

Bewässerungssteuerung im Freiland

1 Einführung

Der effiziente und ressourcenschonende Umgang mit Wasser zur Erhöhung und Stabilisierung der Erträge sowie insbesondere zur Qualitätssicherung ist wesentlicher Bestandteil der nachhaltigen Landbewirtschaftung. Effizienter Einsatz von Wasser gewinnt an Bedeutung, da

- die für den Markt erforderliche hohe Produktqualität ohne Bewässerung nicht zu gewährleisten ist
- nur durch gesteuerten Einsatz von Wasser die Nitratproblematik gelöst werden kann
- das Wasserangebot für die Bewässerung zwar gebietsweise unterschiedlich, aber insgesamt limitiert ist und
- vorbehaltlich der Richtigkeit der Klimaprognosen der Wasserverbrauch insgesamt weiter steigen wird.

Insbesondere für den Gemüseanbau besitzt dies Bedeutung, da bei vielen Arten innerhalb kurzer Zeit ein erheblicher Massezuwachs gewährleistet werden muss. Das erfordert ein bedarfsgerechtes Wasser- und Nährstoffangebot bei gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer Aspekte.

Bei der Bewässerung soll der Anbauer eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigen, was allein auf der Basis von Erfahrungen nicht

Tab. 1: Kalkulation des Wasser- und Beregnungsbedarfs (in mm) in Geisenheim für ausgewählte Gemüsearten auf der Basis der Witterungsdaten 1962–1998 des DWD

Gemüseart	Anbauzeitraum	Wasserbedarf		Niederschlag		Beregnungsbedarf	
		min.	max.	min.	max.	max.	Durchschn.
Blumenkohl	15.03. – 03.06.	229	373	79	207	284	220
	06.08. – 16.10.	150	238	77	202	161	53
Buschbohne	01.05. – 20.07.	229	381	63	223	318	90
	15.07. – 25.09.	142	241	56	246	186	50
Eissalat	15.03. – 19.05.	160	247	76	127	170	128
	15.08. – 10.10.	106	173	49	152	107	96
Einlegegurke	01.05. – 15.08.	357	521	99	264	422	305
Kopfsalat	15.03. – 14.05.	134	214	61	99	152	103
	01.09. – 29.10.	76	116	44	185	73	0
Möhren (Wasch-)	15.03. – 10.07.	389	597	53	248	544	241
	10.07. – 10.10.	218	357	115	300	242	152
Porree	15.03. – 15.06.	294	432	92	230	340	289
	15.07. – 01.11.	230	348	106	302	241	39
Sellerie	25.05. – 01.10.	424	580	140	262	440	277
Spargel	20.06. – 01.09.	150	241	88	193	153	96
Weißkohl	15.06. – 20.09.	342	521	83	223	438	284

möglich ist, sodass Fehler unvermeidbar sind (Abb. 1). Dies wird dem Anbauer jedoch nicht direkt bewusst, da die Auswirkungen erst sehr spät an der Pflanze sichtbar werden und der direkte Vergleich zu korrekt bewässerten Beständen fehlt.



Abb. 1: Überblick zu möglichen Bewässerungsfehlern im Gartenbau

Die im Boden ablaufenden Prozesse bleiben dem Auge verborgen. Ganz erheblich ist die Wechselwirkung mit der Nährstoffversorgung. Zum Beispiel resultieren Probleme bei der Anwendung des N_{min} -Systems (FELLER et al. 2001) häufig aus Fehlern bei der Wasserversorgung. Bei einem allgemeinen Überangebot an Wasser oder zu hohen Einzelgaben werden Nährstoffe ausgewaschen, bei Wassermangel werden Nährstoffe aus organischen Düngern nicht mineralisiert, Mineraldünger können nicht in die Wurzelzone gelangen und es kommt zum Nährstoffdefizit. In der Folge wird nachgedüngt, obwohl dies nicht erforderlich ist. Im Herbst kommt es zu überhöhten N_{min} -Resten im Boden und zur berechtigten Kritik an der Düngepraxis im Gartenbau.

Nur in Versuchen wird deutlich, welche erheblichen Wirkungen durch eine nach objektiven Kriterien gesteuerte Bewässerung auf das Pflanzenwachstum erzielt werden können. Steuern der Bewässerung heißt, auf der Basis objektiver Kriterien zu entscheiden, wann, wie oft und in welcher Menge Zusatzwasser einzusetzen ist. Die Bewässerungsmengen und Zeitpunkte der Wassergaben sollten also nach objektiven Kriterien festgelegt werden.

Tab. 2: Überblick zu Methoden der Bewässerungssteuerung im Freiland

Wasserzustand der Pflanze	Bodenfeuchtemessung	Verdunstung – klimatische Wasserbilanz	Gärtnerische Erfahrungen
Turgor	gavimetrisch	Kessel	intuitiv
Saftstrom	Tensiometer	Lysimeter	Spatenprobe
Ultraschall	Gipsblock	Formeln	
Wasserpotential	TDR-Sonde	PENMAN	
	Flori-Sensor	TURC	
	WFF-A-Sensor	HAUDE	
		Geisenheimer Steuerung	
		Simulationsmodelle	

Betriebliche Erfahrungen sollen dabei nicht negiert, sondern durch messbare Größen ergänzt werden.

2 Kalkulation des Wasserbedarfs

Eine Kalkulation des durchschnittlichen Wasserbedarfs eines Gebietes ist für die Planung und Rekonstruktion von Bewässerungsanlagen, die Genehmigung von Brunnen und die jährlich erforderliche Wasserbereitstellung erforderlich.

In der Forschungsanstalt Geisenheim erfolgte die Kalkulation des durchschnittlichen Wasserbedarfs für sieben Standorte Deutschlands auf der Basis langjähriger meteorologischer Daten von 1962 bis 1998 vom Deutschen Wetterdienst (DWD). Dabei wurden die PENMAN-Verdunstungswerte (DOORENBOS und PRUITT 1977) mit den pflanzenartsspezifischen Koeffizienten ausgewählter Gemüsearten multipliziert und so der Wasserbedarf ermittelt. Durch Berücksichtigung der Niederschläge ergibt sich daraus der Bedarf an Zusatzwasser. Der Gesamt- und Zusatzwasserbedarf für einige Beispielsarten am Standort Geisenheim zeigt Tab. 1. Veröffentlichungen mit Daten für weitere Standorte sind für die gemeinsamen Kalkulationen mit dem DWD vorgesehen.

Die schlagspezifische Bedarfsermittlung für Zusatzwasser in der jeweiligen aktuellen Situation sollte auf objektiver Basis, wie nachfolgend beschrieben, erfolgen.

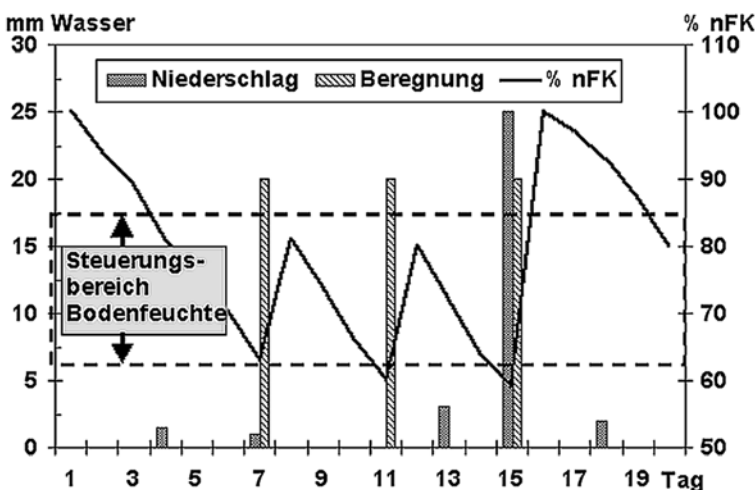


Abb. 2: Bewässerungssteuerung und Bodenfeuchte (Zielbereich liegt zwischen den gestrichelten Linien)

3 Methoden zur Bewässerungssteuerung – Überblick

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl von Methoden zur Bewässerungssteuerung. Viele davon sind zwar sehr exakt, aber zu teuer für den Einsatz in der gartenbaulichen Praxis. Alle Methoden der Steuerung weisen Vor- und Nachteile auf, so dass auch in Zukunft mehrere Methoden nebeneinander und z. T. kombiniert zu finden sein werden (Tab. 2). Ziel ist es in jedem Fall, die Bodenfeuchte in einem Bereich zu halten, der eine effiziente Ertragsbildung ermöglicht und eine Nährstoffverlagerung minimiert (Abb. 2). Die meisten der gegenwärtig angewendeten Verfahren zur Beregnungssteuerung lassen sich in zwei Gruppen untergliedern:

- 1) eine bestehende negative *klimatische Wasserbilanz* (KWB) weitgehend auszugleichen, oder
- 2) die *Bodenfeuchte* in einem bestimmten, für die Pflanzen günstigen Bereich durch entsprechende *Sensoren* zu steuern oder zu regeln.

Tab. 3: Beispiel der Geisenheimer Bewässerungssteuerung

1. Vorgabe: Bewässerungsmenge je Termin = 30 mm				
2. Errechnen der Wasserbilanz				
2.1.1 Tägliche Bilanz				
Datum	PENMAN-Wert (mm)	x Faktor (kc)	– Niederschlag (mm)	= tägl. Wasserbilanz (mm)
25.07.	5,2	0,8	0,0	4,2
26.07.	5,9	0,8	4,0	0,7
2.1.2 Errechnen des Bewässerungszeitpunktes				
Datum	tägl. Wasserbil. (mm)	Gesamtbilanz (mm)	Beregnung (mm)	
25.07.	4,2	4,2	–	
26.07.	0,7	4,9	–	
27.07.	6,5	11,4	–	
28.07.	6,9	18,3	–	
29.07.	7,0	25,3	–	
30.07.	5,1	30,4	30	
31.07.	6,5	6,9	–	

Beim Einsatz von Regnern ist die Berechnung klimatischer Wasserbilanzen zu empfehlen, bei der Tropfbewässerung sind Messungen der Bodenfeuchte zweckmäßig.

4 Geisenheimer Steuerung (GS)

Zum Steuern der Beregnung bewährt sich in vielen Ländern zunehmend die Berechnung klimatischer Wasserbilanzen. Es gibt dafür zahlreiche Formeln mit verschiedenen Vor- und Nachteilen. Die Food and Agriculture Organisation (FAO) empfiehlt zur Bewässerungssteuerung die modifizierte PENMAN-Gleichung (DOORENBOS und PRUITT 1977), die auch die Basis der Geisenheimer Steuerung darstellt. Diese Methode wurde entwickelt, um unter Praxisbedingungen eine ausreichend genaue, umweltschonende Beregnung vornehmen zu können, die keine Ertragsminderung bewirkt.

Begonnen durch HARTMANN et al. (2000), wurden seit 1992 von PASCHOLD, ZENGERLE, KLEBER und MAYER die Untersuchungen zur Bewässerungssteuerung bei Gemüse auf der Basis der klimatischen Wasserbilanz fortgesetzt und aus den Geisenheimer Koeffizienten (Korrekturfaktoren für die klimatische Wasserbilanz) die Geisenheimer Steuerung entwickelt. Die Verbesserung der Methode resultiert u. a. aus Messungen von Bodenfeuchteverläufen bei der Bestimmung der Koeffizienten, um Nährstoffverlagerungen auf Grund falsch

Tab. 4: Pflanzenkoeffizienten (kc-Werte) für Gemüse zum Steuern der Beregnung nach der Geisenheimer Methode (Stand 2002)

Gemüseart	kc-Wert je Entwicklungsstadium der Pflanze			
	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Blumenkohl ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	Pfl.-Ø 30 cm 0,8	Pfl.-Ø 60 cm 1,2	Höhe > 60 cm 1,4
Brokkoli	ab Pflanzung 0,5	ab 9. Blatt 0,8	ab 14. Blatt 1,4	–
Bohnen, Busch-	ab Auflaufen 0,4	ab Blühbeginn 0,6	ab massiver Hülsenbildung 1,0	–
Chinakohl ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	ab 6. Blatt 0,8	Bestandsschluss 1,2	–
Eissalat ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	ab 7.–9. Blatt 0,8	ab verstärkter Blattbildung 1,0	Bestandsschluss 1,2
Endivien ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	ab 7. Blatt 0,8	ab 9. Blatt 1,2	–
Erbse, grün ²⁾	ab Auflaufen 0,4	Blühbeginn 1,2	Blühbeginn 1,1	–
Gurken, Einlege-	ab Auflaufen 0,5	ab Blühbeginn 0,8	Erntebeginn 1,1	–
Grünkohl ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	> 6. Laubblatt 0,8	ab verstärkter Blattbildung 1,2	Bestandsschluss 1,4
Feldsalat	ab Auflaufen 0,4	bis Ernte 0,4	–	–
Knollenfenchel	ab Pflanzung 0,5	ab 6. Blatt 1,0	ab 8. Blatt 1,4	–
Kohlrabi	ab Pflanzung 0,5	ab 6. Blatt 0,7	Knoll.-Ø > 2 cm 1,0	–
Kopfkohl	ab Pflanzung 0,5	ab 8. Blatt 0,8	ab 11. Blatt 1,2	Beginn Kopfbild. 1,4
Kopfsalat	ab Pflanzung 0,5	Ø > 15 cm 0,8	Ø > 25 cm 1,2	–
Lollo rossa	ab Pflanzung 0,5	Ø > 15 cm 0,7	Ø > 20 cm 0,9	–
Möhren	ab Auflaufen 0,3	ab 5. Blatt 0,6	Bestandsschluss 0,8	–
Porree	ab Pflanzung 0,5	Schaft-Ø > 13 mm 0,8	Schaft-Ø > 16 mm 1,2	Schaft-Ø > 20 mm 1,4
Radies	ab Auflaufen 0,5	ab 3. Laubblatt 0,7	–	–
Rosenkohl ¹⁾	ab Pflanzung 0,5	ab 6. Blatt 0,8	Bestandsschluss 1,2	Röschenansatz 1,4
Rote Bete ¹⁾	ab Auflaufen 0,4	ab 5. Blatt 0,8	ab 9. Blatt 1,2	Bestandsschluss 1,4
Spargel (Neuanlage)	ab Aufwuchs 0,5	ab vollständ. Phyllokladien- Ausbildung 0,7–0,8	Anfang Sept. 0,0	–
Spargel (ab 2. Standjahr)	ab Stechende 0,6	ab vollständ. Phyllokladien- Ausbildung 0,8–1,1 ³⁾	Anfang Sept. 0,0	–
Sellerie, Knollen-	ab Pflanzung 0,5	ab 7. Blatt 0,8	Beg. Knoll.entwi. 1,1	Bestandsschluss 1,4
Speisezwiebel (Sommeranbau)	ab Auflaufen 0,5	ab 5. Blatt 1,0	ab 8. Blatt 1,2	Schlottenknick 0,0
Spinat ²⁾	ab Auflaufen 0,7	ab 7. Laubblatt 1,0	–	–
Tomate ¹⁾ (Freiland)	ab Pflanzung 0,5	ab 0,75 m Höhe 0,8	ab 1,0 m Höhe 1,2	–
Zucchini ¹⁾	ab Auflaufen 0,5	ab Blühbeginn 0,8	ab Fruchtansatz 1,2	–

¹⁾ nach HARTMANN et al., 2000

²⁾ nach ALLEN et al. 1997

³⁾ Abhängig von der Bestandesentwicklung: starke Bestände = höherer Faktor

bemessener Bewässerung zu vermeiden, der Einbeziehung der Durchwurzelungstiefen und einer Ergänzung der Artenpalette. Neue Erfahrungen fließen ständig ein, was sich in einer Präzisierung der Koeffizienten ausdrückt. Unter „www.forschungsanstalt-geisenheim.de“ im „Fachgebiet Gemüsebau“ findet sich die jeweils aktuelle Tabelle der Koeffizienten und die Beschreibung der Methode. Eine detaillierte Beschreibung soll hier unterbleiben, da dies in Veröffentlichungen nachgelesen werden kann (PASCHOLD et al. 2002). Das Beispiel in Tab. 3 verdeutlicht das einfache Grundprinzip der GS.

Die GS zeichnet sich gegenüber der FAO-Empfehlung durch folgende Merkmale aus:

- Die Korrekturfaktoren („crop-koeffizients“ – kc) für die klimatische Wasserbilanz werden nach Entwicklungsmerkmalen der Pflanzen definiert (Tab. 4). Dies stellt eine wesentliche Präzisierung dar, da ansonsten nur frühe, mittlere und späte Stadien ohne zeitliche Definition unterschieden werden.
- Nicht nur die Beregnungstermine, sondern auch die Bewässerungsmengen je Einzelgabe werden objektiv bestimmt (vgl. Kap. 5).
- Die Gabenhöhe wird analog zur Änderung der kc-Werte in ein bis drei Schritten bei Erreichen des jeweils nächsten Entwicklungsabschnittes der Pflanze zur Stimulierung der Durchwurzelungstiefe erhöht.

Die GS umfasst drei Teilgebiete, die nur in der Kombination aller Teilelemente zum gewünschten Ergebnis führen:

- 1) Ermitteln der Bewässerungsmenge (Höhe der Einzelgabe) für den jeweiligen Termin (vgl. Kap. 5)
- 2) Anpassen der Gabenhöhe an die pflanzliche Entwicklung (vgl. Kap. 5)
- 3) Errechnen der Wasserbilanzen (Tab. 3).

Für die Bilanzierung wird der Wasserbedarf der jeweiligen Pflanzenart berechnet, indem die PENMAN-Verdunstungswerte, zu beziehen vom DWD, mit einem pflanzenartspezifischen Faktor (Tab. 4) multipliziert werden. Die Berechnung der Wasserbilanzen sollte nach ergiebigen Niederschlägen oder nach Vorwegberechnung beginnen. Die Niederschlagsmessung ist auf dem Schlag oder in dessen Nähe erforderlich, da die Niederschläge lokal sehr unterschiedlich verteilt sind. Bewässert wird, wenn die Summe der täglichen Wasserbilanz die vorgegebene Bewässerungsmenge erreicht hat. Kommerzielle Programme wie z. B. das IRMA-(Irrigation-manager)-Computerprogramm (www.helm-software.de) erleichtern die effiziente Anwendung der GS.

Tab. 5: Richtwerte für die Beregnungsintensität auf unterschiedlichen Standorten (nach BILLIG, 1971)

Hangneigung	Bodenbedeckung	Bodenart und Beregnungsintensität (mm/h)			
		mittel (Löss)	mittelleicht (s. Lehm)	leicht (l. Sand)	s. leicht (Sand)
bis 4 %	gering gut	8 – 19 10 – 25	13 – 25 18 – 35	18 – 35 25 – 60	25 – 50 35 – 75
4 bis 8 %	gering gut	5 – 13 8 – 18	10 – 18 15 – 25	13 – 25 25 – 35	18 – 35 25 – 60
über 8 %	gering gut	4 – 8 0 – 6	8 – 13 10 – 18	10 – 18 15 – 25	13 – 25 18 – 35

5 Einzelwassergaben und Beregnungsintensität

Die Bewässerungstermine und die Gabenhöhe sind auf die Pflanzenentwicklung abzustimmen. Die Kalkulation der Einzelgabenhöhe entscheidet wesentlich über den Beregnungserfolg. Die Einzelgabenhöhe ist jedoch auch unter Berücksichtigung von Bodenart und Hangneigung zu limitieren, um die Bodenerosion einzuschränken (Tab. 5).

- Die Kalkulation der *Einzelgabenhöhe* erfordert möglichst gute Kenntnisse der schlagspezifischen Bodenbedingungen (Bodenart, nFK) sowie der Durchwurzelungstiefe, da diese darüber entscheiden, über welches Wasserspeichervermögen der Standort verfügt und bis zu welcher Tiefe das Beregnungswasser gelangt und genutzt werden kann.
- Eine Bestimmung der *Wasserkapazität* (nutzbare Feldkapazität – nFK) des Standortes ist empfehlenswert, um die Einzelgabenhöhe errechnen zu können. Die Werte sind über viele Jahre zu nutzen, da sie sich praktisch nicht verändern. Wegen der relativ hohen Kosten können mehrere Anbauer mit vergleichbaren Bodenbedingungen die Werte einer Analyse nutzen.
- Mit der Höhe der Einzelwassergaben wird Einfluss auf die Durchwurzelungstiefe und damit auf die Stressanfälligkeit der Bestände genommen. Bezogen auf die aktuelle Wurzeltiefe muss die Bodenfeuchte durch eine Wassergabe auch etwa 10 cm tiefer angehoben werden, damit beim Austrocknen von oben die Wurzeln in die Tiefe wachsen und diese Wasser- und Nährstoffvorräte erschließen.
- Es sind die gleichen maximalen Durchwurzelungstiefen wie beim „Kulturbegleitenden N_{min} -Sollwertsystem“ (KNS) zu Grunde zu legen, da sonst die Verfügbarkeit der bei den Bodenanalysen festgestellten Nährstoffgehalte nicht gegeben ist. Bildet sich das Wurzelsystem wegen zu geringer Einzelwassergaben nicht ausreichend tief aus, so kommt es zu Nährstoffmangel trotz ausreichender Nährstoffgehalte.

Ein Kalkulationsbeispiel für Möhre auf Sandboden zeigt Tab. 6.

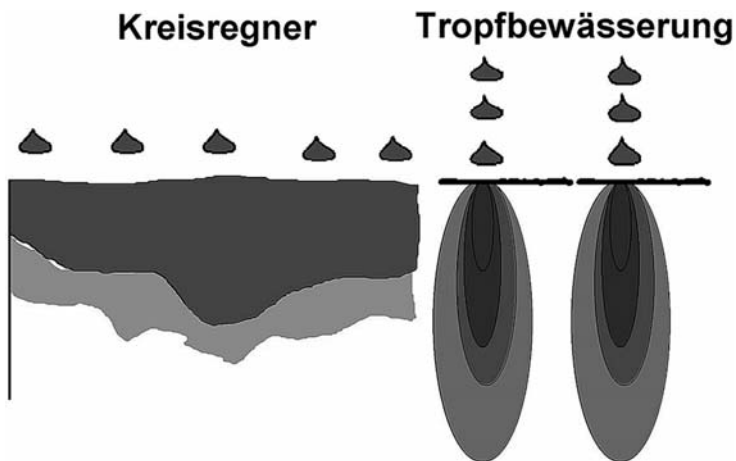


Abb. 3: Unterschiede in der Wasserverteilung machen es schwer, eine repräsentative Messstelle für die Bodenfeuchte zu finden

6 Einsatz von Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte

Messungen der Boden- und Substratfeuchte können in der gartenbaulichen Praxis zu unterschiedlichen Zwecken vorgenommen werden:

- zur Kontrolle der Bodenfeuchte im Wurzelbereich
- zur Steuerung des Wachstums unter praktischen Bedingungen
- um die Bodenfeuchte insbesondere beim Einsatz der Tropfbewässerung automatisch zu regeln
- um einen Nachweis eventueller Wasser- und Nährstoffverlagerungen durch die einbringung von Sensoren unter der Wurzelzone zu erreichen
- um die Grundwasserneubildung bei gartenbaulicher Bodennutzung zu bestimmen.

Tab. 6: Kalkulation der Höhe einer Beregnungsgabe bei einer Durchwurzelungstiefe von 60 cm für Möhren auf Sandboden

Bodenschicht (cm)	nFK (mm)	Bewässerungsgabe (mm)	
		nFK von 60 auf 90 %	nFK von 60 auf 100 %
0–30	27	10,8 ¹⁾	10,8 ¹⁾
30–60	21	6,3	8,4 ²⁾
Summe 0–60	48	≈ 17	≈ 19

¹⁾ Die obere Bodenschicht muss auf 100 % nFK aufgefüllt werden, da sonst kein Anstieg der Bodenfeuchte in der darunter liegenden Schicht erfolgen kann.

²⁾ Nur in Trockenzeiten ohne Niederschlagsprognose zu empfehlen, da sonst kein Puffer für unerwartete Niederschläge vorhanden ist (Auswaschungsrisiko)

In der Forschungsanstalt Geisenheim sind Sensoren hinsichtlich ihrer Eignung für die Steuerung bzw. Regelung der Bewässerung im Gartenbau geprüft worden (PASCHOLD und WIETHALER 2000; Projektförderung durch das BMVEL). Dabei wurden folgende Anforderungen an die Sensoren gestellt:

- Erfassen der Bodenfeuchte mit der erforderlichen Genauigkeit
- störungsfreier Betrieb mit geringem Wartungsaufwand
- vertretbares Preis-Leistungsverhältnis
- Möglichkeit des Anschlusses der Sensoren zum Regeln (und Registrieren) der Bewässerung im Sinne eines Öko-Audits.

Das Steuern bzw. Regeln der Bewässerung auf der Basis von Bodenfeuchtemessungen weist folgende Vor- und Nachteile auf:

- Vorteile:**
 - die aktuelle Bodenfeuchte ist bei geeigneten Sensoren immer direkt erkennbar
 - keine Niederschlagsmessung auf dem Schlag erforderlich
 - schnelle Kontrolle der erfolgten Bewässerung möglich
 - Automatisierbarkeit der Tropfbewässerung gegeben
 - bei Einsatz mehrerer Sensoren sind Störungen der Wasserverteilung erkennbar.

Nachteile:

- repräsentativer Standort schwer zu finden, besonders bei Kreisregnern (Rohrberegnung, Beregnungsmaschinen)
- für jeden Schlag und jede Anbaustaffel sind gesonderte Messungen notwendig
- relativ hohe Kosten der Sensoren
- Ein- und Ausbau erforderlich
- Aufwand für das Erfassen der Messwerte
- Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Sensoren
- Störungen und Behinderungen bei Feldarbeiten möglich.

Beim Einsatz der Sensoren ist zu beachten, dass die Feuchte in einem inhomogenen Material gemessen wird (Abb. 3). Jedes Bodensegment unterscheidet sich vom anderen durch unterschiedliche Anteile organischer Substanz, Steine etc. In der Folge ist auch die Bodenfeuchte an jedem Punkt unterschiedlich. Messungen der Bodenfeuchte mit Tensiometern auf einer Fläche von 1 m² in 20 cm Tiefe zeigen (Abb. 4), welche Streuung bestehen kann.

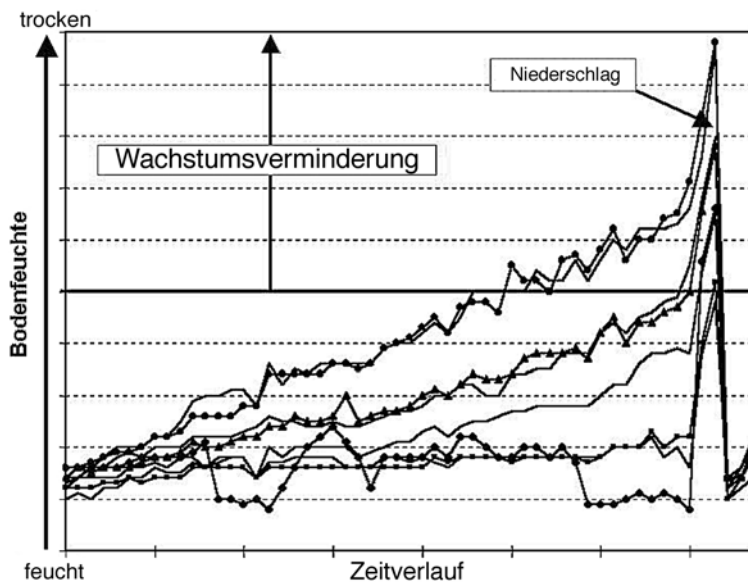


Abb. 4: Streuung der Bodenfeuchte im Zeitverlauf (acht Sensoren auf 1 m² in 20 cm Tiefe). Einzelne Sensoren signalisieren Beregnungsbedarf, andere nicht. Die Entscheidung zur Bewässerung wird damit nicht gut unterstützt.

Im Folgenden sollen nur die Sensoren dargestellt werden, die sich für den Einsatz im Gartenbau eignen und noch angeboten werden. Einen Überblick gibt Tab. 7.

Tensiometer

Eine enge Beziehung zum Pflanzenwachstum lässt sich aus den Saugspannungswerten des Tensiometers ableiten, da der gemessene Unterdruck in enger Korrelation zum pflanzenverfügbaren Wassergehalt des Bodens steht. Zudem liegen zum Einsatz des Tensiometers umfassende Erfahrungen vor.

Die Messung des Unterdrucks erfolgt im Bereich zwischen 0 und -800 hPa, was 50 bis 100 % der maximalen Wasserkapazität des Bodens entspricht. Als Optimalwerte für den Gartenbau sind im Freiland etwa -200 hPa anzusehen. Bei Saugspannungen unter -300 hPa wird das Pflanzenwachstum vieler Arten reduziert, weil die Pflanzen zu viel Energie aufwenden müssen, um dem Boden das Wasser zu entziehen.

Als Nachteil des Tensiometers gilt seine Zerbrechlichkeit und das relativ häufig notwendige Nachfüllen mit Wasser, wenn unter verhältnismäßig trockenen Bedingungen im Freiland gemessen werden muss. Entscheidend für den Einsatz von Tensiometern sind Geräte mit hoher Dichtigkeit, was eine hohe Einsatzzuverlässigkeit bewirkt. Hier bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Produkten verschiedener Hersteller.

Flori (Netafim)

Der Sensor misst die Dielektrizitätskonstante und ist an ein Steuergerät angeschlossen, mit dem ein Magnetventil angesteuert wird. Der Messwert ist bei neuen Geräten nicht mehr ablesbar, was die Nutzbarkeit deutlich vermindert. Zur Eichung für die jeweiligen Bodenverhältnisse empfiehlt sich der parallele Einsatz eines Tensiometers zu Beginn der Bewässerungssaison. Beim Auftreten eines Schaltimpulses ist am Tensiometer abzulesen, bei welcher Bodenfeuchteinstellung welche Saugspannung herrscht. Durch Veränderung der Einschaltpunkte kann auf das gesamte Spektrum der interessierenden Bodenfeuchte geeicht werden. Das Vorgehen ist allerdings recht umständlich. Hinterher ist das Tensiometer nicht mehr erforderlich.

Die Nachteile der Messmethode wie Salzgehalts- und Temperaturabhängigkeit können beim praktischen Einsatz toleriert werden. Ohne Wartung konnte in Versuchen während der gesamten Vegetationszeit die Bodenfeuchte im vorgegebenen Bereich automatisch geregelt werden. Der Flori-Sensor eignet sich auch, um die Tropfbewässerung im Freiland zu regeln.

Watermark (Irrometer Comp. Inc.)

Das Messprinzip beruht bei dem „verbesserten Gipsblock“ auf der Leitfähigkeitsmessung. Der Sensor liefert einen Messwert, der mit einem temperatur-

Tab. 7: Kurzübersicht zu ausgewählten Bodenfeuchte-Sensoren

Sensor	Hersteller	Messumgebung	Messwert	Eignung	Einschränkung	Sensormesspreis ¹⁾	Gerätepreis ¹⁾
Flori	Netafim GmbH, Frankfurt	Regelgerät mit 9-V-Batterie, PC	0–100 %	Bewässerungssteuerung/-regelung	kleine Gefäße, Salzgehalt	78 (Ersatzsensor)	150 (Gerät komplett)
Watermark	Irrometer Comp.	Digital-Handgerät mit 9-V-Batterie	0–2.000 hPa	Bodenfeuchtemessung	salzempfindlich, kleine Gefäße	30	300 (Ablesegerät)
WFF-A	Staudinger GmbH, Loiching	Maxi-Rain-Gerät mit 9-V-Batterie	0–100 %	Bewässerungssteuerung/-regelung	salzempfindlich, kleine Gefäße	66 (Ersatzsensor)	260 (1-Kanal)
Tensiometer (Einstich-)	z. B. Tensio-Technik, Geisenheim	Digital-Handgerät mit 4x1,5-V-Batterie	0–800 hPa	Bodenfeuchtemessung	geringe Bodenfeuchte	29–40	434 (Ablesegerät)
Mini-Tensiometer				Kleingefäße		43	
Maxi-Tensiometer				Freiland		72–77	
Tensiometer mit E-Sensor		Quelle: 14–26 V Gleichspannung	4–20 mA Gleichstrom	Bewässerungssteuerung/-regelung		203 (E-Sensor)	

¹⁾ unverbindliche Angabe in Euro inkl. MwSt.

kompensierbaren Digital-Messgerät Werte zwischen 0 und 200 CB (firmenspezifische Relativwerte) liefert. Ein niedriger Messwert entspricht dabei einer hohen Bodenfeuchte. Allerdings sind die Messwerte des Watermark abhängig vom Salzgehalt, was im Freiland nicht so problematisch ist, da dessen Änderungen in der Hauptwurzeltiefe vieler Pflanzenarten nicht so erheblich sind. Der Watermark-Sensor muss vor dem Einsatz ausreichend befeuchtet werden. Die Zuverlässigkeit ist als hoch einzuschätzen.

Die Anzeige von Messwertveränderungen beginnt erst in einem Bereich, der für die Steuerung der Tropfbewässerung im Gemüsebau zu hoch ist. Zum Steuern der Beregnung, allerdings außerhalb des Optimalbereichs, können im Gartenbau bessere Ergebnisse als mit Gipsblöcken erreicht werden. Ein Vorteil ist die bessere Auflösung im trockenen Bereich. Tensiometer sind dennoch vielseitiger einsetzbar und die Messwerte pflanzenbaulich besser zu werten.

WFF-A (Staudinger GmbH)

Das Messprinzip beruht auf Leitfähigkeitsmessungen. Der Messwert als dimensionslose Größe für die Bodenfeuchte liegt zwischen 0 und 100 % und kann an einem firmenspezifischen Mess- und Regelgerät, an das für das Freiland ein Sensor angeschlossen ist, abgelesen werden. Zudem wird ein Magnetventil für die Bewässerung angesteuert. Es ergeben sich vielseitigere Einstellmöglichkeiten für die Bewässerung als beim Flori-System. Auch die Eichung mit einem Tensiometer ist wesentlich einfacher. Eine Erprobung des neuen Systems erfolgt ab 2002.

7 Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerung lässt sich am besten durch Messen der Bodenfeuchte steuern bzw. regeln. Voraussetzung dafür ist ständig anliegender Druck in der Wasserzuleitung, was jedoch

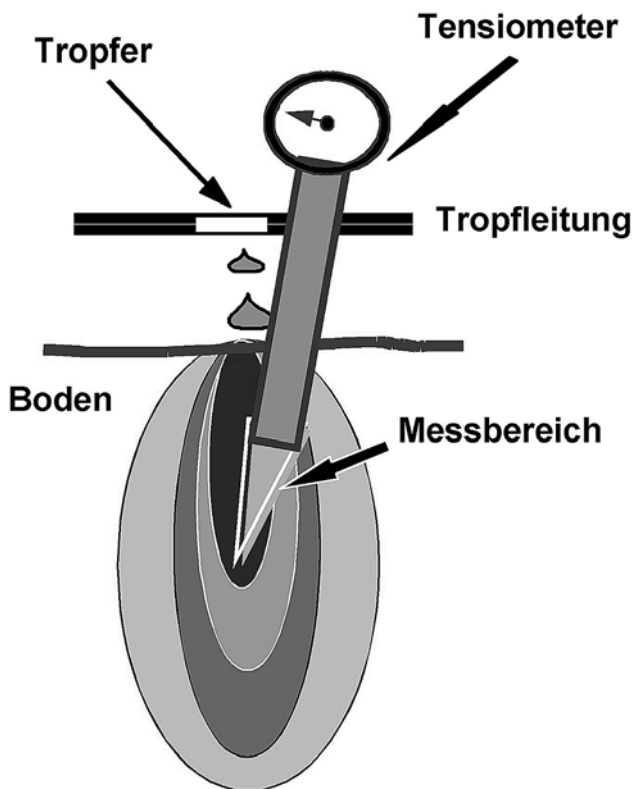
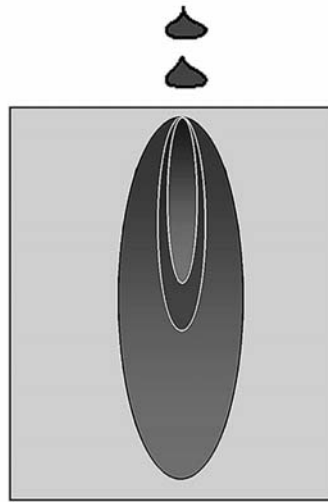


Abb. 5: Platzierung des Sensors zum Steuern oder Regeln der Tropfbewässerung

Sandboden



Lehmboden

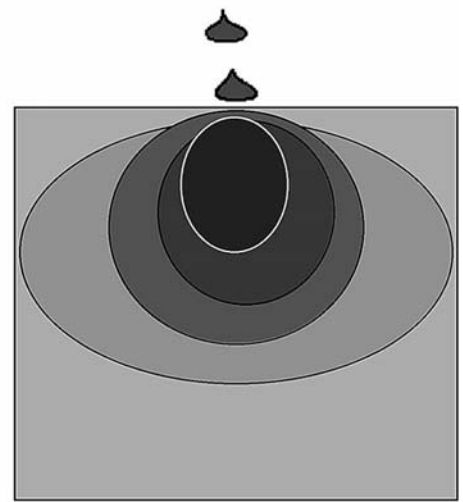


Abb. 6 : Wasserverteilung bei Tropfbewässerung in Abhängigkeit von der Bodenart
Abbildungen (6): Paschold

Tab. 8: Berechnen der Einzelwassergabe für Sandboden bei einem Abstand der oberirdisch verlegten Tropfleitungen von 1 m; Regelbereich der Bodenfeuchte zwischen 70 und 100 % der nFK

Bodenschicht cm	nFK mm	bewässerter Bodenanteil ¹⁾ % der Fläche	Einzelgabe mm
0-30	27	30	$8,1^{2)} \times 0,3 = 2,4$
30-60	23	40	$6,9^{2)} \times 0,4 = 2,8$
<i>Gesamt</i>	<i>50</i>	<i>35</i>	<i>5,2</i>

¹⁾ geschätzt

²⁾ entspricht Auffüllung von 70 auf 100 % nFK in der befeuchteten Zone

unter Praxisbedingungen nicht immer der Fall ist. Ein Stromanschluss ist nicht erforderlich, da die Steuergeräte allgemein mit Batterien arbeiten. Zur Bewässerungssteuerung oder wenn möglich -regelung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte sollte sich der Sensor direkt unter dem Tropfer bzw. an der Tropfleitung in Hauptwurzeltiefe befinden (Abb. 5), denn dann stellt das Leerlaufen des Tensiometers kein Problem mehr dar, da dort immer eine relativ hohe Bodenfeuchte herrscht. Das Einschalten der Bewässerung muss allgemein bei Gemüse im Bereich von 80 bis 150 hPa erfolgen, um ein optimales Wachstum zu sichern. Das gilt jedoch nur, wenn der Sensor wie oben beschrieben platziert wurde. Für den Einsatz zur Tropfbewässerungs-Regelung muss an das Tensiometer ein E-Sensor angeschlossen werden. Die Einzelgabenhöhen sind entsprechend den Bodenbedingungen und der Durchwurzelungstiefe festzulegen, analog den Ausführungen in Kap. 5, und einzustellen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der durchfeuchtete Anteil des Bodens nur einen Teil der Gesamtbodenfläche ausmacht, was zu einer erheblichen Minderung der Einzelgaben gegenüber der Beregnung führt (Tab. 8). Dabei sind die unterschiedlichen Bodenarten zu berücksichtigen, da sich die „Feuchtigkeitszwiebel“ sehr unterschiedlich ausbildet (Abb. 6).

Zur Überprüfung der Steuerung/Regelung durch Feuchtesensoren kann z. B. ein Gipsblock unter der Hauptwurzeltiefe eingesetzt werden, um nachzuweisen, dass keine Vernässung und Nährstoffverlagerung erfolgt. Nur bei ständig hoher Feuchte kann ein Tensiometer empfohlen werden. Geeignete Regelgeräte, oft komplett mit Magnetventil, sind zum Beispiel:

- Gardena-Bewässerungscomputer
- „Flori“ (Netafim)
- „Galcon DC 1 S“ (Vertrieb: Ben-Jaakow)
- Maxi Rain (Staudinger).

8 Fazit

Die Beschäftigung mit dem Thema Wasser stellt eine wesentliche Reserve für die Ertragsbildung und Qualitätssicherung dar. Die künftige Akzeptanz des deutschen Gartenbaus durch die Gesellschaft hängt wesentlich davon ab, inwieweit es gelingt, das gute Image der Qualität der Produkte auch auf die Ökologie und Nachhaltigkeit des Anbaus zu übertragen. Insgesamt ist festzustellen:

- Die Erzielung optimaler Erträge sowie die Minimierung von Wasser- und Nährstoffverlusten durch Verdunstung und Versickerung bedarf einer standortspezifischen, objektiven Bewässerungssteuerung oder -regelung.
- Es sind möglichst wasser- und energiesparende Bewässerungstechniken einzusetzen, wobei eine weitgehend gleichmäßige Wasserverteilung auf der zu bewässernden Fläche anzustreben ist.
- Die Entwicklung einer Selbstkontrolle der Bewässerungsbetriebe im Sinne eines Öko-Audits wird erfolgen, wobei über die Standortgegebenheiten, Klimadaten und Bewässerungsgaben sowie die damit erzielten pflanzenbaulichen Wirkungen Aufzeichnungen zu führen sind.
- Eine Reform der Wasserpolitik wird den effizienteren und umweltschonenden Wasserumgang einfordern (Nachfragesteuerung).
- Politische und ökonomische Rahmenbedingungen bestimmen das Tempo für die Einführung einer objektiven Steuerung der Bewässerung und den verstärkten Einsatz wassersparender Verfahren.
- Hoher Druck auf deutsche Anbauer zum Wassersparen stellt gegenwärtig einen Nachteil im internationalen Wettbewerb dar.

- Das gilt solange, wie keine EU-weit abgestimmten Anforderungen beim Anbau bestehen. Erst dann hilft der Kenntnisvorsprung den deutschen Anbauern erheblich.

Literatur

- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PRUITT, W.O. (1997): Proposed revision to the FAO-procedure for estimating crop water requirements. In: Sec. Int. Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, Vol. 1, S. 17–33 (Acta Horticulturae 449)
- BILLIB, H. (1971): Regelung des Wasserhaushaltes. In: Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 5. Aufl. Wasser und Boden, Hamburg.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1977): Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 33. FAO, Rome.
- FELLER, C.; FINK, M.; MAYNC, A.; PASCHOLD, P.-J.; SCHARPF, H.-C.; SCHLAGHECKEN, J.; STROHMEYER, K.; WEIER, U.; ZIEGLER, J. (2001): Düngung im Freilandgemüsebau. IGZ, Großbeeren (Gartenbauliche Berichte 4)
- HARTMANN, H.D.; PFÜLB, E.; ZENGERLE, K.-H. (2000): Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse. Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim (Geisenheimer Berichte 44)
- PASCHOLD, P.-J.; ECKES, U.; LÖBMEIER, F.-J.; HOPPMANN, D. (2001): Untersuchungen zur Ermittlung des langjährigen Wasser- und Beregnungsbedarfs bei ausgewählten Gemüsearten. Arbeitsbericht, Forschungsanstalt Geisenheim (unveröff.)
- PASCHOLD, P.-J.; KLEBER, J.; MAYER, N. (2002): Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2002. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 37, Nr. 1, S. 5–15
- PASCHOLD, P.-J.; WIETHALER, A. (2000): Eignung von Sensoren zum Steuern der Bewässerung bei Freilandgemüse. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 35, Nr. 1, S. 51–62