





University of Applied Sciences

Reduzierung der Evaporation durch Substratschichtung

 Messungen und Simulationen Rüdiger Anlauf Peter Rehrmann Andreas Bettin



## Evaporation unter Glas

### Anlass der Untersuchungen

- Wärmeschutzverglasung
  - Änderung des Kondensationsverhaltens
  - ▶ höhere Luftfeuchte
- Hohe Evaporation ► hohe Luftfeuchte
- Hohe Luftfeuchte
- Befallsrisiko durch Botrytis
- Ca-Mangel aufgrund reduzierter Transpiration
- Verkleben von Pollen bei Tomaten
- Größere "weichere" Pflanzen
- Vorangegangen Versuche zeigten einen Anteil von ca. 40 50 % Evaporation am gesamten Wasserverbrauch einer Topfpflanze im Kulturverlauf



## Evaporation ► Kondensation



- links: Kondensation an den kalten Scheiben, Reduktion der Luftfeuchte im Gewächshaus
- rechts: Wärmeschutzverglasung, keine Kondensation, höhere Luftfeuchte



### Evaporation unter Glas

### Ziel der Untersuchungen

- Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Evaporation, speziell
  - Abdeckung mit groben Materialien
  - Kapillarsperre durch Substratschichtung
- Untersuchung von physikalischen Prozessen bei der Evaporation aus Substraten
  - kapillarer Wassertransport
  - Wasserdampftransport
- Bewertung der Übertragbarkeit eines Simulationsmodells für den Wasserhaushalt von Mineralböden auf gärtnerische Kultursubstrate
  - grundsätzliche Anwendbarkeit
  - Verwendung zur Optimierung des Systems Kultursubstrat / Deckschicht
- Vorarbeiten für mögliche weiterführende Forschungsaktivitäten



## **Evaporation und Transpiration**



### Transpiration:

- abhängig von Pflanzengröße
- wenig beeinflussbar
- notwendig für optimales Wachstum

### Evaporation über das Substrat:

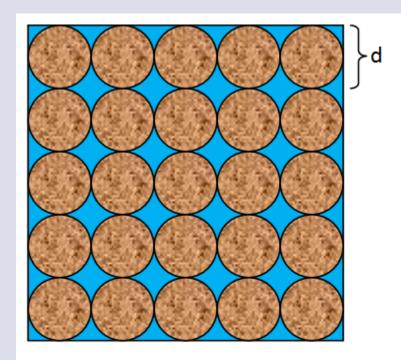
- abhängig auch von Pflanzengröße
- abhängig von Bewässerungsmodus und Substrateigenschaften

### Evaporation über Tischoberfläche:

- abhängig von Topfabstand und -form
- abhängig von Tischoberfläche (Folie, Rillen...)



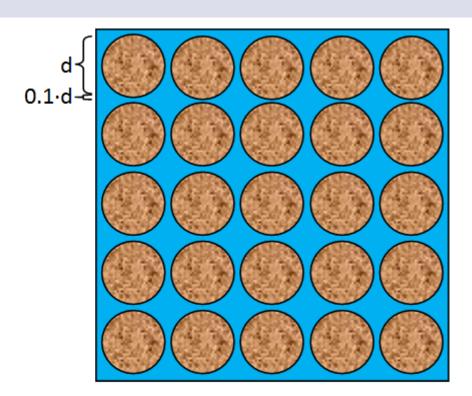
## Evaporation Stellfläche ◀► Topffläche



Stellfläche: 25·d2

Topffläche: 25·π·d²/4

**Anteil Topffläche**:  $\pi/4 = 0.785 = 78.5\%$ 



Stellfläche: 36·d2

Topffläche: 25·π·d²/4

**Anteil Topffläche**:  $0.174 \cdot \pi = 0.545 = 54.5\%$ 



### verwendete Substrate



Abdeckung mit Rinde

Tonsubstrat



### Messverfahren

#### **Versuchsansatz 1:**

- reine Verdunstung (ohne Bewässerung)
- kontinuierliche Aufzeichnung der Gewichte
- Gewichtsverlust = Evaporation
- Ziel:
  - Überprüfung des Teilmodells "Evaporation"
  - Auswirkung von Substratfeuchte und Abdeckmächtigkeit
- Varianten
  - Substrat 10 cm hoch
  - Substratfeuchte feucht/mittel/trocken
  - Abdeckung mit Rinde 2 und 4 cm hoch

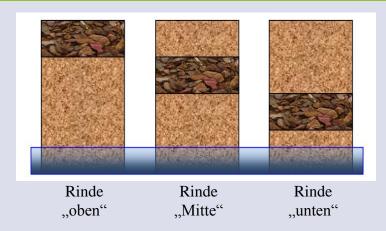




### Messverfahren

#### **Versuchsansatz 2:**

- Verdunstung plus Ebbe-Flut-Bewässerung
- Wägung vor- und nach Bewässerungszyklus
- Gewichtsverlust zwischen den Bewässerungszyklen = Evaporation
- Ziel:
  - Überprüfung des Gesamtmodells (Evaporation, kapillarer Aufstieg im Substrat, Dränverhalten)
- Varianten
  - 7.5 cm Substrat
  - Rinde in 10-7.5 cm Tiefe ("oben") Rinde in 7.5-5 cm Tiefe ("Mitte") Rinde in 5-2.5 cm Tiefe ("unten")
  - Bewässerung für 20 min
  - anschließend Dränphase für 3-9 Tage
  - Versuchsdauer 58 Tage







### Simulationsmodell

### **HYDRUS-1D**

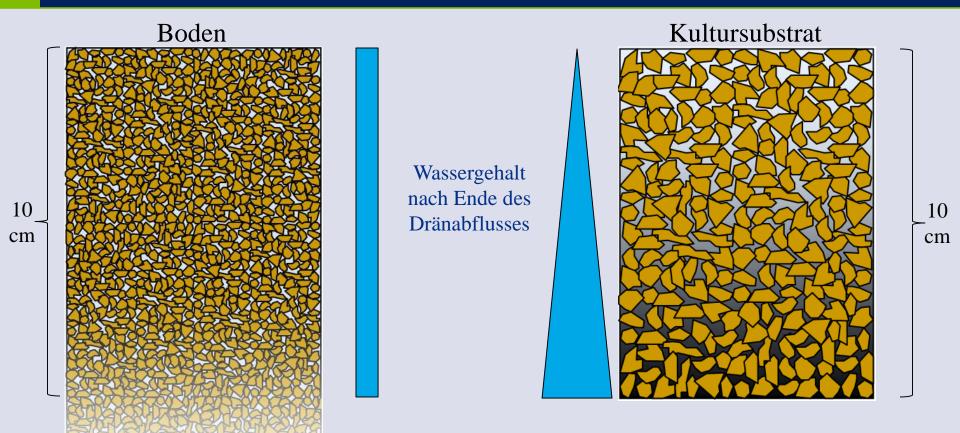
- Simulation von Wasser-, Stoff- und Wärmehaushalt in Mineralböden
- Internationaler Standard für die Simulation physikalischer Prozesse in Böden (> 120.000 Google-Fundstellen)
- nahezu keine Anwendungen bei gärtnerischen Kultursubstraten
- großes Anwendungspotential
- Substrate haben physikalische Besonderheiten, die eine Modellierung schwieriger machen als bei Mineralböden

Anlauf, R. & P. Rehrmann, 2013: **Simulation of water and air distribution in growing media**. In: Šimůnek, J., M. Th van Genuchten and R. Kodešová (ed): Proceedings of the 4th International Conference "HYDRUS Software Applications to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems", ISBN:978-80-213-2380-3, pp. 33-45.

Anlauf, R., P. Rehrmann & H. Schacht, 2012: Simulation of water uptake and redistribution in growing media during ebb-and-flow irrigation. J Hortic Forest, 4, 8–21.

# Unterschiede Boden und Substrat: Wassergehaltsverteilung





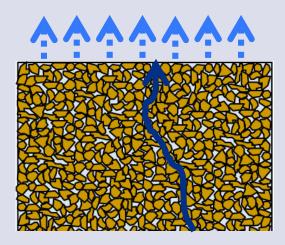
- konstanter Wassergehalt nach Ende der Dränphase
- abhängig von Bodenart

- nach unten zunehmender Wassergehalt
- abhängig von Topfhöhe und Substratstruktur
- Substrat unten nach Ende der Dränphase wassergesättigt

## Unterschiede Boden und Substrat: Transportprozesse

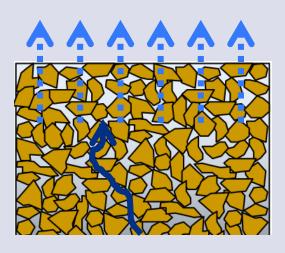


#### Boden



- im Boden fast ausschließlich kapillarer Wassertransport
- Wasserdampftransport ab Bodenoberfläche
- Modell:
  - kapillarer Transport
  - Evaporation an Bodenoberfläche

#### Kultursubstrat

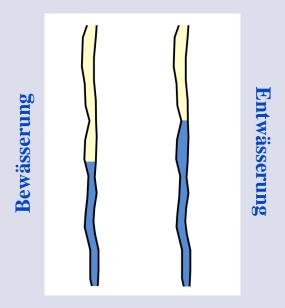


- im feuchten Substrat kapillarer Wassertransport
- im trockenen Substrat
  Wasserdampftransport
- Modell:
- kapillarer Transport
- Wasserdampftransport
- Evaporation an Topfoberfläche

# Unterschiede Boden und Substrat: Hysterese der pF-Kurven

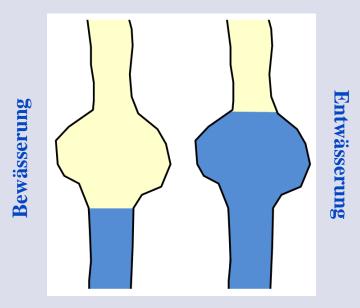


#### Boden



- kleine, relativ homogene Poren
- Unterschied der kapillaren Haltefähigkeit zwischen Bewässerung und Entwässerung relativ gering
- Modell:
  - vernachlässigbar

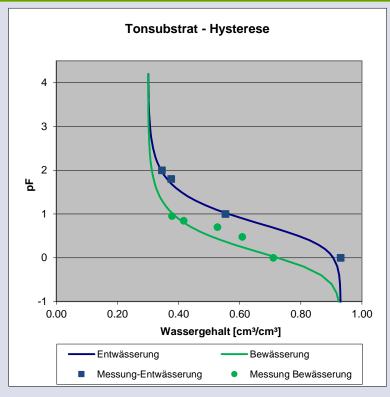
#### Kultursubstrat



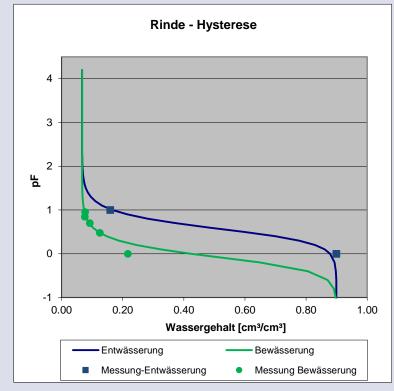
- große, relativ inhomogene Poren
- Unterschied des kapillaren Haltefähigkeit zwischen Bewässerung und Entwässerung hoch
- Modell:
  - Hysterese muss berücksichtigt werden, besonders bei Anstauverfahren



### Ergebnisse: pF-Kurven



Gefäßkapazität: 55.3% Luftkapazität: 37.7 % Nutzbares Wasser: 19.2 %

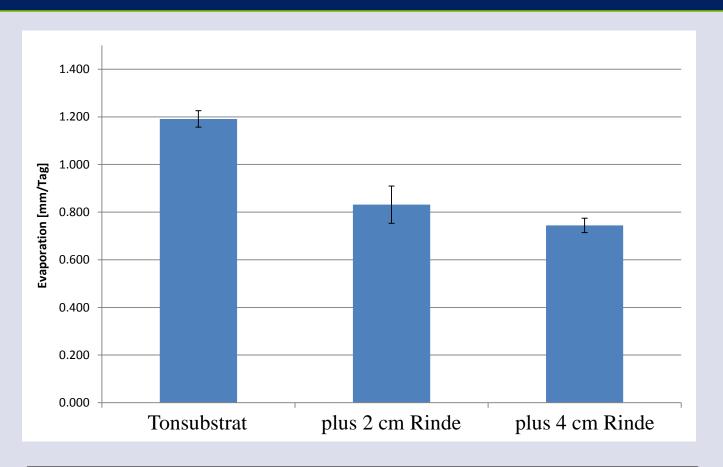


Gefäßkapazität: 15.9 % Luftkapazität: 74.0 % Nutzbares Wasser: 9.0 %

- starke Hysterese der pF-Kurven
- Bewässerung verhält sich sehr unterschiedlich zu Entwässerung
- Rinde hat extrem große Luftkapazität und speichert nahezu kein Wasser



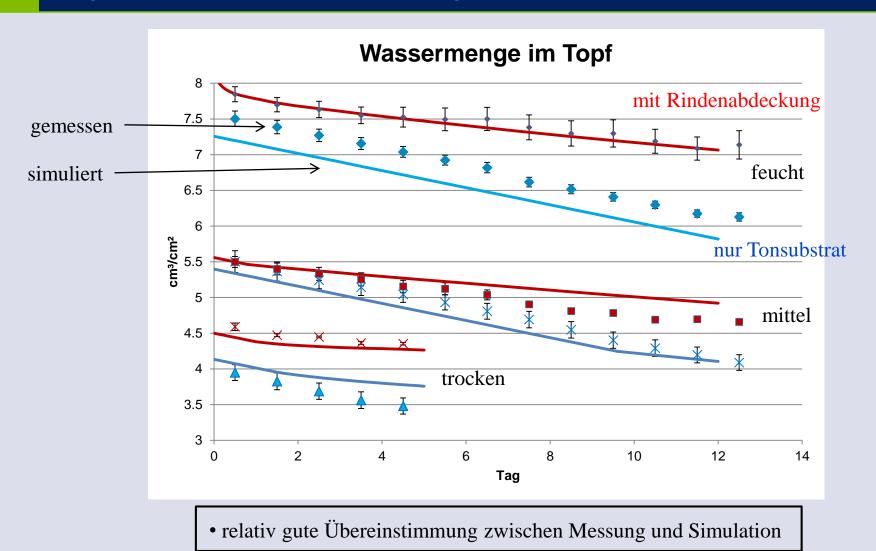
## Ergebnisse: mittlere Evaporation



- signifikant niedrigere Evaporation mit Rindenabdeckung
- geringe nicht signifikante Unterschiede zwischen 2 und 4 cm Abdeckung

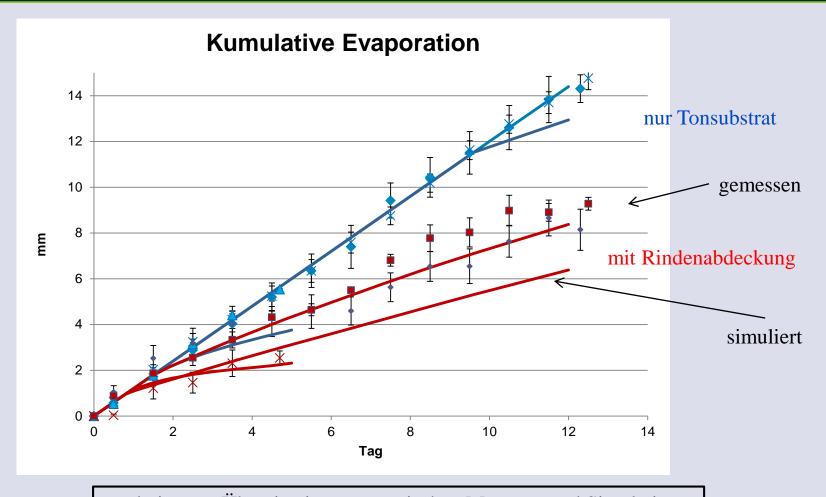


## Ergebnisse: Modellierung der Evaporation





## Ergebnisse: Modellierung der Evaporation



- relativ gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation
- geringere Evaporation mit Rindenabdeckung

# Ergebnisse: kapillarer und dampfförmiger Transport

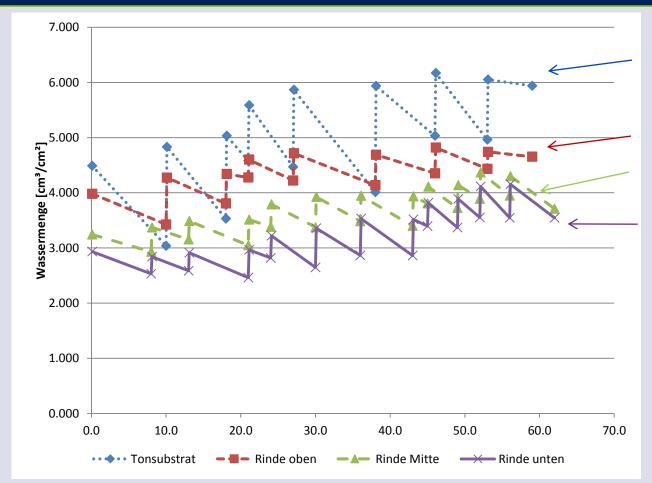


Variante	Dauer	Aktuelle Evaporation Ea (Messung)	Simulation ohne Wasserdampf- transport	Simulation mit Wasserdampf- transport	Anteil dampfförmiger Transport an Gesamt- verdunstung
	(Tage)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
4 cm Rinde feucht	12	8.14	1.35	8.38	83.9
2 cm Rinde mittel	12	9.28	0.79	6.38	87.6
4 cm Rinde trocken	5	2.53	0.81	2.31	65.1
Tonsubstrat feucht	12	14.30	14.40	14.40	0.0
Tonsubstrat mittel	12	14.76	13.55	14.11	4.0
Tonsubstrat trocken	5	5.53	1.80	3.76	52.0

- hoher Anteil an dampfförmigem Transport
- besonders bei Abdeckung mit Rinde (hohe LK, geringer kapillarer Transport)
- im feuchten und mittelfeuchten Tonsubstrat fast ausschließlich kapillarer Transport
- Wasserdampftransport muss bei Simulation berücksichtigt werden



### Ergebnisse: Evaporation und Ebbe-Flut



Tonsubstrat

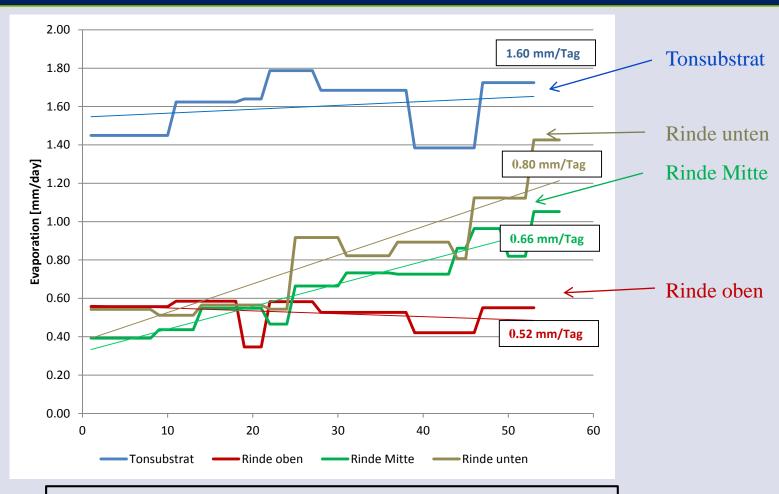
Rinde oben
Rinde Mitte
Rinde unten

• Tonsubstrat: höchste Wassermengen

• Rinde oben: höhere Wassermengen als Rinde Mitte und Rinde unten -> geringere Evaporation



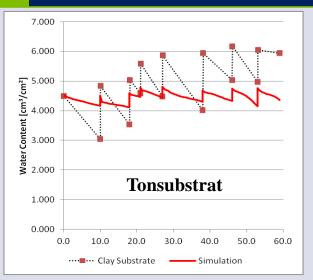
## Ergebnisse: Evaporation und Ebbe-Flut

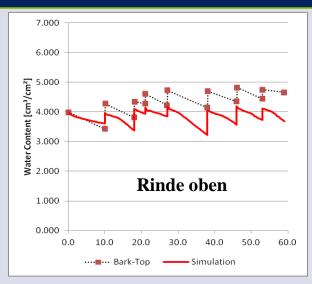


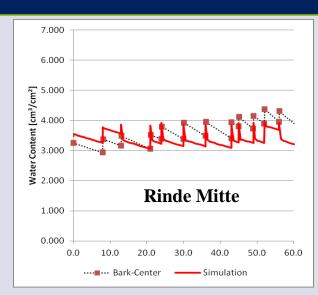
- Tonsubstrat und Rinde oben: nahezu konstante Evaporation
- Rinde Mitte und Rinde unten: ansteigende Evaporation

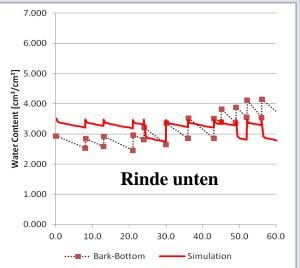
# Ergebnisse: Simulation der Wassergehalte









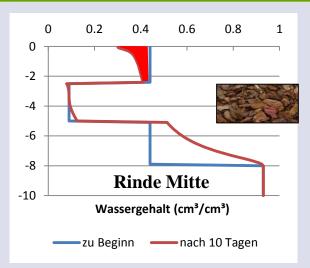


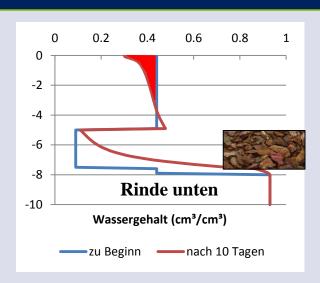
- Simulation bei Rindenabdeckung relativ gut, bei reinem Tonsubstrat verbesserungsbedürftig
- im Vergleich zur Simulation ansteigende gemessene Wassergehalte. Mögliche Ursache: Substratsackung!

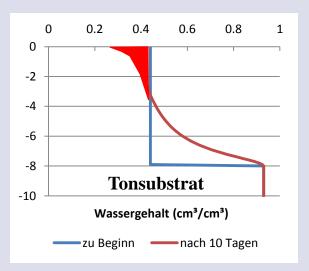
# Anwendungsbeispiel Simulation: Lage der Rindenschicht







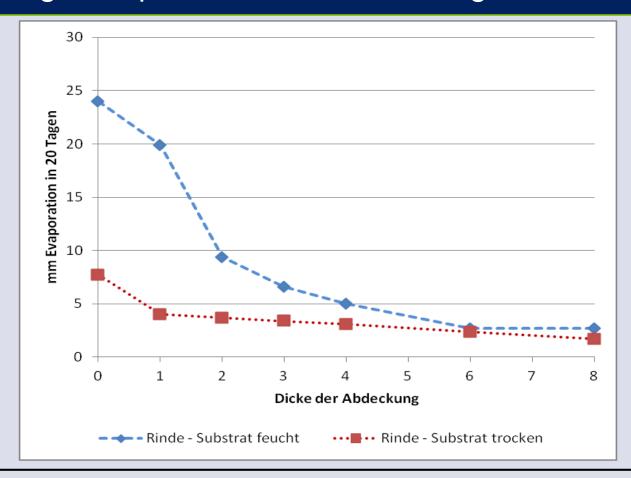




- Nur Rinde oben lässt erhebliche Auswirkungen auf die Evaporation erwarten
- Rinde Mitte und Rinde unten reduziert die kapillare Wassernachlieferung aber zumindest kurzfristig nicht die Evaporation

# Anwendungsbeispiel Simulation: Bestimmung der optimalen Abdeckmächtigkeit

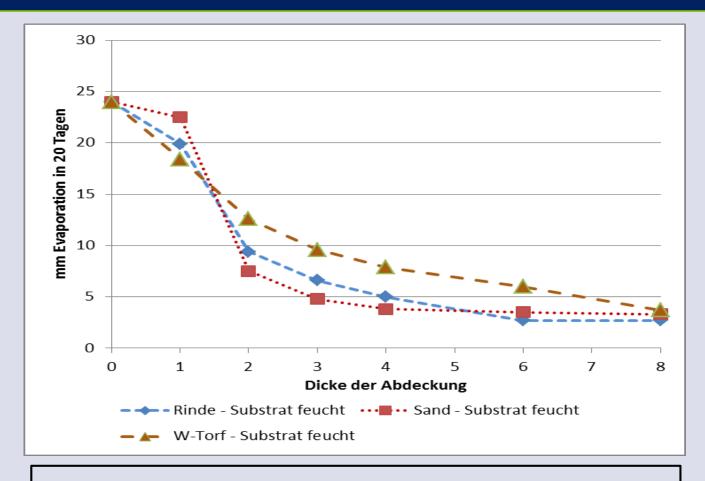




- Reduktion der Verdunstung durch Abdeckung vor allem bei feuchten Substraten
- Optimale Abdeckmächtigkeit 2-4 cm

## Anwendungsbeispiel Simulation: Bestimmung der optimalen Abdeckmächtigkeit





- Auch andere Abdeckmaterialien funktionieren (Sand, Weißtorf)
- Optimierung von physikalischen Eigenschaften und Praktikabilität



### Zusammenfassung und Ausblick

### Erste Ergebnisse

- Abdeckung mit Rinde ist eine Möglichkeit die Evaporation zu reduzieren.
- HYDRUS1D ist als Modell auch für Prozesse in gärtnerischen Kultursubstraten anwendbar zur Beschreibung der reinen Evaporation und mit Einschränkungen auch bei komplexen Prozessen wie Ebbe-Flut-Bewässerung.
- Laborverfahren zur Beschreibung von pF-Kurven einschließlich Hysterese funktionieren und sind für die Modellierung verwendbar.
- Wasserdampftransport ist ein wichtiger Prozess, der bei der Beschreibung der Evaporation in Substraten berücksichtigt werden muss.
- Abdeckung mit Rinde scheint unter dem Gesichtspunkt der Reduzierung der Evaporation besser (oder zumindest genauso gut) geeignet wie die Einarbeitung von Rindenschichten.



## Zusammenfassung und Ausblick

### Ausblick

- Berücksichtigung von Pflanzen (notwendig, macht Modellierung aber sehr viel komplexer!)
- Weitere Abdeckmaterialien müssen berücksichtigt werden
- Praktikabilität von Abdeckungen und kapillarbrechenden Schichten im Zierpflanzenbau muss untersucht werden (Aussehen, Arbeitsaufwand, Vermarktbarkeit).
- Bachelorabschlussarbeit in Kooperation mit Substrathersteller, bei der verschiedene Abdeckmaterialien untersucht werden, hat gerade begonnen.







## Vielen Dank für's Zuhören!