

Die Geisenheimer Bewässerungssteuerung kann für Freilandgemüsekulturen und ausgewählte landwirtschaftliche Kulturen berechnen, wann und wie viel bewässert werden muss.

Der **Wasserverbrauch** errechnet sich aus einer **Referenzverdunstung**, die mit **kc-Werten** für die Kultur angepasst wird. Dem Wasserverbrauch werden **Regen** und **Bewässerungsmengen** gegenübergestellt.

1. Ausgangsdefizit berücksichtigen

Die **Bodenfeuchte zum Kalkulationsbeginn** muss bekannt sein und als **Ausgangsdefizit** in die Berechnung einfließen. Das Ausgangsdefizit kann geschätzt, mit Bodenproben ermittelt oder näherungsweise berechnet werden.

Das Ausgangsdefizit im Frühjahr lässt sich berechnen, wenn ab Ende der letzten Kultur im Vorjahr bis zur neuen Kultur mit kc-Werten für unbewachsenem Boden kalkuliert wird: Sand kc 0,1, Lehm kc 0,2. Für winterbegrünte Flächen sind kc-Werte der jeweiligen Kultur zu verwenden.

Das resultierende Defizit stellt das Ausgangsdefizit für die folgende Kultur dar. Größere Defizite sind durch Vorabbewässerung auszugleichen.

2. Einzelwassergaben festlegen

Die Bewässerung für Gemüsekulturen setzt bei Bodenfeuchten von 60% nutzbarer Feldkapazität (nFK) ein und füllt den Boden bis 90% nFK auf. Eine Ausnahme bilden landwirtschaftlichen Kulturen, die erst ab einer Bodenfeuchte von 30 bis 50% nFK bewässert werden.

Die **Einzelwassergabe** richtet sich nach Bodenart und Wurzeltiefe (Tabelle 1). Die Einzelwassergabe muss so hoch sein, damit die Bodenschicht bis zur aktuellen Wurzeltiefe durchfeuchtet wird. Wurzeltiefen für die Kulturen in ihren Entwicklungsstadien (Tabelle 8) wurden mit Daten des IGZ Großbeeren geschätzt (http://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf).

Durch Regen und Bewässerung werden Böden flächig von oben nach unten durchfeuchtet. Erst nachdem in den oberen Bodenschichten eine Wassersättigung erreicht ist, dringt das Wasser in die nächsttieferen Bodenschicht vor. Deshalb müssen Einzelwassergaben so bemessen werden, dass die oberen durchwurzelten Schichten auf 100% nFK aufgefüllt werden und die unterste durchwurzelte Schicht nur auf 90% nFK. So bleibt eine Wasserspeicherreserve des Bodens für Niederschläge erhalten, der sog. **Puffer**, damit Sickerwasser vermieden wird. Ist das Infiltrationsvermögen der Böden begrenzt, sind hohe Gaben (z. B. >30 mm) auf mehrere Tage zu verteilen.

Tabelle 1: Einzelwassergaben und Puffer in Abhängigkeit von Bodenarten und Wurzeltiefe für gemüsebauliche Kulturen

Bodenart	Puffer (mm)	Einzelwassergabe (mm) bei Wurzeltiefen von			Wassergehalt bei 100% nFK (Vol.%)
		0 - 30 cm	0 - 60 cm	0 - 90 cm	
Sand (S)	3	8	19	30	9%
schwach lehmiger Sand (IS)	4	12	28	44	13%
stark lehmiger Sand (IIS)	5	14	33	52	16%
sandiger Lehm (sL)	6	17	40	63	19%
schluffiger Lehm (uL)	7	20	47	74	22%
toniger Lehm (tL)	5	15	35	55	17%
lehmiger Ton (IT)	4	13	30	47	14%
Ton (T)	3	9	21	33	10%

Quelle verwendeter nFK-Werte: <https://www.alb-bayern.de>



Tabelle 2: Rechenweg Einzelwassergaben

Berechnung der Einzelwassergabe	Beispiel: 30 cm Bodenschicht auf schwach lehmigem Sand (IS)
durchwurzeltes Bodenvolumen	$1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^3 = 300 \text{ L/m}^2$
x Wassergehalt bei 100% nFK	$\times 13 \text{ Vol.\%} = 39 \text{ L/m}^2$
x zu ergänzender Anteil nFK	$\times (60 \text{ bis } 90\% \text{ nFK}) = 30\% \text{ nFK}$
= Einzelgabe	$39 \text{ L/m}^2 \times 30\% = 12 \text{ mm}$

Tabelle 3: Einzelwassergaben und Puffer (mm) in Abhängigkeit der Wurzeltiefe, Beispiel: schwach lehmiger Sand (IS):  **Einzelwassergabe**,  **Puffer**,  **Restbodenfeuchte**

Bodenschicht	Wurzeltiefe 30 cm	Wurzeltiefe 60 cm	Wurzeltiefe 90 cm
0-30 cm	0 bis 60% nFK		
	12 mm (60 bis 90 % nFK)	16 mm (60 bis 100% nFK)	16 mm (60 bis 100% nFK)
	4 mm (90 bis 100% nFK)		
30-60 cm		12 mm (60 bis 90% nFK)	16 mm (60 bis 100% nFK)
		4 mm	
60-90 cm			12 mm (60 bis 90% nFK)
			4 mm
Summe	= 12 mm	16+12 = 28 mm	16+16+12 = 44 mm



3. Tagesdefizit berechnen

Die Referenzverdunstung **Penman-Verdunstung** kann aus Daten einer Wetterstation errechnet oder von einem Anbieter von Wetterdaten (z. B. Deutscher Wetterdienst DWD) bezogen werden. Der **kc-Wert** richtet sich nach der Pflanzenart und ihren Entwicklungsstadien (vgl. Tabelle 8).

Das **Tagesdefizit** errechnet sich aus:

Beispiel: Blumenkohl im Entwicklungsstadium 1

$$\text{Penman-Verdunstung} \times \text{kc-Wert} - \text{Regen} = \text{Tagesdefizit}$$

$$8,0 \text{ mm} \quad \times \quad 0,5 \quad - 2 \text{ mm} = 2,0 \text{ mm}$$

Beispiel: kc-Werte für Blumenkohl

Stadium 1



ab Pflanzung: **kc 0,5**

Stadium 2



ab 8. Blatt: **kc 0,8**

Stadium 3



ab 70 % Pflanzenlänge: **kc 1,2**

4. Gesamtdefizit berechnen und Bewässerungsentscheidung treffen

Die Tagesdefizite werden zu einem **Gesamtdefizit** aufsummiert.

Erreicht das **Gesamtdefizit** die Summe von **Einzelwassergabe und Puffer** (z. B. 27.7.: 12+4 mm) wird die **Einzelwassergabe** (z. B. 12 mm) bewässert, der Puffer wird nicht aufgefüllt.

Ist das Gesamtdefizit am Tag der Bewässerung deutlich höher als die Summe von Einzelwassergabe und Puffer, wird dieses Gesamtdefizit abzüglich des Puffers bewässert.

Die tatsächlich ausgebrachte **Bewässerungsmenge** wird vom Gesamtdefizit abgezogen und die Kalkulation fortgesetzt.

Fallen **Regenmengen** die das Gesamtdefizit übersteigen, z. B. am 29.7., wird das Gesamtdefizit gleich Null gesetzt und die Kalkulation zwei bis drei Tage ausgesetzt.

Tabelle 4: Gesamtdefizit berechnen: Beispiel: Blumenkohl: Stadium 1, kc 0,5
schwach lehmiger Sand, Wurzel Tiefe 30 cm: Einzelwassergabe 12 mm, Puffer 4 mm
ab 31.7.: Stadium 2, kc 0,8

Datum	Penman-Verdunstung [mm]	kc	Regen [mm]	Tagesdefizit [mm]	Bewässerungsmenge [mm]	Gesamtdefizit [mm]
20. Jul	Ausgangsdefizit:					0
21. Jul	8,0	x 0,5	- 2	= 2,0		0+2,0 = 2,0
22. Jul	6,0	0,5		3,0		2,0+3,0 = 5,0
23. Jul	7,3	0,5		3,7		8,7
24. Jul	5,3	0,5		2,7		11,4
25. Jul	4,7	0,5		2,4		13,8
26. Jul	5,1	0,5		2,6		16,4
27. Jul	3,2	0,5		1,6	12	16,4+1,6-12 = 6,0
28. Jul	7,7	0,5		3,9		9,9
29. Jul	5,7	0,5	35	-32,2		0,0
30. Jul	6,9	0,5		3,5		0,0
31. Jul	6,0	0,8		4,8		0,0
01. Aug	6,9	0,8		5,5		5,5



5. Weitere Aspekte

Berechnung der Einzelwassergaben bei unterschiedlichen Bodenarten in einzelnen Schichten

Unterscheiden sich einzelne Bodenschichten in ihren Bodenarten, können Einzelwassergaben mit den in Tabelle 1 angegebenen nFK-Werte individuell berechnet werden.

Tabelle 5: Einzelwassergaben bei unterschiedlichen Bodenarten in einzelnen Bodenschichten

Bodenschicht	Bodenart	Wassergehalt bei 100% nFK (Vol.%)	Einzelwassergabe (mm) bei Wurzeltiefen von		
			0 - 30 cm	0 - 60 cm	0 - 90 cm
0 - 30 cm	sL	19%	17 mm (60 bis 90 %nFK)	23 mm (60 bis 100 %nFK)	23 mm (60 bis 100 %nFK)
30 - 60 cm	IS	13%		12 mm (60 bis 90 %nFK)	16 mm (60 bis 100 %nFK)
60 - 90 cm	S	9%			8 mm (60 bis 90 %nFK)
Summe			17 mm	35 mm	47 mm
Puffer			6 mm (90 bis 100 %nFK)	4 mm (90 bis 100 %nFK)	3 mm (90 bis 100 %nFK)

Einzelwassergaben bei Tropfbewässerung

Für die Bemessung der Einzelwassergabenhöhe bei Tropfbewässerung ist zusätzlich das Verhältnis der Breite der Durchfeuchtungszone zum Tropfleitungsabstand zu berücksichtigen:

Tabelle 6: Rechenweg Einzelwassergaben bei Tropfbewässerung mit Tropfstellenabständen bis 30 cm und gut querverteilenden Böden

Berechnung der Einzelwassergabe bei Tropfbewässerung		Beispiel: 3 Tropfstellen/m ²
Einzelwassergabe für flächige Bewässerung		17 mm
x Breite der Durchfeuchtungszone		x 30 cm
: Tropfleitungsabstand		: 100 cm
= Einzelwassergabe bei Tropfbewässerung		= 5,1 mm
: Anzahl Tropfstellen		: 3 Tropfstellen/m ²
= Einzelwassergabe je Tropfstelle		= 1,7 L/Tropfstelle

Tabelle 7: Rechenweg Einzelwassergaben bei Tropfbewässerung mit Tropfstellenabständen über 30 cm oder bei schlecht querverteilenden Böden

Berechnung der Einzelwassergabe bei Tropfbewässerung		Beispiel: 3 Tropfstellen/m ²
Radius der Durchfeuchtung um die Tropfstelle		0,15 m
Fläche der Durchfeuchtung		3,14 x 0,15 m x 0,15 m x 3 Trst. = 0,21 m ²
Anteil durchfeuchteter Bodenoberfläche		0,21 m ² /1,0 m ² = 21 %
Einzelwassergabe für flächige Bewässerung		17 mm
= Einzelwassergabe bei Tropfbewässerung		17 mm x 21% = 3,6 mm
: Anzahl Tropfstellen		: 3 Tropfstellen/m ²
= Einzelwassergabe je Tropfstelle		= 1,2 L/Tropfstelle



Anpassung des Wasserangebots

Um gezielt weniger zu bewässern, kann ein **Anpassungsfaktor** genutzt werden, z. B. bei begrenzter Wasserverfügbarkeit oder speziellen Anforderungen hinsichtlich Produktgröße und -qualität.

Eine Reduzierung des Wasserangebots birgt bei Frisch- und Feingemüse jedoch das Risiko eines Totalausfalls der Ernte, wenn Qualitätsanforderungen des Marktes infolge von Trockenschäden nicht erfüllt werden können.

Ein betriebsspezifischer Anpassungsfaktor von 0,7 sollte deshalb nicht unterschritten und die Bestände intensiv beobachtet werden, wenn solch ein Anpassungsfaktor Verwendung findet.

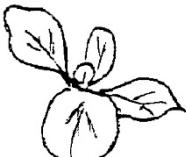
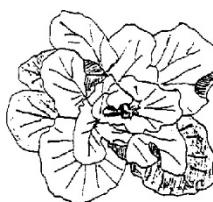
Das Tagesdefizit errechnet sich mit dem Anpassungsfaktor so:

Beispiel: Blumenkohl Stadium 1

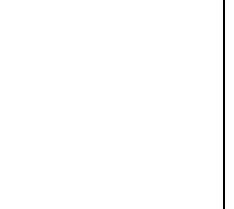
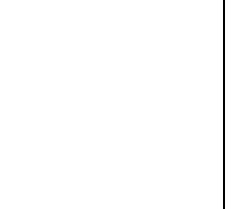
$$\text{Penman-Verdunstung} \times \text{kc-Wert} \times \text{Anpassungsfaktor} - \text{Regen} = \text{Tagesdefizit}$$
$$8,0 \text{ mm} \quad \times 0,5 \quad \times 0,7 \quad - 2 \text{ mm} = 0,8 \text{ mm}$$



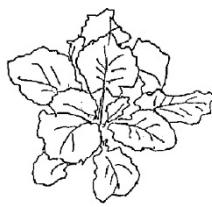
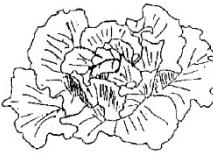
Tabelle 8: Entwicklungsstadien, kc-Werte und Wurzeltiefen von Gemüsekulturen und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen für die Geisenheimer Bewässerungssteuerung mit Penman-Verdunstung

Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Blumenkohl¹⁾	 ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm ²⁾	 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm	 ab 70 % der maximalen Pflanzenlänge BBCH 37 0-60 cm	1,2
Brokkoli¹⁾	 ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm	 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm	 ab 14. Blatt BBCH 114 0-60 cm	1,4
Buschbohnen¹⁾	 ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm	 ab Blühbeginn BBCH 61 0-60 cm	 1. Hülse hat volle Länge BBCH 71 0-60 cm	1,0
Chinakohl	 ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm	 ab 6. Blatt BBCH 16 0-30 cm	 Kopfbildung beginnt BBCH 41 0-60 cm	1,2



Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Eissalat	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm 	0,8 Kopfbildung beginnt BBCH 41 0-30 cm 	1,0 30 % der Kopfgröße erreicht BBCH 43 0-30 cm 
Endivien	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm 	0,8 50 % der Kopfgröße erreicht BBCH 45 0-60 cm 	1,2 
Fenchel, Knollen-¹⁾	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 5. Blatt BBCH x15 0-30 cm 	1,0 ab 8. Blatt BBCH 18 0-60 cm 	1,4 
Getreide¹⁾	ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm 	0,4 ab Schossen BBCH 30 0-90 cm 	0,7 ab beginnende Teigreife BBCH 85 	0 
Grünkohl	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 6. Laubblatt BBCH 16 0-30 cm 	0,8 ab verstärkter Blattbildung BBCH 35 0-60 cm 	1,2 ab Bestandes-schluss BBCH 39 0-60 cm 

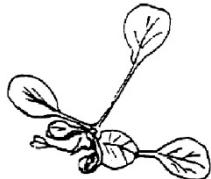
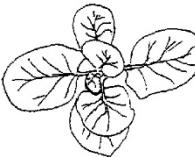
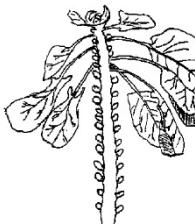
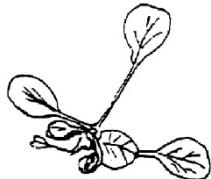
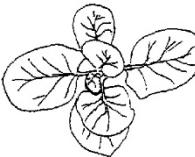
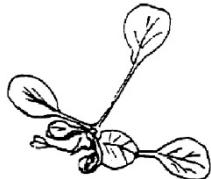
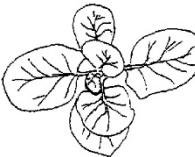
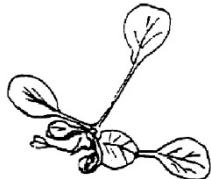
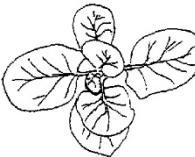


Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Gurken, Einlege	 ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm 0,5	 ab Blühbeginn BBCH 61 0-30 cm 0,8	 ab Erntebeginn BBCH 71 0-30 cm 1,1	
Kartoffeln 1)	 Sprosse durch- brechen den Boden BBCH 09 0-30 cm 0,4	 ab 2. Trieb > 5 cm lang BBCH 22 0-30 cm 0,6	 ab Bestandes- schluss BBCH 39 0-60 cm 0,8	ab Blatt- vergilbung BBCH 91 0
Kopfkohl 1)	 ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 0,5	 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm 0,6	 ab 11. Blatt BBCH 111 0-60 cm 0,7	 ab beginnen- der Kopfbildung BBCH 41 0-60 cm 0,8
Kopfsalat	 ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 0,5	 ab 8. Blatt BBCH 18 0-30 cm 0,8	 ab 20 % Kopf- durchmesser BBCH 42 0-30 cm 1,2	
Mais, Körner-, Zucker-	ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm 0,4	ab Höhe 0,50 m BBCH 31 0-30 cm 0,4 bis 0,5 ³⁾	ab Höhe 1,00 m BBCH 33 0-60 cm 0,5 bis 0,6 ³⁾	ab Höhe 1,50 m BBCH 35 0-90 cm 0,6 bis 0,8 ³⁾

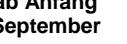
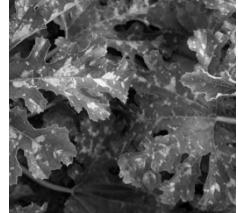


Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Möhre 1)	 ab Auflaufen 0,3 BBCH 09 0-30 cm	 ab 5. Blatt 0,6 BBCH 15 0-30 cm	 ab Bestandes- schluss 0,8 BBCH 43 0-60 cm	
Petersilie 1)	 ab Auflaufen 0,3 BBCH 09 0-30 cm	 ab 5 Blätter 0,8 BBCH 15 0-30 cm	 nach der 1. Ernte 1,0 0-60 cm	
Porree 1)	 ab Pflanzung 0,5 BBCH 12 bis 13 0-30 cm	 ab Schaft- durchmesser 13 mm 0,8 BBCH 42 0-30 cm	 ab Schaft- durchmesser 16 mm 1,2 BBCH 44 0-60 cm	 ab Schaft- durchmesser 20 mm 1,4 BBCH 46 0-60 cm
Puffbohne	 ab Auflaufen 0,5 BBCH 09 0-30 cm	 ab 5 Blätter 0,8 BBCH 35 0-30 cm	 ab Blühbeginn 1,2 BBCH 61 0-60 cm	 ab Hülsenan- satz 1,4 BBCH 71 0-90 cm
Radies	 ab Auflaufen 0,5 BBCH 09 0-15 cm	 ab 3 Blätter 0,8 BBCH 13 0-15 cm		



Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Rettich	ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm 	0,5 ab Beginn Dicken- wachstum BBCH 41 0-30 cm 	0,8 ab 50% Rüben- Durchmesser BBCH 45 0-60 cm 	1,0  ab Röschen- ansatz BBCH 41 0-90 cm
Rosenkohl	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 6. Blatt BBCH 16 0-30 cm 	0,8 ab Bestandes- schluss BBCH 37 0-60 cm 	1,2 ab Röschen- ansatz BBCH 41 0-90 cm 
rote Bete	ab Auflaufen BBCH 09 0-30 cm 	0,4 ab 4. Blatt BBCH 14 0-30 cm 	0,8 ab 8. Blatt BBCH 18 0-60 cm 	1,2 ab Bestandes- schluss BBCH 39 0-60 cm 
Sellerie, Knollen-	ab Pflanzung BBCH 12 bis 13 0-30 cm 	0,5 ab 7. Blatt BBCH 17 0-30 cm 	0,8 ab Beginn Knollen- entwicklung BBCH 42 0-60 cm 	1,1 ab Bestandes- schluss BBCH 46 0-60 cm 
Spargel 1. Standjahr	ab Aufwuchs 0-60 cm 	0,5 vollständige Ausbildung der Phyllokladien 0,7 bis 0,8 ⁴⁾ 0-60 cm 	0,7 bis 0,8 ⁴⁾ 0-60 cm ab Anfang September 0-60 cm 	0 



Pflanzenart	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Spargel ab 2. Standjahr	 ab Stechende 0,6 0-90 cm	 vollständiger Ausbildung der Phyllokladien 0,8 bis 1,1 ⁴⁾ 0-90 cm	 ab Anfang September 0 0-90 cm	
Tomate, Freiland	 ab Pflanzung 0,5 BBCH 15 0-30 cm	 ab Höhe 0,75 m 0,8 BBCH 17 0-30 cm	 ab Höhe 1,00 m 1,2 BBCH 19 0-60 cm	
Zucchini	 ab Auflaufen 0,5 BBCH 09 0-30 cm	 ab Blühbeginn 0,8 BBCH 61 0-60 cm	 1. Frucht entwickelt 1,2 BBCH 71 0-60 cm	
Zuckerrübe 1)	 ab Auflaufen 0,2 BBCH 09 0-30 cm	 ab 5. Blatt 0,4 BBCH 15 0-30 cm	 ab Bestandes- schluss 0,6 BBCH 39 0-60 cm	ab Rüben-Ø 12 cm bis E IX 0,8 BBCH 45 0-90 cm
Zwiebel, Sommer¹⁾	 ab Auflaufen 0,5 BBCH 09 0-30 cm	 ab 5. Blatt 1,0 BBCH 15 0-30 cm	 ab 8. Blatt 1,2 BBCH 18 0-60 cm	 ab Schlotten- knicken 0 BBCH 47 0-60 cm



- 1) Aktuell überprüfte kc-Werte
 - 2) Alle Wurzeltiefen wurden mit N-Probenahmetiefen des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren geschätzt: http://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf
 - 3) Abhängig von der Bestandesentwicklung:
schwächere Bestände = niedrigere kc-Werte
stärkere Bestände = höhere kc-Werte
 - 4) Abhängig von der Bestandesentwicklung und Bewässerungstechnik:
Tropfbewässerung oder schwächere Bestände = niedrigere kc-Werte
flächige Bewässerung oder stärkere Bestände = höhere kc-Werte
- Anzahl der gebildeten Blätter: abgefallene Blätter sind mitzuzählen
Kopfgröße, Pflanzendurchmesser: prozentualer Anteil des maximal zu erwartenden Werts

Literatur:

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. (1998): Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. United Nations FAO, Irrigation and Drainage, N.Y., Paper No. 56.
- HARTMANN, PFÜLB, ZENGERLE (2000): Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse. Geisenheimer Berichte der Forschungsanstalt Geisenheim, Band 44, 194 S.
- MEIER, U. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen – BBCH-Monografie. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- PASCHOLD, P.-J., KLEBER, J., MAYER, N. (2002): Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2002: Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 37, 2002, 1, 5-15
- ZINKERNAGEL, J. OLBERZ, M. (2014). Die Geisenheimer Bewässerungssteuerung - heute und morgen. ZVG Gartenbau report 40. 7/8, S. 23–25.
- ZINKERNAGEL, J., WEINHEIMER, S., MAYER, N. (2017): Wasserbedarf von Freilandgemüsekulturen. In: Hortigate - Bewässerungsportal. url: <https://www.hortigate.de/bericht?nr=73862>.
- OLBERZ, M, KAHLEN, K., ZINKERNAGEL J. (2018): Assessing the Impact of Reference Evapotranspiration Models on Decision Support Systems for Irrigation. In: Horticulturae 4, 49, S. 1–14. doi: 10.3390/horticulturae4040049. url: <http://www.mdpi.com/2311-7524/4/4/49/pdf>.

