



# OPTIMIERUNG DES BEWÄSSERUNGSMANAGEMENTS IM HOPFENBAU

unter Berücksichtigung verschiedener  
Bodenarten und der Biologie von  
*Humulus lupulus*

Tobias Graf

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 5a

# Zur Person



- 30 Jahre, geboren und aufgewachsen in Schwäbisch Hall
- 6 Jahre Studium von Biologie an der TU Kaiserslautern
- 1 Jahr wissenschaftl. Mitarbeiter an der TU Kaiserslautern
- Spezialisierung auf Botanik, Pflanzenökologie und –physiologie
- seit Okt. 2011 in Bayern (Freising)
- seit Dez. 2011 an der LfL (Wolnzach/Hüll)

# Gliederung

---

## 1. Wofür benötigen Pflanzen Wasser?

- Photosynthese und der Weg des Wassers

## 2. Versuche zur Bewässerung an Hopfen

- Versuchsaufbau
- Ergebnisse der ersten beiden Jahre

## 3. Wurzelgrabung

- Was für ein Wurzelwerk bildet Hopfen aus?

## 4. Welche Wasserreserven hat Hopfen zur Verfügung?

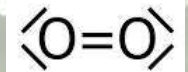
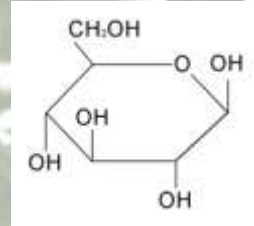
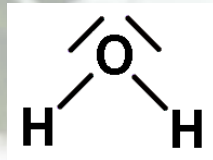
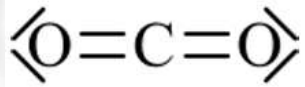
## 5. Wie viel Wasser benötigt Hopfen?

## 6. Fazit nach aktuellem Stand

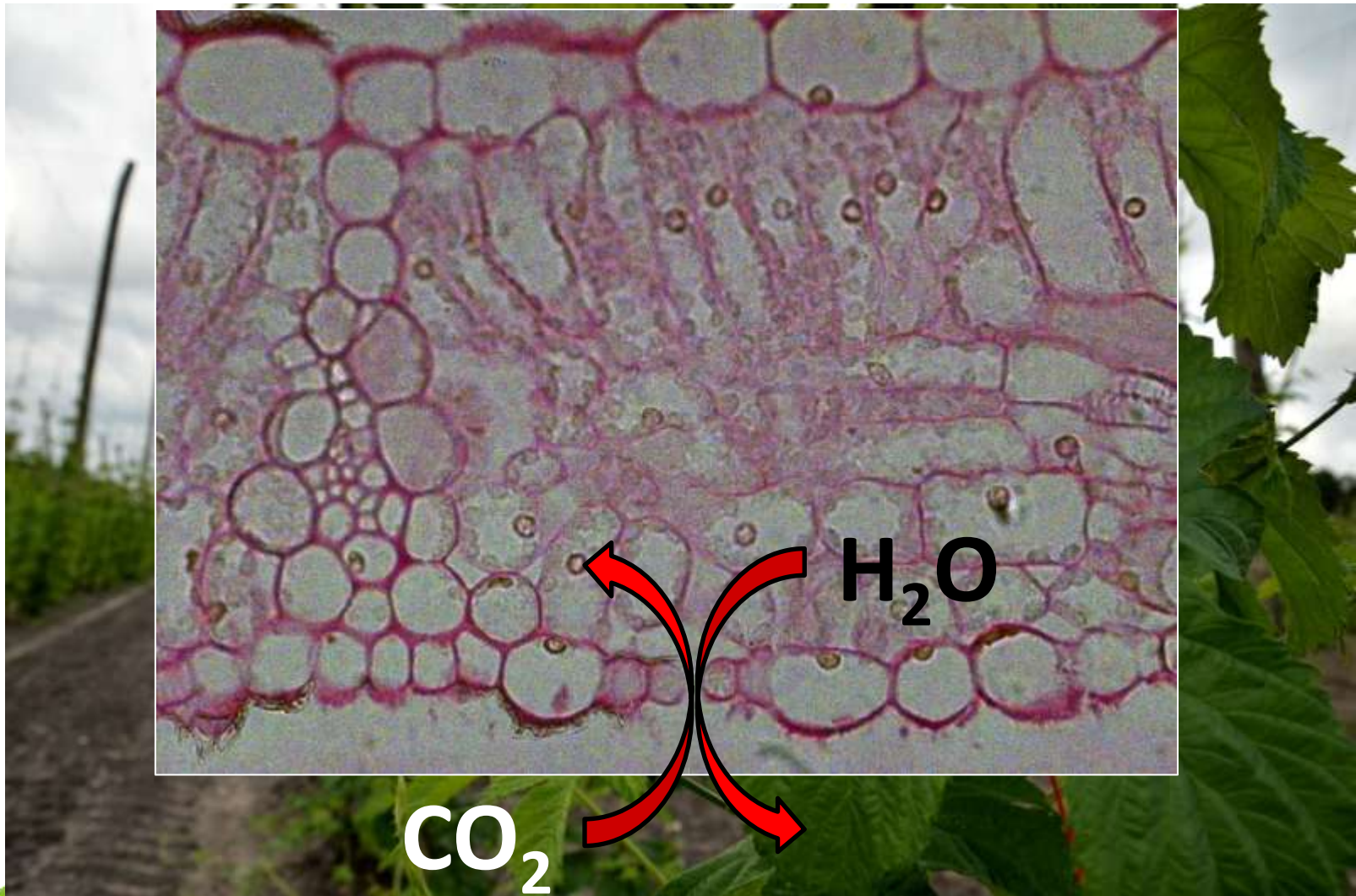
---

# 1. Wofür benötigen Pflanzen eigentlich Wasser?

# Photosynthese



# Wofür benötigt die Pflanze Wasser?

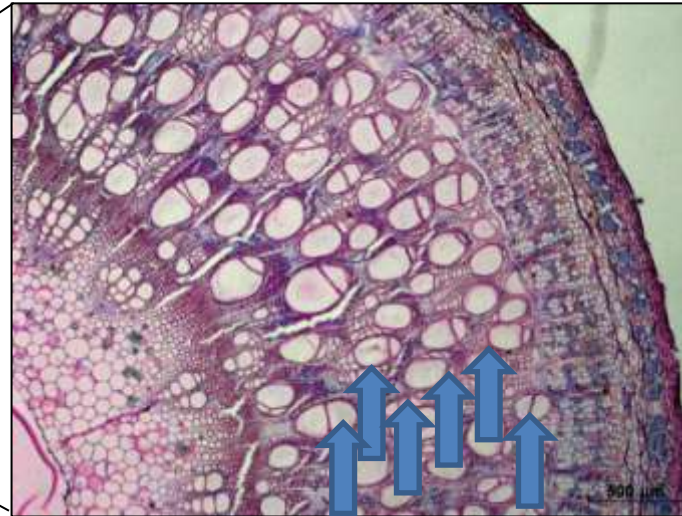


# Wo kommt H<sub>2</sub>O her?



- $\Psi$  Boden  
0,02 – 0,2 MPa

# Wo kommt H<sub>2</sub>O her?

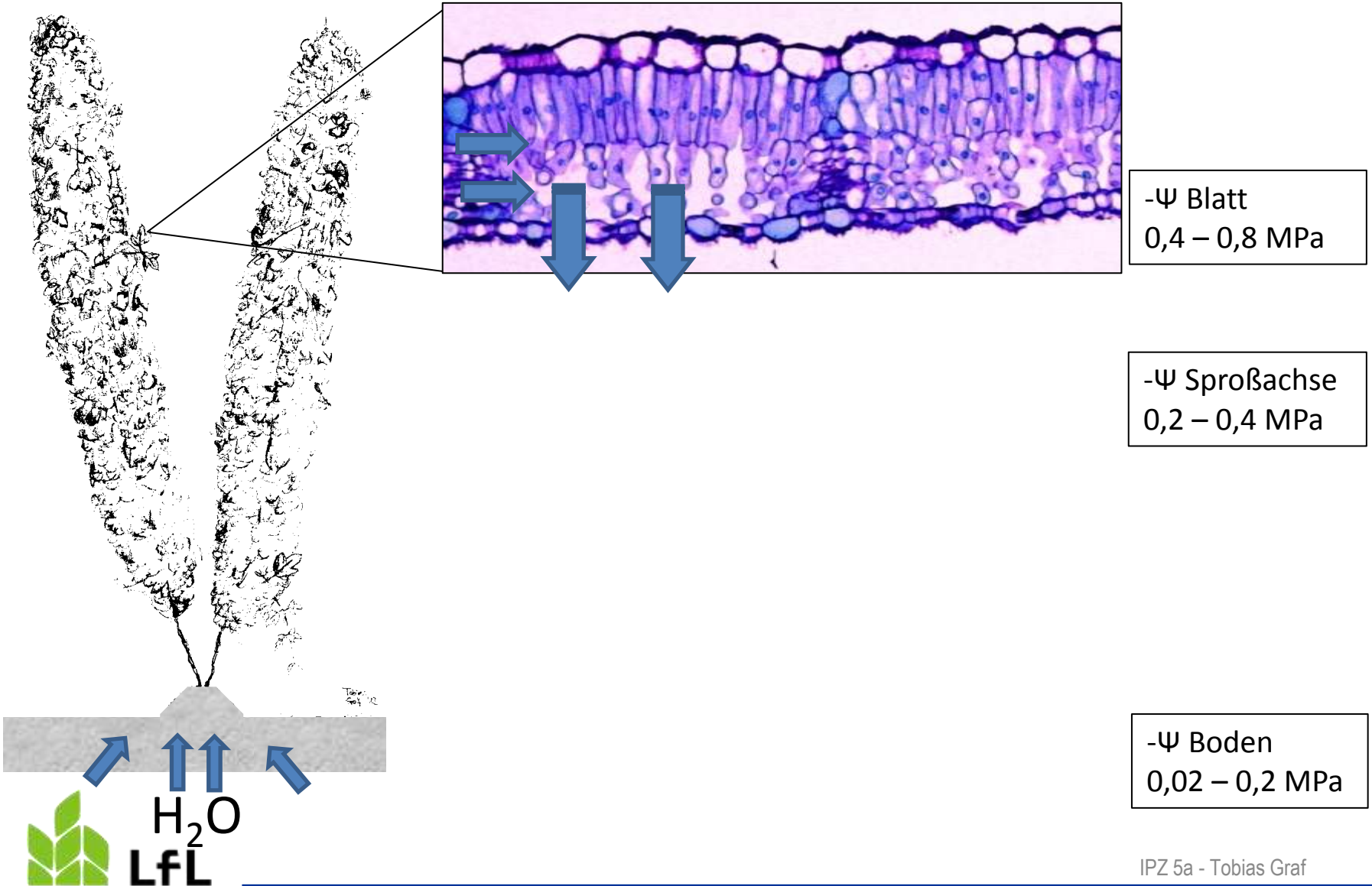


- $\Psi$  Sproßachse  
0,2 – 0,4 MPa

- $\Psi$  Boden  
0,02 – 0,2 MPa



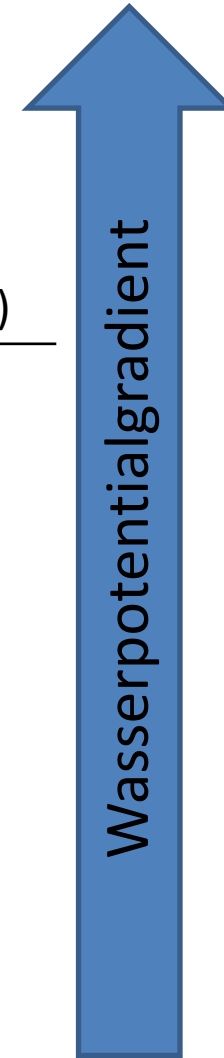
# Wo kommt H<sub>2</sub>O her?



# Wo kommt H<sub>2</sub>O her?



RH (%)	- $\Psi$ (MPa)	RH (%)	- $\Psi$ (MPa)
100	0	93	9,79
99	1,35	92	11,2
98	2,72	91	12,6
97	4,10	90	14,1
96	5,50	80	30,1
95	6,91	70	48,1
94	8,32	60	68,7



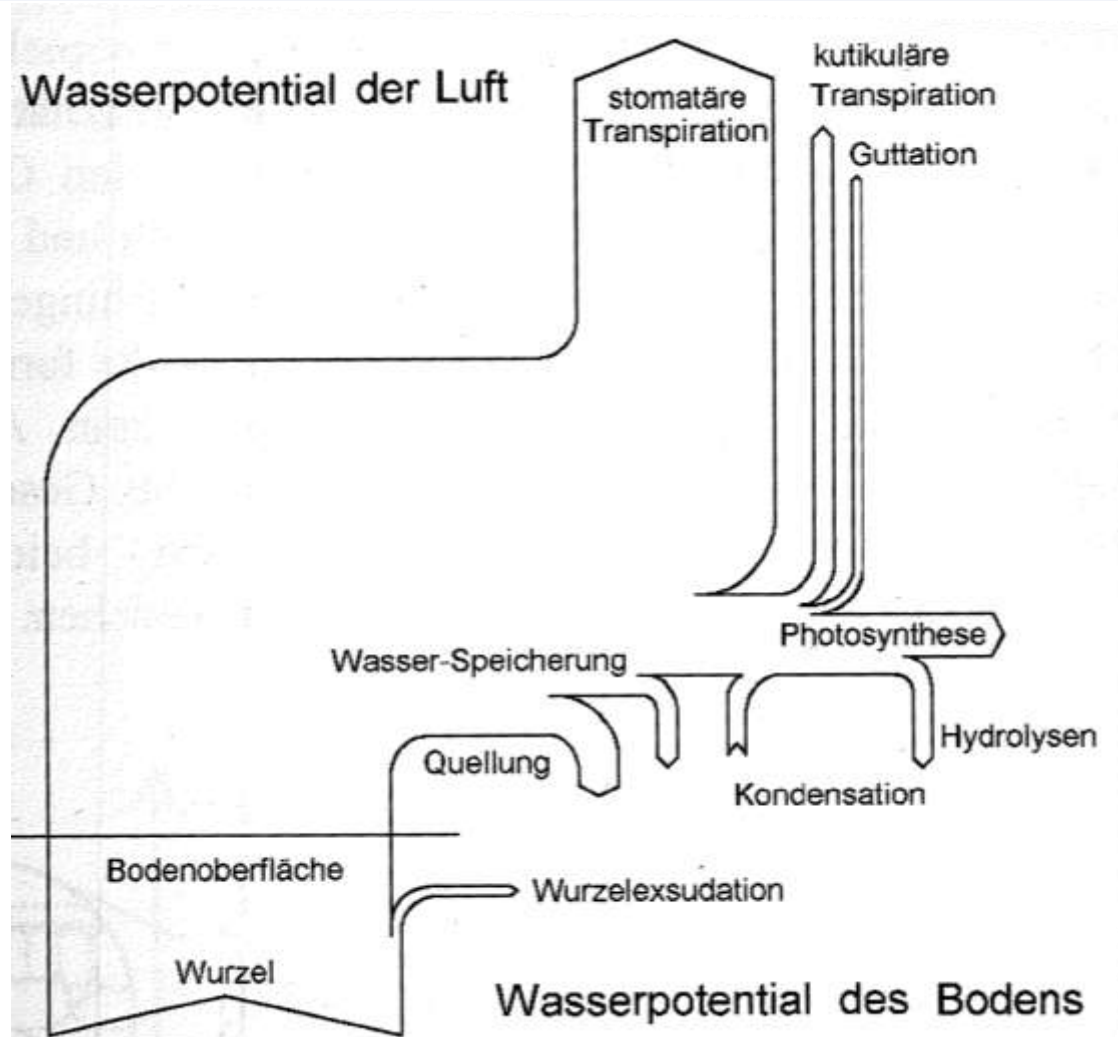
- $\Psi$  Atmosphäre  
10 – 100 MPa

- $\Psi$  Blatt  
0,4 – 0,8 MPa

- $\Psi$  Sproßachse  
0,2 – 0,4 MPa

- $\Psi$  Boden  
0,02 – 0,2 MPa

# Wofür benötigt die Pflanze Wasser?



Relative Mengen der Wasseraufnahme aus dem Boden, der Wasserspeicherung und -metabolisierung in der Pflanze sowie der Wasserabgabe an die Atmosphäre (aus: Lösch, 2003, (nach Eschrich 1995))

---

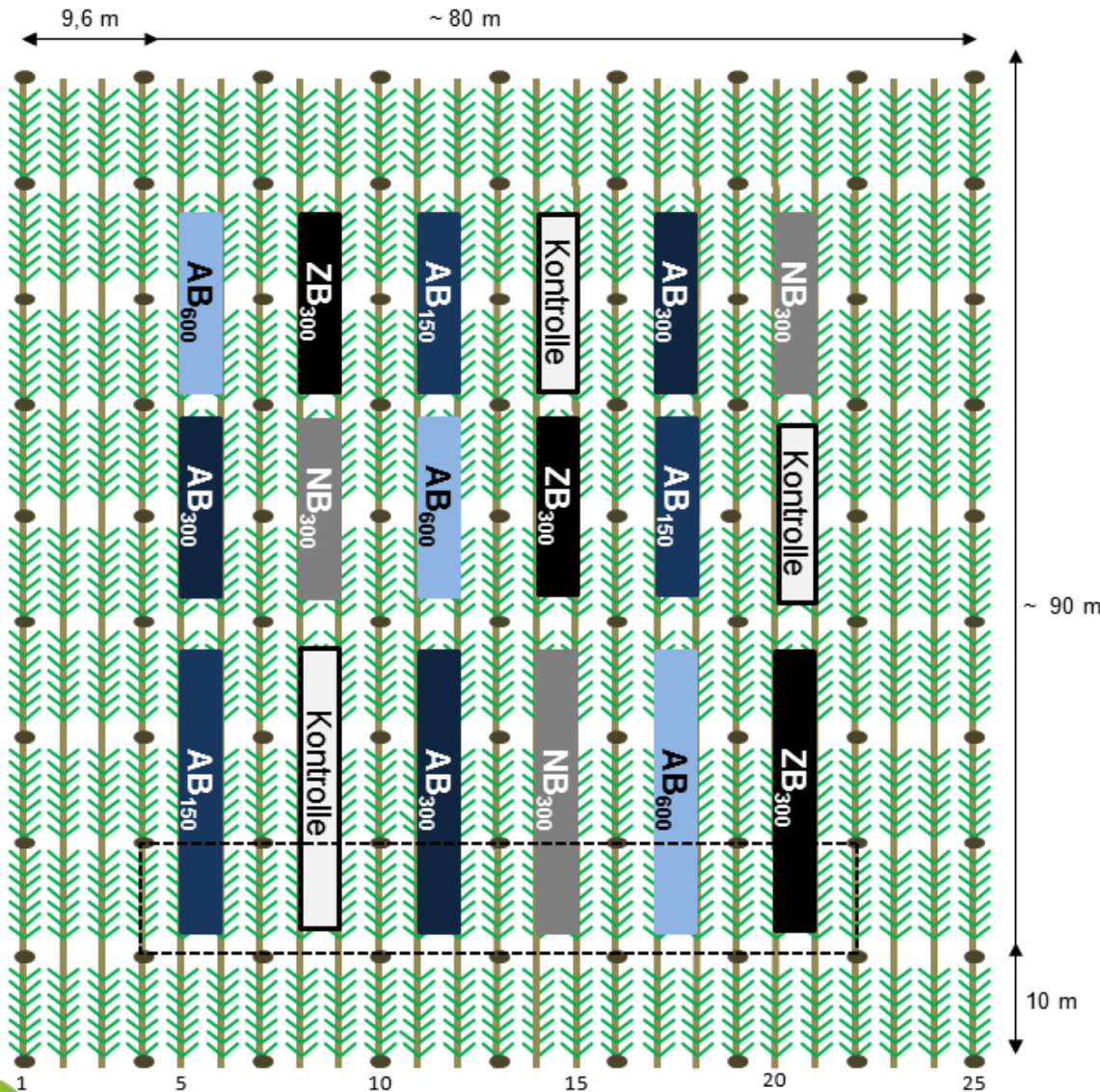
## 2. Versuche zur Bewässerung bei Hopfen

# Versuchsdurchführung




---

- Bei verschiedenen Bodenarten sollte der Einfluss von Zusatzwasser auf den Ertrag und alpha-Säure Gehalt von Hopfen (Herkules) untersucht werden
  - Sandboden
  - Lehmboden
- Die Menge wurde über die Saugspannung im Boden bestimmt
  - Diese gibt an mit welcher Kraft das Wasser an den Bodenpartikeln festgehalten wird
  - War ein bestimmter Schwellenwert der Saugspannung erreicht wurde automatisch die Bewässerung ausgelöst (150, 300, 600 mbar)
- Weitere Fragestellung: Positionierung der Tropfschläuche
- AB: auf dem Bifang ausgelegt
- NB: neben dem Bifang vergraben
- ZB: in der Fahrgasse vergraben

# Versuchsaufbau



## Anordnung im Hopfengarten

-  Gerüstsäule
-  Hopfenpflanze auf Bifang mit „V“-Aufleitung
-  Pflanzen für morpho- und physiologische Untersuchungen

### Versuche:

zum Einschaltzeitpunkt

zur Positionierung

Kontrolle: unbewässert

### pro Variante:

- 3 Wiederholungen
- je 20 Pflanzen (28 - 8 Randpflanzen)
- Säulenbifänge werden ausgelassen und bilden Pufferzone zwischen den Varianten

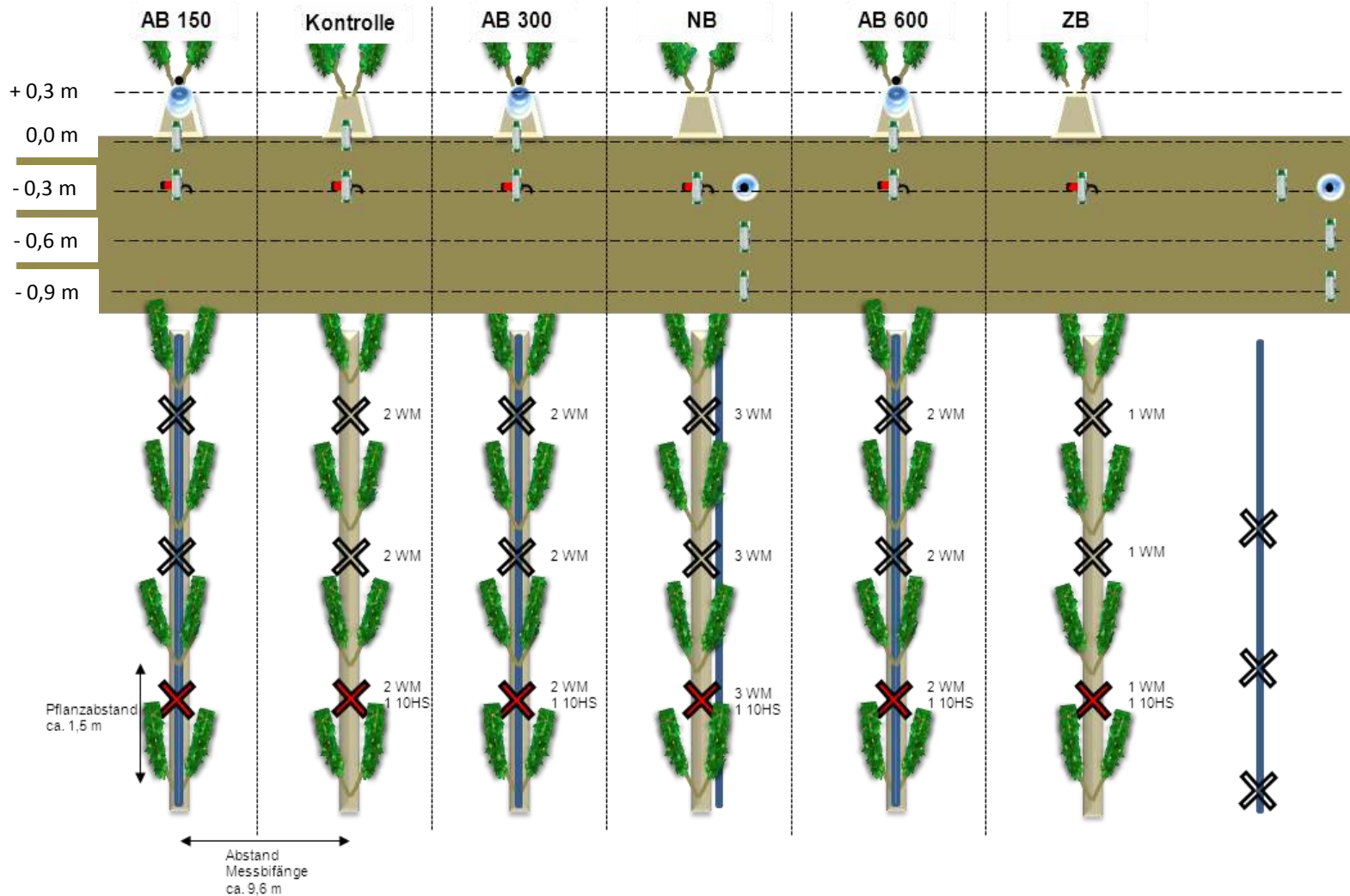
**Reihenabstand:** 3,2 m

**Pflanzenabstand:** 1,6 m

# Versuchsaufbau



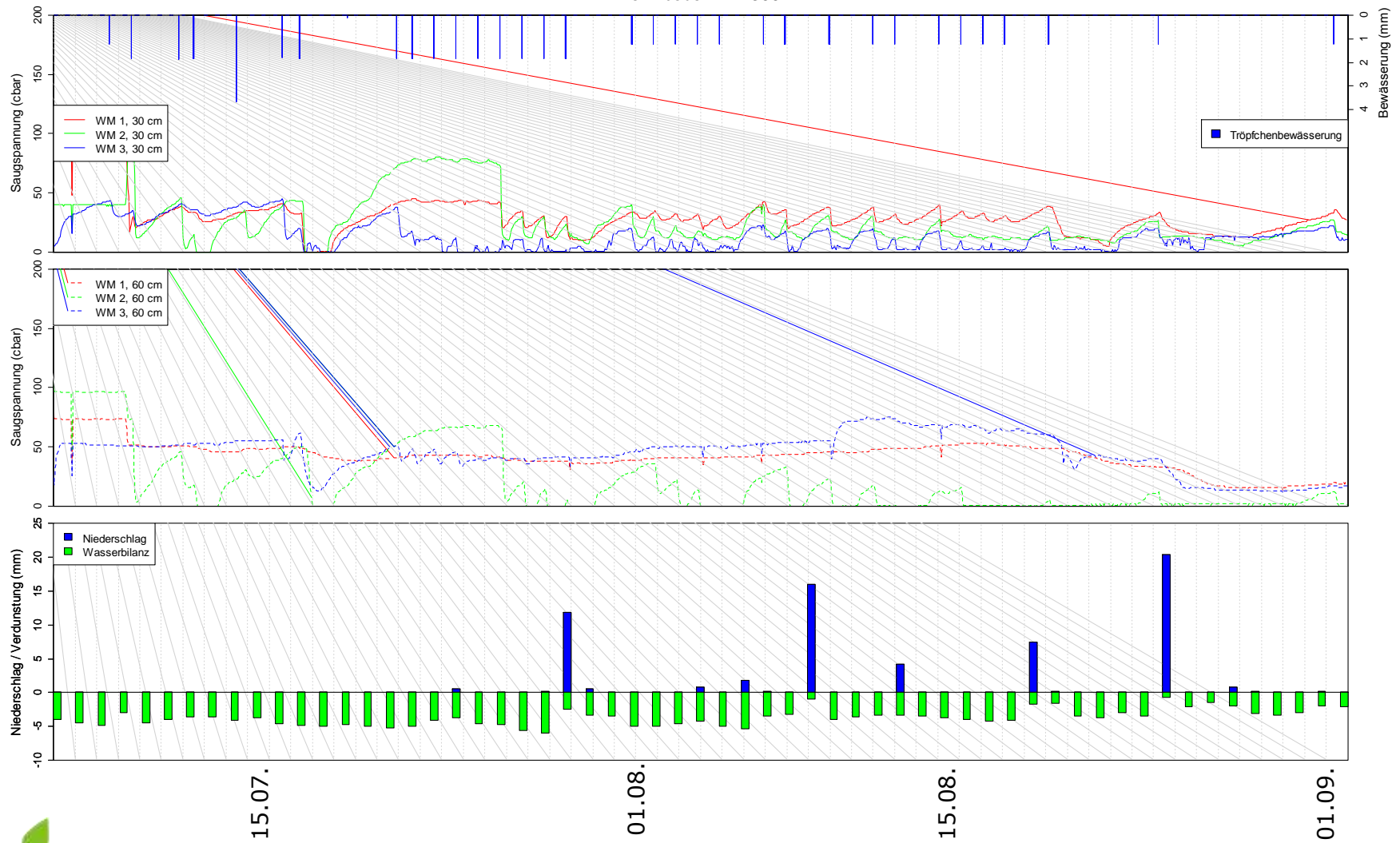
# Versuchsaufbau – objektive Steuerung per Sensor





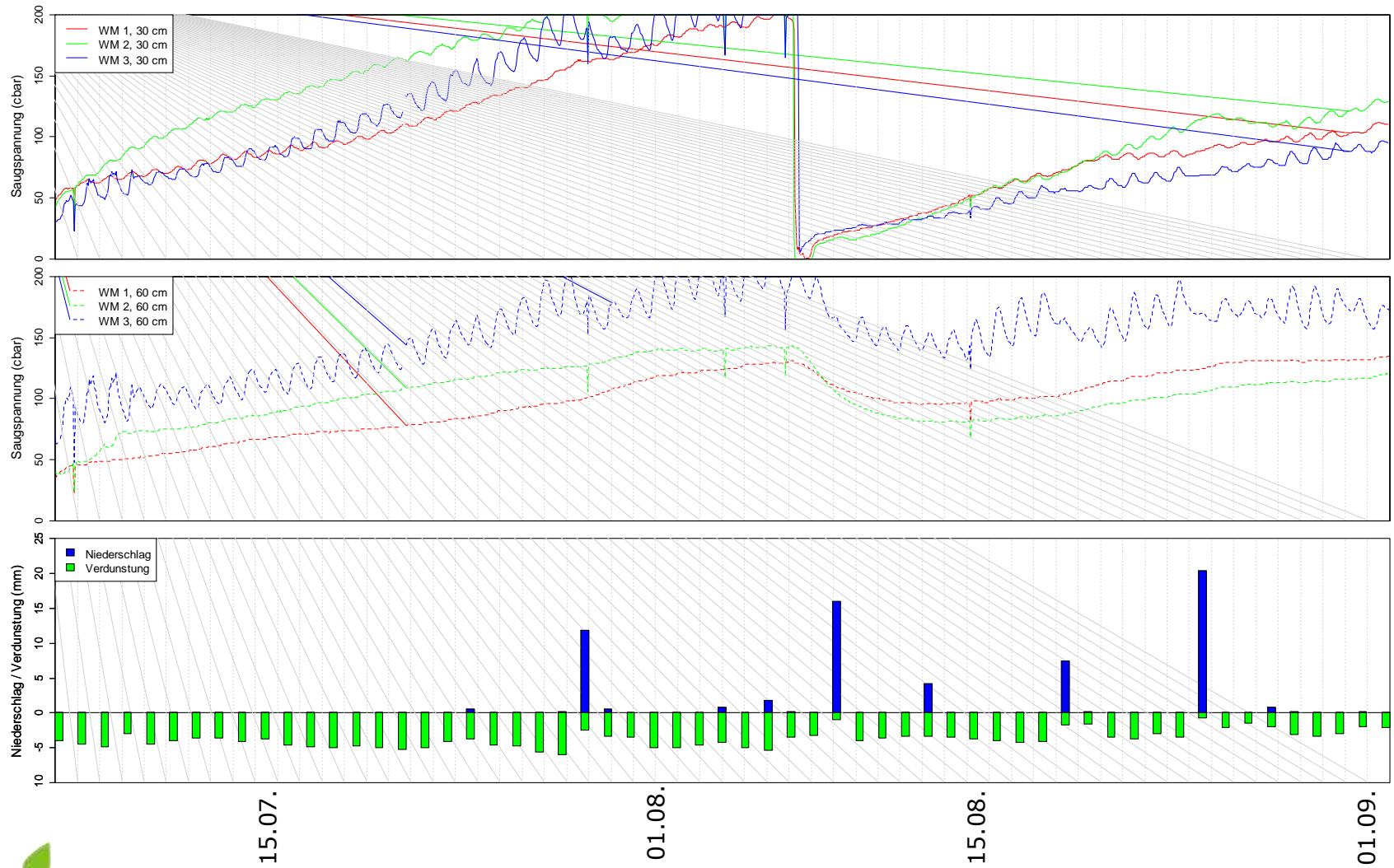
# 2013 - Lehm Boden AB 300

Lehm Boden - AB300



# 2013 - Lehmboden Kontrolle

Lehmboden - Kontrolle

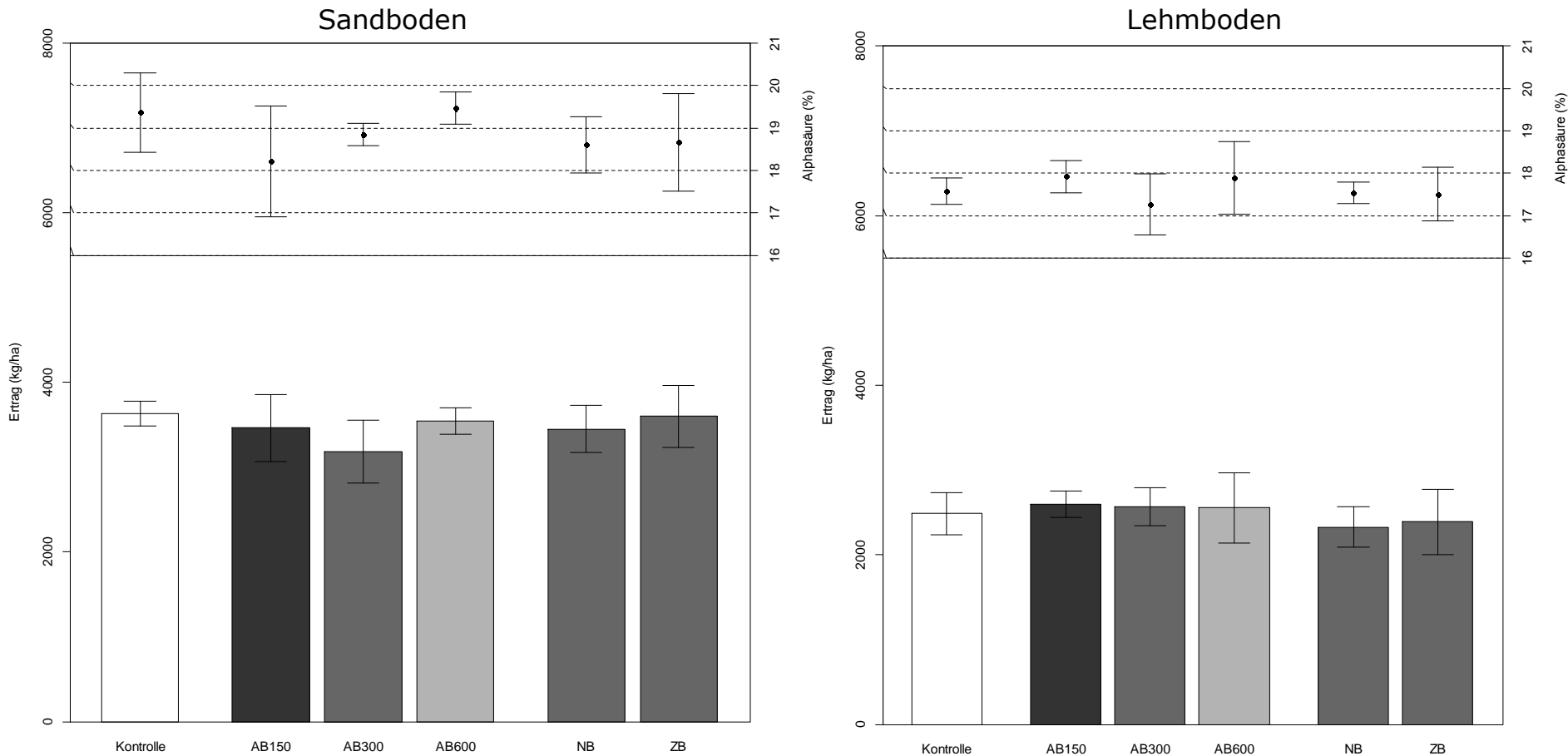


# Ausgebrachte Wassermengen

Ausgebrachte Wassermengen (m<sup>3</sup>) auf den Versuchsflächen in den Jahren 2012 und 2013 sowie die gefallen Niederschläge (mm).

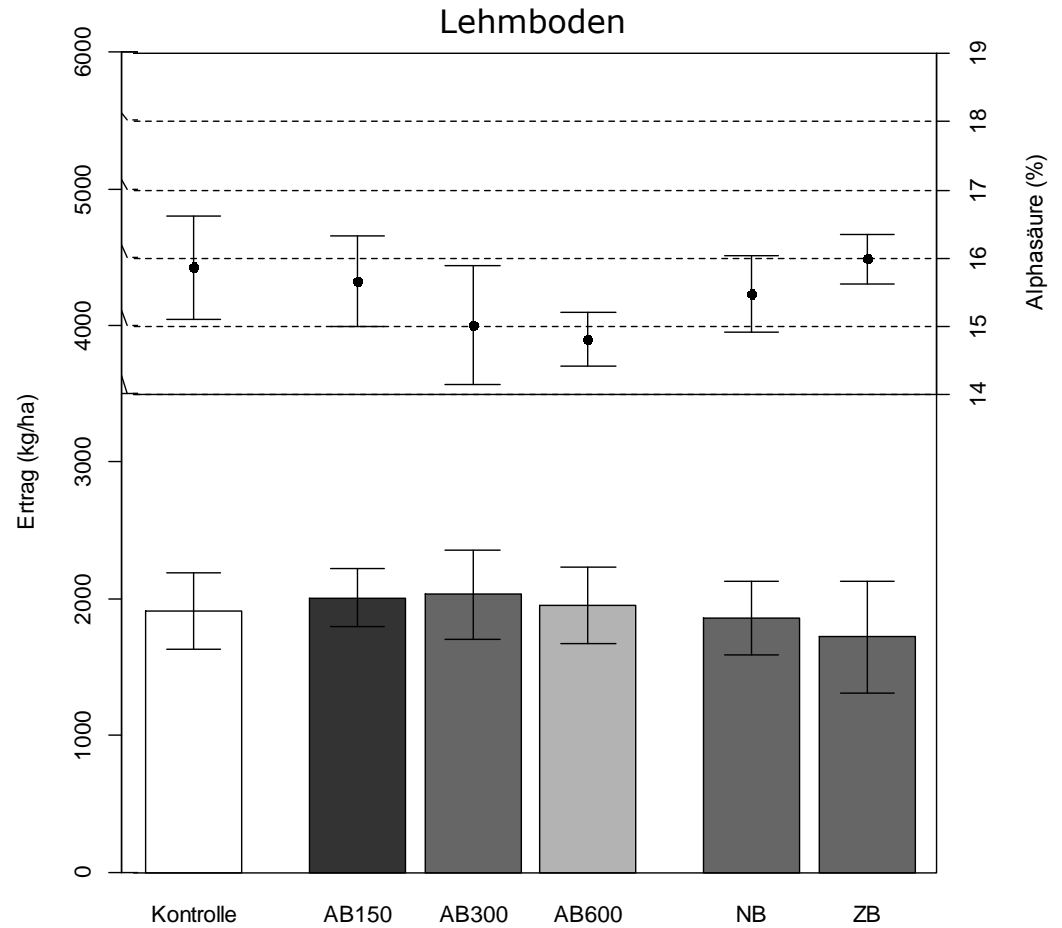
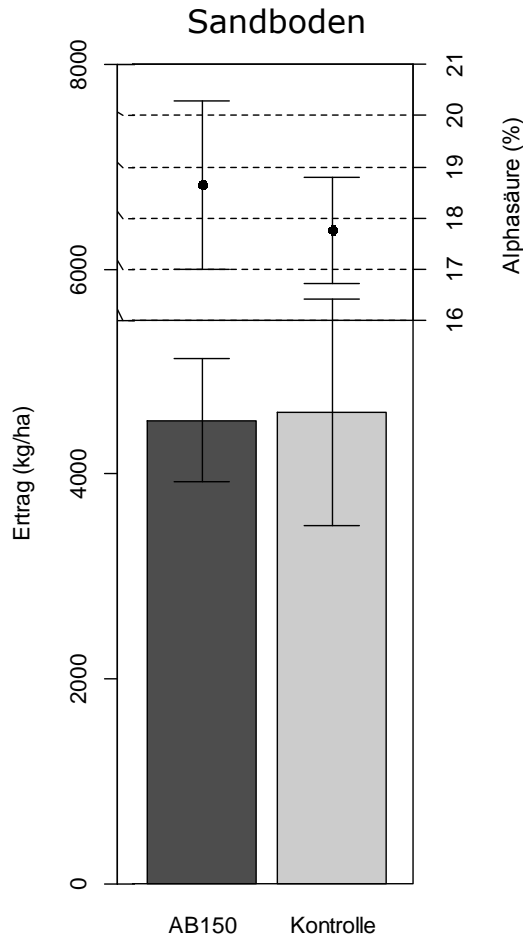
Variante	2012		2013	
	Sandboden	Lehmboden	Sandboden	Lehmboden
AB150	425	347	532	664
AB300	285	451	366	594
AB600	180	252	289	361
NB300	298	369	366	627
ZB300	291	327	366	612
Niederschlag (Juni-Sept.)	306,2 mm	470,6 mm	401,6 mm	328 mm

# Ernteerträge 2012



**Ertrag (kg/ha) und  $\alpha$ -Säure-Gehalt (%) bei unterschiedlichen Bewässerungsstrategien n=6.** Sowohl die Ertragsermittlung als auch die  $\alpha$ -Säure-Gehalte zeigten keine signifikanten Unterschiede. Sandboden: getestet mit ANOVA ( $F_{\text{Ertrag}}: 1,746$ ;  $p_{\text{Ertrag}} = 0,155$ ;  $F_{\alpha}: 1,756$ ;  $p_{\alpha} = 0,152$ ). Lehmboden: getestet mit ANOVA ( $F_{\text{Ertrag}}: 0,821$ ;  $p_{\text{Ertrag}} = 0,544$ ;  $F_{\alpha}: 1,135$ ;  $p_{\alpha} = 0,364$ ).

# Ernteerträge 2013



Ertrag (kg/ha) und  $\alpha$ -Säure-Gehalt (%) am Sandboden AB150 = (n=8), Kontrolle = unbewässert (n=9) ermittelt an Einzelreben und hochgerechnet auf Ertrag kg/ha. Sowohl die Ertragsermittlung als auch die  $\alpha$ -Säure-Gehalte zeigten keine signifikante Unterschiede getestet mit ANOVA ( $F_{\text{Ertrag}}: 0,43$ ;  $p_{\text{Ertrag}} = 0,65$ ;  $F_{\alpha}: 1,205$ ;  $p_{\alpha}: 0,32$ ).

Ertrag (kg/ha) und  $\alpha$ -Säure-Gehalt (%) bei unterschiedlichen Bewässerungsstrategien n=6. Sowohl die Ertragsermittlung als auch die  $\alpha$ -Säure-Gehalte zeigten keine signifikanten Unterschiede. Getestet mit ANOVA ( $F_{\text{Ertrag}}: 0,839$ ;  $p_{\text{Ertrag}} = 0,533$ ).

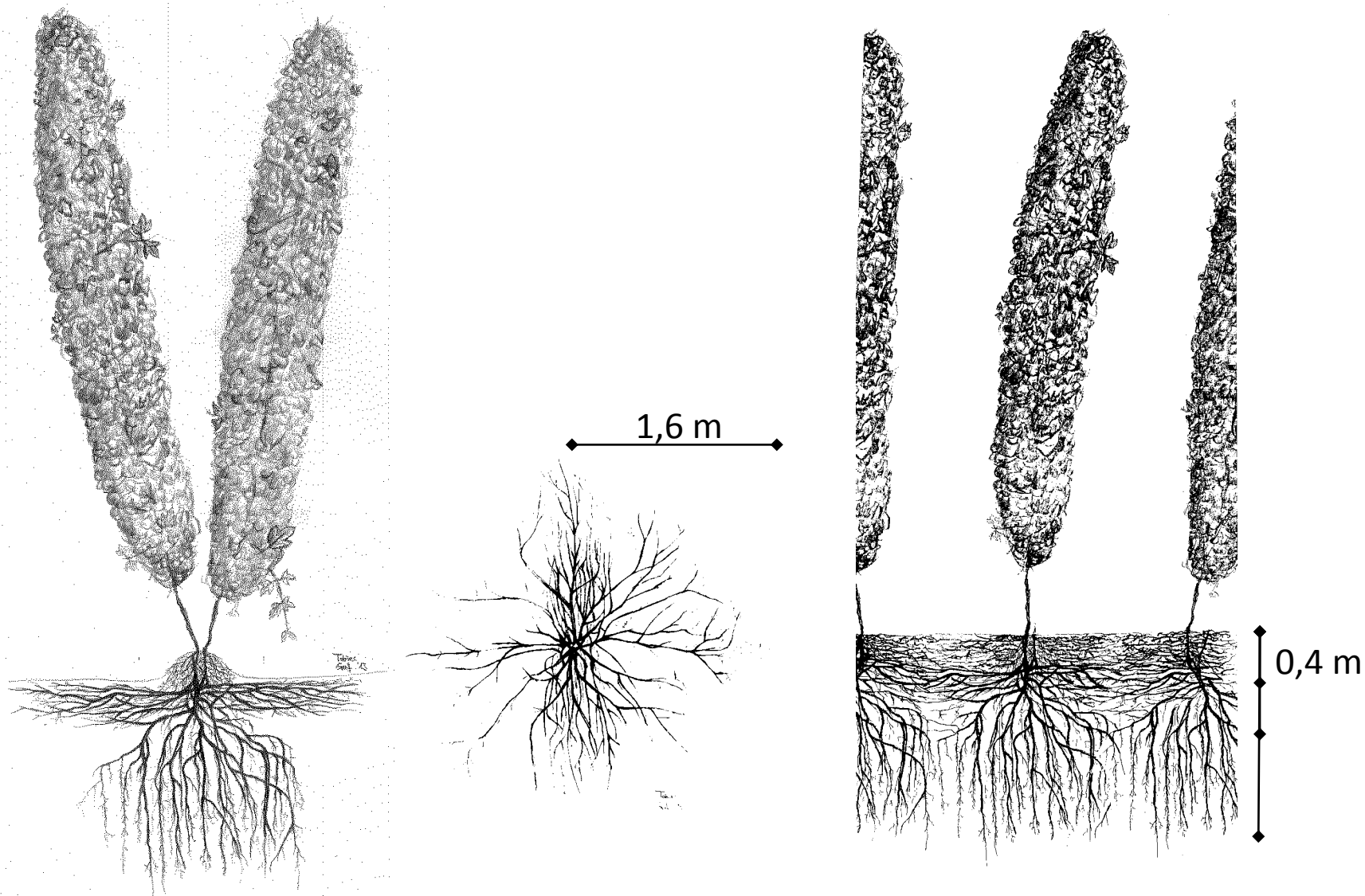
---

## 3. Wurzelgrabung

# Wurzelgrabung – Herkules (6. Standjahr) Sandboden

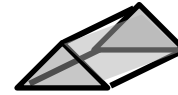
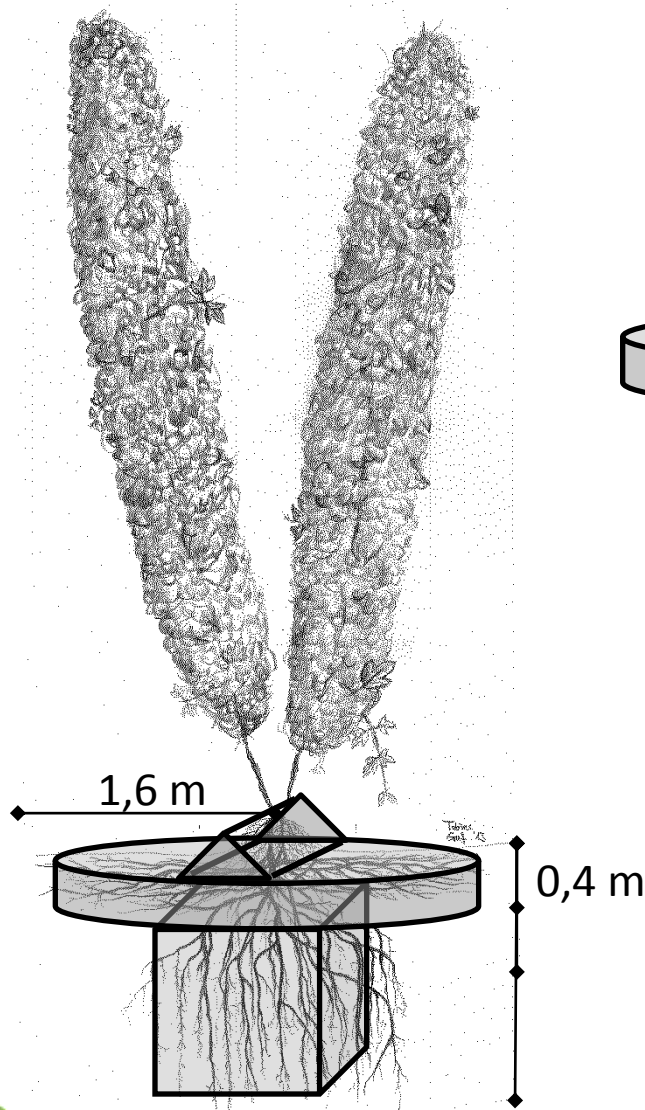


# Wurzel – Herkules (6. Standjahr) Sandboden





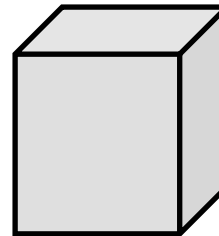
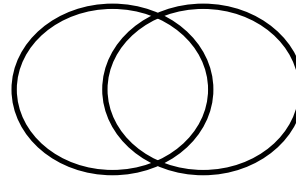
# Wurzel – Herkules (6. Standjahr) Sandboden



$$V_1 = 0,2 \times 0,3 \times 1,6 / 2$$
$$V_1 = 0,048 \text{ m}^3$$



$$V_2 = \pi \times 1,6^2 \times 0,4$$
$$- (1,6^2 (\pi\alpha/180 - \sin \alpha) \times 0,4)$$
$$V_2 = 1,959 \text{ m}^3$$



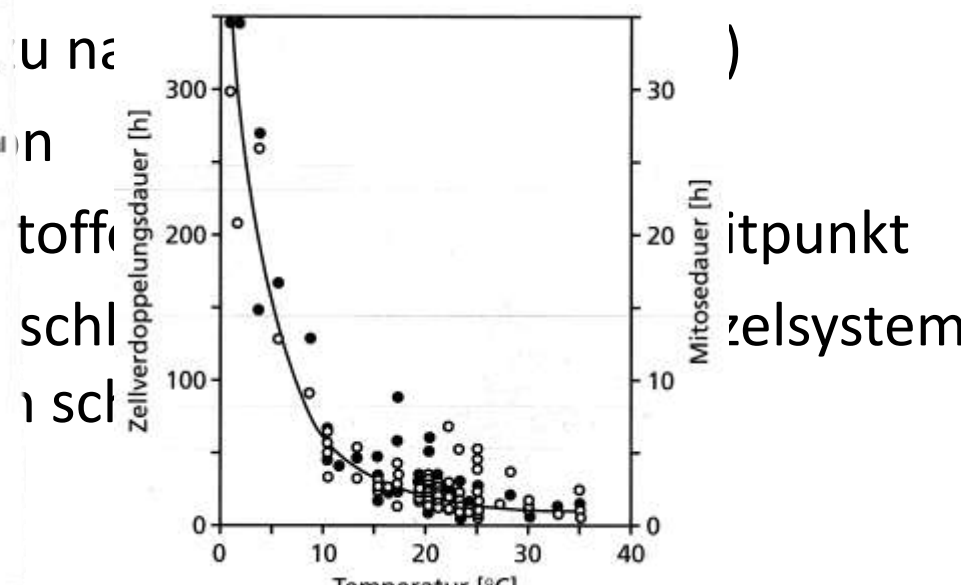
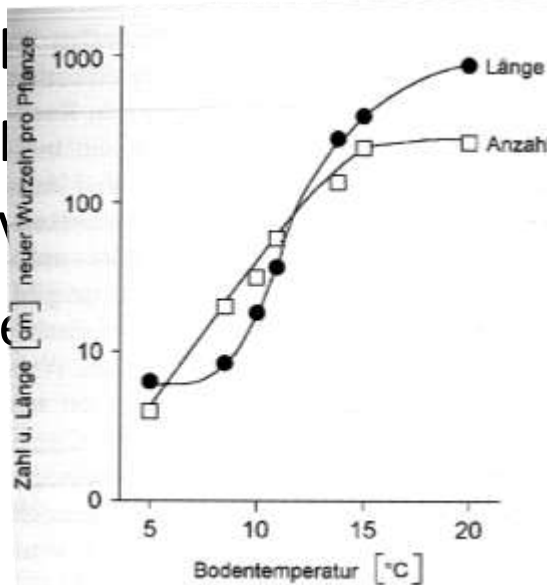
$$V_3 = 1,3 \times 1,3 \times 1,5$$
$$V_3 = 2,535 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Gesamt}} = 4,59 \text{ m}^3$$

# Wurzelwachstum

– Habituswuchs eng verbunden mit Wurzelwachstum des jeweiligen Jahres

- Wurzelwachstum abhängig von:
  - Bodentemperatur -> umso höher umso schneller ist die Zellteilung und umso länger werden die Wurzeln



• Ist für

Abb.: Wurzelwachstum in Anhängigkeit der Bodentemperatur (Daten verändert aus Lösch (2003) nach Nambiar (1983) und Larcher (2001) nach Körner (1999)).

# Wurzelwachstum

---

- Habituswuchs eng verbunden mit Wurzelwachstum des jeweiligen Jahres
  - Wurzelwachstum abhängig von:
    - Bodentemperatur ->umso höher umso schneller ist die Zellteilung und umso länger werden die Wurzeln
    - Bodenfeuchte (nicht zu nass und nicht zu trocken)
    - Nährstoffkonzentration
    - Vorhandene Reservestoffe aus Vorjahr -> Erntezeitpunkt
  - Ist einer dieser Faktoren schlecht kann sich das Wurzelsystem für die kommende Saison schlechter entwickeln

# Wasserverlauf Sandboden/Lehmboden

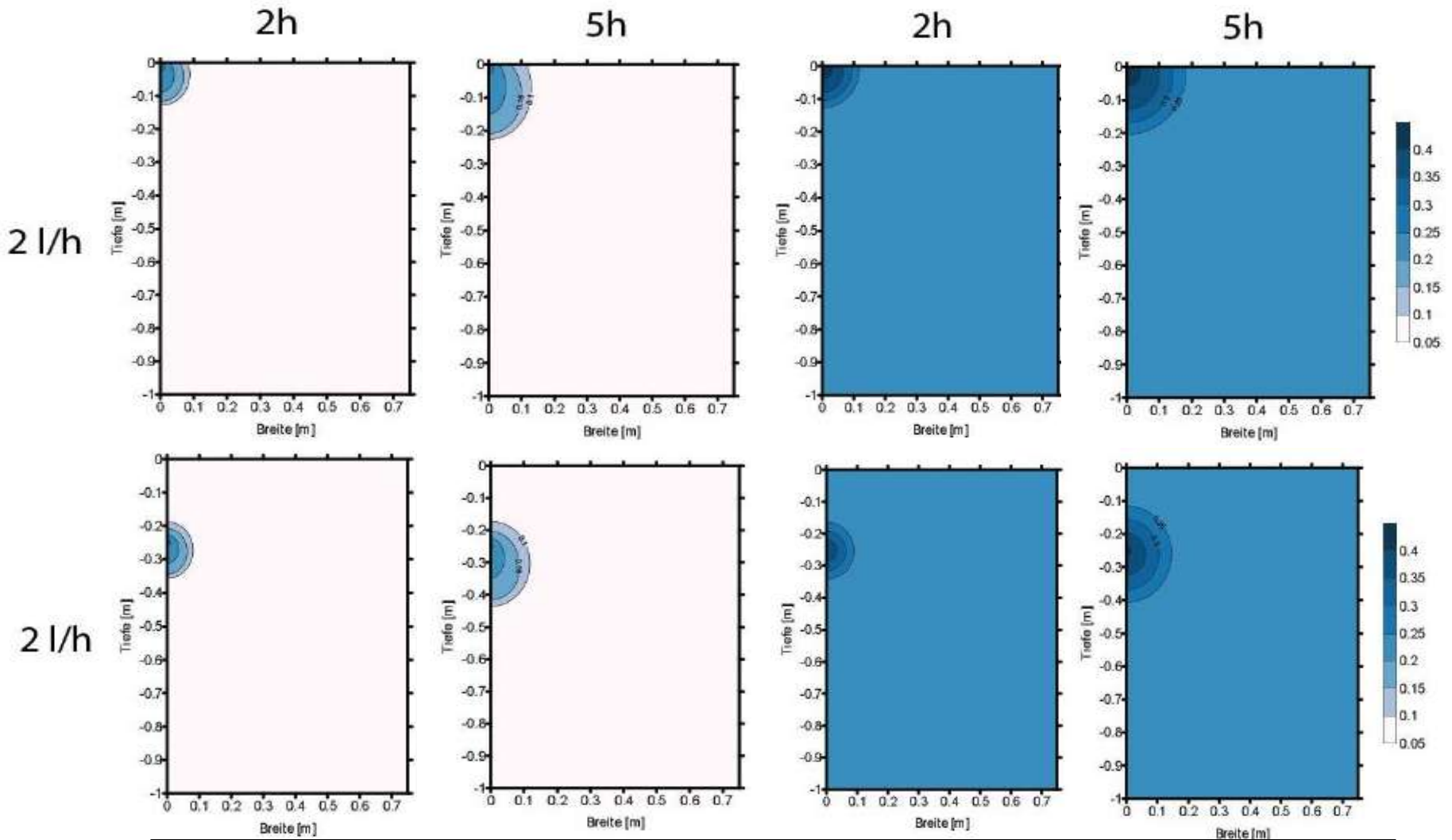
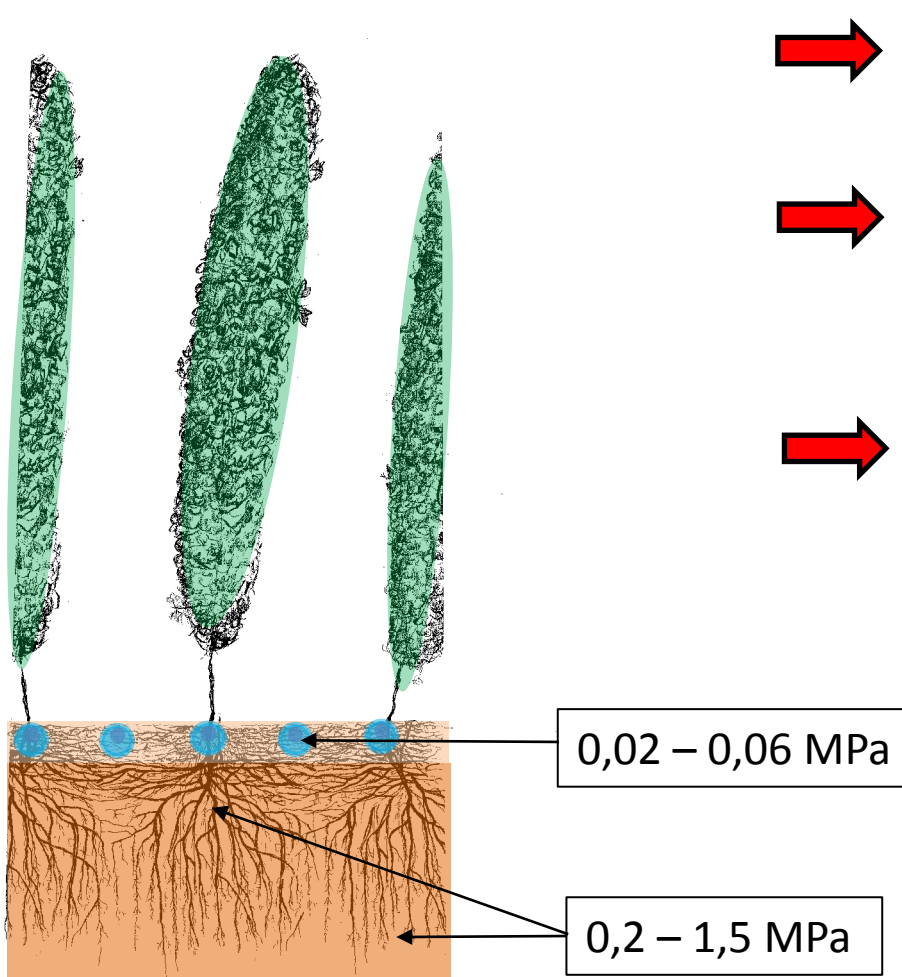


Abb.: Auswirkung von Bewässerungsvarianten auf trockenen Sand- und Lehmböden. Die Schaubilder zeigen Verlauf bei einer Tropfmenge von 2l/h bei 2 und 5 Stunden und ober- und unterirdischer Bewässerung. Nach Hydrologie TU Dresden 2013)

# Wasserverlauf und Wasseraufnahme bei Tröpfchenbewässerung



→ Wasseraufnahme erfolgt an den Tropfstellen

→ andere Bereiche bleiben damit aber möglicherweise unerschlossen

→ Nährstoffe werden an diesen Stellen irgendwann aufgebraucht

---

## 4. Welche Wasserreserven hat Hopfen zur Verfügung?

# Welche Wasserreserven haben die Pflanzen zur Verfügung?

---

## 1. Bodenwasservorrat:

- nach dem Frühjahr wassergesättigt
- Menge abhängig vom Wurzelwerk
- $4,59 \text{ m}^3 * 130 \text{ Liter (nFK)} = 600 \text{ Liter}$

## 2. Niederschläge (Juni; Juli; August; September):

- 10 Jahres  $\emptyset$  Hüll: 92,7 mm; 108,1 mm; 108,1 mm; 59,6 mm/2
- =  $338,7 \text{ mm} * 5 \text{ m}^2 = 1693 \text{ Liter}$
- abzüglich Interzeption: ca. 1500 Liter

## 3. Bewässerung

- Bsp.  $1000 \text{ m}^3/\text{ha} = 1.000.000 \text{ Liter} / 2000 \text{ Pflanzen} = 500 \text{ Liter/}$   
Pflanze

---

## 5. Wie viel Wasser benötigt Hopfen?



# Wieviel Wasser benötigt Hopfen?

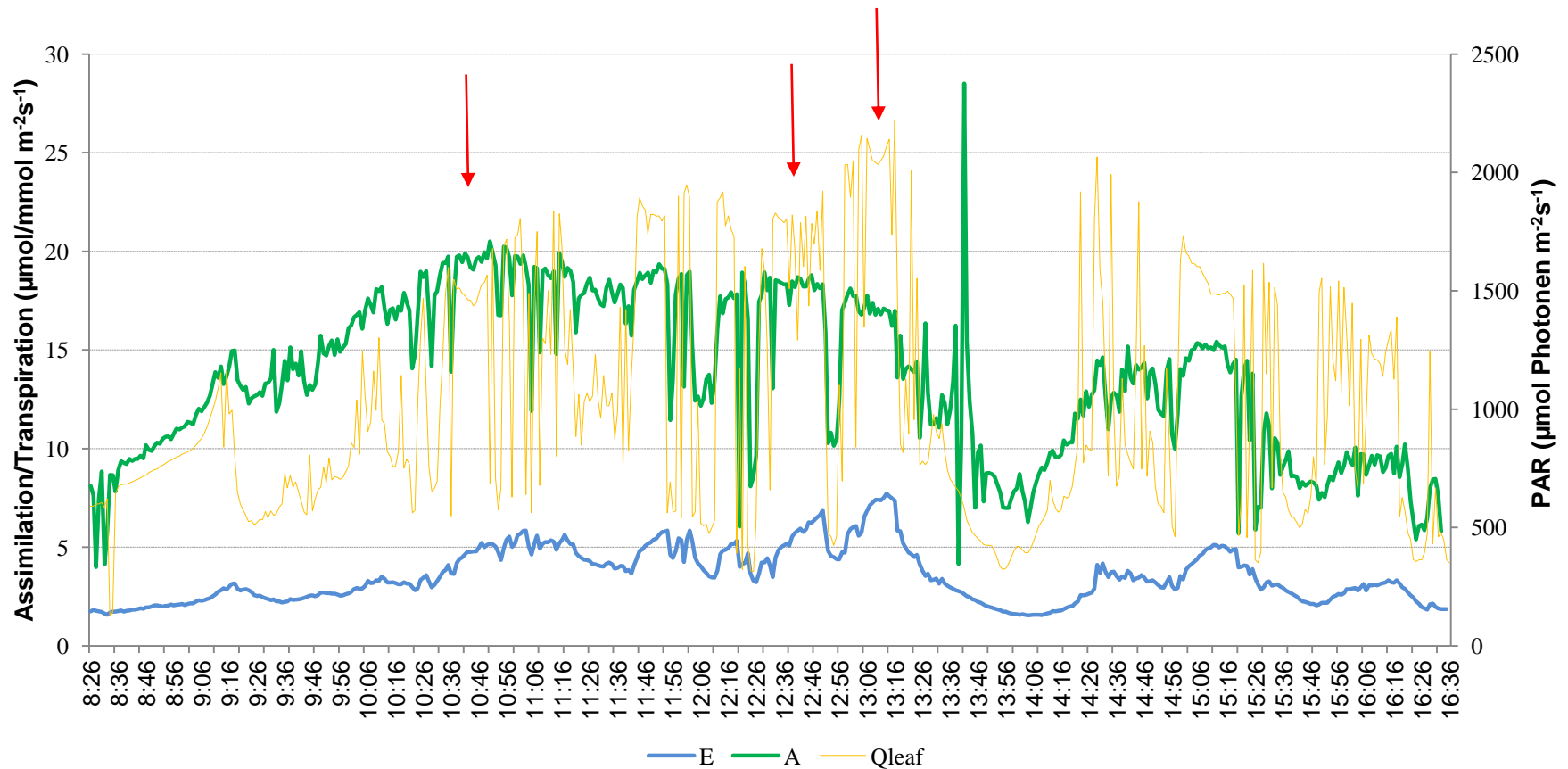


Transpirationsbestimmung per Lysimeter

# Transpirationsmessung per Gaswechselanlage

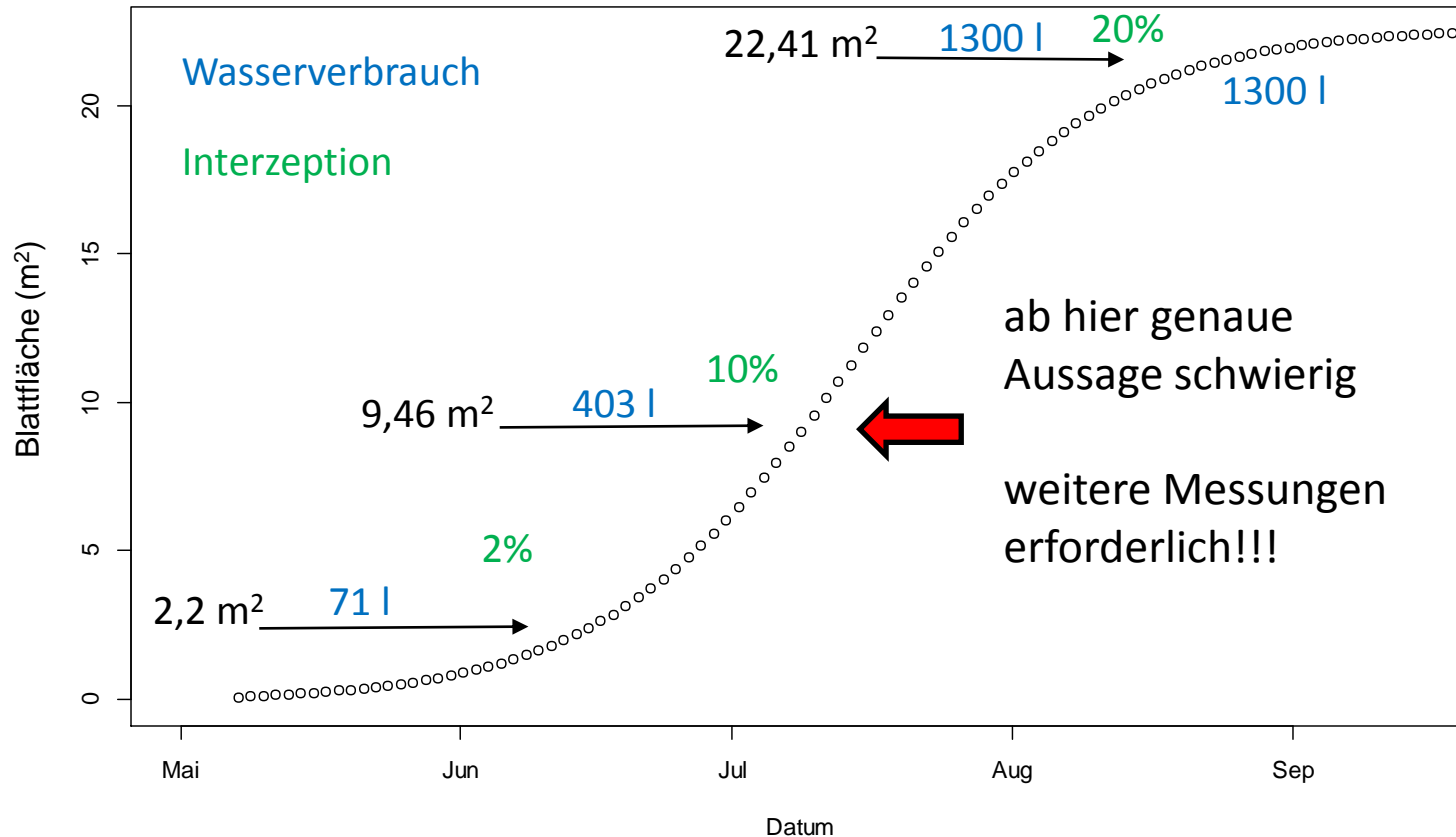


# Tagesgang Photosynthese und Transpiration



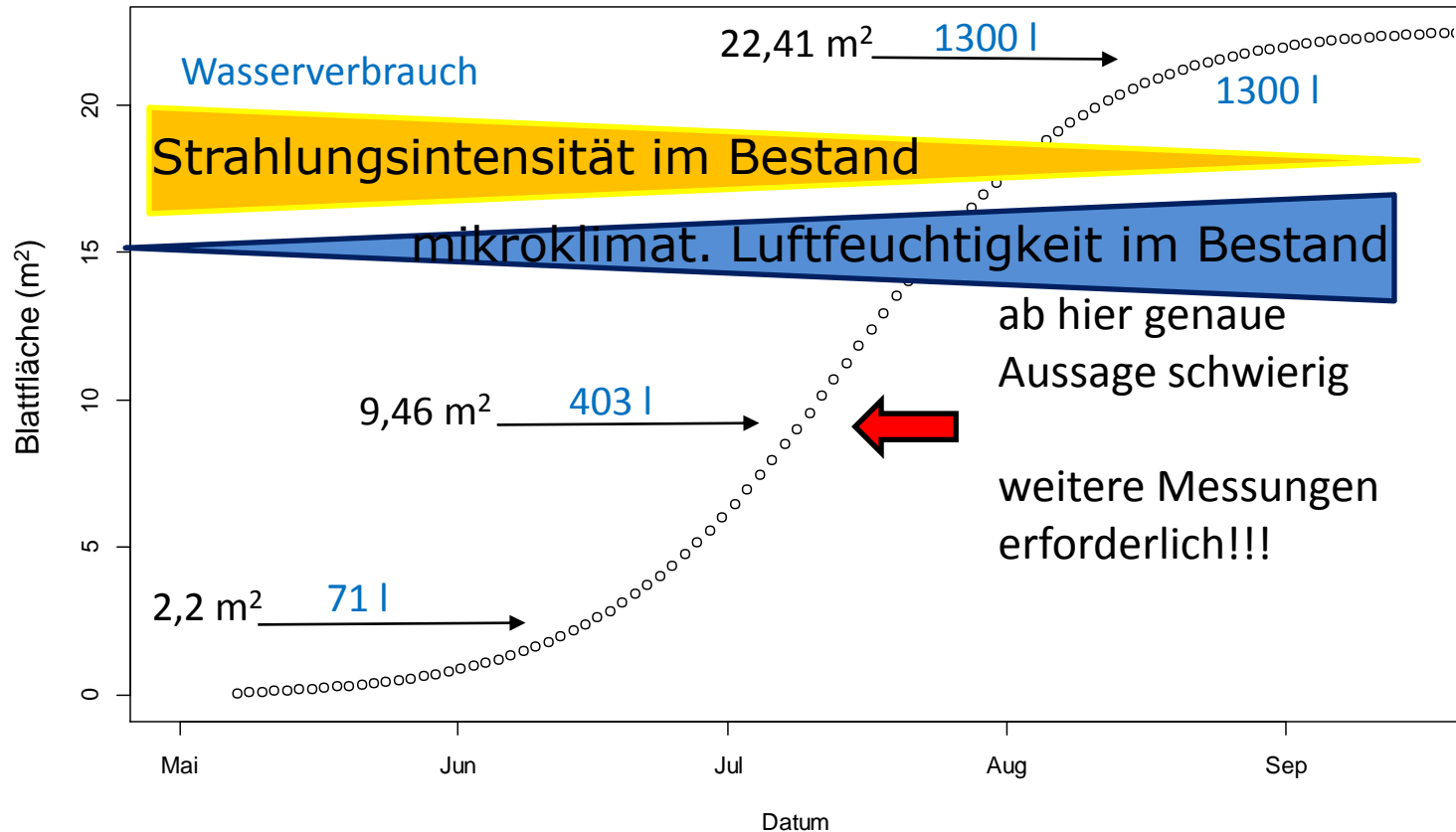
Geleistete Nettophotosyntheserate ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) und Transpirationsmenge ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) an einem durchschnittlichen Tag (Anfang August 2013). Mit eingefallener photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) ( $\mu\text{mol Photonen m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Gemessen mit Gaswechsellanlage.

# Blattfläche und Wasserbedarf Herkules



**Blattflächenentwicklung (m<sup>2</sup>) von Herkules in der Vegetationsperiode Mai bis September.**  
(Daten verändert nach Engelhard *et al.* 2011) und darauf bezogene kumulierte Verdunstung unter Annahme von direkter und hoher Sonneneinstrahlung.

# Blattfläche und Wasserbedarf Herkules



**Blattflächenentwicklung (m<sup>2</sup>) von Herkules in der Vegetationsperiode Mai bis September.**

(Daten verändert nach Engelhard *et al.* 2011) und darauf bezogene kumulierte Verdunstung unter Annahme von direkter und hoher Sonneneinstrahlung.

---

## 6. Fazit zum aktuellen Stand

# wichtige Fragen bezüglich Wasserbedarf

---

– Wie hoch sind die durchschnittlichen natürlichen Niederschläge am Standort in den Monaten Juni, Juli, August ?

– Wie hoch ist die nutzbare Feldkapazität (Vol %) des Bodens,

– Wie groß ist das jeweilige Wurzelwerk am Standort?

– Wie tief reicht es?

➔ wie viel pflanzenverfügbares Wasser haben die Pflanzen im Boden?

– Kann ich dieses noch positiv beeinflussen?

➔ weniger befahren, gute Bodenstruktur (leicht durchwurzelbar)

➔ auch und vor und allem beim Einlegen der Jungpflanzen (diese entwickeln lassen)

➔ Befahren der Äcker bei nassen Verhältnissen vermeiden, da die Gefahr von Wurzelverletzung und Bodenverdichtung hoch ist

# Fazit zum aktuellen Stand

---

- Pflanzen verdunsten je nach Habitus und Wetterlage (Luftfeuchtigkeit & Sonne) ca. 1500 l – 3000 l  
➔ weitere Untersuchungen erforderlich!
- diese Werte werden durch normale Niederschlagsverteilungen weitestgehend nachgeliefert
- höchster Wasserbedarf ab Anfang August (bei Herkules)
- mit Tröpfchenbewässerung erreicht man nur einen sehr kleinen Ausschnitt des Wurzelsystems  
um die Pflanzen zu erreichen muss man ihr von Anfang an  
➔ zeigen wo es Wasser gibt, damit wird weiteres Wurzelwachstum aber unter Umständen eingeschränkt
- es kann zu Nährstoffdefiziten kommen, da Wasser und die dort befindlichen Nährstoffe bevorzugt aus Tropfstellen aufgenommen werden  
➔ Fertigation!



# Fazit zum aktuellen Stand

---

- Bei Bewässerung:
  - oberirdisch
    - jährliches Schlauchausbringen und -einholen
    - chemisches Hopfenputzen idealerweise nach dem 1. Ackern, da so bessere Wurzeln im Bifang entstehen
  - unterirdisch
    - mögliches Verstopfen der Tropfer durch Wurzeln
    - wenig oder keinen Bifang ackern da dadurch dort Wurzelbildung angeregt wird wo man es nicht braucht
- ab Anfang Juli zeigen wo es Wasser zu holen gibt
- ab August hohe Wassergaben nötig



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Fragen?

Tobias Graf  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 5a



HOCHSCHULE  
WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



# Literatur

- Engelhard B, Kammhuber K, Lutz A, Lachermeiner U, Bergmeier M, Blattflächenentwicklung und Ertragsaufbau wichtiger Hopfensorten, LfL Schriftenreihe (2011)
- Eschrich W, Funktionelle Pflanzenanatomie, Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1995)
- Körner C, Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems, Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1999)
- Larcher W, Ökophysiologie der Pflanzen, Ulmer, Stuttgart (2001)
- Lösch R, Wasserhaushalt der Pflanzen, Quelle-Meyer, Wiebelsheim (2003)
- Nambiar EKS, Root development and configuration in intensively managed radiata pine plantations, Plant Soil 71, 37-47 (1983)
- Professur für Hydrologie, TU Dresden, Atlas der Bewässerung (2013) ([http://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_forst\\_geo\\_und\\_hydrowissenschaften/fachrichtung\\_wasserwesen/ifhm/hydrologie/forschung/Projekte/saphir/atlantent](http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_wasserwesen/ifhm/hydrologie/forschung/Projekte/saphir/atlantent))
- Bildquellen aus dem WWW (Stand: 13.02.2014):
- <http://ugt-online.de/typo3temp/pics/e133176b9a.jpg>
- <http://www.klima-wandel.eu/images/co2.jpg>
- <http://techhive.de/blog/wp-content/uploads/2013/05/O2-logo.jpg>
- <http://www.spirofrog.de/blog/bilder/wasser.jpg>
- <http://www.zentrum-der-gesundheit.de/images/titelbild/trauben.jpg>