

Geisenheimer Bewässerungssteuerung

Geisenheim irrigation scheduling

P.- J. Paschold, J. Kleber, N. Mayer

Stichworte

Bewässerungssteuerung, Wasserbilanz, Nachhaltigkeit, Gemüse, N_{\min} -Rest

Keywords

Irrigation scheduling, water balance, sustainability, vegetables, N_{\min} -residues

Zusammenfassung

Weltweit steigt der Wasserbedarf, was auch für den Gartenbau gilt. Die verfügbaren Wassermengen in ausreichender Qualität entsprechen jedoch nicht dem Bedarf. Verschiedene Methoden können dem Anbauer helfen, die richtige Entscheidung zum Wassereinsatz zu treffen. Praktisch nutzbar sind gegenwärtig nur zwei Möglichkeiten: Messen der Bodenfeuchte und Errechnen klimatischer Wasserbilanzen. Die Wasserbilanzen, berechnet auf der Basis der Geisenheimer Bewässerungssteuerung (GS) besitzen einige Vorteile gegenüber der FAO-Empfehlung. Zur GS gehören drei Schritte: 1. Festlegen der Bewässerungsmenge je Bewässerungsvorgang in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften, der Gemüseart und deren Entwicklungsstadium. 2. Kalkulieren der täglichen Wasserbilanz nach der PENMAN-Formel. 3. Bestimmen des Zeitpunktes der Bewässerung, wenn die Summe der täglichen Wasserbilanzen der vorgegebenen Beregnungsmenge, z. B. 30 mm, entspricht. Es ist zu empfehlen eine Vorwegbewässerung vorzunehmen, um durch einen Bodenwassergehalt von 100 % nFK einen definierten Ausgangswert für die Wasserbilanz zu erhalten.

Die Korrekturfaktoren (k_c) zur Ermittlung der aktuellen Wasserbilanz wurden in Lysimetern und Feldversuchen für zahlreiche Gemüsearten in Geisenheim bestimmt. Die k_c sind drei- bis viermal in Abhängigkeit von klar definierten Entwicklungsstadien während der Vegetationsperiode zu verändern. In zahlreichen Versuchen wurden diese k_c auch hinsichtlich der ökologischen Aspekte des Gemüseanbaus bewertet. Auf der Basis der langjährigen Untersuchungen werden zweimal wöchentlich Bewässerungsempfehlungen für die wichtigsten Gemüsearten an die Anbauer herausgegeben.

Abstract

All over the world the need for water is increasing and this also holds true for horticulture. The amount of water available in sufficient quality does not, however, keep up with the demand. Various methods can help growers reach the correct decision for irrigation scheduling. Practically only two possibilities come into question at the current time: determining soil moisture or calculating climatic water balances. The water balances based on 'Geisenheim irrigation scheduling' (GS) have some advantages opposite the FAO recommendation. The GS involves the following three steps:

- 1. Setting the amount of water to be distributed at each irrigation time depending on the soil characteristic, the kind of vegetable and its developmental stage.*
- 2. Calculating each day the actual water balance according to the PENMAN formula.*
- 3. Calculating the time for irrigation for the settled amount of water: e.g. if the amount of water/irrigation time is set at 30 mm then the time for irrigation is reached when the*

sum of the daily values is 30 mm. It is to recommend to saturating the soil with water short before planting, in order to start the water balance from a certain fixed point. The crop coefficients (kc) have been determined in lysimeters and in field experiments for numerous vegetables in Geisenheim. This factor has to be changed three or four times depending on clear defined stages of development of the vegetable plants during the vegetation period. In current experiments these factors are being evaluated in respect to ecological aspects of vegetable production. On the basis of these long-term investigations, irrigation recommendations for the most important crops have been issued to growers twice a week.

1. Einführung

Der ressourcenschonende Umgang mit Wasser ist wesentlicher Bestandteil der nachhaltigen Landwirtschaft. Das gilt insbesondere für den Anbau von Gemüse, wo bei vielen Arten innerhalb kurzer Zeit ein erheblicher Massezuwachs gewährleistet werden muss. Das erfordert ein bedarfsgerechtes Nährstoffangebot, welches jedoch nur bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Bodenfeuchte ausreichend genau kalkuliert werden kann. Probleme z. B. bei der Anwendung des N_{\min} -Systems (Feller et al., 2001) resultieren 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.

Beim Einsatz der Bewässerung, allein auf der Basis von Erfahrungen, muss der Anbauer eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigen, so dass Fehler unvermeidbar sind. Dies wird dem Anbauer jedoch nicht direkt bewusst, da die Auswirkungen erst sehr viel später an der Pflanze sichtbar werden und der direkte Vergleich zu korrekt bewässerten Beständen fehlt. Die im Boden ablaufenden Prozesse bleiben dem Auge verborgen und zeigen sich nur teilweise in den Ergebnissen von Bodenanalysen und später im Wachstum. Nur in Versuchen wird deutlich, welche erheblichen Wirkungen auf das Pflanzenwachstum durch eine nach objektiven Kriterien gesteuerte Bewässerung erzielt werden können. Steuern der Bewässerung heißt, auf der Basis objektiver Kriterien zu entscheiden, wann, wie oft und in welcher Menge Zusatzwasser einzusetzen ist.

2. Versuche zur Bestimmung des Wasserbedarfs

Begonnen durch HARTMANN et al. (2000) wurden seit 1992 von PASCHOLD, ZENGERLE, KLEBER und MAYER die Untersuchungen zur Steuerung der Bewässerung bei Gemüse auf der Basis der klimatischen Wasserbilanz fortgesetzt. Die Präzisierung der Methode resultiert vor allem aus neuen Versuchen unter Einbeziehung von umfangreichen Messungen der Bodenfeuchte, um eine Versickerung auf Grund falsch bemessener Bewässerung zu vermeiden.

Erfahrungsgemäß können mit zwei- bis dreijährigen Experimenten nur wenig repräsentative Aussagen zur Bewässerungswirksamkeit gewonnen werden, da die jährlich wechselnden Witterungsbedingungen eine Verallgemeinerung der Ergebnisse stark einschränken. Dauerversuche sind wesentlich besser geeignet, werden im Rahmen von Forschungsprojekten jedoch nur selten finanziert.

Die korrekte Anlage von Bewässerungsversuchen mit randomisierten Parzellen ist sehr aufwändig. Für alle Varianten sind einheitliche Bodenbedingungen

Voraussetzung. Diese sind jedoch nur selten gegeben. Bei allen Bemühungen um repräsentative Flächenauswahl verbleibt insbesondere bei Untersuchungen in Praxisbetrieben ein erhebliches Risiko, dass die ermittelten Erträge nicht nur durch die Bewässerung beeinflusst wurden, sondern auch Bodeneffekte aufweisen. In Versuchsstationen kann dem durch Randomisieren, also Zufallsverteilung der Wiederholungsflächen, entgegengewirkt werden. Das ist unter Praxisbedingungen kaum zu realisieren.

Durch langjährige Versuche in der Forschungsanstalt Geisenheim wurde und wird der Wasserbedarf von Gemüse bestimmt. Die Untersuchungen erfolgen in drei Stufen:

- Ermitteln des Wasserbedarfs bei differenzierter Bewässerung in einer wägbaren Lysimeteranlage
Die Pflanzen sind durch eine fahrbare automatisch gesteuerte Überdachung vor natürlichen Niederschlägen geschützt und die vorgegebenen Varianten können sehr gut eingehalten werden.
- Anbau im natürlich gewachsenen Boden im Feldversuch mit einem computergesteuerter Gießwagen. Dieser ermöglicht es, die unterschiedlichen Stufen der Bewässerung in verschiedenen Bodenparzellen als Wiederholung zu prüfen. Das erfolgt teilweise zeitgleich mit den Lysimeterversuchen, um Übertragungskoeffizienten der Aussagen aus dem Lysimeter zum gewachsenem Boden bestimmen zu können. Die Untersuchungen werden von umfangreichen Messungen der Bodenfeuchte begleitet.
- Praxisuntersuchungen, z. B. im Hessischen Ried, gemeinsam mit Anbauern und der Beratung für ausgewählte Arten.

Neben Einzelveröffentlichungen von Detailergebnissen werden die neuesten Erfahrungen zusammengefasst als Geisenheimer Bewässerungssteuerung zur Bewässerungssteuerung publiziert.

3. Geisenheimer Bewässerungssteuerung

Basierend auf der Penman-Gleichung wurden in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst, Außenstelle Geisenheim, die klimatischen Wasserbilanzen nach der `Geisenheimer Methode` erstellt. Die Geisenheimer Steuerung (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. Dies stellt eine wesentliche Präzisierung dar, da ansonsten verbal nur frühe, mittlere und späte Stadien ohne zeitliche Definition unterschieden werden.
- Nicht nur die Berechnungstermine, sondern auch die Bewässerungsmengen je Einzelgabe werden objektiv bestimmt.

Drei bis vier Entwicklungsstadien der Pflanze werden unterschieden.

Die GS beinhaltet drei Teilgebiete, die nur in der Kombination aller drei Teilelemente zu den gewünschten Ergebnissen führen.

I. Ermitteln der Bewässerungsmenge für den jeweiligen Termin

II. Anpassen der Gabenhöhe an die pflanzliche Entwicklung

III. Errechnen der Wasserbilanzen.

Bei der Geisenheimer Steuerung wird der entwicklungsspezifische Wasserbedarf der jeweiligen Pflanzenart in einem Koeffizienten zusammengefasst. Dieser beträgt am Anfang des Wachstums 0,3 bis 0,5 und steigt auf maximal 1,4 an. Mit diesem Faktor wird die auf Grund meteorologischer Daten täglich errechnete potentielle Verdunstung (ET_0) von Boden und Pflanze (Evapotranspiration) multipliziert und

somit eine Anpassung an die Gemüseart und deren Entwicklungsstadium vorgenommen.

Die aktuelle Evapotranspiration (ETA) ergibt sich somit aus $ET_0 \times kc$. Dabei wurde kc (crop coefficient) in Geisenheim art- und entwicklungsabhängig bestimmt.

Die angegebenen Koeffizienten gelten für Bestände durchschnittlicher Entwicklung. Bei geringerer oder stärkerer Bestandesbildung sind die Koeffizienten je Stadium um 0,1 zu reduzieren bzw. zu erhöhen. Im ersten Entwicklungsstadium spielt dies allgemein keine Rolle, da in diesem Entwicklungsabschnitt die Evaporation überwiegt.

Besonders empfohlen wird die Anwendung der GS beim Einsatz von Berechnungsmaschinen, da alternativ die Messung der Bodenfeuchte zu aufwändig ist, um die Gradienten der allgemein recht unregelmäßigen Wasserverteilung erfassen zu können.

Die aktuellen kc -Werte für Gemüsekulturen finden Sie auf der Seite

www.forschungsanstalt-geisenheim.de

I. Ermitteln der Bewässerungsmenge/Termin

Die Bodeneigenschaften entscheiden, welche Wassersättigung durch eine bestimmte Wassergabe erreicht werden kann. Mit einer Wassergabe von 30 mm kann z. B. auf einem Lehmboden die optimale Gabenhöhe erreicht sein, auf einem Sandboden dagegen eine erhebliche Auswaschung erfolgen.

Nach dem einmaligen Aufwand des Bestimmens der bodenphysikalischen Eigenschaften des Feldes durch spezielle Labors, z. B. "Ökochemie und Umweltanalytik GmbH Oldenburg" (www.oekum.de), können für die Zukunft die optimalen Gabenhöhen festgelegt werden. Ein Beispiel zeigt die Tabelle 1. Für Schläge mit vergleichbaren Bodenbedingungen können die Werte übertragen werden.

Erforderlich sind weiterhin Kenntnisse zur mittleren Durchwurzelungstiefe je Entwicklungsstadium. Richtwerte können dem N_{min} -System (Feller et al., 2001) entnommen werden, wenn keine spezifischeren Werte vorliegen. Damit kann gesichert werden, dass die in die Nährstoffbilanzierung einbezogenen Bodengehalte auch durch die Wurzeln erreicht werden können.

Bei Berechnung sind in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium und den Bodenbedingungen bei Gemüse allgemein Gabenhöhen zwischen 10 und 40 mm zweckmäßig. Bei Tropfbewässerung legen die Einzelgaben deutlich niedriger, wobei auch zu berücksichtigen ist, ob eine manuelle Steuerung oder eine automatische Regelung der Bewässerung erfolgen soll. In jedem Falle ist es bei Tropfbewässerung am günstigsten, die Steuerung/Regelung auf der Basis von Messungen der Bodenfeuchte vorzunehmen.

II. Anpassen der Gabenhöhe an die pflanzliche Entwicklung

Mit fortschreitender Pflanzenentwicklung vergrößert sich artspezifisch die Durchwurzelungstiefe, wenn die Gabenhöhe bei der Bewässerung entsprechend angepasst wird. Mit Umstellung der Stadien sollte deshalb auch die Überprüfung der Gabenhöhe erfolgen. Während zu Beginn der Pflanzenentwicklung oft 10 mm-Gaben ausreichen, können diese schrittweise je nach Bodenart bis auf 40 mm erhöht werden. Damit wird das Einwachsen der Wurzeln in größere Bodentiefen gefördert. Insbesondere in Trockenjahren bleibt sonst bei gleichbleibender Gabenhöhe von z. B. 20 mm die durchwurzelte Schicht auf eine Bodentiefe von 25 cm begrenzt. In der Folge stimmen auch die Nährstoffbilanzen nicht, da die Pflanze

die in den Bodenanalysen erfassten Nährstoffmengen der tieferen Bodenschichten nicht aufnehmen kann. Wurzelgemüse wird in der Folge zudem beinig. Durch diese objektive Festlegung der Gabenhöhe kann somit die Nährstoffausnutzung verbessert und das Risiko einer Auswaschung von Nährstoffen aus der durchwurzelteten Zone durch die Bewässerung reduziert werden. Die Düngungsbemessung auf der Basis des N_{\min} -Systems wird durch die objektive Steuerung der Bewässerung deutlich treffsicherer.

III. Errechnen der Wasserbilanz

• Tägliche Wasserbilanz

Zum Bestimmen der täglichen Wasserbilanz (Wasserbedarf des Bestandes in mm) werden die Verdunstung und die Niederschlagsmenge auf dem jeweiligen Schlag benötigt.

$d_W = \text{Tägliche Wasserbilanz} = \text{Verdunstung nach PENMAN} \times kc - \text{Niederschlag} \\ \text{ETA} - P \text{ (precipitation)}$

Die für relativ große Gebiete einheitlichen täglichen Verdunstungswerte ermittelt der Deutsche Wetterdienst (DWD) mit zuverlässiger und erprobter Messtechnik. In Hessen werden diese Werte durch das HDGL, Darmstadt, zweimal wöchentlich als Berechnungsfax an interessierte Betriebe übermittelt. Mit einem Verdunstungswert je Tag kann, z. B. in einer Excel-Tabelle, für alle Schläge des Betriebes die Bewässerung bilanziert werden. Verschiedene Firmen entwickelten Programmen zur Bewässerungssteuerung auf der Basis der Geisenheimer Steuerung. Diese enthalten teilweise nur Teile der Methode oder nicht die aktuellen Koeffizienten. Z.B. im Programm IRMA (Irrigation manager) von ‚Helm-software‘ (www.helm-software.de) werden die Werte in Abstimmung mit der Forschungsanstalt Geisenheim regelmäßig dem neuesten Stand der Forschung angepasst.

Der Deutsche Wetterdienst bietet die Geisenheimer Steuerung auf der Seite www.agrowetter.de online an.

Der tägliche Verdunstungswert des DWD entspricht dem Wasserbedarf der jeweils interessierenden Pflanzenart und deren Entwicklungsstadium nach Multiplikation mit einem ‚crop koeffizienten‘ (kc), dem Geisenheimer Steuerungswert. Daraus ergibt sich durch Addition der Tageswerte nach Abzug der im Anbaubetrieb ermittelten Niederschläge die schlagspezifische Wasserbilanz (siehe Beispiel).

Die Bilanzierung sollte nach ergiebigen Niederschlägen oder nach Vorwegberechnung beginnen, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist (100% nutzbare Feldkapazität – nFK).

Keine Verdunstung ist von der Bilanz abzurechnen, wenn nach starken Niederschlägen die nFK über 100 % erreicht hatte. Die Pflanzen nutzen zwei Tage das Wasser der Grobporen, welches ansonsten in tiefere Schichten versickern würde. Damit wird entsprechend der Definition der nutzbare Feldkapazität in der Kalkulation verfahren. Tagesniederschläge unter 0,3 mm werden in der Bilanz nicht angerechnet. Im Gegenzug wird auch das Interzeptionswasser vernachlässigt, was maximal bei Gemüse ähnliche Größenordnungen erreicht. Eine übertriebene Genauigkeitsanforderung ist nicht gerechtfertigt, da die Wasserverteilgenauigkeit der üblichen Bewässerungsanlagen eine erhebliche Streuung aufweist.

• Errechnen des Bewässerungszeitpunktes

Es ist zu bewässern, wenn die Summe der täglichen Wasserbilanzen die vorgegebene Bewässerungsmenge (d_{I_N}): z. B. 30 mm, erreicht hat ($d_{I_N} = d_{I30}$).

Ein Beispiel verdeutlicht das Vorgehen (Kasten).

Zur Kontrolle der Bilanz können unter Praxisbedingungen Bodenfeuchtesensoren, z. B. Tensiometer oder ‚Flori-Sensoren‘ (Netafim) eingesetzt werden. Wegen der großen Bodenfeuchteunterschiede auf einer Beregnungsfläche sind nur die täglichen Veränderungen, nicht aber die absoluten Messwerte, interessant. Der Einsatz von Gipsblöcken ist bei Gemüse nicht zu empfehlen, da die Änderungen erst angezeigt werden, wenn bei Gemüse Wachstumsstörungen auftreten (PASCHOLD, WIETHALER 2000).

4. Fazit

Durch die objektive Steuerung der Bewässerung kann der Wasseraufwand gegenüber einer subjektiven Bemessung von Gabenhöhe und Termin der Beregnung reduziert, teilweise aber auch erhöht werden. Nicht nur höhere Erträge, sondern auch geringere jährliche Ertragsschwankungen, ein höherer Anteil an Ertrag der Handelsklasse I sowie eine bessere Ausnutzung der Düngung und bestimmter Pflanzenschutzmittel sind zu erreichen. Auch wenn durch eine objektive Steuerung, bezogen auf die Fläche teilweise höhere Wassermengen erforderlich sein können, ist die Effizienz der Wassernutzung besser, weil der Anteil handelsfähiger Ware steigt. Die Effizienz des Wassereinsatzes sollte also nicht auf die Bodenfläche, sondern auf die Einheit handelsfähiger Ware bezogen werden. Nicht zu vernachlässigen ist, dass auf bewässerten Flächen im Herbst zeitiger die Grundwasserneubildung beginnt, so dass ein Teil des aufgewandten Wassers wieder dem Grundwasser zugeführt wird.

Literatur

- Allen, R.G.; Smith, M.; Pereira, L. S.; Pruitt, W.O. (1997): Proposed revision to the FAO-procedure for estimating crop water requirements. Sec. Int. Symp. On Irrigation of horticultural crops, Acta Horticulturae 449, Vol. 1, 17 – 33.
- Doorenbos, J. Und 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.-Chr., Schlaghecken; J., Strohmeyer, K., Weier, U., Ziegler, J. 2001: Düngung im Freilandgemüsebau, Gartenbauliche Berichte, Heft 4, 196 S.
- Hartmann, H. D., Pfülb, E. und Zengerle, K. -H., 2000: Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse, Geisenheimer Berichte der Forschungsanstalt Geisenheim, Band 44, 194 S.
- Paschold, P.-J.; Wiethaler, A. (2000): Eignung von Sensoren zum Steuern der Bewässerung bei Freilandgemüse (Usability of sensors in scheduling irrigation of vegetables) Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft, 35, 1, 51-62

Beispiel der Geisenheimer Bewässerungssteuerung

1. Vorgabe Bewässerungsmenge je Termin = 30 mm

2. Errechnen der Wasserbilanz:

- Tägliche Bilanz

Datum	PENMAN-Wert	Faktor (kc)	- Niederschlag	= tägl. Wasserbilanz
25. 7.	5,2	0,8	0,0	4,2
26. 7.	5,9	0,8	4,0	0,7

- Errechnen des Bewässerungszeitpunktes

Datum	tägl. Wasserbilanz (mm)	Gesamtbilanz	Beregnung
25. 7.	4,2	4,2	-
26. 7.	0,7	4,9	-
27. 7.	6,5	11,4	-
28. 7.	6,9	18,3	-
29. 7.	7,0	25,3	-
30. 7.	5,1	30,4	30 mm
31. 7.	6,5	6,9	-

Tabelle 1: 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	* 10,8
30 - 60	21	6,3	** 8,4
Summe 0 - 60	48	≈ 17	≈ 19

* Die obere Bodenschicht muss auf 100% nFK aufgefüllt werden, da sonst kein Anstieg der Bodenfeuchte in der darunterliegenden Schicht erfolgen kann.

** Nur in Trockenzeiten ohne Niederschlagsersparnis zu empfehlen, da ein Puffer für unerwartete Niederschläge fehlt, so dass dann ein erhebliches Auswaschungsrisiko besteht.