

Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung

Bodensensormessung und Datenaufzeichnung



www.alb-bayern.de/bef12

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Dr. Michael Beck
Tobias Troidl
Hochschule Weihen-
stephan-Triesdorf



Florian Hageneder
Amt für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten
Landshut



Stefan Kirchner
Bayerische Landesanstalt
für Weinbau und Gartenbau



Inhaltsverzeichnis

Seite

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Einleitung | 4 |
| 2. | Methoden zur Erfassung der Bodenfeuchte | 4 |
| 2.1 | Spatenprobe oder Spatendiagnose | 4 |
| 2.2 | Wasserspannungs-, Saugspannungs- oder Matrixpotentialmessung | 5 |
| 2.3 | Wassergehaltsmessung | 5 |
| 2.4 | Zusammenhang zwischen Wasserspannung und Wassergehalt | 6 |
| 3. | Sensoren | 7 |
| 3.1 | Sensoren zur Saugspannungs- bzw. Wasserspannungsmessung | 7 |
| 3.2 | Profilmonitoring..... | 11 |
| 4. | Interpretation der Messwerte | 12 |
| 5. | Installation der Feuchtesensoren | 13 |
| 5.1 | Vorbereitung und Konditionierung der Sensoren | 13 |
| 5.2 | Standortwahl | 13 |
| 5.3 | Einbau | 14 |
| 6. | Datenaufzeichnung und Auswertung | 15 |
| 6.1 | Aufzeichnung und Auswertung von Hand | 15 |
| 6.2 | Warngeräte und Mailer | 16 |
| 6.3 | Datenlogger mit Vor-Ort Auslesemöglichkeit | 16 |
| 6.4 | Internetbasierte Messsysteme | 17 |
| 7. | Hersteller und Vertrieb von Sensoren | 18 |
| 8. | Literatur | 19 |

1. Einleitung

Die Erfassung der Bodenfeuchte ist eine Möglichkeit die Effizienz der Bewässerung weiter zu steigern und zu automatisieren. Ziel ist es, den Wassergehalt im Boden für die jeweilige Pflanze im Optimum zu halten, um Stressfaktoren möglichst gering halten zu können. Neben einfachen Möglichkeiten wie der Spatenprobe können Bodenfeuchtesensoren Informationen über den Wasserhaushalt des Bodens liefern. Zudem können Sensoren in verschiedenen Bodentiefen Aufschluss über die Wasserbewegung im Boden geben und somit dienen sie einer bedarfsgerichteten Steuerung hinsichtlich Bewässerungszeitpunkt und Einzelgabenhöhen. Besonders bewährt haben sich Bodenfeuchtesensoren in Verbindung mit Tropfbewässerungssystemen. Sowohl im geschützten Anbau als auch unter Freilandbedingungen.

Die Bodenfeuchte kann als Wasserspannung oder Wassergehalt erfasst werden. Unabhängig vom Messprinzip ist zu beachten, dass die

Messwerte nur einen kleinen Ausschnitt des Bodens erfassen. Bei heterogenen Bodenverhältnissen müssen die Messwerte sowie die Standortwahl des Sensors kritisch hinterfragt werden. Kabelgebundenen Sensoren sind vor allem bei einer mechanischen Unkrautbekämpfung besonders zu schützen. Zuverlässige und plausible Messwerte werden nur bei gutem Bodenkontakt erreicht.

Entscheidungskriterien für die Auswahl der Sensoren sind Messbereich, Messprinzip, Preis und Messgeschwindigkeit. Weiterhin ist zu berücksichtigen wie die Messwerte verarbeitet bzw. gespeichert werden. Neben einfachen Handauslesegeräten, sind Datalogger oder Cloud-beziehungsweise internetbasierte Systeme am Markt erhältlich.

2. Methoden zur Erfassung der Bodenfeuchte

2.1 Spatenprobe oder Spatendiagnose

Die Spatenmethode ist eine einfache und kostengünstige Methode den Oberboden und den Übergang zum Unterboden in Augenschein zu nehmen. Zu beachten ist jedoch, dass der verwendete Spaten eine Länge von mindestens 30 cm aufweist, da sonst eine Analyse des Überganges zur Unterkrume nicht erfolgen kann.

Mittels der Spatenprobe lassen sich neben dem Bodengefüge auch Bodenverdichtungen, Durchwurzelung und die Bodenfeuchte einschätzen. Sie liefert einen Gesamteindruck. Die Vorgehensweise der Spatenprobe ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

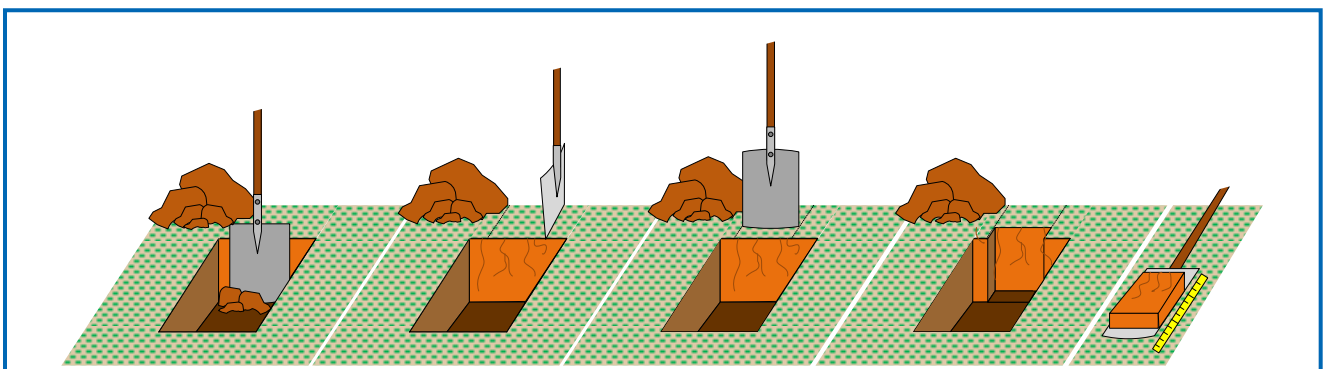


Abb. 1: Spatenprobe zur Beurteilung der Bodenfeuchte, Durchfeuchtungs- und Durchwurzelungstiefe

Bei hinreichender Erfahrung kann die Spatenprobe durchaus als Entscheidungshilfe dienen. Um annähernd den Informationsgehalt von Bodenfeuchtesensoren zu erreichen, müssten die Zeitintervalle zwischen den Proben entsprechend klein gehalten werden. Weitere Hinweise

zur Anwendung der Spatenprobe wurden von der LfL in der Publikation „Bodenstruktur erkennen und beurteilen“ (<https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040146/index.php>) veröffentlicht.

2.2 Wasserspannungs-, Saugspannungs- oder Matrixpotentialmessung

Die Wasserspannung kann vereinfacht als die Kraft beschrieben werden, mit der das Wasser an die Bodenteilchen, die Matrix, gebunden ist. Sie hängt im Wesentlichen von der Körnung (Bodenart), vom Gefüge (Porengrößenverteilung), vom Gehalt organischer Substanz und vom Wassergehalt ab. Diese Kraft muss die Pflanze zur Wasseraufnahme überwinden. Sie wird als Druck (Kraft pro Fläche), wissenschaftlich korrekt als Unterdruck (Saugspannung) angegeben, wobei das negative Zeichen meist weggelassen wird. Potential bezeichnet die Arbeit, die notwendig ist, um eine bestimmte Wassermenge von einem Punkt des Kraftfeldes zu einem anderen Punkt zu transportieren.

Aus Sicht der Pflanze, die das Wasser gegen die Wasserbindungskräfte des Bodens aufnehmen muss, ist die Wasserspannungsmessung aussagekräftiger als die Wassergehaltsmessung. Als Faustregel wird als Empfehlung für den geschützten Anbau, bei dem natürliche Niederschläge abgehalten werden (Gewächshaus, Foli-

enhaus) wird ein Einschaltpunkt zwischen 60 - 150 hPa empfohlen, im Freilandanbau bei empfindlichen Kulturen (Feingemüse) und dem Einsatz einer Tropfbewässerung zwischen 100 – 300 (500) hPa empfohlen. Diese „geringen“ Saugspannungen bzw. hohe Wassergehalte bergen das Risiko einer Wasserversickerung und damit Nitratauswaschung. Im Sinne einer Defizitbewässerung sollten die Grenzwerte allerdings höher gewählt werden. Die genauere Bedeutung dieser Grenzwerte wird in Kapitel 2.4 näher erläutert.

Die Sensoren zur Erfassung der Wasserspannung müssen, damit sich zwischen dem Sensor und dem Boden ein Gleichgewicht einstellt, im Gegensatz zu Sensoren zur Wassergehaltsmessung eine bestimmte Zeitdauer, vorzugsweise die gesamte Anbausaison am gleichen Standort verweilen. Die bekanntesten Sensoren zur Erfassung der Wasserspannung sind das Tensiometer, der Gipsblock und der Watermark Sensor.

2.3 Wassergehaltsmessung

Soll zur Steuerung der Bewässerung der volumetrische Wassergehalt (Vol.-%) verwendet werden, so ist der Zusammenhang zwischen diesem und der Wasserspannung zu berücksichtigen. Die entscheidenden Eckpunkte, Wassersättigung und Bewässerungspunkt, sind für jede Bodenart separat zu ermitteln.

Die Wassergehaltssensoren sind in der Regel wartungsfrei und nur mit elektronischen Aus-

werteinheiten bzw. Dataloggern zu verwenden. Sie haben eine kurze Reaktionszeit so dass, im Gegensatz zur Wasserspannungsmessung, der Messwert sofort nach dem Einstechen abgelesen werden kann. Für Schnellmessungen sind dementsprechende Handmessgeräte mit und ohne Georeferenzierung vorhanden. Der Messbereich variiert je nach Sensortyp, befindet sich aber i.d.R. zwischen 0 und 60 Vol.-%.

Zur Kontrolle der Wasserbewegung im Boden werden entweder einzelne Sensoren in verschiedenen Bodentiefen oder Profilsonden mit mehreren Messelementen eingebaut. Die Messwerte werden insbesondere nach einem Bewässerungsvorgang ausgewertet. Aufgrund der unterschiedlichen Messbereiche, ist der absolute

Messwert verschiedener Sensortypen in der Regel nicht vergleichbar und auch sehr unterschiedlich. Entscheidend ist hier die Änderung der Messwerte. Steigen diese im Unterboden an, so ist mit einer Wasserbewegung in tiefere Schichten zu rechnen. Fallen Sie ab, trocknet der Boden aus.

2.4 Zusammenhang zwischen Wasserspannung und Wassergehalt

Je nach Bodenart ergeben sich aus Abbildung 2 unterschiedliche Zusammenhänge zwischen Wasserspannung (hPa, pF) und volumetrischem Wassergehalt (Vol.-%) und den daraus resultierenden Bereichen des pflanzenverfügbaren Wassers. Diese werden anhand einer Saugspannungskurve dargestellt. Das Grundverständnis der Saugspannungskurven ist Voraussetzung für die richtige Wahl der Sensoren und einer bedarfsgerechten Bewässerung. Wie in Abbildung 2 dargestellt, befinden sich sehr niedrige Saugspannungswerte (63 hPa) im Bereich der Feld-

kapazität (Wasserspannung von pF 1,8), sprich der Grenze, an der der Boden das Wasser noch gegen die Schwerkraft halten kann. Mit abnehmendem Wassergehalt, nimmt die Wasserspannung zu. Das heißt, je weniger Wasser sich im Boden befindet, desto stärker wird es gebunden. Ab einer Wasserspannung von pF 4,2 (15849 hPa) steht es den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung, da es zu fest an den Boden gebunden ist. Dieses restliche Wasser wird deshalb auch als Totwasser bezeichnet. Wird bei wassergesättigtem Boden zu viel Wasser ge-

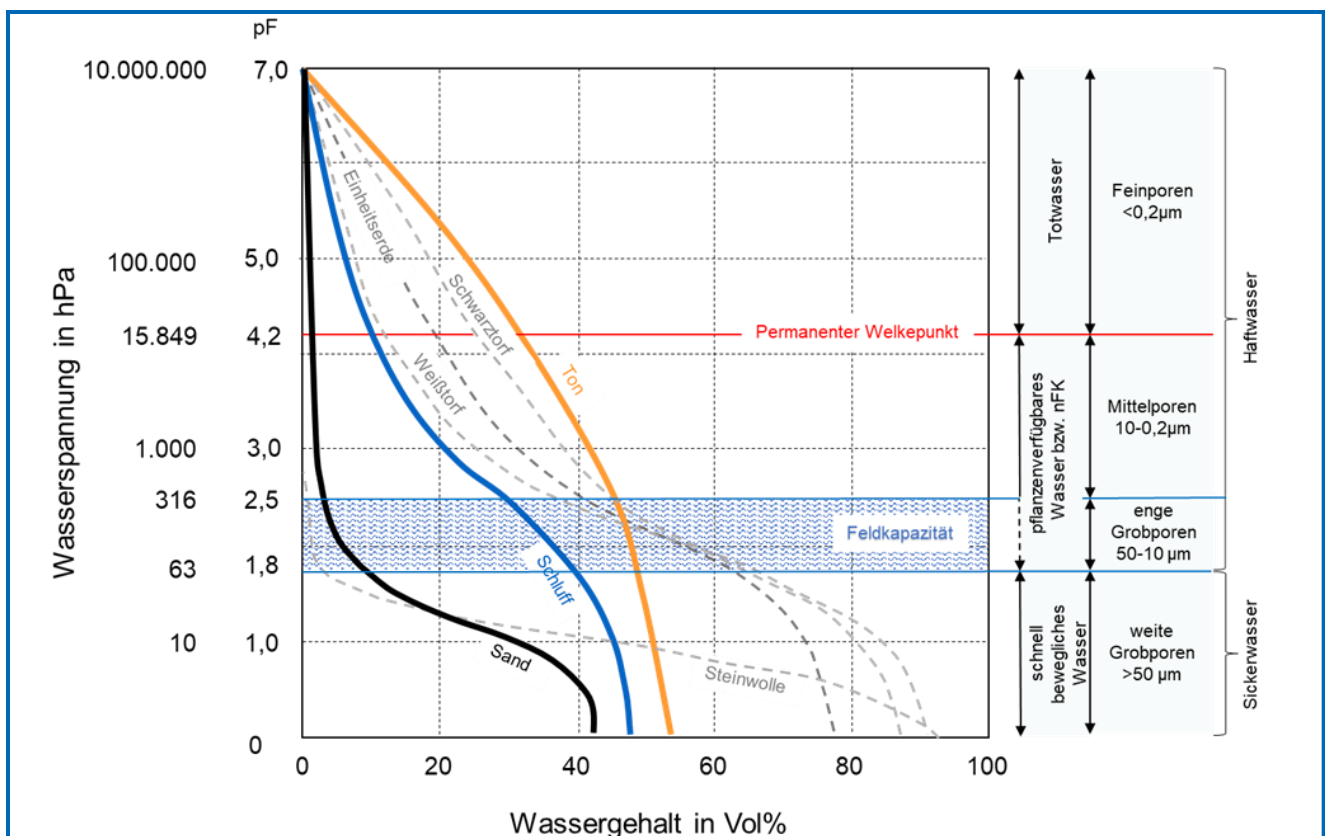


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Wasserspannung bei verschiedenen Bodenarten (verändert nach Scheffer Schachtschabel)

ben, kommt es zu einer Wasserversickerung und es besteht die Gefahr der Nährstoffauswaschung.

Ist Wasser knapp, können die Grenzwerte in Richtung einer trockneren Kulturführung angepasst werden, jedoch mit dem Risiko von leichten Ertragsrückgängen und Qualitätseinbußen. Ausgehend von den volumetrischen Wassergehalten (X-Achse) ist zu erkennen, dass bei glei-

chem Wassergehalt, z.B. bei 30 Vol.-% im Sandboden eine Wasserspannung von ca. 10 hPa, im Schluff von ca. 316 hPa und im Tonboden bereits eine Wasserspannung über dem permanenten Welkepunkt herrscht. Wird die Y-Achse betrachtet, so ist bei einer Wasserspannung von ca. 300 hPa im Sandboden ein Wassergehalt von ca. 5 Vol.-%, im Schluffboden von ca. 30 Vol.-% und im Tonboden ein Wassergehalt von ca. 45 Vol.-% vorhanden.

3. Sensoren

3.1 Sensoren zur Saugspannungs- bzw. Wasserspannungsmessung

Tensiometer

Das klassische Instrument zur Messung der Bodenwasserspannung ist das Tensiometer. Aufgrund der guten Reaktion in den unteren Saugspannungsbereichen (von 0 - 800 hPa) wird es vor allem zur Steuerung der Bewässerung im Gewächshaus bei Schaltpunkten zwischen 60 und 300 hPa und im Freiland bei Schaltpunkten unter 600 hPa eingesetzt. Einfache mechanische Systeme können ohne zusätzliche Elektronik bereits unter 50,- € zur Kontrolle der Bewässerung eingesetzt werden.

Das traditionelle Tensiometer besteht aus einer Tonzelle, einem Plexiglasrohr und einem Unterdruckmessgerät. Trocknet der Boden aus, so entsteht in dem mit Wasser gefüllten Plexiglas-

rohr über die Tonzelle ein Unterdruck. Ist im Boden wieder leicht verfügbares Wasser z.B. durch natürliche Niederschläge oder einem Bewässerungsvorgang vorhanden, wird durch den Unterdruck im Sensor Wasser nach innen gezogen und dieser damit abgebaut. Steigt die Saugspannung für eine längere Zeit über 800 hPa entstehen Luftblasen und das System entleert sich. Diese Situation kann unter Freilandbedingungen in Trockenphasen relativ schnell erreicht werden. Bleiben die hohen Saugspannungen erhalten, wird sich das System auch nach jedem Auffüllen wieder entleeren und demnach keine repräsentativen Messwerte mehr ausgeben.

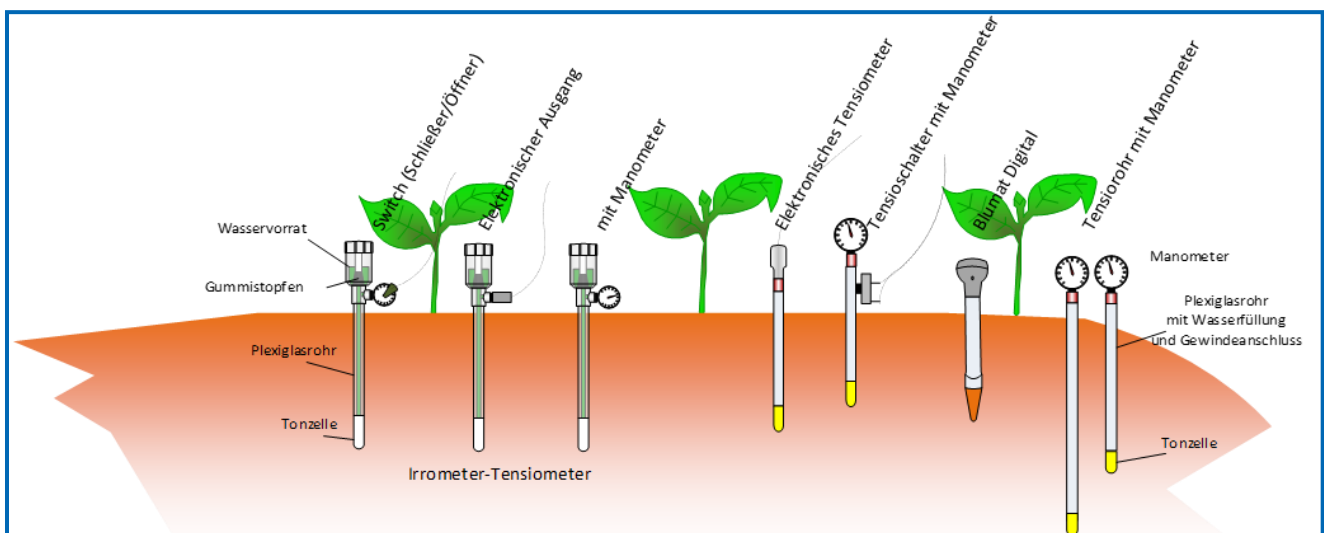


Abb. 3: Tensiometer verschiedener Bauarten zur Erfassung der Bodenfeuchte

Um die Saugspannung in verschiedenen Bodentiefen zu erfassen, werden verschiedene Rohrlängen eingesetzt. Dabei ist zu beachten, dass je nach Rohrlänge bereits die Wassersäule im Rohr einen Unterdruck erzeugt. Um den realen Messwert zu erhalten, ist die Länge des Rohres vom angezeigten Messwert zu subtrahieren. Einige Manometer bzw. Sensoren haben die Möglichkeiten einen sog. 0-Abgleich durchzuführen. Datalogger bieten die Möglichkeit Korrekturfaktoren anzugeben. Die Rohrlänge sollte, damit das verbaute Manometer oder der elektrische Ausgang nicht direkt mit dem Boden in Kontakt kommt, mindestens 10 cm länger gewählt werden (siehe Abbildung 3).

Der Messwert wird über ein Manometer angezeigt oder kann bei elektronischen Sensoren als analoges Signal (Spannung, Strom) oder als digi-

tales Signal (RS 232, RS485, SDI12, Modbus) ausgegeben werden. Eine Sonderform sind sog. Tensioschalter. Hier wird der Schalterpunkt bereits am Sensor selbst, entweder fest eingestellt oder mit einem Drehschalter festgelegt. Mithilfe dieser Funktion kann eine Bewässerungseinheit kostengünstig automatisiert werden. Der Tensioschalter kann beispielsweise ein Magnetventil bei Austrocknung des Bodens öffnen und nach erfolgter Bewässerung ab einer bestimmten Bodenfeuchte automatisch wieder schließen.

Neben der Wasserfüllung ist für eine störungsfreie Funktion ein guter Bodenkontakt des Sensors Voraussetzung. Bei sehr grob strukturierten Böden ist die Funktion nicht gewährleistet. Der Einbau von Saugspannungssensoren wird im Kapitel 5.3 näher beschrieben.

Watermark Sensoren

Watermark Sensoren haben einen Messbereich bis 2.000 hPa (200 centibar, 2 bar), sind allerdings im feuchten Messbereich eher ungenau und für die Steuerung im Gewächshaus daher nur bedingt geeignet. Haupteinsatzgebiet ist das Freiland. Die Sensoren sind im Verhältnis zu anderen Messsystemen als preisgünstig einzustufen, weitgehend wartungsfrei und können auch in der Frostperiode im Boden verbleiben. Um den Sensor in tiefere Schichten zu platzieren, stehen Bohrer und Bohrstöcke sowie Ein-

bauhilfen zur Verfügung. Alternativ kann der Sensor mit einer Rohrverlängerung erworben werden bzw. es kann ein Kabelschutzrohr als Verlängerung (Innendurchmesser 13,5 mm) dienen. Zur Auswertung des Messsignals wird eine entsprechende Elektronik benötigt. Im Gegensatz zu vielen anderen Systemen wird beim Watermark ein Widerstand gemessen, welcher entsprechend verrechnet werden muss. Werden mehrere Sensoren an ein System betrieben, ist auf eine galvanische Tren-

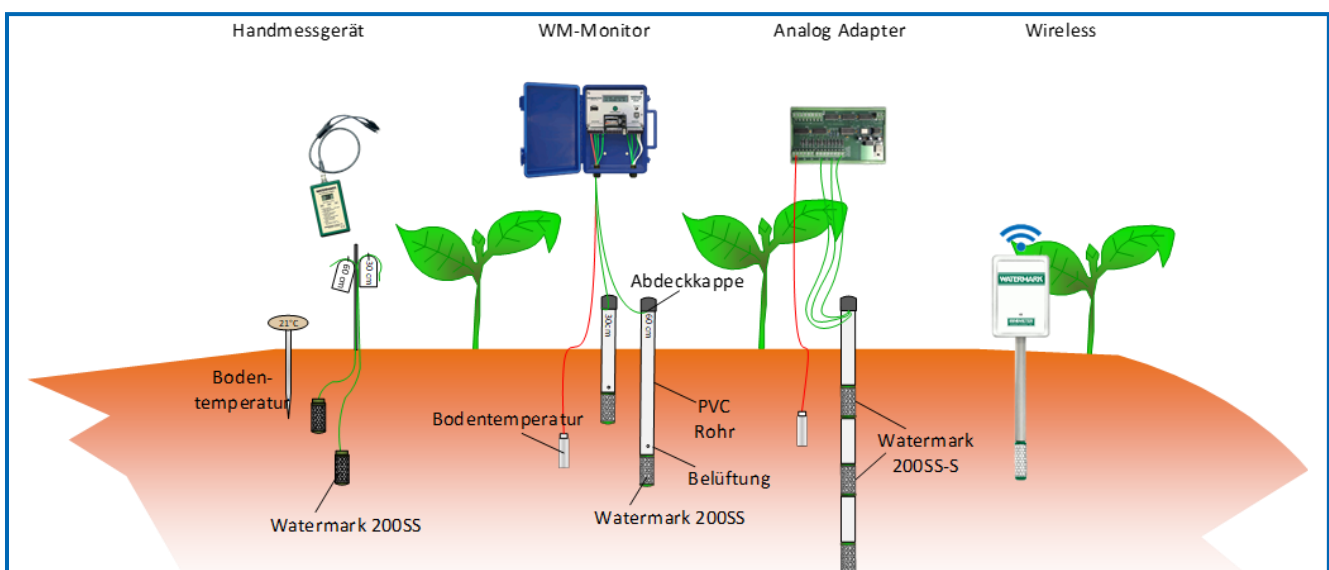


Abb. 4: Watermark Sensoren mit verschiedenen Messgeräten mit oder ohne Datenübermittlung

Tab. 1: Watermark Sensoren und Zubehör

| Watermark WM200 | Hüllrohr | Profilsonde | Bohrstock/Bohrer |
|---|--|---|--|
|  ca. 40 € |  3,30 €, je nach Länge |  3 Messtiefen ca. 195 € 4 Messtiefen ca. 125 € |  ca. 70 € |
| Eindrückhilfe | Handauslesegerät | Datamonitor | Voltadapter |
|  ca. 75 € |  ca. 280 € |  ca. 950€ incl. Sensoren |  ca. 250 € ohne Sensoren |

nung zu achten. Im einfachsten Fall kann das batteriebetriebene Handauslesegerät der Firma Irrrometer verwendet werden. Die Kabelenden werden zur Messung über sog. Krokodilklemmen angeschlossen und der Messwert ermittelt. Da die Messung temperaturabhängig ist, sollte auch die Bodentemperatur erfasst und am Messgerät eingegeben werden. Für eine kontinuierliche Messung sind speziell für diesen Sensor konfigurierte Datalogger verschiedener Hersteller einzusetzen. Meist ist bei diesen auch ein Messkanal für eine Temperaturmessung inte-


griert. Sollen bereits vorhandene, bodengebundene Datalogger bzw. Messsysteme eingesetzt werden, kann ein vom Hersteller angebotener Messadapter mit analogen Ausgängen verwendet werden. Eine Übersicht der Anwendungsmöglichkeiten ist in Abbildung 4 dargestellt. Wie beim Tensiometer ist beim Einbau auf einen guten Bodenkontakt zu achten. Eine Übersicht über die Kosten incl. Zubehör ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Equitensiometer



Unter dem Begriff Equitensiometer werden weitere Sensoren zur Erfassung der Wasserspannung zusammengefasst. Diese decken einen weitaus größeren Messbereich bis 1.500 kPa ab und sind daher für eine starke Defizitbewässerung bzw. auch für Dauerkulturen interessant. Sehr gute Erfahrungen liegen hierzu bereits an der LWG im Weinbau vor. Bei den sog. Equiten-

siometern steht meist ein Messkörper (Ton, Gips o.ä.) mit dem Bodenkörper bzw. der Bodenlösung im Ausgleich. In diesem Messkörper wird der Feuchtegehalt gemessen. Da die Eigenschaften des Messkörpers bekannt sind, kann auf die Wasserspannung geschlossen werden. Ausgewählte Beispiele sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2, Teil 1 von 2: Equitensiometer zur Erfassung hoher Bodenwasserspannungen

| Equitensiometer | Produktbeschreibung | ca. Preise (netto) |
|---|---|--------------------|
|  Tensiomark | Messbereich: pF 0-7 bzw. 1-10.000.000 hPa Wartungsfrei und frostsicher im SDI12-Betrieb Messung der Bodentemperatur Messbereichsklassen können gewählt werden Ausgangssignal: Digital (SDI-12), optional analog Betriebsspannung: 7 ... 14 V, 12 V ideal, Stromaufnahme: inaktiv 1,5 mA, aktiv 45 ... 50 mA | auf Anfrage |

Tab. 2, Teil 2 von 2: Equitensiometer zur Erfassung hoher Bodenwasserspannungen

| Equitensiometer | Produktbeschreibung | ca. Preise (netto) |
|---|--|--------------------|
| EQ3  | Alternative zu wassergefüllten Tensiometern Messbereich: 0 -1000 kPa Wartungsfrei und frostbeständig (IP68), kein Nachfüllen und Entgasen Eingebauter Temperatursensor: Widerstand 5.8Ω—28Ω Ausgabe 0 - 1.0 V Differenzial, nicht linear Leistungsbedarf 5-14 V, ~18 mA für 1 s | 500 - 700 € |
| TEROS-21  | Keine Neukalibrierung Messbereich: von -9 kPa bis zur Lufttrocknung [-100.000 kPa]) Geringe Salzeempfindlichkeit Temperaturmessung Plug-and-Play-Funktion SDI-12 kompatibel | 150 € |

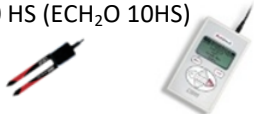



Wassergehaltssensoren

Sensoren zur Erfassung des volumetrischen Wassergehaltes sind in der Regel wartungsfrei, allerdings nur mit elektronischen Auswerteeinheiten bzw. Dataloggern zu verwenden. Sie haben eine kurze Reaktionszeit, sodass im Gegensatz zur Wasserspannungsmessung der Messwert sofort nach dem Einstechen abgelesen werden kann. Für Schnellmessungen sind dementsprechende Handmessgeräte mit und ohne Georeferenzierung vorhanden.



Wassergehaltssensoren eignen sich besonders zur Kontrolle der Wasserbewegung. Hierzu werden entweder einzelne Sensoren in verschiedenen Bodentiefen oder Profilsonden mit mehre-

ren Messelementen eingebaut. Aufgrund der unterschiedlichen Messbereiche und der unterschiedlichen Kalibrierung sind die absoluten Messwerte der verschiedenen Sensoren in der Regel nicht vergleichbar. Aussagekräftiger ist hier der zeitliche Verlauf und die relative Änderung bzw. auch das nach einer Wassersättigung erreichte Maximum. In Tabelle 3 ist ein kleiner Ausschnitt verschiedener Wassergehaltssensoren dargestellt.

Tab. 3, Teil 1 von 2: Wassergehaltssensoren mit Handmessgeräten zur Erfassung des Bodenwassergehaltes

| Wassergehaltssensor | Produktbeschreibung | ca. Preise (netto) |
|--|--|--|
| 10 HS (ECH ₂ O 10HS)  | FDR Prinzip, erfasst ca. 1 l Bodenvolumen. Sensorlänge ca. 10 cm, Stromversorgung: 3-15 V, Signalausgang: 0,3-1,25 V = 0..57 Vol % | Sensor 110 €, Handauslesegerät 500 € |
| VH400 Vegetronix  | FDR Prinzip Messbereich 0-3 V = 0 bis 100 % Stromversorgung: 3,3 bis 20 V | Sensor 70 €, Handauslesegerät 80 € |
| SMT100  | Messbereich: 0-100 %, Temperatur: -20 bis +80 °C Digitaler (RS 485) oder analoger Ausgang: 0-10 V Spannungsversorgung: Digital 4-24 V, Analog 12-24 V | Sensor 120 €, Handauslesegerät 195 € |
| WaterScout  | Kapazitätssensor Kalibriert für mineralische Böden oder erdelose Medien, für dauerhafte Installation bzw. Punktmessungen geeignet, kann mit FieldScout® Bodensensor-Lesegerät der Fieldscout Watch-Dog® 2000- und 1000-Serie gelesen werden | auf Anfrage |

Tab. 3, Teil 2 von 2: Wassergehaltssensoren mit Handmessgeräten zur Erfassung des Bodenwassergehaltes

| Wassergehaltssensor | Produktbeschreibung | ca. Preise (netto) |
|---|--|---|
|  FieldScout TDR Meter 350 | Volumetrischer Wassergehalt (TDR) Integriertes GPD Modul und Bluetooth LE, USB Typ A App zur Datenauswertung gegen Nutzungsgebühren (GNSS) Accuracy 1m (Galileo), 3,5 - 10m (Glonass, GPS), WAAS, EGNOS Messtiefen je nach Länge der Messnadel 3,8 cm, 7,5 cm, 12 cm und 20 cm | Sensor 1400 €, Ersatzspitze 60 €, jährliche Lizenzgebühr je App 199 € |
|  SWM 5000 | Volumetrischer Wassergehalt (FDR-Technologie) Robuste Edelstahl Messsonde Integrierter Datenspeicher Handy Betrieb mit GPS basierter Datenaufzeichnung | Sensor 745 € |

3.2 Profilmonitoring

Die Bodenfeuchtemessung in mehreren Tiefen erhöht die Aussagekraft und kann mit einiger Erfahrung auch zur Interpretation der Durchwurzelungstiefe und zur Einstellung und Kontrolle der Beregnungsmenge verwendet werden. Hierzu können entweder mehrere Einzelsensoren oder sog. Multisensoren, die in der Regel Wassergehalt messen, eingesetzt werden. Multisensoren haben den Vorteil, dass der Installationsaufwand nur einmal betrieben werden muss und die Verkabelung wesentlich einfacher ist. Die Datenübertragung ist meist digitalisiert und benötigt eine SDI-12, RS485 oder sonstige digitale Schnittstelle. Diese Schnittstellen werden auf den verschiedenen Erfassungssystemen und Dataloggern zunehmend angeboten. Sind die Sensorelemente an einem Rohr installiert, muss bei der Installation darauf geachtet werden, dass sich keine Hohlräume und eventuell später sog. Mäander bilden können, die das Wasser ohne Bodenwiderstand in tiefere Schichten leiten. Der fachgerechte Einbau von Einzelsensoren und Multisensor ist in Abbildung 5 dargestellt.

In der Messlanze sind meist mehrere (2 bis 6) Messsonden eingebaut. Ein großer Vorteil besteht bei der Installation, hier muss nur ein Messrohr in den Boden eingebracht werden. Im

Gegensatz zu Einzelsensoren sind hier meist digitale Schnittstellen (SDI 12 oder RS 485) für den Datentransfer notwendig. Zwei am Markt befindliche Profilsonden sind in Tabelle 4 dargestellt. Details zu Profilsonden werden in einem separaten Infoblatt veröffentlicht.

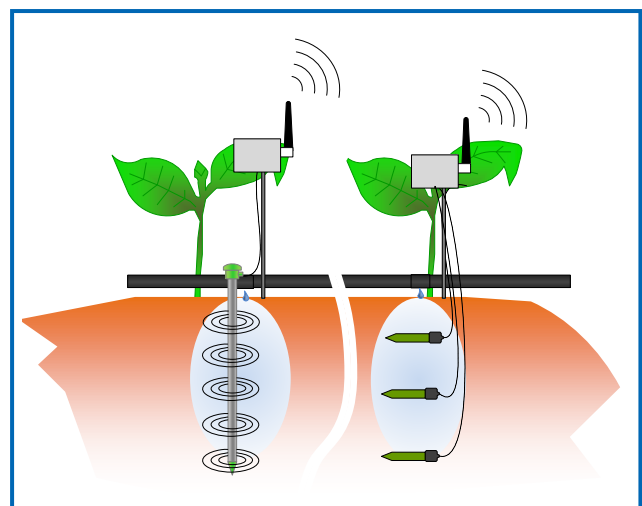
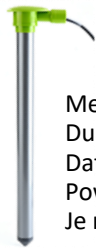



Abb. 5: Einzelsensor oder Multisensor zur Erfassung der Bodenfeuchte über das Bodenprofil

Tab. 4: Profilsonden zur Erfassung der Bodenfeuchte in mehreren Bodentiefen

| Aqua Check | PR2 Delta T Devices |
|---|---|
|  <p>Messtiefe: 200-1600 mm Durchmesser: 32 mm Datainterface: SDI12 Modbus Power: 4-14 V Je nach Länge 2-15 Sensoren im Abstand von 10 cm</p> |  <p>Messtiefe : 40 cm mit 4 Sensoren , 100 cm 6 Sensoren Bodenhülsen für mehrere Messtellen Handmeter bzw. Datalogger von Delta-T</p> |

4. Interpretation der Messwerte

Wie bereits erwähnt, müssen die Messwerte richtig interpretiert werden um daraus die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Während die Grenzwerte zur Steuerung der Bewässerung nach der Wasserspannung auf alle Böden übertragen werden kann, müssen die Grenzwerte für die Steuerung nach dem Wassergehalt individuell gefunden werden. Aufgrund der unterschiedlichen Messbereiche und Kalibrierung der volumetrischen Sensoren ist der Sättigungspunkt und der Einschaltpunkt für

jeden Boden individuell zu finden. Eine einfache Methode um sich an den richtigen Grenzwert heranzutasten ist es, den Boden nach dem Einbringen der Sensoren mit Wasser zu sättigen. Der nach ca. einem Tag abgelesenen Wert ist der maximal mögliche Messwert.

In der folgenden Abbildung 6 sind die Ergebnisse einer Saugspannungs- und einer Wassergehaltmessung mit jeweils mehreren Sensoren dargestellt.

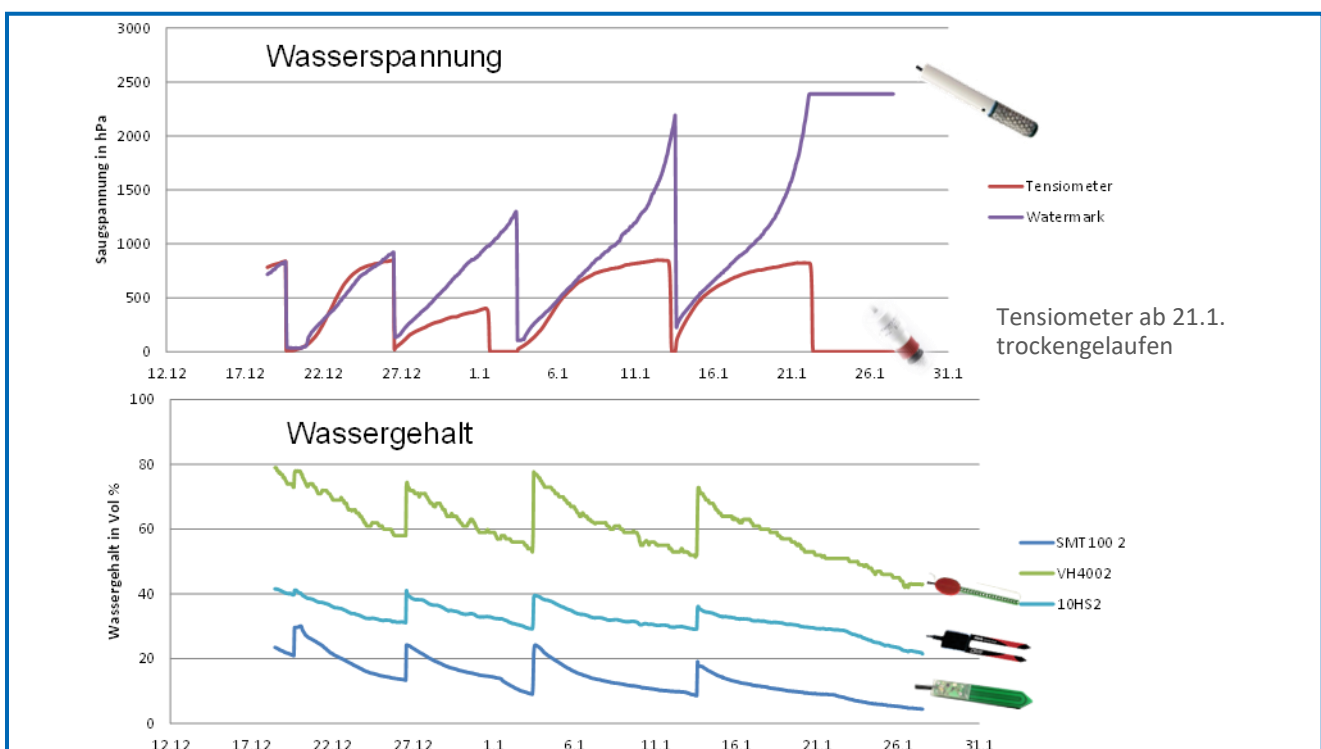


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Bodenfeuchte mit verschiedenen Sensoren in einem gemeinsamen Messgefäß.

Wie die Ergebnisse zeigen, können Tensiometer nur einen Messbereich bis ca. 700 hPa abdecken. Bei Saugspannungen > 700 hPa beginnt sich das System meist langsam zu entleeren was an dem abgeschwächten Kurvenverlauf in Abbildung 6 zu erkennen ist. Im Wasserspannungsbereich 300 - 2.000 hPa sind, wie bereits erwähnt, Watermark Sensoren einzusetzen.

Die volumetrischen Sensoren reagieren sehr aussagekräftig auf Wassergehaltsänderungen und sind damit hervorragend für die Kontrolle der Wasserbewegung einzusetzen. Jedoch ist eine ordnungsgemäße Kalibrierung an den jeweiligen Boden notwendig.

5. Installation der Feuchtesensoren

5.1 Vorbereitung und Konditionierung der Sensoren

Sowohl bei Tensiometern als auch bei Watermark Sensoren ist ein „nasser Einbau“ ratsam. Die Tonzelle bzw. der Sensor ist vor dem Einbau ca. 10 - 12 h zu wässern.

Vor der Installation des Tensiometers sollte die Tonzelle „gewässert“ und anschließend das Plexiglasrohr mit Wasser gefüllt werden. Bei der Befüllung ist darauf zu achten, dass keine Luftblasen eingeschlossen werden. Um dies zu vermeiden bietet die Fa. Irrrometer eine Ent-

lüftungspumpe an. Alternativ kann beim Befüllungsvorgang auch das Rohr mehrmals mit den Fingern leicht „angeklopft“ werden, sodass die Luftblasen nach oben entweichen können.

Bei neuen Watermark Sensoren wird eine spezielle Konditionierung (Anfeuchten – Abtrocknen – Anfeuchten) vor dem Einbau empfohlen. Anleitungen zur Installation der Feuchtesensoren können z.B. über den Link <http://www.mmm-tech.de/de/videos> abgerufen werden.

5.2 Standortwahl

Bodenfeuchtesensoren decken nur ein kleines Bodenvolumen ab. Dieses ist je nach Sensor und Bodenart und auch Wassernachlieferungsfähigkeit des Bodens sehr unterschiedlich. Wichtig ist einen repräsentativen Standort für die Kultur zu finden, der sowohl bezüglich der Bodenbeschaffenheit, der Wasserverteilung und dem

Pflanzenbestand typisch ist. Bei der Verwendung von Bodenfeuchtesensoren zur Steuerung der Tropfbewässerung wird der Sensor neben einer Tropfstelle im Hauptwurzelbereich und damit unmittelbar in der Durchfeuchtungszone der Tropfstelle platziert, wie es in Abbildung 7 beispielhaft für ein Tensiometer dargestellt ist.

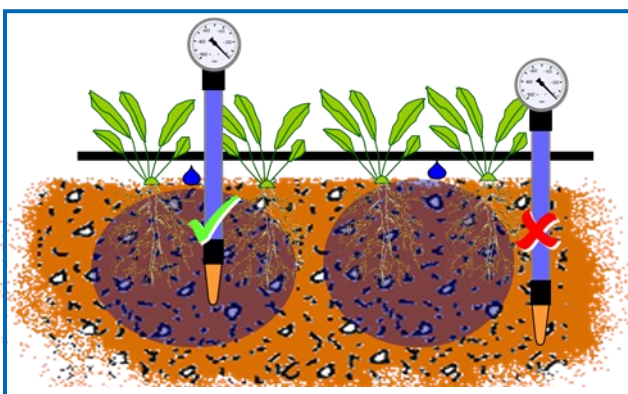


Abb. 7: Bodenfeuchtesensoren zur Steuerung der Tropfbewässerung

5.3 Einbau

Damit Sensoren zu Messung der Wasserspannung einen guten Kontakt mit dem Boden bekommen und eine Hohlraumbildung entlang des Schaftes auszuschließen ist, sollte der Sensor mit einer feinen Bodenschlämme installiert werden. Dies wird, bei leichteren Böden, durch das Einschlämmen mit Quarzmehl (Bentonit)

erreicht. Bei der Installation in schwereren Lehm- oder Lössböden kann dazu auch verflüssigter Mutterboden verwendet werden. Fremtteile (Pflanzenreste, Holzteilchen oder Steine) müssen vorher, im noch trockenen Zustand, mit einem Sieb entfernt werden.

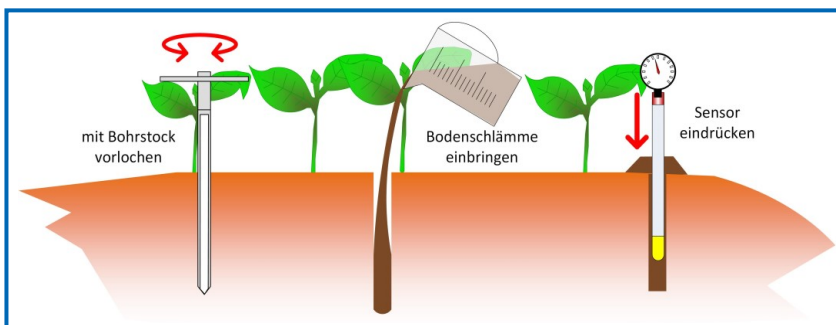


Abb. 8: Sicherer Kontakt der Bodenfeuchtesensoren durch Einschlämmen der Tonzelle

Auch die bereits erwähnten Sensoren zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes (z.B. 10 HS und VH400) müssen einen guten Bodenkontakt haben, um richtige Messwerte anzuzeigen. Lufteinschlüsse und Fremdmaterial wie Steine oder Pflanzenreste direkt am Sensor beeinflussen das Messergebnis negativ. Bei zu feuchten, schweren Böden besteht dagegen die

Gefahr, dass sich entlang eines Rohrs oder Sensors eine Schmierschicht bildet, die die Ausbreitung des elektromagnetischen Signals von z.B. FDR- oder TDR-Sonden stört. Soll der Sensor dauerhaft im Boden verbleiben, wird der Sensor horizontal in ungestörtem Erdreich und beim Einsatz einer Tropfbewässerung direkt unter der Tropfstelle installiert. Abbildung 9 zeigt den

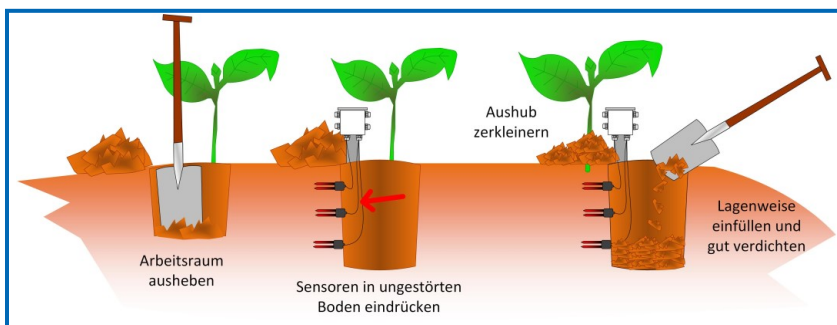


Abb. 9: Arbeitsschritte beim Einbau von Wassergehaltssensoren

fachgerechten Einbau, Bild 1 einen dieser Sensoren in einem Einlegegurkenfeld. Damit versickerndes Wasser nicht entlang des Kabels zum Sensor gelangt und so den Messwert verfälscht, empfiehlt es sich das Kabel vor dem Verfüllen zunächst unter das Niveau des Sensors in einer Schleife („Siphon“) nach unten zu führen, siehe Abbildung 10.

Festinstallierte, vollautomatische Wassergehaltssensoren werden in der Regel parallel zur Bodenoberfläche eingebaut. Hierzu ist ein klei-



Bild 1: Eingebauter 10 HS unter der Tropfbewässerung

ner Schacht auszuheben und anschließend der Sensor in den ungestörten Boden einzudrücken. Der ausgehobene Schacht ist dann lagenweise zu verdichten.

Sollten die Messergebnisse jedoch nicht plausibel zu Referenzmessungen sein oder die Ausschläge geringer sein, können die Sensoren durch ein nochmaliges Einstechen berichtigt werden. Hierbei muss der Sensor leicht schräg mit der Spitze nach unten in den ungestörten Boden platziert werden.

Wird der Sensor nur von oben in den Boden eingestochen, ist auf eine ausreichende Einstecktiefe zu achten. Meist muss der Sensor bis zum Kabelanschluss im Boden vergraben sein. Um die Sensoren vor ungewollter Beschädigung

während der Pflegemaßnahmen oder der Ernte auf dem Feld zu schützen, ist eine deutliche Kennzeichnung äußerst ratsam. Sie erlaubt auch die beschädigungsfreie Deinstallation der Technik. Es haben sich hier flexible Kunststoffstäbe, Signalsprays oder Flatterbänder bewährt.

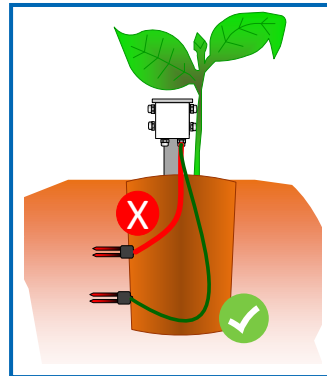


Abb. 10: Richtig verlegte Kabel verhindern Fehlmessungen durch Sickerwasser entlang der Kabel

6. Datenaufzeichnung und Auswertung

6.1 Aufzeichnung und Auswertung von Hand

Um die Bewässerung optimieren zu können sollten folgende Aufzeichnungen durchgeführt werden:

- ▶ Bodenfeuchte
- ▶ Niederschlag
- ▶ Bewässerungsmenge, - Zeitpunkt, Wasserdruck

Tensiometer mit Manometer sind die einfachste und kostengünstigste Art der Bodenfeuchte-

messung. Eine sinnvolle Interpretation ist allerdings nur möglich, wenn die Werte regelmäßig (täglich) abgelesen und notiert werden. Elektronische Sensoren können über sog. Handauslesegeräte ausgelesen werden. Mit diesen Geräten können dann auch mehrere Sensoren nacheinander abgelesen werden. Die Watermark Sensoren können z.B. über Kabelklemmen schnell angeschlossen werden. Bei anderen Sensoren sind wiederum Steckverbindungen vorgesehen.

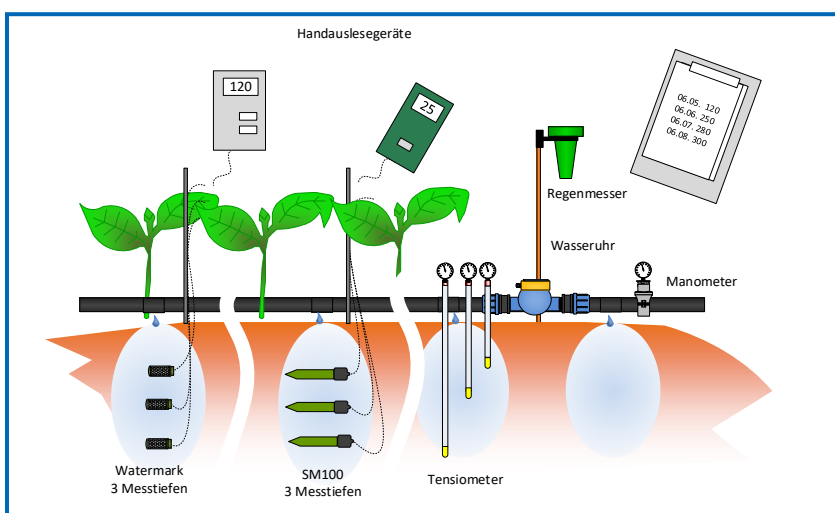


Abb. 11: Kontrolle der Bewässerung durch Handauslesegeräte und manuelle Aufzeichnungen

6.2 Warngeräte und Mailer

Eine Vielzahl der beschriebenen Sensoren kann auch an sog. Warngeräte bzw. Mailer angeschlossen werden. Die Warngeräte setzen eine SMS-Meldung oder eine Mail ab, sobald ein eingestellter Sollwert überschritten wird. Auch regelmäßige Übertragungen von Bodenfeuchtwerten per Mail sind möglich.

Bei diesen Systemen werden meist keine Zwischenwerte ausgegeben, sodass der Verlauf der Bodenfeuchte nicht bekannt ist bzw. aufgezeichnet wird. Das Prinzip eines dieser Warngeräte ist in Abbildung 12 dargestellt. Im täglichen Gebrauch muss der Betreiber nur wenige Einstellungen vornehmen.

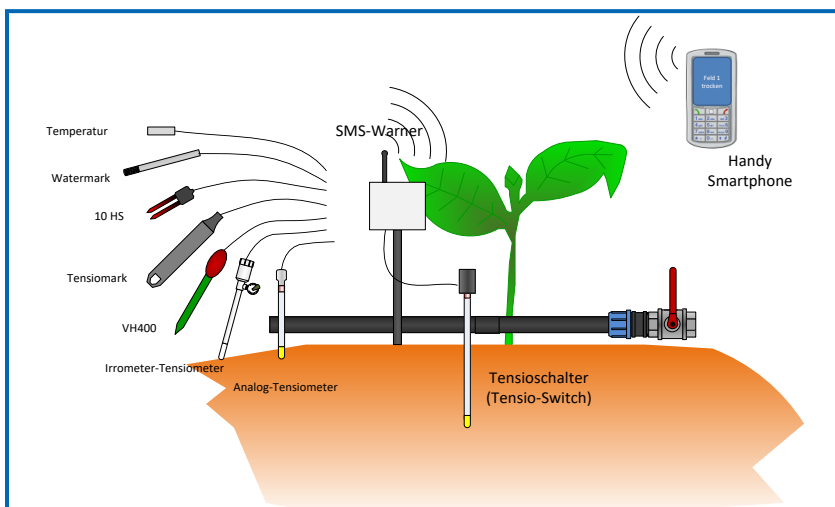


Abb. 12: Warngeräte in Kombination mit diversen Bodenfeuchte- und Klimasensoren

6.3 Datenlogger mit Vor-Ort Auslesemöglichkeit

Müssen die Sensorwerte nicht in quasi Echtzeit zur Verfügung stehen, bieten sich preisgünstige batteriebetriebene Datalogger (Abbildung 13) an. Bei diesen Geräten können die Daten entweder

über eine SD-Karte oder über eine USB-Schnittstelle auf einen Laptop oder PC übertragen und visualisiert werden.

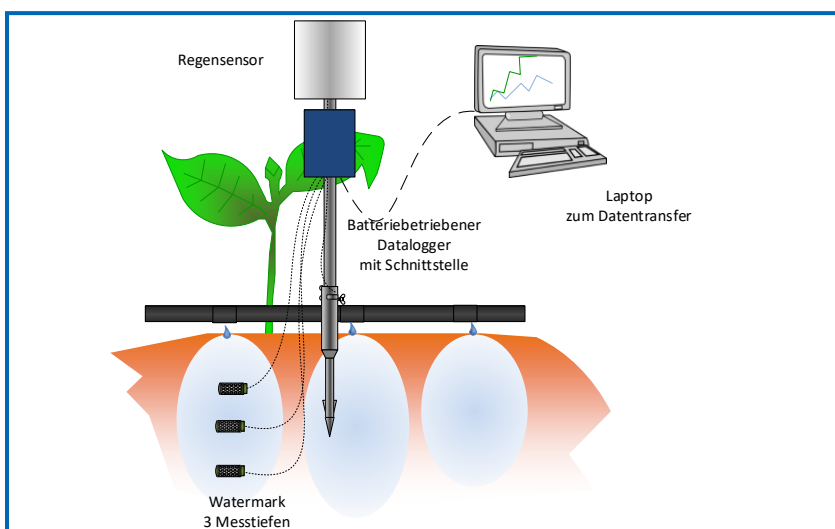


Abb. 13: Batteriebetriebener Datenlogger. Gespeicherte Daten werden über Laptop oder SD-Karten bei Bedarf übertragen z.B. Watermarkmonitor.

6.4 Internetbasierte Messsysteme

Internetbasierte Datenlogger senden die Daten in regelmäßigen Abständen per GSM bzw. LTE-SigFox oder LoRa-Verbindung automatisch auf einen Datenbankserver, sodass diese in quasi Echtzeit, je nach Einstellung, z.B. alle 15 bis 60 min zur Verfügung stehen. Die Datenbank wird in der Regel vom Hersteller gewartet und gepflegt. Über ein internetfähiges Gerät wie PC, Laptop oder Smartphone kann der Benutzer jederzeit passwortgeschützt seine Daten einsehen. Die Systeme können mit diversen Sensoren (Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Regen, Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Wassermenge, Wasserdruck, usw.) ausgerüstet werden. Zudem besteht die Möglichkeit auch Ventile und Pum-

pen anzusteuern. Für den Betrieb wird eine SIM-Karte mit Datentarif benötigt. Je nach Anbieter und Tarif ist hier mit Kosten von ca. 5-10 € pro Monat zu kalkulieren. Ein weit verbreitetes System, das auch bei einigen Anbietern von Farm-Management-Systemen integriert werden kann, sind die Wetterstationen der Firma Pessl Instruments. Die Kombinationsmöglichkeit mit Wettersensoren und Bodenfeuchtesensoren sind vielfältig, wie beispielhaft in Abbildung 14 dargestellt ist.

Die Aufbereitung (Visualisierung) der Daten erfolgt sowohl in grafischer als auch tabellarischer Form. Eine Exportmöglichkeit in Excel ist vorhanden.

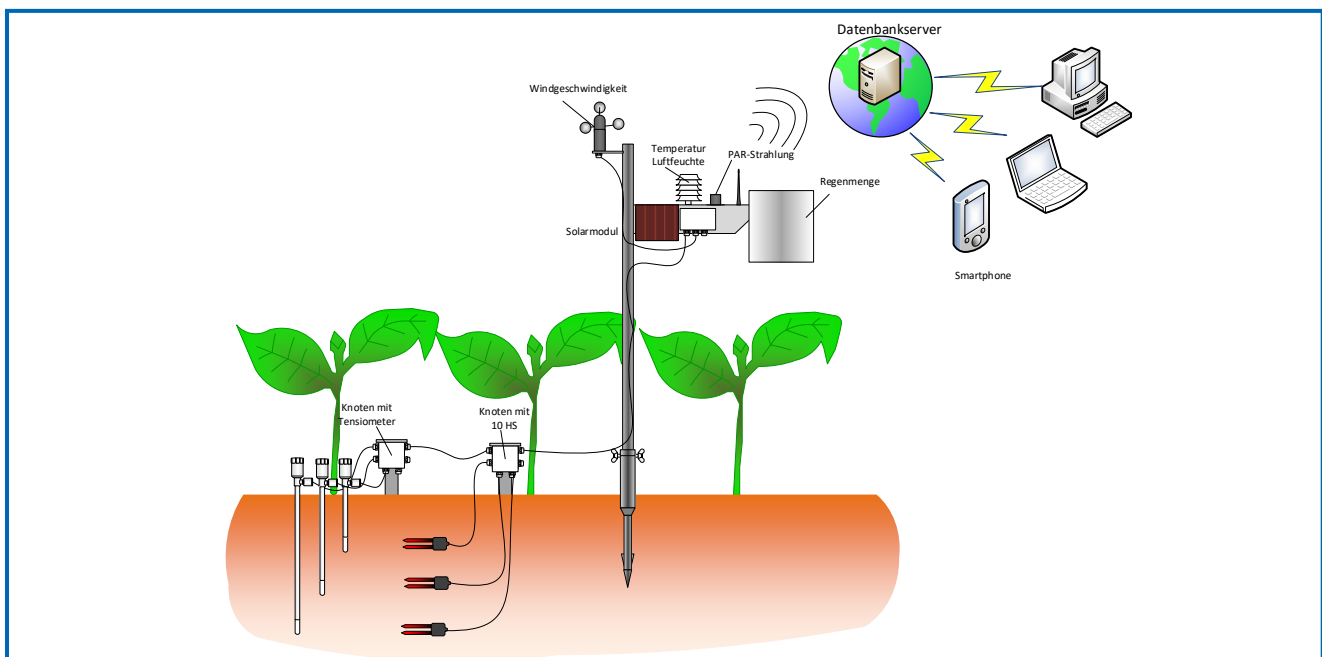


Abb. 14: iMetos Wetterstation mit diversen Sensorknoten

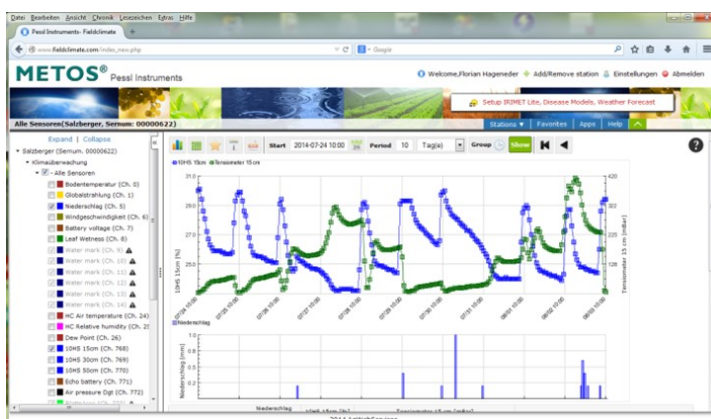









Abb. 15: Bildschirmausdruck der Internetseite Fa. Pessl

7. Hersteller und Vertrieb von Sensortechnik

Tab. 5: Hersteller und Vertrieb von Sensortechnik. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

| Hersteller | Kontaktdaten |
|---|---|
|  | <p>MMM tech support GmbH & Co. KG Weigandufer 18 12059 Berlin info@mmm-tech.de +49 - (0)30 - 62 73 68 66 +49 - (0)30 - 62 73 68 67</p> |
|  | <p>bambach GbR Peter-Spring-Str. 18 65366 Geisenheim Tel.: 06722-972168 Fax: 06722-75157 E-Mail: info@tensio.de</p> |
|  | <p>STEP Systems GmbH Duisburger Str. 44 D-90451 Nürnberg Tel: 0049 (0) 911-96 26 05-0 Fax: 0049 (0) 911-96 26 05-9 E-Mail: info@stepsystems.de Internet: www.stepsystems.de</p> |
|  | <p>METER Group AG Mettlacher Straße 8 81379 München Tel.: +49 (0)89 126652-0 Fax: +49 (0)89 126652-20 https://www.metergroup.com http://www.sime-sprinklers.com/</p> |
|  | <p>Umwelt - Geräte - Technik GmbH Eberswalder Straße 58 15374 Müncheberg Telefon: +49 (0) 33432 7559-0 Telefax: +49 (0) 33432 895-73 E-Mail: info@ugt-online.de https://www.ugt-online.de/home/</p> |
|  | <p>UP GmbH Bockradener Strasse 52b 49477 Ibbenbüren Tel: 05451/505-222 sales@upgmbh.com</p> |
|  | <p>TRUEBNER GmbH Burgunderstr. 42 67435 Neustadt phone +49 (0) 6321 8579050 fax +49 (0) 6321 8579051 email: info@truebner.de</p> |

8. Literatur

- ▶ (SCHACHTSCHABEL et al. 1989) Schachtschabel, P.; Blume, H.-P.; Brümmer, G.; Hartge, K.-H.; Schwertmann, U.: Lehrbuch der Bodenkunde. 12 Stuttgart, Enke, 1989

Zitiervorlage: Beck, M., Troidl, T., Hageneder, F., Kirchner, S. (2021): Bodensensormessung und Datenaufzeichnung. In: Bewässerungsforum Bayern, 1. Auflage - 09/2021, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef12, Stand: [Abrufdatum].

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 887- 0078

Telefax: 08161 / 887- 3957

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de