

Kulturartbezogene Kennzahlen



www.alb-bayern.de/bef2

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Dr. Martin Müller
ALB Bayern e.V.



Prof. Dr. Jana Zinkernagel
Jürgen Kleber
Hochschule Geisenheim



Ekkehard Fricke
LWK Niedersachsen



Dr. Michael Beck
Hochschule Weihen-
stephan-Triesdorf



Markus Göttl
AELF
Deggendorf



Inhaltsverzeichnis

Seite

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Bewässerungs-App: Web-Entscheidungssystem für eine bedarfsgerechte Bewässerung | 4 |
| 2. | Wasserverbrauch durch Verdunstung | 4 |
| 3. | Berechnung des Wasseranspruchs eines Pflanzenbestandes | 4 |
| 4. | Einfluss der effektiven Wurzeltiefe auf die nutzbare Feldkapazität | 8 |
| 5. | Berechnung des Aneignungsvermögens eines Pflanzenbestandes aus dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat | 10 |
| 6. | Bewässerungsschwellen und Wasserangebotsstufen | 11 |
| 7. | Bewässerung mit begrenzter Wasserverfügbarkeit oder mit Herabstufung des Wasserangebots | 14 |
| 8. | Literatur | 15 |

1. Bewässerungs-App: Web-Entscheidungssystem für eine bedarfsgerechte Bewässerung

Die Bewässerungs-App ist ein webbasiertes Entscheidungssystem und Werkzeug zur Planung, Berechnung und Dokumentation von Bewässerungsmaßnahmen. Die Anwendung ist kostenlos unter www.alb-bayern.de/app für jeden frei zugänglich. Mit der Anwendung lässt sich:

- ▶ der Wasservorrat in Böden kalkulieren,
- ▶ der Wasserverbrauch von Freilandkulturen ermitteln und
- ▶ angepasst an den Bedarf der Kulturen und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen gezielt bewässern.

Die Bewässerungs-App ist fachlich an das Bewässerungsforum Bayern (BeF) angegliedert. Über die Weiterentwicklung mit neuen Systemkomponenten und der Festlegung konkreter Kennzahlen bezüglich Kulturart, Bodenart, Verteiltechnik u.a. entscheidet ein Expertengremium bestehend aus Fachleuten mit verschiedenen Tätigkeitsschwerpunkten und Zuständigkeiten.

2. Wasserverbrauch durch Verdunstung

Wasserverbrauch entsteht durch Verdunstung. Das der Bewässerungs-App hinterlegte Rechenmodell bestimmt den täglichen Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes (Verdunstungsrate) einerseits unter Berücksichtigung eines auf Tagesbasis berechneten Wasseranspruchs des Pflanzenbestandes. Andererseits findet

gleichermaßen ein auf Tagesbasis berechnetes Aneignungsvermögen des Pflanzenbestandes aus dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat Beachtung.

Die modellhafte Berechnung des täglichen Wasserverbrauchs eines Pflanzenbestandes erfolgt auf Tagesbasis gemäß der folgenden Beziehung:

$$\text{Wasserverbrauch [mm/Tag]} = \text{Wasseranspruch [mm/Tag]} \times \text{Aneignungsvermögen [\%]} \quad (\text{Formel 1})$$

3. Berechnung des Wasseranspruchs eines Pflanzenbestandes

Grundlage für die Berechnung des Wasseranspruchs eines Pflanzenbestandes ist die Grasreferenzverdunstung ET_0 der Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen (FAO) - Irrigation and drainage paper 56 (Allen et.al., 1998). Eine weitere Bezeichnung hierfür ist z.B. „Verdunstung nach FAO 56“. Das Verfahren verrechnet Wetterdaten (Temperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung) und berechnet eine für die Kulturart „Gras“ spezifische Referenzverdunstung. Die Referenzvegetation ist ein kurzer dichter Grasbestand mit 12 cm Wuchshöhe und guter Wasserversorgung, so dass keine Einschränkung der

Verdunstung aufgrund von Wassermangel besteht. Die Grasreferenzverdunstung beschreibt damit die potentielle Evapotranspiration, die eine optimal versorgte Grasreferenzvegetation zeigt.

Die Witterungsparameter zur Berechnung der Grasreferenzverdunstung werden derzeit über Datenschnittstellen zu Wetterdatenanbietern, in Deutschland dem Deutschen Wetterdienst, abgerufen. Lokale Niederschlagsereignisse lassen sich in der Nutzeroberfläche der Bewässerungs-App auf Tagesbasis korrigieren.

Die reale Evapotranspiration beliebiger optimal versorgter Pflanzenbestände lässt sich durch Multiplikation der Grasreferenzverdunstung ET_0 mit pflanzenspezifischen sogenannten „kc-Werten“ ableiten. Diese kc-Werte charakterisieren den Wasserbedarf von Kulturarten zu bestimmten Entwicklungsstadien. Die Reaktionen der Pflanzenbestände auf Wassermangel lassen sich durch das Verfahren nicht nachbilden, da keine Informationen über den Wassergehalt der Böden verarbeitet werden.

Je nach Kulturart werden für bis zu vier Wachstumsstadien kc-Werte definiert. Die kc-Werte haben für einen bestimmten Entwicklungsabschnitt solange Gültigkeit, bis ein Stadium erreicht wird, für das ein neuer kc-Wert definiert ist. Um dem tatsächlichen Wachstum und dem dadurch bedingten sich allmählich ändernden Wasseranspruch gerecht zu werden, wird beim Modellansatz der Bewässerungs-App ein kontinuierlicher Übergang binnen 11 Tage berechnet (siehe Abb. 1, „kc-Werte_geglättet“). Die kalkulierte Höhe des Gesamtwasseranspruchs bleibt hierbei unverändert.

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte zum maximalen Wasserbedarf an heißen und wolkenfreien Sommertagen entsprechen dem Wasser-

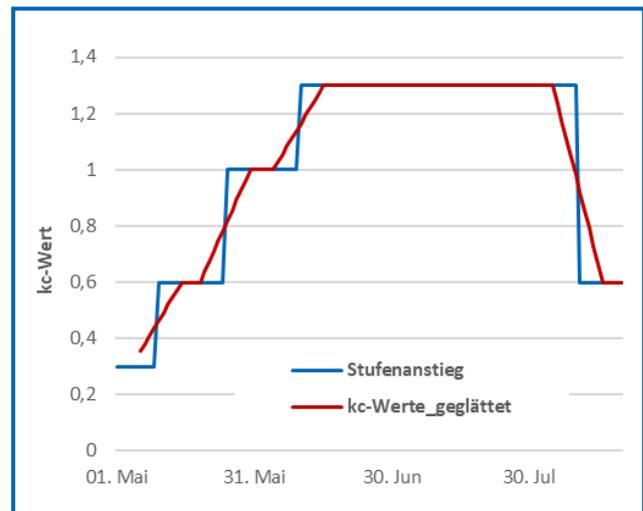


Abb. 1: Kontinuierliche Veränderung der kc-Werte gemäß Bewässerungs-App

verbrauch von leistungsstarken voll entwickelten Pflanzenbeständen unter der Voraussetzung, dass das Wasserangebot im Boden nicht limitiert ist. In der Regel limitieren mehrere verschiedenartige Faktoren die Wasseraufnahme und damit den Verbrauch bzw. die Verdunstung, sodass die Wasserbedarfswerte in der Praxis häufig deutlich niedriger sind, als die hier gelisteten Maximalwerte.

Begriffserklärungen

Verdunstung: Vorgang, bei dem Wasser vom flüssigen oder festen Zustand in den gasförmigen (Wasserdampf) übergeht

Verdunstungsrate: Wassermenge, die von einer bestimmten Oberfläche pro Zeiteinheit verdunstet

Evaporation: Verdunstung der unbewachsenen Erdoberfläche, des auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenen Niederschlags (Interzeptionsverdunstung) und von freien Wasserflächen. Dabei sind biotische Vorgänge ausgeschlossen.
Transpiration: Verdunstung von Oberflächen lebender Organismen (in der Regel Pflanzenoberflächen) aufgrund biotischer Prozesse

Evapotranspiration ET: Summe von Evaporation und Transpiration, d. h. von Bodenverdunstung, Interzeptionsverdunstung und Pflanzenverdunstung

Potentielle Verdunstung: Verdunstung von Oberflächen bei gegebenen klimatischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Wasser

Potentielle Evapotranspiration: Mögliche Verdunstung einer natürlich bewachsenen Fläche

Reale Verdunstung: Verdunstung von Oberflächen bei gegebenen klimatischen Bedingungen bei tatsächlichem Wasservorrat im Boden

Reale Evapotranspiration: Reale Verdunstung einer natürlich bewachsenen Fläche

Tabelle 1, Teil 1 von 3: Kc-Werte, relativer Wasserbedarf und maximaler Wasserbedarf einzelner Kulturarten gemäß Bewässerungs-App

| Entwicklungsstadium | Kc-Wert | Wasserbedarf, relativ | Wasserbedarf, maximal (heißer Sommertrag) |
|---|---------|-----------------------|---|
| <u>Gras, Grünland, Weide, ET₀</u> 20 cm Wuchshöhe | 1,0 | 100% | 5,8 mm/Tag |
| <u>Kartoffeln</u> Auflaufen | 0,6 | 45% | 7,5 mm / Tag |
| Wuchshöhe der Pflanzen 15 cm | 1,0 | 75% | |
| Bestandesschluss (BBCH 39) | 1,3 | 100% | |
| Vergilbung, 50 % | 0,6 | 45% | |
| <u>Mais</u> Auflaufen | 0,7 | 60% | |
| Wuchshöhe der Pflanzen 50 cm | 1,0 | 85% | |
| Wuchshöhe der Pflanzen 150 cm | 1,2 | 100% | |
| <u>Sojabohnen</u> Auflaufen | 0,7 | 50% | 8,1 mm / Tag |
| Längenwachstum, Beginn (BBCH 31) | 1,2 | 85% | |
| Blüte, Beginn (BBCH 61) | 1,4 | 100% | |
| <u>Sommergerste</u> Auflaufen | 0,5 | 40% | 6,9 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,1 | 90% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,2 | 100% | |
| <u>Sommerweizen</u> Auflaufen | 0,5 | 40% | 6,9 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,1 | 90% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,2 | 100% | |
| <u>Triticale</u> Vegetationsbeginn | 0,7 | 65% | 6,3 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,0 | 90% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,1 | 100% | |
| <u>Wintergerste</u> Vegetationsbeginn | 0,8 | 60% | 7,5 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,1 | 85% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,3 | 100% | |
| <u>Winterraps</u> Vegetationsbeginn | 0,7 | 60% | 6,9 mm / Tag |
| Längenwachstum, Beginn (BBCH 30) | 1,1 | 90% | |
| Entwicklung Blütenanlagen (BBCH 55) | 1,2 | 100% | |
| <u>Winterroggen</u> Vegetationsbeginn | 0,7 | 65% | 6,3 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,0 | 90% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,1 | 100% | |
| <u>Winterweizen</u> Vegetationsbeginn | 0,8 | 65% | 6,9 mm / Tag |
| Schossen, Beginn (BBCH 30) | 1,1 | 90% | |
| Fahnenblatt, ausgebildet (BBCH 39) | 1,2 | 100% | |
| <u>Zuckerrüben</u> Auflaufen | 0,7 | 60% | 6,9 mm / Tag |
| Erscheinen 5. Blatt | 1,0 | 85% | |
| Ab Bestandesschluss | 1,2 | 100% | |
| <u>Blumenkohl</u> Pflanzung | 0,7 | 45% | 9,2 mm / Tag |
| Erscheinen 8. Blatt | 1,1 | 70% | |
| Durchmesser 70% (BBCH 37) | 1,6 | 100% | |

Tabelle 1, Teil 2 von 3: Kc-Werte, relativer Wasserbedarf und maximaler Wasserbedarf einzelner Kulturarten gemäß Bewässerungs-App

| Entwicklungsstadium | Kc-Wert | Wasserbedarf, relativ | Wasserbedarf, maximal (heißer Sommertrag) |
|--|---------|-----------------------|--|
| <u>Brokkoli</u> | | | |
| Pflanzung | 0,7 | 40% | |
| Erscheinen 8. Blatt | 1,1 | 60% | |
| Erscheinen 14. Blatt (BBCH 114) | 1,8 | 100% | 10,4 mm / Tag |
| <u>Bundzwiebeln</u> | | | |
| Auflaufen | 0,7 | 45% | |
| Erscheinen 4. Blatt | 0,9 | 55% | |
| Erscheinen 8. Blatt | 1,6 | 100% | 9,2 mm / Tag |
| <u>Buschbohne</u> | | | |
| Auflaufen | 0,4 | 30% | |
| Blühbeginn (BBCH 61) | 1,1 | 85% | |
| 1. Hülse volle Länge (BBCH 71) | 1,3 | 100% | 7,5 mm / Tag |
| <u>Erbsen, grün</u> | | | |
| Auflaufen | 0,5 | 40% | |
| Erscheinen 6. Blatt | 0,8 | 60% | |
| Blüte, Beginn (BBCH 61) | 1,2 | 90% | |
| Hülsenbildung, Beginn | 1,3 | 100% | 7,5 mm / Tag |
| <u>Erdbeeren, Ertragsjahre</u> | | | |
| Austrieb | 0,6 | 65% | |
| Fruchtbildung, Beginn | 0,9 | 100% | 5,2 mm / Tag |
| Ernte, Beginn | 0,8 | 90% | |
| Ernte, Ende | 0,6 | 65% | |
| Blütenanlagen Herbst, Beginn | 0,7 | 80% | |
| <u>Gurken (Einlegegurken)</u> | | | |
| Auflaufen | 0,7 | 45% | |
| Blühbeginn (BBCH 61) | 1,1 | 75% | |
| Erntebeginn (BBCH 71) | 1,5 | 100% | 8,7 mm / Tag |
| <u>Knollenfenchel, gepflanzt</u> | | | |
| Pflanzung | 0,7 | 40% | |
| Erscheinen 5. Blatt | 1,3 | 70% | |
| Erscheinen 8. Blatt (BBCH 18) | 1,8 | 100% | 10,4 mm / Tag |
| <u>Kopfkohl, gepflanzt oder gesät</u> | | | |
| Pflanzung oder Auflaufen | 0,7 | 65% | |
| Erscheinen 8. Blatt | 0,8 | 75% | |
| Erscheinen 11. Blatt | 1,0 | 90% | |
| Beginnende Kopfbildung (BBCH 41) | 1,1 | 100% | 6,3 mm / Tag |
| <u>Kopfsalat, Frühjahr, Sommer, Herbst</u> | | | |
| Pflanzung | 0,7 | 45% | |
| Erscheinen 8. Blatt | 1,1 | 70% | |
| Durchmesser 20% (BBCH 42) | 1,6 | 100% | 9,2 mm / Tag |
| <u>Möhren</u> | | | |
| Auflaufen | 0,4 | 35% | |
| Erscheinen 5. Blatt | 0,8 | 75% | |
| Bestandesschluss (BBCH 43) | 1,1 | 100% | 6,3 mm / Tag |
| <u>Petersilie</u> | | | |
| Auflaufen | 0,4 | 30% | |
| Erscheinen 5. Blatt | 1,1 | 85% | |
| 1. Ernte | 1,3 | 100% | 7,5 mm / Tag |

Tabelle 1, Teil 3 von 3: Kc-Werte, relativer Wasserbedarf und maximaler Wasserbedarf einzelner Kulturarten gemäß Bewässerungs-App

| Entwicklungsstadium | Kc-Wert | Wasserbedarf, relativ | Wasserbedarf, maximal (heißer Sommertrag) |
|---------------------------------------|---------|-----------------------|---|
| <u>Porree</u> | | | |
| Pflanzung | 0,7 | 40% | |
| Schaftdurchmesser 13 mm | 1,1 | 60% | |
| Schaftdurchmesser 16 mm | 1,6 | 90% | |
| Schaftdurchmesser 20 mm | 1,8 | 100% | 10,4 mm / Tag |
| <u>Radieschen</u> | | | |
| Auflaufen | 0,7 | 80% | |
| Erscheinen 3. Laubblatt | 0,9 | 100% | 5,2 mm / Tag |
| <u>Zucchini</u> | | | |
| Auflaufen | 0,7 | 45% | |
| Blühbeginn (BBCH 61) | 1,1 | 70% | |
| Bestandesschluss (BBCH 71) | 1,6 | 100% | 9,2 mm / Tag |
| <u>Zwiebeln, gepflanzt oder gesät</u> | | | |
| Pflanzung oder Auflaufen | 0,7 | 45% | |
| Erscheinen 5. Blatt | 1,3 | 80% | |
| Erscheinen 8. Blatt | 1,6 | 100% | 9,2 mm / Tag |
| Schlottenknicken | 0,0 | 0% | |

Der Bewässerungs-App zugrundeliegende Kc-Werte wurden für Kartoffeln anhand von Ergebnissen aus Feldversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) abgeleitet. Ebenfalls für Kartoffeln und außerdem für Mais, Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste und Winterraps wurde die Kc-Werte auf der Grundlage von umfangreichen historischen Ergebnissen aus mehrjährigen Feldversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NS) entwickelt. Bei Winterroggen, Triticale, Sommergerste und Sommerweizen, Sojabohnen und Erdbeeren wurden die Kc-Werte auf Basis kulturartspezifischer Eigenschaften und gesammelter Praxiserfahrungen beim Bewässern und weiterem Expertenwissen vorgenommen. Für gärtnerische Kulturen entsprechen die Kc-Werte den am Institut für Gemüsebau der Hochschule Geisenheim wissenschaftlich erarbeiteten Kc-Werten (Zinkernagel et al., 2020).

4. Einfluss der effektiven Wurzeltiefe auf die nutzbare Feldkapazität

Das von Pflanzen verbrauchte Wasser stammt aus dem pflanzenverfügbaren Bodenvorrat, der über natürliche Niederschläge und gegebenenfalls Bewässerungsgaben gespeist wird.

Ein Maß für das maximal pflanzenverfügbare Bodenwasser ist die nutzbare Feldkapazität nFK. Für die Berechnung des Bewässerungsstartes, für die Bemessung der Höhe einzelner Wasser-

gaben und des Gesamtzusatzwasserbedarfs während einer Saison ist die Kenntnis der nFK Voraussetzung.

Die nFK eines Anbausystems ergibt sich aus der nFK des zugrundeliegenden Bodens in Vol.-% multipliziert mit der effektiven Wurzeltiefe der betrachteten Kulturart gemäß nachfolgendem Beispiel:

$$\text{nFK (Anbausystem)} = \text{nFK (Boden)} \times \text{Wurzeltiefe (Kulturart)} \quad (\text{Formel 2})$$

$$\text{nFK (Kartoffel zur Blüte, IIS)} = 16 \text{ Vol.-%} \quad \times \quad 60 \text{ cm}$$

$$\text{nFK (Kartoffel zur Blüte, IIS)} = 16 \text{ mm / 10 cm} \quad \times \quad 60 \text{ cm}$$

$$\text{nFK (Kartoffel zur Blüte, IIS)} = \underline{96 \text{ mm}}$$

Während des Jugendwachstums eines Pflanzenbestandes bzw. beginnend zu Vegetationsstart (mehrjährigen Kulturen oder Winterungen) berechnet das hinterlegte Modell ausgehend von einer Kulturart spezifischen angenommenen Mindestwurzeltiefe ein Wurzeltiefenwachstum nach dem „Prinzip einer logistischen Funktion“ (Nicholas, 2005).

Tabelle. 2: Maximale effektive Wurzeltiefen gemäß Bewässerungs-App; für Gemüse nach Fink et al., 2007

| Entwicklungsstadium, Erreichen | Effektive Wurzeltiefe, maximal |
|--|--------------------------------|
| Gras, Grünland | 30 cm |
| Kartoffeln - Frühkartoffeln | 40 cm |
| Kartoffeln - Speise-, Veredelungs-, Stärkekartoffeln | 60 cm |
| Mais | 100 cm |
| Sojabohnen | 130 cm |
| Sommergerste | 60 cm |
| Sommerweizen | 60 cm |
| Triticale | 130 cm |
| Weide | 25 cm |
| Wintergerste | 100 cm |
| Winterraps | 150 cm |
| Winterroggen | 130 cm |
| Winterweizen | 130 cm |
| Zuckerrüben | 180 cm |
| Blumenkohl | 60 cm |
| Brokkoli | 60 cm |
| Bundzwiebeln | 60 cm |
| Buschbohne | 60 cm |
| Erbsen - grün | 60 cm |
| Erdbeeren - Ertragsjahre | 25 cm |
| Gurken - Einlegegurken | 40 cm |
| Knollenfenchel - gepflanzt | 60 cm |
| Kopfkohl - gepflanzt oder gesät | 60 cm |
| Kopfsalat - Frühjahr, Sommer, Herbst | 30 cm |
| Möhren | 60 cm |
| Petersilie | 60 cm |
| Porree | 60 cm |
| Radieschen | 15 cm |
| Zucchini | 40 cm |
| Zwiebeln - gepflanzt oder gesät | 60 cm |

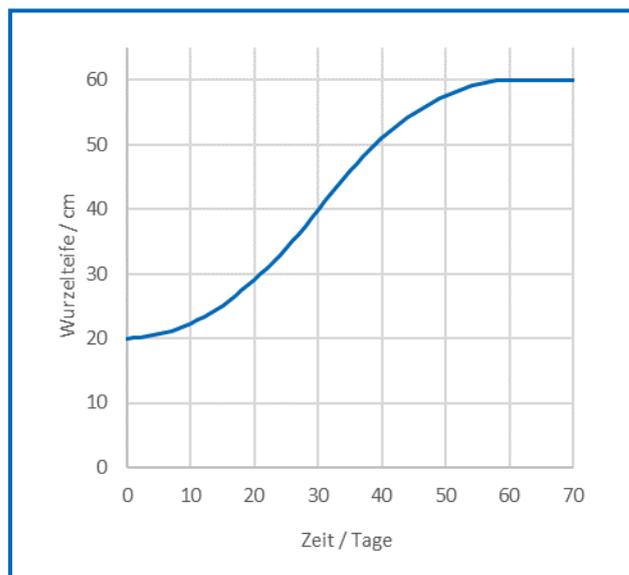


Abb. 2: Berechnete effektive Wurzeltiefe in Abhängigkeit der Wachstumszeit (Jugendentwicklung ab Saat, Pflanzen) in Tagen gemäß Bewässerungs-App; Beispiel Kartoffeln

Es gilt folgende Beziehung:

$$W(t) = W_0 + (W_{\max} - W_0) / (1 + T \times e^{-bt}) \quad (\text{Formel 3})$$

W(t) Wurzeltiefe in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs

W₀ Mindestwurzeltiefe, Kulturart abhängig

W_{max} Maximale Wurzeltiefe, Kulturart abhängig, siehe Tabelle 2

T, b Wachstumsfaktoren, Kulturart abhängig

Mit einer Zunahme der effektiven Wurzeltiefe steigt die berechnete nutzbare Feldkapazität des Anbausystems nach der oben genannten Beziehung (Formel 2) proportional an.

Die dem Modell hinterlegten maximalen effektiven Wurzeltiefen verschiedener Kulturarten sind in Tabelle 2 gelistet.

5. Berechnung des Aneignungsvermögens eines Pflanzenbestandes aus Dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat

Die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser sinkt während Trockenphasen. Ab einem gewissen Grad der Austrocknung steigen außerdem die Saugkräfte sehr stark an, die das restliche pflanzenverfügbare Wasser im Boden binden. Diese Kräfte müssen die Pflanzen überwinden, um sich dieses Wasser anzueignen. Das kostet Energie.

Die Folgen sind geringere Wasseraufnahmen und ein Rückgang der Verdunstung und verringertes Wachstum.

Für die modellhafte Berechnung des Aneignungsvermögens eines Pflanzenbestandes aus dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat wurden folgende Regeln festgelegt:

Bodenfeuchte \geq 65% nFK \rightarrow Aneignungsvermögen = 100%
Bodenfeuchte $<$ 65% nFK \rightarrow Aneignungsvermögen = Bodenfeuchte / (nFK x 0,65)

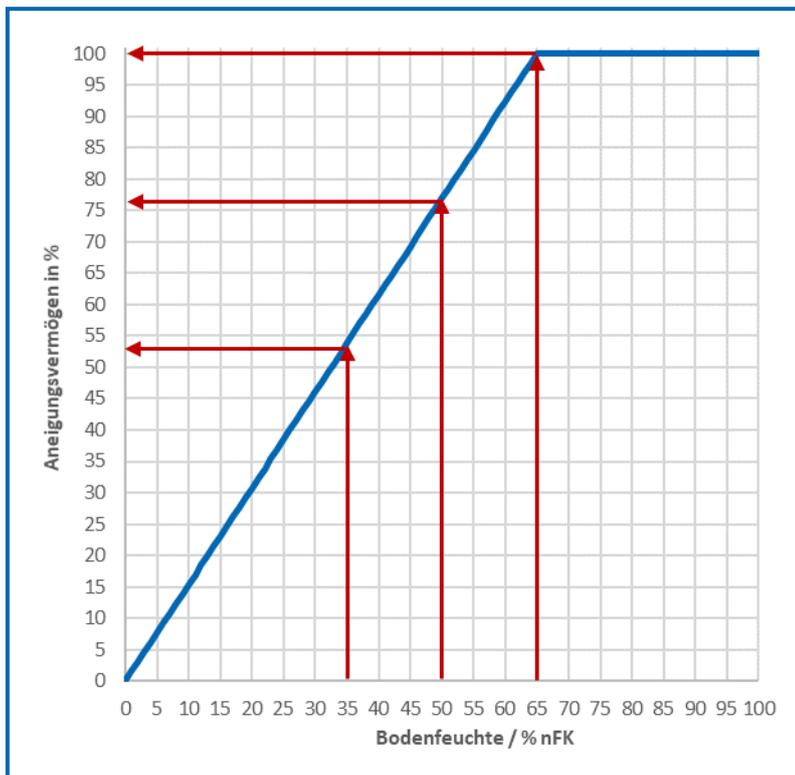


Abb. 3: Der Bewässerungs-App zugrundeliegendes relatives Aneignungsvermögen eines Pflanzenbestandes in % in Abhängigkeit der Bodenfeuchte im effektiven Wurzelraum in % der nutzbaren Feldkapazität nFK

Der Berechnungsansatz und die Grenze von 65% der nFK, ab der das Aneignungsvermögen eines Kulturbestandes aus dem pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat allmählich abnimmt, wurden anhand von historischen Versuchsergebnissen der LWK Niedersachsen abgeleitet (Versuchsstandort Hamerstorf mit schwach lehmigem Sandboden, 33 Bodenpunkte). Betrachtet wurden hierbei zu unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen jeweils Varianten,

die nicht oder mit Bewässerungsschwellen von 50% bzw. 35% der nFK berechnet worden sind.

Niederschlag und Beregnung benetzen den Blattapparat und durchfeuchten die Böden immer von oben nach unten. Erst nachdem in der oberen Bodenzone eine Aufsättigung stattgefunden hat, dringt das Wasser in die nächsttiefere Zone vor.

Dieser Wassereintrag verdunstet entweder als Interzeptionsverlust direkt von den Blattoberflächen, er verdunstet in Form von Evaporation an der Bodenoberfläche oder er wird aufgrund des oberflächlichen Wasser-Sättigungs-effekts im Boden sehr gut von den Wurzeln aufgenommen und verdunstet durch Transpiration.

Nach Niederschlägen oder Bewässerungsmaßnahmen ist das Aneignungsvermögen daher

modellgemäß unabhängig von der tatsächlich resultierenden Bodenfeuchte in % der nFK in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe 1-3 Tage 100%, und der kc-Wert wird für diese Zeit - sollte er eigentlich niedriger sein - auf einen Wert von 1,0 angehoben. Dies gilt maximal bis zu dem Zeitpunkt, zu dem in Höhe des Wassereintrags Verdunstung stattgefunden hat.

6. Bewässerungsschwellen und Wasserangebotsstufen

Je trockener die Böden sind, desto dringender ist die Bewässerung. Ein objektives Maß für diese Dringlichkeit ist die Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität nFK. Diese lässt sich mit Hilfe der Bewässerungs-App auf Tagesbasis errechnen. Der Nutzer kann hierbei Voreinstellungen (siehe Tabelle 4) korrigieren und den gerade noch tolerierbaren Bodenfeuchtegrenzwert, die sogenannte Bewässerungsschwelle, im Verlauf einer Wachstumsperiode nach individuellem Ermessen festlegen. Erst bei Unterschreiten der Schwelle empfiehlt das System Bewässerungsgaben.

Neben der Bewässerungsschwelle ermöglicht die Bewässerungs-App außerdem durch die Wahl der „Wasserangebotsstufe“ den kalkulierten Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes und damit den Zusatzwasserbedarf stufenweise zu ändern. Zur Auswahl stehen vier Stufen. Bei der Wasserangebotsstufe „hoch“ wird mit den zugrunde liegenden kc-Werten gerechnet, bei „mittlerer“ Stufe mit 90% bis hin zu 70% der ursprünglichen Werte bei Auswahl der Stufe „gering“.

Die in Tabelle 4 angegebenen Werte zum maximalen Wasserbedarf an heißen und wolkenfreien Sommertagen und zum mittleren Wasserbedarf bei anhaltendem Sommerwetter entsprechen dem Wasserverbrauch voll entwickelter Pflanzenbestände gemäß Bewässerungs-App bei gegebenen Voreinstellungen.

Tabelle 3: Wasserangebotsstufen der Erzeugung gemäß Bewässerungs-App

| Wasserangebotsstufe | kc-Wert resultierend |
|---------------------|----------------------|
| hoch | kc-Wert x 1,0 |
| mittel | kc-Wert x 0,9 |
| mäßig | kc-Wert x 0,8 |
| gering | kc-Wert x 0,7 |

Tabelle 4, Teil 1 von 2: Start und Ende kulturartspezifischer Bewässerungsperioden, Bewässerungsschwellen, Wasserangebotsstufen (Erläuterung siehe Punkt 6), maximaler Wasserbedarf an einem heißem Sommertag und durchschnittlicher Wasserbedarf während einer Sommerwetterperiode gemäß Bewässerungs-App (Voreinstellungen)

| Bewässerungsperiode / Entwicklungsstadium | | Bewässerungs-Schwelle | Wasserangebotsstufe | Max. Wasserbedarf (an heißem Sommertag) | Ø Wasserbedarf (bei Sommerwetter) |
|---|--|-------------------------------|---------------------|---|-----------------------------------|
| Start | Ende | | | | |
| <u>Gras, Grünland, Weide, ET₀</u> Vegetationsbeginn | Vegetationsende | 30% nFK | hoch | 5,8 mm / Tag | 3,4 mm / Tag |
| <u>Kartoffeln - Frühkartoffeln</u> Auflaufen | Ernte | 60% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 6,3 mm / Tag |
| <u>Kartoffeln - Speise-, Stärke- und Veredelungskartoffeln</u> Knollenansatz, Beginn; häufig ab 10-15 cm Wuchshöhe | ab Vergilbung | 50% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 5,9 mm / Tag |
| <u>Mais</u> Wuchshöhe Pflanzen 20 cm | Milchreife (BBCH 73) | 35% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 3,9 mm / Tag |
| <u>Sojabohnen</u> Längenwachstum, Beginn (BBCH 31) | 30% der Hülsen mit Endgröße (BBCH 73) | 45% nFK | hoch | 8,1 mm / Tag | 5,1 mm / Tag |
| <u>Sommergerste</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 50% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 5,1 mm / Tag |
| <u>Sommerweizen</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 35% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 4,3 mm / Tag |
| <u>Triticale</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 35% nFK | hoch | 6,3 mm / Tag | 3,9 mm / Tag |
| <u>Wintergerste</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 35% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 4,7 mm / Tag |
| <u>Winterraps</u> Längenwachstum, Beginn (BBCH 30) | 30% der Schoten mit Endgröße (BBCH 73) | 35% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 4,3 mm / Tag |
| <u>Winterroggen</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 35% nFK | hoch | 6,3 mm / Tag | 3,9 mm / Tag |
| <u>Winterweizen</u> Schossen, Beginn (BBCH 30) | Blüte, Ende (BBCH 69) | 35% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 4,3 mm / Tag |
| <u>Zuckerrüben</u> Erscheinen 5. Blatt | 5 Wochen vor Ernte | 35% nFK | hoch | 6,9 mm / Tag | 4,3 mm / Tag |
| <u>Blumenkohl</u> Pflanzung | Ernte | 60% nFK | mittel | 8,7 mm / Tag | 6,6 mm / Tag |
| <u>Brokkoli</u> Pflanzung | Ernte | 60% nFK | mittel | 9,8 mm / Tag | 7,1 mm / Tag |
| <u>Bundzwiebeln</u> Auflaufen | Ernte | 60% nFK | mäßig | 7,5 mm / Tag | 5,7 mm / Tag |
| <u>Buschbohne</u> Auflaufen | Ernte | 60% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 5,9 mm / Tag |
| <u>Erbsen - grün</u> Auflaufen | Ernte | 60% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 5,9 mm / Tag |
| <u>Erdbeeren - Ertragsjahre</u> Austrieb Ernte, Ende Blütenanlagen Herbst, Beginn | Blütenanlagen Herbst, Ende | 60% nFK 35% nFK 60% nFK | hoch | 5,2 mm / Tag | 3,6 mm / Tag |

Tabelle 4, Teil 2 von 2: Start und Ende kulturartspezifischer Bewässerungsperioden, Bewässerungsschwellen, Wasserangebotsstufen (Erläuterung siehe Punkt 6), maximaler Wasserbedarf an einem heißem Sommertag und durchschnittlicher Wasserbedarf während einer Sommerwetterperiode gemäß Bewässerungs-App (Voreinstellungen)

| Bewässerungsperiode / Entwicklungsstadium | | Bewässerungs- Schwelle | Wasser- angebots- stufe | Max. Wasser- bedarf (an heißem Sommertag) | Ø Wasser- bedarf (bei Sommer- wetter) |
|---|-----------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|
| Start | Ende | | | | |
| <u>Gurken - Einlegegurken</u> Auflaufen Ernte, Beginn (BBCH 71) | Ernte, Ende | 50% nFK 60% nFK | mittel | 7,5 mm / Tag | 6,6 mm / Tag |
| <u>Knollenfenchel - gepflanzt</u> Pflanzung | Ernte | 60% nFK | mäßig | 8,3 mm / Tag | 6,8 mm / Tag |
| <u>Kopfkohl - gepflanzt, gesät</u> Pflanzung oder Auflaufen | Ernte | 50% nFK | hoch | 6,3 mm / Tag | 4,8 mm / Tag |
| <u>Kopfsalat - Frühjahr, Sommer, Herbst</u> Pflanzung | Ernte | 60% nFK | mittel | 8,1 mm / Tag | 6,9 mm / Tag |
| <u>Möhren</u> Auflaufen | Ernte | 50% nFK | hoch | 6,3 mm / Tag | 4,8 mm / Tag |
| <u>Petersilie</u> Auflaufen | Vegetationsende | 60% nFK | hoch | 7,5 mm / Tag | 6,0 mm / Tag |
| <u>Porree</u> Pflanzung | Ernte | 60% nFK | mäßig | 8,3 mm / Tag | 6,8 mm / Tag |
| <u>Radieschen</u> Auflaufen | Ernte | 60% nFK | hoch | 5,2 mm / Tag | 4,4 mm / Tag |
| <u>Zucchini</u> Auflaufen Ernte, Beginn (BBCH 71) | Ernte, Ende | 50% nFK 60% nFK | mittel | 7,5 mm / Tag | 7,0 mm / Tag |
| <u>Zwiebeln - gepflanzt, gesät</u> Pflanzung oder Auflaufen Erscheinen 5. Blatt | Ernte | 35% nFK 50% nFK | mäßig | 7,5 mm / Tag | 5,7 mm / Tag |

Nur bei anhaltender Frühjahrs-/ Frühlommer-trockenheit und Bodenfeuchten < 30 % nFK, bezogen auf 30 cm Wurzeltiefe, sollten landwirtschaftliche Kulturen ggfs. bereits vor den in Tabelle 4 genannten Starts der Bewässerungsperiode in verhaltenem Umfang bewässert werden, z.B. mit einer Beregnungsgabe in Höhe von 20 mm oder dreimal 5 mm Tropfbewässerung in mehrtägigem Abstand. Unter solch trockenen Verhältnissen verabreichtes Zusatzwasser sichert das ansonsten stark gebremste oder gänzlich ausbleibende Wurzelwachstum, die Nährstoffverfügbarkeit und den zeitigen Auflauf und die Frühentwicklung oberirdischer Pflanzenorgane.

Frische Pflanzungen und Aussaaten von Freilandgemüse:

Ergänzend zu den in Tabelle 4 gelisteten Bewässerungsschwellen und Wasserbedarfsstufen wird für frische Pflanzungen und Aussaaten von Freilandgemüse folgendes „Startgabenmanagement“ empfohlen:

- ▶ Am Tag der Pflanzung / Saat: 5 mm
- ▶ Bis zum Auflauf / Anwachsen: 5 mm im Abstand von 1-2 Tagen (Böden feucht halten)

7. Bewässerung mit begrenzter Wasserverfügbarkeit oder mit Herabstufung des Wasserangebots

Die Bewässerungs-App unterstützt den sachgerechten und zugleich sparsamen Wassereinsatz, und wurde für ein Bewässerungsmanagement nach dem Prinzip einer „Defizitbewässerung“ konzipiert. Pflanzen passen Ihren Wasserverbrauch dem Angebot an. Bei knappem Angebot werden Mechanismen aktiviert, welche die Effizienz der Wassernutzung durch die Pflanzen steigern. Das kann in einem gewissen Bereich Wasser sparen, ohne dass es zu nennenswerten Ertrags- und Qualitätsrückgängen kommt. Der Versorgungsgrad eines Pflanzenbestandes lässt sich anhand der vom Anwender gewählten Bewässerungsschwelle in % nFK, und durch eine Anpassung der Wasserangebotsstufe steuern.

Wenn der pflanzenverfügbare Bodenvorrat zu dem im System festgelegten Anteil entleert ist - dies entspricht einem Unterschreiten der gewählten Bewässerungsschwelle - erfolgt die Systemempfehlung, zu bewässern.

Grundsätzlich gilt: Je geringer die gewählte Bewässerungsschwelle, ab der bewässert wird ist, desto kleiner wird der kalkulierte Bewässerungsbedarf insgesamt. Zum einen deshalb, weil der natürliche Bodenwasservorrat stärker ausgeschöpft wird. Zum anderen, weil mit sinkender Bodenfeuchte das Aneignungsvermögen der Pflanzen und in der Folge die Wasseraufnahme, die Verdunstung und somit der Wasserverbrauch zunehmend eingeschränkt sind.

Welcher Grenzwert im Einzelfall sinnvoll ist, hängt unter anderem von der betrachteten Kulturart, der Verwertung des Erntegutes, der Art der eingesetzten Technik, den verfügbaren Wasserressourcen und der vorhandenen Schlagkraft des Betriebes ab. Deshalb kann es durchaus sinnvoll sein, die im System hinterlegten Voreinstellungen, siehe Tabelle 4, der betriebsspezifischen Situation gemäß anzupassen.

Je geringer die gewählte Wasserangebotsstufe der Erzeugung ist, desto geringer ist der kalkulierte Wasserverbrauch des betrachteten Pflanzenbestandes. Es können die Wachstumsgeschwindigkeit und das Ertragsniveau sinken und

DEFIZITBEWÄSSERUNG - FOLGEN EINER SENKUNG DER BEWÄSSERUNGSSCHWELLE

- ▶ Durchschnittliche Bodenfeuchte sinkt
- ▶ Bewässerungsaufwand (= Summe Zusatzwassermenge) sinkt
- ▶ Wasser-Aneignungsvermögen durch die Pflanzen sinkt
- ▶ Wasseraufnahme sinkt
- ▶ Verdunstung bzw. Wasserverbrauch sinken
- ▶ Pflanzenwachstum verlangsamt sich
- ▶ Qualitätsrisiko (Ausnahme Weinbau u.ä.) und Ertragsrisiko steigen
- ▶ Risiko eines Totalausfalls der Ernte bei empfindlichen Kulturen (Gemüse) steigt
- ▶ Wasserspeichervermögen der Böden für Starkniederschläge steigt
- ▶ Versickerung sinkt
- ▶ Auswaschungsgefahr von Nährstoffen während der Bewässerungsperiode sinkt
- ▶ (Rest-)Bodenfeuchte zu Vegetationsende sinkt

es steigen die Risiken bezüglich der erzeugten Qualitäten.

Die geeignete Wasserangebotsstufe ist betriebsspezifisch zu wählen. Sie liegt im individuellen Ermessen und muss an die Intensität aller anderen Produktionsfaktoren, insbesondere an die Düngung und den Pflanzenschutz angepasst sein. Außerdem sind die Qualitätsansprüche an das Erntegut in besonderem Maße zu berücksichtigen.

Die kc-Werte für Gemüsearten (Hochschule Geisenheim) sichern die Erzeugung von Ernteprodukten mit hohen Qualitäten, wofür ein ausreichend hohes Wasserangebot der Gemüsekulturen garantiert werden muss. Dies wird insbesondere bei einem Bewässerungsmanagement erreicht, das gemäß den Systemeinstellungen „Bewässerungsschwelle 60% nFK“, „Wasserangebotsstufe hoch“ umgesetzt wird. Eine Senkung der Bewässerungsschwelle oder der Wasserangebotsstufe ist bei Frisch- und Feingemüsekulturen mit dem steigenden Risiko

eines Totalausfalls der Ernte verbunden, sofern in der Folge Qualitätsanforderungen des Marktes nicht erfüllt werden können. Deshalb sollten die Bewässerungsschwelle sowie die Wasserangebotsstufe nur „mittel“ bis „mäßig“ reduziert und der Bestand dabei genau beobachtet werden.

8. Literatur

- ▶ Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. United Nations FAO, Irrigation and Drainage, N.Y., Paper No. 56.
- ▶ Feller, C.; Fink M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.; Scharpf, H.C.; Schlaghecken, J.; Strohmeyer, K.; Weier, U.; Ziegler, J. (2011): Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse-und Zierpflanzenbau (IGZ), 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren
- ▶ Zinkernagel, J. et al. (2020): Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2019 <https://www.hs-geisenheim.de/forschung/institute/gemuesebau/ueberblick-institut-fuer-gemuesebau/bewaesserung/geisenheimer-bewaesserungssteuerung/> abgerufen am 30.03.2020

Zitiervorlage: Müller, M., Zinkernagel, J., Kleber, J., Fricke, E., Beck, M., Göttl, M. (2020): Fachliche Grundlagen zur Bewässerungs-App, Teil 1: Kulturartbezogene Kennzahlen. In: Bewässerungsforum Bayern, Ausgabe 1 - 4/2020, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef2, Stand [Abrufdatum].

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 71-3460

Telefax: 08161 / 71-5307

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de