

**Integrierte Wasserbewirtschaftung in ariden Regionen  
durch Einsatz simulationsbasierter Optimierung  
am Beispiel landwirtschaftlich geprägter Gebiete im Oman**

**Jens Grundmann, Niels Schütze, Gerd Schmitz, Franz Lennartz**

**2. IWAS- Statuskolloquium**  
**KUBUS – Leipzig, 15. April 2011**

# The IWAS research initiative

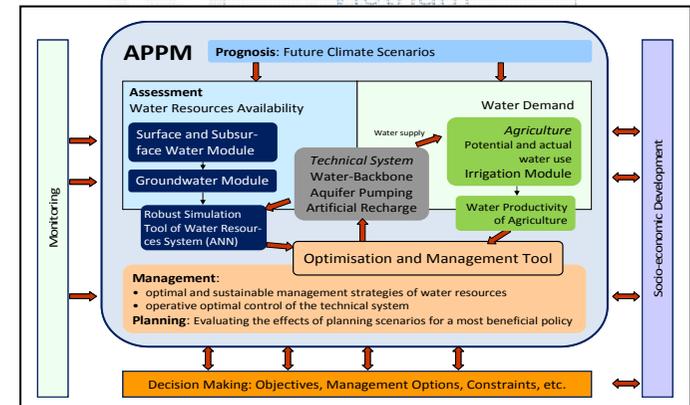
## 1 Problemstellung & Ziele

## 2 Methodik Bewirtschaftungsmodell Ersatzmodelle Optimierung

## 3 Exemplarische Anwendung

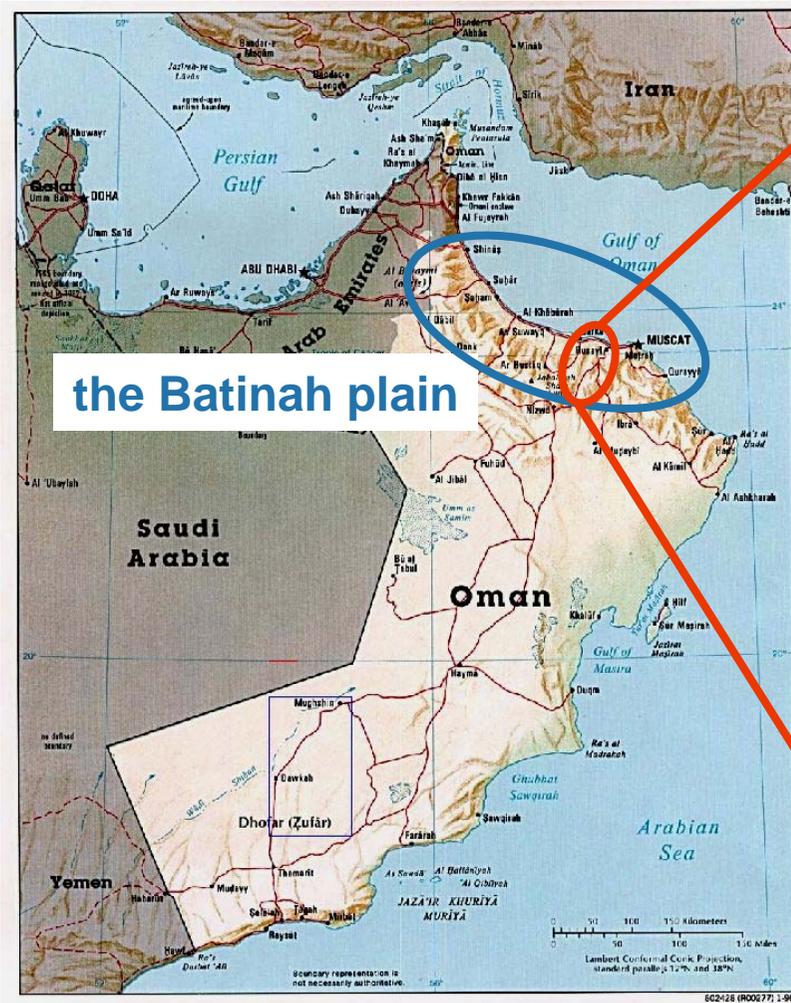
## 4 Zusammenfassung

## 5 Perspektiven



# 1 Problemstellung & Ziele

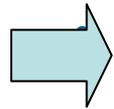
## Untersuchungsgebiet



# 1 Problemstellung & Ziele

## Übernutzung der Wasserressourcen

### Pilotregion: Al-Batinah im Norden Omans



wichtigste landwirtschaftliche und bevölkerungsreichste Region Omans

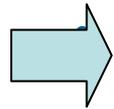
- Starkes Bevölkerungswachstum (3%)
  - Knappe Wasserressourcen mit hoher raumzeitlicher Variabilität und Dynamik
  - Wasserbedarf der Landwirtschaft >90%
    - Bei geringer Effizienz der Wassernutzung (hohe Verluste)
    - Übernutzung der Grundwasservorkommen für die Bewässerung
- Salzwassereintritte vom Meer in das Grundwasser
- Bewässerung mit salzhaltigen Wasser -- Bodenversalzung
- Einkommenseinbußen, Aufgabe von Farmen, Landflucht



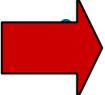
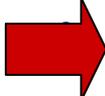
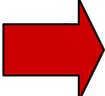
# 1 Problemstellung & Ziele

## Übernutzung der Wasserressourcen

### Pilotregion: Al-Batinah im Norden Omans



wichtigste landwirtschaftliche und bevölkerungsreichste Region Omans

- Starkes Bevölkerungswachstum (3%)
  - Knappe Wasserressourcen mit hoher räumlicher Variabilität und Dynamik
  - Wasserbedarf der Landwirtschaft >90%
    - Bei geringer Effizienz der Wassernutzung (hohe Verluste)
    - Übernutzung der Grundwasservorkommen für die Bewässerung
-  Salzwassereintritte vom Meer in das Grundwasser
-  Bewässerung mit salzhaltigen Wasser -- Bodenversalzung
-  Einkommenseinbußen, Aufgabe von Farmen, Landflucht

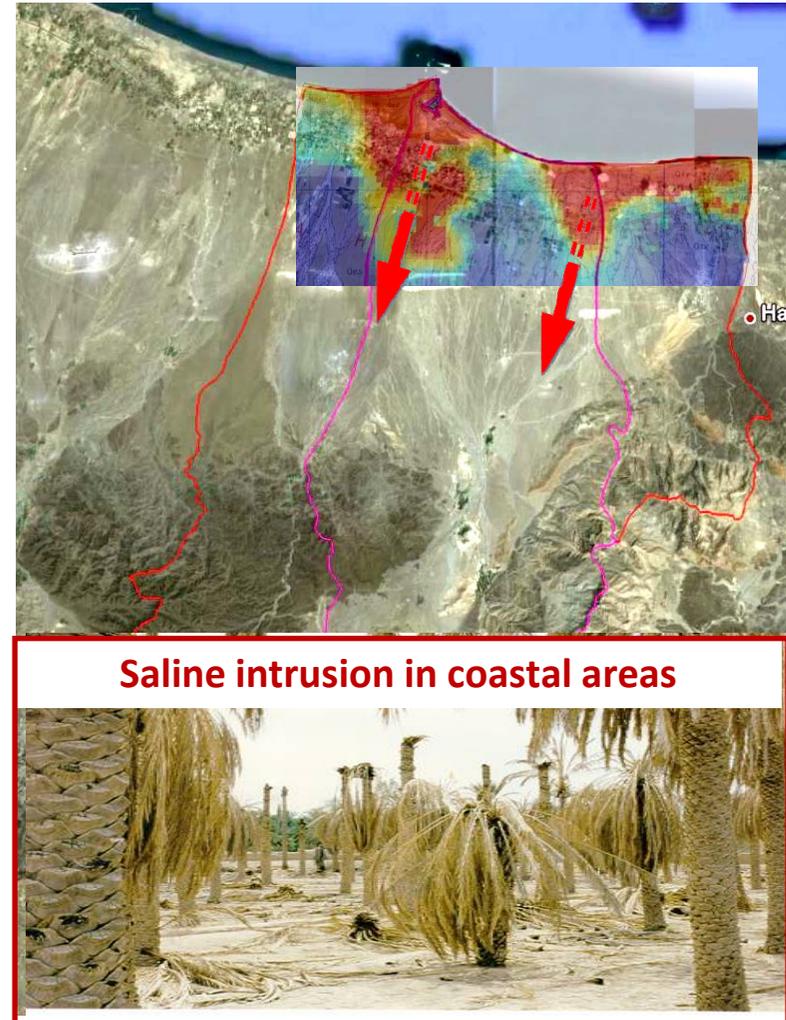


# 1 Problemstellung & Ziele

## Übernutzung der Wasserressourcen

### Pilotregion: Al-Batinah im Norden Omans

- ➡ wichtigste landwirtschaftliche und bevölkerungsreichste Region Omans
- Starkes Bevölkerungswachstum (3%)
  - Knappe Wasserressourcen mit hoher raumzeitlicher Variabilität und Dynamik
  - Wasserbedarf der Landwirtschaft >90%
    - Bei geringer Effizienz der Wassernutzung (hohe Verluste)
    - Übernutzung der Grundwasservorkommen für die Bewässerung
- ➡ Salzwassereintritte vom Meer in das Grundwasser
- ➡ Bewässerung mit salzhaltigen Wasser -- Bodenversalzung
- ➡ Einkommenseinbußen, Aufgabe von Farmen, Landflucht



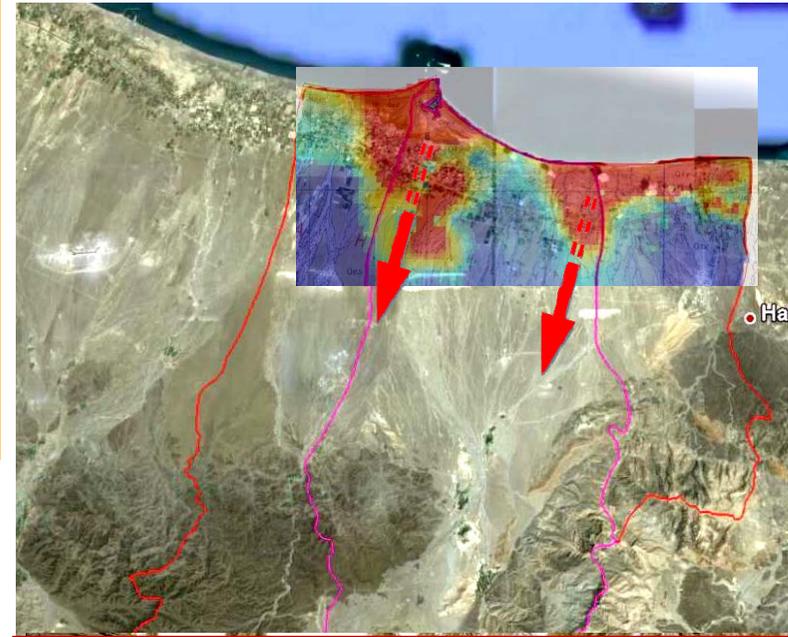
# 1 Problemstellung & Ziele

## Probleme

- Gekoppeltes dynamisches Küstenaquifer - Landwirtschaft System
- Wasserbedarf >> Verfügbarkeit natürlicher Wasserressourcen
- Anhaltendes Vordringen der Salzwasserfront & Zerstörung wertvoller landwirtschaftlicher Ressourcen

## Ziele

- Anpassung des Wasserbedarfs and die Verfügbarkeit von Wasser
- Verbesserung der Wassernutzungseffizienz in der Bewässerungslandwirtschaft durch neuartige Bewässerungstechniken
- Integrierte Wasserbewirtschaftung und optimale langfristige Planung für Wassermenge und -güte

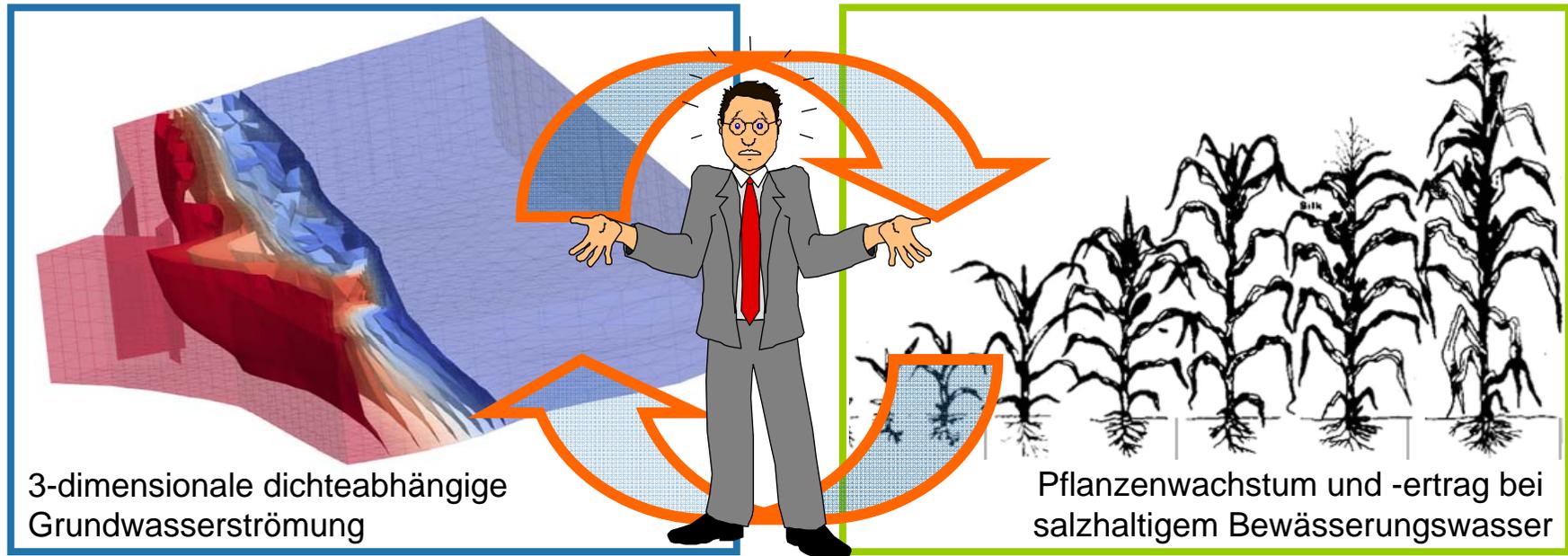


**Saline intrusion in coastal areas**



# Optimale Bewirtschaftung gekoppelter Hydrosysteme

Wie kann ein interagierendes, dynamisches Grundwasser – Landwirtschafts- system nachhaltig im Hinblick auf Wassermenge und Güte unter dem Einfluss unsicherer klimatischer & demografischer Entwicklungen bewirtschaftet werden?

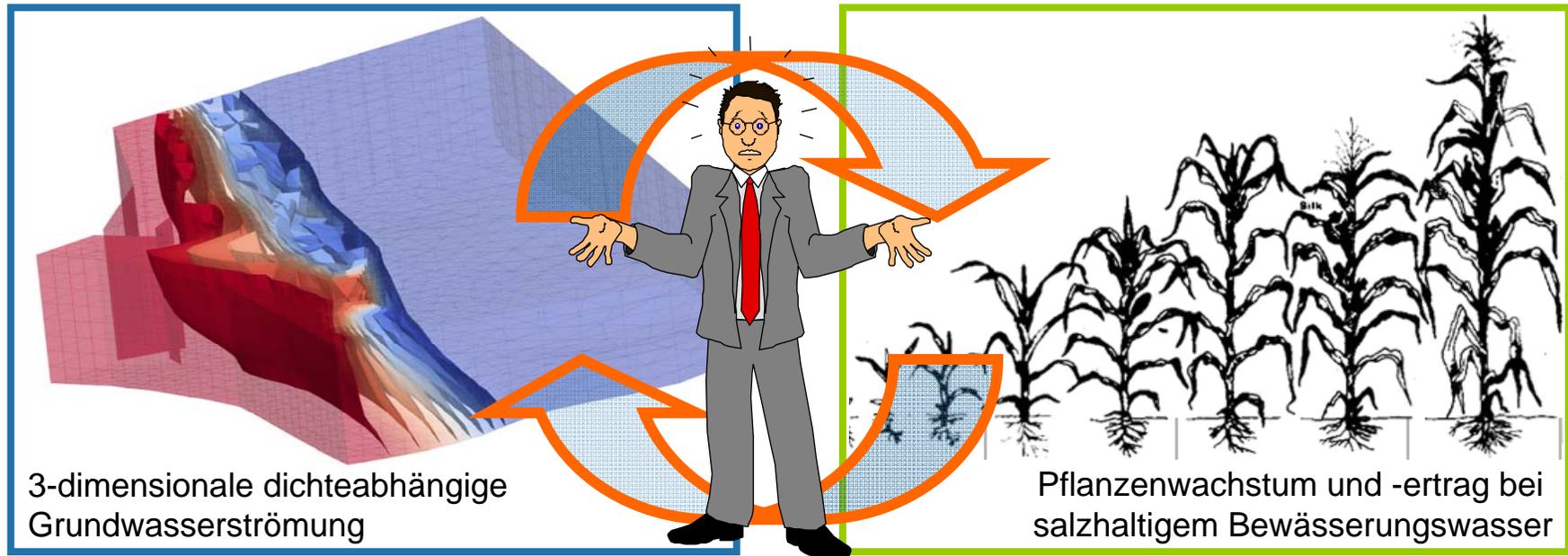


## Herausforderungen

- Lange Rechenzeiten und Komplexität physikalisch basierter Modelle sowie von globalen Optimierungsverfahren
- Berücksichtigung / Erhalt der Modellinteraktionen im Optimierungsprozess

# Optimale Bewirtschaftung gekoppelter Hydrosysteme

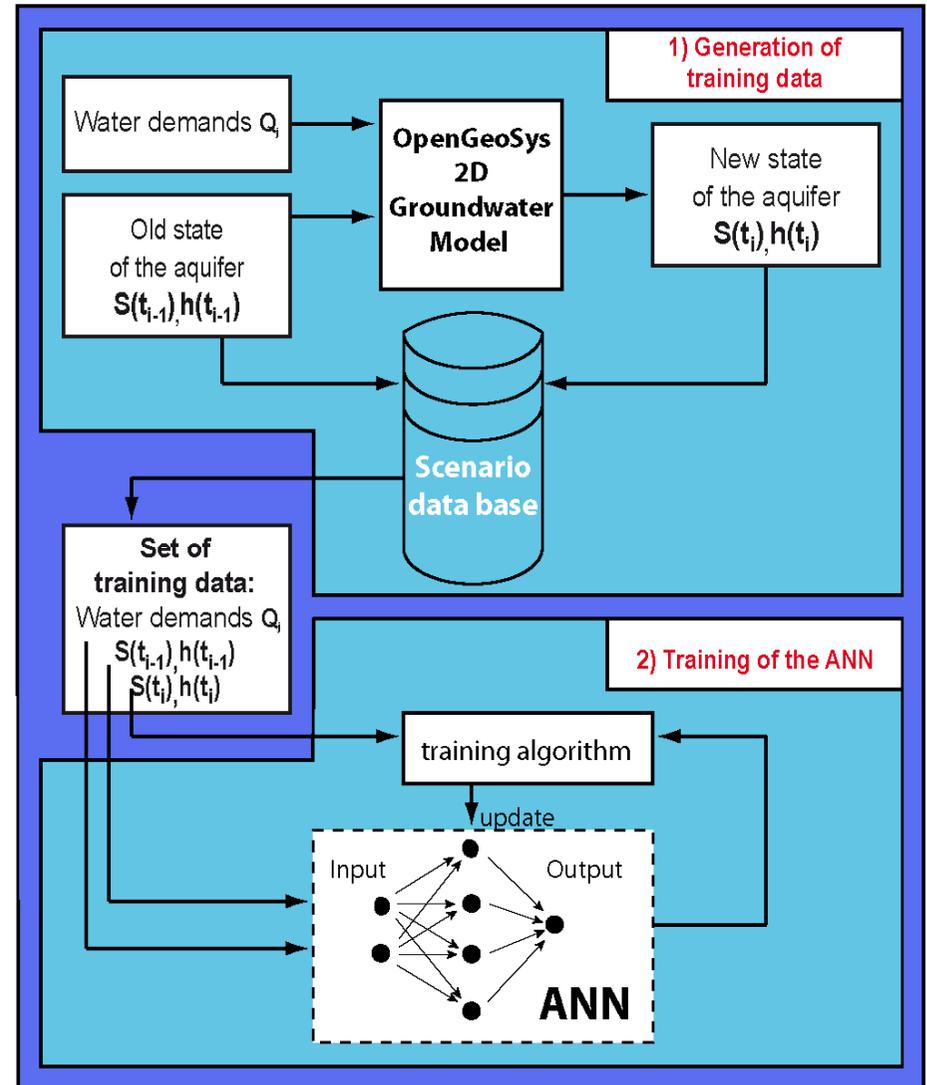
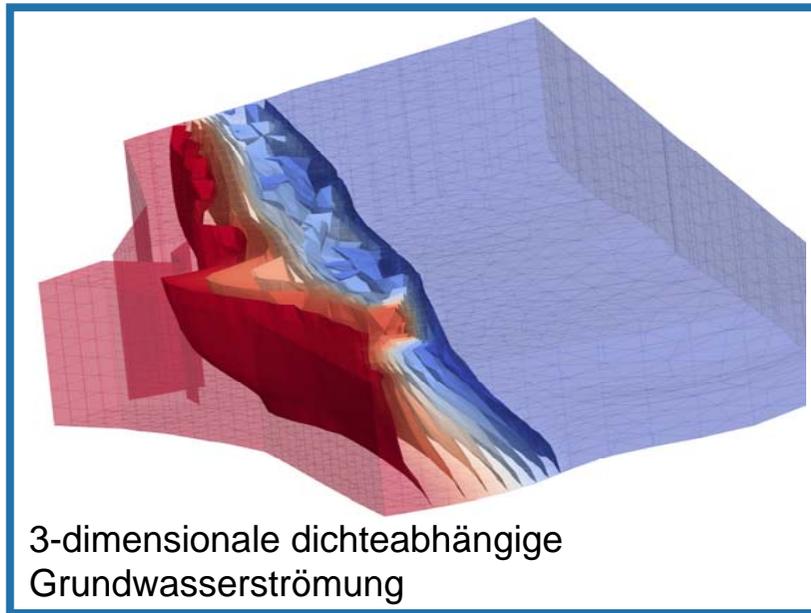
Wie kann ein interagierendes, dynamisches Grundwasser – Landwirtschafts-system nachhaltig im Hinblick auf Wassermenge und Güte unter dem Einfluss unsicherer klimatischer & demografischer Entwicklungen bewirtschaftet werden?



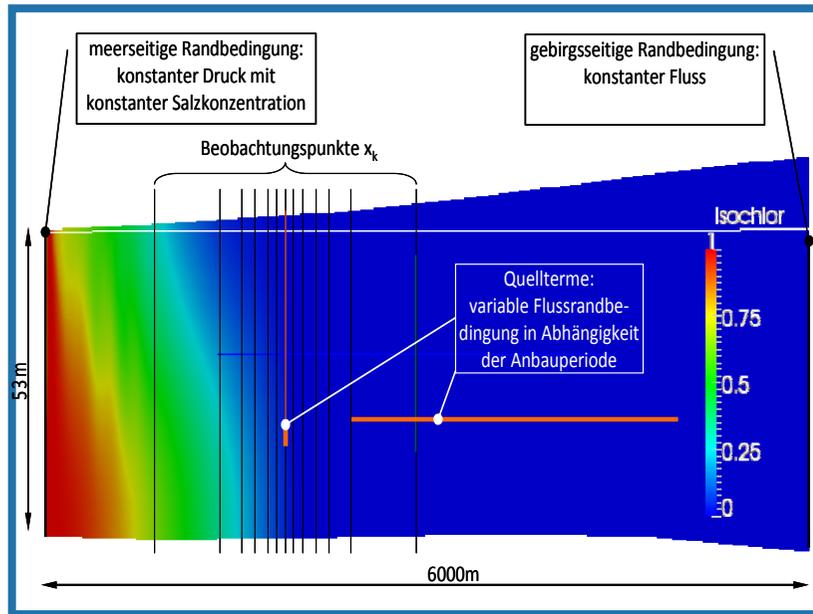
## Methodik

1. Entwicklung geeigneter Ersatzmodelle
2. Simulationsbasierte Optimierung

# Methodik: 1) Ersatzmodell Grundwasser → ANN

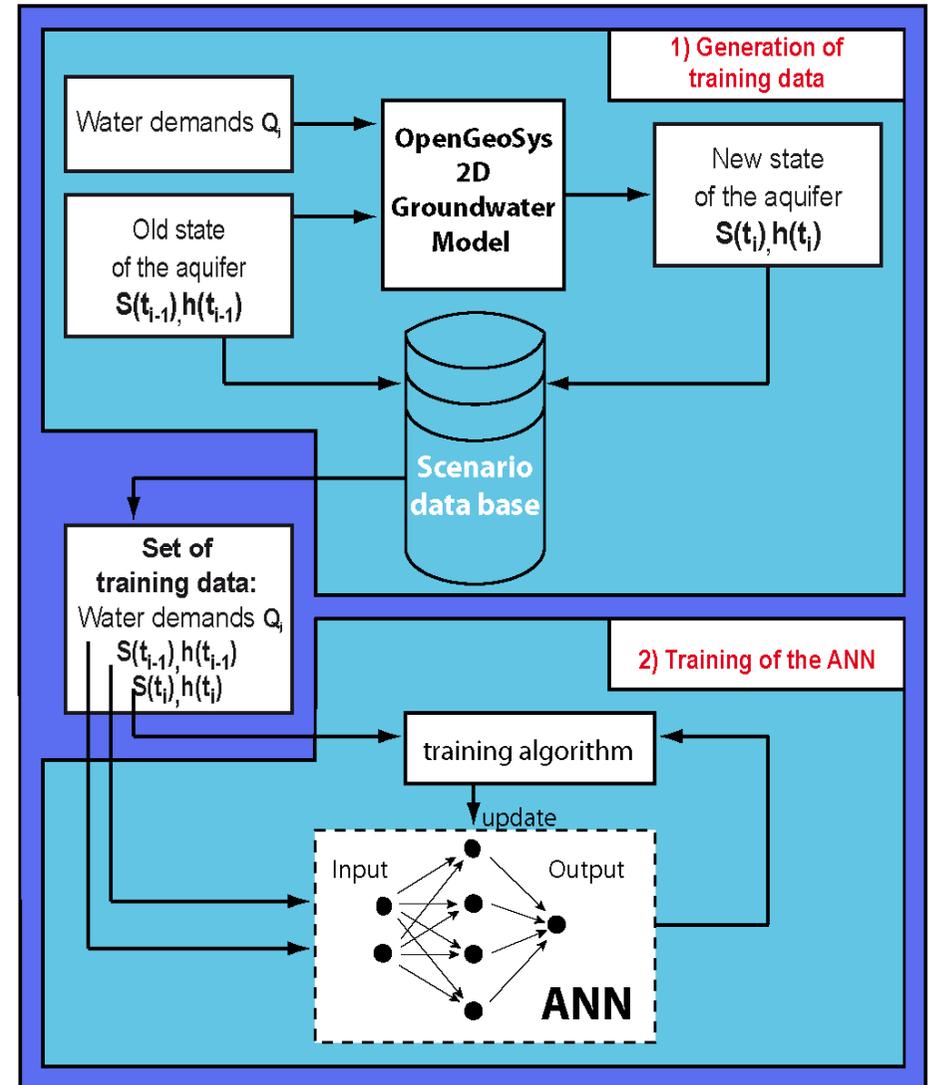


# Methodik: 1) Ersatzmodell Grundwasser → ANN



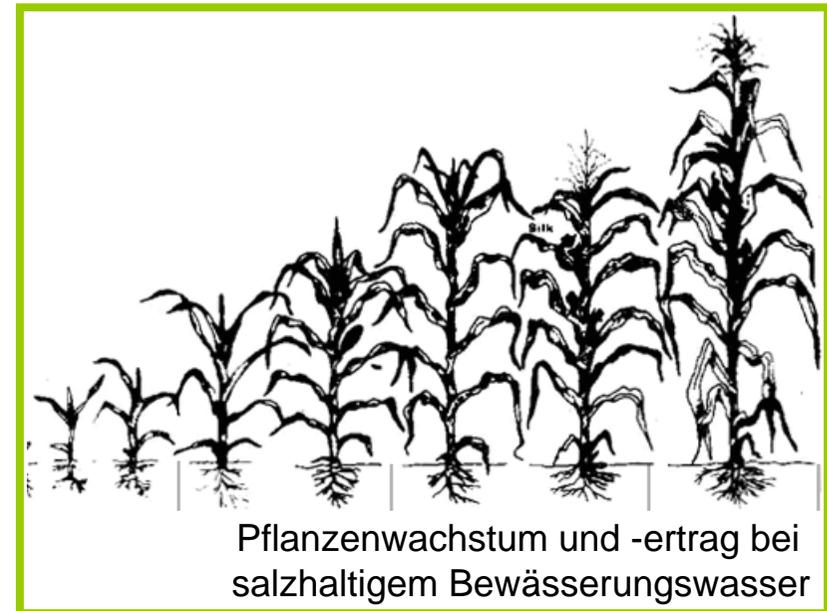
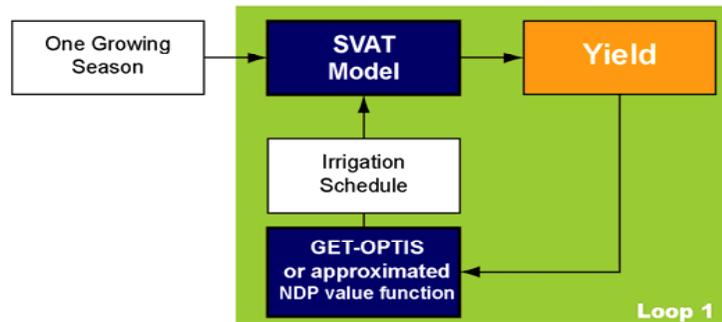
| MLP-net          | RMSE       |
|------------------|------------|
| Grundwasserstand | 0.0042m    |
| Salinität        | 0.0444dS/m |

ANN ca. 1000fach schneller



# Methodik: 1) Ersatzmodell Landwirtschaft → 2D-CWPF<sup>0.9</sup>

Ermittlung von Ertragsfunktionen (Crop Water Production Function - CWPF)



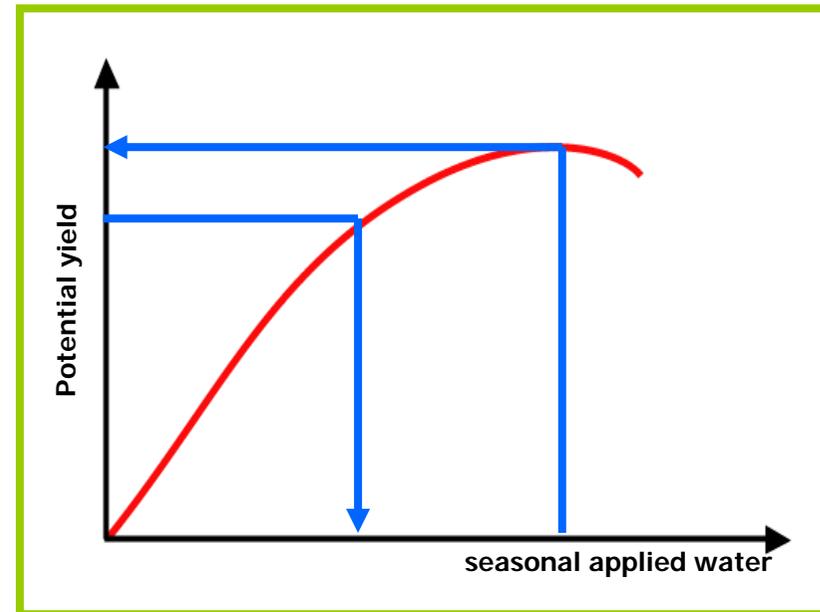
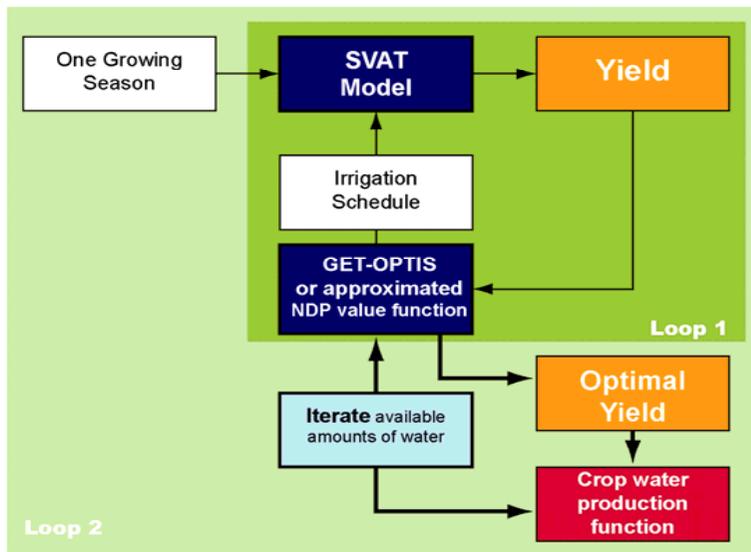
**GET-OPTIS:** N. Schütze, M. de Paly, and U. Shamir:

**Novel simulation-based algorithms for optimal open-loop and closed-loop scheduling of deficit irrigation systems.**

Journal of Hydroinformatics, 2011. in print.

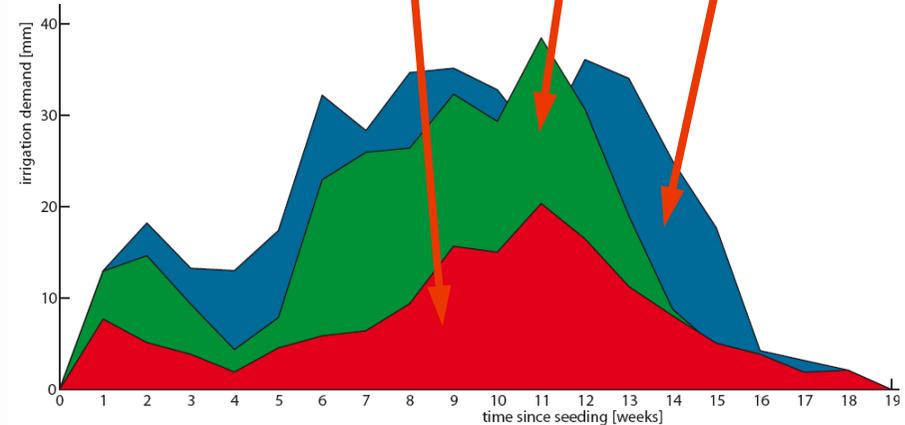
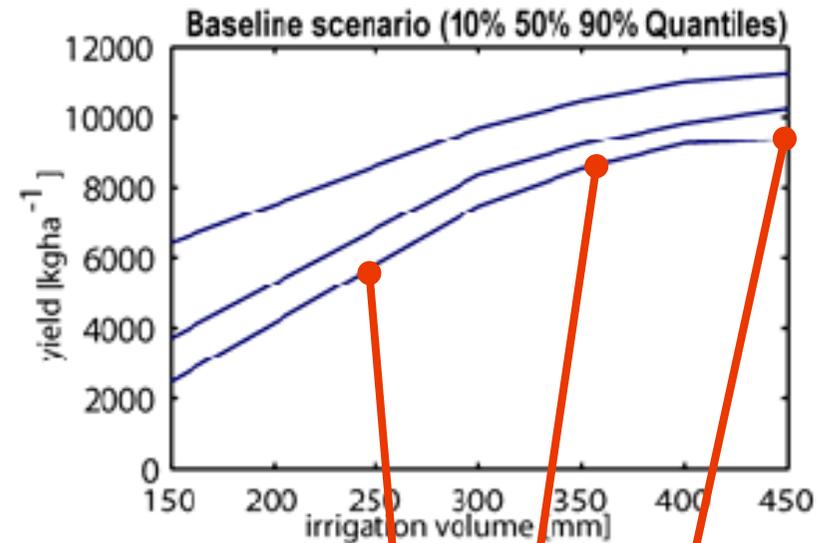
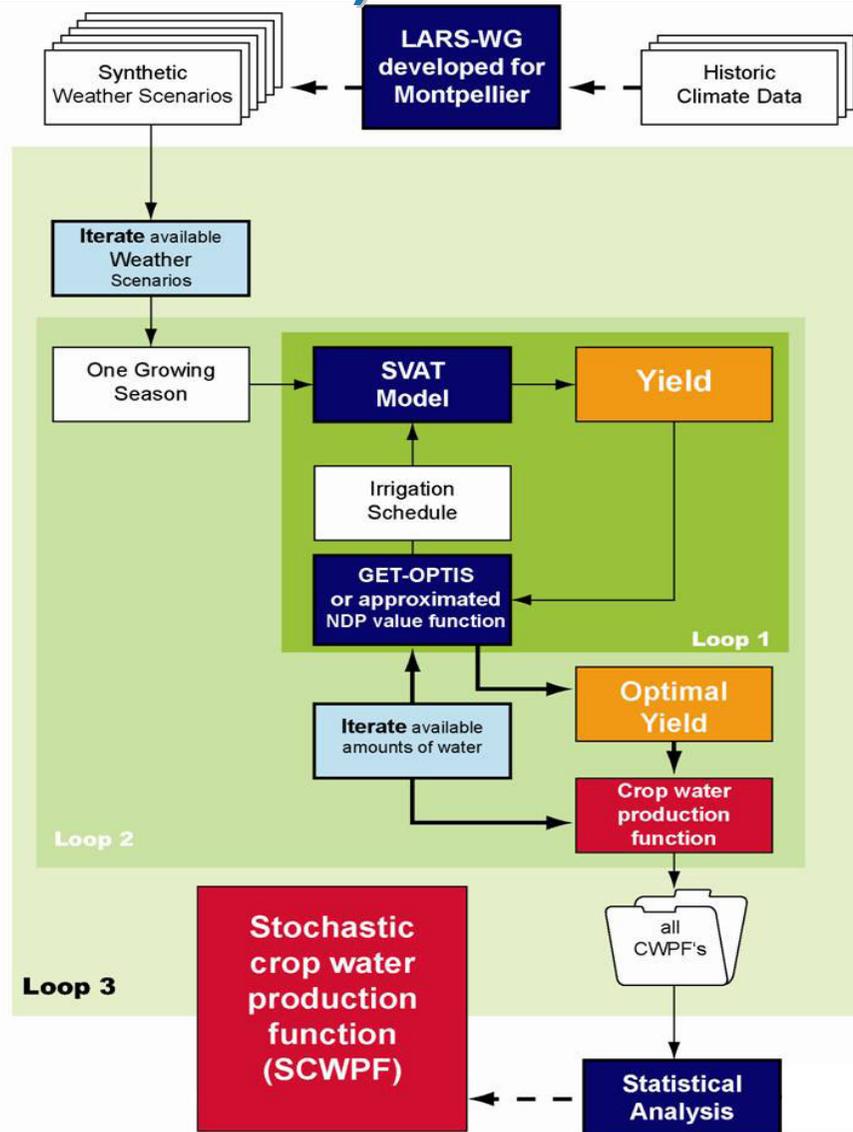
# Methodik: 1) Ersatzmodell Landwirtschaft → 2D-CWPF<sup>0.9</sup>

Ermittlung von Ertragsfunktionen (Crop Water Production Function - CWPF)



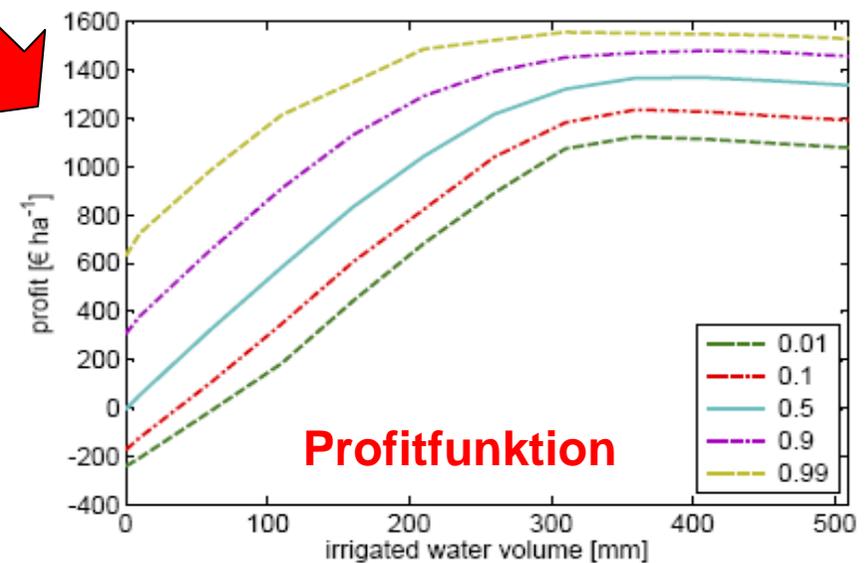
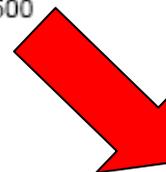
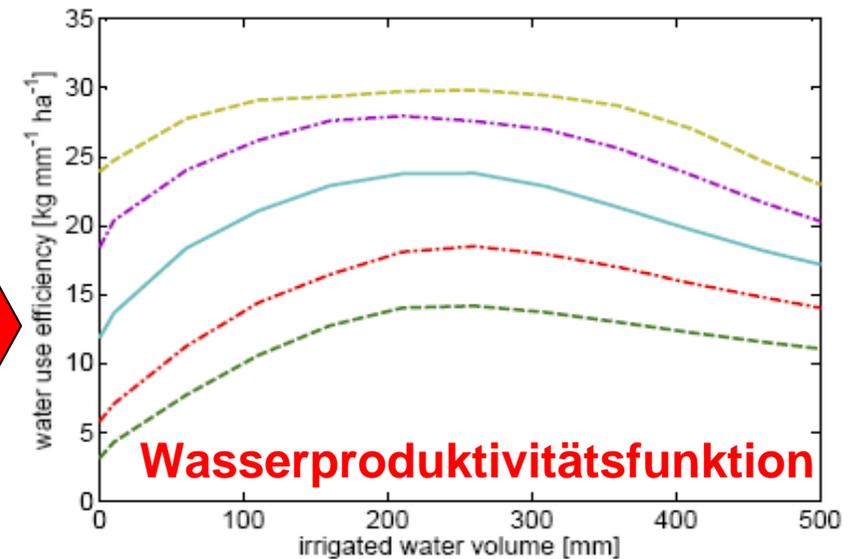
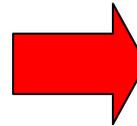
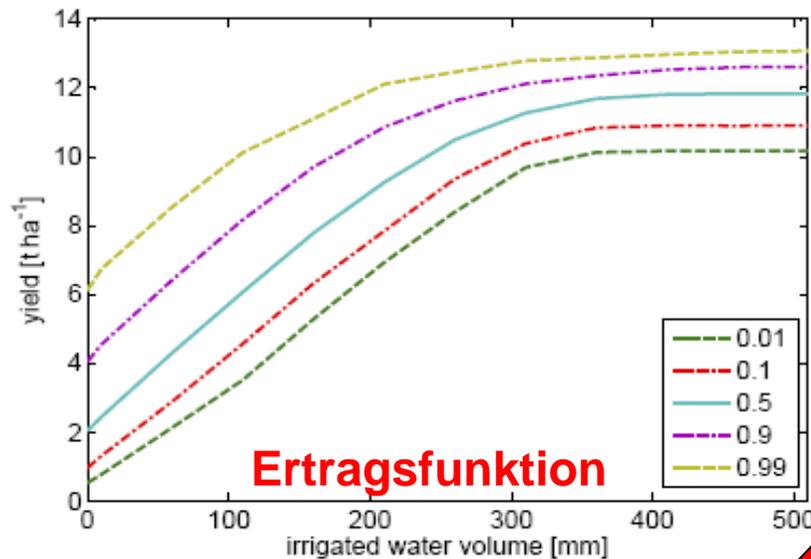
Kloss, S., Schütze, N. and G.H. Schmitz (in review): Comparison of SVAT models for simulating and optimizing deficit irrigation systems in arid and semi-arid countries under climate variability. Water Resources Management

# Methodik: 1) Ersatzmodell Landwirtschaft → 2D-CWPF<sup>0.9</sup>



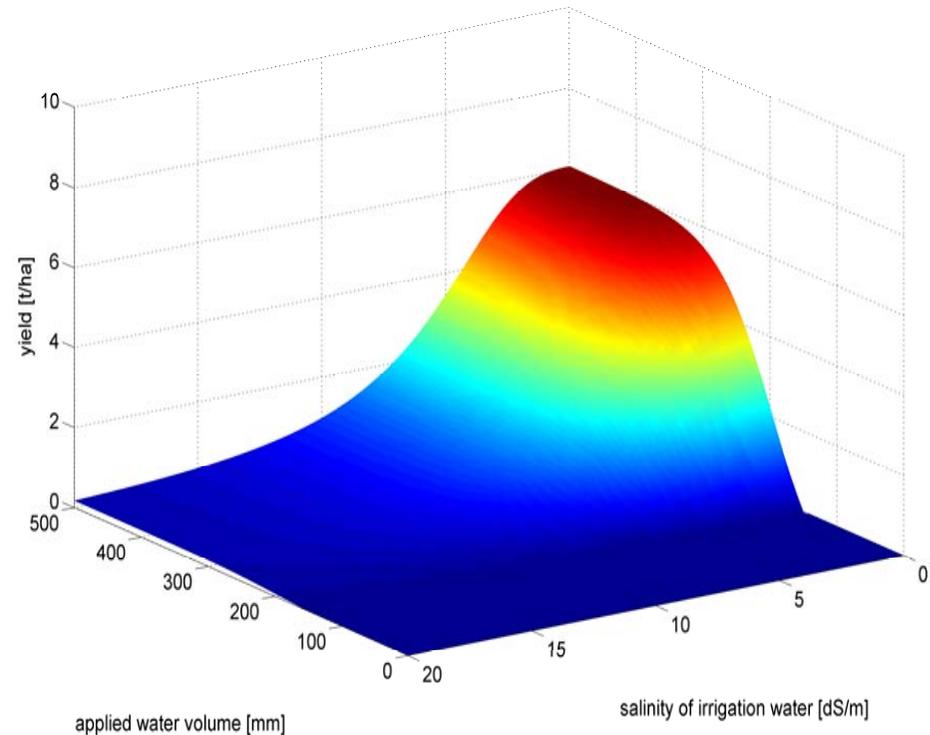
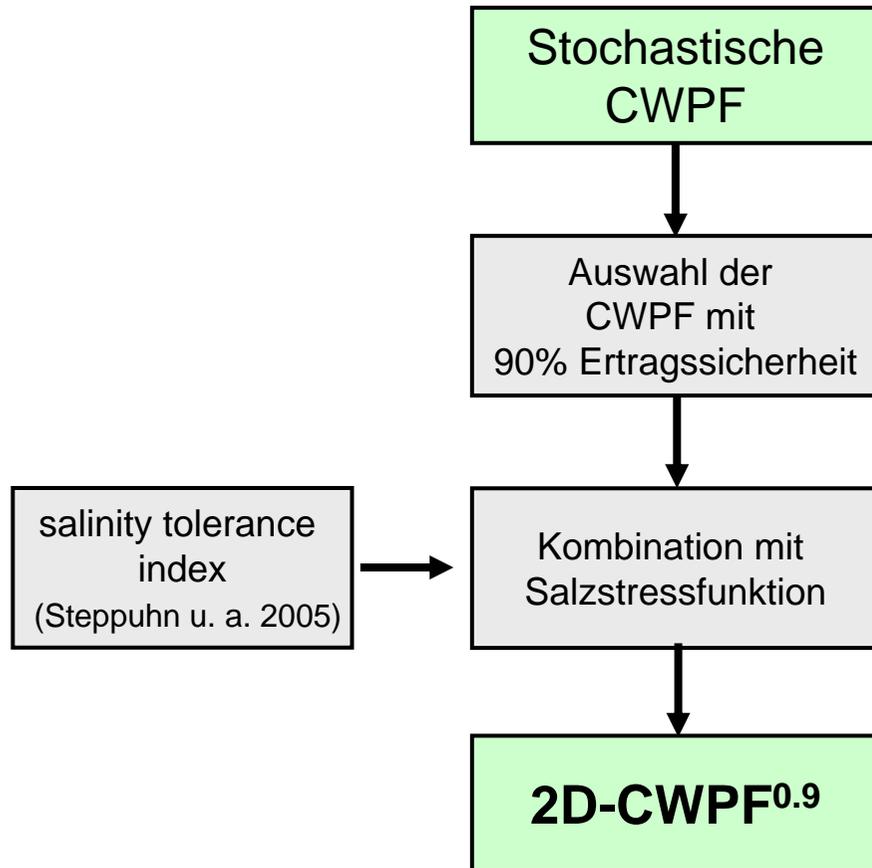
Schütze, N. ; Schmitz, G. H.: OCCASION: A new Planning Tool for Optimal Climate Change Adaption Strategies in Irrigation. In: Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136 (2010), Nr.12.

# Derivate der stochastischen Ertragsfunktion



Schütze, N., Kloss, S., Lennartz, F., Al Bakri, A., and G.H. Schmitz (in review): Optimal planning and operation of irrigation systems under water resource constraints in Oman considering climatic Uncertainty. Environmental Earth Sciences

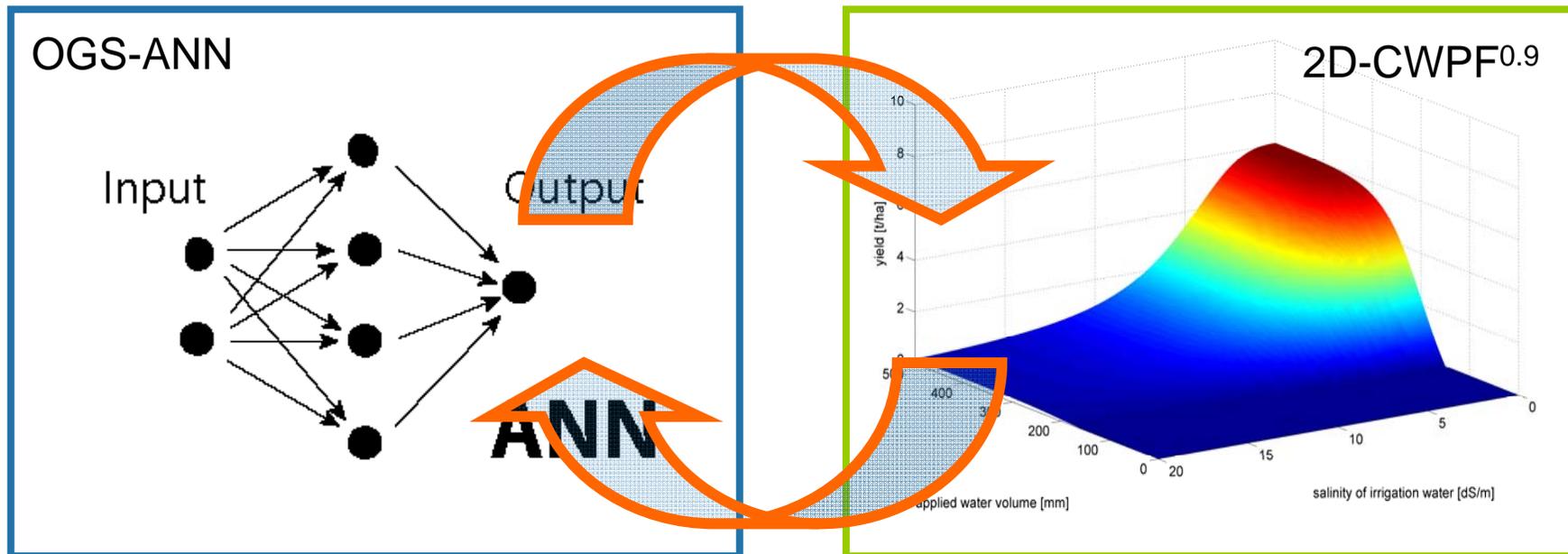
# Methodik: 1) Ersatzmodell Landwirtschaft → 2D-CWPF<sup>0.9</sup>



2-dimensionale Ertragsfunktion für eine Ertragssicherheit von 90%

# Optimale Bewirtschaftung gekoppelter Hydrosysteme

Wie kann ein interagierendes, dynamisches Grundwasser – Landwirtschafts- system nachhaltig im Hinblick auf Wassermenge und Güte unter dem Einfluss unsicherer klimatischer & demografischer Entwicklungen bewirtschaftet werden?



## Methodik

1. Entwicklung geeigneter Ersatzmodelle
2. Simulationsbasierte Optimierung

## Methodik: 2) Multikriterielle simulationsbasierte Optimierung

Wie kann ein interagierendes, dynamisches Grundwasser – Landwirtschafts-system nachhaltig im Hinblick auf Wassermenge und Güte unter dem Einfluss unsicherer klimatischer & demografischer Entwicklungen bewirtschaftet werden?

### Bewirtschaftungsziel Grundwasser

langfristig verfügbare Wasser-ressource guter Qualität

$$of_2(t_n) = \sum_{k=1}^{end} \frac{abs(S(t_1, x_k) - S(t_n, x_k))}{S_{max}} + \sum_{k=1}^{end} \frac{abs(h(t_1, x_k) - h(t_n, x_k))}{h_{max}}$$

### Bewirtschaftungsziel Landwirt

höchst möglicher Profit

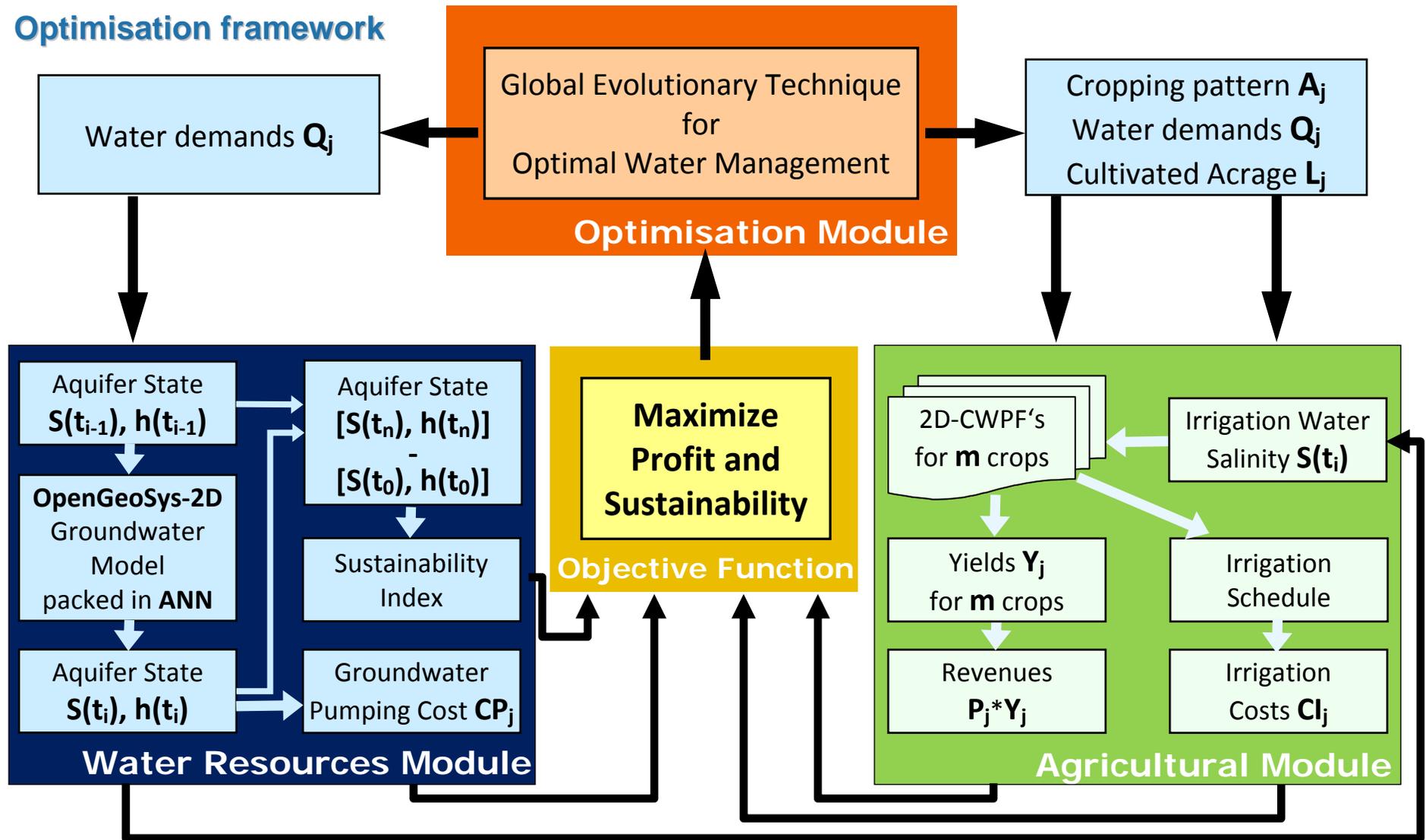
$$of_1 = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \sum_{j=1}^m P_j Y_j(t_i) L(t_i) - CI_j(t_i) \right) - CP(t_i) \right]$$

Zielfunktion (OF):  $\max(OF) = \{of_1, of_2\} \rightarrow$  *pareto-optimale Lösungen*  
("besten Kompromiss")

$$(A_1(t_1) \dots A_1(t_n), A_m(t_1) \dots A_m(t_n), L(t_1) \dots L(t_n), Q(t_1) \dots Q(t_n))^* = \operatorname{argmax}(OF)$$

# Methodik: 2) Multikriterielle simulationsbasierte Optimierung

## Optimisation framework

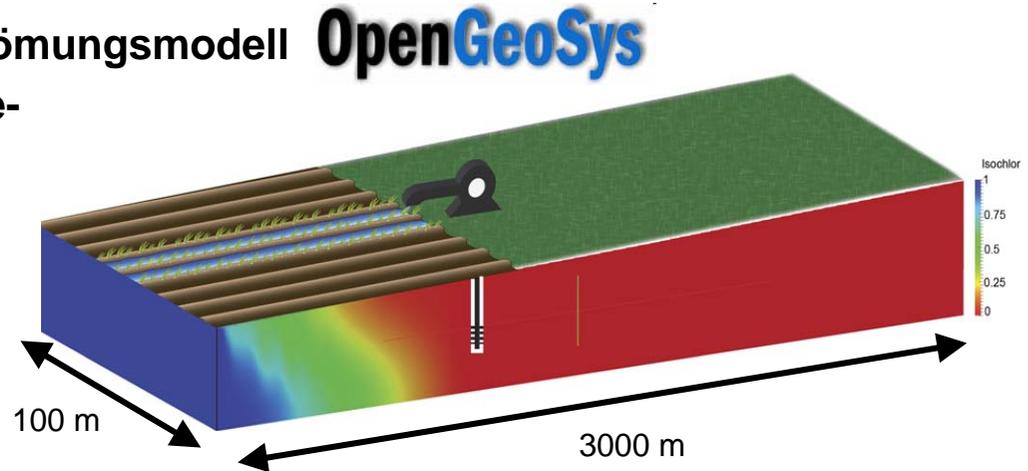


# 3 Exemplarische Anwendung

## Model setup und experimental design

### Wadi Ma'awil Einzugsgebiet:

- 3D-dichteabhängiges Grundwasserströmungsmodell **OpenGeoSys**
- physikalisch basiertes Boden-Pflanze-Atmosphäre-Transfer (SVAT) & landw. Produktions Modell **APSIM** (APSRU Australia)

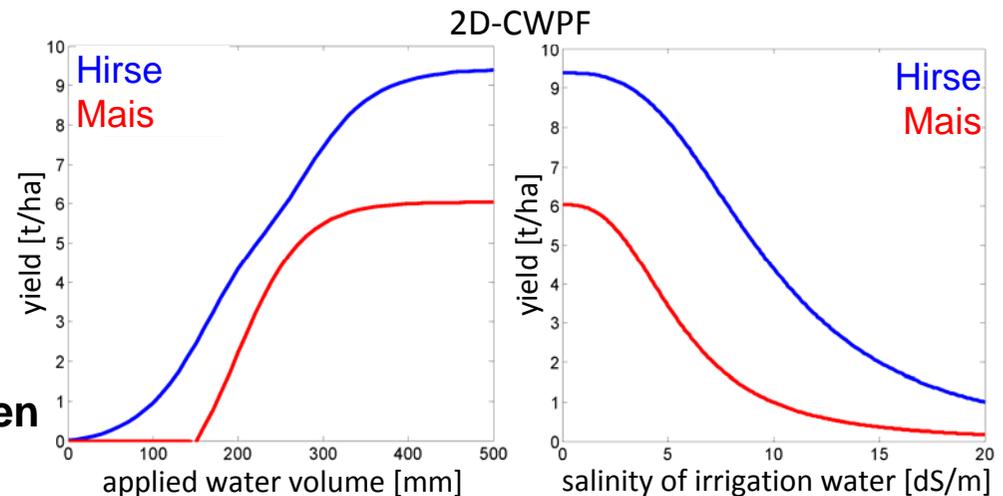


### Beispielszenario:

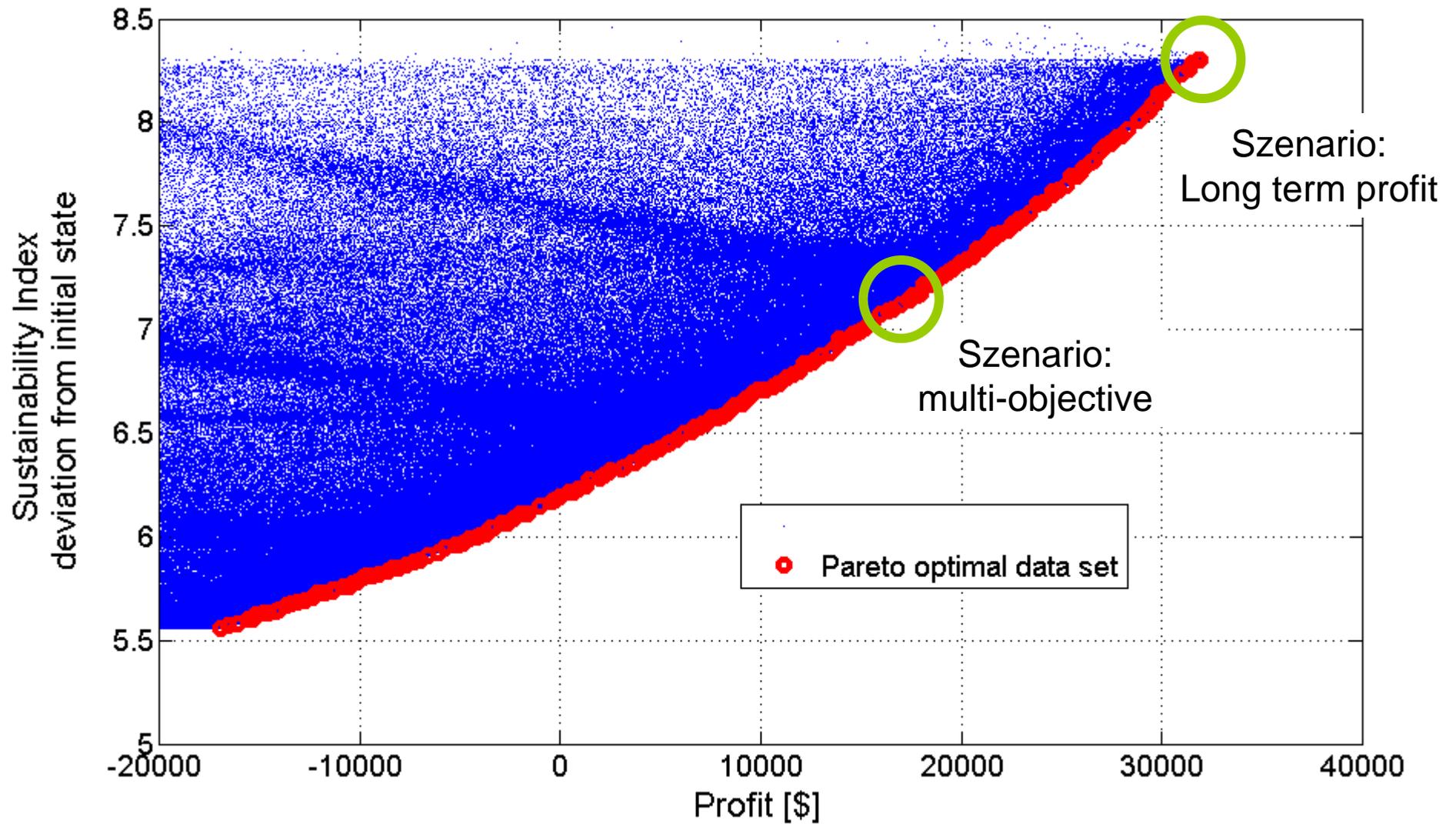
- Mais: **salz-sensitive "cash crop"** & Hirse: geringer gewinnbringend, aber **salz resistenter Pflanze** ( 2 Saisons pro Jahr )
- Fixe und variable Kosten für Installation und Betrieb

### Multikriterielle Optimierung:

- 20 Jahre → 60 Entscheidungsvariablen

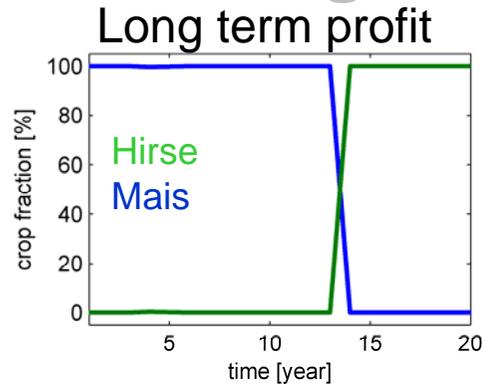


### 3 Exemplarische Anwendung - Ergebnisse

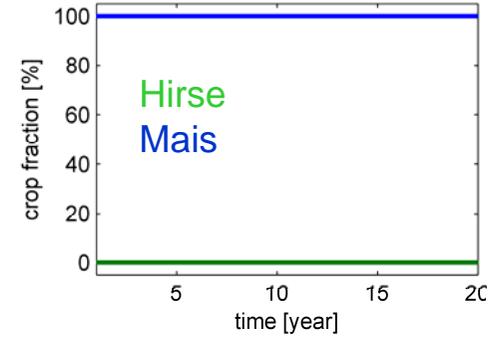


# 3 Exemplarische Anwendung - Ergebnisse

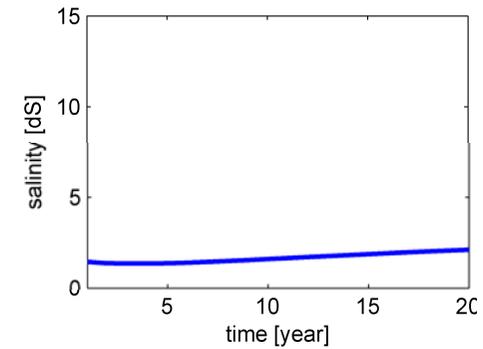
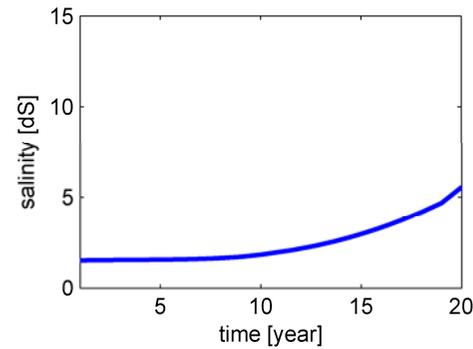
Anteil Pflanze [%]



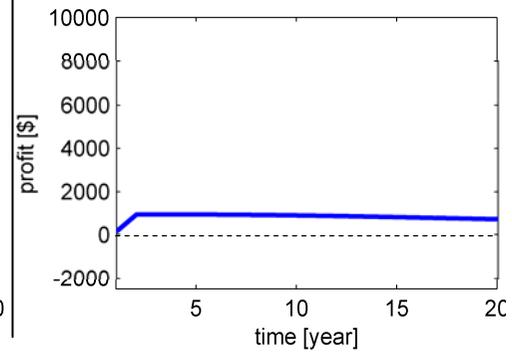
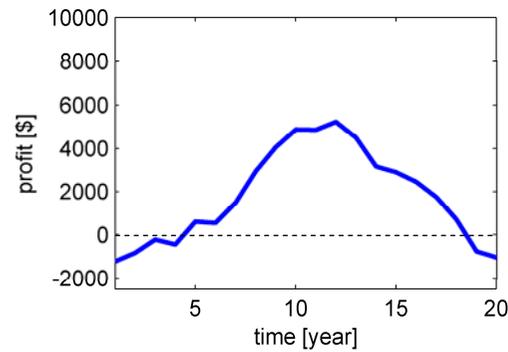
### Multi-objective



Salinität [dS]



Profit [\$]

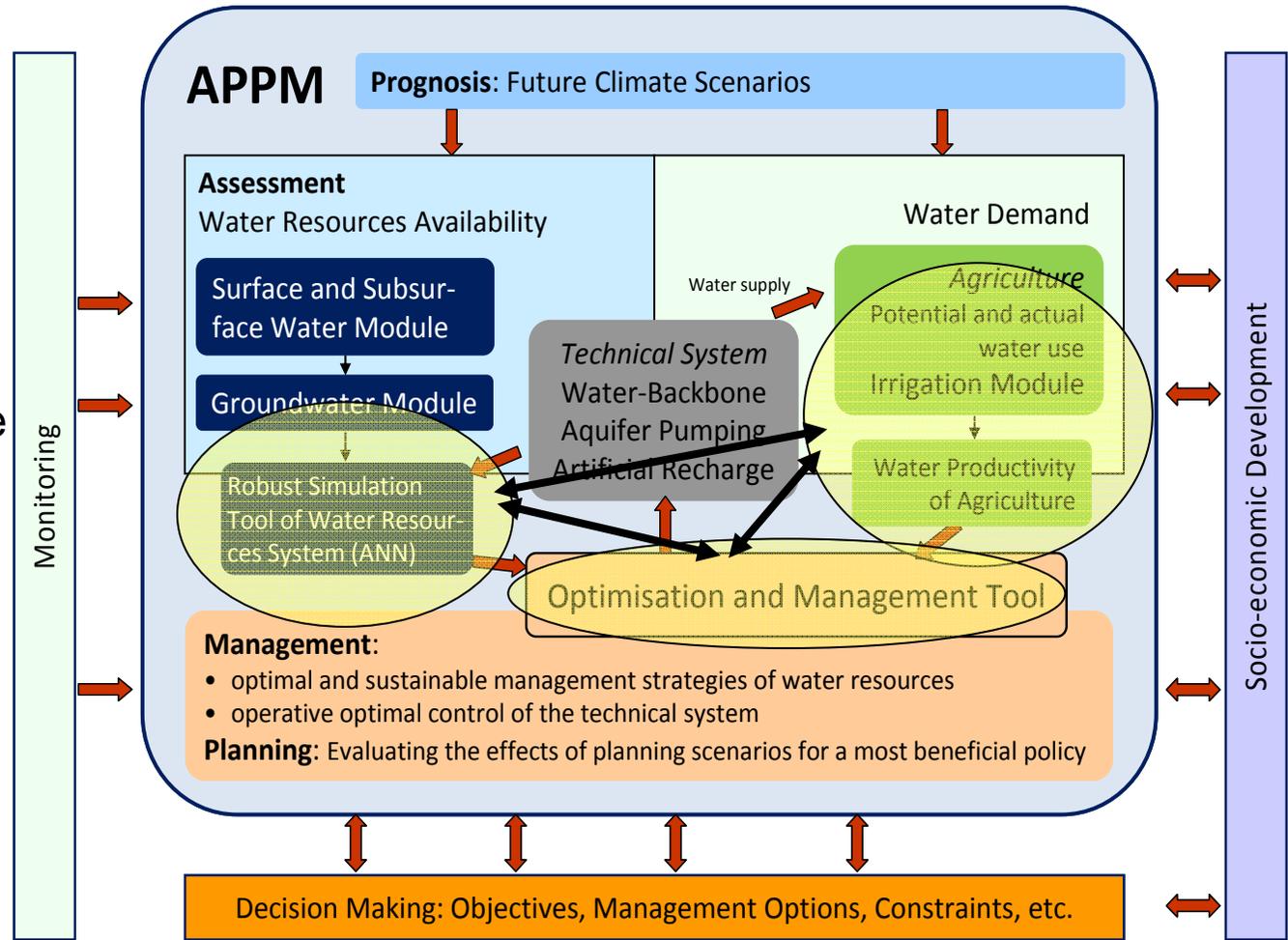


## 4 Zusammenfassung

- Der Prototyp eines simulationsbasierten Wasserbewirtschaftungsmodells für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen in ariden Gebieten im Hinblick auf Wassermenge und Güte wurde präsentiert.
- Die Methoden der künstlichen Intelligenz ermöglichen die Integration der physikalisch basierten Prozessmodelle in eine Optimierungsumgebung.
- Durch Einsatz simulationsbasierter Optimierung können die Interaktionen zwischen den Modellen im Optimierungsprozess berücksichtigt werden.
- Die Grundlagen für die Optimierung eines gekoppelten Hydro-Ökonomischen Systems wurden gelegt.
- Farmbetriebe, die ausschließlich auf Profitmaximierung ausgerichtet sind, führen früher oder später zu weiterem Fortschritt der Salzwasserintrusion.
- Die Nachhaltigkeit muss als zweites Optimierungsziel berücksichtigt werden.
- Eine multikriterielle Optimierung kann nachhaltige Lösungen im Sinne der Umwelt und Sozioökonomie bereitstellen. Dabei können sich paretooptimale Lösungen als geeignetes Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung erweisen.
- Methodik ist übertragbar

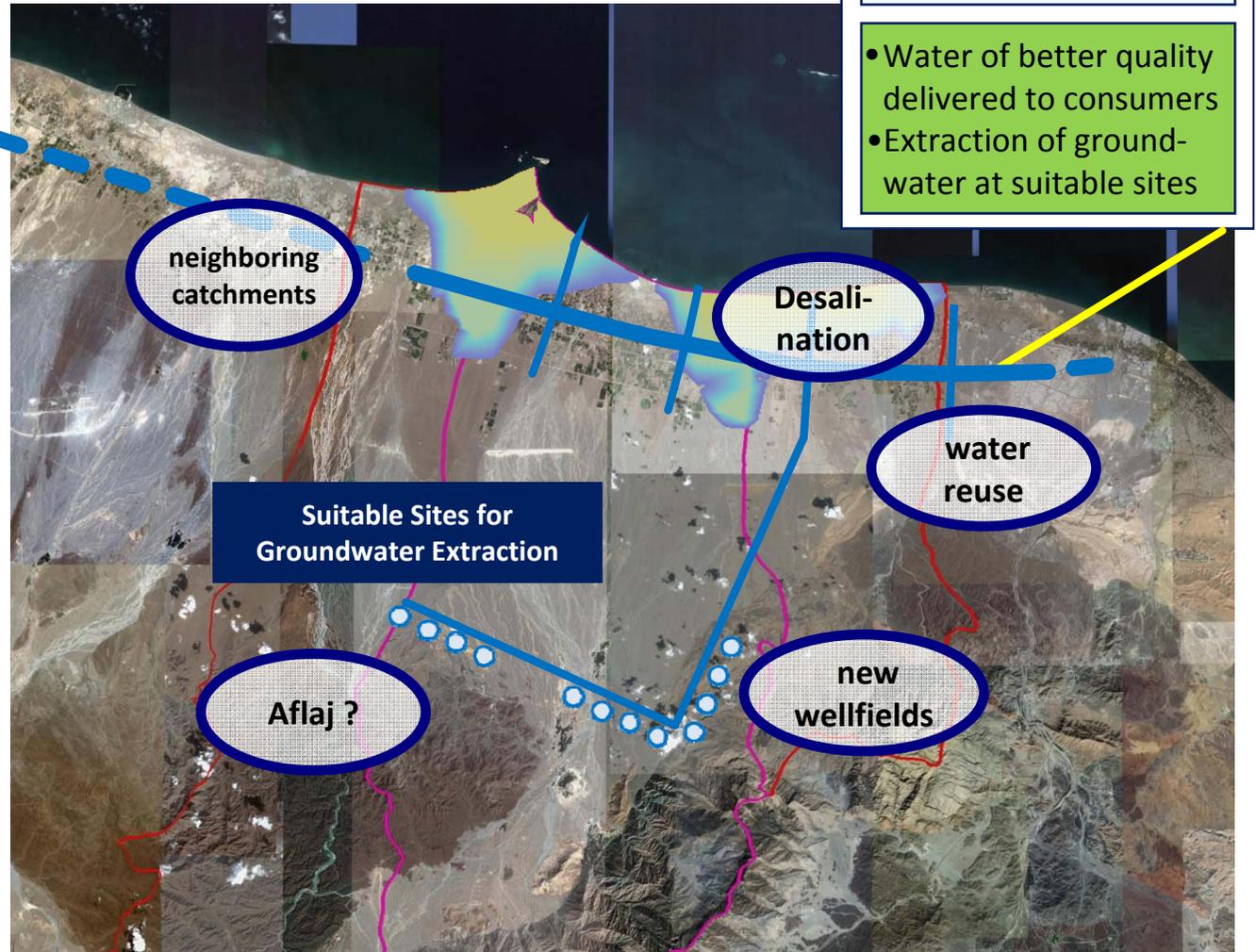
# 5 Perspektiven

- Weiterentwicklung des Prototypen zu einem großskaligen Bewirtschaftungsmodell & Integration in das APPM-Tool
- hierarchische Konzepte für Optimierung & Upscaling



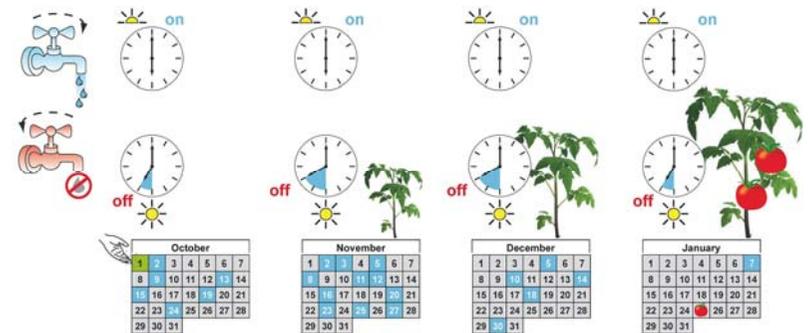
# 5 Perspektiven

- Entwurf eines Wasser-verteilungssystems (Water-Backbone) für die Wasserversorgung der Farmen
- Implementierung eines IWRM auf Basis des APPM-Tools in einem Pilotgebiet in der Batinah-Region, unter aktiver Mitwirkung der omanischen Behörden und Experten.
- Entwicklung und Bewertung von Bewirtschaftungs-szenarien



# 5 Perspektiven

- Stand der Implementierung:
  - IWRM-Büro gegründet
  - Projektausschreibung des MRMWR für IWRM-Implementierung (Umfang ca. 600000€)
  - Nächster Workshop im Oman: 1.-3.5.2011
- Pilotfarm-Programm zur Demonstration der erarbeiteten Methoden für eine effiziente Bewässerung
  - Vor-Ort Auswahl geeigneter Kandidaten (Farmen) erfolgt
  - Konzeptentwicklung eines "Guidebook for best managing practice" in der Bewässerungslandwirtschaft
- Zielgruppenorientiertes Capacity Development
  - Katalog von CD-Maßnahmen erstellt
- Ersatzmodell für 3D-GW-Modell
- Bewässerungsexperimente zur Defizitbewässerung mit dem Ministry of Agriculture (seit 1/2011)
- Entwicklung eines Microcontrollers für optimale Bewässerungspläne und -steuerung



Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dank an  
Niels Schütze, Gerd H. Schmitz,  
Marco Brettschneider, Marc Walther

Gefördert von



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Im Rahmen des Programms "Spitzenforschung  
& Innovation in den Neuen Ländern" , FKZ: 02WM1166



## Journal papers

Schütze, N.; Schmitz, G. H.: OCCASION: A new Planning Tool for Optimal Climate Change Adaption Strategies in Irrigation. In: Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136 (2010), Nr. 12, S. 836–846. – 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000266

Schütze, N.; Grundmann, J.; Schmitz, G.H.: Perspektiven für die integrierte Wasserbewirtschaftung durch den Einsatz simulationsbasierter Optimierungsmethoden am Beispiel landwirtschaftlich genutzter küstennaher arider Gebiete im Oman. IN: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (2011), Nr.2.

Schütze, N.; de Paly, M. ; Shamir, U.: Novel simulation-based algorithms for optimal open-loop and closed-loop scheduling of deficit irrigation systems. In: Journal of Hydroinformatics (2011). – im Druck

Kloss, S., Schütze, N. and G.H. Schmitz: Comparison of SVAT models for simulating and optimizing deficit irrigation systems in arid and semi-arid countries under climate variability. Water Resources Management (in review).

Schütze, N.; Kloss, S.; Lennartz, F.; Al Bakri, A. and Schmitz, G.H.: Optimal planning and operation of irrigation systems under water resource constraints in Oman considering climatic uncertainty. In: Environmental Earth Sciences (in review).

Grundmann, J., Schütze, N., Schmitz, G.H., Al Shaqsi, S.: Towards an integrated arid zone water management using simulation based optimisation. In: Environmental Earth Sciences (in review).



# Agricultural water demand – the experimental part

## Controlled deficit irrigation experiments at different scales



Greenhouse (Dresden)



Vegetation hall (Munich)



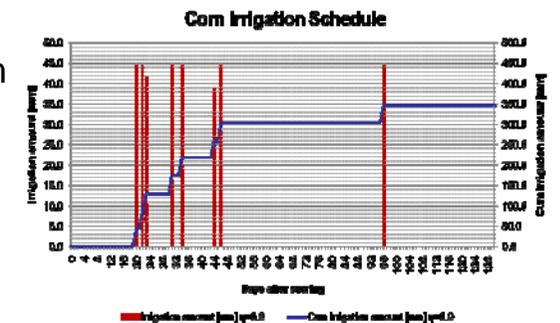
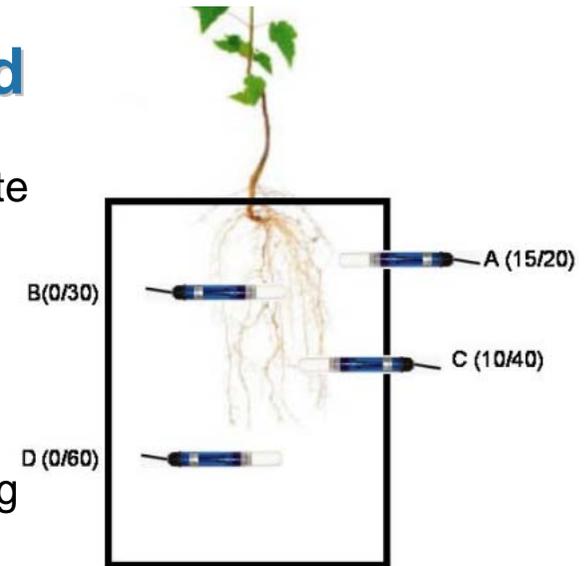
Rain shelter (Munich)



Field (Montpellier, France)

# Agricultural water demand

- Auswertung, Analyse & Modellierung d. durchgeführten Experimente
- Pilotfarmprogramm
  - Konzeptentwicklung für „Guidebook for best management practice in irrigated agriculture“
  - Erstellung von Bewässerungsplänen für vorhandene Kombinationen von Pflanze und Boden
- Konzeptentwicklung für Microcontroller zur Bewässerungssteuerung  
→ Hardwarebeschaffung
- Weitere Experimenten zur Defizitbewässerung
  - Feldexperimente im Oman (Kooperation mit National Agricultural Research Farm)
    - Start im Januar, Durchführung durch 2 omanische Doktoranden
    - Meßtechnik und Ausrüstung durch omainsches Ministerium für Landwirtschaft beschafft (ca. 300000€)
  - Vegetationshalle in München (Kooperation mit TU München)



Schütze, N. ; de Paly, M. ; Shamir, U. (in press): Novel simulation-based algorithms for optimal open-loop and closed-loop scheduling of deficit irrigation systems. Journal of Hydroinformatics (2011).

Kloss, S., Schütze, N. and G.H. Schmitz (in review): Comparison of SVAT models for simulating and optimizing deficit irrigation systems in arid and semi-arid countries under climate variability. Water Resources Management

Schütze, N., Kloss, S., Lennartz, F., Al Bakri, A., and G.H. Schmitz (in review): Optimal planning and operation of irrigation systems under water resource constraints in Oman considering climatic Uncertainty. Environmental Earth Sciences