5. Das Messgerät funktioniert fehlerhaft, wenn Wasser / Schmutz in die Nadel oder die Druckmesskammer gelangt. Die Einstichstelle sollte deshalb sauber und trocken sein.
6. Der Wasserstand im Rohr wird aus der Differenz Δw zwischen dem Wasserspiegel und einer bekannten Referenzhöhe berechnet. Wenn der Wasserspiegel nicht mehr sichtbar ist, wird er aus dem Nachfüllvolumen V abgeschätzt.
7. Langanhaltende Trockenheit führt zum kompletten Austrocknen des Rohrs. Eine Messung ist dann nicht mehr möglich. Bei Trockenheit muss das Wasser deshalb regelmäßig nachgefüllt werden.
8. Die verwendete Flüssigkeit besteht aus hochreinem Wasser, das zur besseren Sichtbarkeit mit einem ungiftigen, biologisch abbaubaren Färbemittel (Na-Fluorescein) eingefärbt ist. Um das Wachstum von Mikroorganismen zu unterdrücken, kann die Flüssigkeit angesäuert werden. Das Gemisch ist entgast. Es sollte bei Zimmertemperatur ohne Luft in der Flasche gelagert und nicht unnötig geschüttelt werden. Im Winter wird als Frostschutz 30 bis 50 % Ethanol beigemischt.
9. Die Handhabung der Tensiometer-Flüssigkeit auf der Fläche ist analog: Flasche gasfrei transportieren, beim Nachfüllen nicht unnötig schütteln oder Luft durch das Wasser perlen

lassen und beim Auffüllen der Tensiometern, das Wasser der Tensiometerwand entlang langsam einlaufen lassen.

10. Das Protokoll sollte die Druckmesswerte Δp , die Wasserstandsdifferenz Δw (oder das Nachfüllvolumen) und jegliche Hinweise, die über die Messung oder den Zustand der Geräte Auskunft geben, enthalten.

2. Messprinzip und Übersicht von Messschwierigkeiten

Ziel: Messen des pflanzenverfügbaren Wassers im Boden (Saugspannung)
Saugspannung = $-(\Delta p + h_t)$ in cm (= hPa = mbar)



Probleme bei Druckmessungen (Kapitel 7):

Konstanter Wert abwarten (ca. 5 Sekunden), falls der Messwert instabil ist:

- Anzeige nach ca. 5 Sek nicht konstant sondern gegen 000 absinkend (Nadel nicht fest? Gummipfropfen undicht?)
- Anzeige nach ca. 5 Sek nicht konstant sondern stetig ansteigend (Nadel verstopft?)
- Anzeige kehrt nicht auf 000 zurück (Nadel verstopft?)

Probleme bei der Wasserstandmessung (Kapitel 4.2):

Angaben in ganzen cm

+ = Wasser über der Marke (Beispiel 1)

- = Wasser unter der Marke (Beispiel 2)

Bei nicht sichtbarem Wasserspiegel:

- ? in Spalte Δw (Beispiele 3, 5)
- Wenn $\Delta p = -10$ bis 10 mbar, ist das Rohr leer. Auffüllen ohne das Wasservolumen zu messen (Beispiel 4)
- Wenn $\Delta p < -10$ mbar, auffüllen und Wasservolumen protokollieren (Beispiel 5)

Druckmessung Δp (Kapitel 4.2):

Protokollbeispiel:

Allgemein	Wetter	<input checked="" type="checkbox"/> trocken	<input type="checkbox"/> Regen schwach			
	Boden	<input type="checkbox"/> mit Schneedecke	<input type="checkbox"/> ge...			
	Bemerkungen					
	Nr.	Δw [cm]	Δp [hPa]	E >1	D <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	V [ml]
3	1	?	2			4
5	2	?	815			30
2	3	-4	619			
1	4	+1	412			
	5					

Messung des Unterdrucks Δp (Kapitel 4.2):

• Δp ist der Unterschied zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Druck im Tensiometer

• Wert Δp ohne Vorzeichen protokollieren

3. Benötigtes Material im Feld

- Druckmessgerät Typ „Von Ballmoos“ mit Einstichaufsatz
- Massstab 20 cm
- Ersatznadeln für Einstichgerät
- Spritze (60 ml, mit Skala) und Schlauch
- mehrere PE-Flaschen mit Spritzaufsatz, 500 ml, mit destilliertem, entgastem Wasser
- Wattestäbchen oder Tela-Papier
- Ersatzmaterial (Gummipfropfen, blaue Schutzdeckel, Isolation, Kabelbinder)

4. Arbeitsschritte auf der Fläche

4.1 Vorbereitung

- Protokoll ausfüllen (siehe Beispielprotokolle)
- Schutzhülle des Einstichkopfes entfernen; Nadel entfernen; Gerät einschalten (on)
- Anzeige mit Drehknopf auf 000 justieren (Schwankungen im Bereich +/- 001 sind tolerierbar); Achtung: die Justierung sollte nur einmal pro Messturnus gemacht werden (siehe „Bekannte Probleme“)!)
- neue Nadel aufsetzen und mit einer Drehbewegung gut festmachen; Nadelköcher für die alte Nadel verwenden (alte Nadel entsorgen); Kontrolle: Anzeige zeigt 000 (bzw. ± 001).

4.2 Messung

Entfernen der Isolation: Tensiometer im unteren Teil gut festhalten und oberen Teil der Isolation entfernen. Achtung: Kein Zug auf das Tensiometerrohr ausüben und niemals reißen!

a) Druckmessung Δp

- Gummipfropfen gegebenenfalls säubern z.B. durch starkes Ausblasen des Pfropfens oder mit einem Wattestäbchen
- Nadel senkrecht in die Mitte aufsetzen; Einstich schnell und ohne Kraftaufwand; Achtung: Nadelspitze darf nicht ins Wasser reichen!

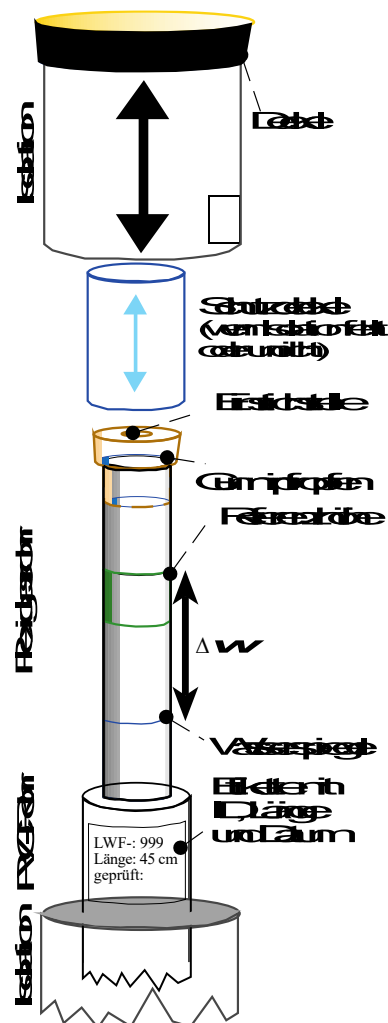


Abbildung 1: Tensiometer

- konstanter Wert abwarten (ca. 5 Sekunden); Einstichkopf dabei gerade halten und nicht loslassen; Wert mit Vorzeichen protokollieren (Spalte Δp)
- Nadel herausziehen und Anzeige kontrollieren; Anzeige muss auf 000 (bzw. ± 001) zurückkehren!
- Anmerkung: Erfahrungsgemäß kann zügiger gearbeitet werden, wenn der Schutzmantel der Nadel entfernt wird (siehe Abb. 2). Damit verbunden ist allerdings ein Verletzungsrisiko. Das Arbeiten ohne Schutzmantel geschieht auf eigene Verantwortung. Für Transport und Entsorgung von Nadeln, ist immer ein Nadelköcher zu verwenden

b) Wasserstand Δw bei sichtbarem Wasserspiegel

- Abstand zwischen Klebstreifen-Oberseite (= Referenzhöhe) und dem Wasserspiegel mit Massstab messen
- Wert protokollieren (Spalte Δw); Angaben in ganzen Zentimetern; Vorzeichen notieren: + = Wasser über der Marke; - = Wasser unter der Marke;

c) Wasserstand Δw bei nicht sichtbarem Wasserspiegel

- Schlauch auf die Spritze setzen und Wasser aus Flasche aufziehen. Schlauch entfernen. Volumen exakt auf eine Marke einstellen (z. B. 60 ml)
- Pfropfen vom Tensiometer entfernen und sofort Wasser entlang der Rohrwand einlaufen lassen
- Auffüllen bis zur Referenzhöhe (falls eine Spritzenfüllung nicht ausreicht: Pfropfen auf das Rohr aufsetzen, während die Spritze nachgefüllt wird)
- benötigtes Wasservolumen in ml protokollieren (Spalte V)
- Achtung: wenn der gemessene Druck Δp eines Tensiometers zwischen -5 und +10 mbar liegt und der Wasserspiegel nicht sichtbar ist, entfällt die Bestimmung des Wasserstandes mit der Spritze, weil sich das Rohr vollständig entleert hat.
- Wenn die Messung abgeschlossen ist und, falls nötig, die Tensiometer wieder aufgefüllt wurden, Isolation wieder anbringen und Manometer ausschalten.

5. Jahreszeitliche Änderungen

a) Trockenperiode

In einer niederschlagsarmen Periode oder auf Trockenstandorten kann es vorkommen, dass sich die Tensiometerrohre regelmäßig innerhalb des Zweiwochenturnus entleeren. In diesem Fall ist es wünschenswert, dass die Messungen der Tensiometer wöchentlich erfolgt, oder dass

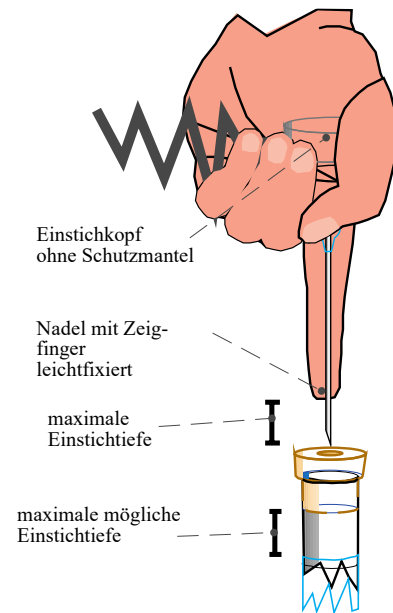


Abbildung 2 :
Einstich (ohne Schutzmantel)

zumindest die leeren Rohre vor dem regulären Ableseturnus nachgefüllt werden. Der genaue Tag spielt dabei keine Rolle. Leere Rohre müssen aber mindestens 24 Stunden vor der regulären Messung aufgefüllt werden (Idealerweise 2-3 Tage vorher).

Diese Kontrollgänge oder Zusatzmessungen sollten beginnen, wenn bei einem regulären Messturnus mehrere Werte über -600 hPa auftreten, große Mengen Tensiometerflüssigkeit benötigt wird oder mehrere leere Rohre festgestellt werden. Diese zusätzlichen Flächenbesuche erfolgen solange, bis aufgrund nennenswerter Niederschläge feuchtere Bodenverhältnisse auftreten.

Kontrollgänge oder Zusatzmessungen sind freiwillig

b) Winter

- Im Winter kann es vorkommen, dass die Isolation am Rohr anfriert. Das Rohr muss dann besonders gut festgehalten werden, wenn die Isolation entfernt wird. Notfalls kann auch nur der Deckel der Isolation entfernt und die Isolation soweit nach unten geschoben werden, bis die Nadel eingestochen werden kann.
- Um ein Einfrieren der Flüssigkeit im Rohr zu verhindern, wird dem Wasser 30-50 % Ethanol beigemischt. Die Handhabung bleibt dieselbe.
- Messungen erfolgen so lange als möglich. Wenn die Tensiometer aufgrund der Schneehöhe nicht mehr aufgefunden werden können, wird auf die Messungen verzichtet und im Feldprotokoll vermerkt.

6. Wartung / laufender Unterhalt

6.1 Wasser nachfüllen

- einzelne Tensiometer mit der Spritzflasche nachfüllen, wenn Δw größer als -3 cm oder wenn das Rohr leer ist.
- Pfropfen entfernen; Öffnung der Spritzflasche an den Rand halten und Wasser langsam einfließen lassen (nicht spritzen, siehe Abb. 3 [1]); Flasche mit der Öffnung nach oben halten, um Luft einzulassen (Abb. 3 [2])
- Auffüllen über die Marke (exakte Einfüllhöhe unwichtig); mindestens 1 cm Luft zwischen Pfropfen und Wasserspiegel freilassen!
- Pfropfen seitlich anfeuchten und auf das Rohr stöpseln. Achtung: das Rohr sehr gut festhalten! (Bruchgefahr)
- Flaschen, die mindestens noch halbvoll sind, durch zusammenpressen luftfrei machen (Abb. 3), zuschrauben und beim

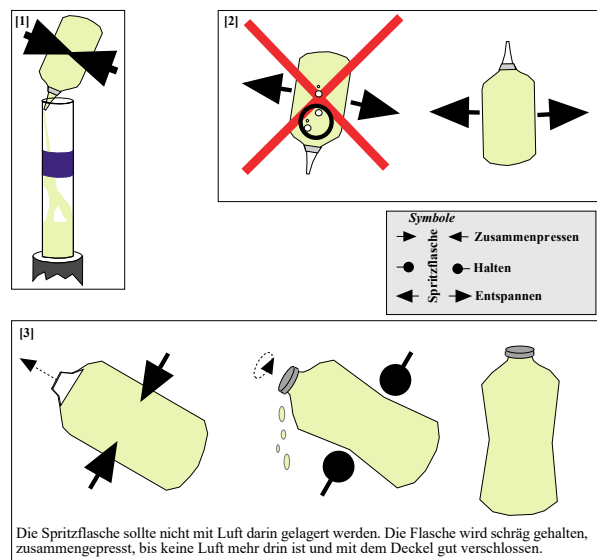


Abbildung 3 :
Hinweise zum Nachfüllen von Wasser (siehe Text)

nächsten Ableseturnus wiederverwenden; alle leeren, überzähligen und angebrauchte Flaschen an die WSL zurückschicken

6.2 Reparaturen

- Ersatz von undichten Pfropfen
- Ersatz von Isolationsmaterial (bei starken Schäden durch Tiere, Kontaktperson an der WSL informieren)
- Falls Nummerierungen unleserlich, mit wasserfestem Stift erneuern.

7. Bekannte Probleme

Vorbemerkung: Im nachfolgenden Text beziehen sich Größenangaben auf **absolute** Zahlen d. h. $\Delta p = -300$ ist „größer“ als $\Delta p = -100$, der Messwert „sinkt“ von $\Delta p = -300$ auf $-\Delta p = -200$ (Differenz zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Unterdruck im Tensiometer wird kleiner) bzw. „steigt“ von $\Delta p = -10$ auf $\Delta p = -250$ (Differenz zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Unterdruck im Tensiometer wird grösser)

7.1 Messwert

a) Messwert instabil, sinkend :

Symptom: Anzeige nach ca. 3 Sekunden nicht konstant sondern gegen 000 absinkend:

- sich den anfänglich angezeigten Wert merken und in Klammern protokollieren; in der Kolonne „D“ einen abwärts gerichteten Pfeil eintragen
- Sitz der Nadel überprüfen; festdrehen, falls locker
- Gummipropfen ersetzen, falls Nadel nicht locker war

b) Messwert instabil, steigend :

Symptom: Anzeige nach ca. 5 Sekunden nicht konstant sondern stetig ansteigend:

- ca. 2 Minuten warten, bis sich der angezeigte Werte fast nicht mehr verändert;
- Schlusswert in Klammern protokollieren; in der Kolonne „D“ einen aufwärts gerichteten Pfeil eintragen.
- gegebenenfalls Messung mit einer neuen Nadel wiederholen; falls der zweite Messwert protokolliert wird, muss eine 2 in Spalte E eingetragen werden

7.2 Messgerät

a) Nadel verbogen

Symptom: Schutzhülle am Einstichkopf verklemmt; verkrümmte Nadel

- Nadel geradebiegen oder ersetzen

b) Mehrere Einstiche notwendig

Symptom: zweiter Einstich notwendig nach Problemen mit verstopfter oder verbogener Nadel

- nach Möglichkeit zwischen 1. und 2. Einstich zuwarten und erst die verbleibenden Arbeiten erledigen
- Anzahl Einstiche in der Spalte E vermerken

c) Anzeige des Messgerätes kehrt nicht auf 000 (± 001) zurück

Symptom: Anzeige nach Messung nicht 000 bzw. ± 001 ; Anzeige schwankend, je nach Lage des Einstichkopfes

- Nadel entfernen und Anzeige kontrollieren: falls Anzeige nicht auf 000 bzw. ± 001 zurückkehrt: Messungen abbrechen, WSL informieren
- wenn die Anzeige nach dem Entfernen der Nadel auf 000 zurückkehrt: Nadelspitze in den Mund nehmen und ansaugen; Nadel wieder aufsetzen
- Anzeige erneut kontrollieren; falls Anzeige nicht auf 000 bzw. ± 001 : Prozedur einmal wiederholen
- falls das Ausblasen der Nadel ohne Erfolg bleibt: neue Nadel verwenden; Anzeige erneut kontrollieren

7.3 Tensiometer

a) Tensiometer defekt

Symptom: Δp um 0; nach dem Auffüllen sinkt der Wasserspiegel sichtbar schnell solange kein Pfropfen auf dem Rohr ist; eventuell sichtbare Schäden feststellbar (Steinschlag, Äste, Wild)

- Protokollieren
- Falls mehrere Tensiometer betroffen, WSL informieren

b) Tensiometer leer

Symptom: Messwerte im Bereich +010 bis -010 und kein Wasserspiegel sichtbar

- Rohr ausgetrocknet
- Tensiometer direkt mit der Spritzflasche neu füllen (Volumenbestimmung mit Spritze nicht notwendig)