

Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen



Bild 1: Regenmaschine mit Kanone ist schlagkräftig und mobil, aber windanfällig.



Bild 2: Tropfbewässerung teilt das Wasser verlustarm und exakt zu.

Einleitung

In Baden-Württemberg beregnen bzw. bewässern ca. 1.700 Betriebe, Verbände und Einrichtungen auf mehr als 13.000 Hektar wertvolle Kulturarten wie z. B. Gemüse, Beerenobst, Tabak, Zuckerrüben oder Mais mit zunehmender Tendenz. Insgesamt dürften 20.000 ha, also 2,4 % der Ackerfläche in Baden-Württemberg, für die Beregnung bzw. Bewässerung erschlossen sein. Als Beregnungsgebiete sind der gesamte Oberrheingraben und der Raum Heilbronn anzusehen.

Für den Beregnungslandwirt oder -gärtner steht die Sicherung der Erträge hinsichtlich Qualität und Quantität im Vordergrund. Die natürlichen Niederschläge reichen nicht aus, um den Wasserbedarf der Pflanzen in der Hauptwachstumszeit optimal zu decken. Abb. 1 auf S. 2 zeigt deutlich die Notwendigkeit der Zusatzwasserversorgung in den Monaten April bis September für einen Standort im Oberrheingraben.

Bei sinkenden Erzeugerpreisen sind die Kosten gering zu halten. Der Umweltschutz legt Wert auf die Vermeidung von Überbewässerung, um die Auswaschung von Nährstoffen oder Pflanzenschutzmitteln zu minimieren, um die man-

cherorts knappen Wasserreserven zu schonen und um Energie einzusparen. Diese Ziele lassen sich durchaus miteinander vereinbaren. Dazu müssen der Bau und der Betrieb einer Beregnungsanlage optimal gestaltet werden. Die zu wählende Beregnungstechnik richtet sich nach der(n) zu beregnenden Kulturart(en), dem Kapital- und Arbeitszeitbedarf, nach der erforderlichen Verteilgenauigkeit und der Größe und Lage der zu beregnenden Flächen u. a. m.

Beim Betrieb einer Beregnungsanlage stellen sich für den Praktiker zwei grundsätzliche Fragen:

**Wann soll ich beregnen bzw. bewässern?
Wie viel soll ich beregnen bzw. bewässern?**

Zur Beantwortung beider Fragen ist die Kenntnis der jeweils aktuellen Bodenfeuchte im durchwurzelten Bodenraum und die Kenntnis des Wasserhaltevermögens der Böden sowie die nutzbare Bodentiefe notwendig.



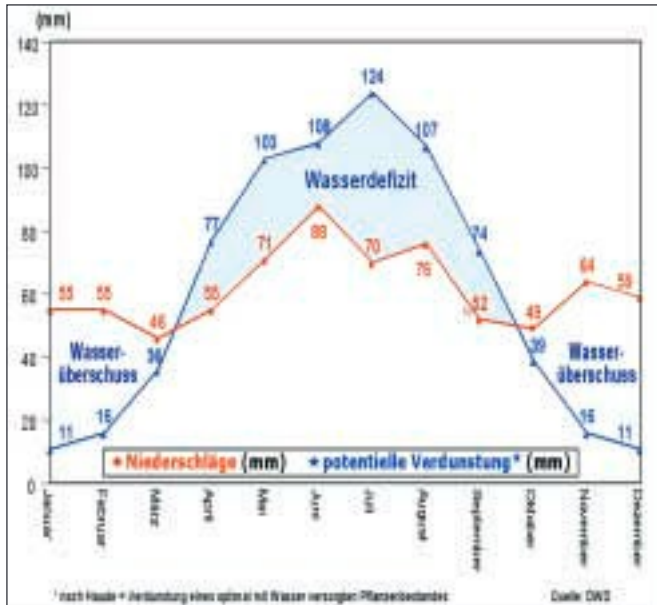


Abb. 1: Niederschläge und Verdunstung in Karlsruhe im langjährigen Mittel

Bodenkennwerte und nutzbare Bodentiefe in Erfahrung bringen

Die Menge und Verfügbarkeit der Bodenwasservorräte hängen von den Bodeneigenschaften und von der nutzbaren Bodentiefe ab.

Das maximale Wasserhaltevermögen eines Bodens ist die sogenannte **Feldkapazität (FK)**. Darunter ist das Bodenwasser zu verstehen, das bei Wassersättigung nicht versickert, sondern entgegen der Schwerkraft im Boden gehalten wird. Dieses Wasser ist nicht alles pflanzenverfügbar, da die Pflanzenwurzeln das sogenannte **Totwasser (TW)** den Feinporen des Bodens nicht entziehen können. Das maximale Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser ist die sogenannte **nutzbare Feldkapazität (nFK)**. Die nFK berechnet sich aus der Feldkapazität abzüglich des Totwasseranteils.

Diese Kennwerte werden in Prozent des Bodengewichtes (Gew.-%), in Prozent des Bodenvolumens (Vol.-% = Gew.-% x 1,5) oder in mm Wasser im durchwurzelten Bodenraum gemessen. Dabei entspricht ein Volumenprozent Wasser einem mm Wasser in 10 cm Bodentiefe (1 Vol.-% = 1 mm/dm = 1 l/m² je dm). Diese Bodenkennwerte sind primär von der Bodenart und der Dichte des Bodens (Bodenbearbeitung, Verdichtungshorizonte, Humusgehalt u. a.) abhängig. In Tab. 1 sind Richtwerte für das Wasserhaltevermögen der Bodenarten der Reichsbodenschätzung zusammengestellt. Die leichten Böden weisen eine geringe Wasserhaltevermögen, einen geringen Totwasseranteil und wenig pflanzenverfügbares Bodenwasser auf. Mit zunehmendem Schluff- und Tonanteil nimmt das Wasserhaltevermögen bei FK, nFK und dem TW zum Lehm hin zu. Bei den tonigen Böden ist das Wasserhaltevermögen nochmals deutlich höher.

Tab. 1: Richtwerte ¹⁾ für die nutzbare Feldkapazität (nFK), den Totwasseranteil (TW) und die Feldkapazität (FK) in Abhängigkeit der Bodenverhältnisse

Bodenverhältnisse nach Reichsbodenschätzung	nFK ²⁾		TW ²⁾		FK ²⁾	
	Vol.-% ³⁾	mm ⁴⁾ (60 cm Bodentiefe)	Vol.-% ³⁾	mm ⁴⁾ (60 cm Bodentiefe)	Vol.-% ³⁾	mm ⁴⁾ (60 cm Bodentiefe)
Sand (S)	8	48	2,5	15	10,5	63
anlehmiger Sand (Sl)	13	78	6	36	19	114
lehmiger Sand (IS) ⁵⁾	16	96	10	60	26	156
stark lehm. Sand (SL) ⁵⁾	17	102	15	90	32	192
sandiger Lehm (sL) ⁵⁾	19	114	17	102	36	216
Lehm (L) ⁵⁾	17	102	23	138	40	240
Schwerer Lehm (LT)	15	90	26	156	41	246
Ton (T)	14	84	34	204	48	288
Schluff (U)	24	144	11	66	35	210

¹⁾ Für Böden mit weniger als 4 % Humus und grundwasserunbeeinflusste Standorte
²⁾ nFK = nutzbare Feldkapazität, TW = Totwasseranteil, FK = Feldkapazität. Es gilt nFK = FK - TW
³⁾ Vol.-% = Volumenprozent Bodenwasser = mm je 10 cm Bodenschicht = l/m² je 10 cm Bodenschicht
⁴⁾ mm Bodenwasser in 60 cm Bodentiefe = 6 x Volumenprozent
⁵⁾ Für die Böden IS Löss, SL Löss, sL Löss und L Löss sind Mittelwerte mit den Werten für Schluff (letzte Tabellenzeile) zu bilden

Da aber der Totwasseranteil ebenfalls sehr hoch ist, steht den Pflanzen wenig pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung.

Pflanzenbaulich ist das Speichervermögen für das pflanzenverfügbare Wasser, die nFK entscheidend. Hier hat der sandige Lehm, der aus Löss entstanden ist (sL Lö), mit bis zu 22 Vol.-% am meisten aufzuweisen. Extrem leichte und tonige Böden entsprechen sich fast in ihrer Fähigkeit, pflanzenverfügbares Wasser zu speichern.

Die **durchwurzelte Bodentiefe** ist vom Boden (durchwurzelbare Bodentiefe) und von der Kultur (Art, Entwicklungsstadium) abhängig und ist bei der Berechnung des Berechnungsmenge als nutzbare Bodentiefe zugrunde zu legen. So können z.B. die Zuckerrüben einen großen Wurzelraum erschließen, während der Erdbeere wegen dem schwachen Wurzelsystem nicht der gesamte Wasservorrat eines tiefgründigen Bodens zugänglich ist.

Verschiedene Kulturarten können, auch in Abhängigkeit von der durchwurzelbaren Bodentiefe, in etwa folgende Bodentiefen nutzen:

Kopfsalat, Erdbeere, Spinat, Strauchobst	20 – 30 cm
Bohne, Gurke, Zwiebel, Tomate	30 – 60 cm
Sommergetreide, Kernobst	bis 60 cm
Wintergetreide, Mais, Tabak, Kohl, Weinrebe	60 – 90 cm
Zuckerrüben, Spargel	90 cm und mehr

Das Wasserhaltevermögen eines Bodens, die FK und nFK, sowie die nutzbare Bodentiefe müssen für jeden Standort nur einmal ermittelt werden. Die Bodenarten sind aus den Ergebnissen der Reichsbodenschätzung – Ausnahme Reböden – bekannt und können dem Liegenschaftskataster entnommen werden. Ansonsten wenden Sie sich an Ihr Amt für Landwirtschaft, das in den Berechnungsgebieten fundierte Auskunft erteilt.

Wann und wie viel ist zu berechnen?

Zur Festlegung des **Berechnungszeitpunktes** ist die **aktuelle Bodenfeuchte** zu messen. Die aktuelle Bodenfeuchte wird in der Regel in Prozent des maximal pflanzenverfügbaren Wassers, d. h. in % der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben. Ebenso kann der Unterdruck im Boden (Saugspannung), der bei Wassermangel im Boden entsteht, gemessen werden. Landwirtschaftliche Kulturarten wie Getreide, Körnermais, Zuckerrüben oder Industriegemüse sollen beregnet werden, wenn die Bodenfeuchte unter 40–50 % des pflanzenverfügbaren Wassers absinkt, d. h. wenn im Boden 40–50 % der nutzbaren

Feldkapazität unterschritten wird. Bei Messung der Saugspannung ist der Einschaltzeitpunkt auf leichten Böden ab 300–400 Hektopascal (hPa, 1 bar = 1000 hPa) und auf mittleren Böden ab 500–800 hPa erreicht.

Kulturen mit einem geringen Wasseraneignungsvermögen, z.B. Kopfsalat, Frischgemüse oder Erdbeeren, benötigen bereits bei einem Absinken der Bodenfeuchte unter 60–70 % nFK Zusatzwasser. Diese Kulturen sind ab Saugspannwerten über 100–300 hPa zu beregnen.

Durch die Beregnung ist der Bodenwasservorrat auf 80 % nFK aufzufüllen. Ein Auffüllen auf 100 % nFK ist normalerweise abzulehnen, da bei unvorhergesehenen Niederschlägen das Bodenwasser versickert und Nährstoffe ausgewaschen werden. Darüber hinaus leiden die Pflanzen bei mittleren und schweren Böden unter Sauerstoffmangel.

Die **Höhe der erforderlichen Regengabe** ist von der Bodenart, der Ausgangs- und Zielfeuchte und der Mächtigkeit der nutzbaren Bodenschicht abhängig (siehe Tab. 2). Die erforderlichen Regenmengen für landw. Nutzpflanzen, für 10 cm Bodentiefe, einer Anfangs- bzw. Endfeuchte von 50 bzw. 80 % nFK (siehe 2. Spalte von Tab. 2) betragen 2,6–7,9 mm bei den verschiedenen Bodenarten. Diese Werte sind für 20, 30, 40, 50 oder 60 cm Bodentiefe mit 2, 3, 4, 5 bzw. 6 (Ergebnisse für 60 cm Bodentiefe siehe 3. Spalte in Tab. 2) zu multiplizieren. Bei mittleren Böden muss mehr als bei leichten oder extrem tonigen Böden beregnet werden.

Tab. 2: Erforderliche Bewässerungsmengen (Zielfeuchte 80 % nFK) bei verschiedenen Ausgangsfeuchten und Bodentiefen

Bodenverhältnisse nach Tabelle 1	Bewässerungsmenge mm ²⁾			
	50		60	
Ausgangsfeuchte (% nFK)				
Bodentiefe (cm)	10	60	10	30
Sand (S)	2,6	16	1,8	5
anlehmiger Sand (Sl)	4,3	26	2,9	9
lehmiger Sand (lS) ¹⁾	5,3	32	3,5	11
stark lehm. Sand (SL) ¹⁾	5,6	34	3,7	11
sandiger Lehm (sL) ¹⁾	6,3	38	4,2	13
Lehm (L) 1)	5,6	34	3,7	11
schwerer Lehm (LT)	5,0	30	3,3	10
Ton (T)	4,6	28	3,1	9
Schluff	7,9	48	5,3	16

¹⁾ Für die Böden lS Lö, (Lö = Löss), SL Lö, sL Lö und L Lö sind Mittelwerte mit den Werten für Schluff (letzte Tabellenzeile) zu bilden

²⁾ bei 10 % Ausbringungsverlusten

BEISPIEL: Körnermais, Wurzeltiefe 60 cm, lehm. Sand. Aus Tab. 2 lässt sich ablesen, dass 32 mm beregnet werden müssen, um den Vorrat an pflanzenverfügbarem Wasser von 50 auf 80 % aufzufüllen.

Für Kulturen mit einem geringen Wasseraneignungsvermögen, die bereits ab 60 % nFK beregnet werden müssen, ist die Höhe der erforderlichen Regengaben in der 4. Spalte von Tab. 2 für eine durchwurzelte Bodentiefe von 10 cm und in der 5. Spalte für 30 cm Bodentiefe errechnet.

Pflanzen mit geringer Durchwurzelungstiefe und geringem Wasseraneignungsvermögen (z.B. Erdbeeren, Frischgemüse) benötigen insb. auf leichten oder tonigen Böden häufige geringe Regengaben. Weniger häufig aber mit höheren Wassermengen werden Kulturen mit großer Wurzeltiefe und einem hohen Wasseraneignungsvermögen (z.B. Zuckerrübe, Kernobst, Mais) insb. auf mittleren Böden beregnet.

Methoden zur Bodenfeuchtebestimmung

Die Bodenfeuchte muss während der Vegetationszeit vor jeder Beregnungsentscheidung bekannt sein. Für den Beregnungspraktiker kommen nur Methoden in Frage, die mit einem vertretbarem Kosten- und Arbeitsaufwand hinreichend genau arbeiten.

Unter dieser Voraussetzung kommen entweder Sensoren wie Tensiometer, Watermark und Gipsblock oder die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz in Frage. Die Feuchtebestimmung durch Trocknung von Bodenproben ist wegen des hohen Arbeitsaufwandes nur in Einzelfällen möglich. In Tab. 3 sind praktikable Methoden hinsichtlich Funktionsweise, Messeinheiten, Einsatzbereiche und Kosten vergleichend gegenübergestellt.

Bodenfeuchtebestimmung mit Sensoren

Tensiometer, Watermark und Gipsblock sind mehrjährig geprüft und praxiserprobt.

Das **Tensiometer** besteht (siehe Bild 3) aus einem mit Wasser gefüllten Plexiglasrohr, an dem unten eine Ton- oder Keramikerze und oben ein Manometer angeschlossen sind. Die Kerze wird in der gewünschten Bodentiefe positioniert und Bodenkontakt hergestellt. Das mit Wasser gefüllte Plexiglasrohr steht durch die poröse Tonkerze mit dem Bodengefüge in Verbindung. Mit trockener werdendem Boden steigt die Saugspannung an, durch die Tonkerze wird dem Plexiglasrohr Wasser entzogen und der Unterdruck im Tensiometer steigt an. Der Manometer zeigt den Unterdruck analog oder digital an.

Tab. 3: Praktikable Verfahren zur Bodenfeuchtebestimmung

	TENSIOMETER	GIPSBLOCK	WATERMARK-SENSOR	KLIMATISCHE WASSERBILANZ
Einbau	Tensiometer werden analog zu Abb. 2 eingebaut, Sensor und Ablesemöglichkeit in einem Gerät	Gipsblöcke werden analog zu Abb. 2 eingebaut, Werte werden mit einem Messgerät abgelesen	Sensoren werden analog zu Abb. 2 eingebaut, Werte werden mit einem Messgerät abgelesen	Einbau entfällt
Funktionsweise	Saugspannung des Bodens wird über Manometer angezeigt	Messung des elektrischen Widerstandes in Gips	Messung des elektrischen Widerstandes	Berechnung der Bodenfeuchte mit Wetterdaten und Beregnungsmengen
Maßeinheit	<i>Hekto (hPa)- oder Kilopascal (kPa)</i>	<i>Umrechnung der Messwerte in Saugspannungswerte mit Zusatztable</i>	<i>Kilopascal (kPa)</i>	<i>u. a. Bodenfeuchte in mm, Vol.-% oder % nFK</i>
Messbereich	0 – 800 hPa	500 – 15.000 hPa	100 – 2000 hPa	0 – 100 % nFK
Kosten (ca.)	ab 20 € je Tensiometer*	10 – 15 € je Sensor*, 350 € für das Messgerät	ca. 30 € je Sensor*, 350 € für das Messgerät	
Haltbarkeit	Mehrere Jahre	1 – 2 Jahre	3 – 5 Jahre	
Anmerkungen	für Unterglasanbau, im Freien für Beerenobst, Frischgemüse, störungsanfällig bei trockenem Boden	für Getreide, Mais, Zuckerrüben, Kernobst auf mittleren bis schweren Böden	für alle landw. Nutzpflanzen und Bodenarten	Witterungsdaten liefern eigene Wetterstation oder verschiedene Informationsdienste

* erforderliche Anzahl abhängig von Anzahl der Messstellen pro Schlag (1–3) und Anzahl der Sensoren je Messstelle (2–3)



Bild 3: Tensiometer für verschiedene Bodentiefen.

Tensiometer zeigen die Bodenfeuchte im wichtigen Saugspannungsbereich von 0–800 hPa genau und zuverlässig an. Das Tensiometer ist der Standardsensor im Unterglasanbau und wird im Freiland für Kulturen mit geringem Wasseraneignungsvermögen (z.B. Erdbeeren, Frischgemüse), die dauernd im oberen Bereich der Bodenfeuchtigkeit (über 60 % nFK) kultiviert werden müssen, eingesetzt. Überschreitet die Saugspannung ca. 800 hPa, entweicht das Wasser aus dem Plexiglasrohr und die Messung setzt aus. Dann muss das Tensiometer neu befüllt

werden. Insbesondere auf leichten und schnell austrocknenden Böden läuft es schnell leer.

Beim **Gipsblock** handelt es sich um einen Sensor, in dem Elektroden in Gips eingebettet sind. Über ein Kabel werden die Elektroden an ein Messgerät angeschlossen, das den elektrischen Widerstand im Sensorinnern misst und auf dem Display anzeigt. Diese Messwerte sind abhängig von der Bodenfeuchte. Die Umrechnung der Werte in Saugspannung erfolgt mit einer Hilfstabelle des Herstellers. Der Gipsblock reagiert träge und erst ab 400–500 hPa. Da der Gipsblock relativ spät reagiert, ist er nur für landwirtschaftliche Nutzpflanzen mit hohem Wasseraneignungsvermögen auf mittleren und schweren Böden geeignet. Die Sensoren sind wartungsfrei und können ein, höchstens zwei Jahre verwendet werden.

Der **Watermarksensor** (Bild 4) stellt eine Weiterentwicklung des Gipsblocks dar. Das Funktionsprinzip ist dem Gipsblock sehr ähnlich. Die Elektroden im Sensorinnern sind nicht mit Gips sondern mit einem Edelmantel geschützt. Über ein Kabel werden die Sensoren an ein Messgerät angeschlossen, das den elektrischen Widerstand im Sensorinnern misst, gleich in Saugspannungswerte umrechnet und mit der Einheit kPa auf dem Display anzeigt. Der Watermark reagiert ebenfalls etwas träger als das Tensiometer. Der Messbereich umfasst 100–2000 hPa Unterdruck. Daher kann diese Technik zur Messung der Boden-

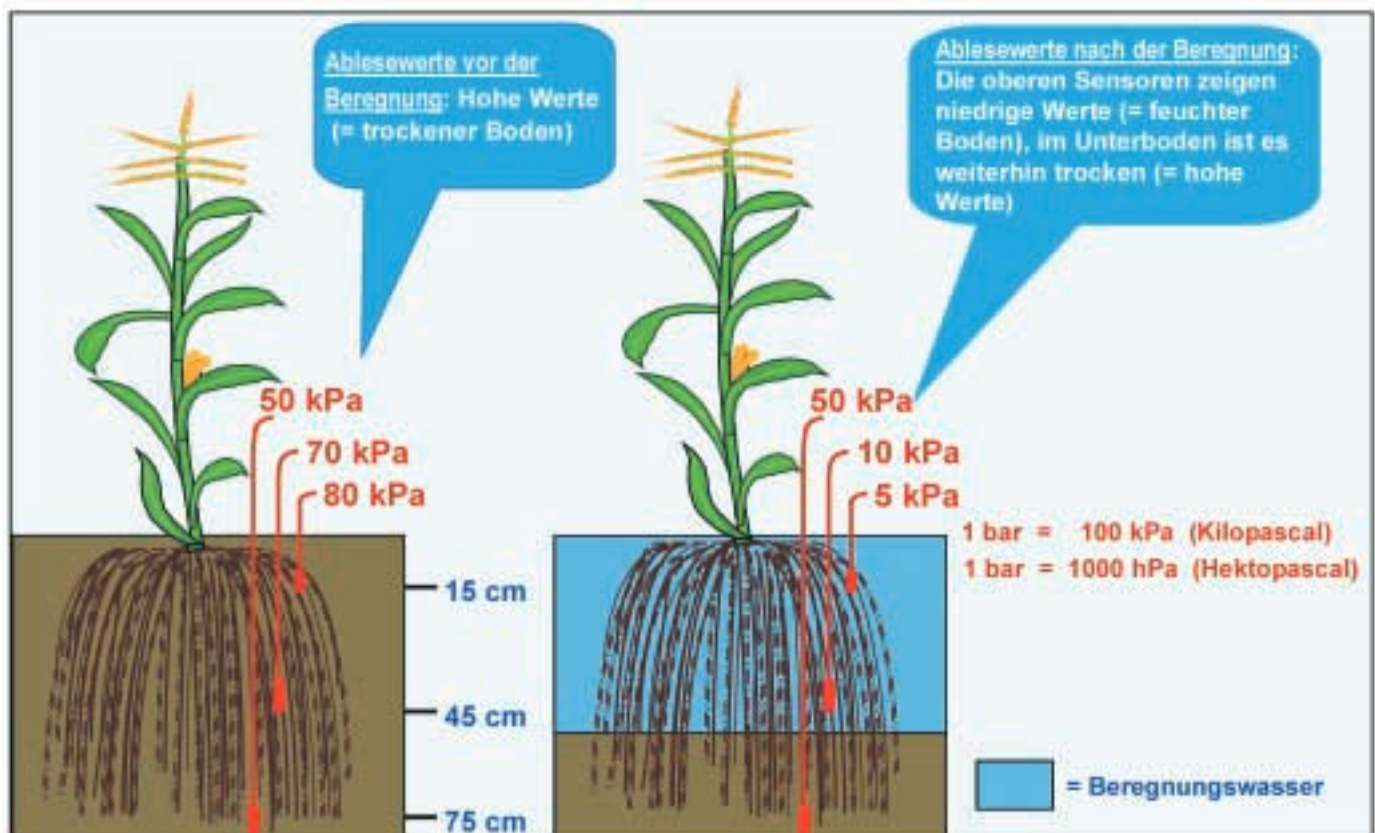


Abb. 2: Einbauschema für Sensoren, Ablesewerte vor und nach der Beregnung



Bild 4: Watermarksensor und Messgerät.

feuchte für alle landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und alle Bodenarten gleichermaßen empfohlen werden. Die Sensoren sind wartungsfrei und können mehrere Jahre verwendet werden.

Alle Sensoren können in verschiedenen Tiefen und in beliebiger Anzahl eingebaut werden. Empfehlenswert ist die gleichmäßige Verteilung im durchwurzelten Bodenraum (Abb. 2). Somit hat man eine gute Kontrollmöglich-

keit über die Feuchtigkeitsverhältnisse im gesamten durchwurzelbaren Boden und über die Eindringtiefe von Beregnungs- oder Regenwasser.

Messwertdarstellung und Interpretation: Als Einstieg in die Messtechnik sollte mit nur einem Schlag begonnen werden. Die Messwerte werden je nach Kulturart und Witterung alle 3 bis 10 Tage abgelesen und zusammen mit den Niederschlags- und Beregnungsmengen auf einem Formblatt wie in Abb. 3 festgehalten. Mit den Bodenfeuchtemessungen kann man einerseits die erforderlichen Beregnungsentscheidungen treffen und andererseits die Veränderungen der Bodenfeuchte in Abhängigkeit der Niederschlags- und Beregnungsmengen im Vegetationsverlauf verfolgen. Solche Formblätter werden von den Ämtern für Landwirtschaft oder von Firmen, die Messgeräte herstellen bzw. vertreiben, zur Verfügung gestellt.

Wenn die Sensoren an das Wassernetz angeschlossen sind, kann über das Steuern der Magnetventile z.B. die Tropfbewässerung oder die Rohrberegnung ein- und ausgeschaltet werden.

Mit den Sensoren werden Punktmessungen durchgeführt. Daher sind sie für Messungen auf Schlägen mit homogenen Bodenverhältnissen (Lössböden im Kraichgau) geeignet. Bei sehr wechselnden Bodenverhältnissen (Schwemmlandböden) bietet sich die Klimatische Wasserbilanz zur Bodenfeuchtebestimmung an.

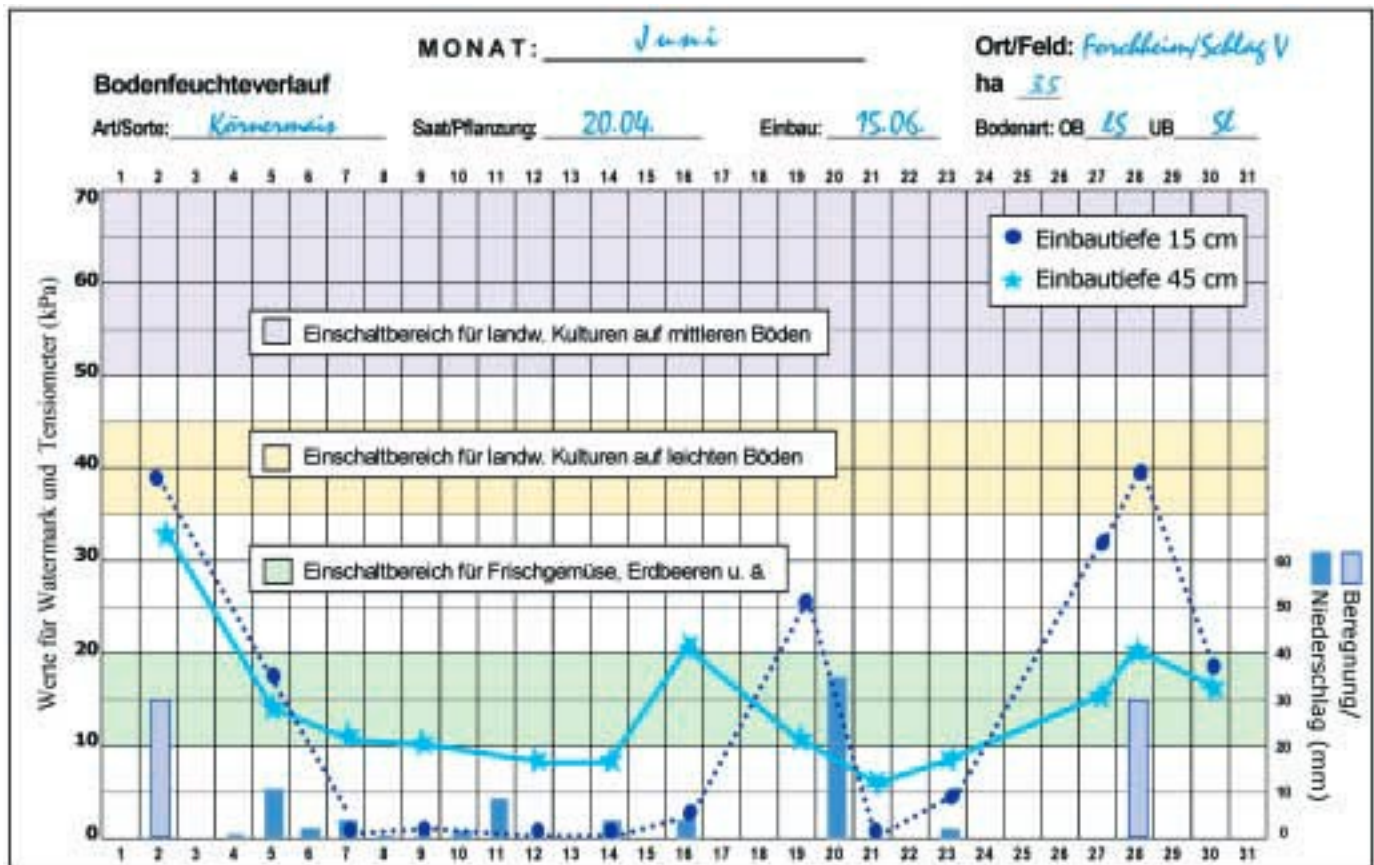


Abb. 3: Eintrag (blaue Farbe) der Saugspannungswerte (Watermark), der Niederschläge und Beregnungsmengen zur Feststellung des Bodenfeuchteverlaufs in ein Formblatt (schwarze Farbe)

Bestimmung der Bodenfeuchte mit der klimatischen Wasserbilanz

Bei der Aufstellung der klimatischen Wasserbilanz wird kontinuierlich der tägliche Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes (= Verdunstung) aufsummiert und Niederschläge und Beregnungsmengen abgezogen. Ist die Niederschlagsmenge eines vorgegebenen Zeitraumes 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 Wasserbilanz und die Bodenfeuchte nimmt ab.

In der Praxis erfolgt die Beregnungssteuerung mit der klimatischen Wasserbilanz in mehreren Schritten, wie das Beispiel in Tab. 4 zeigt. Begonnen wird, wenn der Boden wassergesättigt ist, z. B. im Frühjahr oder nach entsprechenden Niederschlägen bzw. Beregnungsgaben. Voraussetzungen zum Anwenden dieser Methode sind:

- Bereitstellen der Verdunstungswerte nach Penman zum Beispiel durch das Wetterfax oder mit Hilfe anderer Wetterstationen. Dieser Penman-Wert entspricht der Verdunstung eines gut mit Wasser versorgten Grasbestandes.
- Kenntnis der Korrekturfaktoren (kc-Werte) in Abhängigkeit von Kulturart und Entwicklungsstadium (Tab. 5). Z. B. verdunstet der Mais nach dem Auflaufen das 0,4-fache und zur Blüte das 1,2-fache der Penmanverdunstung.

Tab. 4: Beregnungssteuerung mit der klimatischen Wasserbilanz

1. Beginn, wenn der Boden wassergesättigt ist
2. Bestimmung der Bewässerungsmenge nach Tab. 2; entsprechend der Bodenbedingungen und schrittweise an Durchwurzelungstiefe anpassen, z. B. 32 mm für Mais auf lehmig. Sand für 0 – 60 cm Bodentiefe
3. Errechnen der täglichen Wasserbilanz

Datum	Verdunstung (Penman, mm)	*	kc- Wert	–	Nieder- schlag (mm)	=	tägl. Wasser- bilanz (mm)
1.6.	3,8	*	0,8	–	0	=	3,0 mm
2.6.	4,3	*	0,8	–	3,0	=	0,4 mm
3.6.	5	*	0,8	–	0	=	4,0 mm

4. Errechnen der Gesamtwasserbilanz durch Summieren der täglichen Wasserbilanz:
 $3,0 + 0,4 + 4 = 7,4$ mm
 Erreicht der Wert 32 mm, ist zu beregnen!

- Messen des Niederschlages und der Beregnungsmengen auf der zu beregnenden Fläche.

Neben der Berechnung von Hand entsprechend Tab. 4 kann die klimatische Wasserbilanz mit PC-Programmen, die zugekauft werden müssen, berechnet werden.

Den höchsten Komfort bieten hofergene Wetterstationen mit PC-Anschluss, die Niederschläge und weitere Witterungsdaten erfassen, die Verdunstungs- und Bodenfeuchtwerte berechnen und Hinweise zum Beregnungszeitpunkt sowie zur Höhe der Regengabe machen. Es sind nur die schlagspezifischen Beregnungsmengen einzugeben. Mit dem PC kann zusätzlich die Beregnung durch das Steuern der Magnetventile ein- oder ausgeschaltet werden. Eine Wetterstation dürfte wegen der hohen Kosten weniger für den Einzelbetrieb sondern eher für Beregnungsgemeinschaften, -verbände und für Beratungseinrichtungen in Frage kommen. Einen ähnlichen Service bieten Beregnungsinformationsdienste, denen neben den Beregnungsmengen auch die Niederschläge regelmäßig mitzuteilen sind.

Die besten Ergebnisse liefert die klimatische Wasserbilanz, die man im Feld mit einem geeigneten Sensor kontrolliert.

Beregnungstechnik *

Beregnungstechnik dient zur gleichmäßigen Wasserverteilung auf dem Feld. In Baden-Württemberg kommen die Tropfbewässerung, die Rohrberegnung, mobile und halbstationäre Beregnungsmaschinen zum Einsatz.

Hauptbestandteile einer Tropfbewässerungsanlage sind die Steuer- und Regeleinheit, die Hydrant- und Verteilerleitung sowie die Tropfleitungen mit Tropfelementen. Die Steuer- und Regeleinheit reduziert den eventuell zu hohen Druck in der Zuleitung, regelt den Volumendurchfluss, dosiert die notwendige Düngergabe und reinigt das Wasser von Bestandteilen, die die Tropfelemente verstopfen können. Das System arbeitet mit geringem Wasserdruck (< 2 bar) und niedriger Beregnungsintensität (1–4 mm/h) und teilt das Wasser möglichst direkt der Pflanze zu. Dadurch werden Wasserverluste weitgehend vermieden und erhebliche Energieeinsparungen möglich. Bodenfeuchtesensoren (i. d. R. Tensiometer) sind direkt unter dem Tropfer an der feuchtesten Stelle zu platzieren. Die exakte Zuteilung auch geringer Beregnungsmengen mit hoher Verteilgenauigkeit, geringe Ausbringungsverluste und niedriger Energiebedarf stehen hohen Investitionskosten und einem hohen Arbeitszeitbedarf gegenüber.

* Quelle: Sourell 1999: „Betriebstechnische Weiterentwicklung für eine umweltschonende, wasser- und energieschonende Beregnung“, Landbauforschung Völknerode Heft 1

Tab. 5: Pflanzenkoeffizienten (kc-Werte) zum Steuern der Beregnung bei Gemüse und ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturen nach der Geisenheimer Methode

Kulturart	kc-Wert je Entwicklungsstadium der Pflanze							
	Stadium 1		Stadium 2		Stadium 3		Stadium 4	
Blumenkohl	ab Pflanzung	0,5	Pfl.-Ø 30 cm	0,8	Pflanzen-Ø 60 cm	1,2	Höhe > 60 cm	1,4
Brokkoli	ab Pflanzung	0,5	ab 9. Blatt	0,8	ab 14. Blatt	1,4		
Buschbohne	ab Auflaufen	0,4	ab Blühbeginn	0,6	ab massiver Hülsenbildung	1,0		
Chinakohl	ab Pflanzung	0,5	ab 6. Blatt	0,8	Bestandesschluss	1,2		
Eissalat	ab Pflanzung	0,5	ab 7. – 9. Blatt	0,8	ab verst. Blattbildung	1,0	Bestandesschluss	1,2
Endivien	nach Pflanzung	0,5	ab 7. Blatt	0,8	ab 9. Blatt	1,2		
Erbse grün, Sojabohne	ab Auflaufen	0,4	Blühbeginn	1,2	Hülsenbildung	1,1		
Gurken, Einleger	ab Auflaufen	0,5	ab Blühbeginn	0,8	Erntebeginn	1,1		
Grünkohl	ab Pflanzung	0,5	> 6. Laubblatt	0,8	ab verst. Blattbildung	1,2	Bestandesschluss	1,4
Feldsalat	ab Auflaufen	0,4	bis Ernte	0,4				
Kartoffeln früh	nach Legen	0,5	ab Blatt- u. Stängelausbildung	0,8	Längenwachstum	1,0	Bestandesschluss	1,2
Kartoffeln spät	nach Legen	0,4	Triebe > 10 cm	0,6	Längenwachstum	0,9	Bestandesschluss	1,1
Knollenfenchel	ab Pflanzung	0,5	ab 6. Blatt	1,0	ab 8. Blatt	1,4		
Körnermais *	ab Auflaufen	0,4	ab 7. Blatt – Rispschieben	0,7–1,1	Rispsch. – Ende Blüte	1,2	Ko.-ausb. – Teigreife	1,0–0,8
Kohlrabi	ab Pflanzung	0,5	ab 6. Blatt	0,7	Knollen > Ø 2 cm	1,0		
Kopfkohl	ab Pflanzung	0,5	ab 8. Blatt	0,8	ab 11. Blatt	1,2	Beginn Ko. bildung	1,4
Kopfsalat	ab Pflanzung	0,5	Ø > 15 cm	0,8	Ø > 25 cm	1,2		
Lollo rosa	ab Pflanzung	0,5	Ø > 15 cm	0,7	Ø > 20 cm	0,9		
Möhren	ab Auflaufen	0,3	ab 5. Blatt	0,6	Bestandesschluss	0,8		
Porree	ab Pflanzung	0,5	Schaft-Ø > 13 mm	0,8	Schaft-Ø > 16 mm	1,2	Schaft-Ø > 20 mm	1,4
Puffbohnen	ab Auflaufen	0,5	Höhe > 10 cm	0,8	Blühbeginn	1,2	Hülsenansatz	1,4
Radies	ab Auflaufen	0,5	ab 3. Laubblatt	0,7				
Rosenkohl	ab Pflanzung	0,5	ab 6. Blatt	0,8	Bestandesschluss	1,2	Rös.ansatz	1,4
Rote Beete	ab Auflaufen	0,4	ab 5. Blatt	0,8	ab 9. Blatt	1,2	Bestandesschluss	1,4
Spargel (Neuanlage)	ab Aufwuchs	0,5	ab vollst. Ausbild. d. Phyllokladien	0,7–0,8	Anfang September	0		
Spargel ab 2. Standjahr	ab Stehende	0,6	ab vollst. Ausbild. d. Phyllokladien	0,8–1,1	Anfang September	0		
Sellerie, Knollen-	ab Pflanzung	0,5	ab 7. Blatt	0,8	Beginn Knollenentwicklung	1,1	Bestandesschluss	1,4
Sommergetreide *	ab Auflaufen	0,3	Bestandesschluss	0,4–0,6	Schossen – Milchreife	1,0		
Sommerzwiebel	ab Auflaufen	0,5	ab 5. Blatt	1,0	ab 8. Blatt	1,2	Schlottenknick	0
Spinat	ab Auflaufen	0,7	ab 7. Laubblatt	1,0				
Tabak *	ab Pflanzung	0,4	ab 75 cm Höhe	0,8	Beginn Blüte	1,2	ab Erntebg. k. Ber.	
Tomate, Freiland	ab Pflanzung	0,5	ab 0,75 m Höhe	0,8	ab 1,0 m Höhe	1,2		
Wintergetreide *	ab Auflaufen	0,2	Bestandesschluss	0,4–0,6	Schossen – Milchreife	1,0		
Zucchini	ab Auflaufen	0,5	ab Blühbeginn	0,8	ab Fruchtansatz	1,2		
Zuckerrübe *	ab Auflaufen	0,3	ab 5. Blatt	0,4	Bestandesschluss	1,0	Rübe > 12 cm	0,8–0,5

Quelle: Paschold et al. 2002: „Geisenheimer Bewässerungssteuerung“, Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 1/2002, * ergänzt bzw. abgeändert

In der Praxis überwiegt die **Rohrberegnung**. In der Regel werden an eine Hauptleitung ein oder mehrere Regnerleitungen angeschlossen. Je nach Verfahrensablauf werden

entweder mehrere Regner direkt auf der Regnerleitung angekoppelt oder mit Seitenschläuchen mit der Regnerleitung verbunden. Diese Technik arbeitet mit Schwach-

oder Mittelstarkregnern bei einer Beregnungsintensität von 1–7 mm/h und einem Wasserdruck von etwa 5 bar am Hydranten. Die Regner können in Dreieck- oder Viereckverband aufgestellt werden. Der Dreieckverband zeichnet sich durch geringere Regendichten und eine bessere Verteilgenauigkeit aus. Trotzdem überlappen sich die Wasserstrahlen der Regner in beiden Verbänden, wodurch die Verteilgenauigkeit der Rohrberegnung im Vergleich zu anderen Verfahren schlechter abschneidet. Eine Verbesserung der Wasserverteilung ist mit abnehmendem Regnerabstand zu erreichen. Der Auf- und Abbau bzw. das Umsetzen erfordern einen außerordentlich hohen Arbeitsaufwand. Um diesen Aufwand zu mindern, sind verschiedene Weiterentwicklungen bekannt, wie längs versetzbare Rohrberegnung, Rohr-Schlauchberegnung oder Schlauchberegnung.

Bei den **Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug** steht die Beregnungsmaschine (Trommelwagen) am Feldrand. Die Rohrtrommel wird hydraulisch angetrieben und zieht die Regnerleitung (trommelbare Kunststoffrohre aus PE = Polyäthylen) mit dem Regnerwagen ein. Das PE-Rohr ist in der Transportstellung auf einer Rohrtrommel aufgespult. Der Regnerwagen wird mit einer Winde oder einer Heberampe angehoben und hinterhergezogen.

Die Mehrzahl der Beregnungsmaschinen ist mit Großflächenregnern (**Regenkanone**) bei einer Beregnungsintensität von 15 bis 30 mm/h ausgerüstet. Zur vollen Nutzung der möglichen Wurfweite, vor allem aber für eine gute Strahlaflösung, ist ein Wasserdruck am Hydranten ab etwa 7 bis 8 bar (Regner 4 – 5 bar) erforderlich.

Neben Beregnungsmaschinen mittlerer Bauart (Rohraußendurchmesser 75 bis 90 mm, Rohrlängen bis 300 m) für eine Einsatzfläche von 15 bis 30 ha werden heute große Beregnungsmaschinen bis 600 m Rohrlänge für Beregnungsflächen von 40 bis 60 ha und spezielle kleine Beregnungsmaschinen von 50 mm Rohraußendurchmesser für Einsatzbereiche von 5 bis 10 ha angeboten.

Die Beregnungsmaschine sind stark verbreitet, da sie bei unterschiedlichsten Betriebsbedingungen einsetzbar sind und der Kapital- und Arbeitszeitbedarf vertretbar sind.

Für die Beregnung ist eine optimale Zuordnung von **Beregnungsintensität** und Infiltrationsgeschwindigkeit des Bodens von besonderer Bedeutung. Die Einsatzgrenzen verschiedener Beregnungsverfahren mit unterschiedlicher Beregnungsintensität werden im wesentlichen von den Faktoren Bodenbedeckung, Hangneigung und Bodenart bestimmt. Richtwerte für die zulässige Beregnungsintensität zeigt Tabelle 6. Die Richtwerte zeigen, dass am Hang auf mittleren Böden die mit der Beregnungsmaschine gegebenen hohen Wassergaben mit einer Beregnungsintensität von 15 bis 35 mm/h nicht zu vertreten sind. Zu hohe Beregnungsintensitäten führen zu Oberflächenabfluss und Verschlammung.

Die **Wasserverteilung** wird durch Wind speziell bei Beregnungsmaschinen und der Rohrberegnung wesentlich verschlechtert. Eine entscheidende Verbesserung brachten bei den Beregnungsmaschinen Regnerwagen, die nicht mit einer Regenkanone sondern mit einem düsenbestückten Ausleger ausgestattet sind. Diese **Düsenwagen** arbeiten in der Regel mit großtropfigen Düsen (Drehstrahldüsen). Sie zeichnen sich durch eine gleichmäßige Wasserverteilung,

Tab. 6: Richtwerte für die Beregnungsintensität auf unterschiedlichen Standorten

Hangneigung %	Bodenbedeckung	B o d e n			
		mittel, Löß (mm/h)	mittel-leicht, sL (mm/h)	leicht, IS (mm/h)	sehr leicht, S (mm/h)
bis 4	gering	8 – 18	13 – 25	18 – 35	25 – 50
	gut	10 – 25	18 – 35	25 – 60	35 – 75
4 bis 8	gering	5 – 13	10 – 18	13 – 25	18 – 35
	gut	8 – 18	15 – 25	25 – 35	25 – 60
über 8	gering	4 – 8	8 – 13	10 – 18	13 – 25
	gut	6 – 10	10 – 18	15 – 25	18 – 35

eine geringe Windempfindlichkeit und durch eine Verringerung der erforderlichen Wassergabe (geringere Ausbringungsverluste) aus. Das geringe Wasservolumen bei vermindertem Betriebsdruck (ca. 1,5 bar an der Düse) reduziert den Energiebedarf um 50 %. Auf eine einfache Handhabung des Auslegers ist zu achten. Der Arbeitszeit- und Kapitalbedarf sowie die Beregnungsintensität sind jedoch höher als bei der Beregnungskanone.

Halbstationäre Beregnungsmaschinen sind die rollende Rohrberegnung, die Linear- und Kreisberegnungsmaschinen (Pivotanlagen). Der Einsatz dieser Verfahren setzt Schlaggrößen von mindestens 40 ha und möglichst eine Kulturart mit häufigem Beregnungseinsatz voraus. Daher werden diese Verfahren in Baden-Württemberg nur vereinzelt eingesetzt. Die rollende Rohrberegnung war in der ehemaligen DDR verbreitet, Pivotanlagen sind häufig in Frankreich anzutreffen.

Tab. 7: Möglichkeiten zum Optimieren von Bewässerungsanlagen

<p>Beregnungsmaschine</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektron. Einzugsregelung, incl. Vor- und Nachberegnung • Über- und Unterdruckabschaltung • Variabler Strahlanstieg
<p>Düsenwagen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektron. Einzugsregelung, incl. Vor- und Nachberegnung • Über- und Unterdruckabschaltung • Alleinige Verwendung von Drehstrahldüsen
<p>Rohrberegnung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speziell auf Regner abgestimmter Regnerverband • Verwenden von Sektorenregnern zum Reduzieren der Feldrandüberschreitungen • Einsatz von computergesteuerten Magnetventilen
<p>Tropfbewässerung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Regelung mit Bodenfeuchtesensoren (Tensiometer, Flori-System) • Düngereinspeisung (Fertigation)

Um Beregnungsanlagen vor allem hinsichtlich Wasserverteilung und Beregnungssteuerung zu optimieren, kommen die in Tab. 7 zusammengestellten Möglichkeiten in Frage.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Beregnungsverfahren sind in Tab. 8 gegenübergestellt. Aus dieser Zusammenstellung lässt sich die Eignung des jeweiligen Verfahrens für die Betriebe der Landwirtschaft und des Gartenbaus ablesen. Die Verfahren können sich in ihrer Eignung für den jeweiligen Betrieb ergänzen oder ausschließen. In einem großen Betrieb kann auch mehr als ein Verfahren zum Einsatz kommen.

Frostschutzberegnung

Die Frostschutzberegnung wird ab Temperaturen um 0 °C eingeschaltet und schützt wertvolle Kulturen bis – 6 °C Lufttemperatur. Die Schutzwirkung beruht auf der bei der Umwandlung von Wasser in Eis freiwerdenden Erstarungswärme. Mit einem Liter gefrierendem Wasser werden 80 kcal frei, eine Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 l Wasser von 20 °C zum Kochen zu bringen. Es sind mit 2 – 3 mm/h nur niedrige Regendichten erforderlich. Daher werden Schwach- oder Normalregner (im Dreierverband) mit Intervallschaltung eingesetzt. Bei der Intervallschaltung werden die Regner abwechselnd 10 Minuten ein- und 10 Minuten ausgeschaltet. Mit der Frostschutzberegnung werden oft beachtliche Wassermengen auf bereits wasser gesättigte Böden ausgebracht. Niedrige Beregnungsdichten sind notwendig, um Versickerung und Nährstoffauswaschung so gering wie möglich zu halten.

Beschaffenheit des Beregnungswassers

Schwebstoffe und hohe Eisen- sowie Mangangehalte können durch geeignete Filter (z.B. Sandfang) entfernt werden. Hygienische Anforderungen zum Bau und Betrieb einer Beregnungsanlage wurden zum Schutz für Mensch, Tier und Grundwasser mit der DIN 19650 im Jahr 1999 formuliert. Auf die Einhaltung dieser Vorgaben ist insbesondere bei Beregnungswasser, das aus Oberflächengewässern gewonnen wird, zu achten. Hohe Mineralstoffgehalte, z.B. Nitrat, sind bei der Düngung zu berücksichtigen. Dabei entsprechen 10 mg Nitrat je Liter Beregnungswasser 0,023 kg N/mm und ha, d.h. bei 50 mg Nitrat je l und 100 mm Beregnungswasser werden 11,3 kg N/ha ausgebracht.

Tab. 8: Vor- und Nachteile verschiedener Berechnungstechniken

	Tropf- bewässerung	Rohr- beregnung	Beregnungs- maschine mit Kanone	Beregnungs- maschine mit Düsenwagen
Beregnungsintensität	--	0	+	++
Mobilität	--	-	++	+
Schlagkraft	+	+	++	0
Kapitalbedarf	++	0/+	0	+
Eignung für kleine Flächen, auch mit Hindernissen	++	+	-	0/-
Arbeitszeitbedarf	++	+	0	+
Energiebedarf	--	0	++	0
Dauer der Blattnässe	--	+	+	+
Qualitätsanforderungen an Beregnungswasser	++	--	--	--
Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung ohne/mit Wind	++/++	--/--	+/--	++/+
Beregnungssteuerung automatisierbar	ja	ja	nein	nein
Frostschutzberegnung möglich	nein	ja	nein	nein
Geringe Beregnungshöhen möglich	ja	ja	nein	
Feldrandüberschreitung	nein	ja	ja	ja
Geeignet für	Intensivkulturen mit häufigem Beregnungseinsatz oder Dauerkultu- ren mit weitem Reihenabstand	Kulturen auf nicht wechselnden Flächen und/oder häufigem Beregnungs- einsatz	Kulturen auf wechselnden oder nicht zusammen- hängenden Flächen	Intensivkulturen auf wechselnden Flächen

--: sehr niedrig, sehr kurz; -: niedrig, kurz; 0: mittel; +: hoch, lang; ++: sehr hoch, sehr lang

Wirtschaftlichkeit der Beregnung

Insbesondere vor der Neubeschaffung einer Anlage zur Beregnung oder Bewässerung, aber auch bei vorhandener Beregnungsanlage ist die Beregnungswürdigkeit, d. h. die Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Die Beschaffung und der Betrieb der Beregnung ist wirtschaftlich, wenn auf Dauer der

Mehrerlös durch **höher** als die **Kosten** der Beregnung (€/ha, Mehrertrag x Preis) ist Beregnung (€/ha, fixe und variable Kosten).

Der Mehrerlös ergibt sich zuerst einmal aus den höheren Erträgen. Aufgrund der oft besseren Qualität ergeben sich Mehrerlöse z.B. bei Sonderkulturen auch durch höhere Produktpreise. Bei Gemüse und Obst ist die Beregnung oft ein unverzichtbares Produktionsmittel zur Qualitätssicherung, da die Ware unter einem qualitativen Mindeststandard gar nicht verkäuflich ist.

Bei den Kosten sind die fixen und variablen Kosten zu unterscheiden. Kostenbeispiele sind für die verschiedenen Techniken in Tab. 9 zusammengestellt. Insbesondere die Fixkosten können im Einzelfall je nach Wasserbeschaffung (Tief- oder Flachbrunnen) und -förderung (Entfernung Pumpe – Feld) stark abweichen. Die Fixkosten werden pro ha und Jahr, die variablen zuerst pro mm Regengabe und dann pro ha und Jahr errechnet.

Tab. 9: Beispiele für die fixen und variablen Kosten bei verschiedenen Techniken

Kostenart	Tropf- bewässerung	Rohr- beregung	Regen- maschine mit Kanone	Regen- maschine mit Düsenwagen
Beregenbare Fläche (ha)	5	25	25	25
Investitionssumme insg. (€)	40.000	86.000	60.000	75.000
Fixe Kosten (€/ha): Brunnen, Pumpen, Leitungen, elektr. Inst., Technik	1.300	300	135	170
Variable Kosten (€/mm): Energie, Arbeit, Reparatur, Wasserpfeffig	2,5	2,4	2,2	2,2
Summe (€/ha und Jahr bei 120 mm)	1.600	588	399	434

Bei langfristiger Betrachtung, insbesondere vor einer Neuinvestition, ist die Summe der fixen und variablen Kosten zu berücksichtigen. Diesen Betrag müssen die zu erwartenden Mehrerlöse übersteigen, wenn sich die Beregnung lohnen soll.

Verfahren, die ausschließlich mit Beregnung durchführbar sind, sind mit alternativen Produktionsverfahren zu vergleichen.

Bei kurzfristiger Betrachtung muss bei vorhandener Beregnungsanlage mehr als die Summe der variablen Kosten zusätzlich Erlöst werden. D.h. bei vorhandener Beregnungsanlage ist das „Wassersparen“ falsch, solange die variablen Kosten gedeckt sind.

BEISPIEL: Beregnung von Körnermais mit Regenmaschine und Kanone, Fixkosten: 135 €/ha, Summe variable Kosten: 2,2 €/mm x 120 mm = 264 €/ha, Summe: 399 €/ha. Bei einem Erzeugerpreis von 10 €/dt lohnt sich eine Neuinvestition nur, wenn im Mittel der Jahre durch die Beregnung knapp 40 dt/ha mehr gedroschen werden. Bei vorhandener Anlage ist zu beregnen, wenn Mehrerträge über 26 dt/ha zu erwarten sind.

Als beregnungswürdige Kulturen sind für Baden-Württemberg Obst und Gemüse, Reben und bestimmte Ackerbaukulturen wie Körnermais, Zuckerrüben, Kartoffeln und Tabak zu nennen. Bei Getreide ist der Erzeugerpreis oft so niedrig, dass die erforderlichen Mehrerlöse trotz deutlicher Mehrerträge in der Mehrzahl der Jahre nicht erreicht werden.

Weitere Auskünfte erteilt Ihnen Ihr zuständiges Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur:

Herausgeber: Landesanstalt für Pflanzenbau
Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten
Tel.: 07 21/95 18-30
Fax: 07 21/95 18-202
eMail: poststelle@lap.bwl.de
http://www.lap.bwl.de

Druck-Nr. des MLR: 19/2002

Text: Klaus Mastel, LAP Forchheim

Fotos: Klaus Mastel, LAP Forchheim
Dr. Eckehard Wilhelm, ALLB Bruchsal

Druck: Harschdruck GmbH Karlsruhe

