



Marktübersicht Bodenfeuchtesensoren, Forschungsprojekte

Ergänzung zum Schwerpunkt «Bewässerung»,
Schweizer Landtechnik Ausgabe Juni/Juli 2020.

Ruedi Hunger, Redaktor, Schweizer Landtechnik





Wozu dient die Bestimmung der Bodenfeuchte?

- Verständnis für das Verhalten von Böden und der bodeninternen Prozesse
- Bewertung der Bodenfruchtbarkeit
- Einschätzung von Pflanzenwachstum, Pflanzenwasserbedarf und –verbrauch
- **Steuerung von Bewässerungsmassnahmen**
- Einschätzung der Wasserspeicherkapazität von Boden
- Bewertung des Infiltrationsvermögens, der Tiefenversickerung und Auswaschung
- Erkenntnisse über sonstige physikalische Eigenschaften von Böden
- Messdaten für Wasserhaushaltsstudien

Bodenfeuchtesensoren

Bodenfeuchtesensoren bestimmen den Wassergehalt (auch Feuchtegehalt) des Bodens, der zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Boden enthalten ist. Der Wassergehalt kann sowohl als gravimetrischer Wassergehalt als auch als volumetrischer Wassergehalt angegeben werden.

- Der gravimetrische Wassergehalt entspricht dem Verhältnis aus Masse/Wasser und Masse/trockener Boden.
- Der volumetrische Wassergehalt ist gleich dem Verhältnis aus Wasservolumen und Bodenvolumen.




	<p>Gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmung</p>	<p>Die gravimetrische Bestimmung ist die einzige direkte Methode zur Ermittlung des Wassergehalts. Dazu wird im Labor eine repräsentative Bodenprobe gewogen, anschliessend bei 105°C getrocknet und abermals das Gewicht bestimmt. über die Differenz wird der Wassergehalt bestimmt.</p>
	<p>TDR (Time-Domain-Reflectometry)</p>	<p>TDR auch Zeitbereichsreflektometrie genannt, ist eine indirekte Methode zur Bestimmung der Bodenfeuchte. TDR Sonden messen die relative Dielektrizitätszahl des Bodens. Die Bestimmung der relativen Dielektrizitätszahl erfolgt über eine Laufzeitmessung (Ausbreitungsgeschwindigkeit) eines hochfrequenten elektromagnetischen Impulses. Der Bodenwassergehalt und damit die relative Leitfähigkeit des Bodens haben einen starken Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses elektromagnetischen Signals (...).</p>
	<p>FDR (Frequenz-Domain-Reflectometry)</p>	<p>Wie bei TDR wird auch beim FDR Verfahren der Wassergehalt indirekt über die relative Dielektrizitätszahl ermittelt. Eine FDR Sonde erzeugt mittels Oszillator ein kontinuierliches elektromagnetisches Signal (...) um die Stäbe entsteht ein schwingendes elektromagnetisches Feld. Auf der Basis von Regressionsfunktionen wird anschliessend der Wassergehalt ermittelt.</p>
	<p>Kapazitätsmessungen</p>	<p>Kapazitive Sensoren ermitteln die relative Dielektrizitätszahl des Bodens auf der Basis der Kapazitätsmessung eines Kondensators (...). Ändert sich die relative Leitfähigkeit des Bodens, dann ändert sich auch die Kapazität des Kondensators. Der Wassergehalt wird anschliessend wieder mit Regressionsformeln bestimmt.</p>
	<p>UMP</p>	<p>UMP-Sensoren sind eine Reihe von Kombi-Sensoren. Eine UMP misst Bodenwassergehalt, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit. Das Messprinzip entspricht den klassischen Methoden (TDR und FDR) nur teilweise. Der Sensor sendet ein kontinuierliches Signal mit konstanter Frequenz (120 MHz). Zur Ermittlung der Dielektrizitätszahl wird jedoch nicht die Amplitudenänderung, sondern die Phasenverschiebung im empfangenen Signal betrachtet.</p>
	<p>SMT-100</p>	<p>Der SMT-100 Bodenfeuchtesensor basiert auf einem eigenständig entwickelten Messprinzip (UGT). Wie bei TDR wird die Laufzeit eines Signals bestimmt, um die relative Dielektrizitätszahl des Bodens zu ermitteln. Der verwendete Frequenzbereich liegt über 100 MHz und ist somit hoch genug, um auch in tonigen Böden eine gute Funktion zu gewährleisten.</p>

Bei der Installation von Bodenfeuchtesensoren muss insbesondere auf guten Kontakt der Messstäbe zum Boden geachtet werden. Luftgefüllte Hohlräume zwischen Boden und Messstab führen zu verfälschten Messergebnissen. Böden sind von Natur aus sehr inhomogen. Daher variiert das Wasserhaltevermögen und damit die Bodenfeuchte schon über kürzeste Distanzen zum Teil erheblich. (Quelle: UGT)

Tension/Tensiometer

Tensiometer sind Messgeräte zur Bestimmung des Drucks unter dem das Bodenwasser steht. Dieser Druck wird als Tension oder Saugspannung/Wasserspannung bezeichnet. Die Tension ist eng mit dem Wassergehalt eines Bodens, also der Bodenfeuchte verbunden. Je trockener der Boden, desto höher die Tension. Auf der Grundwasseroberfläche ist die Tension gleich Null.

(Mehr Info unter: www.ugt-online.de/produkte/bodenkunde/tensiometer)

	<p>Wofür werden Tensiometer eingesetzt?</p>	<p>Tensiometer sind Messgeräte zur Bestimmung des Druckes, unter dem das Bodenwasser steht. Dieser Druck wird als Tension oder Saugspannung, auch Wasserspannung, bezeichnet. Die Tension ist eng mit dem Wassergehalt eines Bodens, also der Bodenfeuchte, verbunden. Je trockener ein Boden ist, desto höher ist die Tension. Auf der Grundwasseroberfläche ist die Tension Null. Der Zusammenhang zwischen Wassergehalt des Bodens und der Tension ist von den Eigenschaften des Bodens abhängig und für jeden Boden charakteristisch.</p>
	<p>Wie funktioniert ein Tensiometer?</p>	<p>Ein Tensiometer besteht aus einem luftdicht abgeschlossenen, wassergefüllten Messvolumen, einer Einheit zur Druckerfassung und einem porösen, wasserdurchlässigen Körper (Keramik). Die Poren der porösen Keramikkerze sind mit Wasser gefüllt und verbinden das Wasser im Messvolumen im Innern des Tensiometer mit dem Wasser im Boden ausserhalb des Tensiometer. Durch die Verbindung der beiden Wasserkörper werden die Druckverhältnisse im Innern des Tensiometer immer denen des Wassers im umgebenden Boden angeglichen. (...) Ein ablesbarer Manometer erfasst den Druck.</p>
	<p>Wann wird ein Tensiometer eingesetzt?</p>	<p>Die Tension entspricht der Kraft, welche eine Pflanze über die Wurzeln aufbringen muss um dem Boden Wasser zu entziehen. In der Praxis werden Tensiometer zur Bewässerungssteuerung eingesetzt. Durch das Messen in zwei verschiedenen Tiefen im Boden (z. B. 30cm und 60 cm) ist es möglich die Bewegung des Wassers im Boden hinsichtlich Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit zu bewerten.</p>

Saugsonden-Technologie

Saugsonden werden für die zerstörungsfreie Entnahme von Wasser aus dem Porensystem des Bodens eingesetzt. Der wesentliche Bestandteil der Saugsonden ist die poröse Saugkerze, die zur Probengewinnung in direktem Kontakt mit dem Boden gebracht wird. Durch einen angelegten Unterdruck wird das Wasser aus dem umgebenden Boden durch die Poren der Kerze in das Innere der Saugsonde und anschliessend in ein Probengefäss gesogen. Solange die Poren der Kerze wassergefüllt sind, sind diese luftdicht und der angelegte Unterdruck wird lediglich durch das nachströmende Bodenwasser ausgeglichen.

(Mehr Info unter: www.ugt-online.de/produkte/bodenkunde/tensiometer)

HAFI-Bewässerungsnetz oder: «Das Bodenwasser sichtbar machen»

Die Bestimmung des richtigen Zeitpunktes für das Bewässern landwirtschaftlicher Kulturen ist nicht einfach und setzt viel Erfahrung voraus. Auch die Wahl der optimalen Wassergabe ist ohne Hilfsmittel ein schwieriges Unterfangen.

2016 hat die Berner Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFI im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Aufbau eines Bodensonden-Netzes begonnen. Im Vordergrund stand vorerst ein Projekt zur Bekämpfung von Silberschorf und Colletotrichum bei Kartoffeln.

Das Ziel ist, den optimalen Zeitpunkt und die optimale Wassergabe durch eine kontinuierliche, pflanzenspezifische Messung des verfügbaren Bodenwassers und der Durchwurzelungstiefe zu finden. Diese Bodendaten werden mit den prognostizierten Niederschlägen kombiniert.

In den folgenden Jahren wurde das Netz im gesamten Mittelland, vom Genfer- bis zum Bodensee und um St.Galler-Rheintal, schrittweise ausgebaut. Gleichzeitig wurde die öffentlich zugängliche Webseite www.bewaesserungsnetz.ch geschaffen.

Derzeit sind über 200 Sonden bei Landwirten und 40 setzt die HAFI für verschiedene Versuche ein. Es ist kein weiterer Ausbau des Bewässerungsnetzes vorgesehen. Interessierte Landwirte können eine entsprechende Bodensonde beim niederländischen Hersteller RMA kaufen. Inklusiv Beratung und Support ist sie für etwas über 3000 Franken erhältlich.

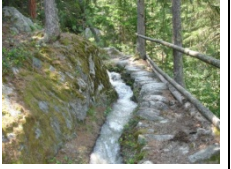


Schweizer Forschungsprojekte für den Umgang mit Wasser

- «Nationales Forschungsprogramm NFP 61¹»


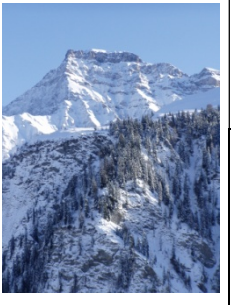
	NFP 61 Nachhaltige Wassernutzung	Nationales Forschungsprogramm NFP 61. Ziel des Projekts war es, den Handlungsspielraum für den Umgang mit Wasser unter verschiedenen Szenarien für Klima (SMHI, ETHZ), Preise (CH, EU) und Politik (Direktzahlungen) auszuloten, unter Berücksichtigung der Rentabilität und von Umweltstandards, und Möglichkeiten der Regulierung zur Zielerreichung zu identifizieren.
	AGWAM «Wasser wird auch für die Schweizer Landwirtschaft knapp»	Steigende Temperaturen und sinkende Niederschläge im Sommer werden dazu führen, dass die Landwirtschaft vermehrt auf Bewässerung angewiesen ist. Ausgehend von verschiedenen Szenarien für Klima, Preise und Politik wurde mithilfe von Modellen der Handlungsspielraum der Landwirtschaft ausgeleuchtet und Anpassungsstrategien formuliert.
	DROUGHT-CH «Sind wir auf Trockenperioden vorbereitet?»	In Zukunft ist mit häufigeren Trockenperioden und Hitzewellen zu rechnen. Das Projekt untersuchte die Risiken von Trockenperioden in der Schweiz und wie man diese vorher-sagen kann. Als Basis für Anpassungsstrategien wurde ein Prototyp für eine Informationsplattform «Trockenheit» entwickelt.
	GW-TEMP «Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser»	Durch höhere Wassertemperaturen kann die Grundwasserqualität beeinträchtigt werden. Historische Daten wurden analysiert, um den Einfluss des Temperaturanstiegs auf die Grundwasserqualität abzuschätzen. Mit statistischen Modellen wurden die zukünftigen Grundwassertemperaturen prognostiziert.
	GW-TREND «Grundwasserknappheit durch Klimawandel»	Bei zunehmender Trockenheit kann sich die Menge des vorhandenen Grundwassers verringern. Die Resultate helfen, besonders empfindlich auf Klimaänderung reagierende Grundwasserleiter zu identifizieren, Massnahmen zu planen und Überwachungsprogramme zu entwickeln.
	HYDROSERV «Nachhaltige Sicherung von Wasserressourcen»	Hydrologische Ökosystemleistungen wie Trinkwasserversorgung, Hochwasserregulierung, Erholung und Wassernutzung können durch den Klimawandel unter Druck geraten. Auf der Basis eines besseren Verständnisses zu den hydrologischen Ökosystemleistungen wurden Massnahmen für die Politik formuliert.
	IWAGO «Auf dem Weg zu einer integrativen Wasserpolitik»	Wasser ist einer der wertvollsten Rohstoffe. Der Mensch erschliesst das Wasser, verteilt und reinigt es und muss Überschwemmungen abwehren. Die nachhaltige Nutzung von Wasser als einer vorrangigen Aufgabe von Politik und Gesellschaft stösst aber auf sehr divergierende Interessen, die optimiert werden müssen.
	IWAQA «Integriertes Management der Wasserqualität von Fließgewässern»	Gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen sowie Änderungen des Klimas wirken sich auf die Gewässerqualität unserer Fließgewässer aus. Das Projekt bietet Entscheidungshilfen, die negative Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der Fließgewässer abschätzen und minimieren helfen.

¹ www.nfp61.ch

	RIBACLIM «Von Flüssen gespiesenes Trinkwasser: Noch sauber genug?»	Trinkwasser stammt zu einem Drittel aus Flusswasser, das ins Grundwasser versickert. Die Prozesse in den Uferzonen sind für sauberes Trinkwasser wichtig. Untersucht wurden klimabedingte Veränderungen dieser Infiltrationsprozesse und der Einfluss auf die Grundwasserqualität mit Feld- und Laborexperimenten.
	SACFLOOD «Wie verändert sich die Hoch- wassergefahr in den Alpen?»	Durch stärkere Niederschläge dürften Hochwasser zukünftig häufiger auftreten und stärker ausfallen. Damit die Hochwassergefahr besser abgeschätzt und zielgerichtete Massnahmen ergriffen werden können, wurden Zusammenhänge zwischen Niederschlag, der Speicherfähigkeit des Bodens und dem Abflussverhalten untersucht.
	SWISSKARST «Karstwasser, eine Wasserres- source für die Zukunft?»	In der Schweiz stammen 18% des Trinkwassers aus Karstgrundwasserleitern. Diese wurden mit der im Projekt entwickelten Methode KARSYS auf einem Drittel der Landfläche charakterisiert. Behörden und Wassernutzer nutzen die Methode, wenn es um die Nutzung und Bewirtschaftung von Karstgrundwasser geht.
	WATER- CHANNELS «Wasserkanäle – ein Modell für nachhaltige Wassernut- zung?»	Wasserkanäle bewässern Wiesen in trockenen Alpentälern schon seit vielen Jahrhunderten. Untersucht wurde deren Nutzen für die Biodiversität und das Nutzungssystem. In Zukunft muss häufiger mit Trockenheit und Wasserkonkurrenz gerechnet werden. Das Projekt hilft Wasserverteilungsfragen anzugehen.

- **Forschungsprojekte «Hydro-CH2018»**

(Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK & Bundesamt für Umwelt BAFU)

Projektbezeichnung		Projekt-Ziele
	FORHYCS-ICE² (Forest, Glacier and Hydrology Change in Swit- zerland)	Forhycs-Ice untersucht gleichzeitig die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie, auf die Gletscher sowie auf die Waldentwicklung und Waldzusammensetzung. Einzelne Modellvariablen sind miteinander gekoppelt: d.h. die Landnutzung passt sich im Laufe des Experimentes in Funktion des Klimas, der Trockenheit und des Gletscher-rückganges an.
	Schnee- und Gletscher- schmelze im Abfluss³	Die Abflussanteile aus Eis, Schnee und Regen sollen für die Periode 1961-2100 für alle Schweizer Flussgebiete auf Tagesbasis modelliert werden (mit dem HBV-Modell). Interessant sind hierbei insbesondere die Anteile während Extremereignissen sowie die zeitliche Variabilität und Trends.
	Evaluation zu- künftiger Hydro- logischer Szena- rien mit sto- chastischen⁴ Klimadaten⁴	Erstellung von hochaufgelösten (zeitlich und räumlich) Klimaszenarien. Reduktion der Unsicherheit bei der Evaluation von zukünftigen hydrologischen Extremen, besonders Starkniederschläge und Hochwasser.



² WSL, ETHZ, UniFR

³ UniZH

⁴ ETHZ

	Water balance and droughts ⁵	Bereitstellung von Informationen über die Auswirkung von verschiedenen Klima- und Landnutzungsszenarien auf Wasserressourcen in der Schweiz, mit Fokus auf die Nachhaltigkeit des Wasserverbrauchs für Bewässerung.
	AgriAdapt ⁶	Kann die landwirtschaftliche Produktion unter Klimawandel erhalten bleiben? Wird landwirtschaftliche Anpassung (Bewässerung, Wahl der Kulturen) nötig? Was sind die Auswirkungen von Klimawandel und landwirtschaftliche Anpassung auf Grundwasserressourcen?
	Potential von Wasserspeichern ⁷	Abschätzung des Potentials von Wasserspeichern um Schutz- und Nutzungsansprüche unter heutigen und künftigen klimatisch und sozio-ökonomischen Bedingungen zu befriedigen. (Gegenüberstellung von nutzbarem, gespeichertem Wasser und Wasserbedarf pro Region)
	Wassertemperatur in Seen und Fließgewässern ⁸	Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässertemperaturen (CH). Auswirkungen des Klimawandels auf Seetemperaturen (CH). Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosystemdienstleistungen. Schlussbericht Seen- und Flusstemperaturen.
	Grundwasserspeicherung und Abfluss in Alpinen Einzugsgebieten ⁹	Erforschung der Zusammenhänge zwischen Geomorphologie, Geologie und Hydrologie der Grundwasserspeicherung und der Abflussdynamik. Zusammenhang zwischen klimatischen Veränderungen, Abfluss- und Speicherdynamik zu untersuchen.
	Thermischer & hydraulischer «Ist-Zustand» Grundwasservorkommen ¹⁰	Ermittlung des «Ist-Zustands» (einschliesslich Dynamik thermische und hydraulische Randbedingungen) für einige wichtige Schweizer Grundwasservorkommen. Ergänzung von Messsystemen und Weiterentwicklung Konzept.

- **Deutsche Forschungsprojekte (kleine Auswahl)**

	Bewässerungsprojekte HSWT ¹¹	An der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf sind mehrere Forschungsprojekte zum Thema Bewässerungsoptimierung in Bearbeitung oder bereits abgeschlossen. Exemplarisch sind Projekte zur funkbasierten Bewässerungssteuerung und eine Bachelorarbeit im Bereich der Bewässerung im (Freizeit) Gartenbau zu erwähnen.
	«Klimzug Nord» (Landwirtschaft in einem grossen Verbundprojekt)	In der Ackerbauregion im Süden der Metropolregion Hamburg ist Wasser schon jetzt ein begrenzender Produktionsfaktor in der Landwirtschaft. Seit mehreren Jahren erarbeitet die Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Projekt «Klimzug Nord» zusammen mit anderen Projektpartnern aus Wissenschaft und Verwaltung Anpassungsmassnahmen an die Folgen des Klimawandels.

⁵ ETHZ

⁶ Agroscope, UniBern, UniNeuchâtel

⁷ WSL, HSR

⁸ EPFL, eawag

⁹ uniNE, UniLausanne

¹⁰ UniBasel

¹¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

