



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**



# **SAPHIR Saxonian Platform for High Performance IRrigation**

**N. Schütze, K. Barfus, U. Griebbach, S. Kloss,  
P. Röhm, S. Seidel, P. Stange, M. Wagner, S. Werisch**

# Gliederung

## Überblick über das Projekt

### Virtuelles Feld

- Modellierung und Simulation

- Validierung mit Experimenten

- Optimierung der Bewirtschaftung

- Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

- Stochastische Ertragsfunktion

### Regionales Informationssystem

- Konzeption Informationssystem

- Implementierung Informationssystem

### Ausblick

# Überblick über das Projekt

# ESF Projekt SAPHIR

- ▶ ESF Förderprogramm für Nachwuchsforschergruppen
- ▶ IHM: 7 Mitarbeiter (4 PostDocs, 3 Doktoranden), verschiedene Disziplinen
- ▶ August 2012 - Dezember 2014
- ▶ Ziel: Ausbildung von hochqualifizierten Bewässerungsspezialisten durch angewandte Forschung und Entwicklung

# Zwei Hauptkomponenten von SAPHIR

- ▶ Entwicklung eines optimierten Bewässerungsmanagements auf der Basis hocheffizienter Präzisionsbewässerungssysteme für sächsische Landwirtschaftsbetriebe (**virtuelles Feld**)
- ▶ Entwicklung eines regionalen Entscheidungshilfesystems für die Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit und Ertragssicherheit in Sachsen für ein integriertes Wasserressourcenmanagement

# Zwei Hauptkomponenten von SAPHIR

- ▶ Entwicklung eines optimierten Bewässerungsmanagements auf der Basis hocheffizienter Präzisionsbewässerungssysteme für sächsische Landwirtschaftsbetriebe ([virtuelles Feld](#))
- ▶ Entwicklung eines [regionalen Entscheidungshilfesystems](#) für die Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit und Ertragssicherheit in Sachsen für ein integriertes Wasserressourcenmanagement

# Strategien und Methoden

- ▶ Bewertung der Effekte des Klimawandels auf bewässerte Kulturen mittels Prozessmodellierung (virtuelles Feld)
- ▶ Verwendung stochastischer Methoden (Quantifizierung von Extremereignissen, Einschätzung der Auswirkungen auf die Erträge bzw. Ertragssicherheit)
- ▶ Wesentliche Kenngrößen und –funktionen (Wasserbedarf, Ertragspotential) größerer regionaler Einheiten auf dem virtuellen Feld berechnet werden und auf größere Einheiten (Agro-Hydrotope in Sachsen) skaliert werden
- ▶ Evaluierung geeigneter Anpassungsmaßnahmen (Bewässerung, Verbesserung Wasserdargebot) an Klimawandel

# Strategien und Methoden

- ▶ Bewertung der Effekte des Klimawandels auf bewässerte Kulturen mittels Prozessmodellierung (virtuelles Feld)
- ▶ Verwendung stochastischer Methoden (Quantifizierung von Extremereignissen, Einschätzung der Auswirkungen auf die Erträge bzw. Ertragssicherheit)
- ▶ Wesentliche Kenngrößen und –funktionen (Wasserbedarf, Ertragspotential) größerer regionaler Einheiten auf dem virtuellen Feld berechnet werden und auf größere Einheiten (Agro-Hydrotope in Sachsen) skaliert werden
- ▶ Evaluierung geeigneter Anpassungsmaßnahmen (Bewässerung, Verbesserung Wasserdargebot) an Klimawandel

# Erstellung des regionalen Informationssystems

- ▶ Erstellung flächendeckender GIS-basierter Karten zu aktuellem Wasserbedarf und Wasserproduktivität, minimalem Wasserbedarf bei maximaler Wasserproduktivität abhängig von der Ertragssicherheit, und zum Entwicklungspotential
- ▶ Auskunft über Effekte (u.a. Ertragssicherheit) durch eine Änderung der Anbaumuster
- ▶ Erstellung eines Entscheidungshilfesystems zur Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit und angepaßter Anbaumuster im Freistaat Sachsen
- ▶ Erstellung von stochastischen Ertrags-, Produktivitäts-, Wasserbedarfsfunktionen

# Virtuelles Feld

# Gliederung

Überblick über das Projekt

## Virtuelles Feld

**Modellierung und Simulation**

Validierung mit Experimenten

Optimierung der Bewirtschaftung

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

Stochastische Ertragsfunktion

## Regionales Informationssystem

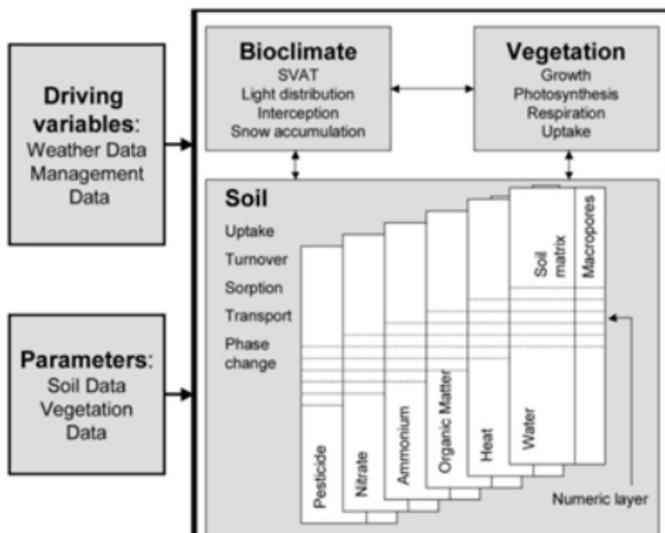
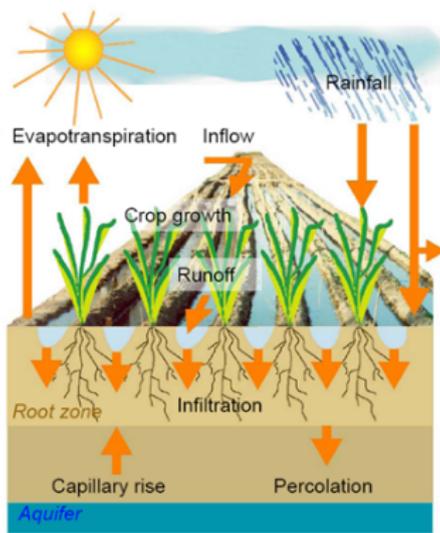
Konzeption Informationssystem

Implementierung Informationssystem

Ausblick

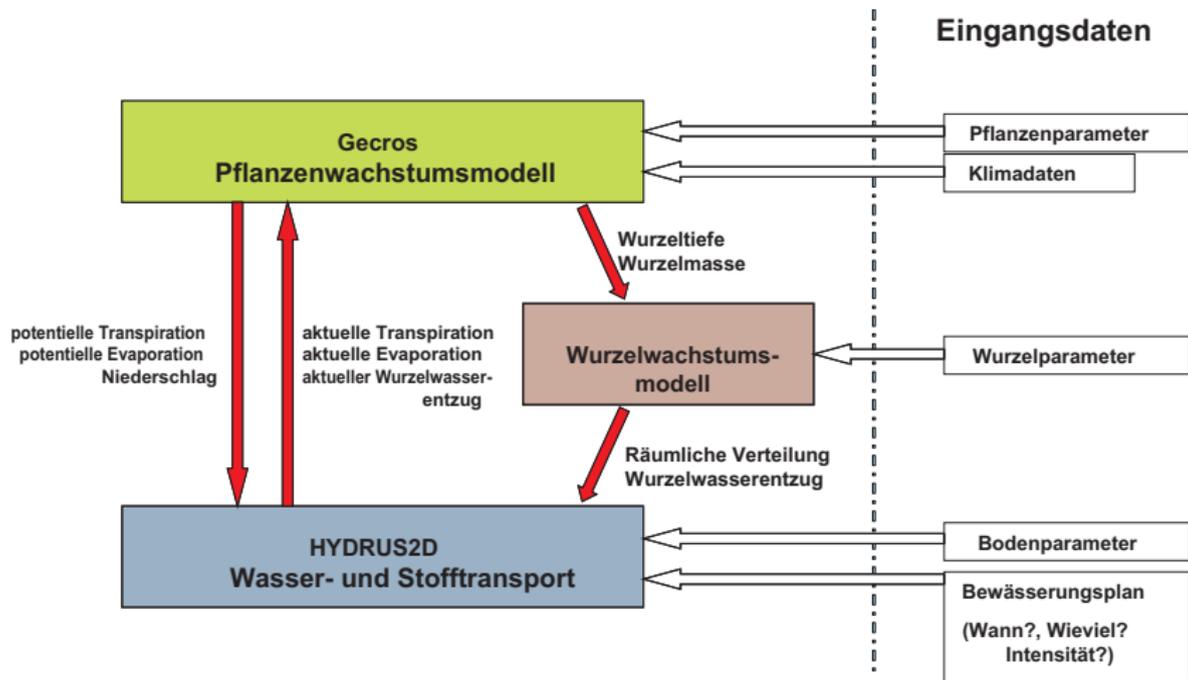
# Simulationsbasiertes virtuelles Feld

- ▶ Abbildung zentraler Prozesse im System Boden - Pflanze - Atmosphäre einschließlich der Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungspraktiken (z.B. Bewässerung)



# Gekoppeltes Mikrobewässerungsmodell (2)

S. Walser, N. Schütze, M. Fahle, and P. Ruelle (2013): Optimal irrigation scheduling and irrigation control to increase water productivity and profit in subsurface drip irrigated agriculture – Irrigation and Drainage



# Gekoppeltes Oberflächenbewässerungsmodell (2)

G. Schmitz, T. Wöhling, M. de Paly, and N. Schütze 2007:

GAIN-P – A new strategy to increase furrow irrigation efficiency. – Arabian Journal for Science and Engineering

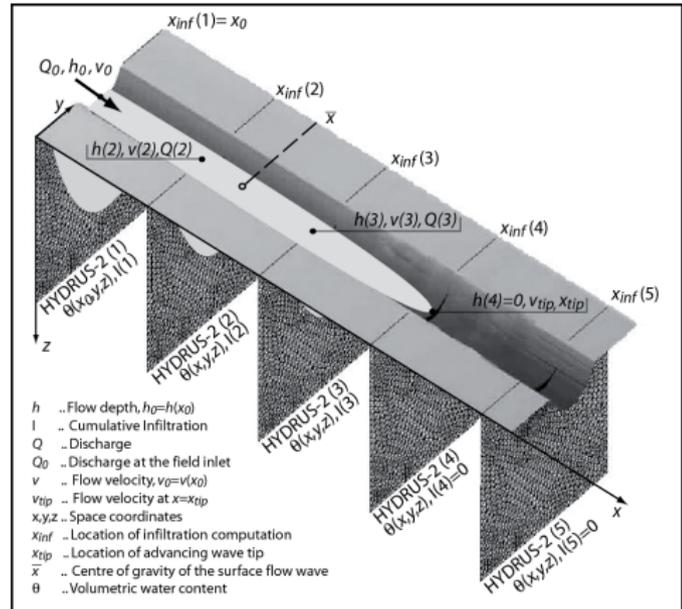


## Kopplung Furchenbewässerung

analytisches hydrodynamisches  
Oberflächenströmungsmodell

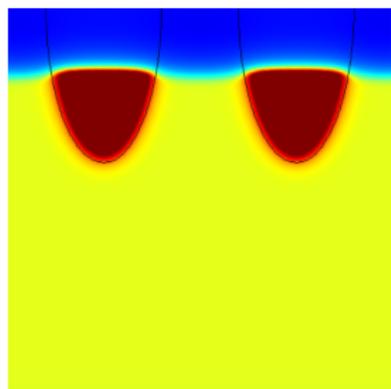
und

eine Zahl von hydrodynamischen Bodenwasserströmungsmodellen (Hydrus 2D)

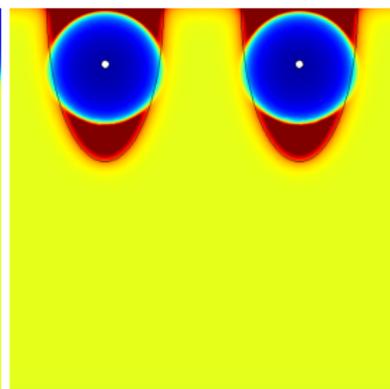


## Modellierung von Bewässerungssystemen (2)

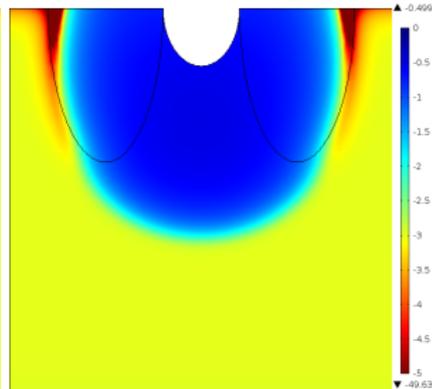
Beregnung



Tropfbewässerung

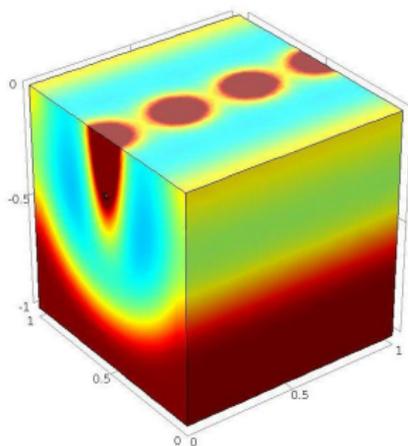


Furchenbewässerung

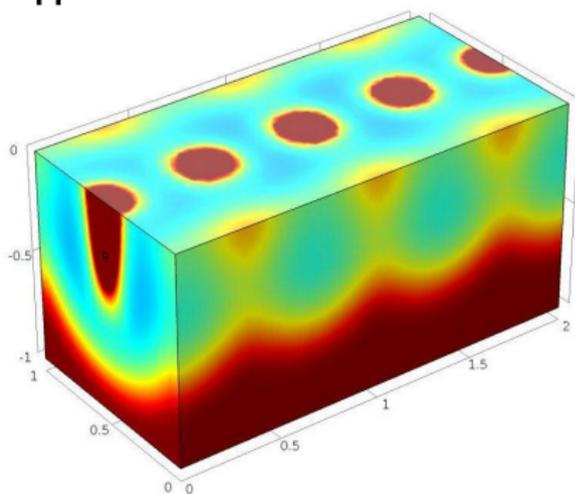


Simulation unterschiedlicher Bewässerungsmethoden (sandiger Lehm: 1m x 1m) – Verteilung der Saugspannung nach Beendigung der Bewässerung

Different 3D problems lead to same 2D approximation



4 roots, 4 emitters, uniform  
uniform root water uptake

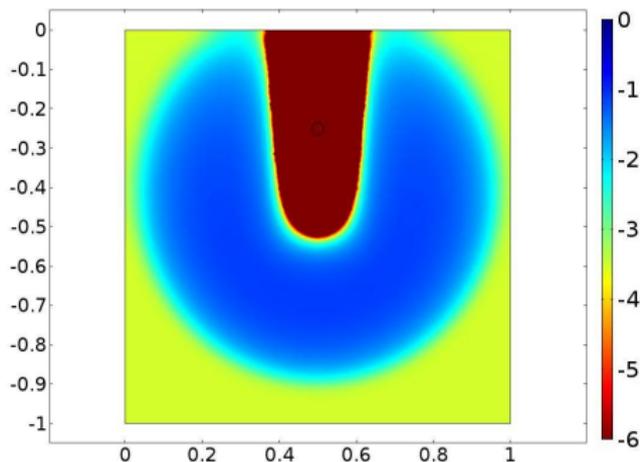


5 roots, 4 emitters, non-uniform  
heterogeneous root water uptake

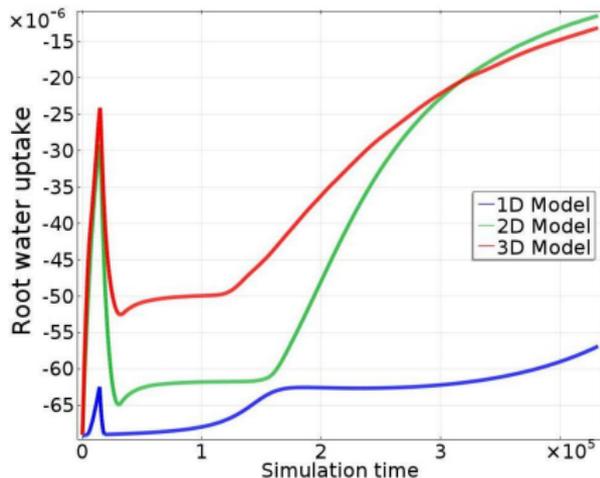


**both models have the same 1D/2D approximations**

same geometry, initial pressure head: -3.5 m



Pressure head, simulation period: 120 h



Effective root water uptake during simulation



**large differences between 1D, 2D and 3D model in root water uptake**

Root water uptake in the different models:

Model	Irrigation [mm]	Root-uptake [mm]	Root-uptake [%]
1D sandy loam	30	28.91	96.4
2D sandy loam	30	24.2	80.1
3D sandy loam	30	21.88	72.9
3D sandy loam*	30	25.2	84
1D sand	30	29.2	97.3
2D sand	30	19.12	63.7
3D sand	30	15.4	51.3



The error in root water uptake is up to 47.3% due to model approximation.

# Gliederung

Überblick über das Projekt

## Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

**Validierung mit Experimenten**

Optimierung der Bewirtschaftung

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

Stochastische Ertragsfunktion

## Regionales Informationssystem

Konzeption Informationssystem

Implementierung Informationssystem

Ausblick

# Validierung mit Experimenten und Optimierung der Bewirtschaftung

- ▶ Durchführung spezifischer Experimente zur Kalibrierung und Validierung der Modelle und Optimierungstechniken
- ▶ Umfangreiche Simulations- und Optimierungsrechnungen mit dem virtuellen Feld für repräsentative Standorte in Sachsen
- ▶ Bereitstellung von Pflanzenwachstumsmodellen für Sachsen
- ▶ Ermittlung eines optimalen Bewässerungsmanagements
- ▶ Standortbezogene Beratung landwirtschaftlicher Betriebe
  - ▶ Bewässerungspläne
  - ▶ Planung und Programmierung von Bewässerungsanlagen
  - ▶ Kosten-Nutzen-Analysen

# Validierung mit Experimenten und Optimierung der Bewirtschaftung

- ▶ Durchführung spezifischer Experimente zur Kalibrierung und Validierung der Modelle und Optimierungstechniken
- ▶ Umfangreiche Simulations- und Optimierungsrechnungen mit dem virtuellen Feld für repräsentative Standorte in Sachsen
- ▶ Bereitstellung von Pflanzenwachstumsmodellen für Sachsen
- ▶ Ermittlung eines optimalen Bewässerungsmanagements
- ▶ Standortbezogene Beratung landwirtschaftlicher Betriebe
  - ▶ Bewässerungspläne
  - ▶ Planung und Programmierung von Bewässerungsanlagen
  - ▶ Kosten-Nutzen-Analysen

# Validierung der virtuellen Felder

- ▶ Durchführung von Experimenten an 3 Standorten
  - ▶ LfULG Pillnitz
  - ▶ Lysimeterstation Brandis
  - ▶ Gewächshaus Dürnast, TU München
- ▶ Intensive Datenerhebung
  - ▶ Pflanzenkennwerte (LAI, Ertrag ...)
  - ▶ Saugspannung, Wassergehalt
- ▶ Modellkalibrierung und -validierung anhand von Experimenten und Versuchsdaten

# LfULG Pillnitz

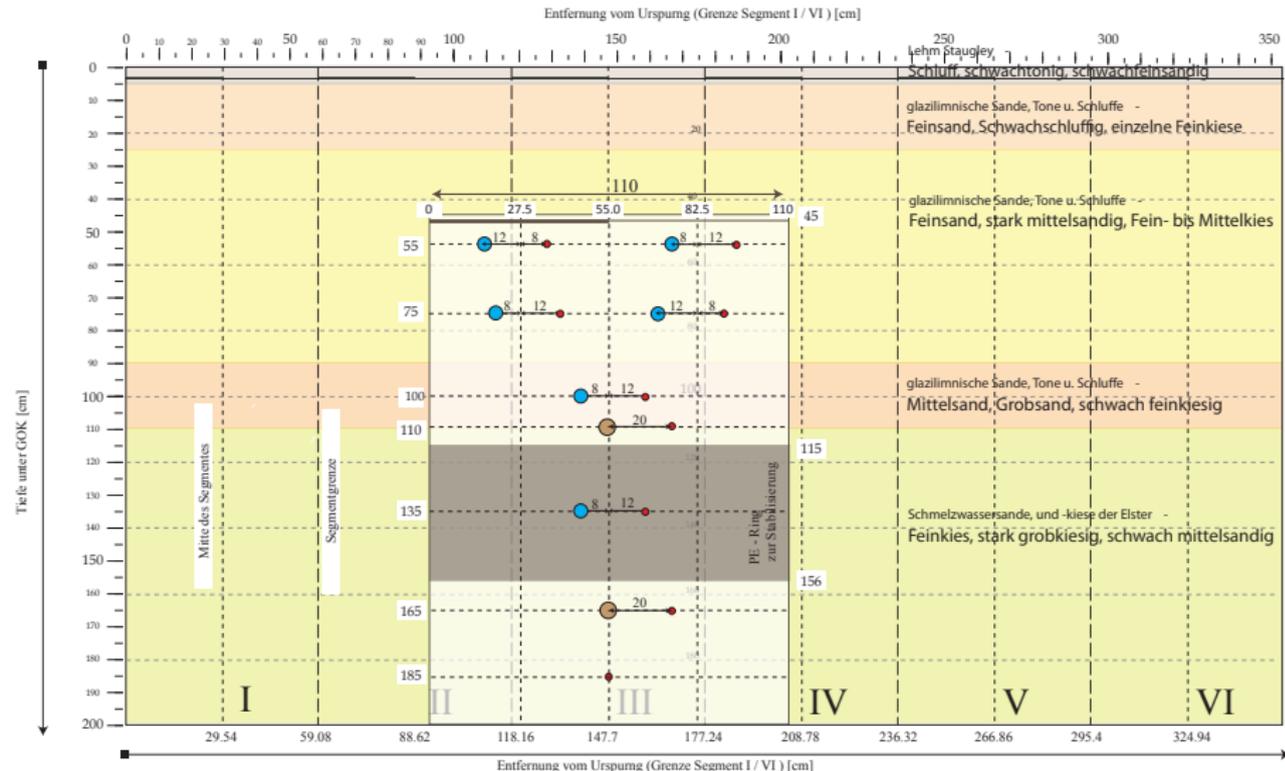
- ▶ 2009 - 2014
- ▶ Bewässerungs- und Sortenversuche
- ▶ Erbse, Zwiebel, Weißkohl, Buschbohne
- ▶ Parameterisierung verschiedener Sorten
- ▶ Betreuung: Sabine Seidel





# Seitenansicht des entrollten Lysimeters

alle Berechnungen beruhen auf der Annahme eines Lysimeters mit einem Innendurchmesser von 112,83 cm (Fläche = 1m<sup>2</sup>)



- Hydra -  Ø 50 mm
- vorhandene Bohrung  Ø 50 mm
- pF meter -  Ø 26 mm

# Gewächshaus Dürnast, TU München

- ▶ 2009-2014
- ▶ Körnermais
- ▶ Bewässerungsversuch (2010 auch Düngungsversuch)
- ▶ Zerlegung der Pflanzen, Wurzelprofile, Untersuchung der Strahlungsverhältnisse im Gewächshaus
- ▶ Betreuung: Sebastian Kloß



# Pflanzenkennwerte

wöchentliche Bestimmung von:

- ▶ stomatärer Leitfähigkeit (Trockenstress)
- ▶ N-Gehalt der Blätter
- ▶ Pflanzenhöhen
- ▶ phänologischen Phasen

in bestimmten Stadien (Blüte...):

- ▶ Blattflächenindex (LAI)
- ▶ Biomasse (Partitionierung)

# Bodenmesstechnik

- ▶ Kontinuierliche Bestimmung von:
  - ▶ Saugspannung (pF Meter, Tensiometer)
  - ▶ Wassergehalt (FDR Sonden, Diviner)
- ▶ in 3 Tiefen (30, 60, 90 cm)
- ▶ in 5 Feldern: 8 Messpunkte mit je 6 Sensoren
- ▶ Bestimmung der  $vGM^1$  Parameter



---

<sup>1</sup>van Genuchten Mualem Parameter, beschreiben pF-Kurve

# Gliederung

Überblick über das Projekt

## Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

Validierung mit Experimenten

**Optimierung der Bewirtschaftung**

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

Stochastische Ertragsfunktion

## Regionales Informationssystem

Konzeption Informationssystem

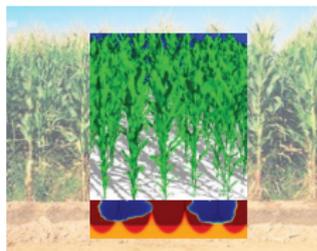
Implementierung Informationssystem

Ausblick

# Simulationsbasiertes virtuelles Feld



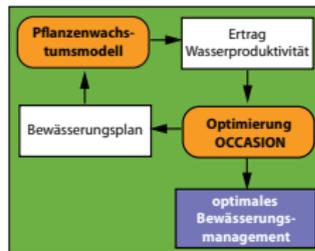
Bewässerungssysteme der landwirtschaftlichen Praxis



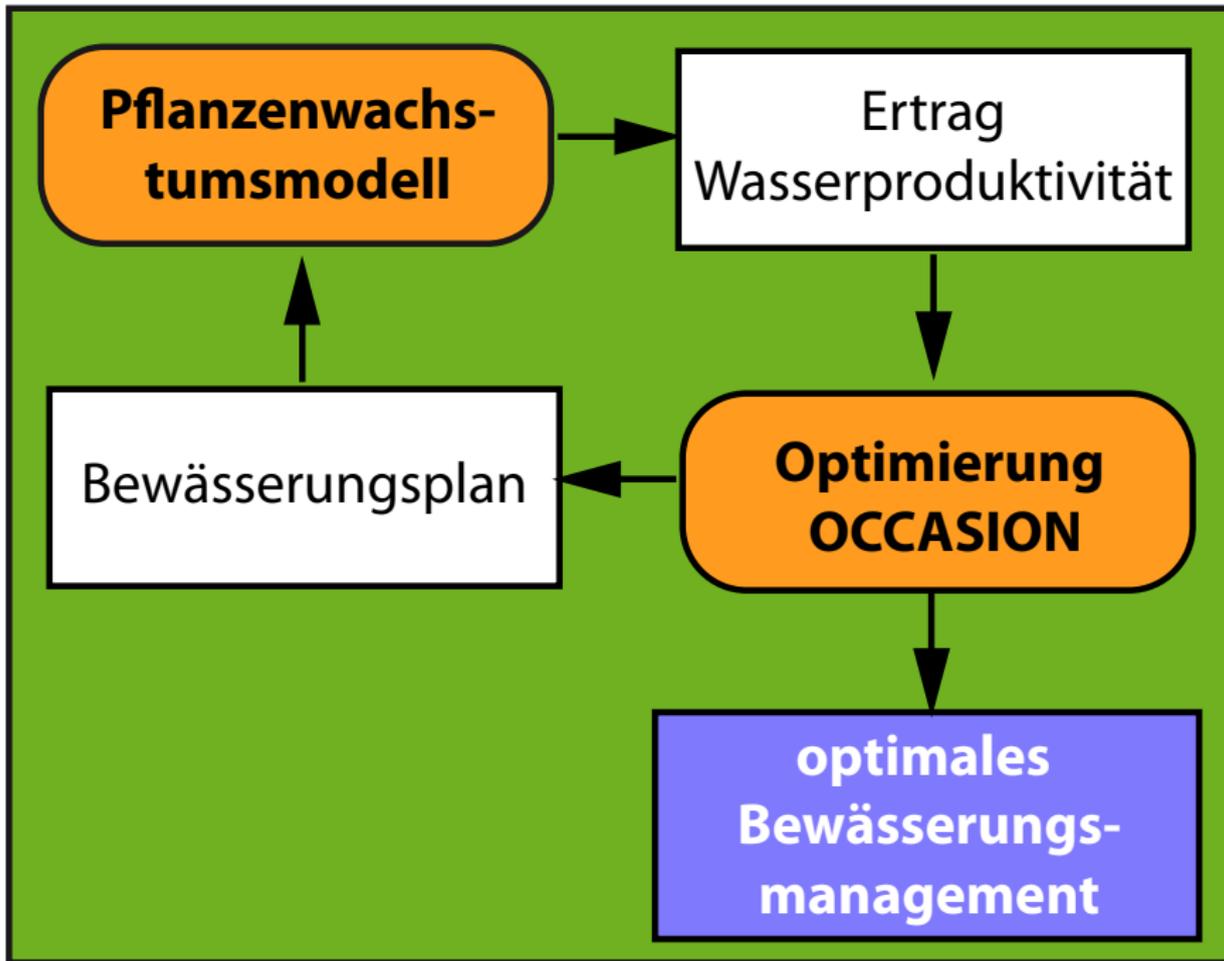
Erstellung des virtuellen Feldes  
Modellierung von Pflanzenwachstum und Wassertransport



Implementation der Bewässerungsplanung und -steuerung



optimale Bewässerungsplanung und -steuerung



# Gliederung

Überblick über das Projekt

## Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

Validierung mit Experimenten

Optimierung der Bewirtschaftung

**Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen**

Stochastische Ertragsfunktion

## Regionales Informationssystem

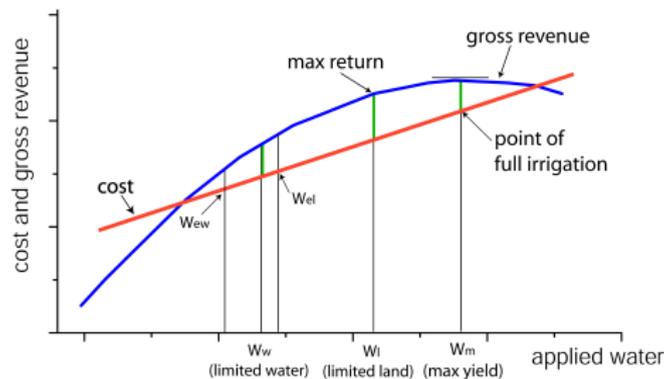
Konzeption Informationssystem

Implementierung Informationssystem

Ausblick

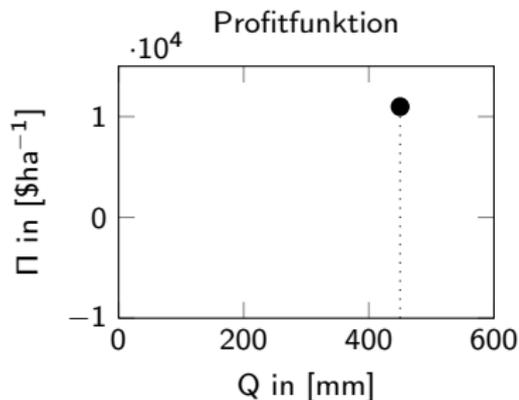
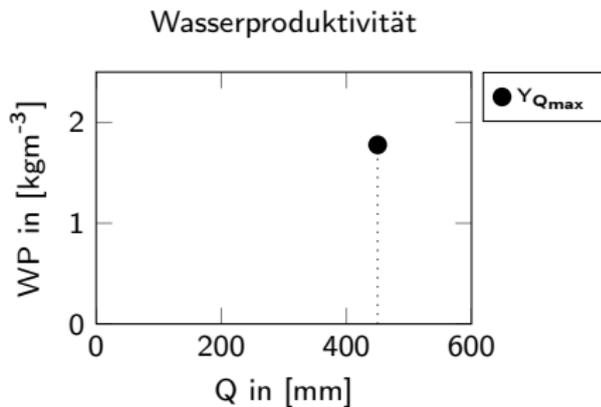
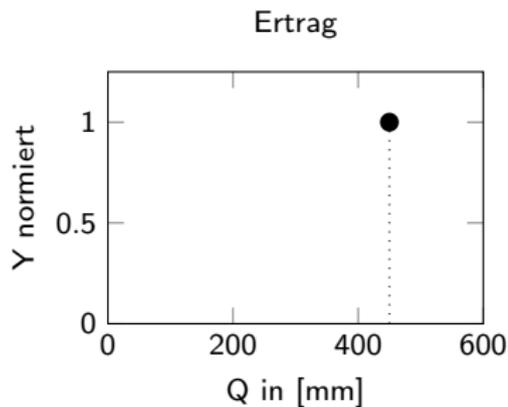
# Optimale Defizitbewässerung

- ▶ gezielter Trockenstress in gering ertragswirksamen phänologischen Phasen
- ▶ geringe Ertragsreduktion bei hoher Wassereinsparung
- ▶ Maximierung von Ertrag, Wasserproduktivität bzw. Profit



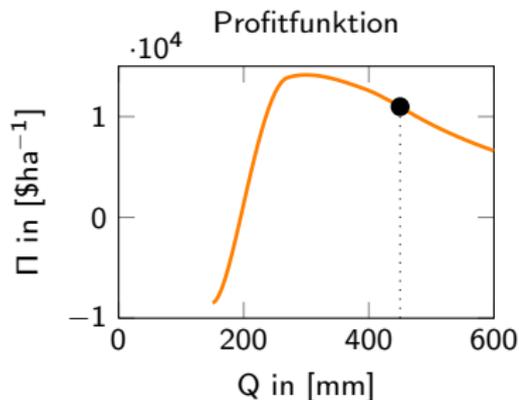
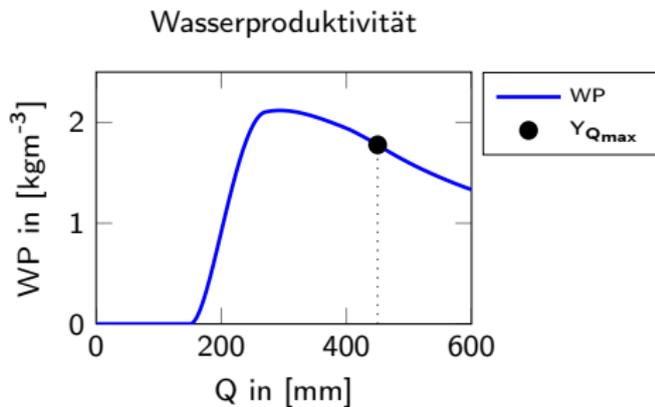
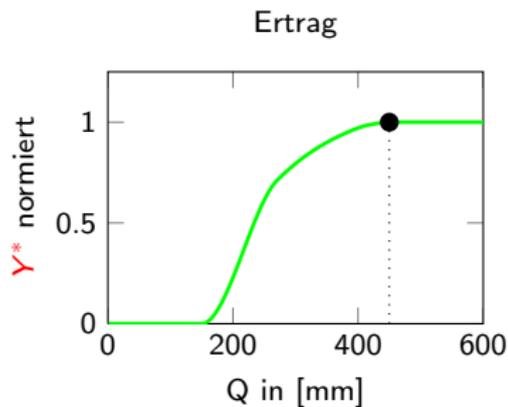
revenue = yield x crop price. profit = revenues - cost  
adapted from English and Raja (1996)

# Bewässerungsbedarf am Beispiel von Mais



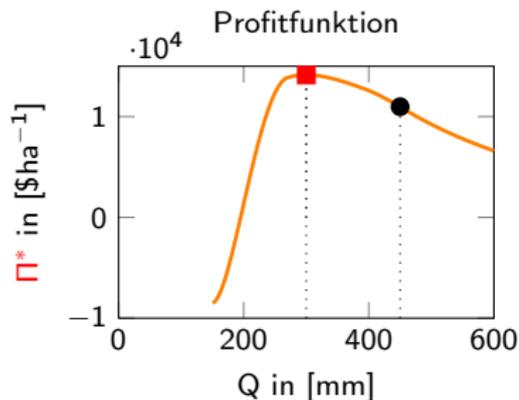
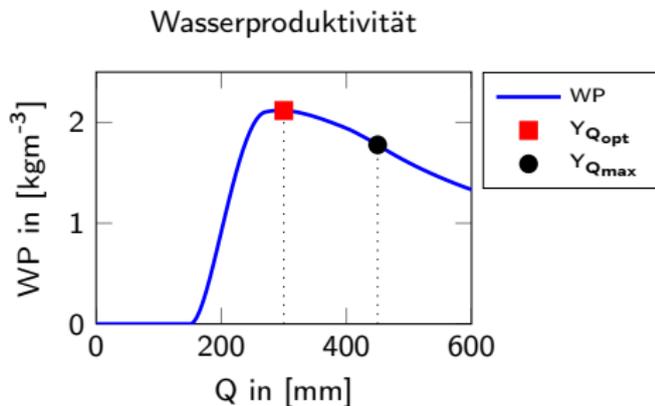
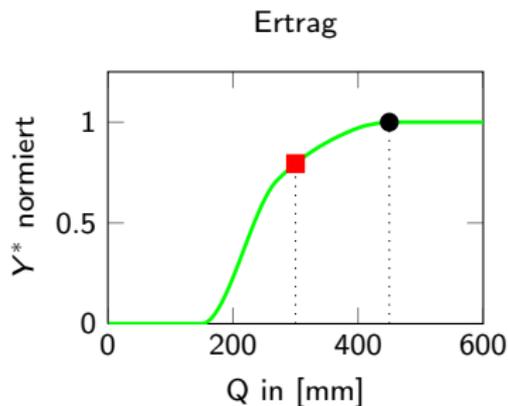
- ▶ Wasserbedarf nach FAO 56
- ▶ Ertrag nach FAO 33
- ▶ Gewinn  $\Pi(Q_{max}) = rY(Q_{max}) - C_f - \sum_{i=1}^n (cq_i + C_v)$

# Bewässerungsbedarf am Beispiel von Mais (2)



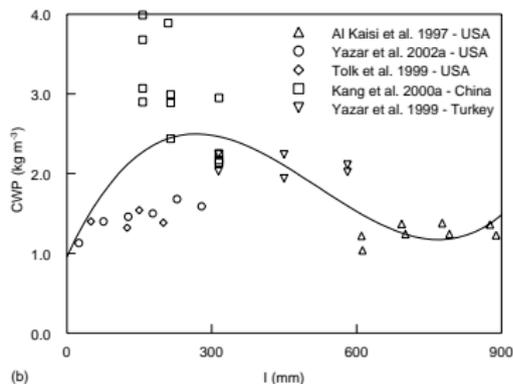
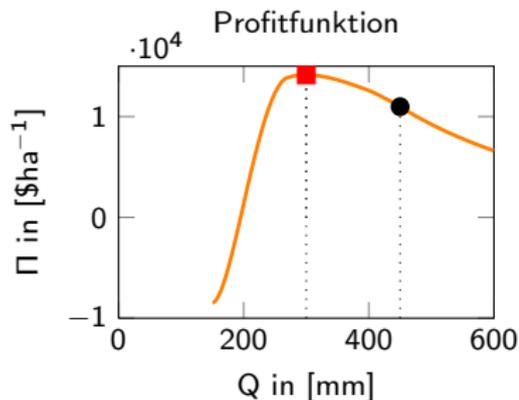
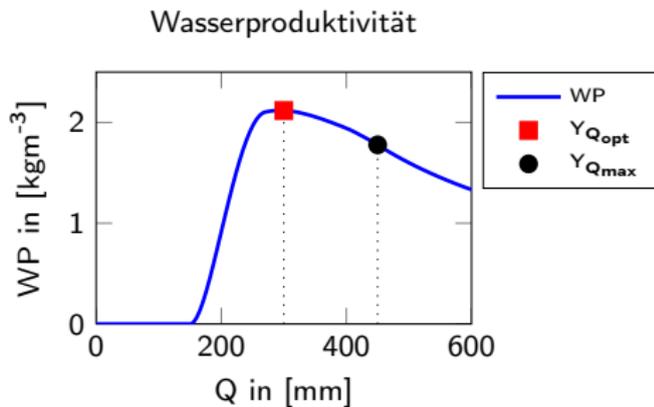
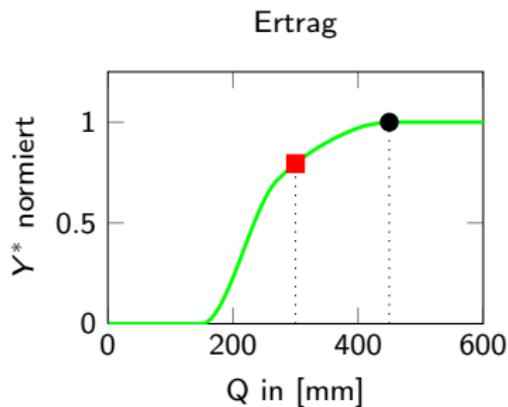
- ▶ Defizitbewässerung
- ▶ für  $Y^*$  bei gegebenem  $Q$  Optimierung notwendig

# Bewässerungsbedarf am Beispiel von Mais (3)



- ▶ Prozessmodellierung
- ▶ für  $\Pi^*$  Optimierung notwendig
- ▶ nutzbar für wasserlimitierte

# Bewässerungsbedarf am Beispiel von Mais (4)



nach Zwart & Bastiaanssen (2004)

### 3. Anwendungen in der Praxis (1)

Defizit-Bewässerungsexperimente zur Verbesserung der Wasserproduktivität

Frankreich



WP  $\approx 2,7\text{--}3,0 \text{ kgm}^{-3}$

Freising



WP  $\approx 2,3 \text{ kgm}^{-3}$

Oman



WP  $\approx 2,1 \text{ kgm}^{-3}$

Wasserproduktivitäten für Mais weltweit:  $\approx 0,8\text{--}1,6 \text{ kgm}^{-3}$  FAO 33

# Gliederung

Überblick über das Projekt

## Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

Validierung mit Experimenten

Optimierung der Bewirtschaftung

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

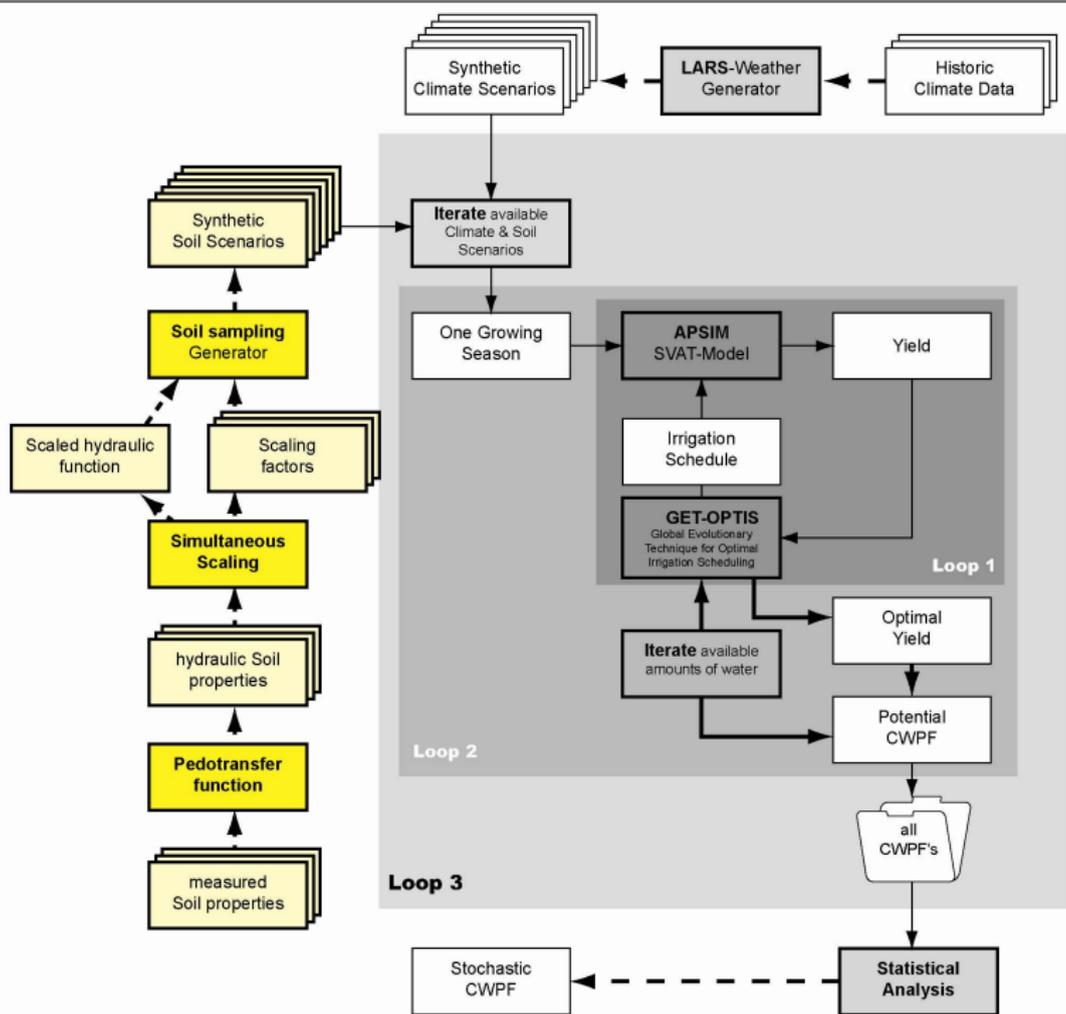
**Stochastische Ertragsfunktion**

## Regionales Informationssystem

Konzeption Informationssystem

Implementierung Informationssystem

Ausblick

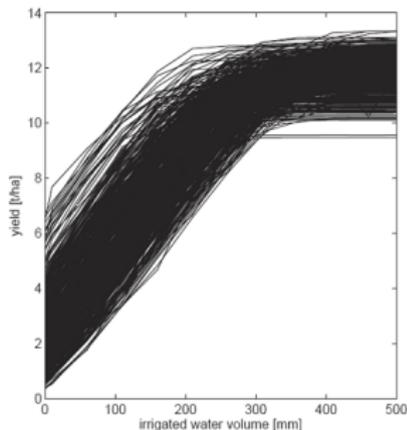


# Bewässerungsbedarf unter Berücksichtigung der Variabilität von Klima und Boden

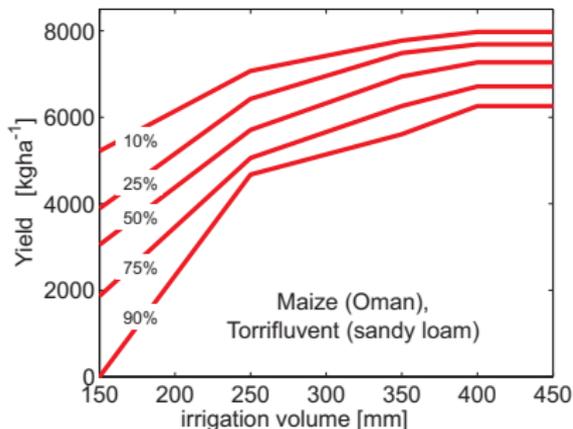
N. Schütze (2010): OCCASION: New Planning Tool for Optimal Climate Change Adaption Strategies in Irrigation

– Journal of Irrigation and Drainage Engineering

## Erweiterung zur stochastischen Ertragsfunktionen



Standort Montpellier (Frankreich)



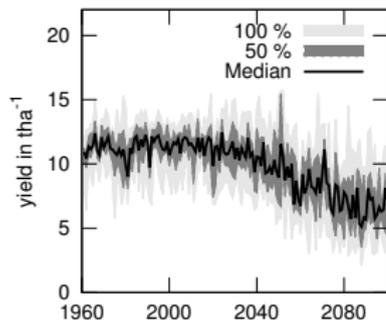
Standort Barka (Oman)

# Anwendungen in der Praxis (2)

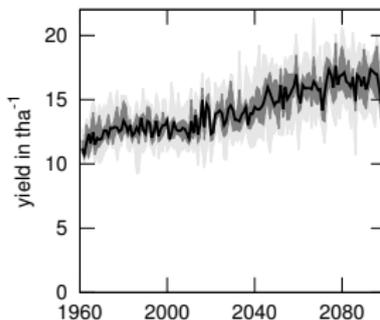
Abschätzung der Wirkung von Bewässerungsmaßnahmen in Sachsen unter Bedingungen des Klimawandels (SAPHIR)

## Ertrag Kartoffel

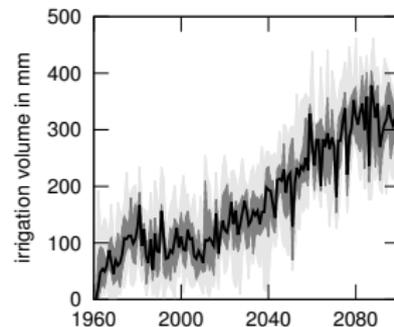
WETTREG 2010 - A1B



## Ertrag Kartoffel (bewässert)



## Bewässerungsbedarf



# Regionales Informationssystem

# Gliederung

Überblick über das Projekt

Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

Validierung mit Experimenten

Optimierung der Bewirtschaftung

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

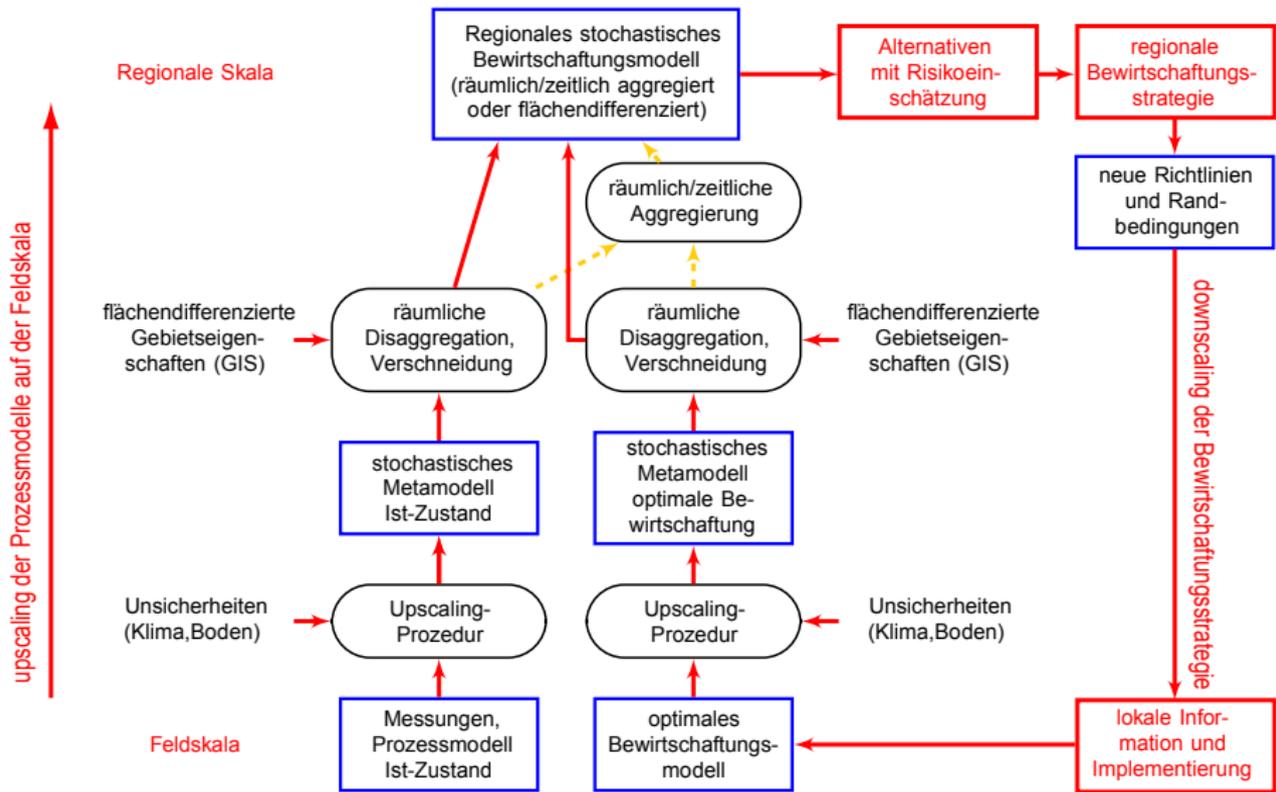
Stochastische Ertragsfunktion

**Regionales Informationssystem**

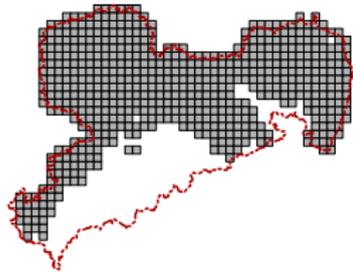
**Konzeption Informationssystem**

Implementierung Informationssystem

Ausblick

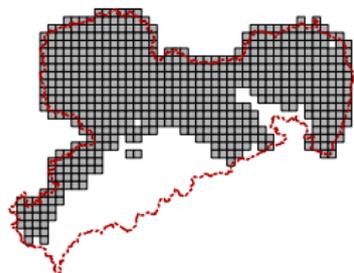


# Konzeption Informationssystem



- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung:  
Landwirtschaft

# Konzeption Informationssystem



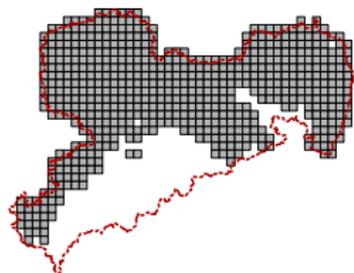
- ▶ 5 km x 5 km
- ▶ *KWB* < 200 mm
- ▶ Landnutzung:  
Landwirtschaft



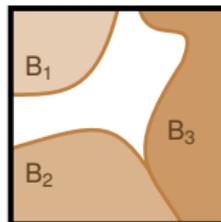
## Klima

Klima 1  
Klima 2  
Klima 3  
Klima 4  
Klima 5  
...  
...  
Klima *n*

# Konzeption Informationssystem



- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung:  
Landwirtschaft



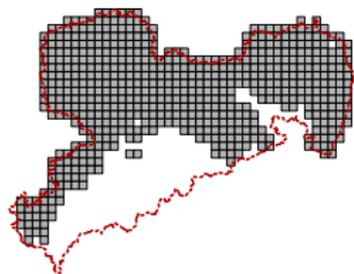
Klima

Klima 1  
Klima 2  
Klima 3  
Klima 4  
Klima 5  
...  
...  
Klima  $n$

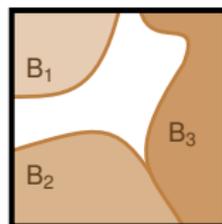
Boden

Boden 1  
Boden 2  
...  
...  
Boden  $n$

# Konzeption Informationssystem



- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung:  
Landwirtschaft



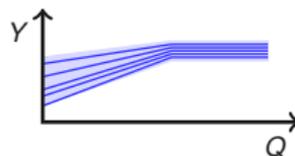
Klima

Klima 1  
Klima 2  
Klima 3  
Klima 4  
Klima 5  
...  
...  
Klima  $n$

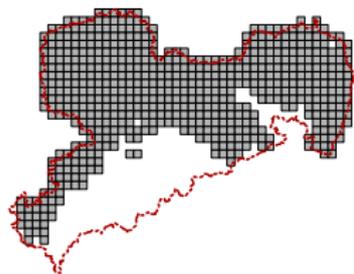
Boden

Boden 1  
Boden 2  
...  
...  
Boden  $n$

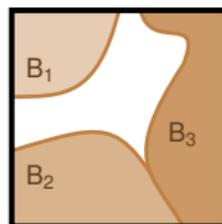
SCWPF



# Konzeption Informationssystem



- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung:  
Landwirtschaft



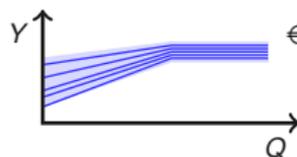
Klima

Klima 1  
Klima 2  
Klima 3  
Klima 4  
Klima 5  
...  
...  
Klima  $n$

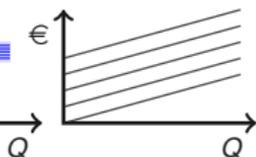
Boden

Boden 1  
Boden 2  
...  
...  
Boden  $n$

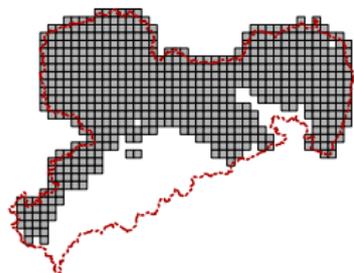
SCWPF



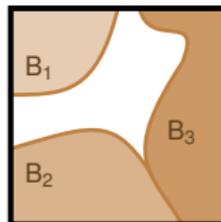
Kostenfkt.



# Konzeption Informationssystem



- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung: Landwirtschaft



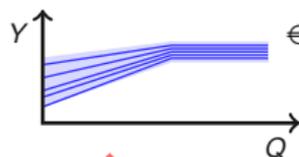
Klima

Klima 1  
Klima 2  
Klima 3  
Klima 4  
Klima 5  
...  
...  
Klima  $n$

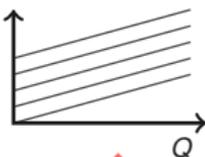
Boden

Boden 1  
Boden 2  
...  
...  
Boden  $n$

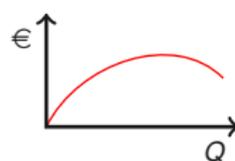
SCWPF



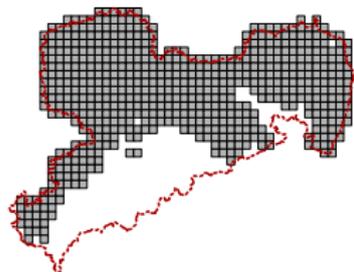
Kostenfkt.



Gewinnfkt.

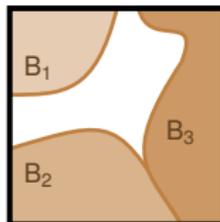


# Konzeption Informationssystem

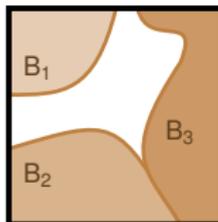


- ▶ 5 km x 5 km
- ▶  $KWB < 200$  mm
- ▶ Landnutzung: Landwirtschaft

Pflanze 1

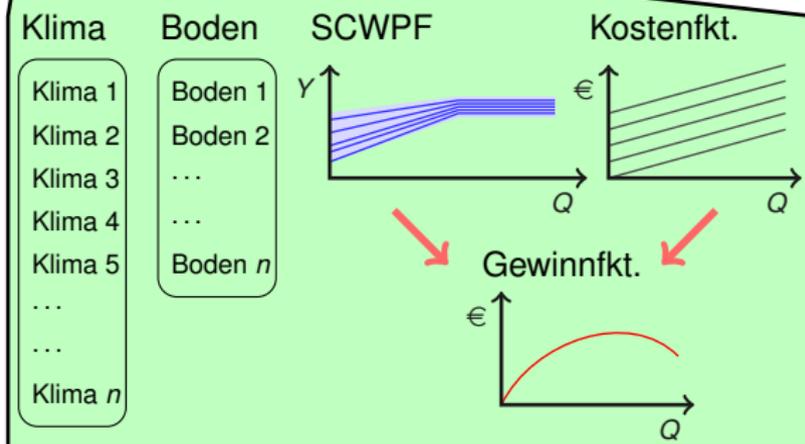
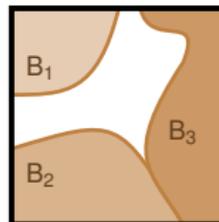


Pflanze 2



...

Pflanze n



# Gliederung

Überblick über das Projekt

Virtuelles Feld

Modellierung und Simulation

Validierung mit Experimenten

Optimierung der Bewirtschaftung

Optimale Defizitbewässerung und stoch. Ertragsfunktionen

Stochastische Ertragsfunktion

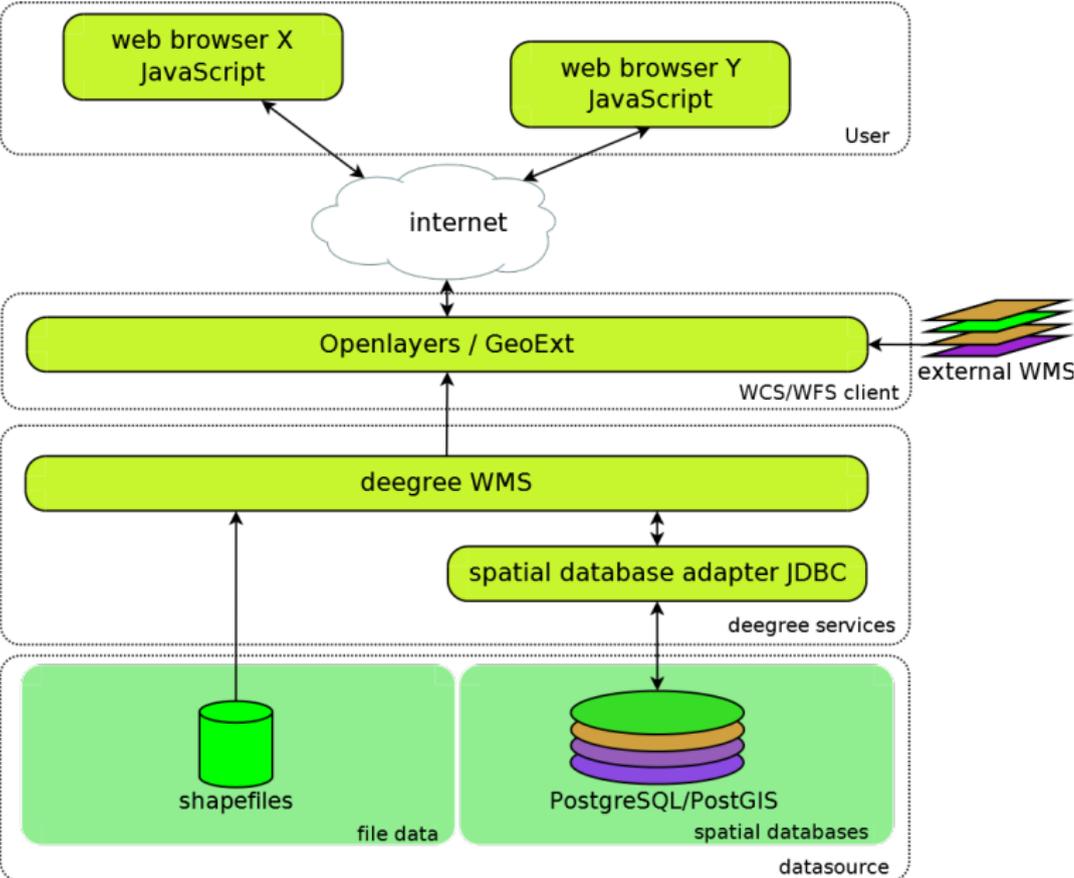
**Regionales Informationssystem**

Konzeption Informationssystem

Implementierung Informationssystem

Ausblick

# Entscheidungshilfesystem - IT-Konzept



# Datenauswahl mittels Formular

The screenshot displays the SAPHIR - Entscheidungshilfesystem interface. The main window is divided into several sections:

- Map Area:** A grid-based map showing climate data. A 'Feature Info' window is open, displaying data for a selected climate cell (ID: 1004):

Parameter	Value
Klimazelle	1004
Temp_1961_1990	6.9
Temp_1991_2020	7.2
Temp_2021_2050	8.5
Temp_2071_2100	10.6
- Configuration Form (Auswahlformular):** Located on the right, it includes:
  - erwünschter Ertrag: 4350 (slider) to 6130
  - Modell: WR2010
  - Szenario: A1B
  - Parameter: TM
  - Zeitraum: 1961 - 1990
- Legend (Legende):** Located at the bottom left, it defines the color scale for the climate data:

Layer	Color	Value Range
sn_border	Black	-
layer_db_klima_wr2010_a1b_tm_1961_1990	Dark Blue	K_K1 von: 4.3 bis: 5.18
	Blue	K_K2 von: 5.18 bis: 6.06
	Light Blue	K_K3 von: 6.06 bis: 6.94
	Cyan	K_K4 von: 6.94 bis: 7.82
	Green	K_K5 von: 7.82 bis: 8.7

# Ausblick

## Bewässerungslandbau in Deutschland

### Forschung trifft Anwendung

**Kolloquium – 24. September**  
**Technischer Workshop – 25. September**  
**in Dresden**



### SAPHIR Tagung

Die Tagung „Forschung trifft Anwendung“ zeigt das Spektrum der aktuellen Forschung im Bereich Bewässerungslandbau in Deutschland auf. Dazu haben wir international anerkannte Wissenschaftler aus ganz Deutschland eingeladen, die ihre Projekte sowie neueste Forschungsergebnisse zu aktuellen Themen im Rahmen des Kolloquiums **am ersten Tag** vorstellen werden.

Die Teilnehmer des Kolloquiums können eigene Projekte in einer Posterausstellung präsentieren.

**Am zweiten Tag** der Tagung werden interessierten Anwendern des Bewässerungslandbaus neue Technologien der Modellierung, Simulation und der optimalen Bewässerungssteuerung in drei technischen Workshops vorgestellt. In diesen einführenden Workshops können am Computer verschiedene Anwendungsbeispiele (u.a. Prozesssimulation von Mikrobewässerungsanlagen, Programmierung von Steuerungsgeräten wie den NMC von Netafim) aktiv getestet werden, die den Teilnehmern Anregungen für Ihre eigenen Projekte geben sollen.



Versuchsfeld in Pillnitz

### Kontakt



Professur für Hydrologie (3.OG)

**Professur für Hydrologie**  
Institut für Hydrologie und Meteorologie  
Technische Universität Dresden  
Bergstraße 66,  
D-01069 Dresden  
Tel.: +49 (0)351-463-33931  
<http://tu-dresden.de/fgh/was/hydrologie>

**Kontakt:**  
Dr. Niels Schütze  
(Niels.Schuetze@tu-dresden.de)

**Anmeldung:**  
Dr. Sabine Seidel  
(sabine.seidel@tu-dresden.de)

