



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Bayerische Landesanstalt
für Weinbau und Gartenbau

Deutscher Wetterdienst



Bewässerung im Ackerbau und in gärtnerischen Freilandkulturen



LfL-Information

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>
in Zusammenarbeit mit

- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)
- Amt für Landwirtschaft und Forsten Kitzingen,
Gartenbauzentrum Bayern Nord
- Amt für Landwirtschaft und Forsten Landshut,
Gartenbauzentrum Bayern Süd
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
- Wasserwirtschaftsamt München
- Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie,
Außenstelle Weihenstephan

Redaktion: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage 2008

Druck: ES-Druck, 85356 Freising

Schutzgebühr: 1.- €

© LfL

Bewässern nach guter fachlicher Praxis

Ziel der Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ist es, die Erträge in Qualität und Quantität zu sichern. Im Freilandgemüsebau aber auch im Obstbau ist Bewässerung häufig Voraussetzung für die Erzeugung marktfähiger Ware. Wasser ist auch in Bayern vielerorts Minimumfaktor für Ertrag und Qualität (siehe Abb. 1).

In Bayern werden ca. 20.000 Hektar (von insg. 3,2 Mio. ha) landwirtschaftlicher Nutzfläche regelmäßig bewässert, an erster Stelle Freilandgemüse und Kartoffeln. Regionale Schwerpunkte der Bewässerung liegen im Donautal zwischen Regensburg und Vilshofen und an der unteren Isar (Gemüse und Kartoffeln), im Kartoffelanbaugebiet zwischen Lech, Donau und Paar, im mittelfränkischen Knoblauchsland und im Maintal (Gemüse).

Dem Bedarf an Bewässerungswasser steht ein begrenztes Angebot gegenüber. Die Entnahme größerer Mengen von Wasser aus der Natur kann zu Konkurrenz mit anderen Nutzungsansprüchen oder zum Konflikt mit Wasserqualitätszielen führen, insbesondere in Trockenperioden, wenn Wasser knapp und gefragt ist. Deshalb ist es notwendig, die Regeln für die Genehmigung der Wasserentnahme und den Betrieb der Beregnungsanlage zu beachten und die Bewässerung möglichst effizient und nachhaltig zu gestalten. Effizienz mit Blick auf Kapitaleinsatz, Unterhaltskosten, Energie- und Arbeitszeitbedarf ist ohnehin Voraussetzung für wirtschaftlichen Erfolg bei der Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen.

Das vorliegende Merkblatt will Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei der Feldbewässerung vermitteln und Hinweise geben für effiziente und erfolgreiche Bewässerungspraktiken.

Ausgenommen sind Container- und Topfkulturen und geschlossene Bewässerungssysteme.

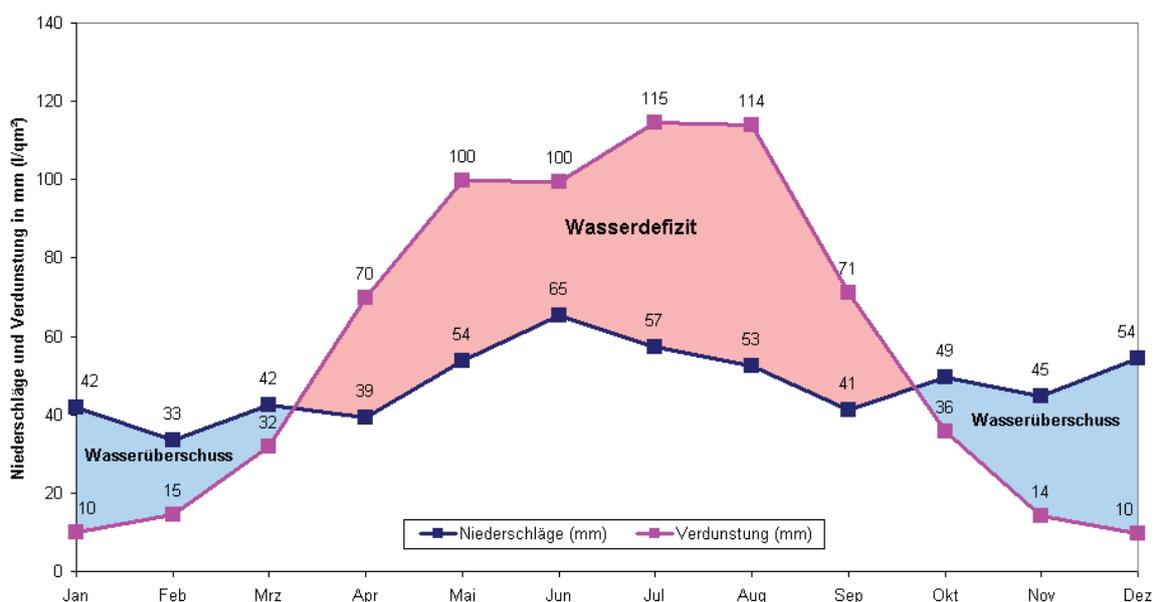


Abb.1: Niederschläge und Verdunstung in Würzburg im langjährigen Mittel

Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei der Feldbewässerung

1. Bemessung der Bewässerungsgaben
 - nach Pflanzenbedarf
 - angepasst an das Wasserspeichervermögen des Bodens
 - unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs
2. Verdunstungsverluste soweit möglich vermeiden
3. Nährstoffauswaschung vermeiden
4. Anforderungen an die Qualität des Bewässerungswassers beachten
5. Betrieb der Bewässerungsanlage wassersparend nach Vorgaben der wasserrechtlichen Genehmigung

Genehmigung und Betrieb einer Bewässerungsanlage

Wasserwirtschaftliche Vorgaben und rechtliche Rahmenbedingungen

Grundsätze

Zur Feldbewässerung dürfen mit behördlicher Erlaubnis Oberflächengewässer genutzt werden. Soweit solche nicht mit ausreichender Wasserführung zur Verfügung stehen, darf bei geeigneten Rahmenbedingungen das oberste Grundwasserstockwerk genutzt werden. Eine Nutzung kann beschränkt oder ausgeschlossen werden, wenn aufgrund anderweitiger Nutzungen, insbesondere der öffentlichen Trinkwasserversorgung, das Grundwasserdargebot nicht ausreicht. Nicht zulässig ist die Grundwassernutzung aus den gut geschützten „gespannten“ Grundwasservorkommen und aus tieferen Grundwasserstockwerken, da diese der Sicherung der Trinkwasserversorgung vorbehalten bleiben. Gespannte Grundwasservorkommen sind dadurch gekennzeichnet, dass das Grundwasser auf größerer Fläche durch eine Ton- oder Schluffschicht überdeckt ist und darunter unter Druck ansteht.

In **Wasserschutzgebieten** sind Bohrungen und damit Grundwasserbenutzungen für Bewässerungszwecke nach der jeweiligen Schutzgebietsverordnung in der Regel untersagt. Bei Fragen berät das zuständige Wasserwirtschaftsamt.

Die Entnahme von Wasser zur Feldbewässerung stellt einen mengenmäßigen Eingriff in den Wasserhaushalt dar. Unter Berücksichtigung der Summenwirkung kann die Wasserentnahme vor allem in niederschlagsarmen Zeiten erhebliche Auswirkungen auf die Wasserführung einzelner Gewässer oder die Grundwasservorräte haben. Bei zu hohen Wassergaben kann es zudem zur unerwünschten Auswaschung von Nährstoffen und Pflanzenschutzmittelwirkstoffen kommen. Mit dem entnommenen Wasser ist deshalb sparsam umzugehen.

Die sorgfältige und sachgerechte Ermittlung der einzelnen Bewässerungsgaben unter Berücksichtigung von Bodeneigenschaften und Witterungsverlauf ist unerlässlich. Die ent-

nommenen Wassermengen und Wassergaben sollten in einem **Betriebstagebuch** dokumentiert werden.

Beispiel zur Ermittlung der Wassergabe: Wird an der Wasseruhr der Pumpe ein Wert von 840 m³ abgelesen und wurde mit dieser Menge eine Fläche von 4,2 ha bewässert, so entspricht dies einer Gabe von 840.000 l pro 42.000 m² und damit 20 l/m² (20 mm).

Verwendung von Oberflächenwasser und Uferfiltrat

Für die Entnahme aus einem Oberflächengewässer (Fluss, Bach, See) ist grundsätzlich eine Erlaubnis erforderlich. Nähere Informationen (Auflagen, insbesondere zu Einschränkungen der Entnahme und Mindestwasserführung) erteilt die zuständige Kreisverwaltungsbehörde. Dort ist auch zu erfragen, ob bei einer Entnahme lediglich geringer Wassermengen oder in Ausnahmesituationen eine Erlaubnis nicht erforderlich ist. Der **Antrag auf Genehmigung** der Wasserentnahme ist bei der **Kreisverwaltungsbehörde** zu stellen, welche auch über Art und Umfang der vorzulegenden Unterlagen informiert.

Vor allem bei kleineren Gewässern ist zu prüfen, ob die Entnahme von **Uferfiltrat** der direkten Entnahme aus dem Gewässer vorzuziehen ist. Die rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechen dann den für Grundwasser geltenden Regelungen.

Verwendung von Grundwasser

Verbleibt nach Prüfung der Möglichkeit einer Entnahme aus oberirdischen Gewässern oder von Uferfiltrat nur die Entnahme von Grundwasser zur Feldbewässerung, so bedarf diese wie die Entnahme von Oberflächenwasser grundsätzlich der **wasserrechtlichen Erlaubnis**. Der Antrag auf Genehmigung der Wasserentnahme ist wiederum bei der Kreisverwaltungsbehörde zu stellen, welche auch über Art und Umfang der vorzulegenden Unterlagen informiert.

Errichtung eines Brunnens: Die Errichtung eines Brunnens im obersten Grundwasserstockwerk ist bei der Kreisverwaltungsbehörde (Landratsamt bzw. Kreisfreie Stadt) anzuzeigen. Um unnötige Kosten zu vermeiden, empfiehlt es sich, vor Baubeginn prüfen zu lassen, ob ein ausreichendes Grundwasserdargebot im obersten Stockwerk vorhanden ist und ob die Genehmigungsfähigkeit der beabsichtigten Grundwasserentnahme bereits geklärt ist. Mit dem Brunnenbau darf frühestens vier Wochen nach Einreichung der Anzeige begonnen werden, es sei denn, die Kreisverwaltungsbehörde stimmt früher zu.

Anforderungen an den Brunnenbau hinsichtlich des Grundwasserschutzes: Brunnen sind technische Bauwerke, deren Errichtung Sachverstand und Erfahrung erfordert. Dementsprechend soll mit der Ausführung nur eine einschlägige Fachfirma beauftragt werden. Zum Schutz des Grundwassers vor dem direkten Zulauf von Oberflächenwasser ist die Brunnenabdeckung wasserdicht auszuführen. Im Abschnitt oberhalb des Grundwasserspiegels bis zur Geländeoberkante ist der Ringraum außerhalb des Brunnen-Vollrohrs mit einer Ton-Zement-Mischung wirksam abzudichten. Die unmittelbare Umgebung des Brunnens ist gefällemäßig so zu gestalten, dass eine Trichterwirkung zum Brunnen hin vermieden wird und anfallendes Niederschlagswasser vom Brunnen wegläuft.

Gesetzliche Grundlagen

Landesentwicklungsplan 2006, Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Bayrisches Wassergesetz (BayWG) sowie die dazu ergangenen Verwaltungsvorschriften (VwVBayWG)

Anforderungen an die Wasserqualität

Bei der Beurteilung der **hygienischen Qualität von Bewässerungswasser** sind vor allem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

1. **Ausschluss einer Gesundheitsgefährdung von Mensch oder Tier** durch das Bewässerungswasser (durch direkten Kontakt bei der Ausbringung oder durch die Ernteprodukte)
2. **Ausschluss einer Gefährdung des Grundwassers** in Trinkwasserschutzgebieten

Bewässerungswasser ist dann als hygienisch unbedenklich zu bezeichnen, wenn es Krankheitserreger oder Stoffe nicht oder nur in Konzentrationen enthält, die Mensch und Tier nicht schädigen können. Beurteilungskriterien dazu liefert die **DIN-Norm 19650** „Bewässerung“ (Beuth Verlag, Berlin).

Bei der **Bewässerung von Kartoffeln** ist zu beachten, dass die Wasserentnahme zu diesem Zweck in einigen Gewässerabschnitten Bayerns verboten ist, weil diese mit dem Erreger der **Schleimkrankheit** (*Ralstonia solanacearum*) belastet sind. Auskünfte erteilen die Kreisverwaltungsbehörden.

Schwebstoffe und hohe **Eisen- oder Mangangehalte** können durch geeignete Filter entfernt werden.

Wasserspeichervermögen des Bodens

Dem Boden soll nicht mehr Wasser zugeführt werden, als die Pflanzen nutzen können. Sickerwasserverluste verursachen unnötige Kosten und Umweltrisiken. Der Pflanzenwasserbedarf muss das Maß für den Bewässerungswasserbedarf sein. Nur so ist ein hoher Gesamtwirkungsgrad erreichbar.

Im Kapitel „Bewässerungssteuerung“ wird abgehandelt, ab welcher Bodenfeuchte bewässert werden soll und ab wann der Bodenspeicher wieder ausreichend aufgefüllt ist. Ohne das **Wasserspeichervermögen des Bodens** einschätzen zu können, ist dies nicht möglich. Speichern heißt, Wasser in den Hohlräumen (Poren) des Bodens gegen die Schwerkraft festhalten. Das maximale Wasserspeichervermögen eines Bodens heißt **Feldkapazität** (FK). Tonige Böden haben einen hohen Anteil so kleiner Poren, dass die Saugkraft der Pflanzenwurzeln nicht ausreicht, um das darin enthaltene Wasser herausholen zu können. Den Anteil dieses Wassers im Boden nennt man **Totwasser** (TW). Die Feldkapazität schließt den Totwasseranteil mit ein. Für die Bewässerungssteuerung ist deshalb **die nutzbare Feldkapazität** entscheidend. Die nutzbare Feldkapazität ist die Feldkapazität ohne den Totwasseranteil. Diesen Bodenwasseranteil können die Wurzeln aus dem Boden saugen, er ist pflanzenverfügbar. Die Grenze zwischen nutzbarer Feldkapazität und Totwasser definiert den **Welkepunkt**.

Die Porenverteilung in einem Boden hängt vor allem von seiner Korngrößenzusammensetzung ab. **Tonböden** können zwar sehr viel Wasser speichern (hohe Feldkapazität), ein erheblicher Anteil des Wassers ist aber Totwasser. **Sandböden** können wenig Wasser speichern, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität sind niedrig. **Lehmböden** besitzen das größte Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser.

Die mit Wasser oder Luft gefüllten Poren im Boden nehmen in vielen Fällen knapp die Hälfte eines Bodenvolumens ein. Die andere Hälfte ist Festsubstanz (siehe Abb. 2). Den Porenanteil kann man - wie in Abb. 2 - in Volumenprozent angeben. 1 Prozent entspricht 1 Millimeter pro Dezimeter (1dm=100 mm). Der Lehm Boden aus Abbildung 2 hat ein Gesamtporenvolumen von 50 % oder 50 mm pro Dezimeter. 20 % des gesamten Bodenvolumens nehmen Poren ein, die so klein sind, dass das darin enthaltene Wasser nicht pflanzenverfügbar ist (Totwasser). Weitere 20 % des Bodenvolumens sind mittelgroße Poren, die pflanzenverfügbares Wasser speichern können (nutzbare Feldkapazität). Insgesamt kann der Boden also in 40 % seines Volumens (nFK + TW) Wasser gegen die Schwerkraft festhalten (= Feldkapazität).

Wenn der Lehm Boden aus Abbildung 2 bis auf die Hälfte seiner nutzbaren Feldkapazität ausgetrocknet ist, sollte er bewässert werden, und zwar bis zu einer Bodenfeuchte, die 80 % der nutzbaren Feldkapazität (siehe Kapitel Bewässerungssteuerung) entspricht. Wie groß muss die Bewässerungsgabe pro Quadratmeter sein? Die Lösung ist einfach: Eine Auffüllung auf 80 % nFK bedeutet in unserem Beispiel 80 % von 20 mm/dm, das ergibt als Zielgröße 16 mm/dm. Bis zur Hälfte (10 mm/dm) ist die nFK noch mit Bodenwasser gefüllt, es fehlen also 6 mm/dm bis zur Zielgröße von 16 mm/dm. Um die nFK in einer Bodentiefe von 50 cm (= 5 dm) auf 80 % aufzufüllen, ist eine Bewässerungsgabe von 5 mal 6 mm, also von 30 mm erforderlich. 30 mm sind 30 Liter pro Quadratmeter.

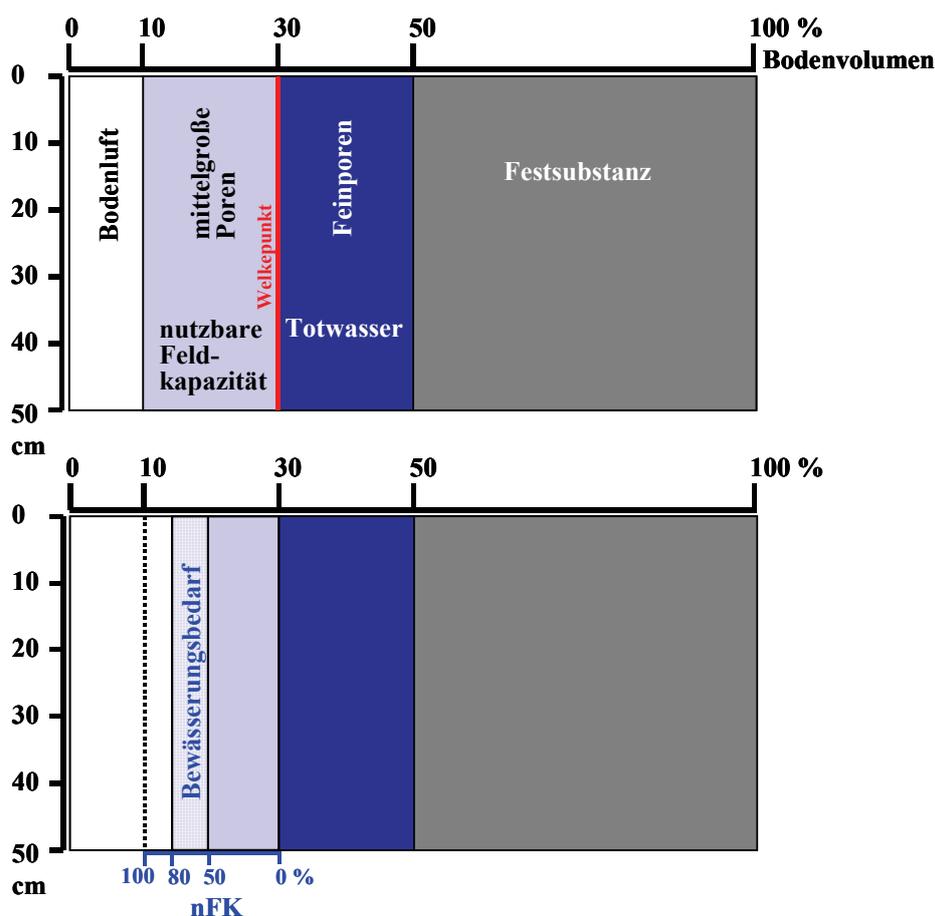


Abb. 2: Porenverteilung in einem Lehm Boden aus Löss mit aufgefüllter Feldkapazität (oben) und nach Austrocknung auf 50 % der nutzbaren Feldkapazität mit Bewässerungsbedarf bis 80 % der nFK

Das Beispiel macht deutlich, dass bei der Bemessung einer Bewässerungsgabe die Bodentiefe einbezogen werden muss, aus der Wurzeln Bodenwasser erschließen können. Die **Durchwurzelungstiefe** hängt vom Standort ab – Grenzen setzen Gesteinsschichten, Kies, Stauhohizonte – aber auch vom **Wurzelsystem der Kulturpflanzen**. So können Zuckerrüben einen großen Wurzelraum erschließen, während viele Gemüsearten Flachwurzler sind (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Durchschnittliche Erschließungstiefe des Bodenraums durch Wurzeln verschiedener Kulturarten

Kulturart	Tiefe (cm)
Kopfsalat, Erdbeere	20 – 30
Gurke, Zwiebel, Bohnen	30 – 60
Sommergetreide, Kartoffeln	- 60
Wintergetreide, Mais, Kohl	60 – 90
Zuckerrüben, Spargel	90 und mehr

Tab. 2: Schätzung der nutzbaren Feldkapazität aus dem Klassenbeschrieb der Bodenschätzung

Bodenart der Bodenschätzung		nutzbare Feldkapazität (nFK)	nFK mit „Lö“- Zuschlag	kulturart- spezifische Wurzeltiefe	nFK im Wurzel- raum
S	Sand	8	-		
SI	anlehmiger Sand	13	-		
IS	lehmiger Sand	16	20		
SL	stark lehmiger Sand	17	22		
sL	sandiger Lehm	19	22		
L	Lehm	17	20		
LT	schwerer Lehm	15	-		
T	Ton	14	-		

Quellen: Landesanstalt für Pflanzenbau (76287 Rheinstetten) Merkblätter für umweltgerechte Landwirtschaft Nr. 24; Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover 2005

Wie kann die nutzbare Feldkapazität für einen Bewässerungsstandort geschätzt werden?

Den Landwirten liegt in der Regel die **Bodenschätzung** ihrer Grundstücke mit dem sogenannten Klassenbescrieb vor (z.B. SL 5 Lö 43/40). Bodenschätzungskarten sind ansonsten bei den Vermessungsämtern erhältlich. Aus der Bodenart im Klassenbescrieb, z.B. SL für stark lehmiger Sand, kann die nutzbare Feldkapazität hinreichend genau geschätzt werden (siehe Tab. 2). Im Klassenbescrieb ist auch eine Information über die Entstehung des Bodens enthalten. Wenn „Lö“ (für die Entstehung aus Löss) angegeben ist, dann erhält der Boden einen Aufschlag auf die nutzbare Feldkapazität (nFK-Werte in der zweiten Spalte von Tab. 2).

Ist die nutzbare Feldkapazität (in Volumenprozent) aus der Bodenschätzung abgeleitet, dann muss noch die Durchwurzelungstiefe aus der Kenntnis des Bodenaufbaus der Bewässerungsfläche und der Wurzelentwicklung der zu bewässernden Kultur bestimmt werden. Durch Multiplikation der Durchwurzelungstiefe (in Dezimeter) mit dem Prozentanteil nFK ergibt sich die **nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum**. Die Kenntnis dieser Größe ist Voraussetzung für eine standort- und kulturartspezifische Bewässerungssteuerung.

Bewässerungssteuerung

Beim Betrieb einer Bewässerungsanlage stellen sich dem Praktiker zwei grundsätzliche Fragen:

Wann soll bewässert werden?

Wie -viel soll bewässert werden?

Zur Beantwortung beider Fragen ist die Kenntnis des **Wasserhaltevermögens** des Bodens (siehe Kapitel Wasserspeichervermögen des Bodens) und die Kenntnis der jeweils **aktuellen Bodenfeuchte** im durchwurzelten Bodenraum notwendig.

Die aktuelle Bodenfeuchte wird in der Regel in Prozent des pflanzenverfügbaren Wassers, d.h. in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben. Ebenso können die von den Pflanzenwurzeln im Boden ausgeübten Saugkräfte als sogenannte Saugspannung in der Maßeinheit Hektopascal (hPa) oder Kilopascal (kPa, 1000 hPa = 100 kPa = 1 bar) ermittelt werden.

Um Ertragseinbußen zu vermeiden, sollten landwirtschaftliche Kulturen wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais, Getreide oder Freilandgemüse bewässert werden, wenn die Bodenfeuchte im Wurzelraum unter 40-50 % der nutzbaren Feldkapazität absinkt. Bei Kenntnis der Saugspannung sollte ein Bewässerungsbeginn auf leichten Böden ab 300 – 400 hPa erfolgen, während bei mittleren Böden der Einschaltpunkt der Bewässerungsanlage bei 500 – 800 hPa erreicht ist.

Bewässerungsversuche haben gezeigt, dass einige Gemüsekulturen, wie z.B. Kopfsalat, Frischgemüse oder Erdbeeren empfindlicher auf Wassermangel reagieren. So sollte bei diesen Kulturen bereits bei Bodenfeuchten von 60 bis 70 % nFK bzw. bei Saugspannungen von 100 – 300 hPa mit der Bewässerung begonnen werden.

Welche Bewässerungsmenge soll dem Boden zugeführt werden bzw. bis zu welcher Bodenfeuchte soll der Boden aufgefüllt werden?

Ein Auffüllen des Bodens auf 100 % nFK ist zu vermeiden, da bei unvorhergesehenen Regenfällen das Bodenwasser versickert und wertvolle Nährstoffe ausgewaschen werden. Ferner leiden die Pflanzenwurzeln bei diesen Bedingungen vor allem auf schwereren Böden unter Luftmangel. Es hat sich daher ein Auffüllen des Bodens auf 80 % nFK als sinnvoll erwiesen.

Die Höhe der erforderlichen Bewässerungsmenge richtet sich nach der Bodenart, dem Unterschied zwischen der Ausgangs- und der Zielfeuchte von 80 % nFK sowie der Mächtigkeit der durchwurzelten Bodenschicht. Mit einer Wassergabe von 30 mm kann z.B. auf einem Lehm Boden die optimale Gabenhöhe erreicht sein, auf einem Sandboden dagegen eine erhebliche Auswaschung erfolgen.

In dem in Abbildung 3 gezeigten Beispiel wurden Zuckerrüben durch eine dreimalige Beregnungsgabe von jeweils 30 mm stets im optimalen Bodenfeuchtebereich gehalten. Ohne Beregnung hätten die Rüben ab Ende Juli zunehmend unter Trockenstress gestanden, Ertragseinbußen wären die Folge gewesen.

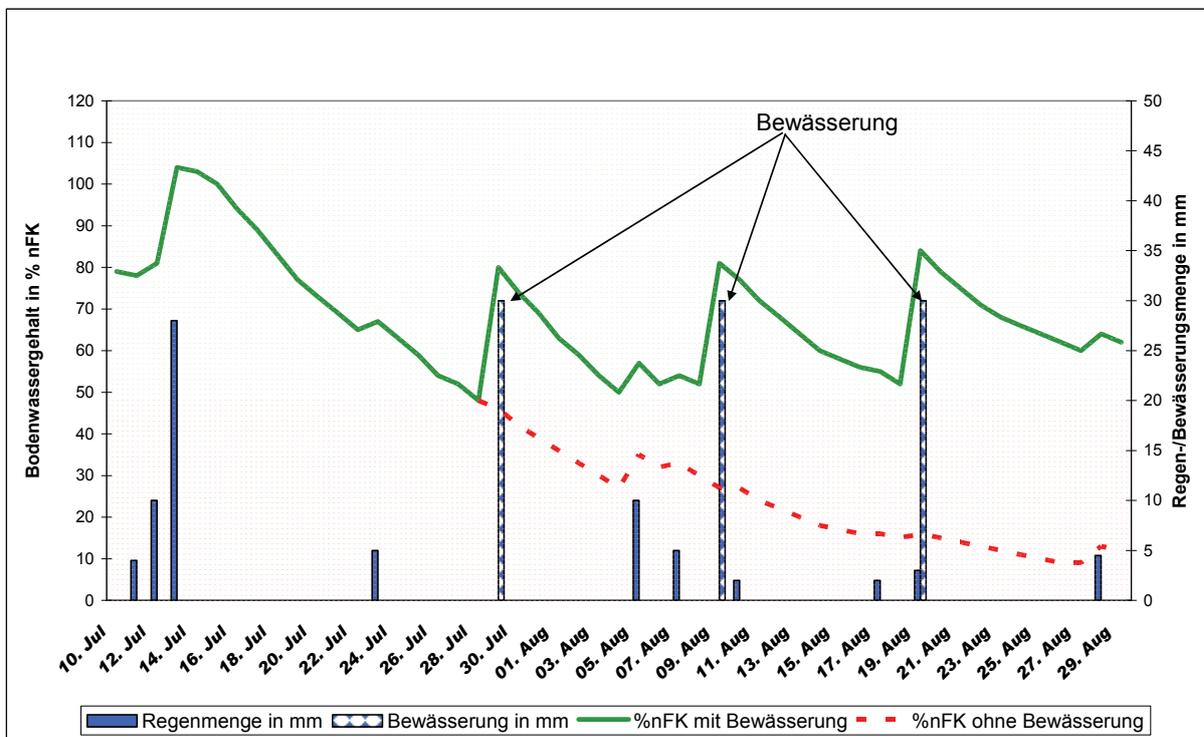


Abb. 3: Bodenfeuchteverlauf unter Zuckerrüben auf sandigem Lehm, mit und ohne Bewässerung

Die Gabenhöhe muss der fortschreitenden Pflanzenentwicklung angepasst werden, da sich der Wurzelraum entsprechend vergrößert. Während zu Beginn der Pflanzenentwicklung oft 10 mm Gaben ausreichen, können diese schrittweise je nach Bodenart auf 30 mm erhöht werden. Das maßvolle Steigern der Gabenhöhe bewirkt ein Weiterwachsen der Wurzeln in größere Bodentiefen, ansonsten wird die Pflanze verwöhnt und es bildet sich nur ein oberflächennahes Wurzelwerk aus.

Wie kann die aktuelle Bodenfeuchte bestimmt werden?

Der aktuelle Bodenwassergehalt lässt sich durch zahlreiche Messmethoden bestimmen aber auch durch Wetterdaten berechnen.

Für den Berechnungspraktiker kommen nur Methoden in Frage, die mit einem vertretbaren Arbeits- und Kostenaufwand hinreichend genaue Ergebnisse liefern. Der Einbau der Bodenfeuchtesensoren muss mit großer Sorgfalt erfolgen. Nur ein optimaler Bodenschluss am Sensor liefert zuverlässige Resultate. Gerade bei sandigen Böden (Welkepunkt ca. 2 Vol. %, Feldkapazität ca. 12 Vol. %), die den höchsten Beregnungsbedarf aufweisen, macht ein Messfehler von 2 Vol. % im Extremfall bis zu 20 Prozent des Messbereichs aus.

Die Einbautiefe und Anzahl der Sonden richten sich nach dem zu untersuchenden Wurzelraum. In den meisten Fällen sind Einbautiefen von z.B. 15, 30 und 50 cm ggf. 70 cm ausreichend, um die Feuchtigkeitsverhältnisse und die Änderungen durch Regen bzw. Bewässerung zu kontrollieren.

Messmethoden

Tensiometer

Ein Tensiometer dient zur Bestimmung der Saugkräfte, mit denen die Wassermoleküle an die Bodenpartikel gebunden sind. Es besteht aus einem luftdichten, mit Wasser gefüllten Plexiglasrohr, an dem am unteren Ende eine Ton- oder Keramikspitze und oben ein Manometer (analog oder digital) angeschlossen sind (s. Abb. 4).

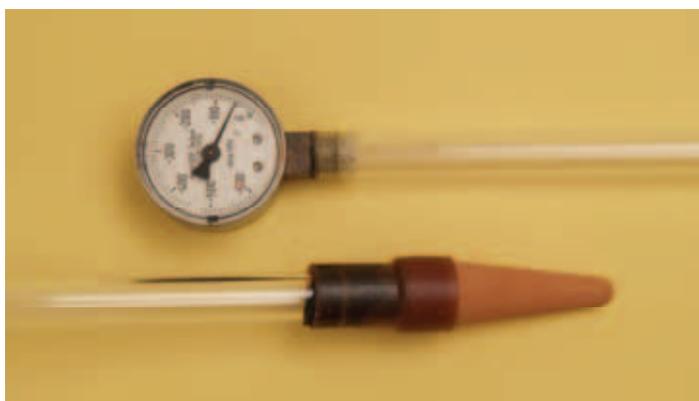


Abb. 4: Tensiometer

Sinkt der Wassergehalt im Boden, wird das Wasser aus dem Plexiglasrohr durch die Keramikspitze nachgesaugt. Der dadurch im Rohr entstehende Unterdruck kann am Manometer abgelesen werden. Bei einer elektrische Ausführung kann über einen Schaltimpuls eine automatische Bewässerung gestartet werden. Die steigende Bodenfeuchte lässt sich wieder am Manometer kontrollieren.

Bei sachgerechtem Einbau zeigen Tensiometer die Bodenfeuchte im Saugspannungsbereich 0 bis 800 hPa genau und zuverlässig an. Es gilt im Unterglasanbau als Standardmethode und wird im Gemüsebau häufig auch im Freiland eingesetzt. Pro Gerät sind je nach Ausführung Kosten ab etwa 20 € einzuplanen. Gut geeignet sind Tensiometer zur Steuerung der Bewässerung bei Einsatz von Tropfbewässerungssystemen. Wie bei allen Bodenfeuchtesonden ist beim Einbau auf einen guten Bodenschluss zu achten. Der Wasservorrat im Plexiglasrohr

muss bei verdunstungsreicher Witterung in kurzen Abständen kontrolliert werden, ggf. muss Wasser nachgefüllt werden.

Gipsblocksensor

Bei einem Gipsblocksensor sind Elektroden zur Messung des elektrischen Widerstandes im Gipsblock eingebettet und per Kabel an ein Mess- und Anzeigegerät angeschlossen. Dieses Messprinzip beruht darauf, dass der elektrische Widerstand innerhalb eines porösen Körpers von seinem Wassergehalt abhängig ist.

Die Umrechnung der elektrischen Widerstandswerte in Saugspannungswerte erfolgt nach Angaben des Geräteherstellers. Der Gipsblock reagiert träge auf Änderungen der Bodenfeuchte und erst ab einer Saugspannung von 400 bis 500 hPa. Es können aber im Gegensatz zum Tensiometer noch geringe Bodenfeuchten bis zu 15.000 hPa gemessen werden. Der Einsatz von Gipsblocksensoren ist im Gemüsebau nicht zu empfehlen, da die Bodenfeuchteänderungen erst angezeigt werden, wenn bei Gemüse bereits Wachstumsstörungen auftreten. Die im Boden eingelassenen Sensoren sind zwar wartungsfrei, können aber nur ein bis zwei Jahre verwendet werden. Sie sind mit 10 bis 15 € pro Stück relativ preiswert, allerdings müssen für das Mess-/Anzeigegerät etwa 350 € veranschlagt werden.



Abb. 5: Gipsblocksensor

Watermarksensor

Der Watermarksensor ist eine Weiterentwicklung der Gipsblocksonde, wobei die im Sensor eingebauten Elektroden von einem Edelstahlmantel geschützt sind. Der gemessene elektrische Widerstand wird als Saugspannungswert auf dem Display angezeigt oder kann über einen Datenlogger gespeichert werden. Wie beim Einsatz von Tensiometern ist auch hier eine automatische Bewässerungssteuerung möglich. Der Messbereich des Watermarksensors umfasst 100 bis 2000 hPa, so dass dieser Sensor bei erheblich geringerer Bodenfeuchte eingesetzt werden kann als das Tensiometer. Ein wichtiger Vorteil gegenüber dem Gipsblock ist die längere Haltbarkeit von mehreren Jahren. Der Sensor kostet 30 bis 40 €, das Anzeigegerät ist ab etwa 350 € erhältlich.



Abb. 6: Watermarksensor

Es existieren noch zahlreiche weitere Messmethoden zur Bestimmung des Bodenwassergehaltes, wie z.B. die gravimetrische Bodenfeuchtemessung per Bohrstock, Methoden mit Hilfe der Hochfrequenztechnik wie z.B. Equitensiometer oder TDR-Sonde und die den Strahlenschutzbestimmungen unterliegende Neutronensonde. Diese Verfahren sind jedoch für den praktischen Einsatz eines Beregnungsbetriebes entweder zu arbeitsaufwändig oder deutlich kostenintensiver als die oben geschilderten Methoden.

Bestimmung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Wetterdaten

Aus der Differenz zwischen der gefallenen Regenmenge und der Verdunstung des Pflanzenbestandes lässt sich der Verlauf der Bodenfeuchte von Tag zu Tag über die sogenannte klimatische Wasserbilanz (Niederschlag – Verdunstung) berechnen. Ist die Niederschlagsmenge größer als die Verdunstung ergibt sich eine positive Bilanz und die Bodenfeuchte nimmt zu. Ist dagegen die Verdunstungsmenge größer als der Niederschlag, so erhält man eine negative Bilanz und die Bodenfeuchte nimmt ab.

Die täglichen Regenmengen werden als Grundvoraussetzung einer Bewässerungssteuerung nach guter fachlicher Praxis am Betrieb gemessen. Die Verdunstung (internationaler Standard ist die sog. Penman-Verdunstung) kann entweder durch eine am Betrieb vorhandene Wetterstation aus Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer berechnet werden, oder über den Deutschen Wetterdienst zum Beispiel als Abonnent des WETTERFAX FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT bezogen werden.

Die berechneten Verdunstungswerte nach Penman beziehen sich jedoch auf die Verdunstung eines gut mit Wasser versorgten Grasbestandes. Sie müssen daher für die jeweilige Kultur und ihren Entwicklungsstand durch einen Korrekturfaktor verändert werden.

Geisenheimer Bewässerungssteuerung

In der Praxis bewährt hat sich die sogenannte Geisenheimer Methode, bei der für zahlreiche Gemüsekulturen, aber auch landwirtschaftliche Kulturen sog. kc-Faktoren vorliegen. Einige dieser Korrekturfaktoren können der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden (Quelle: Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 24, Landwirtschaftliches

Technologiezentrum Augustenberg, 76287 Rheinstetten). kc-Werte weiterer Kulturen und eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens lassen sich unter www.fa-gm.de abrufen.

Voraussetzung zur Anwendung dieser Methode ist, dass zu Beginn der Bilanzierung der Boden wassergesättigt ist. Dies ist in den meisten Fällen nach ergiebigen Niederschlägen im Frühjahr der Fall, der Wurzelraum kann aber auch gelegentlich durch starke Gewitterniederschläge im Sommer bis Feldkapazität mit Wasser gefüllt sein. Im nachfolgenden Beispiel ist dieses Verfahren für Kartoffeln gezeigt.

1. Höhe der Bewässerungsgabe festlegen: 10, 20 oder 30 mm. Die Wassergabe sollte so hoch sein, dass je nach Entwicklungsstand der Pflanze der Wurzelraum durchfeuchtet wird.
2. Beginn der Bilanzierung bei wassergesättigtem Boden (hier 1. Juni)
3. Errechnen der täglichen Wasserbilanz
4. Gesamtbilanz berechnen.

Tab. 3: Korrekturfaktoren für ausgewählte Kulturen (Geisenheimer Methode)

Kultur	Kc-Werte je Entwicklungsstadium der Kultur			
	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4
Blumenkohl	Ab Pflanzung 0,5	Ab Pfl.-Ø30cm 0,8	Ab Pfl.- Ø 60 cm 1,2	Ab Höhe >60 cm 1,4
Kartoffeln früh	Nach Legen 0,5	Ab Blatt- u. Stängel- gelausbildung 0,8	Ab Längenwachstum 1,0	Ab Bestandes- schluss 1,2
Kartoffeln spät	Nach Legen 0,4	Ab Trieblänge > 10 cm 0,6	Ab Längenwachstum 0,9	Ab Bestandesschluss 1,1
Kopfsalat	Ab Pflanzung 0,5	Ab Ø >15 cm 0,8	Ab Ø > 25 cm 1,2	
Sommer- getreide	Ab Auflaufen 0,3	Ab Bestandesschluss 0,4 – 0,6*	Ab Schossen – Milchreife 1,0	
Wintergetreide	Ab Auflaufen 0,2	Ab Bestandesschluss 0,4 – 0,6**	Ab Schossen – Milchreife 1,0	
Zuckerrübe	Ab Auflaufen 0,3	Ab 5-Blatt 0,4	Ab Bestandesschluss 1,0	Ab Rüben > 12 cm 0,5 bis 0,8

* Abhängig von der Bestandesentwicklung: starke Bestände = höherer Faktor

In dem Beispiel aus Tabelle 4 hat sich die Bodenfeuchte nach dem 5. Tag um 20,6 mm verringert, am 6. Tag wurde der Kartoffelschlag mit 20 mm bewässert und die Bilanzierung erneut gestartet.

Tab. 4: Beispiel für eine Bewässerungssteuerung nach der Geisenheimer Methode

Datum	Regen- menge in mm	-	Verdunstung nach Penman in mm	* kc-Wert (siehe Tabelle)	=	Tägl. Wasser- bilanz in mm	Gesamt- bilanz in mm	Be- wässerungs- menge in mm
1.6.	0	-	3,8	*	0,9	= -3,4	-3,4	
2.6.	3,0	-	4,3	*	0,9	= -0,9	-4,3	
3.6.	0	-	5,0	*	0,9	= -4,5	-8,8	
4.6.	0	-	6,5	*	0,9	= -5,9	-14,7	
5.6.	0	-	6,5	*	0,9	= -5,9	-20,6	
6.6.	0	-	4,0	*	0,9	= -3,6	-4,2	20

AGROWETTER

Eine bequeme Anwendung der Geisenheimer Steuerung bietet der Deutsche Wetterdienst über Internet im Rahmen von www.agrowetter.de und www.dwd-shop.de an. Für ein Jahresabonnement zum Preis von 67,71 Euro (Stand 2007) wird für über 30 landwirtschaftliche und gärtnerische Kulturen nicht nur schlaggenau die momentane Bodenfeuchte berechnet, sondern man erhält darüber hinaus auch Prognosen über den Verlauf der Bodenfeuchte der nächsten 5 Tage. Die Benutzung erfolgt mit minimalem Aufwand. So wird die tägliche Verdunstung anhand der Wetterdaten einer nahegelegenen Wetterstation automatisch berechnet. Zu Saisonbeginn werden vom Abonnenten Kultur- und Bodendaten in das Programm eingetragen. Der Arbeitsaufwand zur Pflege des Programms in der laufenden Saison beläuft sich auf höchstens 5 Minuten pro Woche. Erforderlich ist die Eingabe der am Betrieb gemessenen Regenmengen und ggf. der Bewässerungsmengen sowie die Kontrolle oder auch Änderung der Daten für die Wachstumsstadien der Kulturen.

In dem in Tabelle 5 dargestellten Beispiel für Erdbeeren ist der Bodenwassergehalt in der Schicht 0 bis 30 cm bis zum 11.6. auf 41 % nFK abgesunken. Trotz dieser geringen Bodenfeuchte wurde vom Programm keine Berechnungsempfehlung erteilt, da ab dem Folgetag eine regnerische Witterungsperiode vorhergesagt wurde (s. Spalte Niederschlag, blau unterlegt). Der Gärtner konnte dadurch eine nutzlose Wassergabe vermeiden.

Der Berechnungspraktiker erhält durch dieses Programm mit vertretbarem Aufwand und geringen Kosten eine fundierte Entscheidungshilfe, wann, wie viel und welchen Schlag er bewässern soll.

Tab. 5: Beispiel für eine Bewässerungssteuerung per Internet

www.agrowetter.de								
Berechnung								
Ausgabe Berechnungsdaten								
Kultur: Erdbeere (Kronenbewässerung)					Schlag: bei Wetterstation			
Datum	Empfehlung mm	nutzbares Bodenwasser			Sickerung mm	Verdunstung mm	Wassergabe mm	Niederschlag mm
		obere 30 cm in % nFK	untere 30 cm in % nFK	Wurzelraum in mm				
16.06.	0	86,9	100,0	39,1	0	2,8	--	6,8
15.06.	0	77,9	100,0	35,1	0	1,2	--	9,3
14.06.	0	60,0	100,0	27,0	0	2,8	--	5,0
13.06.	0	55,1	100,0	24,8	0	1,5	--	4,0
12.06.	0	49,5	100,0	22,3	0	2,4	--	6,1
11.06.	0	41,3	100,0	18,6	0	2,2	0	0,0
10.06.	0	46,1	100,0	20,7	0	2,0	0	2,3
09.06.	0	45,3	100,0	20,4	0	2,4	0	0,0
08.06.	0	50,6	100,0	22,8	0	1,9	0	0,7
07.06.	0	53,2	100,0	24,0	0	0,5	0	0,0
06.06.	0	54,4	100,0	24,5	0	0,7	0	1,7
05.06.	0	52,1	100,0	23,4	0	0,5	0	2,1

Blau unterlegte Zellen sind Vorhersagewerte!

Technik der Bewässerung

Geeignete Bewässerungstechnik soll eine effiziente (gleichmäßige, wasser- und energiesparende) Wasserverteilung auf dem Feld sicherstellen. Hierzu eignen sich unterschiedliche Beregnungs- und Bewässerungsverfahren.

Die Wasserentnahme erfolgt aus Oberflächengewässern oder aus Grundwasserbrunnen mittels Pumpen, die von Verbrennungs- oder Elektromotoren angetrieben werden. Übersteigt die Ansaughöhe 7-8 Meter, dann ist die Verwendung einer Tauchpumpe (Bohrlochpumpe) notwendig.

Zum Transport des Wassers von der Entnahmestelle zur Bewässerungs- / Beregnungsanlage werden entweder temporäre Leitungen aus verzinkten Stahlrohren oder Schläuchen aufgebaut oder feste Leitungen (Kunststoff oder Guss) unterirdisch verlegt. Bei den temporären Leitungen ist darauf zu achten, dass Querungen mit Wegen bzw. Feldeinfahrten so gestaltet sind, dass sie keine Behinderungen oder Gefahren verursachen.

Das älteste und weltweit noch in großem Umfang verwendete Bewässerungsverfahren ist die **Oberflächenbewässerung** durch Überflutung oder Überstauung. Sie wird noch in einigen fränkischen Talgründen praktiziert. Ausschließlich historische Gründe (Brauchtum) rechtfertigen eine eingeschränkte lokale Fortführung dieser arbeitsaufwändigen und durch geringe Wassereffizienz und hohes Abschwemmungs- und Auswaschungsrisiko gekennzeichneten Methode.

Die aktuellen Bewässerungsverfahren lassen sich in fünf Gruppen unterteilen (Abb. 7).

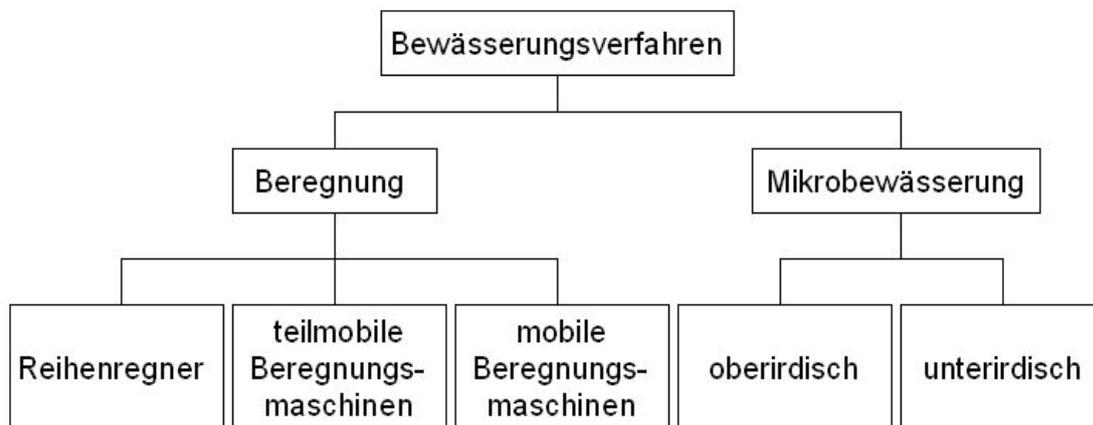


Abb. 7: Verfahren der Feldbewässerung

Reihenregnerverfahren

Bei den Reihenregnerverfahren werden Regner direkt (oder über Seitenschläuche) mit der Regnerleitung aus verzinkten Metallrohren oder leichteren Aluminiumrohren verbunden. In der Praxis, besonders im Freilandgemüseanbau, überwiegt die **Rohrberegnung**. Es werden Schwach- oder Mittelstarkregner mit einer Beregnungsintensität von 1-7 mm/h bei einem Wasserdruck von bis zu 5 bar an den Regnerdüsen verwendet. Trotz Aufstellung im Dreieck- oder Viereckverband ist die Verteilgenauigkeit ungünstig und wird vor allem

durch Wind und Hangneigung negativ beeinflusst. Auf- und Abbau bzw. das Umsetzen verursachen einen hohen Arbeitsaufwand. Für große Beregnungsflächen ist ein hoher Material- und Kapitalaufwand erforderlich.



Abb. 8: Reihenregner (Foto: USDA NRCS)

Halbstationäre Beregnungsmaschinen

Halbstationäre Beregnungsmaschinen bewegen sich im Betrieb, sind jedoch an einen Aufstellungsort gebunden. Typische Vertreter sind die **Kreis- und Linearberegnungsmaschinen („Center Pivot“ und „Linear Pivot“)**, die besonders in Nordamerika verbreitet sind, aber auch in Frankreich, Ungarn und einigen Gebieten in Ostdeutschland eingesetzt werden. Ihre Verwendung setzt Strukturen mit Schlaggrößen > 50 ha mit sicherem Beregnungsbedarf voraus. Die Wasserverteilung erfolgt heute mit Düsen (früher Regner) bei einem Betriebsdruck von 2 bis 4 bar. Die durchschnittliche Anlagenlänge beträgt 400 m (bei Kreisberegnung 50 ha Beregnungsfläche), angeboten werden Längen bis über 800 m (Kreisberegnung 200 ha Beregnungsfläche) bzw. bei Linearberegnung 800 m + 400 m. Für besondere Einsatzfälle sind **„Mini-Pivots“** mit 100 m Länge auf dem Markt. Bei entsprechender Ausrüstung ist ein vollautomatischer Einsatz möglich. Eine geeignete Anordnung der Flächen ermöglicht das Umsetzen von speziell ausgestatteten Kreis- und Linearberegnungsanlagen. Dabei fällt ein erhöhter Arbeitsaufwand an.

Vorteile von Kreis- oder Linearberegnungsmaschinen sind die gleichmäßige Wasserverteilung, eine gute Wasserausnutzung, der niedrige Energiebedarf (niedriger Betriebsdruck), geringe Windanfälligkeit und die Möglichkeiten Nährstoffe zuzumischen sowie die Anlagen automatisch zu betreiben. Nachteile sind der große Wasserbedarf (Kreisberegnungsmaschine mit 400 m Radius etwa $260 \text{ m}^3/\text{h}$), der hohe Kapitalbedarf, die hohen spezifischen Anschaffungskosten bei kleinen Anlagen und die Bindung an einen Einsatzort.



Abb. 9: Kreisberegnungsmaschine „Center Pivot“ (Foto: BAUER)

Mobile Beregnungsmaschinen

Die **mobilen Beregnungsmaschinen mit Regner- bzw. mit Düsenwagineinzug** werden zumeist bei landwirtschaftlichen Kulturen, insbesondere bei Kartoffeln und Zuckerrüben eingesetzt. Das Fahrgestell mit der hydraulisch vom Beregnungswasser angetriebenen Rohrtrommel wird am Feldrand aufgestellt. Die Rohrtrommel kann quer, parallel oder auf einem Schemel drehbar zur Fahrachse aufgebaut sein und nimmt je nach Trommelgröße bzw. Rohrdurchmesser bis zu 700 Metern Polyethylen-Rohr (PE Rohr) auf. Nach Ausziehen des Rohres wird im Betrieb der Regner bzw. Düsenwagen durch das Aufrollen des Schlauches über das Feld gezogen. Die Flächenleistung ist abhängig von der Beregnungsintensität und vom Wasserdurchsatz (z.B. Wassergabe 25 mm, Düsenweite Großregner 18 mm, Betriebsdruck 5 bar, Wasserdurchsatz 25 m³/h, Beregnungsfläche 0,1 ha/h).

Unterschiedliche Baugrößen und Ausstattungen ermöglichen eine Anpassung an die Einsatzsituation. Die Spannweite reicht von Geräten mit 150 m Rohr mit 50 mm Außendurchmesser für Flächen bis zu 10 ha, über Geräte mit 300 m mit 75-90 mm (15-30 ha) bis zu Großgeräten mit bis zu 700 m Rohr mit 125 mm Durchmesser.



Abb. 10: Mobile Beregnungsmaschine (Einzugregner) (Foto: BEINLICH)

Mobile Beregnungsmaschinen mit Großregnern haben eine große Wurfweite und sind damit windempfindlich. Durch die hohe Niederschlagsdichte und Tropfen mit hoher Aufprallenergie besteht ein großes Verschlammungsrisiko.

Wird anstelle des Großregners ein **Düsenwagen** verwendet, treten diese Probleme nicht auf. Düsenwagen werden mit bis zu 70 Metern Arbeitsbreite angeboten und führen zu einem um 25 % geringeren Wasserbedarf bei 50 % niedrigerem Wasserdruck.



Abb. 11: Düsenwagen für Beregnungsmaschine (Foto: BEINLICH)

Mikrobewässerung (Tropf- und Sprühbewässerung)

Zur Mikrobewässerung zählen die Verfahren der ober- und unterirdischen Tropfbewässerung und der Sprühbewässerung. Besonders die **Tropfbewässerung** hat in der jüngsten

Vergangenheit in der Landwirtschaft weltweit an Bedeutung gewonnen. Es wird geschätzt, dass von 277 Mio. ha bewässerter Ackerfläche weltweit etwa 6 Mio. ha (2%) mit Tropfbewässerung versorgt wurden (ICID 2006). Dies ist eine Verdoppelung zum Jahr 2005. In den USA betrug der Anteil im Jahr 2000 bereits 6,8 % (1,6 Mio. ha, US Geological Survey 2001). Verschiedene Faktoren haben zu dieser Entwicklung beigetragen: Fortschritte in den Materialwissenschaften und in der Kunststoffherstellung und -verarbeitung, eine verbesserte Mechanisierung bei Verlegung und Bergung, die Notwendigkeit effizienter Wassernutzung sowie die Möglichkeit, Düngemittel mischen und gezielt ausbringen zu können.

In Europa liegen die Anwendungsschwerpunkte der Tropfbewässerung im Wein- und Obstbau. Es gibt aber auch zunehmend Einsätze im Freilandgemüse, im Hopfen und im Kartoffelanbau.

Bestandteile einer **Tropfbewässerungsanlage** sind die Steuer- und Regeleinheit, die Hydrant- und Verteilerleitung und die Tropfleitungen mit den Tropfelementen. Die Filter-, Steuer- und Regeleinheit („Kopfstation“) reduziert den (eventuell) zu hohen Druck in der Zuleitung, regelt den Volumendurchfluss, reinigt das Wasser von Bestandteilen, die die Tropfelemente verstopfen können, und dosiert Düngergaben. Die Systeme arbeiten mit einem sehr niedrigen Wasserdruck (normalerweise < 2 bar, bei größeren Höhenunterschieden bis zu 3,5 bar) und niedrigen Beregnungsintensitäten (1-4 mm/h) und teilen den Pflanzen das Wasser möglichst direkt zu.

Die Tropfleitung kann mit druckkompensierenden oder nicht druckkompensierenden Tropfelementen ausgestattet sein.



Abb. 12: Tropfbewässerung in Kartoffeln

Im Freilandgemüseanbau werden oft dünnwandige, preisgünstige und nicht druckkompensierende Tropfschläuche zusammen mit der Mulchfolie maschinell verlegt und nach Kulturende gemeinsam entfernt. Nicht druckkompensierende Tropfsysteme ermöglichen nur bei

geringem Gefälle (Neigung < 2 %) und bis zu maximal 250 m Leitungslänge (hersteller- und typabhängig) eine gleichmäßige Wasserversorgung.

Druckkompensierende Tropfelemente sind so aufgebaut, dass der Wasserausstoß auch bei Höhenunterschieden über größere Leitungslängen gleich bleibt (bis 400 m). Unterschiedliche Tropfelementgrößen und -abstände ermöglichen die Anpassung an Standraum und Wasserbedarf. Diese Tropfelemente werden sowohl in dünnwandige (kostengünstig) als auch dickwandige (längere Haltbarkeit) Kunststoffschläuche eingebaut.

Die exakte Zuteilung auch geringer Berechnungsmengen mit hoher Verteilgenauigkeit, geringe Ausbringungsverluste und niedriger Energiebedarf stehen bei der Tropfbewässerung einem höheren Investitionsaufwand und Arbeitszeitbedarf gegenüber.

Die **mobile Tropfbewässerung** ist in Erprobung und soll die Vorteile der stationären Tropfbewässerung mit denen der Kreis- und Linearberechnungsmaschinen verbinden. Anstelle von Regnern oder Düsen werden zur Wasserverteilung Tropfrohre an die Verteilleitungen von Düsenwagen oder Berechnungsmaschinen angeschlossen. Die Tropfrohrlänge variiert zwischen 3 und 14 m, ihr Abstand beträgt 75 cm und der Betriebsdruck liegt bei 0,5 –1 bar.

Vergleich der Verfahren

Eine Zusammenstellung ausgewählter Kenndaten (nach SOURELL 2003) für die wichtigsten Bewässerungsverfahren zeigt Tabelle 6.

Tab. 6: Kenndaten wichtiger Bewässerungsverfahren (bei 5 Gaben a 30 mm) nach SOURELL 2003

Verfahren	Oberflächenbewässerung	Mikrobewässerung	Reihenregner	Stationäre Berechnungsmaschine	Mobile Berechnungsmaschine
Wassereffizienz	0,2-0,4	0,9	0,6-0,7	0,7-0,8	0,6
Energiebedarf kWh/(ha*a)	0	160	810	609	1000
Druck (bar) Verteilorgan	0	>1,5	3-4	1-4	4-5
Flächenleistung ha/10d	stationär, abhängig von Anlagengröße		16-35	stationär, abh. Anlage	14-55
Arbeitszeit h/(ha*Gabe)	3,0-8,0	5,0 (0,2)	2,0 (0,3)	0,1	0,4
Kapitalbedarf €/ha	1000	2750	250	650-1150	500-1000
Verfahrenskosten ¹ €/ha	125	700	425	316	335

¹ überbetriebliche Wasserbereitstellung, 40 ha Berechnungsfläche

Zuständige Stellen

Anzeige des Brunnenbaus und Genehmigung der Wasserentnahme:

- Kreisverwaltungsbehörde oder kreisfreie Stadt

Beratung:

- Ämter für Landwirtschaft und Forsten
- Gartenbauzentren an den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten
- Wasserwirtschaftsämter
- Erzeugerringe
- Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie, Außenstelle Weihenstephan