



**Aqua Alimenta**  
Make it flow Let it grow



2024

GRUNDLAGEN DOKUMENT ZUM THEMA

**BEWÄSSERUNGSWISSEN**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Wasserbedarf der Pflanzen.....	1
3	Bodenbeschaffenheit .....	2
4	Grundlagenwissen .....	4
5	Bestimmung des Bewässerungsbedarfs .....	4
5.1	Elemente zur Bestimmung des Bewässerungsbedarfes .....	4
5.2	Berechnung des RAW (leicht verfügbares Wasser) .....	6
6	Bewässerungsmanagement .....	7
	Anhang 1: Bewässerungstechnik .....	8
	Anhang 2: Sensible Wachstumsphasen bzgl. Wasserstress .....	10
	Anhang 3: Effizienzfaktor (EF) verschiedener Pflanzen .....	11

## 1 Einleitung

Wasser ist essentiell für das Wachstum und das Überleben von Pflanzen. Es spielt eine wichtige Rolle – sei es im Stoffwechsel der Pflanzen, bei der Photosynthese oder bei der Aufnahme und dem Transport von Nährstoffen.

Heute ist die Landwirtschaft mit 70% aller Wasserentnahmen weltweit der grösste Verbraucher der verfügbaren Süßwasserressourcen. Im 20. Jahrhundert stieg der Wasserverbrauch doppelt so schnell wie das Bevölkerungswachstum, nicht zuletzt durch die Ausbreitung der Bewässerungslandwirtschaft. Der Klimawandel und eine schnell wachsende Weltbevölkerung werden den Druck auf die verfügbaren Wasserressourcen weiter verstärken<sup>1</sup>.

Um diesem Druck entgegenzuwirken, sollten diejenigen, die die Bewässerung fördern, eine optimale Nutzung des Wassers gewährleisten. Für eine optimale Bewässerung braucht es einige Grunddaten: Wasserbedarf der Pflanzen während den verschiedenen Wachstumsphasen, Bodenbeschaffenheit und Klima.

## 2 Wasserbedarf der Pflanzen

Der Wasserbedarf der Kulturpflanzen ist unterschiedlich und hängt von folgenden Faktoren ab: Transpiration, Evaporation, Vegetationszyklus, Biomasse, Wassernutzungseffizienz und Wasserstresstoleranz.

Unter Transpiration wird dasjenige Wasser verstanden, das in die Pflanzenwurzeln eindringt und zum Aufbau von Pflanzengewebe verwendet und/oder durch die Blätter in die Atmosphäre abgegeben wird. Die Transpiration ist ein unvermeidbarer Effekt der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die Spaltöffnungen (Stomata) der Blätter. Das bedeutet auch, dass unter konstanten hydroklimatischen Bedingungen im Allgemeinen eine lineare Beziehung zwischen Pflanzenwachstum und Transpiration besteht. Mehr Biomasse bedeutet mehr Transpiration.

Unter Evaporation wird dasjenige Wasser verstanden, das von der Bodenoberfläche, von Wasseroberflächen (z. B. während einer Periode von Überflutung) oder von den Blättern der Pflanze (wenn Blätter durch Regen oder Bewässerung befeuchtet werden) verdunstet.

Das Verhältnis zwischen Gesamtbiomasse und Wasserverbrauch/Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) ist definiert als die Wassernutzungseffizienz (ET<sub>c</sub>). Die folgende Tabelle zeigt grobe Angaben zu ET<sub>o</sub> für verschiedene Klimabedingungen.

Tabelle 1: Tägliche Evapotranspiration für verschiedene klimatische Zonen<sup>2</sup>:  
Evapotranspiration in mm/Tag bei unterschiedlichen Temperaturen (°C)

Klimatische Zone	Tief (< 15°C)	Medium (15 – 25°C)	Hoch (> 25°C)
Wüste / trocken	4-6	7-8	9-10
Semi-arid	4-5	6-7	8-9
Sub-humid	3-4	5-6	7-8
Humid	1-2	3-4	5-6

Die Wassernutzungseffizienz ist ein Mass für die Fähigkeit, bei Wassermangel CO<sub>2</sub> effektiv zu nutzen und Photosynthese zu betreiben. An Trockenheit und höhere Temperaturen angepasste Pflanzen (C<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais, Hirse, Zuckerrohr und andere Gräser sowie CAM-Pflanzen wie Kakteen, Oxalis, Dickblattgewächse) haben effizientere Wege bei der CO<sub>2</sub>-Fixierung, so dass sie das zur Verfügung stehende Wasser besser nutzen können. Sie haben daher bei warmem Wetter eine höhere Produktivität und eine bessere Wassernutzungseffizienz als C<sub>3</sub>-Pflanzen.

<sup>1</sup> Quelle: FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

<sup>2</sup> Quelle: NBI – Nile Basin Initiative (2012): Irrigation best practices for smallholder agriculture

Pflanzen unterscheiden sich aus verschiedenen Gründen in ihrer Fähigkeit, dem Boden Wasser zu entziehen, und in ihrer Fähigkeit, Wasserstress zu widerstehen:

- Im Allgemeinen widerstehen Pflanzen mit grossen oder tiefen Wurzelsystemen, z.B. Luzerne, Wasserstress besser als Pflanzen mit einem flachen Wurzelsystem, z.B. Kopfsalat.
- Pflanzenarten, die an trockene Klimabedingungen angepasst sind, z.B. Oliven oder Mango, widerstehen Wasserstress besser als Arten aus feuchten Klimazonen, z.B. Avocado oder Kakao.
- Moderne Hybriden mit einem flachen Wurzelsystem sind empfindlicher gegenüber Wasserstress als alte Sorten.

### 3 Bodenbeschaffenheit

Die verschiedenen Bodentypen können verschiedene Mengen an Wasser speichern, doch nicht alles gespeicherte Wasser ist pflanzenverfügbar. Sandige Böden mit ihrer losen Struktur und groben Partikeln können relativ wenig Wasser speichern, das den Pflanzen aber fast vollständig zur Verfügung steht. Lehmige Böden hingegen können viel Wasser speichern, das den Pflanzen aber nur teilweise zur Verfügung steht.

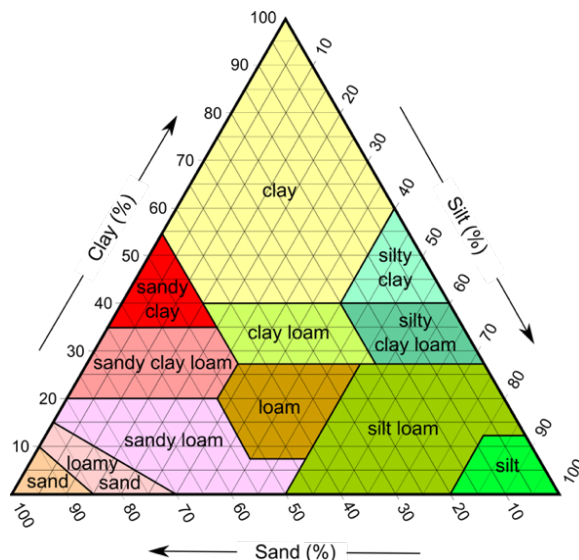


Abbildung 1: Dreiecksdiagramm der Körnungsklassen

**Ton (clay):** Tonerde ist ein sehr feinkörniges Schichtsilikat mit Korngrössen kleiner als 2  $\mu\text{m}$ .

**Schluff (silt):** Schluff ist eine Bodenart, die aus sehr feinem verwittertem Gestein besteht, wie z.B. Quarz oder Feldspat oder anderen Sedimenten. Schluff besitzt eine Körnung von 2 – 63  $\mu\text{m}$ .

**Lehm (loam):** Lehm ist eine Mischung aus Sand, Schluff und Ton.

Die Eigenschaft des Bodens, Wasser speichern zu können, ist für die Wasserversorgung der Pflanzen, den Grundwasser- und den Hochwasserschutz von Bedeutung. Entscheidend für das Wasserspeichervermögen eines Bodens sind die Bodenart (Korngrössen), der Porenanteil und die Porengrössenverteilung, der Humusgehalt und die Humus-Art, die Art der Tonminerale sowie das Bodengefüge<sup>3</sup>.

Die gesamte Wassermenge, die ein Boden aufnehmen kann, wird als maximale Wasserkapazität bezeichnet, angegeben z.B. in  $\text{l/m}^3$ . Entscheidend für die Wasserversorgung der Pflanzen ist die Wassermenge, die ein Boden zwei bis drei Tage halten kann. Diese Fähigkeit eines Bodens wird als Feldkapazität (FK) bezeichnet.

<sup>3</sup> Das Bodengefüge oder die Bodenstruktur wird als die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile definiert.

Bodenporen mit einem Durchmesser über 10  $\mu\text{m}$  (Groporen) oder über 50  $\mu\text{m}$  (Makroporen) können das Bodenwasser nicht kapillar festhalten. Es fließt durch sie ab. Poren unter 0.2  $\mu\text{m}$  (Feinporen) halten Wasser durch Adhäsionskräfte so fest, dass die Pflanzenwurzeln es nicht mehr entnehmen können. Längerfristig ist für die Pflanzen demnach das Wasser in den Mittelporen (10 – 0.2  $\mu\text{m}$ ) bedeutsam. Dieser Wasservorrat ist die nutzbare Feldkapazität. Trocknet ein Boden so weit aus, dass nur noch Feinporen Wasser führen, ist für viele Nutz- und Gartenpflanzen der permanente Welkepunkt (PWP) erreicht. In den Leitungsbahnen der Pflanzen reisst die Wasserzufuhr von den Wurzeln her ab, die Pflanzen werden welk.

Der Bodentyp kann im Labor oder üblicherweise auf dem Feld mittels eines sensorischen Tests bestimmt werden. Zur Durchführung des sensorischen Tests wird eine Handvoll nasse Erde genommen, zu einer Kugel und anschliessend in der Hand zu einer Rolle geformt (vgl. Abbildung 2). Die Konsistenz der Kugel und die mögliche Länge der Rolle geben einen Hinweis auf den Tongehalt des Bodens.



Abbildung 2: Sensorischer Test<sup>4</sup>

Je länger die Rolle wird, bevor sie bricht, desto höher ist der Tongehalt. Das Bild zeigt einen sandigen Lehm, mit wenig Ton.

Tabelle 2: Sensorischer Test des Tongehaltes<sup>5</sup>

Bodentyp	Konsistenz der Erde	Rollenlänge	Tongehalt %
Sand	Praktisch kein Zusammenhalt	Nil	< 10 % (oft < 5 %)
Lehmiger Sand	Leichter Zusammenhalt	≈5 mm	5–10 %
Sandiger Lehm	Zusammenhalt, sehr sandig anzufühlen	15–25 mm	10–20 %
Lehm	Zusammenhalt, gummig anzufühlen	≈25 mm	≈25 %
Sandiger, toniger Lehm	Starker Zusammenhalt, sandig anzufühlen	25–40 mm	≥ 25 %
Toniger Lehm	Plastikartig, leicht zu bearbeiten	40–50 mm	20–30 %
Leichter Ton	Plastikartig, angenehm anzufühlen	50–75 mm	35–40 %

<sup>4</sup> Quelle: FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

<sup>5</sup> Quelle: Angepasst aus FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

## 4 Grundlagenwissen

### Organische Substanz

- Die organische Substanz im Boden kann bis zu 90% ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Regelmässige Gaben von organischer Substanz erhöht die Wasserrückhaltkapazität des Bodens.
- Die organische Substanz schafft eine Bodenstruktur mit vielen Poren und trägt so zur Wasserrückhaltung bei. Eine gute Bodenstruktur erleichtert auch die Durchwurzelung des Bodens und fördert die optimale Wasseraufnahme.
- Intensive Bodenbearbeitung zerstört die Bodenstruktur und verkleinert die Anzahl Poren. Die Bearbeitung mit schweren Maschinen hat einen ähnlichen Effekt (Bodenverdichtung).

### Mykorrhiza

- Arbuscular Mykorrhiza (AM) ist ein Pilz, der in Symbiose mit Pflanzenwurzeln lebt. Er erweitert die Wurzelfläche und -zone. AM kann in Bodenporen eindringen und Wasser und Nährstoffe für die Pflanze mobilisieren.
- Pflanzen, die in Symbiose mit Mykorrhiza leben, haben eine höhere Wasserstresstoleranz und bringen dadurch höhere Erträge. Ein mikrobiologisch aktiver Boden oder die Inokulation des Bodens mit AM können den Wasserstress der Pflanzen in ariden Gebieten reduzieren.
- Mykorrhiza spielt auch eine wichtige Rolle in der Bodenstabilität.

### Pflanzen und Bodenmanagement

- Regelmässige organische Materie zuführen, um den Humusgehalt des Bodens zu erhalten.
- Bodenbearbeitung auf ein Minimum reduzieren.
- Boden mit Mulch abdecken.
- An den Standort und die klimatischen Bedingungen angepasste Sorten auswählen.
- Bodenverdichtung und Erosion verhindern.

### Wasseraufnahme

- Pflanzenwurzeln nehmen Wasser aus dem Boden durch Osmose auf. Ein höherer Salzgehalt in den Wurzeln als im Bodenwasser erzeugt eine Saugkraft und die Wurzeln nehmen das Wasser durch halb-durchlässige Zellen auf.
- Die Transpiration der Pflanze zieht das Wasser von den Wurzeln in die Blätter. Das angesogene Wasser wird zum vaskulären Gewebe (Xylem) geschafft und von dort in die Blätter transportiert.
- Die Wasseraufnahme geschieht zum grössten Teil durch junge Wurzeln, die mit Wurzelhaaren übersät sind und so die Wurzeloberfläche vergrössern.

## 5 Bestimmung des Bewässerungsbedarfs

### 5.1 Elemente zur Bestimmung des Bewässerungsbedarfes

**Feldkapazität:** Die Feldkapazität ist diejenige Menge Wasser, die im Boden verbleibt, nachdem dieser gesättigt wurde (bei guter Drainage) – für ein bis zwei Tage (entspricht den Mittelporen 0.2 – 10  $\mu\text{m}$ ).

**Permanenter Welkepunkt:** Der permanente Welkepunkt ist der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, bei dem die Pflanzen welken und sich auch bei Bewässerung nicht mehr erholen.

**Verfügbare Wasserkapazität:** Die Differenz zwischen Feldkapazität und permanentem Welkepunkt wird als verfügbare Wasserkapazität bezeichnet (AWC) (vgl. Abbildung 3). Die verfügbare Wasserkapazität ist das Maximum an pflanzenverfügbarem Wasser, das ein Boden enthalten kann.

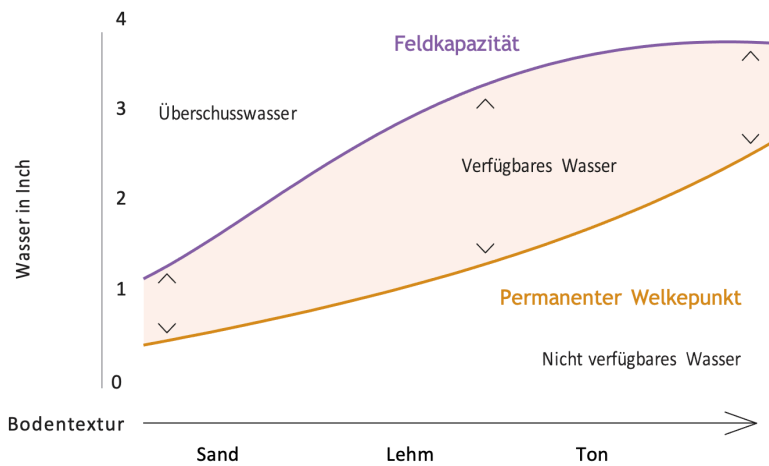


Abbildung 3: Verfügare Wasserkapazität verschiedener Böden<sup>6</sup>

Sandige Böden haben eine viel geringere verfügbare Wasserkapazität als lehmige oder tonige Böden, jedoch ist praktisch alles Wasser leicht verfügbar.

### Leicht verfügbares Wasser (RAW)

Leicht verfügbares Wasser ist die Wassermenge im Boden, die die Pflanzen leicht aufnehmen können, bevor der Wasserstress beginnt (siehe Abbildung 4).

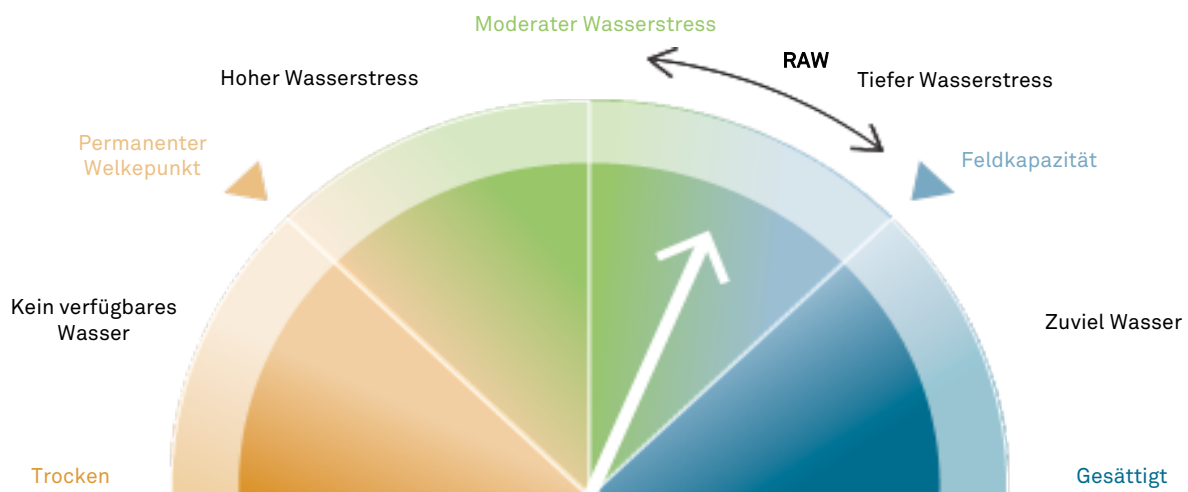


Abbildung 4: Verfügbares Bodenwasser und Wasserstress<sup>7</sup>

Das leicht verfügbare Wasser (RAW) erlaubt das beste Pflanzenwachstum.

<sup>6</sup> Quelle: Angepasst aus FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

<sup>7</sup> Quelle: Angepasst aus FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

Tabelle 3: Brutto RAW in Relation zum Bodentyp und Pflanzenwasserstresstoleranz<sup>8</sup>

Tolerierbarer Wasserstress	Sehr gering	Gering	Moderat	Hoch
Bodentyp	RAW (mm oder l/m <sup>2</sup> )			
Sand	30	35	35	40
Lehmiger Sand	45	50	55	60
Sandiger Lehm	45	60	65	70
Lehm	50	70	85	90
Sandiger Tonlehm	40	60	70	80
Tonlehm	30	55	65	80
Leichter Ton	25	45	55	70

### Bodenwasserdruck

Der Bodenwasserdruck (gemessen in kilo Pascal = kPa) gibt an, wie stark das Wasser an die Bodenpartikel gebunden ist. Pflanzenwurzeln brauchen eine Saugkraft die höher als der Bodenwasserdruck ist, um Wasser aufzunehmen. Wenn der Bodenwasserdruck höher ist als der Druck in den Wurzeln, dreht sich die Osmose und die Pflanze beginnt zu welken.

Tabelle 4: Wasserstress von Kulturpflanzen<sup>9</sup>

Wasserstresstoleranz	Bodenwasserdruck	Beispiel
sehr gering	-20 kPa	Blattgemüse (z.B. Kopfsalat)
gering	-40 kPa	«Harte» Gemüse (z.B. Aubergine)
moderat	-60 kPa	Fruchtbäume, Feldfrüchte
hoch	-100 kPa	«Harte» Pflanzen (z.B. Sorghum, Alfalfa)

Die Tabelle zeigt, dass Gemüse eher in einen Wasserstress kommt als Feldfrüchte und Fruchtbäume. Dies hat weitgehend mit ihrem Wurzelsystem zu tun.

## 5.2 Berechnung des RAW (leicht verfügbares Wasser)

Folgende Informationen braucht es zur Berechnung des RAW:

1. Bodenbeschaffenheit (mittels sensorischen Tests oder Laboranalyse)
2. Durchwurzelungstiefe der Kulturpflanze: Je tiefer die Wurzeln sind, desto grösser ist die Wasserstresstoleranz (die meisten Gemüsepflanzen mit einem kurzen Vegetationszyklus haben eine Wurzeltiefe von ca. 25 cm, Fruchtbäume hingegen von ca. 60 cm).
3. Anteil Steine und Kies des Bodens (1 kg trockene und gemahlene Erde wird mit einem 1 mm Sieb gesiebt).

**Brutto RAW (l/m<sup>2</sup>) x (100 – Steine und Kies in %) = Netto RAW**

**Netto RAW x Durchwurzelungstiefe (cm) / 100 cm = effektiver RAW**

<sup>8</sup> Quelle: Angepasst aus FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

<sup>9</sup> Quelle: Angepasst aus FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management



### Beispiel:

Der Boden ist ein lehmiger Boden. Es sollen Auberginen angebaut werden. Steine und Kies machen 12% des Bodens aus:

$$\text{Netto RAW} = 70 \times 0.88 = 61.6 \text{ l/m}^2$$

$$\text{Effektiver RAW} = 61.6 \times 30 : 100 = 18.48 \text{ l/m}^2 \text{ leicht verfügbares Wasser}$$

Die Berechnung des RAW mittels Boden- und Pflanzentyp ist indikativ und muss mittels Beobachtung ergänzt werden.

### **Einfache Schätzung der Bewässerungsnotwendigkeit**

- Evapotranspiration  $\geq$  effektiver RAW  $\rightarrow$  Bewässerung ist notwendig.
- Evapotranspiration  $<$  effektiver RAW  $\rightarrow$  keine Bewässerung notwendig.

Der Wasserbedarf einer Pflanze kann auch wie folgt bestimmt werden:

- durch das Messen der Bodenfeuchtigkeit mittels Sensor (z.B. Tensiometer)
- durch das Messen der Evapotranspiration der Pflanze (z.B. Evaporationspfanne)
- oder einer Kombination davon

Nicht nur zu wenig, sondern auch zu viel Wasser hat negative Konsequenzen:

- Verschwendung von Wasserressourcen
- Auswaschen von Pflanzennährstoffen und mögliche Kontamination des Grundwassers
- Ineffiziente Nutzung von Energie und Wasser
- Abschwemmung und Bodenerosion

## **6 Bewässerungsmanagement**

### **Optimale Tageszeit für die Bewässerung**

Für die Bewässerung sind die frühen Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang zu empfehlen, da es zu dieser Tageszeit in der Regel am kühleren ist. Ausserdem können die Pflanzen, die beim Bewässern nass geworden sind, in der milden Morgensonne ohne Brennglas-Effekt trocknen. Bei geringer Sonneneinstrahlung verdunstet weniger Wasser und es zieht stattdessen in die Erde ein.

Als Alternative zum morgendlichen Giessen bieten sich auch die Abendstunden an. Am Abend trocknet die Feuchtigkeit allerdings weniger schnell ab – ideal für Schnecken, die so angelockt werden, und für feuchtigkeitsbedingte Pilzkrankheiten.

### **Gutes Bewässerungsmanagement**

- Bestimmung des RAW des Bodens
- Bestimmung der Durchwurzelungstiefe der Pflanze
- Bestimmung des tolerierbaren Wasserstress der Pflanzen
- Bestimmung der Evapotranspiration der Pflanze (ETc)
- Bestimmung des Bodenwasserdrucks
- Installation von Wassermengensmessgeräten
- Eventuelle Anwendung von Defizitbewässerung (Bewässerung mit einer bewusst unterhalb des optimalen Wasserbedarfs der Kulturpflanzen angesetzten Wassermenge)

## Anhang 1: Bewässerungstechnik

Tabelle 5: Oberflächenbewässerung versus Überkopfbewässerung<sup>10</sup>

	Oberflächenbewässerung	Überkopfbewässerung
<b>Typ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überflutung</li> <li>• Furchenbewässerung</li> <li>• Intervall Furchenbewässerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fest installierte Systeme</li> <li>• Systeme mit mobilen Seitenarmen</li> <li>• Kreisberegnungsanlagen</li> </ul>
<b>Charakteristik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerung mit Schwerkraft</li> <li>• Überschwemmung mit Bassin</li> <li>• Furchenbewässerung entlang der Pflanzenreihen</li> <li>• Intervall Furchenbewässerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drucksystem mit Rohren</li> <li>• Verschiedene Bewässerungs-diameter möglich</li> <li>• Druck- und Sprinklergrösse variabel</li> </ul>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiefer Energieaufwand</li> <li>• Tiefe Investitionskosten</li> <li>• Kein Bedarf für Reservoirs</li> <li>• Bewässerung der ganzen Wurzelzone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angepasst für leichte Böden</li> <li>• Geeignet für unebene oder abfallende Parzellen</li> <li>• Kann Evapotranspiration durch Kühlung der Blätter senken</li> <li>• Kann als Frostschutz benutzt werden</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Effizienz</li> <li>• Risiko der Über- und/oder Unterversorgung</li> <li>• Risiko der Tiefenversickerung und Nährstoffauswaschung ausserhalb der Wurzelzone</li> <li>• Risiko des Oberflächenablaufs</li> <li>• Risiko von Erosion</li> <li>• Risiko von stehendem Wasser und dadurch mangelnde Sauerstoffversorgung der Wurzeln</li> <li>• Hohe Arbeitsbelastung</li> <li>• Hohe Investitionskosten für verbesserte Systeme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grosse Tropfen können Bodenstruktur schädigen</li> <li>• Verlangt Hochleistungspumpen und Druckrohre</li> <li>• Risiko vermehrter Krankheiten</li> <li>• Ungleiche Wasserverteilung</li> <li>• Wasserverlust durch Wind, Evaporation und Bewässerung unproduktiver Flächen</li> <li>• Nur Gebrauch von sauberem Wasser</li> <li>• Hoher Energiebedarf</li> </ul>
<b>Anwendung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionen mit grossen Wasservorräten, aber wenig (regelmässigen) Niederschlägen</li> <li>• Regionen mit wenig Infrastruktur und traditionellen Wasserkanälen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frucht- und Feldkulturen</li> </ul>
<b>Beurteilung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor allem im Reisbau angewendet</li> <li>• Sinkender Gebrauch in Frucht- und Feldfrüchten wegen hoher Arbeitsbelastung</li> <li>• Braucht gut nivellierte Felder, lineare Dämme, gute Drainage und Widergewinnungssystem, um effizient zu sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativ effizient, wenn gut geplant und gemanagt</li> <li>• Wenn das ganze Feld genässt wird, können Pflanzen alles verfügbare Wasser nutzen</li> </ul>

<sup>10</sup> FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

Tabelle 6: Mikrosprinklerbewässerung versus Tröpfchenbewässerung<sup>11</sup>

	Mikrosprinklerbewässerung	Tröpfchenbewässerung
<b>Typ</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Untergrund</li> <li>• Oberflächen</li> </ul>
<b>Charakteristik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerung auf die Wurzelzone der Pflanze beschränkt</li> <li>• Hat ein grösseres Bewässerungsmuster als Tröpfchenbewässerung</li> <li>• Hat grösseren Output als Tröpfchenbewässerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewässerung auf die Wurzelzone der Pflanze beschränkt</li> <li>• Arbeitet mit niedrigem Wasserdruck und -volumen</li> </ul>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Effizienz</li> <li>• Nässt weitere Zone als Tröpfchenbewässerung und erlaubt daher eine optimale Wurzelentwicklung</li> <li>• Präzise Bewässerung gemäss den Pflanzenbedürfnissen</li> <li>• Mikrosprinkler haben grösseren Durchmesser als Tröpfchenbewässerung und verstopfen weniger schnell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Effizienz</li> <li>• Weniger Investition als Mikrosprinkler</li> <li>• Wenig Arbeit</li> <li>• Geringer Wasserverlust durch Evaporation und/oder Versickern</li> <li>• Bewässerung rund um die Uhr möglich</li> <li>• Geringere Gefahr durch Pilzkrankheiten</li> <li>• Untergrundsysteme haben fast keine Evaporation und fördern die Unkrautbildung kaum</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Investitionskosten</li> <li>• Braucht grosses Wasservolumen und Pumpen mit hoher Kapazität</li> <li>• Energieintensiv</li> <li>• Hoher Wasserverlust, wenn unter heissen, sonnigen oder windigen Bedingungen genutzt</li> <li>• Salzanreicherung in den Zonen zwischen trockenem und feuchtem Boden</li> <li>• Ungleiche Wasserverteilung wegen Überlappung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Häufiges Verstopfen möglich</li> <li>• Wurzelmasse auf feuchte Zonen beschränkt</li> <li>• Suboptimale Feuchtigkeitsmuster in leichten Böden</li> <li>• Braucht ein gutes Filtersystem</li> <li>• Salzanreicherung in den Zonen zwischen trockenem und feuchtem Boden</li> <li>• Rohre verhindern mechanische Unkrautbekämpfung</li> <li>• Untergrundsysteme sind schwierig und teuer im Unterhalt</li> </ul>
<b>Anwendung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Häufig benutzt in wertvollen Baumkulturen</li> <li>• Auch für die Keimung geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für den Gemüsebau</li> </ul>
<b>Beurteilung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrosprinklersysteme befeuchten eine grössere Zone und sind weniger vom Bodentyp beeinflusst als Tröpfchenbewässerung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht nutzbar für Keimung</li> <li>• In leichten Böden müssen mehr Wasserspender eingebaut werden</li> </ul>

<sup>11</sup> FiBL (2020): Good agricultural practice in irrigation management

## Anhang 2: Sensible Wachstumsphasen bzgl. Wasserstress

Tabelle 7: Sensible Wachstumsphasen verschiedener Pflanzen in Bezug auf Wasserstress<sup>12</sup>

<b>Pflanze</b>	<b>Wachstumsphase</b>
Alfalfa	Unmittelbar nach Schnitt
Ananas	Vegetatives Wachstum
Bananen	Erste Phase vegetatives Wachstum, Blüte und Fruchtbildung
Baumwolle	Blüte und Kapselbildung
Bohnen	Blüte und Fruchtbildung
Erbsen	Blüte und Fruchtbildung
Erdnüsse	Blüte und Fruchtbildung
Kartoffeln	Bildung der Ausläufer und Knollen
Kohl	Ausbildung Kopf
Mais	Blüte und Kornentwicklung
Oliven	Vorblüte und Fruchtbildung
Pfeffer	Vorblüte und Fruchtbildung
Reis	Rispenbildung und Blüte
Soja	Blüte und Fruchtbildung
Sonnenblumen	Blüte
Sorghum	Blüte und Fruchtbildung
Tomaten	Vegetationsperiode, insbesondere während und kurz nach der Pflanzung, Fruchtbildung
Trauben	Knospenaustrieb und Blüte
Wassermelonen	Blüte und Fruchtwachstum
Zitrusfrüchte	Blüte und Fruchtbildung
Zuckerrohr	Vegetatives Wachstum, insbesondere Bestockung und Stängelwachstum
Zwiebeln	Ausbildung der Knolle

<sup>12</sup> FAO (1979): Yield response to water, 33

### Anhang 3: Effizienzfaktor (EF) verschiedener Pflanzen

Tabelle 8: Effizienzfaktor (EF) verschiedener Pflanzen während der Wachstumsphasen (Tage)<sup>13</sup>

Pflanze	Anzucht Tage / EF	Vegetatives Wachstum Tage / EF	Fruchtbildung Tage / EF	Ausreifen Tage / EF	Gesamter Wasserbedarf Millimeter
Alfalfa		25 – 30 1.05 – 1.20			800 – 1600
Ananas		Ganzes Wachstum 0.5			700 – 1000
Baumwolle	20 – 30 0.4 – 0.5	40 – 50 0.7 – 0.8	50 – 60 1.05 – 1.25	40 – 55 0.8 – 0.9	700 – 1300
Bohnen	15 – 20 0.3 – 0.4	15 – 20 0.65 – 0.75	20 – 30 0.95 – 1.05	5 – 20 0.9 – 0.85	300 – 500
Erbsen	10 – 25 0.4	25 – 30 0.7 – 0.8	25 – 30 1.05 – 1.2	5 – 10 1.0 – 1.15	350 – 500
Erdnüsse	15 – 35 0.4 – 0.5	30 – 45 0.7 – 0.8	30 – 50 0.95 – 1.1	20 – 30 0.7 – 0.8	500 – 700
Kartoffeln	20 – 30 0.4 – 0.5	30 – 40 0.7 – 0.8	30 – 60 1.05 – 1.2	20 – 35 0.85 – 0.95	500 – 700
Kohl	20 – 60 0.4 – 0.5	30 – 35 0.7 – 0.8	20 – 30 0.95 – 1.1	10 – 20 0.9 – 1.0	380 – 500
Mais	15 – 30 0.3 – 0.5	30 – 45 0.7 – 0.85	30 – 45 1.05 – 1.2	10 – 30 0.8 – 0.9	500 – 800
Oliven					600 – 800
Pfeffer		Nach Verpflanzen 0.4	0.95 – 1.1		600 – 900 (1200)
Reis	20 – 35 1.1 – 1.15	40 – 60 0.7 – 0.8	10 – 15 1.1 – 1.3	25 – 35 0.95 – 1.05	450 – 700
Sonnenblumen	20 – 25 0.3 – 0.4	35 – 40 0.7 – 0.8	40 – 50 1.05 – 1.2	25 – 30 0.7 – 0.8	600 – 1000
Sorghum	20 – 25 0.4	30 – 40 0.7 – 0.75	40 – 45 1.0 – 1.15	30 0.75 – 0.8	450 – 650
Tomaten	10 – 15 0.4 – 0.5	20 – 30 0.7 – 0.8	30 – 40 1.05 – 1.25	30 – 40 0.8 – 0.9	400 – 600
Trauben	15 – 35 0.4 – 0.5				500 – 1200
Wassermelonen	10 – 20 0.4 – 0.5	15 – 20 0.7 – 0.8	35 – 50 0.95 – 1.05	10 – 15 0.8 – 0.9	400 – 600
Zitronen					900 – 1200
Zwiebeln	15 – 20 0.4 – 0.6	25 – 35 0.7 – 0.8	25 – 45 0.95 – 1.1	35 – 45 0.85 – 0.9	350 – 550

<sup>13</sup> FAO (1979): Yield response to water, 33



**Aqua Alimenta**  
Stauffacherstrasse 28  
8004 Zürich

+41 43 243 04 70  
info@aqua-alimenta.ch  
www.aqua-alimenta.ch



**Spendenkonto**  
PC 25-543543-9  
IBAN CH51 0900 0000 2554 3543 9