

Heinz Sourell und Martin Schmitz, Braunschweig

## Bewässerungssteuerung

**Zeitpunkt und Höhe der Bewässerungsgabe spielen eine entscheidende Rolle für die Ertragsstabilität und -qualität, aber auch für die mögliche Wassereinsparung. Es werden verschiedene Bodenfeuchtemeßverfahren diskutiert, mit denen eine Bewässerungssteuerung möglich wäre. Die Ergebnisse zeigen die Spannweite verschiedener Sensoren. In einem Bewertungsrahmen werden die verschiedenen Sensoren mit ihren Kenndaten gegenübergestellt.**

Die Frage des zeitlichen Einsatzes der Bewässerung ist so alt wie diese selbst. Zeitpunkt und Höhe der Wassergabe werden durch pflanzen-, boden- und klimabedingte sowie ökonomische und ökologische Gesichtspunkte bestimmt. In der Vergangenheit waren die Verfügbarkeit von Wasser und Energie nicht die begrenzenden Faktoren der Bewässerungslandwirtschaft Mitteleuropas. Die Kosten für Technik, Installation und Arbeit standen im Vordergrund. Auch heute fehlen noch zuverlässige, wirkungsvolle und allgemein akzeptierte Methoden zur Bewässerungssteuerung.

Eine verbesserte Bewässerungssteuerung – auch Bewässerungsmanagement genannt – ist allerdings aus folgenden Gründen notwendig:

- Bewässerungswasser steht nicht mehr unbegrenzt zur Verfügung
- negativen Auswirkungen der Überbewässerung (Auswaschung) muß vorgebeugt werden
- eine durch verbessertes Bewässerungsmanagement mögliche geringere Beregnungshöhe führt zu höherer Flächenleistung der Maschinen und geringeren Betriebskosten pro Fläche
- falsche Beregnungsintensität führt zu Bodenverschlammung oder Erosion.

Die Weiterentwicklung des Bewässerungsmanagements ist eine notwendige betriebstechnische Ergänzung zu den in Entwicklung befindlichen wasser- und energiesparenden Beregnungstechniken.

*Dr. rer. hort. Heinz Sourell und Dipl.-Ing. Martin Schmitz sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Betriebstechnik (Leiter: Dir. u. Prof. PD Dr.-Ing. habil. C. Sommer) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig.*

### Lösungsansätze

Die Weiterentwicklung der Bewässerungssteuerung kann nach pflanzenphysiologischen, bodenphysikalischen oder klimatologischen Kriterien erfolgen. In diesem Beitrag wird über die Arbeiten zur Weiterentwicklung, Eignungsuntersuchungen und Bewertung von Bodenfeuchtemeßverfahren berichtet.

Um Bodenfeuchtesensoren bewerten zu können, sind zunächst Bewertungskriterien aufzustellen:

- Wirtschaftlichkeit  
Die erwarteten Einsparungen an Wasser und Energie decken nicht die Gerätekosten.
- Aussagefähigkeit der Messung  
Das vermessene Bodenvolumen ist zu klein (Punktmessung); keine Aussage über größere Flächen möglich.
- Genauigkeit  
Durch das kleine Meßvolumen, Inhomogenitäten und Handhabungsfehler entstehen schnell Fehler von 20 %.

Deshalb wird an Meßmethoden mit besserer Mittelwertbildung und geringeren Störeinflüssen gearbeitet. Jenseits der üblichen Verfahren (Tensiometer, Bohrstock, Gipsblock) kommen auch andere physikalische Meßeffekte in Frage:

- Gammastrahlendämpfung (ähnlich Neutronensonde)
- Thermocouple-Psychrometer
- Thermopuls-Verfahren
- NMR-Magnetische Kernresonanz
- Kapazitive Verfahren
- Lichtpolarisation
- Radar GPR (Mikrowellen).

### Räumliche Variabilität

Ein vielfach unterschätztes Problem, welches auch durch verbesserte Sensortechnologie nicht so ohne weiteres behoben werden kann, ist die räumliche Variabilität der Bodenfeuchte, also die Schwankung der im Boden vorhandenen Feuchtigkeit auch über kleine Entfernungen im Feld (Bild 1). Die räumliche Variabilität kann durch den Variationskoeffizienten CV ausgedrückt werden und liegt für Bodenfeuchtemessungen typischerweise bei  $CV = 10$  bis  $30$  %. Es müssen bei einem CV von  $20$  % elf Proben genommen werden, wenn die Feuchtigkeit mit  $90$  %er Wahrscheinlichkeit auf  $\pm 10$  % (vom Meßbereich) bestimmt werden soll. Bei höheren Genauigkeitsanforderungen oder höherem CV steigt die Anzahl der

notwendigen Probenentnahmen beziehungsweise Meßstellen.

### Bewertung der Verfahren

Der Bewertungsrahmen (Übersicht 1) listet die gängigen Bodenfeuchtemeßverfahren zusammen mit ihren wesentlichen Merkmalen auf. Aufgrund der vielfältigen Variationsmöglichkeiten ist dieser naturgemäß subjektiv und nicht vollständig.

### Tensiometer

Es gibt viele verschiedene Bauformen von Tensiometern, die die Saugspannung des Bodens als indirekten Parameter für die Bodenfeuchte messen.

Unterschiede zwischen den Tensiometern bestehen hauptsächlich in dem Grad der Volumenelastizität, welche ein Maß dafür ist, wieviel Wasser aus der Kerze in den Boden übergehen muß, damit im Inneren das Vakuum erreicht wird, welches der Saugspannung im Boden entspricht. Diese ist im wesentlichen abhängig von dem im Tensiometer enthaltenen Luftvolumen (als Gas oder im Wasser gelöst) und den mechanischen Eigenschaften des Druckaufnehmers. Sie wirkt sich maßgeblich auf die Dynamik des Tensiometers aus. Darüber hinaus ist die Qualität der Keramik-Kerze von Interesse, die die Höhe des maximal erreichbaren Unterdrucks bestimmt (meist bis  $800$  hPa Saugspannung).

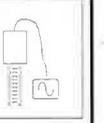


*Bild 1: Mit dem Bohrstock werden Bodenproben für die gravimetrische Feuchtemessung gezogen.*

*Fig. 1: With an auger, soil samples for gravimetric determination of moisture are extracted.*

### Gipsblöcke

Ähnlich wie bei den Tensiometern stellt sich auch bei den Gipsblöcken, die ebenso wie die Saugkerzen der Tensiometer porös sind, ein Spannungsgleichgewicht zwischen Boden und Gipsblock ein. In der eindringenden Feuchtigkeit lösen sich kleine Mengen Gips auf. Die entstehende gesättigte Lösung ist elektrisch leitfähig und – da ihre Menge im Gipsblock mit zunehmender Bodenfeuchte ansteigt

	Bohrstock Auger	Tensiometer Tensiometer	Gipsblock Gypsum block	Neutronsonde Neutron probe	TDR	FD / ka- pazitiv FD / capcitive
Symbol Symbol						
gemessene Grösse Measured quantity	Gewichts- prozent, Mass- percentage	Saugspannung pressure head	Saugspannung pressure head	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Genauigkeit <sup>1)</sup> Accuracy	0,2 Gewichts- prozent mög- lich, 0,2 Mass- percent possi- ble	abhängig von der Qualität des Manometers Depending on quality of pressure- transducer	unbestimmt unknown	besser als Better than $\pm 2$ Vol. %	besser als Better than $\pm 2$ Vol. %	besser als Better than $\pm 2$ Vol. %
Hauptinflussgrößen auf Genauigkeit Main influences on accuracy	Handhabungs- fehler Handling- mistakes	Manometer- qualität, Quality of pressure- transducer	Temperatur, Her- stellung, Alterung Temperature, ma- nufacturing, aging		Bodenkon- takt Electrode - soil contact	Bodenkon- takt Electrode - soil contact
Dynamik <sup>2)</sup> Dynamics	0	1 min - 2 d	1 - 3 d	0	0	0
Hauptinfluss- größen auf Dynamik Main influences on dynamics	-	eingeschlossenes Luftvolumen, Leitfähigkeit des Bodens air volume in tensiometer, soil hydraulic con- ductivity	Bodenkontakt, Leitfähigkeit des Bodens, Soil contact, soil hydraulic con- ductivity	-	-	-
Handhabung /Wartung Handling/maintenance <sup>3)</sup>	-	0	+	-	+	+
Kapitalbedarf Sonde / Anzeigergerät, Costs probe / meter [DM]	200 / (Ofen, Waage) (oven, scale)	50 - 700 /-, Septum. 20 /500	10 - 20 / 200 - 400	-	150 / 8000	100 / 150 - 2000 / 20.000

Übersicht 1: Bewertung der gängigen Bodenfeuchtemeßverfahren

Table 1: Appraising of common soil moisture measuring methods

Versickerungskontrolle auch mit weniger genauen Meßergebnissen durchführen. Auch ließen sich dort, wo bisher die Beregnungssteuerung nahezu ausschließlich nach arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten durchgeführt wurde, erste Anhaltswerte für die Steuerung nach dem Zustand der Pflanzenwasserversorgung gewinnen.

## Schlüsselwörter

Bewässerungssteuerung, Bewässerungsmanagement, Bodenfeuchtesensoren

## Keywords

Irrigation control, irrigation management, soil moisture sensors

– ein Maß für die Bodenfeuchte.

Gipsblöcke sind grundsätzlich zur Feuchtigkeitsmessung geeignet, im allgemeinen wird aber nur ein relativer Feuchtigkeitswert angezeigt.

## TDR

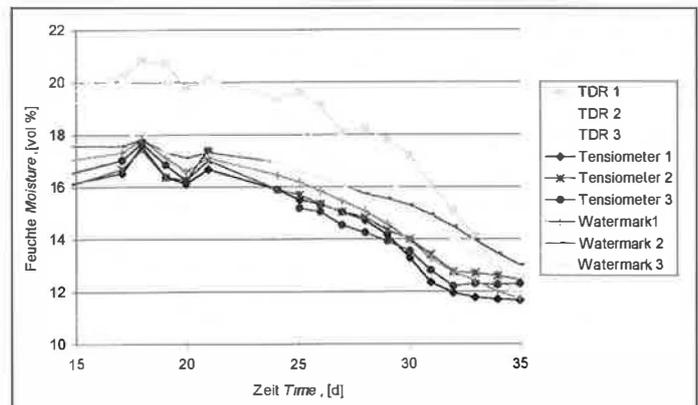
TDR (Time Domain Reflectometry) ist eine Meßmethode, die auf der indirekten Bestimmung des Bodenwassergehaltes über die sogenannte relative Dielektrizitätszahl des Bodens beruht. Sie ist eine Materialgröße, die im Boden dadurch entsteht, daß die drei Stoffe, die den Boden bilden, nämlich Festsubstanz, Wasser und Luft, stark unterschiedliche Dielektrizitätszahlen haben: Luft  $\approx 1$ , Festsubstanz 3 bis 4 und Wasser über 80. Die resultierende Dielektrizitätszahl des Bodens hängt von den Volumenanteilen der drei Komponenten ab. Daher hat der Wassergehalt den größten, die Bodendichte nur einen kleinen (trotzdem nicht zu vernachlässigenden) Einfluß auf diese Kenngröße.

## FD-Sensoren

FD-(Frequency-Domain)Sensoren messen ebenfalls die Dielektrizitätszahl des Bodens. Im Gegensatz zu TDR wirkt hier die Kombination aus Boden und Elektroden als Kondensator, der mit einer hochfrequenten Schwingung (über 10 MHz) beaufschlagt wird. Der Aufbau der Geräte ist grundsätzlich einfacher und damit preiswerter als TDR, aber das Meßergeb-

Bild 2: Meßwerte verschiedener Sensoren am gleichen Ort in gleicher Tiefe

Fig. 2: Moisture readings of different sensors at the same location and in the same depth



nis hängt von einer größeren Zahl von Einflußgrößen ab, was den Entwurf der Geräte erschwert.

## Vergleichsmessungen

Im Feldversuch wurden einige vielversprechende Sensoren eingesetzt (Bild 2). Nach einer Einlaufzeit von gut 15 Tagen zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild der Meßwerte. Sie reichen von 16 bis 20 Vol%; eine zu große Streubreite, da der Bereich von 50 bis 80 % nFK im sandigen Boden auch nur etwa 4 Volumenprozent ausmacht.

## Ausblick

Zur Zeit kann kein Meßverfahren gleichzeitig alle genannten Bewertungskriterien erfüllen. Je nachdem, welche Ziele man mit der Beregnungssteuerung verfolgt, ist dies aber auch nicht unbedingt notwendig. Zum Beispiel läßt sich eine wirksame

## NEUE BÜCHER

### Hilfestellung bei Genehmigungsverfahren für Tierhaltungen

BauBrief 38. Herausgegeben von der Bauförderung Landwirtschaft e. V. Vertrieb durch Landwirtschaftsverlag GmbH. Neu überarbeitete Auflage 1998, 126 S., zahlreiche Abbildungen und Tabellen, 19,80 DM, ISBN 3-7843-2885-7

Wer bauen will, sollte sich über die einschlägigen Vorschriften genau informieren. Dies ist nicht ganz einfach, ist doch die Zahl der Gesetze, Verordnungen und Erlasse selbst für Fachleute nur noch schwer überschaubar. Hilfestellung gibt hier der BauBrief 38, der die einzelnen Planungsschritte und die Voraussetzungen zur Genehmigung einer Anlage der Tierhaltung nach dem Planungsrecht, dem Bauordnungsrecht der einzelnen Bundesländer, dem Wasserrecht, dem Immissionsschutzrecht, dem Tierschutzrecht sowie dem Tierseuchenrecht genau beschreibt.