



## Bewässerung von Obstbäumen

### Autoren

Philippe Monney, Esther Bravin

Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches  
Volkswirtschaftsdepartement EVD  
**Forschungsanstalt**  
**Agroscope Changins-Wädenswil ACW**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches  
Volkswirtschaftsdepartement EVD  
**Forschungsanstalt**  
**Agroscope Changins-Wädenswil ACW**

## Impressum

Herausgeberin	Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW
Grafik	Marianne Engeli
Übersetzung	Katja Gruber, Christoph Carlen
Copyright	Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Wassermengen im Boden</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Bewässerungssysteme</b> .....	<b>4</b>
3.1 Ganzflächige Bewässerung.....	7
3.1.1 Überkronenbewässerung .....	7
3.1.2 Unterkronenbewässerung .....	9
3.2 Lokale Bewässerung .....	11
3.2.1 Mikrobewässerung .....	11
3.2.2 Tropfbewässerung .....	13
<b>4 Grundlagen der Bewässerungssysteme</b> .....	<b>15</b>
4.1 Bewässerung mit konstantem Wasserdefizit.....	15
4.2 Bewässerungen mit konstanter Häufigkeit .....	15
4.3 Defizitbewässerung .....	15
4.3.1 Ganzflächige Defizitbewässerung .....	15
4.3.2 Lokale Defizitbewässerung .....	16
<b>5 Wasserbilanz</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Nutzung von Sonden</b> .....	<b>17</b>
6.1 Ganzflächige Bewässerung oder mit Mikrobewässerung.....	17
6.2 Positionierung der Sonden .....	18
6.3 Tropfbewässerung .....	18
6.4 Positionen der Sonden .....	19
<b>7 Verschiedene Sondentypen</b> .....	<b>19</b>
7.1 Tensiometersonden.....	19
7.2 Kapazitive Sonden .....	21
<b>8 Datenübertragung</b> .....	<b>22</b>
8.1 Gespeicherte Daten .....	22
8.2 Datenübertragung per GPRS oder Radio.....	23
<b>9 Automatisierung</b> .....	<b>24</b>
9.1 Automatische Bewässerung .....	24
<b>10 Praktische Beispiele</b> .....	<b>25</b>
10.1 Steuerung der Tropfbewässerung, eine Wassergabe pro Tag.....	25
10.2 Tropfbewässerung, zwei Wassergaben pro Woche .....	26
10.3 Tropfbewässerung: Rationierung der Gaben .....	26

# 1 Einleitung

Die Wahl des Bewässerungssystems wird durch viele Faktoren wie Klima, Bodeneigenschaften, gesetzliche Bestimmungen, ökonomische Aspekte und persönliche Präferenzen des Betriebsleiters bestimmt. Eine korrekte Bewässerung erfordert den Einsatz von Messinstrumenten und angepassten Bewässerungsmethoden. Weiter verlangt sie einen gewissen Zeitaufwand, gute technische Kenntnisse und Investitionen für angepasste Systeme.

Diese Broschüre gibt Empfehlungen für eine angepasste, nachhaltige Bewässerung von Obstbäumen. Sie gibt Information bezüglich der wichtigsten Systeme, ihrer Funktions- und Anwendungsprinzipien, sowie Kostenangaben der auf dem Markt erhältlichen Produkte. Weiter werden auch einige technische Innovationen vorgestellt.

## 2 Wassermengen im Boden

Das maximale Wasserhaltevermögen eines Bodens ist die sogenannte Feldkapazität (FK). Pflanzen können nur einen Teil dieses Wassers nutzen (siehe Abb. 2). Diese Wassermenge wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet. Es werden 2 Niveaus von nFK unterschieden:

a. Leicht verfügbares Bodenwasser (lvBW), d.h. Wasser, das sich in den groben Poren des Bodens befindet, und das die Pflanzen ohne grossen Aufwand nutzen können.

b. Verfügbares Bodenwasser (vBW) für Pflanzen setzt sich aus leicht verfügbarem Bodenwasser und Bodenwasser zum Überleben zusammen. Die Abnahme der Verfügbarkeit dieses Wassers bringt die Pflanzen schrittweise unter immer stärkeren Wasserstress.

## 3 Bewässerungssysteme

Die Bewässerungssysteme können in zwei grosse Gruppen unterteilt werden, die sich ihrerseits wieder aufteilen lassen. Die Wahl der verschiedenen Bewässerungssysteme ist ab-

hängig von der jeweiligen Situation und den technischen Anforderungen. Abbildung 1 fasst die wichtigsten Kriterien für die Wahl des Bewässerungssystems zusammen.

Abbildung 1: Bewässerungssysteme

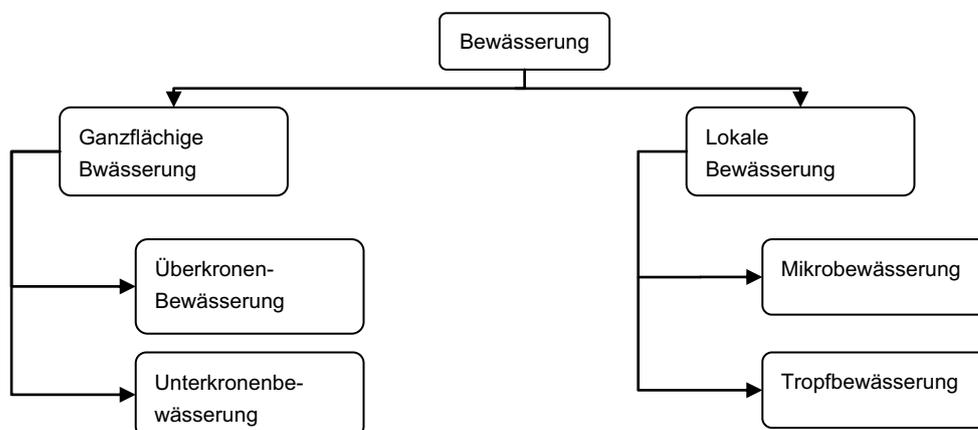


Abbildung 2: Wassermengen im Boden

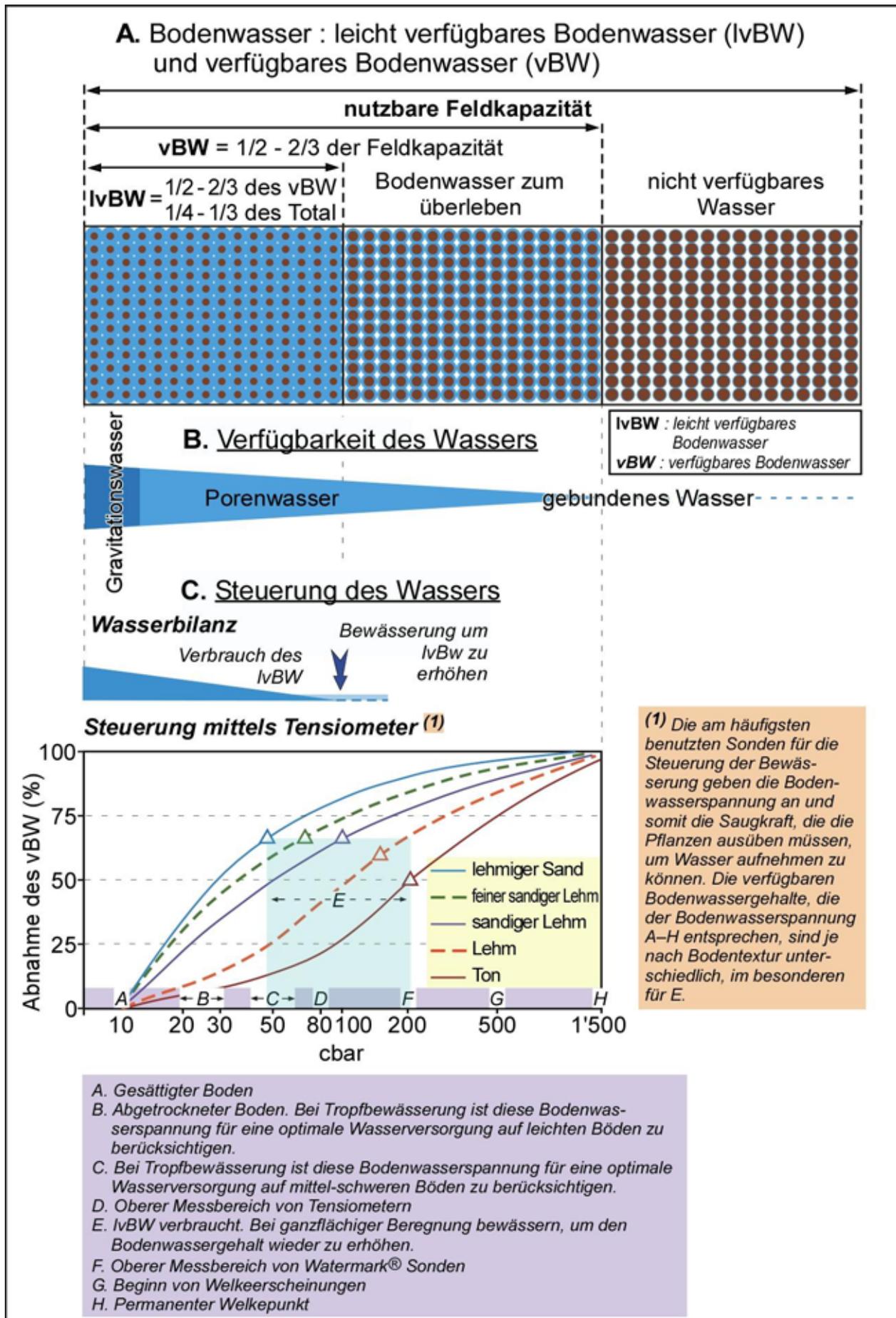


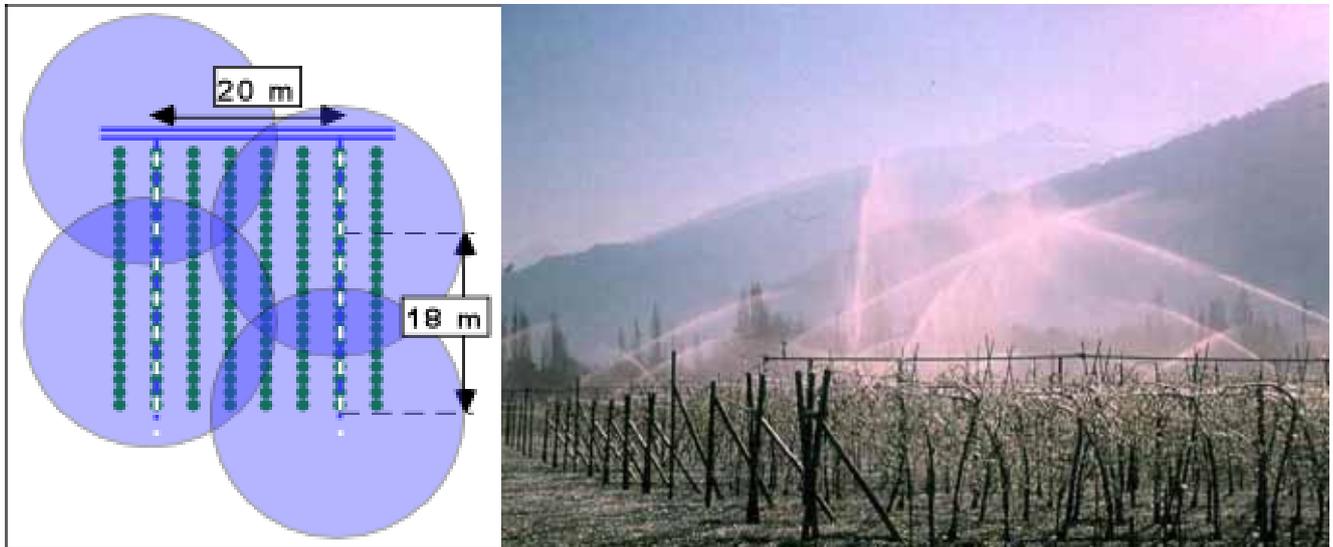
Tabelle 1: Kriterien für die Wahl des Bewässerungssystems

Bedingungen	Ganzflächige Bewässerung			Lokale Bewässerung	
	Überkronenbewässerung	Unterkronebewässerung	Mikrobewässerung	Tropfbewässerung	
<b>Obstkulturen</b>	Alle Vorsicht bei Sorten, die anfällig auf Rissbildung sind	Alle	Alle	Alle: Es kommt nicht auf die Obstart, sondern auf das System an. 2 Tropfer pro Baum bei schwacher Pflanzungsdichte.	
<b>Bodenart</b>	Alle Bodenarten	Alle Bodenarten	Alle Bodenarten	Böden mit guter Wasserleitfähigkeit: Sehr schwere Böden, kompakte und verdichtete Böden, sowie Sandböden oder Böden mit hohem Steinanteil sind zu meiden oder die Anzahl der Tropfer zu erhöhen.	
<b>Bewässerungsfrequenz</b>	5-15 Tage	5-15 Tage	3-7 Tage	1-3 Tage (Siehe Kapitel 4.2, Bewässerung mit konstanter Frequenz)	
<b>Wasserverbrauch pro Stunde (h)</b>	hoch (im Durchschnitt 40 m <sup>3</sup> /ha/h)	Mittel bis sehr hoch, z.B. 400 Bäume/ha: 20-30 m <sup>3</sup> /ha/h 2000 Bäume/ha: 35-100 m <sup>3</sup> /ha/h	Mittel bis hoch, z.B. 400 Bäume/ha: 15-25 m <sup>3</sup> /ha/h 2000 Bäume/ha: 35-50 m <sup>3</sup> /ha/h	Gering, z. B. 2000 Apfelbäume/ha Einzeltropfer 2/h: 4 m <sup>3</sup> /ha/h Doppeltropfer 2/h: 0.75m <sup>3</sup> /ha/h 15 m <sup>3</sup> /ha/h	
<b>Wasserdruck</b>	4 Bar	1.5-3 Bar	1.5 Bar	1 Bar 1-4 Bar (Autoregulierbare Tropfer)	
<b>Wasserqualität</b>	Bei trübem Wasser, Flecken auf den Früchten möglich	Nicht sehr wichtig	Feinfiltration, 130µm	Feinfiltration 100µm, bei stark trübem Wasser doppelte Filtration	
<b>Vorteile / Nachteile</b>					
<b>positive Auswirkungen</b>	- Frostschutz - Besprühen (Weike, Fruchtfröbung) - Bekämpfung des Birnblattsaugers - Kann Luftfeuchtigkeit verbessern	- Kann Luftfeuchtigkeit verbessern, aber weniger als bei Überkronenbewässerung. - Kein Abwaschen von Pflanzenschutzmitteln	- Kombinierbar mit löslichen Düngern - Kein Abwaschen von Pflanzenschutzmitteln - Automatische Steuerung möglich - Limitiert die Bodenerosion	- Kombinierbar mit löslichen Düngern - Kein Abwaschen von Pflanzenschutzmitteln - Automatische Steuerung möglich - Limitiert die Bodenerosion	
<b>negative Auswirkungen</b>	- Fördert gewisse Krankheiten - Abwaschen von Pflanzenschutzmitteln - Steigert die Bodenerosion - Mittelmässige Wasserverteilung	- Kann Bodenerosionsrisiko erhöhen - Mittelmässige Wasserverteilung - Nicht geeignet für Frostschutz	Nicht geeignet für Frostschutz	Nicht geeignet für Frostschutz	
<b>Wasserbedarf</b>	Hoch durch schlechte Verteilung des Wassers, Evaporation, Abfließen, ganzflächige Anwendung	Wie bei der Überkronenbewässerung	Eine Wassereinsparung ist gegenüber einer ganzflächigen Bewässerung möglich	Ermöglicht grössere Einsparungen im Vergleich zur ganzflächigen Bewässerung, aber auch zur Mikrobewässerung.	
<b>Steuerung</b>					
<b>Empfohlene Methode</b>	Konstantes Defizit	Konstantes Defizit	Konstantes Defizit	Konstante Frequenz; Häufigkeit und Dosierung anpassen falls ein Mal pro Woche bewässert wird	
<b>Wasserbilanz</b>	Ja	Ja	nicht empfehlenswert	Nein	
<b>Tensiometer</b>	Komplementär oder alternativ zur Wasserbilanz	Wie bei der Überkronenbewässerung	Ja	Ja	
<b>Kapazitive Sonden</b>	Ja	Ja	Ja	Wenig Erfahrung vorhanden	
<b>Defizitbewässerung</b>	Möglich aber riskant	Möglich aber riskant	Möglich	Möglich	
<b>Wirtschaftliche Aspekte</b>					
<b>Investitionskosten</b>	Hoch	Hoch	Mittel bis hoch	Wenig bis mittel	

## 3.1 Ganzflächige Bewässerung

### 3.1.1 Überkronenbewässerung

Abbildung 3: Wasserverteilung mittels Beregnung



<b>Material</b>	Reichweite der Sprinkler 14 - 15 m Durchmesser der Düsen 4 - 5 mm
<b>Wassermenge pro Sprinkler</b>	1200 - 1800 l/Std.
<b>Wassermenge pro Fläche</b>	35 - 50 m <sup>3</sup> /ha und Std.
<b>Wasserdruck</b>	3.5 - 4.5 Bar
<b>Berechnungsbeispiel</b>	Vom Hersteller angegebene Werte (Rolland, Typ 17C): Düsendurchmesser = 4.2 mm und Druck = 4 Bar → 1360 l/Std. Anzahl Sprinkler/ha: 10'000 m <sup>2</sup> / (20 m x 18 m) = 27.8 Wassergabe: 1360 l/Std./Sprinkler x 27.8 Sprinkler/ha = 38 m <sup>3</sup> /ha/Std. = 3.8 mm/Std.

Tabelle 2: Beregnungsintensitäten bei unterschiedlichen Konfigurationen

Durchmesser der Düsen (mm oder ")	Druck in Bar	Wassermenge (m <sup>3</sup> /Std.)	Wassermenge (mm/Std.) in Abhängigkeit der Distanz zwischen Sprinklern (in m)		
			16 x 20	18 x 20	20 x 20
3.97 (5/32")	3.5	1.14	3.6	3.2	2.9
	4	1.22	3.8	3.4	3.1
	4.5	1.32	4.1	3.7	3.3
	5	1.36	4.3	3.8	3.4
4.37 (11/64")	3.5	1.39	4.3	3.9	3.5
	4	1.47	4.6	4.1	3.7
	4.5	1.57	4.9	4.4	3.9
	5	1.66	5.2	4.6	4.2
4.76 (3/16")	3.5	1.65	5.2	4.6	4.1
	4	1.77	5.5	4.9	4.4
	4.5	1.87	5.8	5.2	4.7
	5	1.96	6.1	5.4	4.9

(Quelle: Angaben des Herstellers, Rainbird Model 30H)

Durchmesser der Düsen in mm	Druck in Bar	Wassermenge (m <sup>3</sup> /Std.)	Wassermenge (mm/Std.) in Abhängigkeit der Distanz zwischen Sprinklern (in m)		
			16 x 20	18 x 20	20 x 20
4	3.5	1.15	3.6	3.2	2.9
4.2	3.5	1.26	3.9	3.5	3.2
	4	1.36	4.3	3.8	3.4
4.5	3.5	1.4	4.4	3.9	3.5
	4	1.5	4.7	4.2	3.8
5	3.5	1.6	5.0	4.4	4.0
	4	1.7	5.3	4.7	4.3

(Quelle: Angaben des Herstellers, Rolland Typ 17C)

Die mit rot angezeigten Zonen beziehen sich auf gebräuchliche Beregnungsintensitäten. Die Angaben der Hersteller sehen maximale Distanzen zwischen Sprinklern von 21 m bei versetzter Anordnung vor (siehe Schema für Standard Anordnungen).

Steuerung der Bewässerung mittels konstantem Defizit. Die am häufigsten angewandte Methode ist die Wasserbilanz. Tensiometer können als Alternative oder Ergänzung gebraucht werden.

Anordnung der Sprinkler: Um eine einigermaßen homogene Wasserverteilung zu gewährleisten, ist eine optimale Anordnung notwendig. Eine versetzte Anordnung führt in der Regel zu besseren Ergebnissen. Dennoch bleibt die Wasserverteilung ein Schwachpunkt dieses Systems. Evaporationsverluste sind relativ bedeutend und ein Teil des Wassers, das zwischen die Baumreihen fällt, ist für die Kultur nur schlecht verfügbar. Die Bewässerungseffizienz (aufgenommene Wassermenge im Verhältnis zur gesamten Wassergabe) steigt selten über 70 %. Abbildung drei zeigt im Gegenlicht auch den hohen Anteil an feinen Tröpfchen in der Luft, die bei windigen Wetterbedingungen abdriften können.

Methode für eine Messung der Wasserverteilung: Gefässe werden nach einem einheitlichem Muster wiederholt an verschiedenen Orten platziert. Die Höhe des Wassers im Gefäss wird gemessen und dann der Gleichmässigkeitskoeffizient nach Christiansen (CUC) berechnet. Um eine optimale Verteilung für die Frostbekämpfung zu sichern, ist ein Wert um oder über 85 % zu erreichen.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\Delta}{H} \right)$$

$\Delta$  : Summe der Abweichungen der einzelnen Messungen zum Mittelwert (als absolute Werte)

H : Mittelwert der Messungen



Abbildung 4: Frostbekämpfung: Eine Beregnung mit einer Wassermenge von 4mm pro Stunde (40 m<sup>3</sup>/ha/Std.) und einer Rotationsgeschwindigkeit der Sprinkleranlagen von einer Umdrehung pro Minute garantieren einen guten Schutz bei Minusgraden bis zu -7, oder gar -8°C. Werden die Beregnungsinstallationen für die Blütenfrostbekämpfung verwendet, so sind die Installationen so zu dimensionieren, dass alle Parzellen gleichzeitig bewässert werden können.

### Investition

Für eine Überkronenbewässerungsanlage braucht es folgende Investitionen pro Hektare:

Beispiel: 1 ha mit Pflanzdistanzen von 4 m x 1.25 m

Tabelle 3: Überkronenbewässerung

Überkronenbewässerung	Betrag CHF
Hauptleitung	800.-
Zuleitungen	4'400.-
Rohre und Sprinkler	3'000.-
Gesamtbetrag	<sup>1</sup> 8'200.-

<sup>1</sup> Ohne Rabatt, MWSt inbegriffen

Die Investitionswerte wurden durch mehrere Schweizer Unternehmen berechnet. Die Tabelle zeigt einen der Vorschläge mit den wichtigsten Posten wie Zuleitungen, Rohre, Sprinkler, die aus dieser Umfrage hervorgingen.

Die Arbeitszeiten und Wartungsarbeiten stützen sich auf eine Umfrage von ACW bei einer Gruppe Walliser Produzenten und Informationen von technischen Beratern der Ostschweiz. Der Gesamtpreis eines Systems schwankt von CHF 6'000.- bis 10'000.- /ha je nach Firma und Qualität der Produkte. Es ist mit rund 100 Arbeitsstunden für die Installation zu rechnen. Der Wasserdruck in den Leitungen sollte 3.5 bis 4.5 Bar betragen. Dies kann zur Folge haben, dass Pumpen zu installieren sind. Dies kann bis zu 6'000.- CHF pro Hektar kosten. Für die jährliche Wartung des Systems (Kontrolle und Spülung) sind 15 Std./ha zu rechnen.

### 3.1.2 Unterkronenbewässerung

#### Wasserverteilung

Die Verteilung ist die gleiche wie bei der Überkronenbewässerung, allerdings mit Sprinklern mit kürzerer Reichweite und daher höherer Dichte an Sprinklern.

#### Sprinkler:

Reichweite der Sprinkler 7.0 - 10.8 m  
Durchmesser der Düsen 2.5 - 3.5 mm

#### Wassermenge pro Sprinkler

350 - 990 l/Std.

#### Wassermenge pro Fläche

35 - 50 m<sup>3</sup>/ha und Std.

#### Wasserdruck

3.0 - 4.5 Bar

#### Berechnungsbeispiel

Vom Hersteller angegebene Werte (Rolland, Typ 17C):

Düsendurchmesser = 2.5 mm und Druck = 3 Bar → 426 l/Std.

Anzahl Sprinkler/ha: 10'000 m<sup>2</sup> / (8 m x 8 m) = 156

Wassergabe: 426 l/Std./Sprinkler x 156 Sprinkler = 66 m<sup>3</sup>/ha/Std. = 6.6 mm/Std.



Abbildung 5: Unterkronenbewässerung mit metallischen Sprinklern bei Aprikosenkulturen

Neben den relativ teuren Messingmodellen (ca. CHF 25.-), gibt es billigere Modelle aus Plastik (ca. CHF 9.- für das Modell Rolland Typ 10.9), die zwar nicht so robust, aber gut brauchbar sind. Von Billigmodellen wird abgeraten, da ihr Bodenfixiersystem in der Regel keine gute Stabilität bietet.

Generell wird eine Unterkronenbewässerung bei Arten verwendet, die Nässe schlecht ertragen (Aprikosen, Kirschen).

Tabelle 4: Beispiel von Berechnungsintensitäten für verschiedene Konfigurationen

Durchmesser der Düsen in mm	Druck in Bar	Wassermenge (m <sup>3</sup> /Std.)	Wassermenge (mm/Std.) in Abhängigkeit der Distanz zwischen Sprinklern (in mm)		
			8 x 8	6 x 12	12 x 12
2.5	2.0	0.348	5.4	4.8	2.4
	3.0	0.426	6.7	5.9	3.0
	4.0	0.485	7.6	6.7	3.4
2.8	2.0	0.417	6.5	5.8	2.9
	3.0	0.503	7.9	7.0	3.5
	4.0	0.580	9.1	8.1	4.0
3.0	2.0	0.485	7.6	6.7	3.4
	3.0	0.580	9.1	8.1	4.0
	4.0	0.674	10.5	9.4	4.7
3.5	2.0	0.633	9.9	8.8	4.4
	3.0	0.775	12.1	10.8	5.4
	4.0	0.992	15.5	13.8	6.9

Quelle: Werte des Herstellers, Rolland Typ 8C

Durchmesser der Düsen in mm	Druck in Bar	Wassermenge (m <sup>3</sup> /Std.)	Wassermenge (mm/Std.) in Abhängigkeit der Distanz zwischen Sprinklern (in mm)		
			8 x 8	6 x 12	12 x 12
2.78 (7/64")	1.7	0.41	6.4	5.7	2.8
	2.0	0.44	6.9	6.1	3.1
	2.5	0.49	7.7	6.8	3.4
	3.0	0.54	8.4	7.5	3.8
	3.5	0.58	9.1	8.1	4.0
3.18 (1/8")	1.7	0.54	8.4	7.5	3.8
	2.0	0.58	9.1	8.1	4.0
	2.5	0.64	10.0	8.9	4.4
	3.0	0.71	11.1	9.9	4.9
	3.5	0.76	11.9	10.6	5.3

Quelle: Werte des Herstellers, Rainbird Modell L20H

Abbildung 6: Unterkronenbewässerung mit rotierenden Mikrosprinklern aus Plastik



Drehsprinkler bei Kirschbäumen. Hängend oder mit dem Kopf nach oben auf in der Erde steckenden Trägern. Diese Drehsprinkler sind eine gute Alternative, billiger, aber weniger robust und nicht so zuverlässig wie die herkömmlichen Sprinkler.



## Investition

Für Unterkronenbewässerung gibt es zwei mögliche Optionen: Sprinkler aus Plastik oder aus Metall.

Bei Plastiksprinklern für Unterkronenbewässerung sind die Kosten pro Hektar in der Tabelle fünf angegeben, bei Metallsprinklern für Unterkronenbewässerung in der Tabelle sechs.

Tabelle 5: Beispiel 1 ha mit einer Bepflanzung von 4 m x 1.25 m

Plastiksprinkler für Unterkronenbewässerung	Betrag CHF
Hauptleitung	900.-
Rohre und/oder Schläuche	7'200.-
Regner	1'300.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 9'400.-

Tabelle 6: Beispiel 1 ha mit einer Bepflanzung von 4 x 1.25 m

Metallsprinkler für Unterkronenbewässerung	Betrag CHF
Hauptleitung	1'000.-
Rohre und/oder Schläuche	6'500.-
Sprinkler	3'000.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 10'500.-

<sup>1</sup> Ohne Rabatt, MwSt inbegriffen

Die Investitionswerte wurden durch mehrere Schweizer Unternehmen berechnet. Die Tabelle zeigt einen der Vorschläge mit den Details der wichtigsten Posten, wie Hauptleitungen, Rohre, Sprinkler, die aus dieser Umfrage hervorgingen. Der Gesamtpreis eines Systems schwankt von CHF 8'500.- bis 11'000.-/ha je nach Firma und Qualität der Produkte.

Die Arbeitszeiten und Wartungsarbeiten stützen sich auf eine Umfrage von ACW bei einer Gruppe Walliser Produzenten und Informationen von technischen Beratern der Ostschweiz. Es ist mit rund 100 Arbeitsstunden für die Installation zu rechnen. Für die jährliche Wartung des Systems (Kontrolle und Spülung) sind 15 Std./ha zu rechnen.

## 3.2 Lokale Bewässerung

### 3.2.1 Mikrobewässerung



Abbildung 7a: Mikrosprinkler

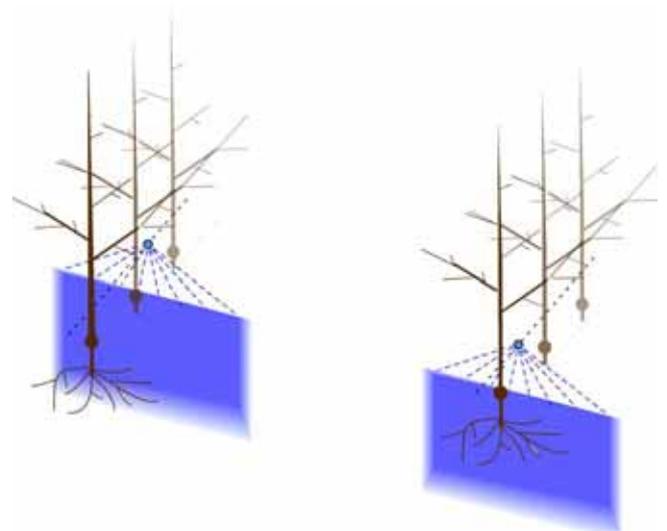


Abbildung 7b: Schematische Darstellung der Wasserverteilung mit Mikrosprinkler bei Apfelkulturen

<b>Material</b>	Reichweite 1 - 3 Meter Düsendurchmesser 0.8 – 1.6 mm
<b>Wassermenge pro Sprinkler</b>	20 - 50 l/Std.
<b>Wassermenge pro Fläche</b>	35 - 50 m <sup>3</sup> /ha und Std.
<b>Wasserdruck</b>	1.0 - 2.0 Bar
<b>Berechnungsbeispiel</b>	Vom Hersteller angegebene Werte (Rolland, Typ DJet nicht autoregulierbar): Düsendurchmesser = 1.0 mm und Druck = 1.5 Bar → 45 l/Std. Anzahl Sprinkler/ha: 10'000 m <sup>2</sup> / (4 m x 2.5 m) = 1000 Wassergabe: 45 l/Std/Sprinkler x 1000 Sprinkler = 45 m <sup>3</sup> /ha/Std. = 4.5 mm/Std.

In vielen Fällen kann die Wahl eines autoregulierbaren Modells (z.B. Supernet, Düse 1.17mm, 35 l/Std.) aus zwei Gründen interessant sein: bessere und homogenere Wasserverteilung; geringere Investition der Installation, da beim Durchmesser der Leitungen gespart werden kann.

### Investition

Die autoregulierbaren Mikrosprinkler sind mit zwei Wasserzuleitungen in zwei Sektoren ausgestattet. Mit diesem System können die Investitionen reduziert werden und gleichzeitig kann der Verbrauch auf unter 20 m<sup>3</sup> pro Stunde reduziert werden. Dagegen können in diesem Fall die zwei Sektoren nicht gleichzeitig bewässert werden.

Die Investitionswerte wurden durch mehrere Schweizer Unternehmen berechnet. Die Tabelle zeigt einen der Vorschläge mit den Details der wichtigsten Posten wie Hauptleitungen, Rohre, Sprinkler, die aus dieser Umfrage hervorgingen. Der Gesamtpreis eines Systems schwankt von CHF 8'500 und 12'600.- /ha je nach Firma und Qualität der Produkte.

Die Arbeitszeiten und Wartungsarbeiten stützen sich auf eine Umfrage von ACW bei einer Gruppe Walliser Produzenten und Informationen von technischen Beratern der Ostschweiz. Es ist mit rund 100 Arbeitsstunden für die Installation zu rechnen. Für die jährliche Wartung des Systems (Kontrolle und Spülung) sind 15 Std./ha zu rechnen.

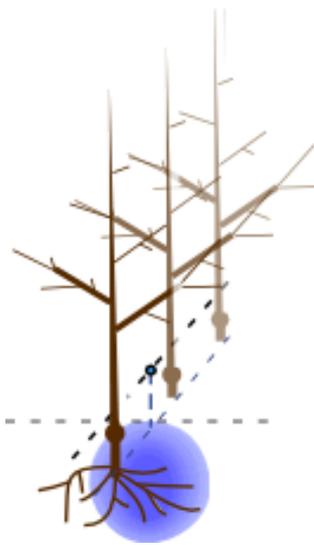
Tabelle 7: Beispiel 1 ha mit einer Bepflanzung von 4 m x 1.25 m

Hängende, autoregulierbare Mikrosprinkler 35 l/Std.	Betrag CHF
Verteilanlage (max. Kapazität 25 m <sup>3</sup> /h)	1'800.-
Hauptleitung	750.-
Rohre und/oder Schläuche	4'850.-
Sprinkler	5'200.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 12'600.-

<sup>1</sup> Ohne Rabatt, MwSt inbegriffen

### 3.2.2 Tropfbewässerung

Abbildung 8: Wasserverteilung bei zwei Typen von Tropfsystemen



**Material**

Plastikröhren (PE) mit Einzeltropfern. Die Tropfer werden erst nach der Installierung der Röhre angebracht. Ein Tropfer pro Baum bei einer Anbaudichte von mehr als 1'200 Bäumen pro Hektar, der zwischen zwei Bäumen installiert wird.

**Wassermenge pro Tropfer**

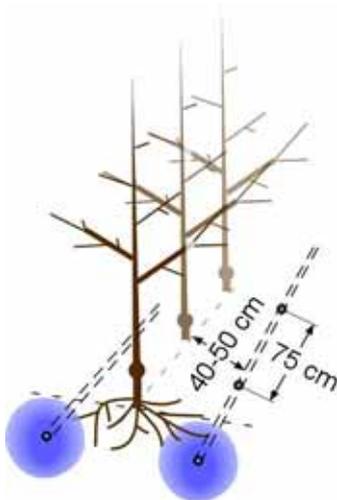
2 - 4 l/Std. Bevorzugung von Tropfern mit geringerer Ausflussrate, um eine verbesserte Verteilung des Wassers im Boden zu erzielen.

**Gesamtverbrauch des Systems**

bei 2'000 Bäumen pro Hektar werden 4 - 8 m<sup>3</sup>/ha/Std. gebraucht. Die Nutzung eines Tropfschlauches ist auch möglich, aber dann kann die Distanz zum Baumstamm variabel sein.

**Wasserdruck**

1 - 1.5 Bar, bei autoregulierbaren Modellen braucht es 1 - 4 Bar.



**Material**

Plastikröhren (PE) mit integrierten Tropfern. Die Distanzen zwischen den Tropfern können verschieden sein, generell zwischen 0.5 - 1.0 m.

**Wassermenge pro Tropfer**

0.7 - 4.0 l/Std. gemäss ausgewähltem Modell. Bevorzugung von Tropfern mit geringer Ausflussrate, um eine verbesserte Verteilung des Wassers im Boden zu erzielen.

**Gesamtverbrauch des Systems**

Bei 2'000 Bäumen pro Hektar, einem doppelten unterirdischen Tropfschlauch, einem Abstand der Tropfer von 0.75 m und einer Ausflussrate von 2.3 l/Std resultieren 15 m<sup>3</sup>/ha/Std. Bei Systemen mit geringer Wasserausflussrate (1.0 m/1.6 l/Std.) resultieren 8 m<sup>3</sup>/ha/Std.

**Wasserdruck**

1 - 1.5 Bar mit nicht autoregulierbaren Tropfern; 1 - 4 Bar mit autoregulierbaren Tropfern.

**Verschiedene Modelle**

Schutz gegen Wurzeleintritt, Entleerung der Röhre, usw.

Tropfbewässerungen werden hauptsächlich in Regionen benutzt, in denen die Bewässerungskosten hoch sind und einen beträchtlichen Anteil der Betriebskosten darstellen. Optimal genutzt, können signifikante Einsparungen im Wasserverbrauch im Vergleich zur Beregnung oder zu den Mikrosprinkleranlagen erzielt werden. Ausserdem können mit unterirdischen Tropfschläuchen noch weitere Einsparungen erzielt werden, da es fast keine Verdunstungsverluste gibt und das Wasser optimal an die Wurzeln geleitet werden.

### Investition

Es gibt verschiedene Optionen von Tropfbewässerungssystemen

- A. Biegbare Rohre mit autoregulierbaren Einzeltropfern, Ausflussrate von 2.0 l/Std. und einer Distanz von 1.25 m zwischen den Tropfern.
- B. Biegbare Rohre mit integrierten autoregulierbaren Tropfern, Ausflussrate von 2.3 l/Std. und einer Distanz von 0.75 m zwischen den Tropfern.
- C. Weiche Tropfschläuche mit nicht autoregulierbaren Tropfern, Ausflussrate von 1.0 l/Std. und Distanz von 0.3 m zwischen den Tropfern.

Die Kosten pro Hektar dieser drei Varianten sind die folgenden:

Tabelle 8: Beispiel von 1 ha Bepflanzung 4 m x 1.25 m

A. Einzeltropfersystem	Betrag CHF.
Verteilanlage (maximale Kapazität 5 m <sup>3</sup> )	600.-
Hauptleitung	300.-
Rohre	3'800.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 4'700.-

B. Integrierte Tropfer	Betrag CHF.
Verteilanlage (maximale Kapazität 11 m <sup>3</sup> )	1'100.-
Hauptleitung	300.-
Rohre	2'100.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 3'500.-

C. Tropfschlauch	Betrag CHF.
Verteilanlage (maximale Kapazität 11 m <sup>3</sup> )	1'150.-
Hauptleitung	350.-
Schlauch	800.-
Gesamtsumme	<sup>1</sup> 2'300.-

<sup>1</sup> Ohne Rabatt, MwSt inbegriffen

Die Investitionswerte wurden durch mehrere Schweizer Unternehmen berechnet. Die Tabelle zeigt einen der Vorschläge mit den Details der wichtigsten Posten wie Hauptleitungen, Rampen, Sprinkler, die aus dieser Umfrage hervorgingen. Der Gesamtpreis eines Systems schwankt von CHF 2'300.- bis 6'000.- /ha je nach Firma und Qualität der Produkte.

Die Arbeitszeiten und Wartungsarbeiten stützen sich auf eine Umfrage von ACW bei einer Gruppe Walliser Produzenten und Informationen von technischen Beratern der Ostschweiz. Es ist mit rund 100 Arbeitsstunden für die Installation zu rechnen. Für die jährliche Wartung des Systems (Kontrolle und Spülung) sind 15 Std./ha zu rechnen.

## 4 Grundlagen der Bewässerungssysteme

### 4.1 Bewässerung mit konstantem Wasserdefizit

Mit dieser Bewässerungsmethode wird eine Wassergabe ausgelöst, sobald ein bestimmtes Wasserdefizit im Boden erreicht ist. Das Erreichen dieses Defizites kann aufgrund von Klimadaten mittels der potentiellen Evapotranspiration berechnet oder mittels Bodensonden gemessen werden. Für das Berechnen des Wasserdefizites sind folgende Daten zu berücksichtigen:

- Tiefe der Durchwurzelung
- Tageswerte der potentiellen Evapotranspiration der vergangenen Zeitspanne (bis zur letzten Bilanzberechnung oder bis zur letzten Bewässerung)
- Wert des Koeffizienten  $k$  (Kulturkoeffizient angepasst an die Jahreszeit)
- Berücksichtigung der Niederschläge während dieses Zeitraums und Bestimmung der tatsächlich nutzbaren Regemengen (zum Beispiel Regen > 10 mm).

### 4.2 Bewässerungen mit konstanter Häufigkeit

Diese Methode setzt regelmässige Bewässerungsintervalle voraus. Dieselbe Frequenz ist in der Regel mindestens für eine Woche gültig, je nachdem wie schnell sich der Wasserverbrauch ändert (siehe dazu auch Kapitel 9 „Automatische Bewässerung“). Bei Tropfsystemen oder bei unterirdischen Tropfschläuchen schwankt die Häufigkeit der Bewässerungen von 2 Mal pro Woche bis 2 Mal pro Tag (sehr heisse Perioden im Sommer).

Die Häufigkeit und Menge der Zufuhren werden gemäss dem Verlauf der Bodenfeuchtigkeitskurven ermittelt. Mit Tropfbewässerung ist es riskant, im Frühjahr allzu spät zu beginnen. Die Sonden sollten ab Anfang April korrekt installiert und betrieben werden, sobald die Wasserspannung im Boden 25 bis 30 cbar in 25 bis 30 cm Bodentiefe erreichen. Somit bildet sich eine stabile feuchte Zone, bevor sich die ersten durch die Trockenheit hervorgerufenen Bodenrisse zeigen, die die Verteilung des Wassers stören. Diese „technischen“ Bewässerungen brauchen relativ wenig Wasser. Gaben von zwei Liter pro Tropfer zwei Mal pro Woche reichen grundsätzlich aus. Die eingesparten sogenannten „technischen“ Wassergaben reduzieren die Wasserkosten nicht, denn bei verspäteten Wassergaben auf schon zu trockenen Böden braucht es grössere Wassermengen, um die Situation wieder zu stabilisieren. Mit zu hohen Gaben geht man hingegen das Risiko von Staunässe und Sauerstoffmangel ein.

### 4.3 Defizitbewässerung

In Ländern in denen die Wasserreserven knapp sind, wurden verschiedene Defizitbewässerungskonzepte entwickelt. Hierzu zählt die Festlegung einer angepassten Wassergabe unterhalb des Optimums für die Pflanzen, die aber nicht deren

Ertrag oder Qualität beeinträchtigen sollten. Eine Defizitbewässerung kann zu einer Verbesserung der Fruchtqualität führen, zum Beispiel beim Zuckergehalt und der Festigkeit. Dagegen wird das vegetative Wachstum und manchmal auch die Fruchtgrösse verringert. Dabei können aber erhebliche Wassermengen eingespart werden. Zwei Faktoren sind dabei zu berücksichtigen: die beste Zeitspanne für die Defizitbewässerung und das Ausmass der Reduktion an Wassergaben.

Betreffend der besten Zeitspanne für die Defizitbewässerung ist die Fruchtentwicklung zu berücksichtigen, die sich aus drei Phasen zusammensetzt:

1. Phase der Zellteilung vom Fruchtansatz bis Mitte Juni bei Äpfeln.
2. Phase des langsamen Zellwachstums von Mitte Juni bis zwei bis vier Wochen vor der Ernte.
3. Phase des schnellen Zellwachstums während den zwei bis vier letzten Wochen vor der Ernte.

Die Fruchtbildung bei Steinfrüchten und Birnen erfolgt nach diesem Schema. Bei Äpfeln vergrössert sich hingegen der Fruchtdurchmesser schneller in der 2. Phase und die Gewichtszunahme in den beiden Zellwachstumsphasen (Phase 2 und 3) ist regelmässig. Trotz dieser Besonderheit, hat die Defizitbewässerung auch bei Äpfeln gute Resultate erzielt.

Folgende Bewässerungsstrategien sind für jede der drei Phasen zu unterscheiden:

- Phase 1: Keine Defizitbewässerung. Wasserstress während dieser Phase hätte negative Auswirkungen auf die Blattflächenentwicklung und die Zellteilung. Eine Reduktion der Zellteilung würde zu irreversiblen Verlusten in der Fruchtbildung, zu einer schlechten Blüteninduktion und somit zu Alternanz führen.
- Phase 2: Progressive Einführung der Defizitbewässerung. Diese Einschränkung verringert das Triebwachstum. Die Bäume sind besser belichtet, was die geringere Blattfläche kompensieren kann. In manchen Fällen wurde dank einer nicht zu starken Vegetation mit der Defizitbewässerung ein verbesserter Fruchtbehang beobachtet.
- Phase 3: Progressive Aufgabe der Defizitbewässerung. Es ist wichtig, in dieser Phase mit der Defizitbewässerung langsam aufzuhören, damit der Reifeprozess nicht zu schnell eintritt, die Reifung der Früchte homogener ist und die Lagerfähigkeit gewährleistet wird.

#### 4.3.1 Ganzflächige Defizitbewässerung

Während der Phase 2, der Phase des langsamen Zellwachstums werden die Wassergaben (Menge und Frequenz), die mit der Methode der Wasserbilanz berechnet wurden wie folgt bestimmt:

Wenn das Wasserdefizit ein Niveau erreicht hat, bei dem eine Bewässerung benötigt wird, wird nur 2/3 bis 3/4 der normalen Wassergabe verabreicht. Um das zu berechnen, wird eine normale Gabe für die Berechnung der nächsten Gabe simu-

liert. Zum Beispiel: Wenn die lvBW Menge für eine Bodentiefe von 60 cm bei einem Sand-Lehmboden (Ton/Schluff/Sand = 16%/32%/52%) von 0.9 mm pro cm ist, ist die Optimaldosis 54 mm. Bei einer Defizitbewässerung werden die Wassergaben mit dem gleichen Rhythmus gegeben, aber mit reduzierten Gaben von nur 35 bis 40 mm.

#### 4.3.2 Lokale Defizitbewässerung

Mit der lokalen Bewässerung wird die Wassereffizienz durch eine mehrmalige tägliche Zufuhr verbessert. Die Defizitbe-

wässerung basiert auf der Anwendung von variablen Bodenfeuchtigkeitsschwellen in Bezug auf die Entwicklungsphasen der Früchte. Im Südtirol wird empfohlen, eine Schwelle von 30 cbar in 30 cm Tiefe während der Phase 1 beizubehalten, und dann schrittweise auf 50 cbar zu erhöhen und diesen Wert in der ganzen Phase 2 zu halten, sowie während der 3. Phase bis zur Ernte auf diese 30 cbar zurückzukommen. Es könnte sein, dass in der Defizitphase ein höherer Wasserstress als 50 cbar möglich wäre. Diesbezüglich fehlen zur Zeit genauere Informationen (siehe Kapitel 10.3).

## 5 Wasserbilanz

Wasserbilanzen werden über ein bestimmte Zeitperiode gemacht, zum Beispiel über die letzten 10 Tage. Dabei werden

für jeden Tag die Werte der "Ausgänge" (berechneter Verbrauch) und die "Eingänge" (nutzbare Niederschläge und Bewässerungen) notiert.

Tabelle 9: Beispiele von Wasserbilanzen in einer Tabelle

Datum	Berechnung der Eingänge				Berechnung der Ausgänge			Bilanz	
	Niederschlag	nutzbarer Niederschlag	Bewässerung	Gaben	ET <sub>p</sub> <sup>2</sup>	K <sub>c</sub> <sup>3</sup>	Et <sub>c</sub> <sup>4</sup> (= ET <sub>p</sub> * K <sub>c</sub> )	Gaben - Et <sub>c</sub>	lvBW <sup>5</sup>
27.06									<b>3.8</b>
28.06	0	0	45	<b>45</b>	5.5	0.85	<b>4.7</b>	40.3	<b>44.1</b>
29.06	0	0	0	<b>0</b>	4.7	0.85	<b>4.0</b>	-4.0	<b>40.1</b>
30.06	0	0	0	<b>0</b>	4.2	0.85	<b>3.6</b>	-3.6	<b>36.6</b>
1.07	1.5	1.5	0	<b>1.5</b>	4	1	<b>4.0</b>	-2.5	<b>34.1</b>
2.07	17.2	17.2	0	<b>17.2</b>	5.5	1	<b>5.5</b>	11.7	<b>45.8</b>
3.07	0	0	0	<b>0</b>	5.1	1	<b>5.1</b>	-5.1	<b>40.7</b>
4.07	0	0	0	<b>0</b>	3.9	1	<b>3.9</b>	-3.9	<b>36.8</b>
5.07	0	0	0	<b>0</b>	4.9	1	<b>4.9</b>	-4.9	<b>31.9</b>
6.07	4.2	0 <sup>1</sup>	0	<b>0</b>	5.2	1	<b>5.2</b>	-5.2	<b>26.7</b>
7.07	0	0	0	<b>0</b>	3.8	1	<b>3.8</b>	-3.8	<b>22.9</b> <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Niederschläge, die nicht als nutzbare Niederschläge beurteilt werden.

<sup>2</sup> Daten verfügbar unter: <http://www.agrometeo.ch/>.

<sup>3</sup> Koeffizient, mit der die ET<sub>p</sub> aufgrund der Kultur und Jahreszeit korrigiert wird. Die Werte sind am Anfang und am Ende der Saison minimal, zeigen aber im Hochsommer (Kernobst) oder 3-4 Wochen vor Ernte (Steinobst) Maximalwerte an.

<sup>4</sup> Das ET<sub>c</sub> ist der geschätzte Wasserverbrauch, dessen Wert mit dem realen ET gut korreliert, sofern die Parzelle ausreichend bewässert ist und kein Trockenstress oder extreme klimatische Bedingungen die ET durch Schliessung der Blattöffnungen reduzieren.

<sup>5</sup> Der Ausgangswert des leicht verfügbaren Bodenwassers ist das Resultat der vorherigen Bilanz vom 27.6. und der Bilanzwerte vom 7.07. ist somit der Ausgangswert der nächsten Zeitspanne von 10 Tagen.

Eine Bilanztafel kann regelmässig aktualisiert werden. (1 bis 2 Mal die Woche) und so als Referenz dienen. Sie kann auch ganz einfach mit Hilfe eines Rechenverfahrens, das Sie unter <http://www.agrometeo.ch/Obstbau> finden, berechnet werden.

## 6 Nutzung von Sonden

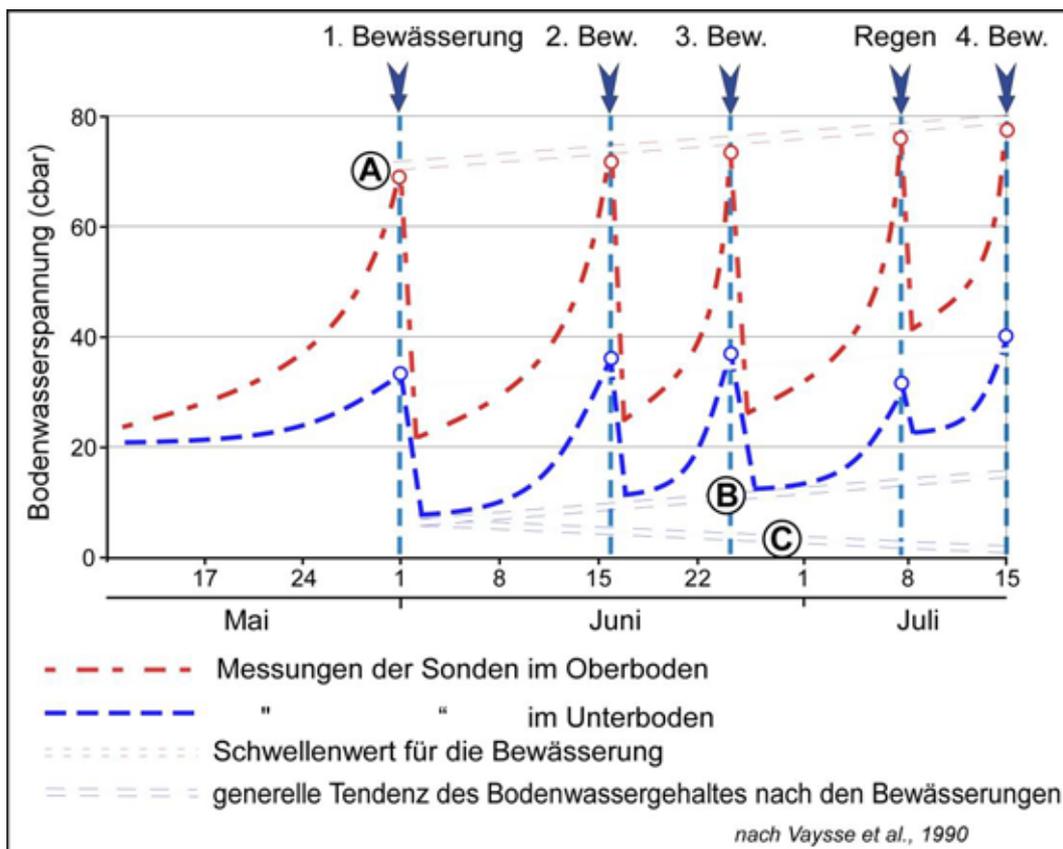
### 6.1 Ganzflächige Bewässerung oder mit Mikrobewässerung

Der kritischste Moment für eine Bewässerung kann auch mit Hilfe von Sonden vom Typ Tensiometer oder Watermark® bestimmt werden. Die Bodenfeuchtigkeit verändert sich mit der Tiefe, weshalb die Sonden mindestens an zwei verschiedenen Tiefen installiert werden sollten. Sechs (mindestens vier) Sonden sind notwendig, um ein korrektes Bild der Parzelle zu erzielen. Es ist ratsam, drei Paare von Sonden in einer begrenzten, homogenen und repräsentativen Zone der Obstanlage gemäß der Bodenbeschaffenheit, der Wuchskraft und des Fruchtbehangs zu setzen, um eine zu hohe Variabilität der Messung zu verhindern. Wenn erst einmal je Bodentiefe die drei Sonden installiert sind, dienen die Mediane der beiden Tiefen als Entscheidungsgrundlage.

Wenn die Kurve in kritische Höhen steigt (A), muss mit der ersten Bewässerung begonnen werden. Der Schwellenwert erhöht sich während der Saison leicht.

Auch die Werte in den tieferen Bodenschichten sollten nach jeder Bewässerung höher sein als bei der vorherigen (angegebene Tendenz bei B), was auf eine korrekte Bewässerung hinweist. Eine fallende Tendenz würde auf zu hohe Wassergaben hindeuten (Tendenz C) Diese Art der Steuerung der Bewässerung wird bei Flächenbewässerung (Unter- und Überkronenbewässerung) sowie bei Mikrobewässerung empfohlen.

Abbildung 9: Verlauf der Bodenwasserspannung zur Steuerung der Bewässerung mit Sprinklern oder mit Mikrobewässerung



## 6.2 Positionierung der Sonden

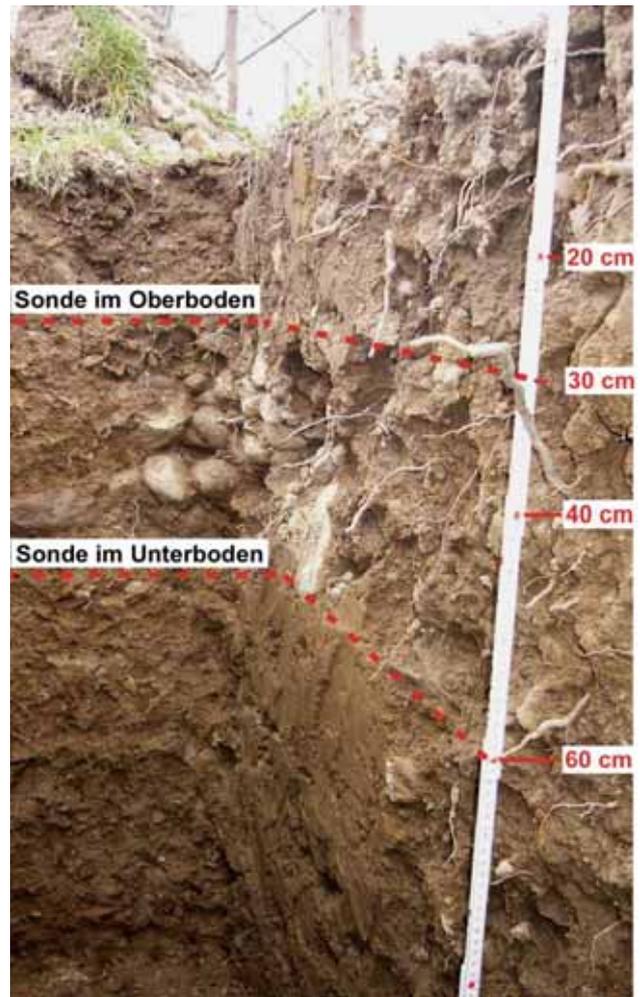
Bei Sprinklersystemen sollten die Sonden nicht in der Nähe der Sprinkler, in Zonen von sich kreuzenden Sprinklern oder in Bereichen, in denen die Baumkronen das Wasser abhalten und eine niedrige Beregnungsintensität erzielen, installiert werden. Absichtlich eine wenig bewässerte Zone zu wählen, führt zu Verstärkung der Zufuhren. Andererseits, führt eine Position mit viel Feuchtigkeit zu geringeren Wassergaben.

Bei Bewässerung mit Mikrosprinklern wird die Bewässerungsteuerung nach dem gleichen Prinzip durchgeführt. Da die Wasserverteilung dieser Sprinkler variabel sein kann, sollte der Positionierung der Sonden grosse Beachtung geschenkt werden. Wenn eine reichliche Bewässerung gewährleistet werden soll, sollte eine Position am Rande der befeuchteten Zone gewählt werden (3/4-4/5 der Reichweite der Sprinkler). Wenn andererseits eher rationiert werden soll, sollte eine Zone gewählt werden, in der die Beregnungsintensität am höchsten ist, bei 1/2 bis 2/3 der Reichweite). Die Tiefe der Sonden hängt von der Bodenbeschaffenheit und der Wurzeltiefe ab. Ein Bodenprofil ist dabei sehr nützlich, denn so können Fehler vermieden werden.

Die Oberflächensonde wird in einer Tiefe platziert, die die Hälfte oder zwei Drittel der Bodentiefe ausmacht, in der Wurzeln mit grossem Durchmesser zu finden sind. Die Tiefensonde wird 20 bis 30 cm tiefer gelegt.

Im Falle von undurchlässigen Schichten, die man erkennt am Fehlen von Wurzeln oder ‚Rostflecken‘, die auf Wasserstagnation während der Saison zurückzuführen sind, sollten die tiefer liegenden Sonden rund zehn cm oberhalb dieser Schicht liegen. Weiter sollte in diesem Fall die Oberflächensonde auf halbem Weg zwischen der Tiefensonde und der Oberfläche installiert werden.

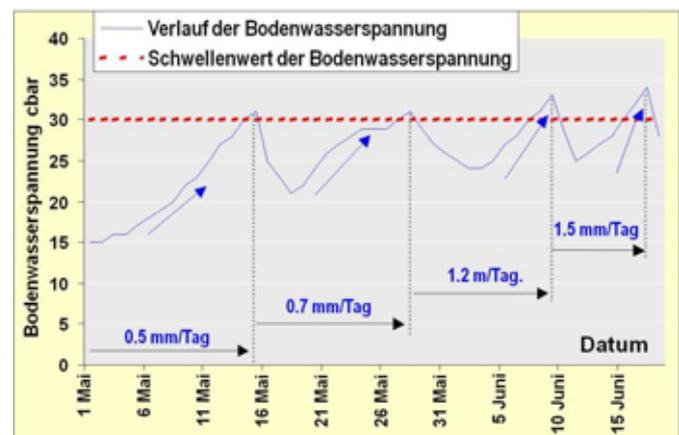
Abbildung 10: Positionierung der Sonden



## 6.3 Tropfbewässerung

Die steigende Bodenwasserspannung zeigt einen Anstieg des täglichen Wasserbedarfs aufgrund der Entwicklung der Blattfläche und der steigenden Temperaturen an. Die Gaben werden regelmässig an den Bedarf angepasst, sobald der Schwellenwert von 30 cbar überschritten wird. Graphisch dargestellte Werte erlauben es, die Tendenzen zu visualisieren. Ein schneller Anstieg erfordert eine grössere Zunahme der Wassermengen als eine langsame Entwicklung. Wettervorhersagen können berücksichtigt werden, und es kann dementsprechend reagiert werden. Die Wassergaben sind nicht mehr als ein Mal wöchentlich anzupassen, ausser bei extremen Witterungsveränderungen. Bei geringen Niederschlägen (< 20mm), sollten die Wassergaben nicht gestoppt, aber auch nicht erhöht werden, falls die Werte nahe des Schwellwertes liegen. Wenn die Bodenwasserspannung nach heftigen Regenfällen bei null ist, sollte nicht mehr bewässert werden, aber die Sonden sind regelmässig zu kontrollieren und die Wassergaben sollten verabreicht werden, sobald die Bodenwasserspannung schnell zunimmt, aber spätestens bevor diese die 30 cbar Schwelle erreicht.

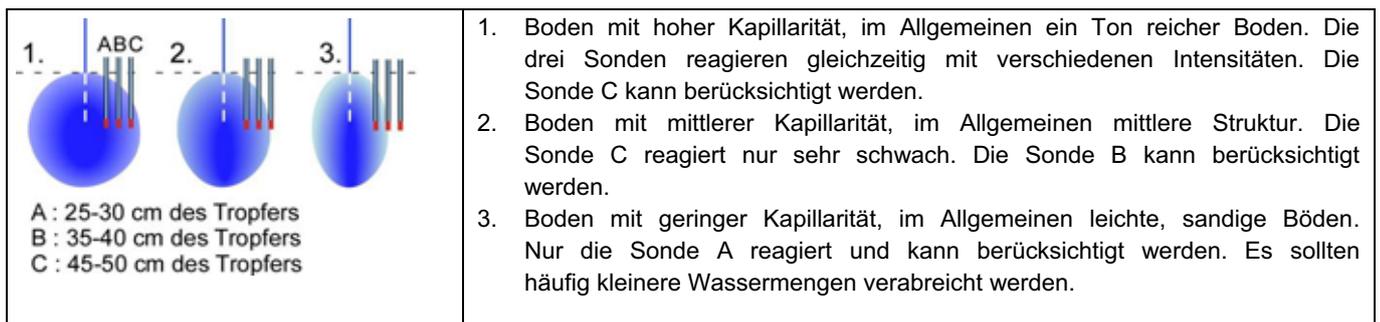
Abbildung 11: Verlauf der Bodenwasserspannung zur Steuerung der Bewässerung mittels Tropfbewässerung



## 6.4 Positionen der Sonden

Die Zuverlässigkeit der Messungen hängt einerseits von der Präzision der Instrumente ab und andererseits von der Qualität der Positionierung und Installation der Sonden. Die Entfernung zwischen den Sonden und dem Tropfer hängt von der seitlichen Ausbreitung des Wassers ab. Diese hängt vom Bodentyp ab. Bei schweren Böden, ist die Wasserausbreitung eher kugelförmig. Im Gegensatz dazu wird auf leichten Böden durch die geringere Kapillarität eine ovale, längliche Ausbreitung erzeugt. Eine hohe Frequenz an Wassergaben führt eher zu einer seitlichen Ausbreitung des Wassers.

Abbildung 12: Bestimmung der optimalen Distanz zwischen den Sonden und dem Tropfer



### Tiefe der Sonden

25 bis 30 cm für die oberen Sonden und 50 bis 60 cm bei den tieferliegenden Sonden sollte in den meisten Fällen geeignet sein. Die tiefer gelegene Sonde wird rund doppelt so tief gesetzt wie die höher liegende Sonde.

### Parzellen mit Hangneigung

Auf Parzellen mit Hangneigung ist die Wasserausbreitung

unterhalb der Tropfer oft leicht versetzt. Die Abweichung kann begrenzt werden, indem die Wassermenge des Tropfers die Aufnahmekapazität des Bodens nicht übersteigt. In diesem Fall ist es besser, Tropfer von höchstens zwei Liter pro Stunde (oder weniger) anzuwenden und die Sonden unterhalb der Tropfer zu platzieren.

## 7 Verschiedene Sondentypen

### 7.1 Tensiometersonden

Um eine gute Planung der lokalen Bewässerung (Tropfbewässerung, unterirdischer Tropfschlauch oder Mikrosprinkler) zu erreichen, ist eine regelmässige Überwachung der Bodenfeuchtigkeit ausschlaggebend. Die einfachsten und billigsten Sonden berechnen die Kraft mit der das Wasser von den Bodenpartikeln gehalten wird. Je trockener der Boden, desto mehr Kraft muss die Pflanze aufwenden, um dem Boden Wasser zu entziehen. Es existieren verschiedene Sondentypen auf dem Markt.

Ein Tensiometer ist ein präzises und zuverlässiges Instrument. Seine grössten Nachteile sind:

- Frostempfindlichkeit (sie müssen jeden Frühling neu installiert werden, denn sie dürfen im Winter nicht draussen bleiben).
- Wartung (Überwachung der Wasserniveaus).
- Fehlen einer automatischen Aufzeichnung der Werte.
- Begrenzter Messbereich 0-80 cbar, der keine Defizitbewässerung ermöglicht.

Ein Satz für eine Parzelle (6 Sonden) kostet ca. CHF.1'000.-.

Abbildung 13: Optimale Position der beiden Sonden mit Tropfbewässerung

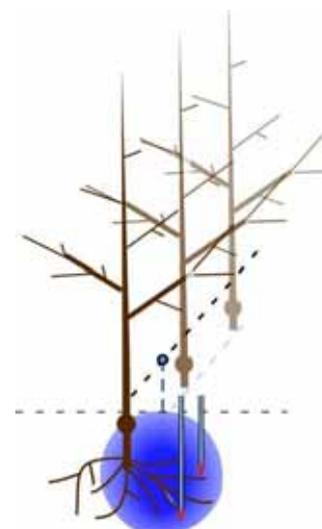


Abbildung 14: Platzierung und Füllung des Tensiometers

Tensiometer werden immer öfter durch Sensoren ersetzt, die den Bodenwassergehalt dank elektrischer Leitfähigkeit berechnen. Die Werte werden auch in cbar ausgedrückt, was vorteilhaft ist, da dieses schon bekannte Mass die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen darstellt. Die unter der Marke Watermark® kommerzialisierten Sonden sind billig, relativ zuverlässig und präzise sowie frostbeständig. Ihre Lebensdauer variiert zwischen drei bis fünf Jahren.



Abbildung 15: Ein paar Watermark®-Sonden, die eine Einheit bilden und die Steuerung der Bewässerung ermöglichen. Die horizontale Distanz zum Tropfer beträgt hier 30 cm mit Tiefen von 30 und 60cm.



Der Vorteil einer elektrischen Messung liegt in der Möglichkeit, ein kostengünstiges Datenregistrierungssystem zu erarbeiten. Der blaue Kasten (Abbildung 17) ist an sechs Feuchtigkeitssonden und einer Temperatursonde angeschlossen, hat eine Aufnahmekapazität von mehreren Monaten und eine Energieautonomie (9Volt-Batterie), die ausreichend ist, um die ganze Saison abzudecken.

## 7.2 Kapazitive Sonden

Abbildung 16: Kapazitive Sonden



*Aquapro-sensor Sonde zur kapazitiven Messung der Bodenfeuchtigkeit (manuell).*

*Die Sonde wird in ein Rohr geschoben, dass bis zu den verschiedenen Messtiefen reicht.*

*Die Markierungen (schwarze Ringe) zeigen die gebräuchlichen Tiefen (12.5, 25, 30, 45, 60, 75 und 90 cm) an.*

*Die fix angebrachte kapazitive Sonde Aquacheck. Zwei Sonden von einer Länge von einem Meter erlauben es, Feuchtigkeitsschwankungen in 40, 60 und 100 cm Tiefe zu registrieren. Das Registrier- und Datenübertragungssystem (Adcon Telemetry System) wird genutzt, um die Bewässerung durch Mikrosprinkler in einer Versuchsanlage mit Aprikosen zu steuern.*

Eine neue Generation von Sonden wurde kürzlich auf den Markt gebracht. Diese Apparate zeigen den Wassergehalt des Bodens an. Diese Werte sind schwierig zu interpretieren, da die ausschlaggebenden Schwellenwerte zur Bewässerungssteuerung je nach Bodenart sehr variabel sind.

Gleichwohl gewinnen diese Sonden aufgrund ihrer hohen Genauigkeit zunehmend an Bedeutung. Sie reagieren auf Feuchtigkeitsveränderungen in einer Zone von mehreren Zentimetern um den Sensor und sind daher weniger von der Bodenheterogenität beeinflusst. Im Gegensatz zu Tensiometern reagieren sie sofort auf Veränderungen des Wassergehaltes. Das mitgelieferte Computerprogramm ist für eine korrekte Interpretation der Werte unerlässlich. Es existieren zwei verschiedene Typen von kapazitiven Sonden:

- Direktes Ablesen, was häufiges Ablesen der Messungen bedeutet (je nach Saison und Bewässerungssystem mehrmals wöchentlich). Sie haben den Vorteil, den Wassergehalt des Bodens in verschiedenen Tiefen und einer grossen Anzahl an Röhren per Hand messen zu können. Die Investition ist auf ein einziges Messgerät begrenzt, bestehend aus der Sonde, einem Taschencomputer (Abbildung 16) und einer Anzahl von Röhren gemäss Bedarf. Der Preis kann zwischen CHF. 1'300,- und CHF. 2'000,- für die Geräte und zwischen CHF. 25.- und CHF. 100.- für die Röhren je nach Herkunft und Länge schwanken.
- Fest angebrachte Typen, die generell über mehrere Sensoren für die verschiedenen Tiefen verfügen. Sie können an ein Datenspeicherungssystem angeschlossen werden (Abbildung 16).

## 8 Datenübertragung

### 8.1 Gespeicherte Daten

Für einen Grossteil der auf dem Markt erhältlichen Sonden besteht die Möglichkeit, diese mit einem Datenspeichersystem zu versehen. Dies gilt auch für Watermark® Sonden, die derzeit in der Schweiz am meisten verbreitet sind.

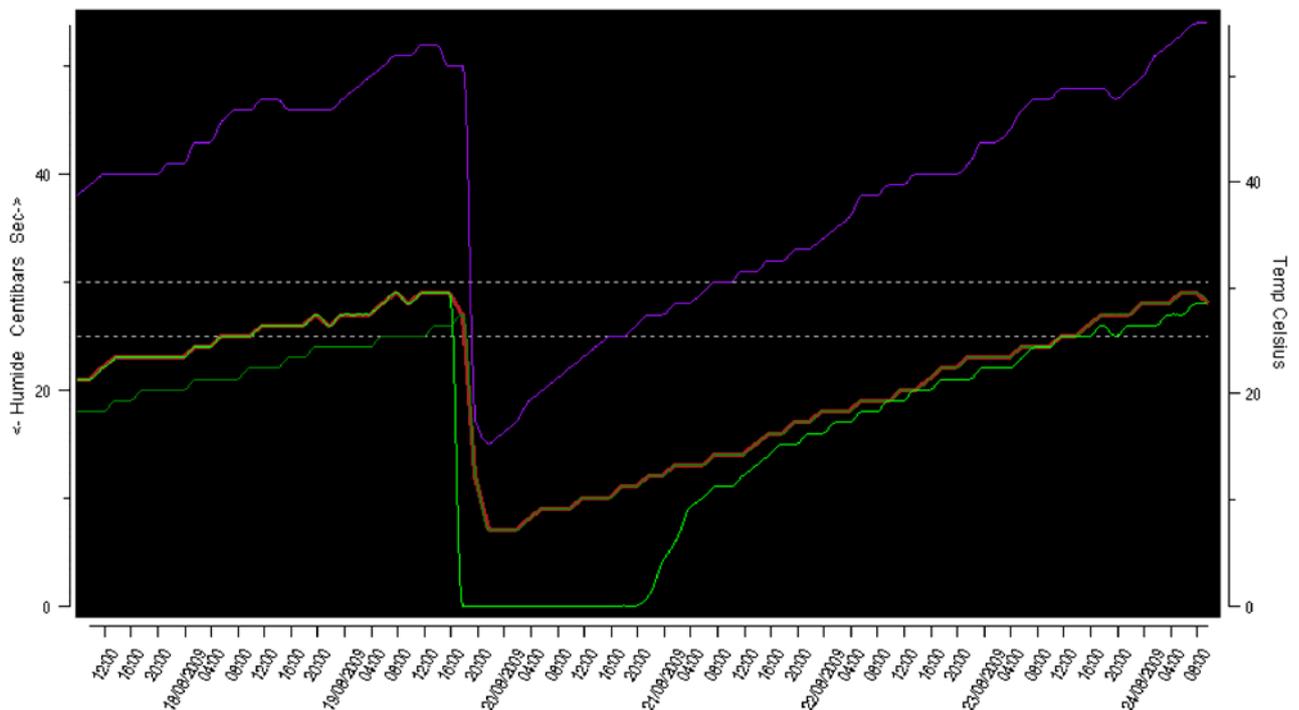
Die Übertragung der Daten auf ein Laptop dauert nur einige Sekunden. Die Daten werden automatisch in einer Graphik dargestellt (Abb. 17). Das Set mit den Tensiometern kostet

rund CHF. 1'200.-. Eine billigere Variante kann mit der manuellen Ablese der Sonden erreicht werden, aber das bedeutet wie bei Tensiometern, dass häufig kontrolliert werden muss und die Daten per Hand in eine Tabelle eingetragen werden müssen, um eine grafische Darstellung der Tendenzen zu erhalten.

Abbildung 17: Datalogger mit graphischer Darstellung der aufgezeichneten Daten

Wasserfestes Gehäuse mit Speicher für Aufzeichnungen von sechs Feuchtigkeitssonden.

Die grafische Darstellung der Daten wird durch eine Software erleichtert. Auf Wunsch kann die Mediankurve fett gezeichnet werden, was das Lesen und den Entscheid vereinfacht.



## 8.2 Datenübertragung per GPRS oder Radio

Abbildung 18: Radiosender verbunden mit sechs Watermark® Sonden



Der an einem Metallmast angebrachte Sender ist mit sechs Watermark® Sonden in Zweiergruppen wie im oben erwähnten Prinzip verbunden. Das Gerät überträgt die Daten per Funk an den Benutzer, der diese jederzeit auf einer gesicherten Internetseite abrufen kann (Adcon Telemetry Systems).

Der grösste Aufwand für die Steuerung der Bewässerung ist ohne Zweifel das Sammeln der Daten. Trotz sinkender Preise bleibt die Telemetrie-Technologie relativ teuer, nimmt aber an Bedeutung zu dank folgender Vorteile:

- Zeiteinsparung von mehreren Stunden pro Woche, im Vergleich zu manuellen Systemen.

- Abruf der Daten über einen Internetzugang sowie die Möglichkeit Warnmeldungen per SMS zu erhalten.
- Zugang kann Spezialfirmen ermöglicht werden, die ihre Kunden warnen, wenn eine Änderung der Anweisungen notwendig wird.

Gegenwärtig gibt es kommerzielle Lösungen für Watermark®-Sonden, sowie für die meisten kapazitiven Sonden.

## 9 Automatisierung

Es gibt verschiedene Stufen der Automatisierung. Die meisten einfachen Automaten erlauben es, die Zeit und die Dauer der Ventilöffnung einzustellen. Für die Steuerung mit konstanten Abständen sind sie nahezu unerlässlich, insbesondere bei Tropfsystemen, die eine hohe Frequenz an Wassergaben brauchen. Sie sind eine Garantie für perfekte Regelmässigkeit, Dosierung und Frequenz der Bewässerung und sparen wertvolle Zeit. Diese Produkte sind sowohl für Fachleute wie auch für Hausgärten geeignet. Ihre grosse Verbreitung in den letzten Jahren hat sie erschwinglich gemacht.

Die am weitesten fortgeschrittenen Modelle erlauben bis zu acht Gaben pro Tag. Zusammen mit Ventilen mittlerer Grösse (1"-3") sind sie in der Lage, die Bewässerung von Grundstücken mehrerer Hektaren zu verwalten. Sie besitzen meistens Funktionen, die eine relativ detaillierte Regulierung der Frequenz der Wassergaben erlauben, um den Bedürfnissen jeder Obstkultur gerecht zu werden (Bewässerung an jedem zweiten Tag, feste Zeitspannen, ein Mal pro Woche oder nach Wochentagen). Manche Modelle sind so hergestellt, dass sie mehrere Ventile nach verschiedenen Programmen und somit verschiedene Aufgaben in verschiedenen Sektoren meistern können. Es gibt zum Beispiel Modelle, die bis zu neun Ventile steuern für CHF. 250.-.

Allerdings bedeutet eine hohe Häufigkeit der Wassergaben logischerweise eine Abnahme der Wassermenge pro Gabe. Die Häufigkeit kann aber nicht unendlich erhöht werden, da zwischen zwei Gaben, eine Teil- oder Vollentleerung der Leitungen oder Schläuche erfolgen kann. Dies kann dazu führen, dass je nach Entfernung der Tropfer eine Verzögerung der Wasserabgabe erfolgen kann. Häufige Bewässerungen steigern so eine unregelmässige Verteilung des Wassers auf den Parzellen. Mit der folgenden Methode kann die minimale Bewässerungsdauer je nach Bewässerungssystem definiert werden: Beim Anstellen des Wassers die Zeit messen, die benötigt wird, bis auch der am entfernteste Tropfer Wasser gibt. Der Wert multipliziert mit dem Faktor zehn ergibt eine akzeptable minimale Wassergabefrequenz. Der Einsatz von druckkompensierenden Tropfern mit Anti-Auslauf-Eigenschaften verhindert das Problem der Teil- oder Vollentleerung der Leitungen (siehe Beschreibungen Kapitel 3.2.2).

### 9.1 Automatische Bewässerung

Die Idee, Bewässerungen vollautomatisch zu steuern, existiert schon seit mehreren Jahren. Die ersten Tests erwiesen sich aber als nicht all zu erfolgversprechend. Vor allem wurde der Bewässerungsstart und -stopp von nur einer Sonde gesteuert, was zu Problemen führen konnte.

Das Gerät der Firma Watermark® scheint aber zuverlässiger zu sein. Das Gerät kann an drei Sonden angeschlossen werden und steuert die Bewässerung aufgrund des Mittelwertes der drei Sonden. Das Grundprinzip mit diesem Gerät ist eine Bewässerung mit konstanten Gaben. So sieht das Programm zum Beispiel vier Gaben pro Tag vor, die nur ausgelöst wer-

Abbildung 19: Bewässerungsautomat



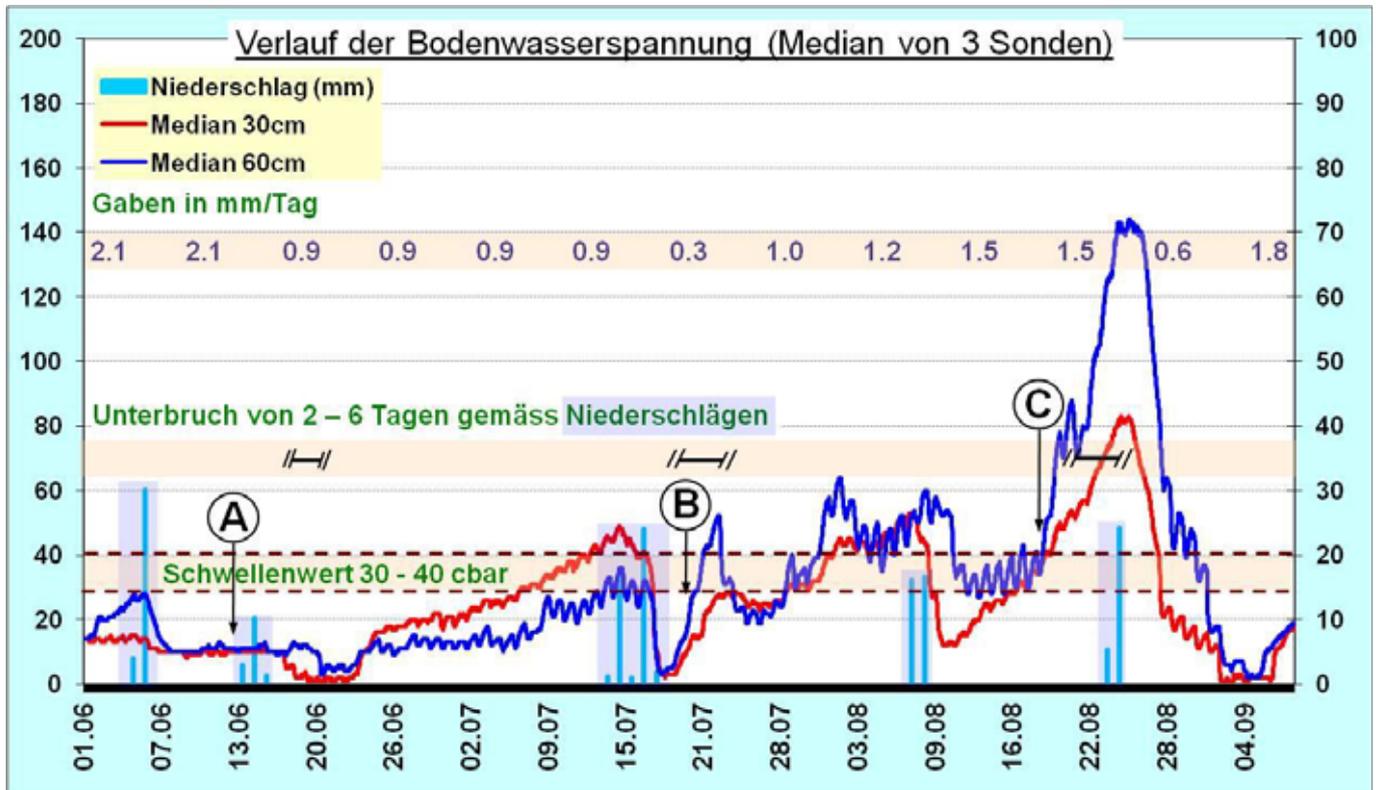
Bewässerungsautomat, der mehrere Ventile steuern kann. In diesem Beispiel, wird das Ventil 1 von einem spezifischen Programm gesteuert und ein Mal täglich werden Wassergaben verabreicht, deren Menge aufgrund der Daten der Watermark®-Sonden ein Mal in der Woche korrigiert werden. Das zweite Ventil wird von einem zweiten Programm gesteuert, das zwei Zufuhren pro Woche vorsieht. Die Ventile drei bis fünf werden von einem dritten Programm gesteuert, das einheitliche Bewässerungsperioden vorsieht, aber mit Zeitspannen, die individuell angepasst werden.

den, wenn die Bodenfeuchtigkeit über einen vom Benutzer festgelegten Schwellenwert steigt. Diese Lösung hat den Vorteil, geringe Mengen pro Gabe mit einer hohen Bewässerungsfrequenz zu definieren. Dieses Vorgehen würde eine optimale Verteilung des Wassers im Boden garantieren. Das komplette Set, inklusiv Programmierer, Elektroventil 1", das an die Sonden und Programmierer geschlossenen Module sowie drei Watermark®-Sonden ist im Moment für einen Preis von CHF: 750.- erhältlich. Die Ergebnisse der ersten Tests sollten aber abgewartet werden, um deren Zuverlässigkeit zu untersuchen.

## 10 Praktische Beispiele

### 10.1 Steuerung der Tropfbewässerung, eine Wassergabe pro Tag

Abbildung 20: Bodenwasserspannung in 2 Bodentiefen, Niederschläge und durchgeführte Bewässerungen

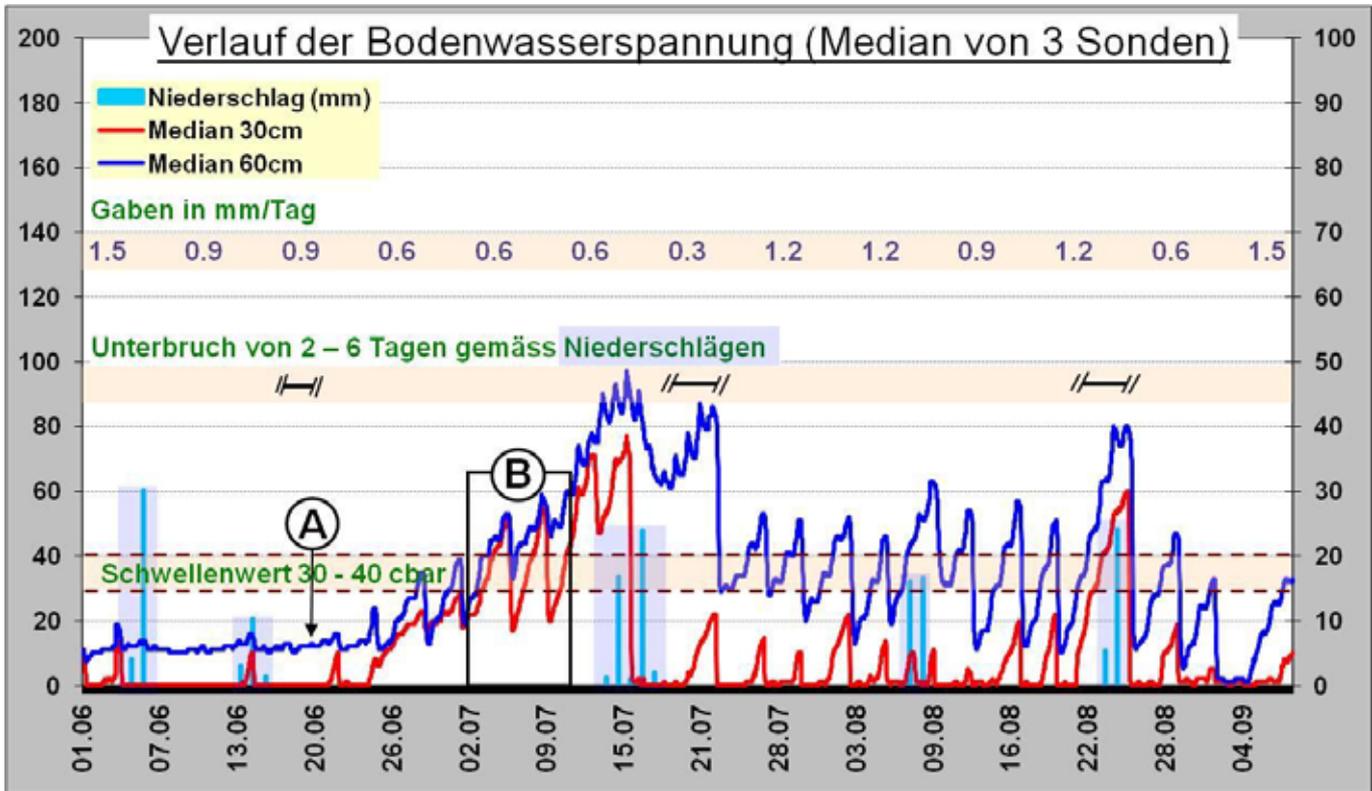


Der Kurvenverlauf widerspiegelt die Bodenfeuchte unter dem Tropfer. Im gegebenen Fall entwickelt sich diese sehr langsam. Dies ermöglicht ein leichtes Ablesen von Trends und erleichtert es, Entscheidungen zu treffen. Die relativ hohen Wassergaben anfangs der Saison (bis zum Punkt A) sind auf ein spätes Anfahren und auf einen heissen und trockenen Monat Mai zurückzuführen. Allerdings hätten weniger hohe oder mit grösseren Abständen gehaltene Zufuhren ab den Regenperioden vom 5. Bis 6. Juni gereicht. Anschliessend war die Zufuhr korrekt bis zur Regenperiode vom 15. bis 17. Juli. Die Wiederaufnahme der Zufuhren hätte beim Punkt B schneller erfolgen sollen. Eine Pause von zwei bis drei Tagen anstatt der sechs wäre in dieser Situation angepasster gewesen.

Nach den Niederschlägen vom 7. bis 8. August von rund 30 mm wurde keine Unterbrechung der Wassergaben vollzogen. Dies führte aber nicht zu einer Wassersättigung des Bodens. Die Bodenwasserspannungskurven stiegen schnell wieder in die Höhe. Bei der starken Veränderung beim Punkt C handelt es sich um einen Stromausfall. Während einer Hitzeperiode lässt dieser Ausfall schnell die Bodenwasserspannung steigen, vor allem im Unterboden, in dem die ausgewachsenen Obstbäume den Hauptteil ihres Wasserbedarfs beziehen. Der Anstieg ist so schnell, da die Bodenfeuchtigkeit in 60 cm Tiefe in der Nähe des Grenzwertes von 30 bis 40 cbar seit dem Punkt B gehalten wurde.

## 10.2 Tropfbewässerung, zwei Wassergaben pro Woche

Abbildung 21: Saugspannung in zwei Bodentiefen, Niederschläge und durchgeführte Bewässerungen



Die Frequenz von zwei Wassergaben pro Woche ist bis zum Punkt A (25. Juni) ausreichend. Ab diesem Zeitpunkt, zeigen die starken Schwankungen der Kurven eine unzureichende Frequenz der Gaben an. Eine Interpretation der wöchentlichen Tendenzen wird ab dem Punkt B schwieriger. Die Was-

sergaben zu erhöhen, ohne die Frequenzen zu korrigieren, kann zu einer Wassersättigung des Bodens führen. Die ab dem 20. Juli gegebenen Wassergaben ermöglichen es, korrekte Wassergehalte im Boden zu erzielen.

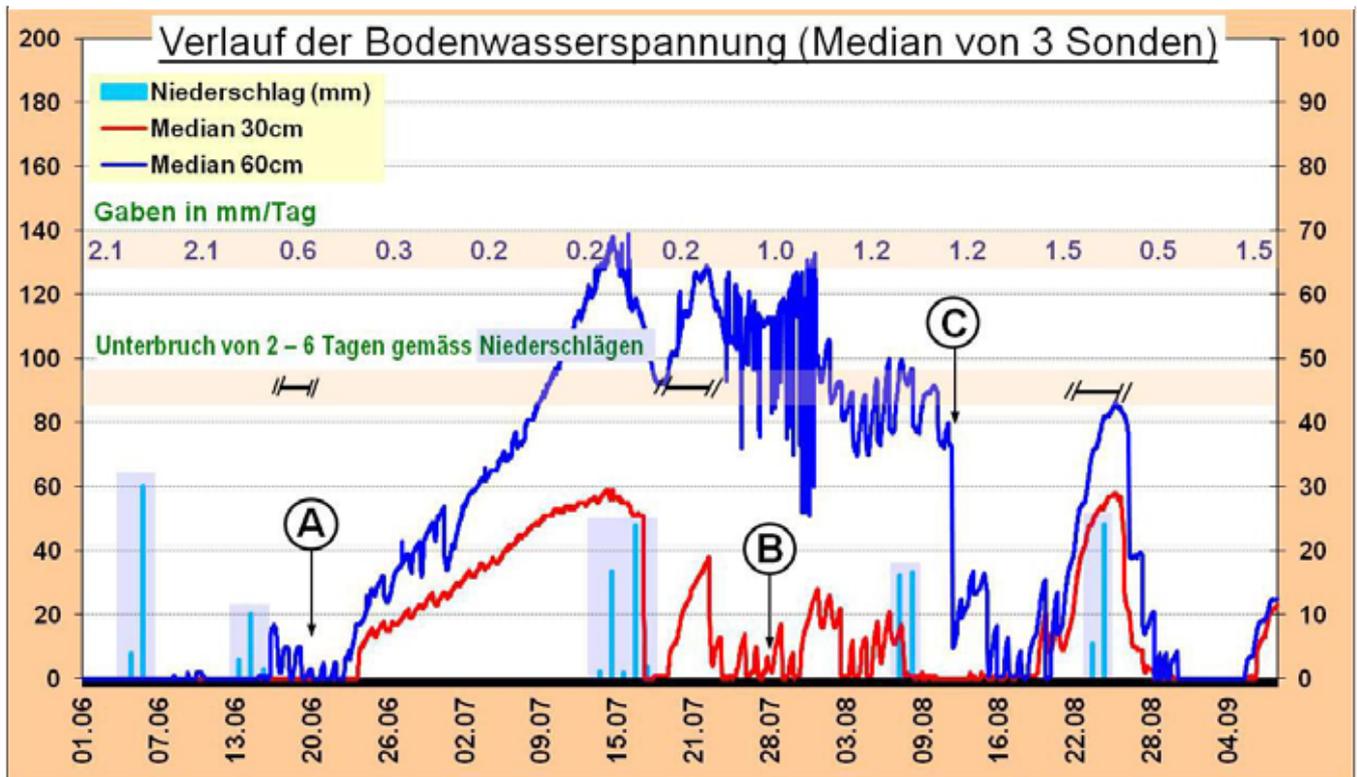
## 10.3 Tropfbewässerung: Rationierung der Gaben

Tests mit Bewässerungseinschränkung werden zur Zeit bei einem Produzenten in der Nähe des Genfersees mit der Sorte Gala durchgeführt. Die Saison 2009 hat folgende Ergebnisse gezeigt:

Ab dem 20. Juni (Punkt A) wurden die täglichen Gaben auf rund 50 % eingeschränkt. Ab dem 28. Juli (Punkt B), wurden wieder normale Wassergaben verabreicht. Drei Wochen vor der Ernte, d.h. am 10. August (Punkt C) erfolgte eine leichte Erhöhung der täglichen Mengen, verbunden mit einer Auftei-

lung in zwei Gaben, um die Bodenwasserspannung zu senken. Die tägliche Wassergabe ist mit der im Kapitel 10.1 angegebenen Menge vergleichbar. Die blaue Kurve, die normalerweise Werte zeigen sollte, die 20 bis 30 % niedriger als die rote Kurve sind, weist auf ein allmähliches Austrocknen des Unterbodens hin. Tägliche Wassergaben von 0.6 bis 0.9 mm hätten wahrscheinlich Werte nahe des Zielwertes für die Phase zwei von 50 bis 70 cbar erlaubt.

Abbildung 22: Bodenwasserspannung in zwei Bodentiefen, Niederschläge und durchgeführte Bewässerung.

**Wassersparen mit Tropfbewässerung**

Ohne Defizitbewässerung (10.1 und 10.2) beträgt die Wassereinsparung mit der Tropfbewässerung rund 30 % im Vergleich zum mittels Wasserbilanz berechneten Bedarf. Mit einer Defizit-Bewässerung wird eine zusätzliche Einsparung von 20 % erreicht. Gegenüber der normalen Wasserzufuhr wurden keine Einbussen in der Fruchtgrösse festgestellt.

Diese Ergebnisse bestätigen die Resultate einer australischen Studie, bei der sich die Gesamtwassermenge bei der Tropfbewässerung um 45 % verringerte gegenüber einer Überkronenbewässerung. Eine französische Studie spricht diesbezüglich von einer Reduktion von 20 bis 50 %.

Literatur ist bei den Autoren erhältlich.

Wir danken:

- Christoph Carlen für die Vorschläge betreffend Manuskript und die deutsche Übersetzung.
- Christian Blaser für die Hilfe bei der Darstellung der Bewässerungssysteme.
- Den verschiedenen Firmen, die so freundlich waren, uns die wirtschaftlichen Daten über die diversen Bewässerungssysteme mitzuteilen.

CCD SA  
 Route cantonale  
 1906 Charrat

Henri & Thierry Evard S.A.  
 Route du Prieur 55  
 1257 La Croix-de-Rozon

Irrip, Irrigation en tous genres  
 Rte de Corsy 5  
 1093 La Conversion