

Automatisierung der Bewässerung für kleinere Kultureinheiten - geeignete Wasserverteilsysteme, Sensoren und Schaltgeräte

Dr. Michael Beck

Hintergrund

- Reglementierung bezüglich der Wasserentnahme
 - Höherer Bewässerungsbedarf
 - Nährstoffmobilisierung
 - Nährstoffauswaschung (Nitratverlagerung)
 - Bodenfruchtbarkeit erhalten
-
- **Bewässerungsstrategie und Technik sind zu überdenken**

Anbauformen



Freiland



Schutzdach



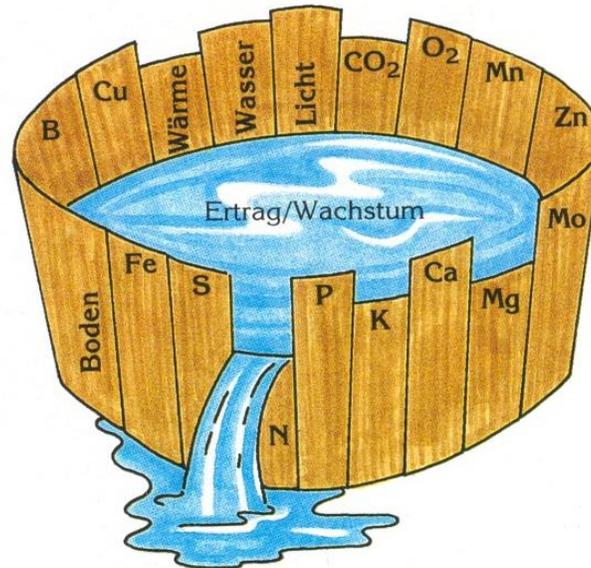
Gewächshaus
ungeheizt, geheizt



Folienhaus

Minimumgesetz

- das Wachstum bzw. der Ertrag wird durch die knappste Ressource (Nährstoffe, Wasser, Licht etc.) eingeschränkt.



- Alle Wachstumsfaktoren müssen optimal vorhanden sein damit die Bewässerung und Düngung effektiv ist.

Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs

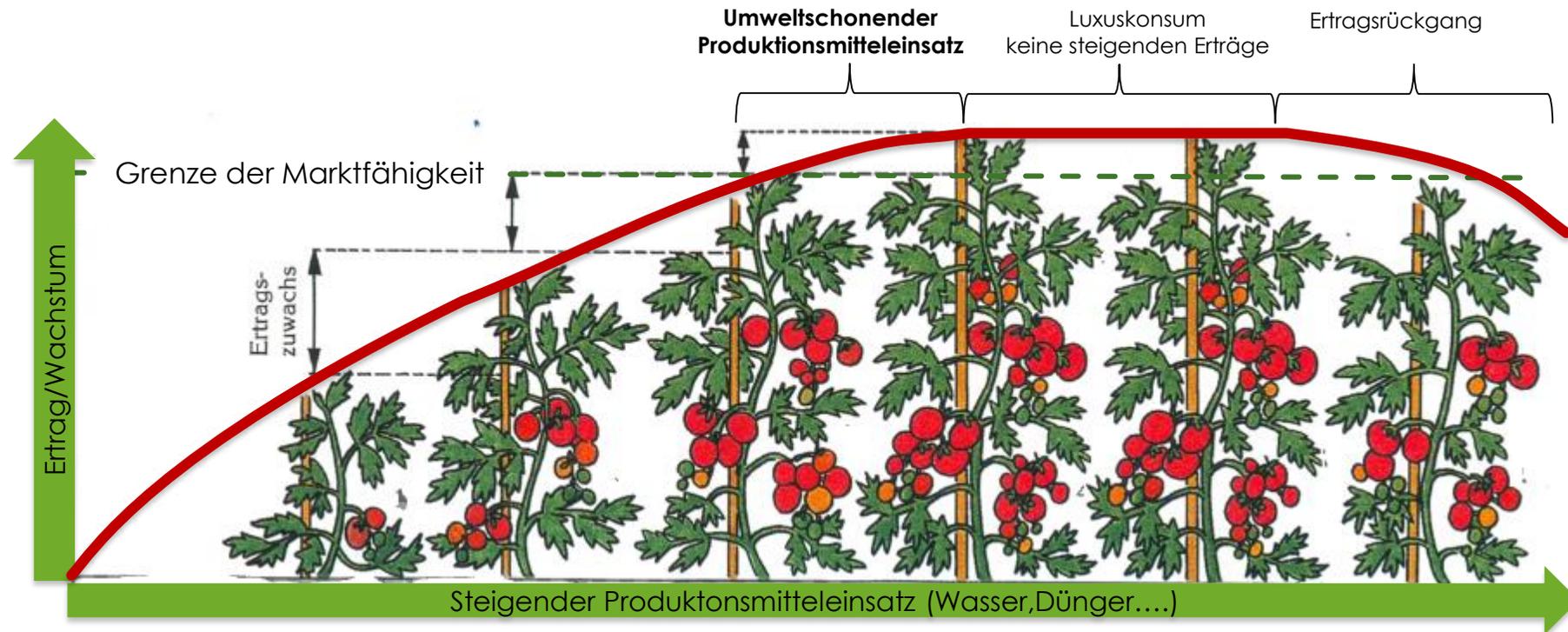
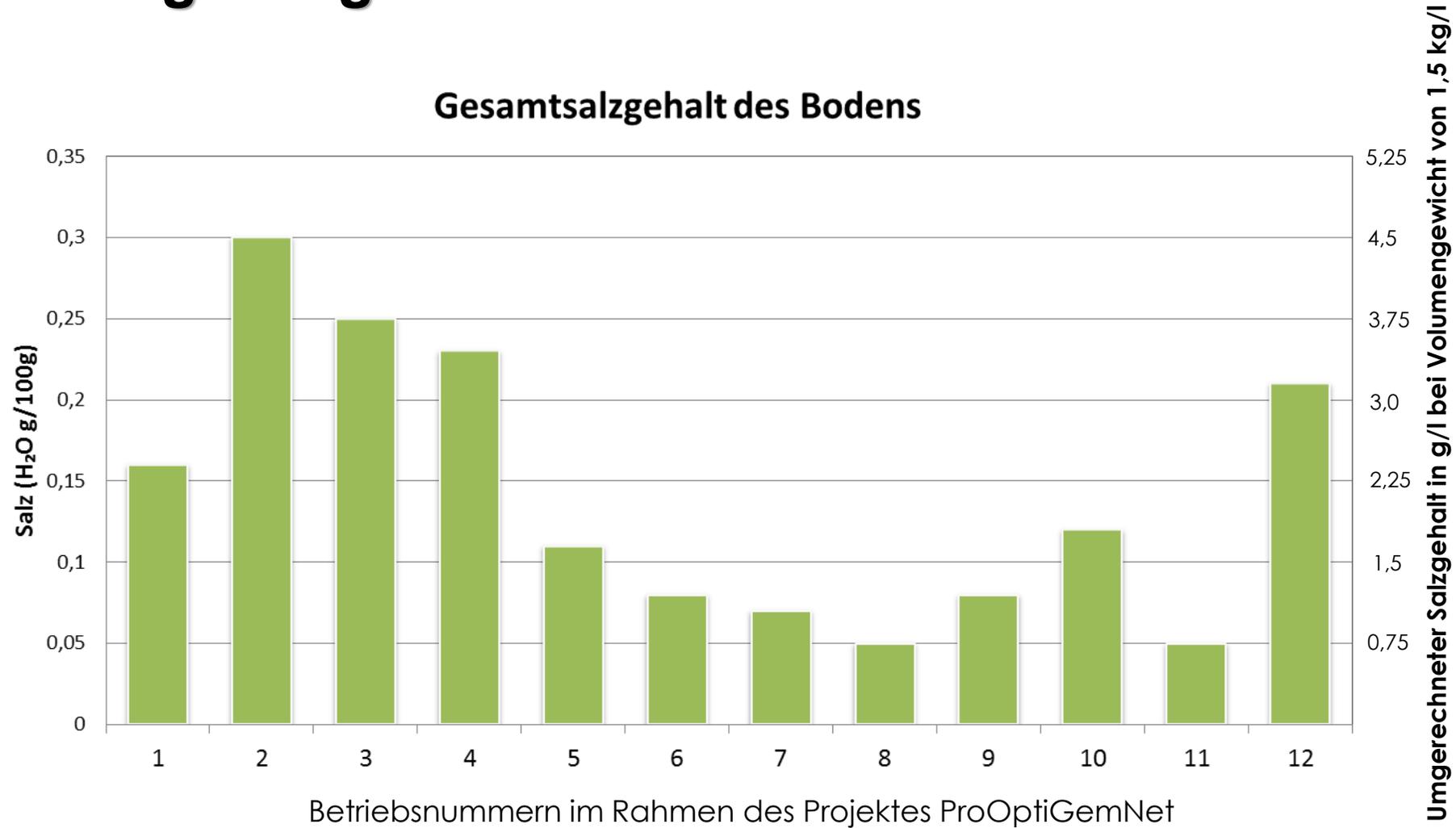


Abb: Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs

Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit des Bodens erhalten



Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit des Bodens erhalten

Ertragsverluste bei Tomaten durch hohe Salzgehalte (Resultate aus nur einem Versuch an einem Standort):						
	humoser Lehm			humoser Sand		
Salzgehalt des Bodens [g/l]	2	2,5	5	0,8	0,9	1,5
Ertragsverluste [%]	0	10	50	0	10	50

(verändert nach Scharpf und Liebig, 1991)

- Auf leichten Böden ist ein hoher Salzgehalt kritischer zu sehen

Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit des Bodens erhalten

Tab: Gießwasserqualität in Praxisbetrieben

	Sollwerte	Istwerte Probennummer															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Karbonathärte in °dH	< 5	12	20	11	15	1	20	2	14	16	18	7	14	9	15	17	13
pH-Wert	5,0 – 6,0	7,5	7,3	7,0	7,4	7,4	7,3	7,4	7,4	7,5	7,4	8,0	7,6	7,9	7,6	7,5	7,5
Leitfähigkeit in µS	< 720	657	901	1274	637	37	1289	79	1129	1093	818	418	1175	504	589	671	1065
Salzgehalt (KCL) in mg/l	< 450	209	236	711	154	9	649	18	392	516	223	120	546	138	140	186	541
Natrium (Na) in mg/l	< 30	11	21	15	3	0	19	3	13	19	26	9	23	32	6	5	15
Sulfat (SO ₄) in mg/l	< 80	55	43	387	16	0	380	2	87	284	42	28	302	27	16	51	284
Nitrat (NO ₃) in mg/l	< 50	10	4	29	9	1	1	1	47	7	6	3	5	1	4	0	14
Bor (B) in mg/l	< 0,5	0,03	0,03	0,08	0,01	0,00	0,14	0,01	0,03	0,08	0,06	0,01	0,15	0,07	0,01	0,01	0,12
Eisen (Fe) in mg/l	< 1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zink (Zn) in mg/l	< 0,5	0,03	0,06	0,11	0,04	0,34	0,01	0,01	0,10	1,85	0,06	0,03	1,34	0,00	0,03	0,35	0,05

Wasserqualität

- Regenwasser sammeln -

- 120-240 m³/1000 m² GWH-Fläche
- Wasser aus öffentlichem Netz ca. 0,77-1,53 €/m³ bei 5000 m³ Jahresbedarf

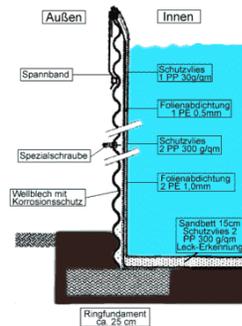
Unterirdische Becken



Becken: 500 m³
1,27-1,57 €/m³)¹
60 %ige Deckung
bei 5000 m³/Jahr

)¹Kosten incl. Pumpwerk

Wellblechtank



Becken: 960 m³
0,68-0,86 €/m³)¹
70 %ige Deckung
bei 5000 m³/Jahr

Folienteiche



Becken: 1250 m³
0,51-0,66 €/m³)¹
80 %ige Deckung
bei 5000 m³/Jahr

Bewässerungssysteme



Tropfbewässerung

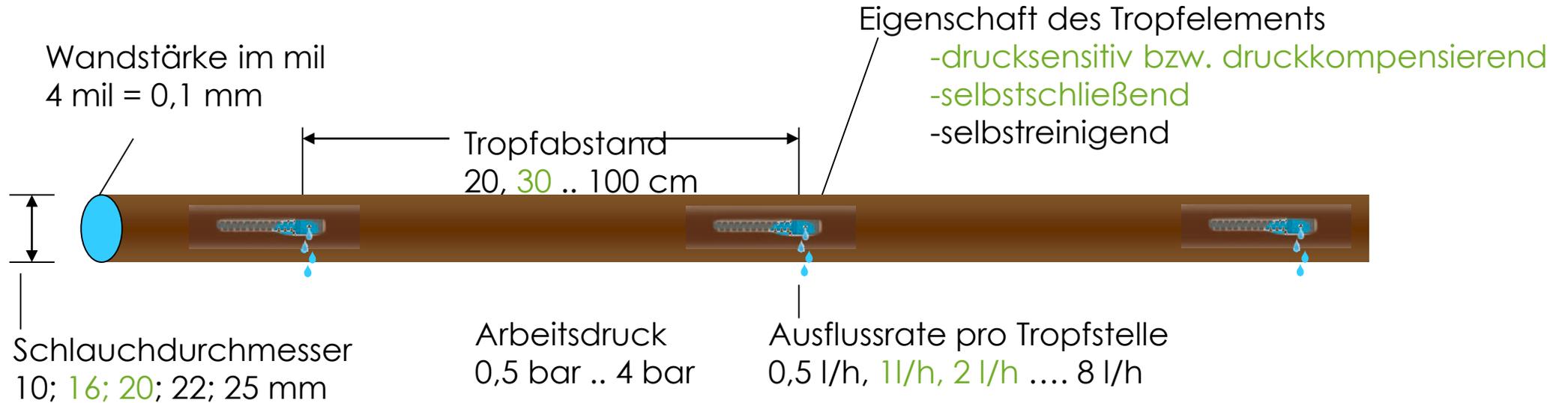
Bei Fruchtgemüse unverzichtbar ?

- 👉 Gewächshausklima wird positiv beeinflusst
- 👉 Pflanzen und Wege werden nicht befeuchtet
- 👉 Wassereinsparung
- 👉 Bodenstruktur bleibt erhalten
- 👉 Nährstoffe können über die Tropfbewässerung ausgebracht werden
- 👉 Große Flächen können auf einmal bewässert werden

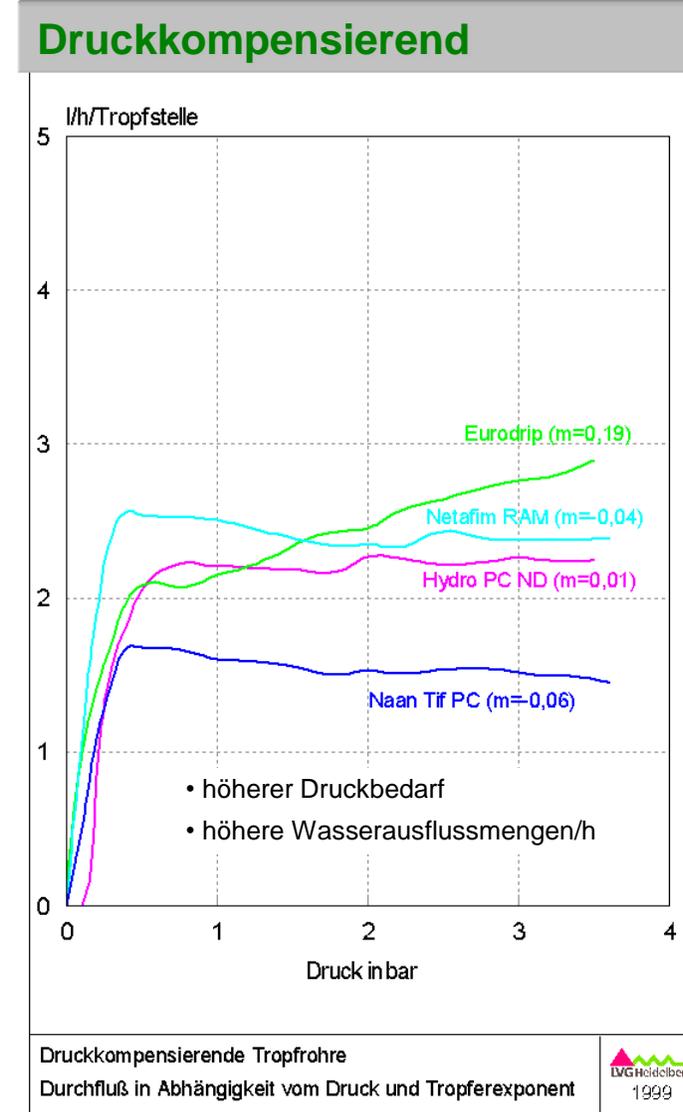
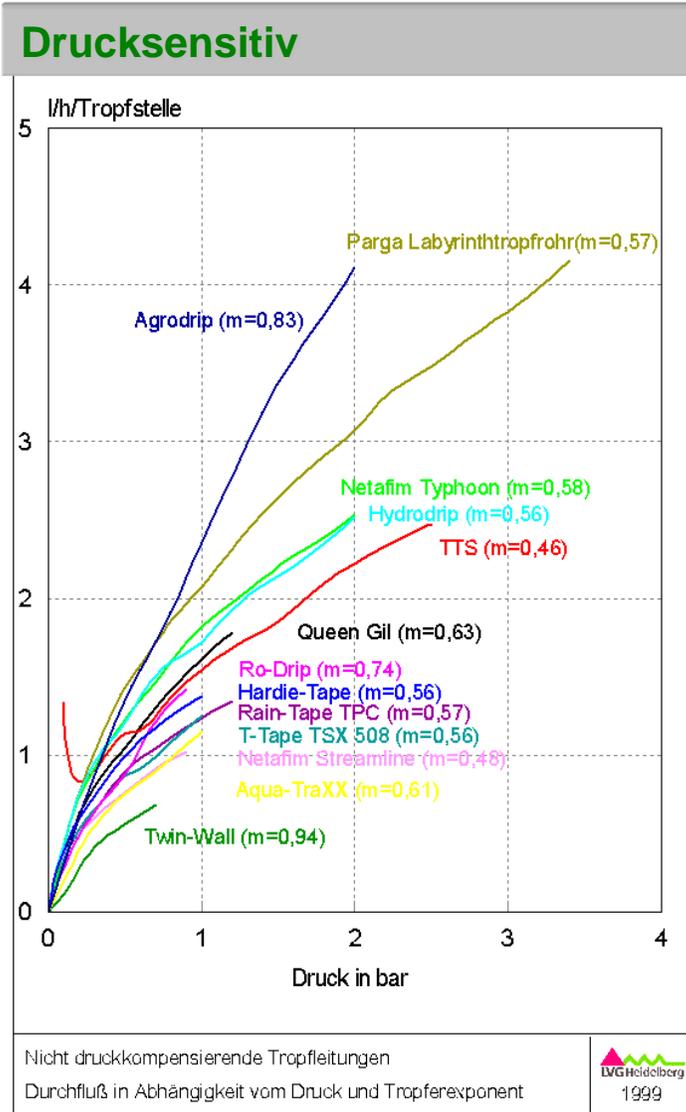
- 👉 Tropfschlauchanordnung muss beachtet werden
- 👉 Verteilgenauigkeit muss beachtet werden

- 👉 Verschmutzung
- 👉 Wasser wird nur in einem begrenzten Bodenvolumen verteilt
 - 👉 Wurzelraum ist eingeschränkt
 - 👉 Mobilität bzw. Nachlieferung der Nährstoffe wird eingeschränkt
 - 👉 Gefahr der Wasserversickerung und Nährstoffauswaschung
- 👉 Arbeitsaufwand zum Auf- und Abbau
- 👉 Ungleichmäßige Wasserverteilung bei Gefälle

Aufbau eines Tropfschlauches



Druckverhalten Tropfschläuche



Ausbreitung der Feuchtezone bei Tropfbewässerung



Je nach
Bodenart,
Infiltrationsrate
unterschiedliche
Ausprägung

Mittelschwerer Boden
ca. 70 l /lfm Tropfschlauch
ca. 21 l pro Tropfstelle

Quelle: Parssa Razavi, KTBL Arbeitstagung 2008: Modernisierung des Bewässerungssystems auf dem Obstgut auf der Heide

Wasserversickerung

bei zu hohen Gießwassermengen

- Auch bei einer bodenfeuchteabhängigen Bewässerungssteuerung kann es bei zu hohen Wassergaben pro Gießvorgang zu einer Wasserversickerung kommen.

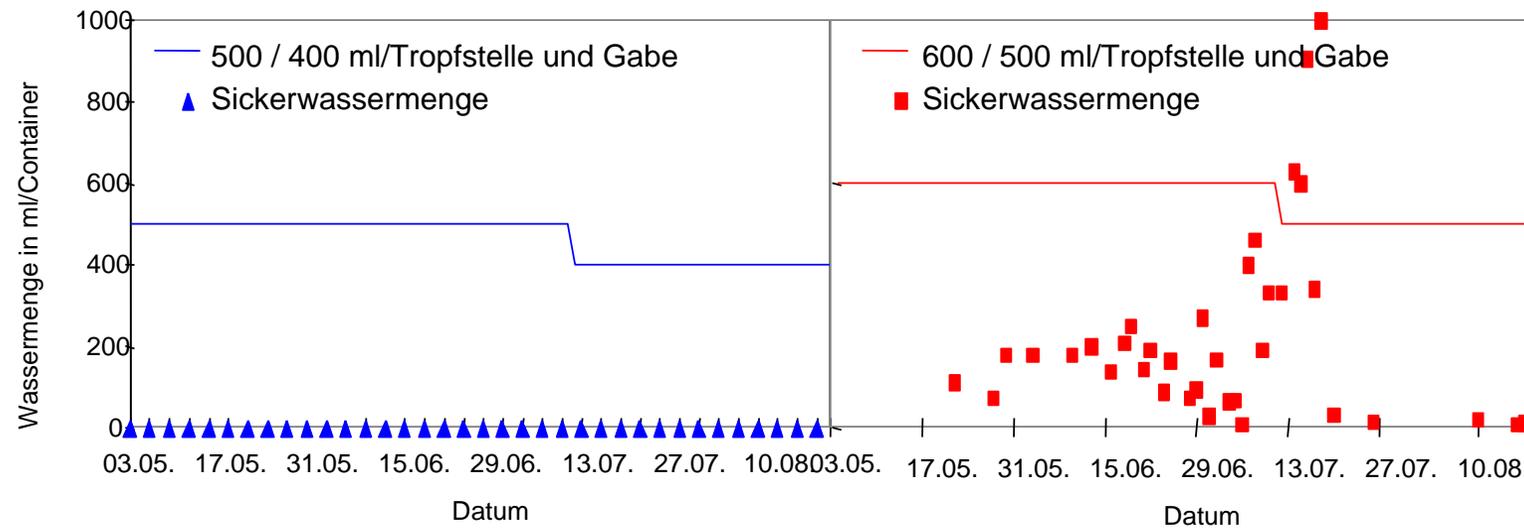


Abb.: Einfluss der Gießwassermenge pro Tropfstelle und Gabe bei tensiometergesteuerter Bewässerung (90 hPa) auf die Sickerwassermenge bei sandigem Lehm mit *Apium graveolens* l.

Gießzeiten

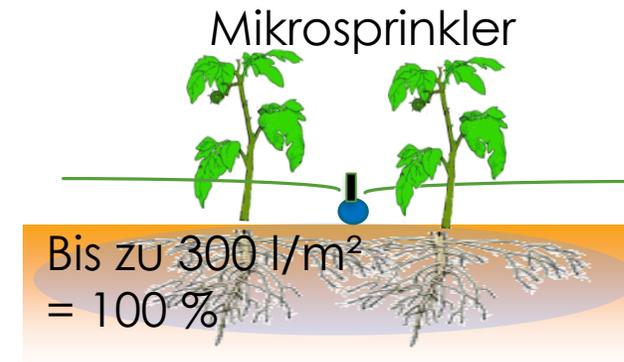
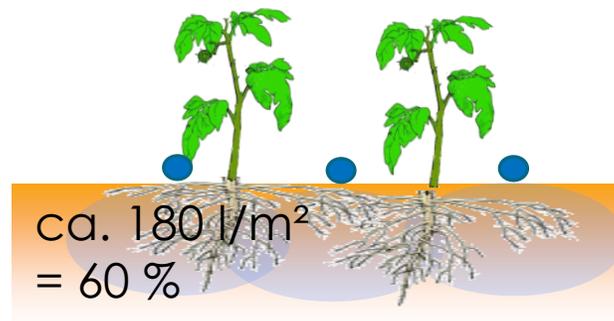
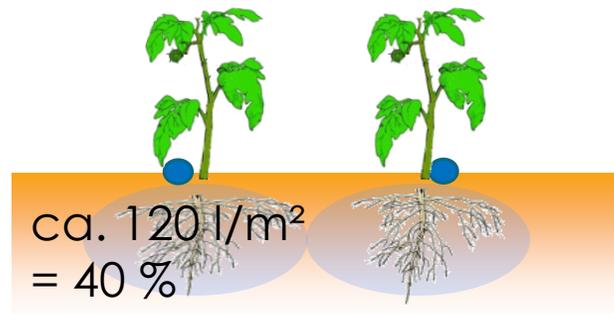
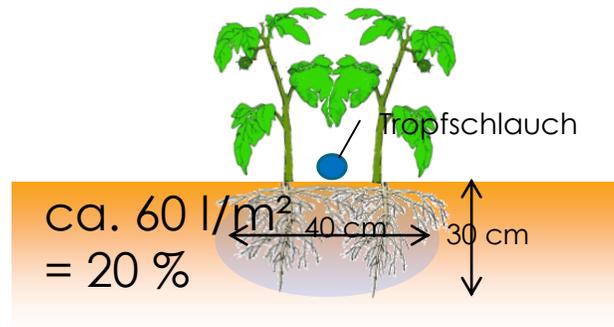
Wassergaben pro Tropfstelle, Tropfleistung, Gießzeiten

Tab: Bewässerungsdauer in Abhängigkeit der Bewässerungsmenge und Tropferleistung

Tropferleistung		1 l/h	2 l/h	3 l/h	4 l/h
=		16,7 ml/min	33,3 ml/min	50,0 ml/min	66,7 ml/min
Wassermenge pro Tropfstelle	250 ml	00:15:00	00:07:30	00:05:00	00:03:45
	300 ml	00:18:00	00:09:00	00:06:00	00:04:30
	350 ml	00:21:00	00:10:30	00:07:00	00:05:15
	400 ml	00:24:00	00:12:00	00:08:00	00:06:00
	450 ml	00:27:00	00:13:30	00:09:00	00:06:45
	500 ml	00:30:00	00:15:00	00:10:00	00:07:30
	750 ml	00:45:00	00:23:00	00:15:00	00:11:00
	1000 ml	01:00:00	00:30:00	00:20:00	00:15:00

Beispiel: für eine Bewässerungsmenge von 500 ml pro Tropfstelle und Gabe muss die Bewässerung bei einem 2 l Tropfer 15 min eingeschaltet werden

Befeuchtetes Bodenvolumen



Mikrosprinkler

- Verschiedene Hersteller
- z.B. Spinnet Fa. Netafim
- **Durchflussraten 50 bis 200 l/h**
- Arbeitsdruck 2-3 bar
- Filter: 130 micron / 120 mesh
- Verschiedene Rotoren (Sprühwinkel)
- Installation zwischen einer Doppelreihe
- Montage auf PE-Rohr, auf Verdrehungen achten
- Abstand Sprinkler ca. 1-1,5 m
- Abstand PE-Rohr ca. 2 m
- Wasserbedarf pro m² ca. 25 l/min (geringster Durchfluss)
- Niederschlagsdichte ca. 25 l Wasser pro m² und h
- Gewächshaus 10 m Breite ca. 5-6 Sprühreihen
- Wasserbedarf für 500 m² ca. 12,5 m³/h
- Bewässerungsdauer pro Tag bei 6 l/m² Verbrauch ca. 14 Minuten
- kann evtl. in einer Tagesgabe ausgebraucht werden.



SPINNET™
BRIDGELESS MICRO-SPRINKLER



Täglicher Wasserverbrauch



Monat	Wasserbedarf [l H ₂ O/m ² und Tag] bei 1,4 Pflanzen/m ²
Februar	1,8 bis 2,3
März	2,5 bis 3,0
April	3,5 bis 4,0
Mai	5,1 bis 5,6
Juni	6,0 bis 6,5
Juli	5,3 bis 5,8
August	4,0 bis 4,5
September	2,5 bis 3,0
Oktober	2,0 bis 2,5
November	1,5 bis 2,0

Quelle: DREWS (1981)



Monat	Wasserbedarf [l H ₂ O/m ² und Tag] bei 2,5 Pflanzen/m ²
Februar	0,5 bis 1,0
März	1,0 bis 2,3
April	2,3 bis 4,0
Mai	4,0 bis 6,0
Juni	6,0 bis 8,0
Juli	6,0 bis 8,0
August	4,0 bis 6,0
September	3,8 bis 5,0
Oktober	2,0 bis 3,8
November	1,5 bis 2,5

Quelle: GÖHLER und DREWS (1981)

Information aus: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13405>

Wasserverbrauch von Tomaten

Wasserverbrauch und Gießhäufigkeit pro Tag

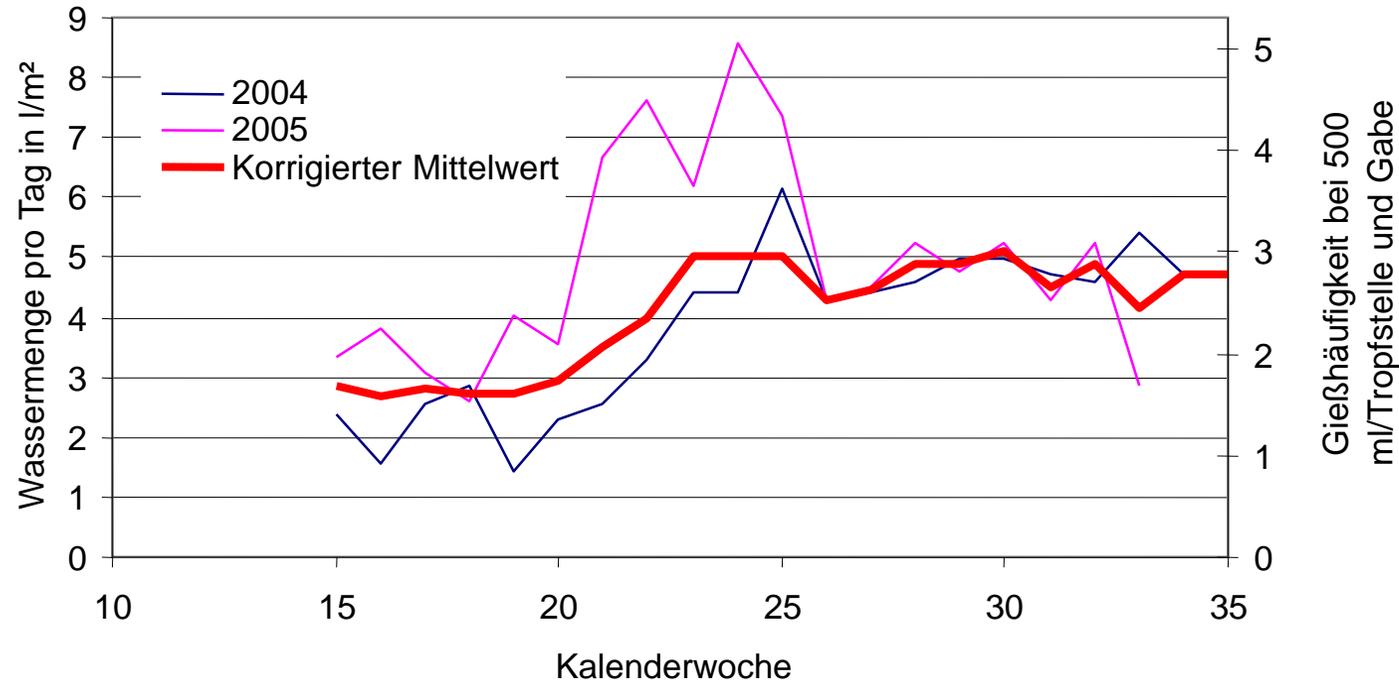
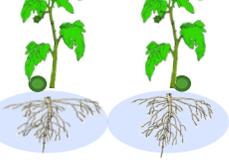
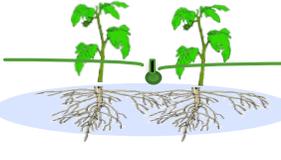
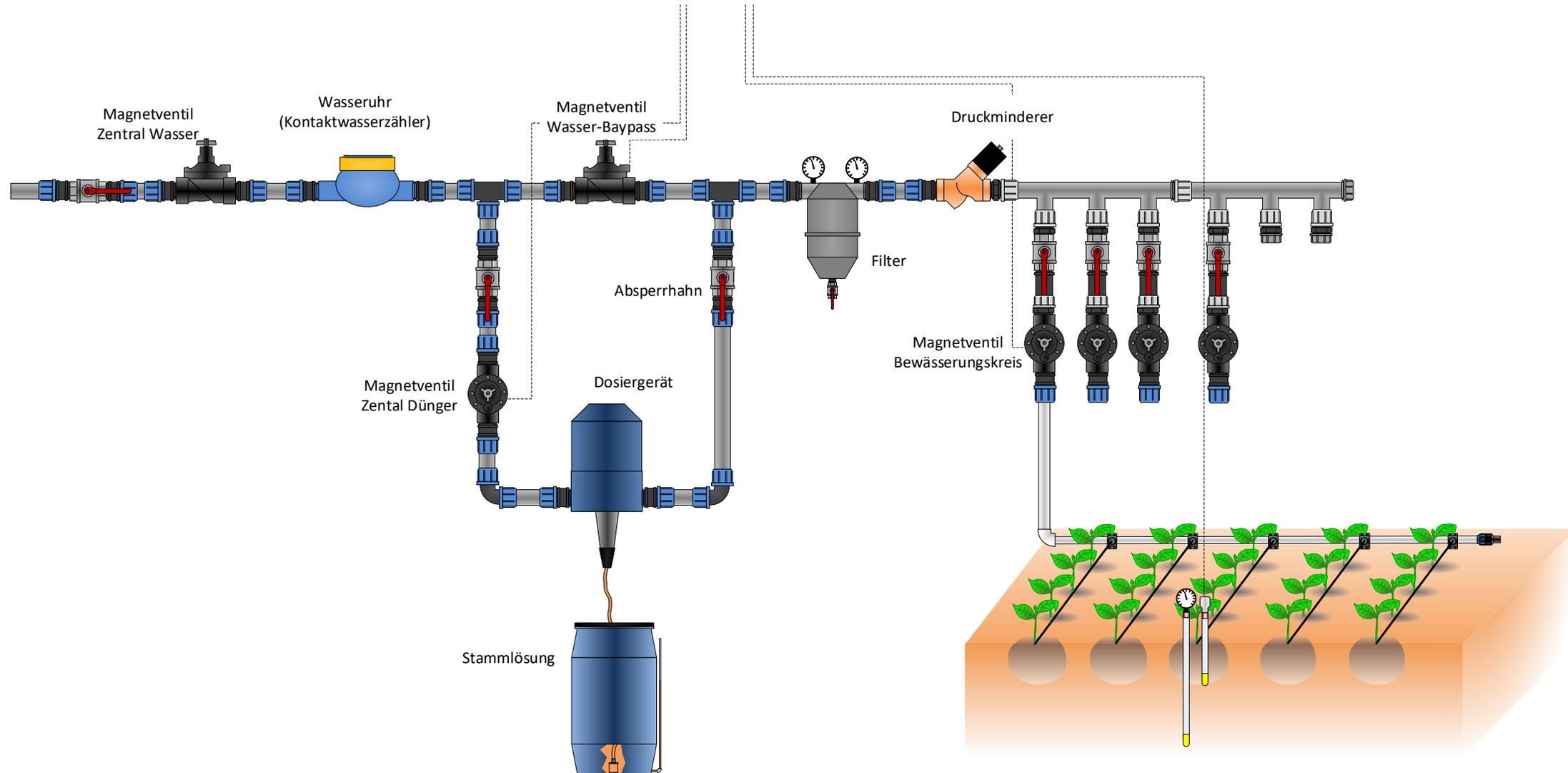


Abb.: Wasserverbrauch und Gießhäufigkeit pro Tag bei Tomaten 2004 und 2005 in Bodenkultur, Tropfabstand 30 cm 500 ml Wasser pro Gießvorgang (1,5 l/lfm) bei einem Einschaltpunkt von 90 hPa. 1 Tropfschlauch pro Pflanzreihe, 2,3 Pfl/m².

Tropfschlauchanordnung

	Tropf			Sprinkler
				
Tropfreihen pro Pflanzreihe	0,5	1	1,5	0,7
Tropf- bzw. Sprühmenge in l/h	2,2	2,2	2,2	50
Tropf bzw. Düsenabstand in m	0,3	0,3	0,3	1
Gewächshausbreite in m	10	10	10	10
Hauslänge in m	50	50	50	50
Fläche in m ²	500	500	500	500
Anzahl Pflanzreihen in St	10	10	10	10
Anzahl Doppelreihen in St	5	5	5	5
Anzahl Tropf- bzw. Sprühreihen in St	5	10	15	5
Tropfstellendichte in Tropfstellen/m ²	1,7	3,3	5	0,5
Niederschlagsdichte in mm/h	3,6	7,3	11	25
Max. Bewässerungsmenge pro Tag l/m ²	6	6	6	6
BewDauer f. max. Bew.Menge/Tag in min	100	50	33	14
Max. Bewmenge pro Gabe u. Tropfst ml	500	500	500	
Max. Bewdauer pro Gabe in min	13,6	13,6	13,6	
Anzahl BewVorgänge für 8 l/m ² und Tag	7,4	3,7	2,4	1

Wichtige Bauteile eines Tropfbewässerungssystems



Regelmäßig Filter reinigen



Magnetventile

AquaNet Plus Magnetventil 3/4" 24 VAC



AquaNet Plus Magnetventil 3/4" 12-40 VDC Impuls



Dimensionierung einer Bewässerungsanlage

- einzelne Bewässerungskreise sollen pro Tag mehrmals bewässert werden können
- bei 2 l Tropfern, 3-4 Tropfstellen pro m² und mehr als 10 Bewässerungskreisen sollen die Gießkreise parallel betrieben werden können

	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"
	1,8 m ³ /h	3,3 m ³ /h	5,4 m ³ /h	13,7 m ³ /h	21,2 m ³ /h
		2,5 m ³ /h	6 m ³ /h	10 m ³ /h	15 m ³ /h
		2,9 m ³ /h	7,2 m ³ /h	15 m ³ /h	25 m ³ /h
		DI 16 10l - 2,5 m ³ /h	D 8 500l - 3 m ³ /h	D20 1-20 m ³ /h	D30 5-30 m ³ /h
	5,2 m ³ /h	7,4 m ³ /h	11,7 m ³ /h	24,0 m ³ /h	49,0 m ³ /h
Ø		2,5 m ³ /h	6 m ³ /h	10 m ³ /h	15 m ³ /h

Wasserbedarf: 6-8 l/m² und Tag, pro Gießvorgang ca. 500 ml pro Tropfstelle, ca. 3-4 Tropfstellen pro m²
 Ca. 2 l/m² und Gießvorgang, ca. 3-4 Gießvorgänge, ca. 1 h Gießzeit pro Tag, ca. 10 h Bewässerungszeitraum
 d.h. es können maximal 10 Bewässerungskreise bedient werden

Bewässerung steuern

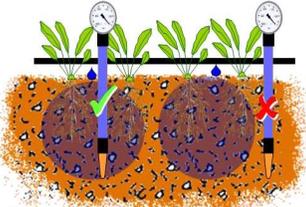
2 Entscheidungen sind zu treffen:

- ▶ Wann soll bewässert werden
- ▶ Wie viel soll bewässert werden
 - ▶ Gesamtwassermenge
 - ▶ Bewässerungsmenge pro Gießvorgang



Bewässerungssteuerung

- Zeit, Einstrahlung, Bodenfeuchte -

Zeit		<ul style="list-style-type: none">• Zeitintervall wird vom Anwender vorgegeben• Klima, Pflanzenwachstum und eine mögliche Wasserversickerung wird nicht berücksichtigt• Kostengünstige Steuerung• Nur Zeituhr notwendig
Einstrahlung		<ul style="list-style-type: none">• Einstrahlung wird außerhalb des Gewächshauses gemessen• Berechnung einer Einstrahlungssumme für jeden Gießkreis• Klima, Pflanzenwachstum und evt. Wasserversickerung wird nicht berücksichtigt• Kostengünstige Steuerung, da nur 1 Sensor für den Betrieb notwendig
Bodenfeuchte		<ul style="list-style-type: none">• für jeden Gießkreis ist ein Bodenfeuchtesensor vorhanden• repräsentativen Standort muss gefunden werden• verschiedene Messprinzipien• Klima und Pflanzenwachstum wird automatisch berücksichtigt• Wasserversickerung kann beobachtet werden

Steuerung nach der Bodenfeuchte

➤ Verschiedene Messverfahren

➤ Wassergehaltsmessung

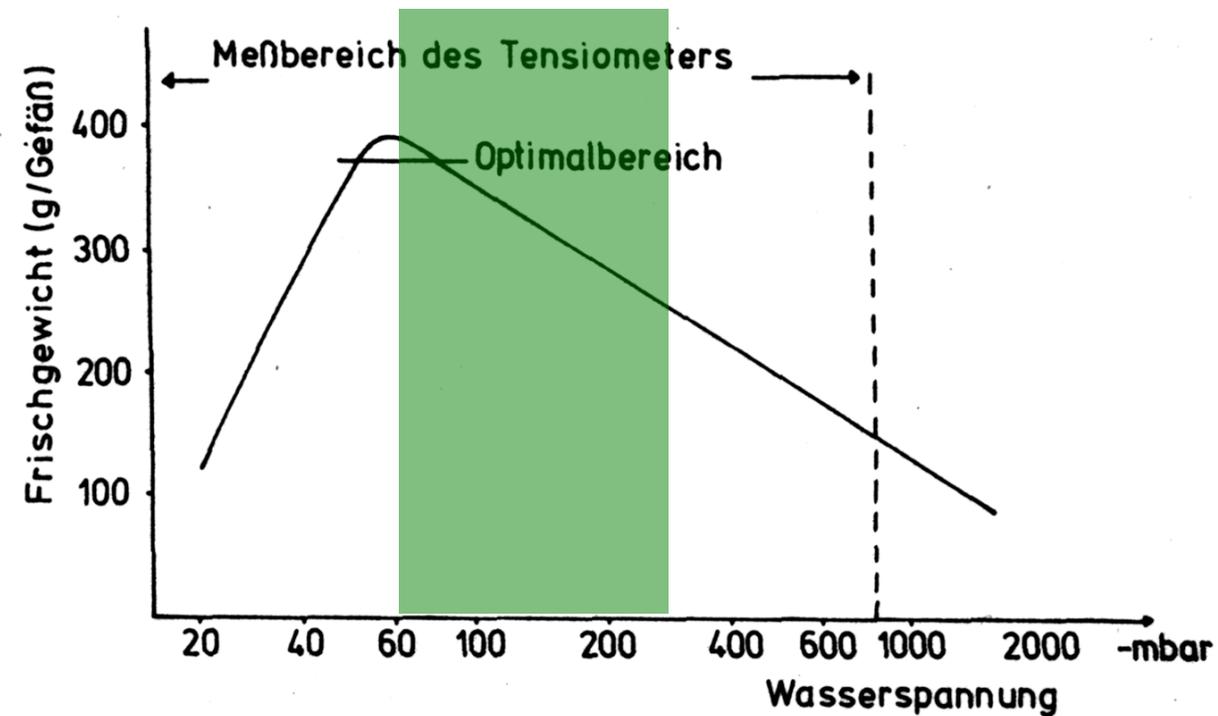
- Gibt den Wassergehalt im Boden wieder
- sagt nichts darüber aus ob diese Menge auch für die Pflanze zur Verfügung steht

➤ Wasserspannungsmessung

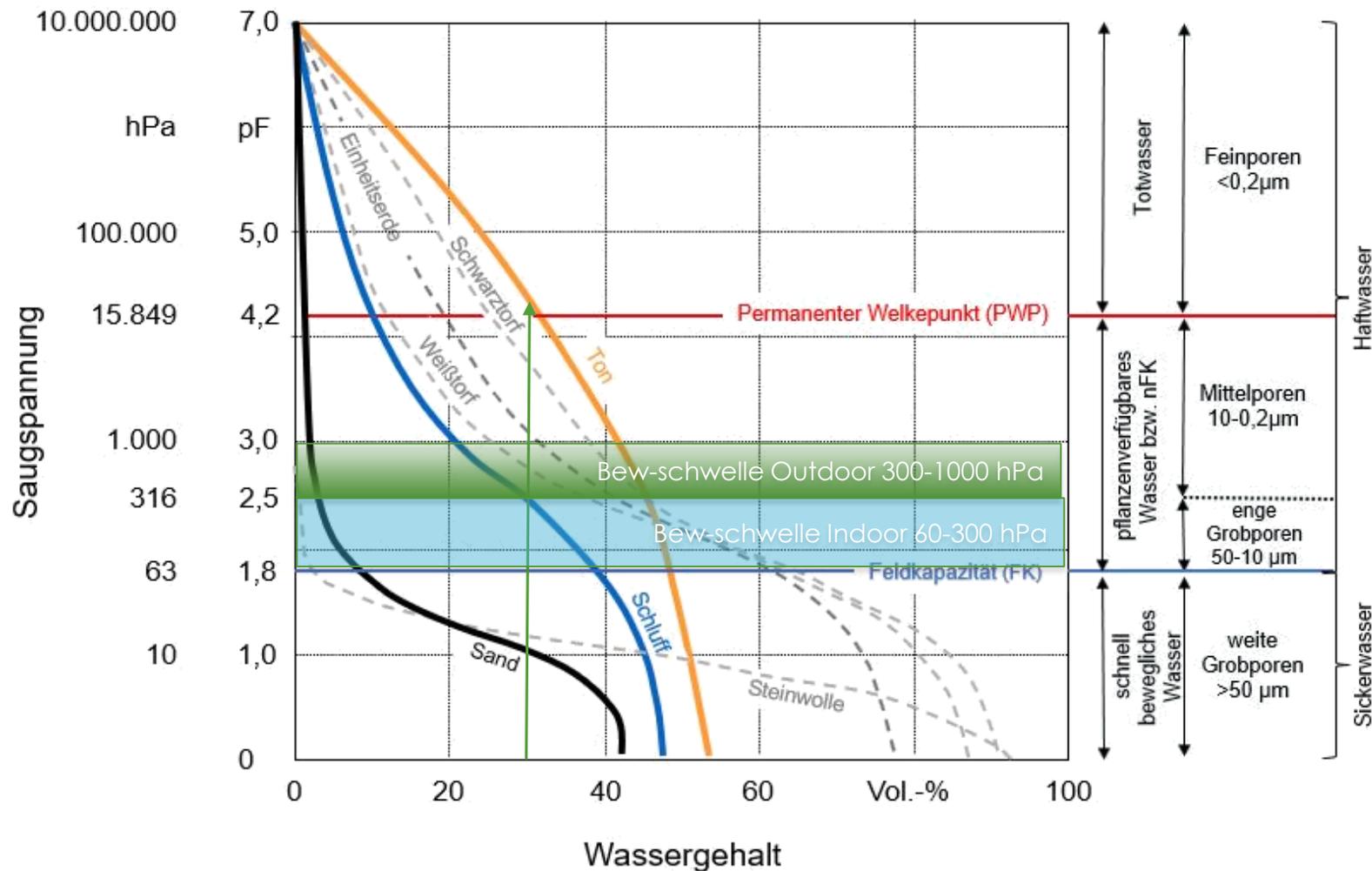
- Gibt Aussage wie stark das Wasser im Boden gebunden ist und somit welchen Aufwand die Pflanze betreiben muss um den Boden das Wasser zu entziehen.
- steht im engen Zusammenhang zum Pflanzenwachstum und damit Ertragsbildung
- Unabhängig von der Bodenart und damit vergleichbar
- Tensiometer oder Watermark

Bewässerungssteuerung

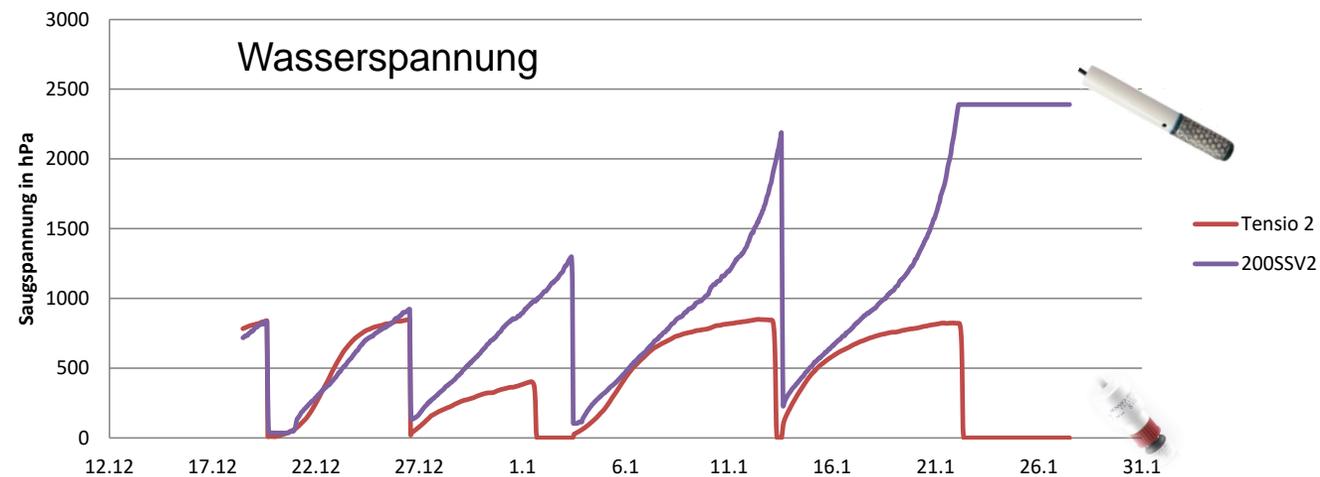
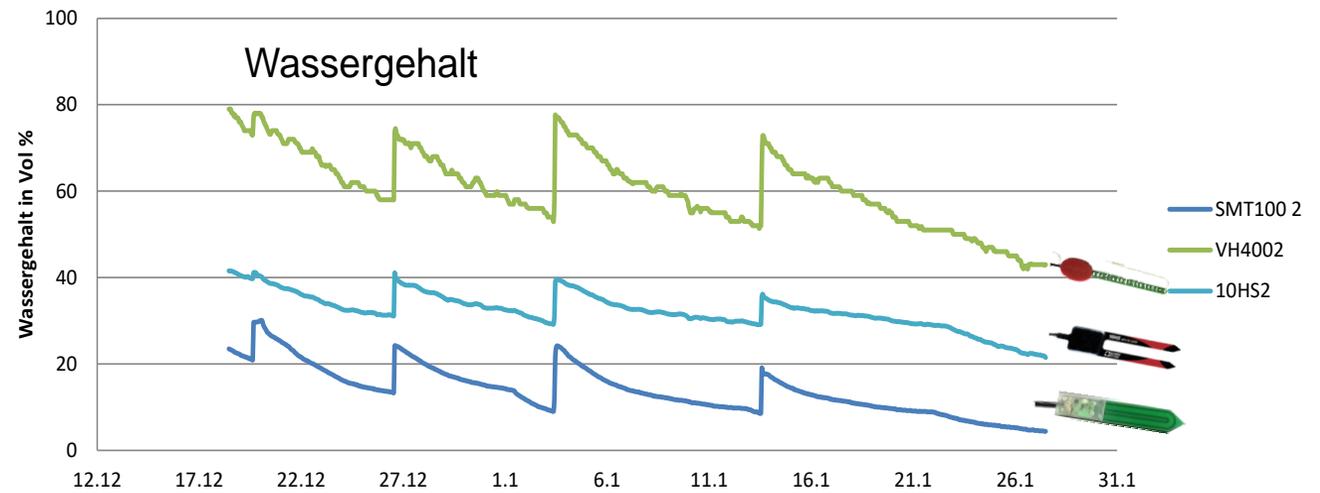
- Der Pflanze ausreichend leicht verfügbares Wasser bereitstellen
- Optimales Pflanzenwachstum bei Saugspannungen zwischen 60 und 200 hPa



Wasserspannung / Wassergehalt

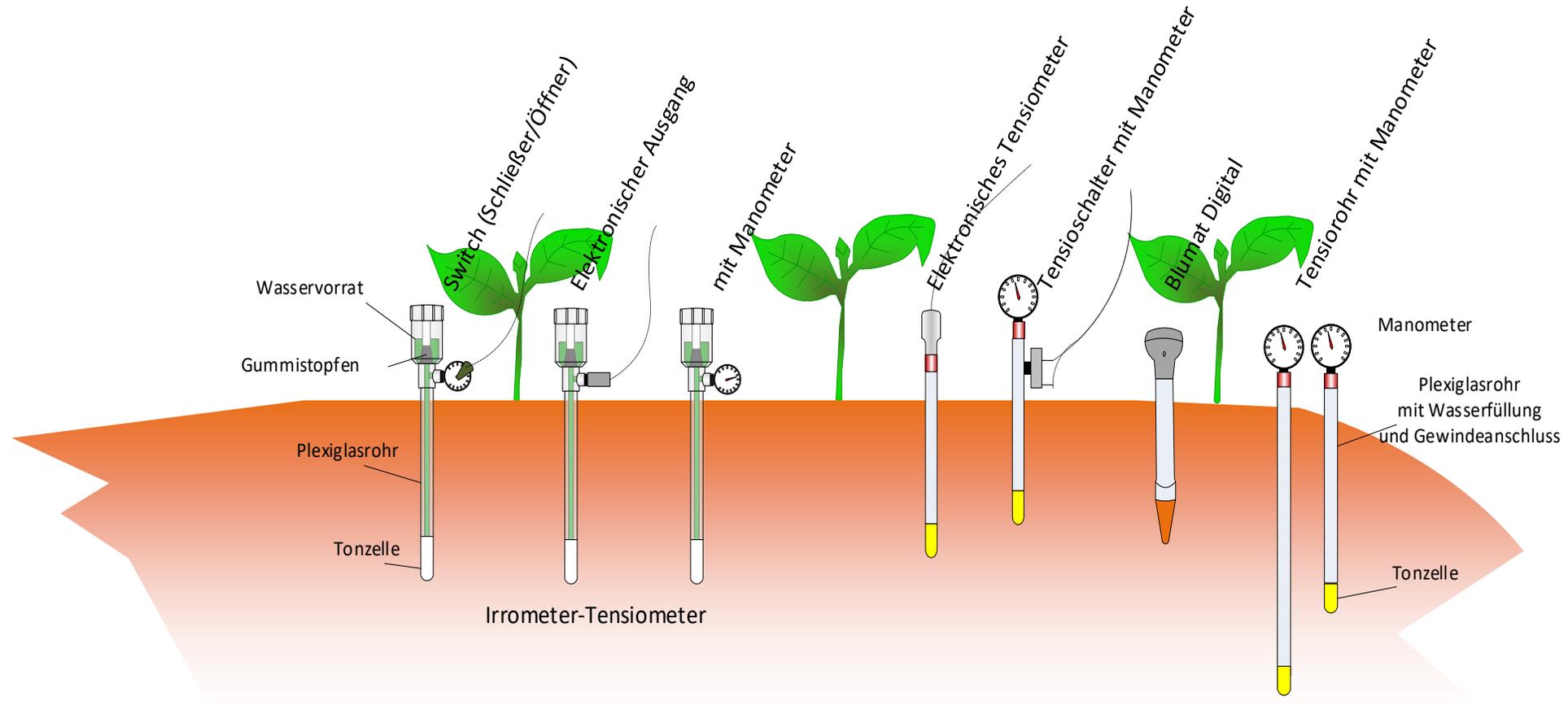


Bodenfeuchtesensoren



Sensoren zur Erfassung der Wasserspannung

- Tensiometer



Tensiometer zur Steuerung und Kontrolle



Blumat-Digital
29,10 €/St



Stecktensio 35 cm 23,-- €
+ Manometer (1000 mbar) 36,-- €



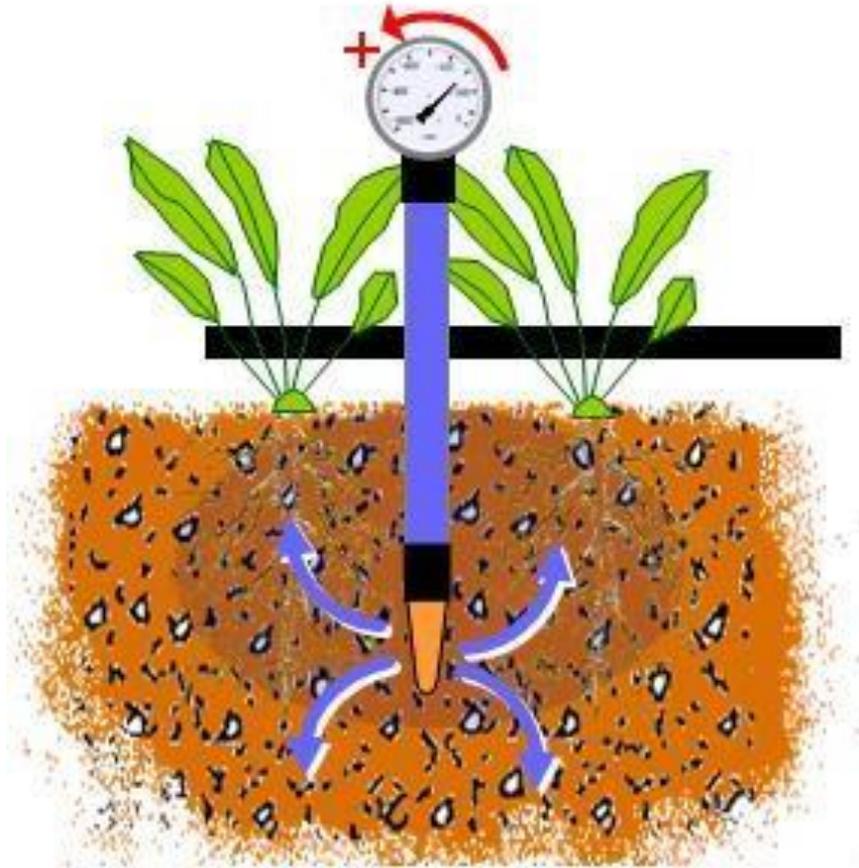
Tenio-Check
Handmessgerät 374,-- €
+ Einstichtensio 35 cm 25,-- €



Kontrolltensiometer elektronisch
Stecktensio 35 cm 23,-- €
+ E-Sensor (0-20 mA) 175,--€

Wie funktioniert ein Tensiometer?

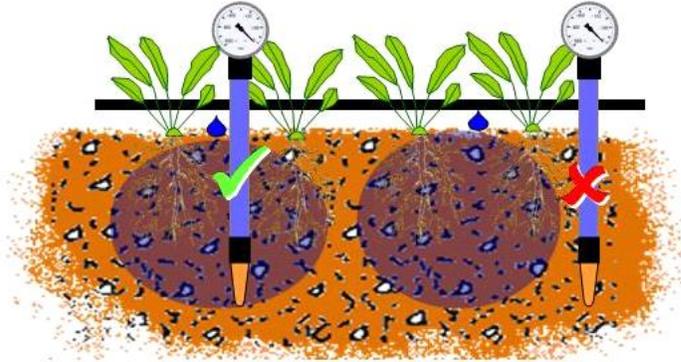
Boden trocknet aus



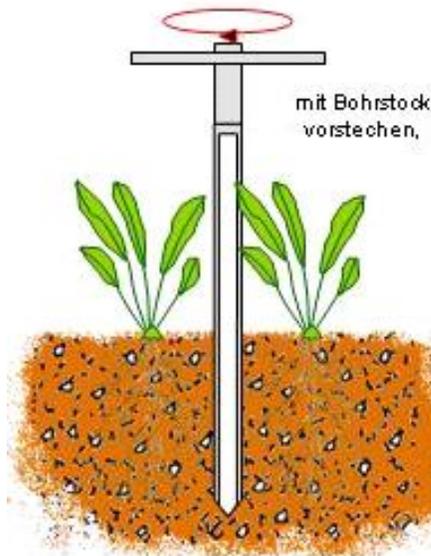
Boden wird befeuchtet



Tensiometer setzen



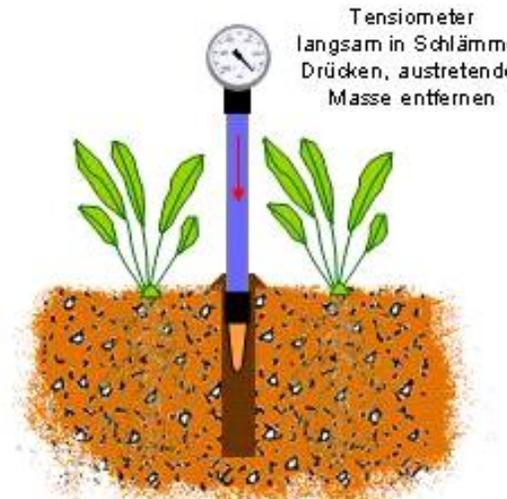
Richtige Messstelle auswählen
- Bei Tropfbewässerung immer in der Tropfzone



mit Bohrstock
vorstechen,



Bodenschlämme bzw.
Quarzmehlschlämme
einfüllen



Tensiometer
langsam in Schlämme
Drücken, austretende
Masse entfernen

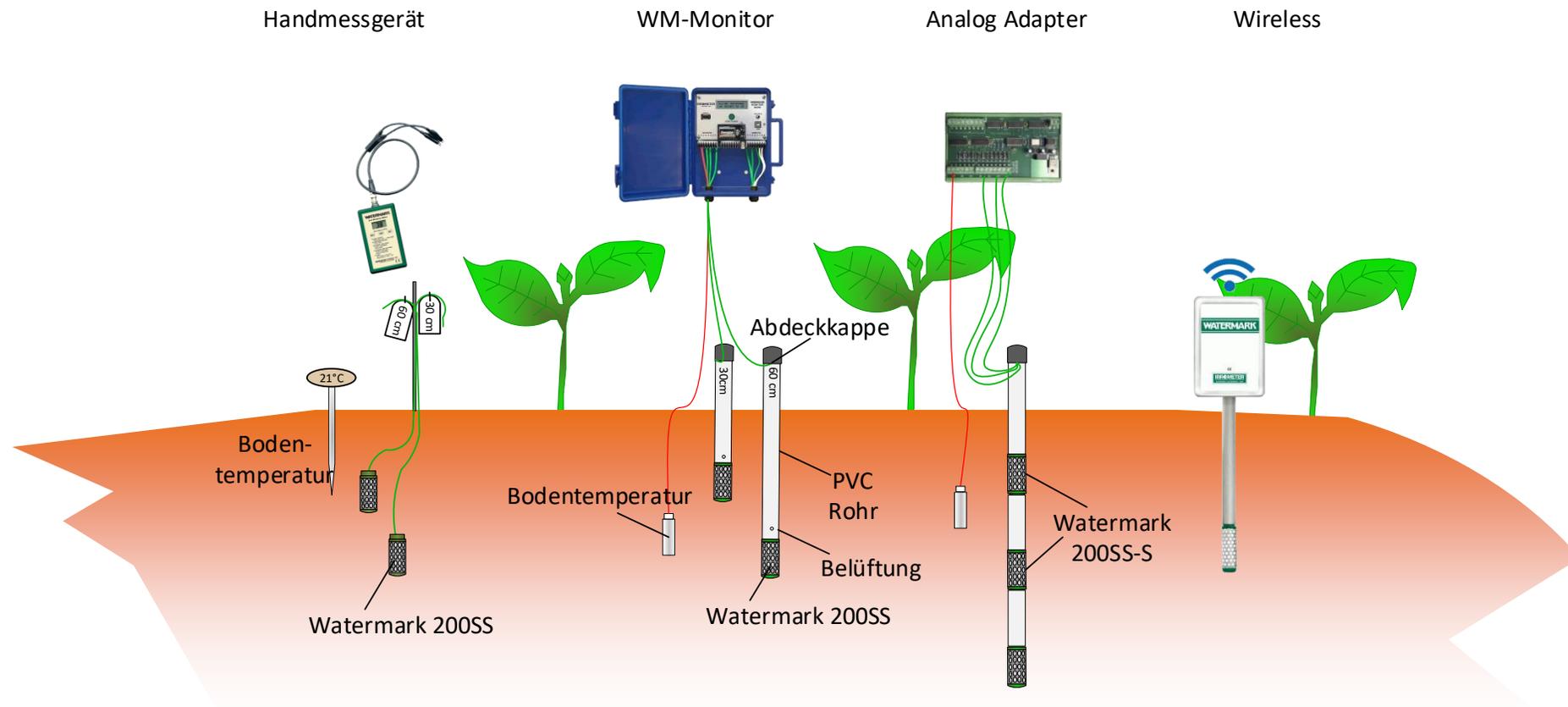
Tensiometer setzen



Quelle: Norbert Mayer, **Forschungsanstalt Geisenheim**, Fachgebiet Gemüsebau

Sensoren zur Erfassung der Wasserspannung

- Watermark



Wassergehaltssensoren für Datalogger

10 HS



Ausgang: 300 - 1250 mV,
185,- €

SMT100



Ausgang:
RS-485, TBUS, Modbus und SCI;
SDI12 oder analog 0-10V
Ca. 130,- €.

SMT50



0-3 V linear
70,-€

VH400



0-3 V linear
70,-€

HD3910.1



Probe 3910.1

0-10V (analog)
RS485 mit Modbus
RS485 mit ASCII
SDI-12, ca. 130,- €

SM 100



Analog, 0,5 bis 1,5 VDC
105,- €

PI54-D/5



Analog and digital
120,- €

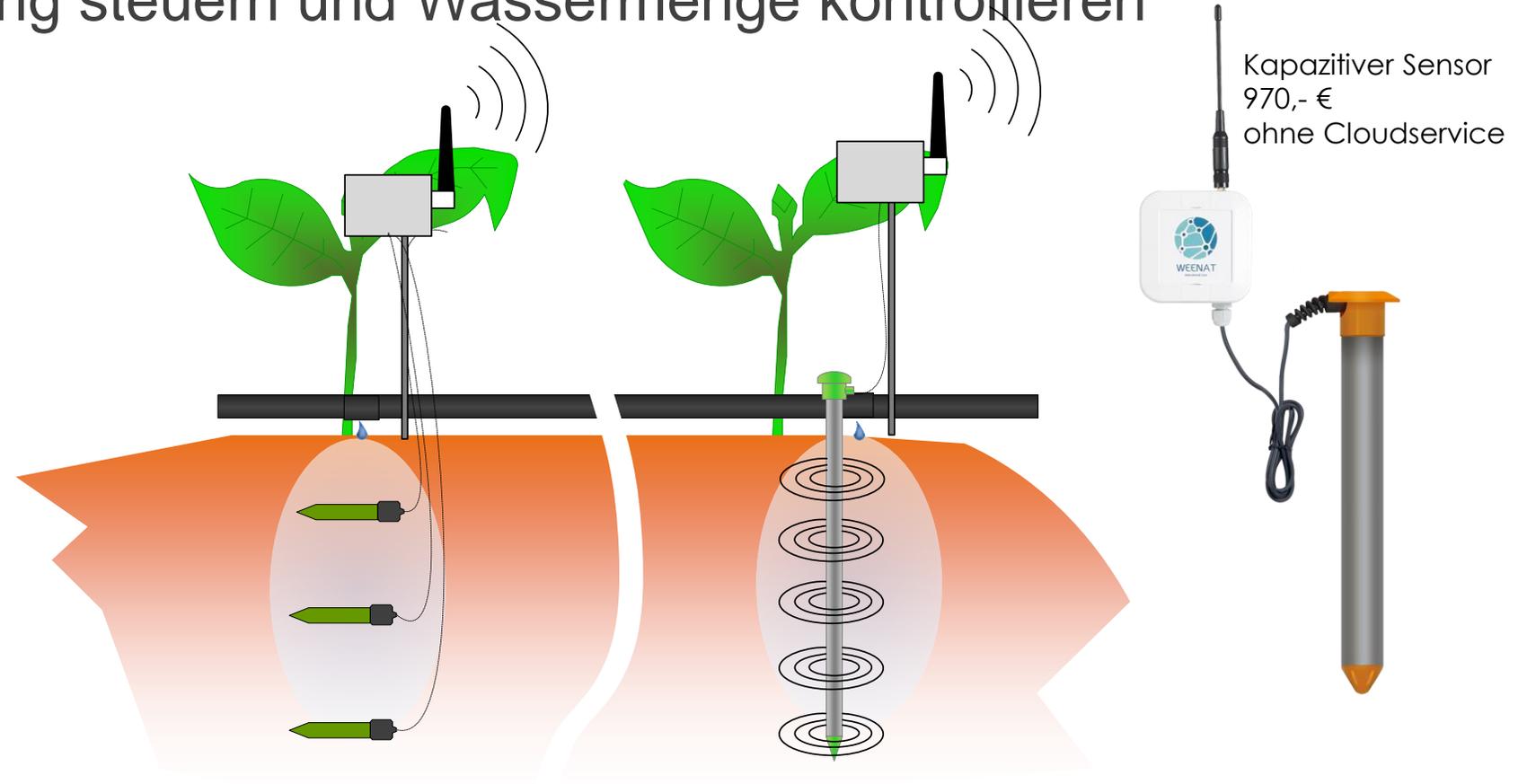
Teros-10



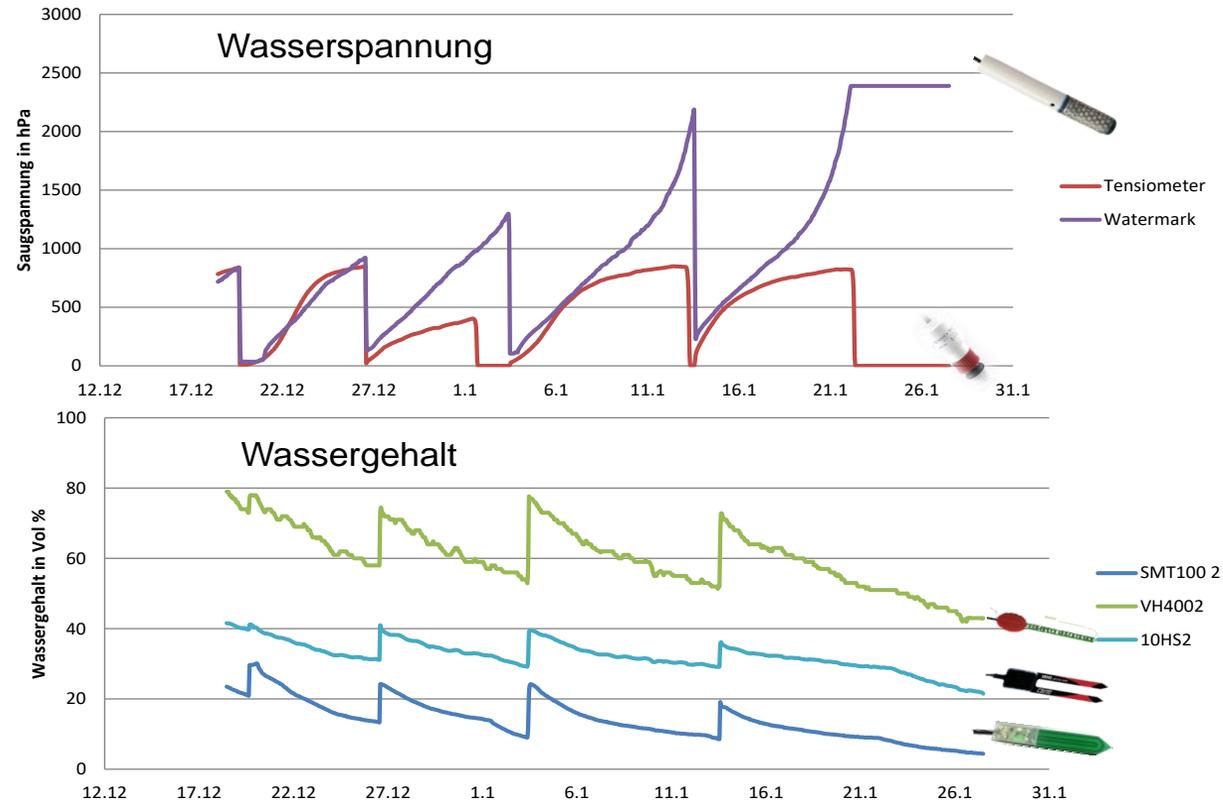
Volt-Signal 1000-2500 mV
175,-€

Profilsonden zur Beobachtung der Wasserbewegung

- Bewässerung steuern und Wassermenge kontrollieren



Messwerte richtig interpretieren



Bodenfeuchteverlauf verschiedener Sensoren unter gleichen Bedingungen
(Alle Sensoren in einem Gefäß)

- Wasserspannung
 - Tensiometer > 600 hPa nur leichter Anstieg
- Wassergehaltssensoren mit unterschiedlichem Messbereich
 - 0... 60 % oder 0 ... 100 %
 - unterschiedliches Niveau
 - absolute Werte mit Vorsicht zu verwenden
 - Verlauf wird von allen gut wiedergegeben
 - Schaltpunkt muss für jeden Boden individuell gefunden werden

Steuerung nach der Bodenfeuchte

**Schaltpunkt Bodenkultur:
100-120 hPa**

**Fühlerstandort:
an repräsentativer Stelle
direkt an einer Tropfstelle**

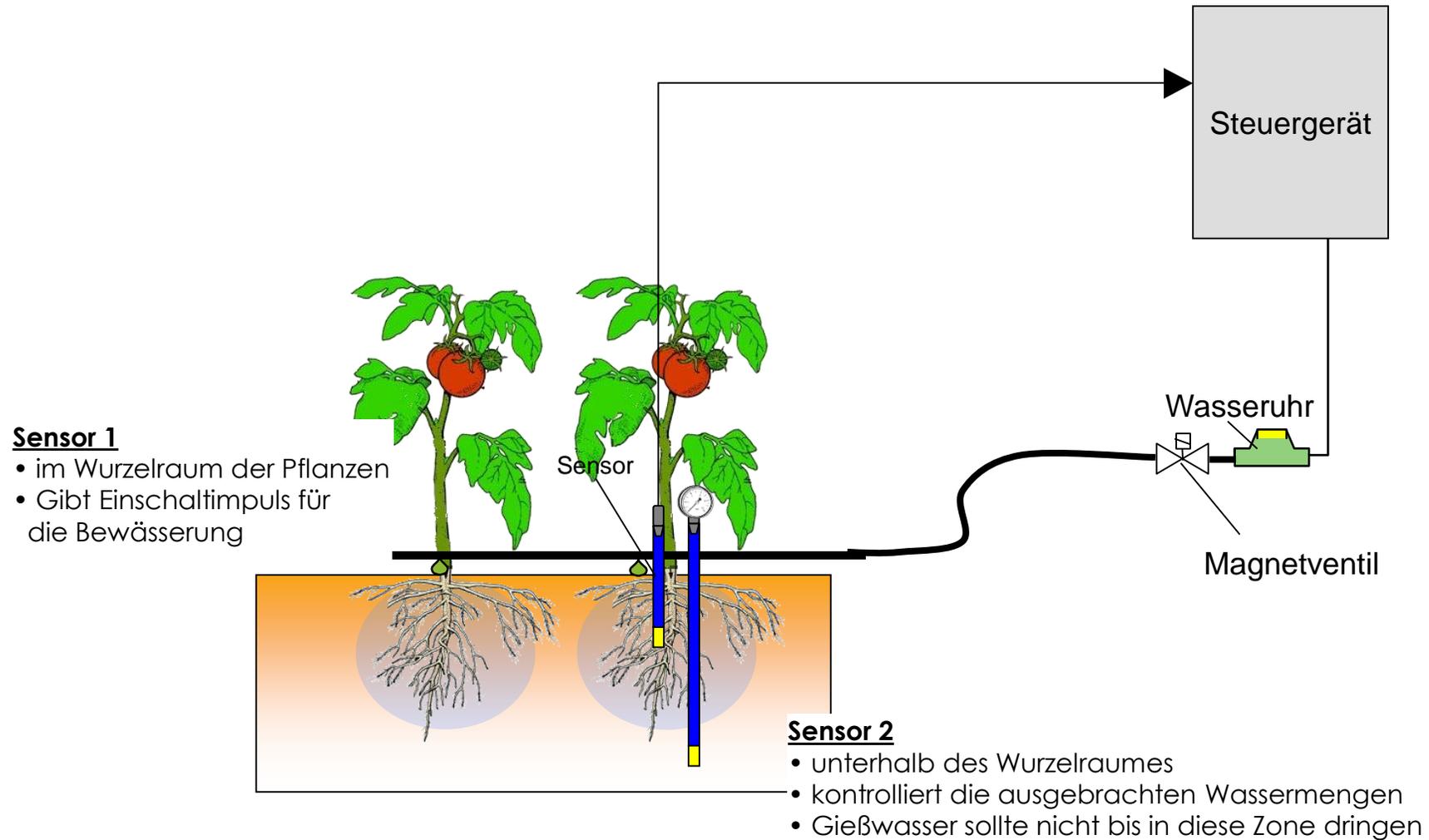
**Einzelgabe: 0,4-0,5 l / Tropfstelle
(leichter Boden: 0,3 l)**

**Messtiefe:
Steuertensio in der
Hauptwurzelzone (15-30 cm)**

**Kontrolltensio
Unterhalb der Wurzelzone (60 cm)**



Automatisierung der Bewässerung über Bodenfeuchtesensoren



Bodenfeuchtemessung

Kontrollgeräte/Handmessgeräte

Wasserpotentialmessung

Vereinfacht ist dies die Kraft mit der das Wasser an den Bodenteilchen gebunden ist bzw. die Kraft die die Pflanze zur Wasseraufnahme aufbringen muss



Tensiometer

ca. 40,-- €

Stecktensio 35 cm 23,-- €
+ Manometer (1000 mbar) 36,-- €

Tensiocheck



ca. 400,--€



Handmessgerät ca. 300,-- €
Je Sensor ca. 45,-- €

Wassergehaltmessung

Boden oder Substrat vorhandene Wassermenge, keine Aussage über die Wasserbindung



ca. 365,-- €
+120,-- €



Kostengünstiger Einstieg

IoT4H2O[®]



IoT4H2O Grundgerät
5 x Watermark Sensoren
1 Sensor für Bodentemperatur ca. 330,-- €
Datentransfer pro Jahr (60 min Takt) ca. 12,50 €



MiniMetos
2 Sensoren ca. 600,-- €



Tensio Set (6 Sensoren)
1.550,- €
ohne Cloudservice



Kapazitiver Sensor
970,- €
ohne Cloudservice



Automatisierung

Mengenventile



3/4" ca. 200,-- €



Zeitgesteuerte Ventile, batteriebetrieben



1" ca. 120,-- €



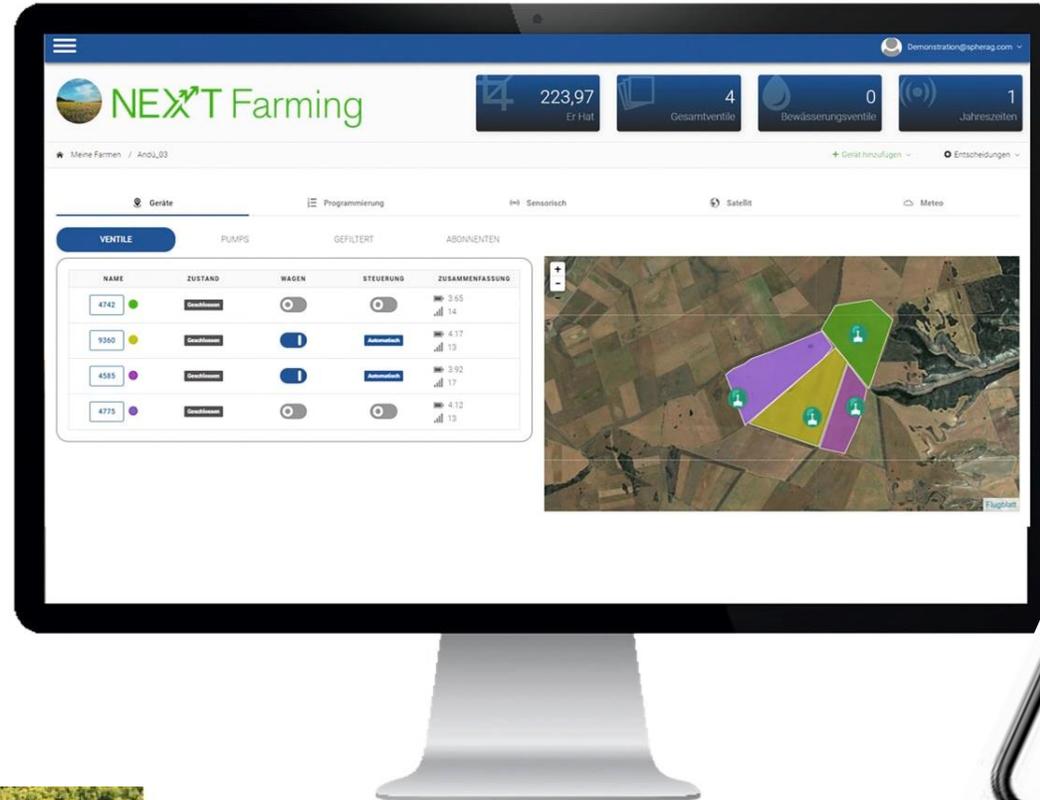
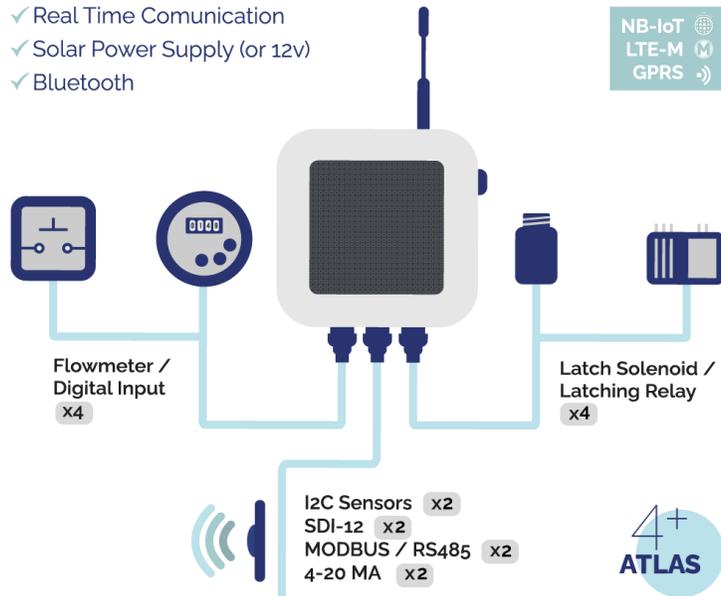
für 4 Ventile ca. 150,-- €



Ventil ca. 50,-- €

Internet-basierte Bewässerungssteuerung

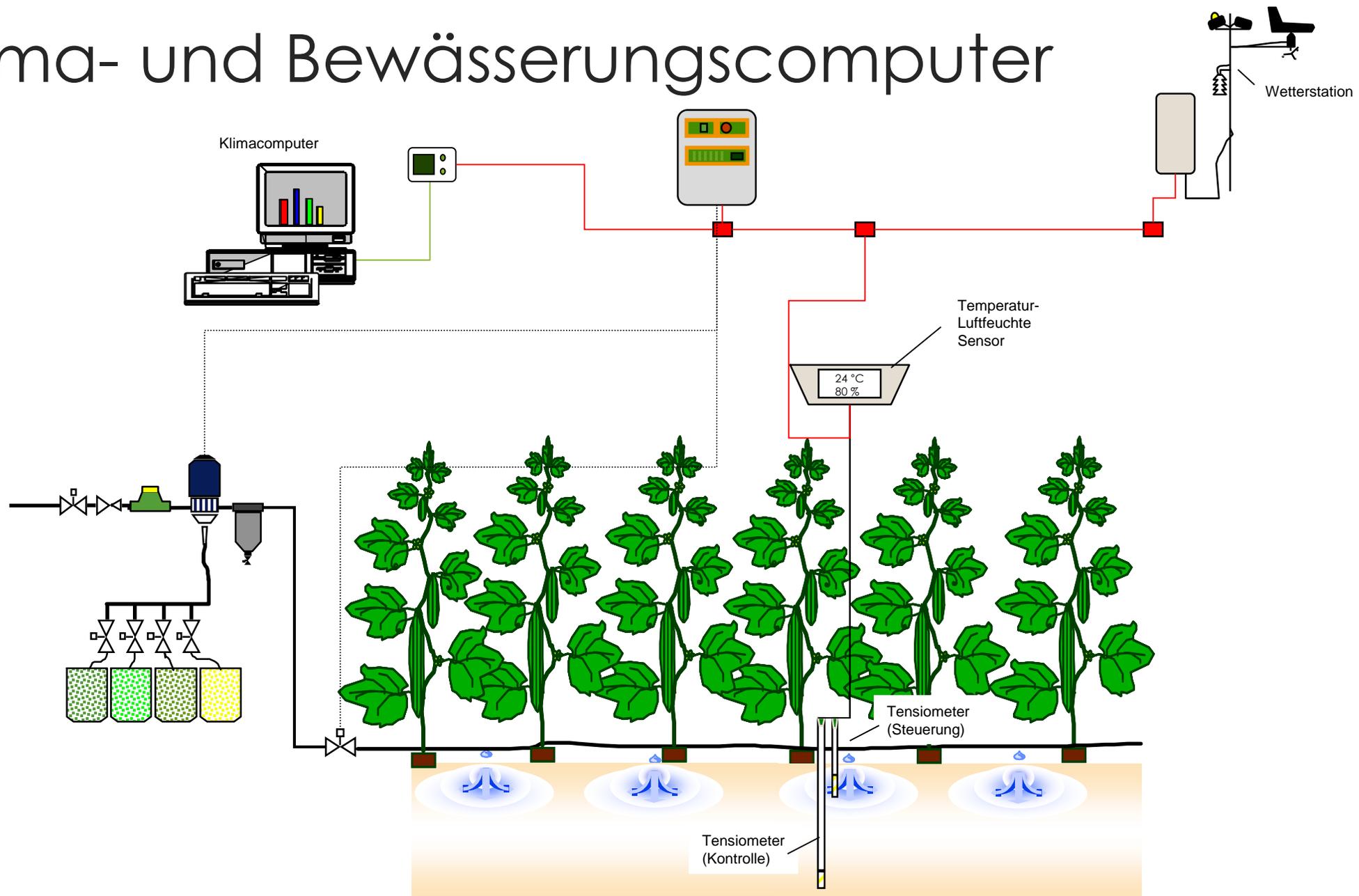
- ✓ Real Time Communication
- ✓ Solar Power Supply (or 12V)
- ✓ Bluetooth



Next Water Control 2: 345,-- €

Drucksensor (bis 30 Bar)	280,00 €
Pegelsensor (Tiefe bis 10 m)	475,00 €
Bodensensor (EC, Temperatur & Feuchte)	225,00 €
Lufttemperatur- & Feuchtesensor	245,00 €
Sensor-Hub (Erweiterung für bis zu 4 Sensoren pro Gerät)	150,00 €
Aufbereitung WaterControl-Hardware (Update, Akku, Sensorik)	85,00 €

Klima- und Bewässerungscomputer



Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit

michael.beck@hswt.de

