

Modellkalibrierung und Unsicherheit

Prof. Dr.-Ing. habil. G.H. Schmitz

TU Dresden
Institut für Hydrologie und Meteorologie

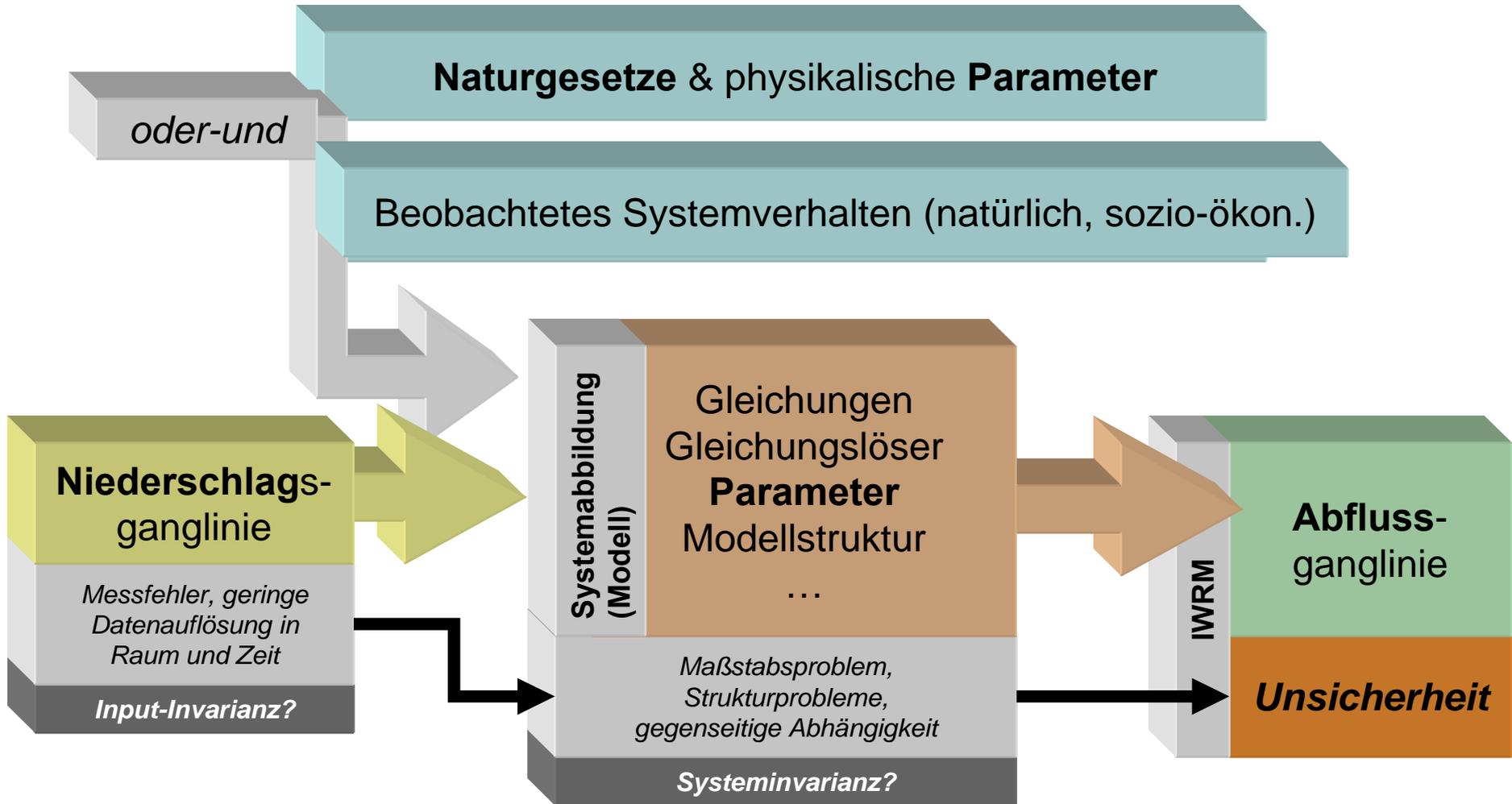
Modellkalibrierung und Unsicherheit

Inhalt

1. **Daten, Modellierung und Unsicherheiten**
2. **Daten, Modellkalibrierung u. Prognoseunsicherheit**
 - 2.1 Unsicherheitsanalysen – Daten und Modelle
 - 2.2 Hohe modellbezogene Unsicherheit – Was Tun?
3. **Integriertes Wasser Resourcen Management (IWRM) & Unsicherheit**
 - 3.1 Einbeziehung der Unsicherheiten
 - 3.2 Realisierung von IWRM Tools mit vernetztem Ansatz, zukunftsfähigen Modellen, Unsicherheiten & multikriterieller Optimierung: Probleme
4. **Innovative Lösungsansätze zur Implementation einer neuen Generation ganzheitlicher IWRM Tools**
5. **Umgang mit Unsicherheiten: Capacity building in der Region**



1. Daten- und Modellunsicherheit



Daten, Modellierung und Unsicherheiten



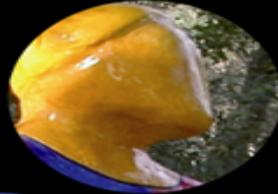
Hinreichende Auflösung für representative Abbildung ?



**Abhängig von der Komplexität (Heterogenität)
des Originals (Untersuchungsgegenstandes)**



Strukturinformation, Gesetzmäßigkeiten?





2.1. Unsicherheitsanalysen – Daten und Modelle

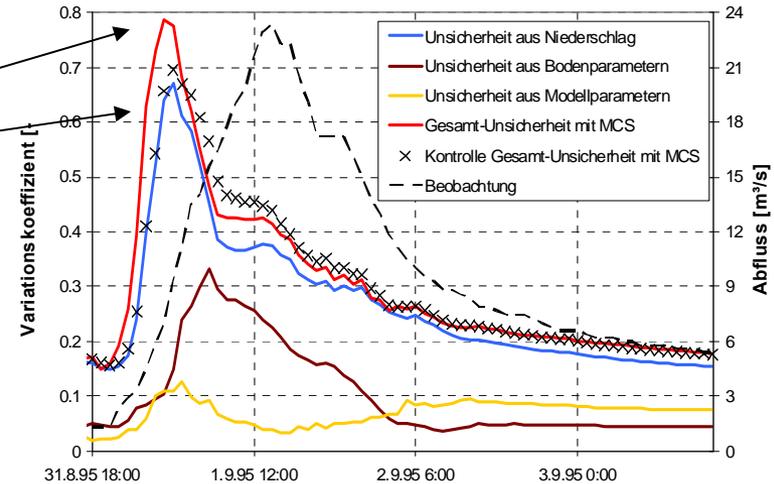
Analyse der Datenunsicherheit

- Statistische Analyse der Verteilung
- Wahrscheinlichkeitsbasiert: MC
- Homo - Heteroskedacity

➔ Charakterisierung & Quantifizierung

Kalibrierung & Unsicherheit

- Gaußsches Fehlerfortpflanzungsprinzip, z.B. First order second moment method (FOSM)
- Dynamic Identifiability Analysis (DYNIA)
- GLUE General Likelihood Uncertainty Estimation
- Pareto Optimalität (stochastische Optimierung)
- Bayes Inferenz (Markov-Ketten & MC-Methode)



Quantifizierung der Modellunsicherheit

akzeptabel

zu hoch

Modellierung
Planung

zu wenig
Daten??



Flashflood: Häufigkeit/Größe ?

2.2. Hohe modellbezogene Unsicherheit Was Tun?

**Überzeugungsarbeit in der Region:
Identifikation der regionalen Partner mit dem
IWAS Projekt**

➔ Bereitstellung eigener Ressourcen



- **Engagement bei der Datenbeschaffung**
- **Infos über allgemeine Messpraxis**
- **Erfahrung lokaler Fachleute**
 - Nutzung von Kenntnissen, Plausibilitätsanalysen
- **zusätzliche Messkampagnen (Partner)**
 - mit Hilfe modellgestützter Sensitivitätsanalysen
- **Einbeziehung d. Partner in Entwicklung**
 - Ergänzende Feldexperimente und engste Kooperation mit Generaldirektion landwirt. Forschung



2.2 Hohe modellbezogene Unsicherheit – Was Tun?

Einbeziehung qualitativer Daten

- Fragebogen für Ortsansässige
- Sekundärinformationen, wie z.B.
 - Wasserstandsmarken (HW Ereignisse)
 - Prozesskenntnisse -

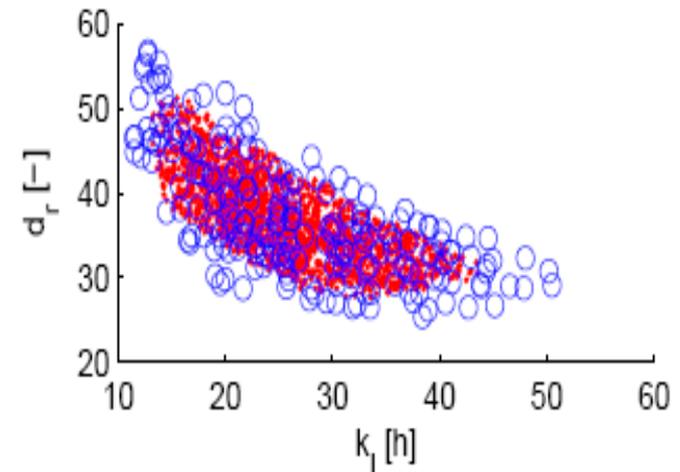
➔ mehr als eine Zielfunktion
multikriterielle Kalibrierung



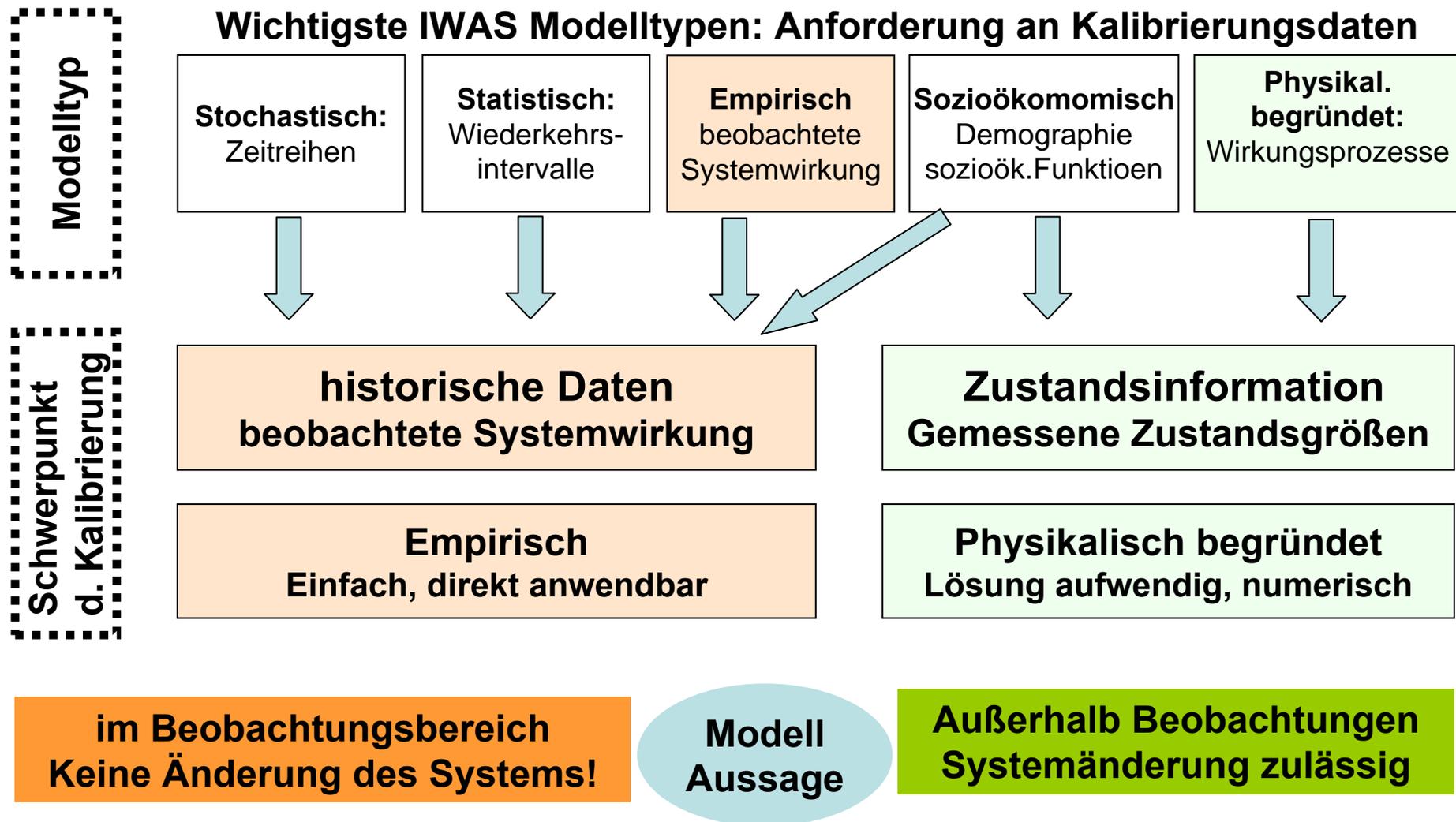
Robust Parameter Estimation (ROPE)

Robustere Modellparametrisierung

- Relativ unempfindlich gegen Messfehler
- geeignet für Klima- und Landnutzungswandel
- Iterativer (MC) Ansatz zur Bestimmung der „Datentiefe“ robuster Parametersätze (Stichprobe)

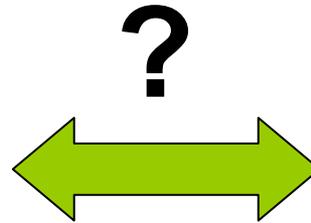


2.2 Hohe modellbezogene Unsicherheit – Was Tun?



3. Integriertes Wasser Resourcen Management (IWRM) & Unsicherheit

Vergangenheit → beobachtete Systemwirkung → Empirische Modellierung
IWRM → nicht nur zukunftsweisend sondern auch zukunftsgerichtet



Gegenwart: z.B. Morphologie → aktueller Systemzustand

Zukunft: Global change → stochastische Randbedingung

Optimale
Global Change
Anpassungsstrategien

Systemänderung

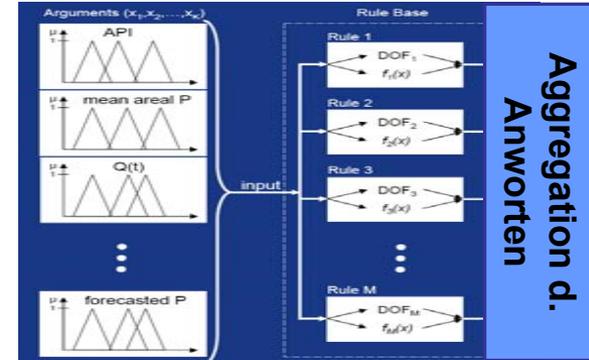
Naturgesetze
unveränderlich

Prozessmodelle
+ Einbeziehung
Prognoseunsicherheit

3.1 Einbeziehung der Unsicherheiten

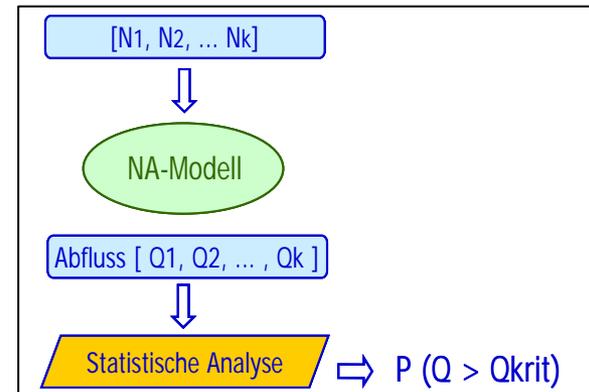
Fuzzy-Logic Modelle

- Unscharfe Wissensbasis: Zugehörigkeitsfunktionen
- Kombination durch Fuzzy Regel System
- Aggregation der Regelantworten
 - Unscharfe Wahrscheinlichkeiten:
➔ mathematical probability
➔ generalised possibility



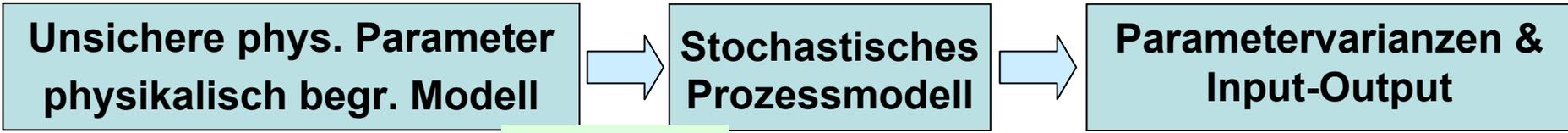
Monte-Carlo Methode

- Wiederholtes Ziehen von Elementen aus einer Stichprobe (der Verteilung der Zufallsvariablen)
- Vielfache deterministische Modellsimulation mit variierenden Zufallsvariablen
- Statistische Analyse der resultierenden Verteilungen im Output

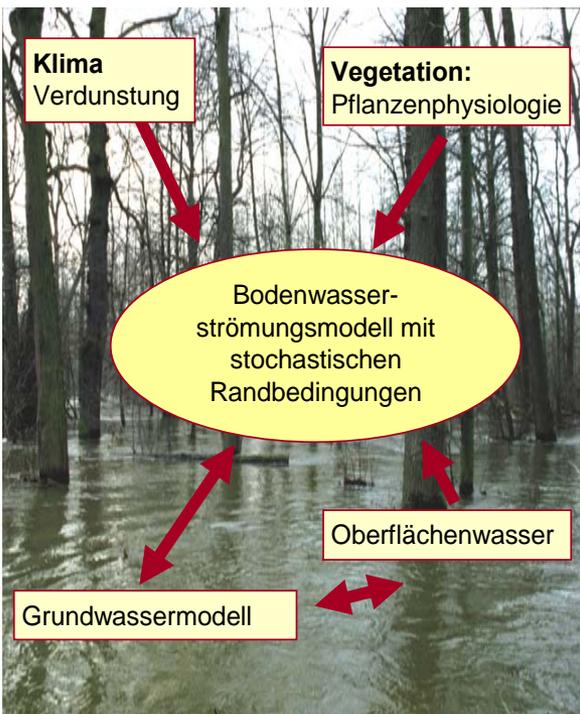
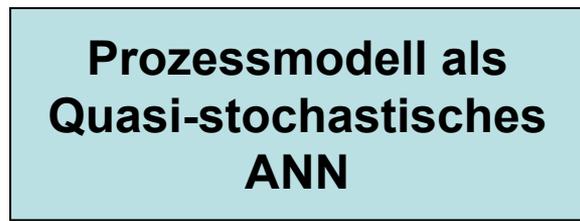


3.1 Einbeziehung der Unsicherheiten

Perturbationsmodelle: Überlagerung mittlerer & zufälliger Komponenten →
 stochastisch erweiterte Gleichungen, Simulation mit Erwartungswert & Covarianzfunktionen



Realisierungen

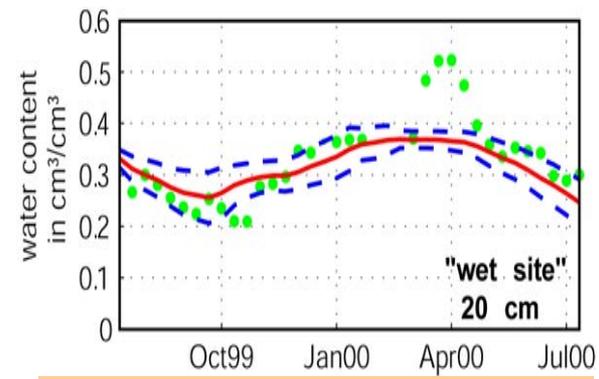


Unsicherheiten Niederschlag & Bodenparameter:
 Statistisch unabhängig!

Varianz der Erwartungswerte

$$\text{Var}(\text{Ex}(M)) + \text{Ex}(\text{Var}(S))$$

Erwartungswert der Varianzen



Gesamtunsicherheit

3.2 Realisierung von vernetzten IWRM Tools mit zukunftsfähigen Modellen, Unsicherheiten & multikriterieller Optimierung: Probleme

➤ Benötigt für die IWRM Praxis:

- sozio-ökonomische, hydrologische & hydraulische Modelle
 - Zukunftsfähig, physikalisch begründet
 - aber robust & zuverlässig, gut zu betreiben
- Vernetzung der vielen unterschiedlichen Module
- Einbeziehung der gesamten Modellunsicherheit
- Einbeziehung stochastischer Randbedingungen - Global Change Unsicherheit → optimalen Anpassungsstrategien
- Ganzheitliche multikriterielle Optimierung

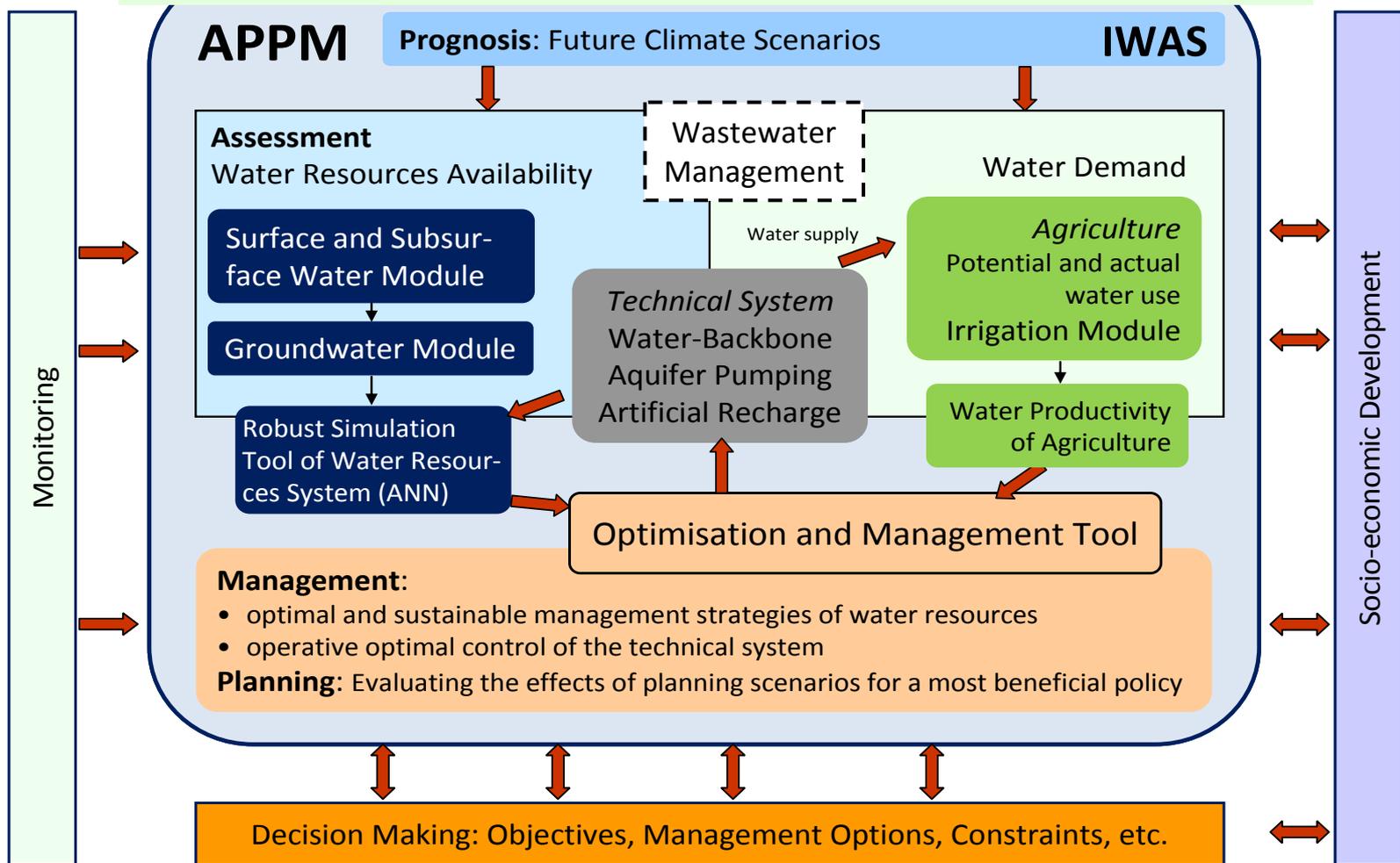


unbeherrschbarer Rechenaufwand, zu komplex für praktischen Einsatz, Risiko numerischer Instabilitäten

klassische Modellansätze → Sackgasse

4. Innovative Lösungsansätze zur Implementation einer neuen Generation ganzheitlicher IWRM Tools

Hybrid: Physik. Basiert & problemspezifische K I Tools

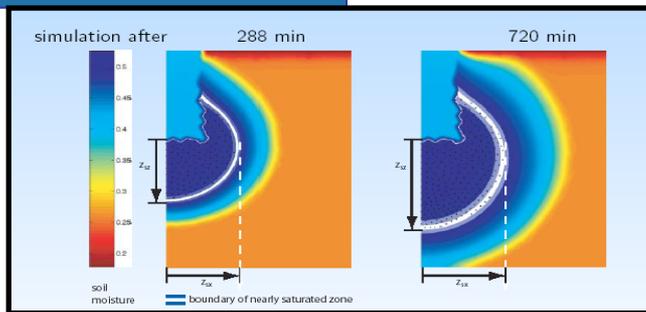


BOTTOM UP zum großskaligen IWRM

Regional Ebene

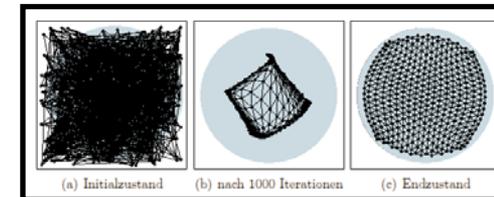
Farm Ebene

Feld Ebene



SOM-MIO(Kompakt-Modell) Optimale Steuerung

- 2D/3D ungesättigte Zone
- 2D Wurzelmodell
- optimale Wasserzuführung

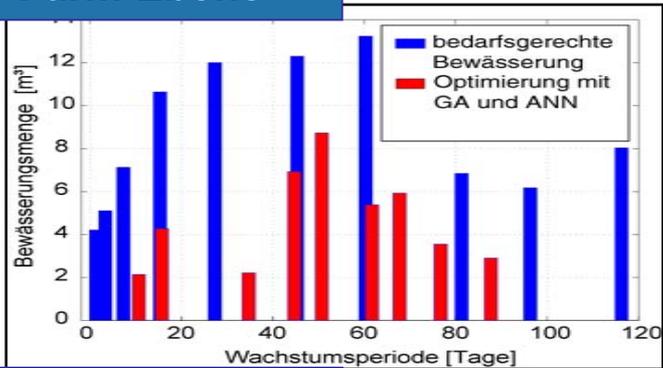


- **Neuentwickelte ANN-Architektur**

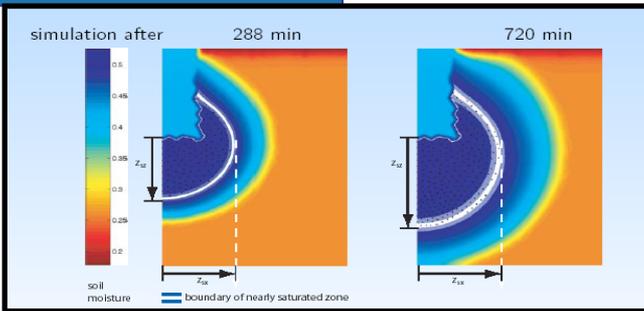
BOTTOM UP zum großskaligen IWRM Tool

Regional Ebene

Farm Ebene



Feld Ebene



SCWPF (Kompakt-Modell)

Stochastische Schadensfkt. Minimale Nebenwirkungen

- 1D/2D SVAT Modell
- optimales Scheduling von Wasser (-güte) und Düngung
- Variabilität von Klima, Boden

SOM-MIO(Kompakt-Modell)

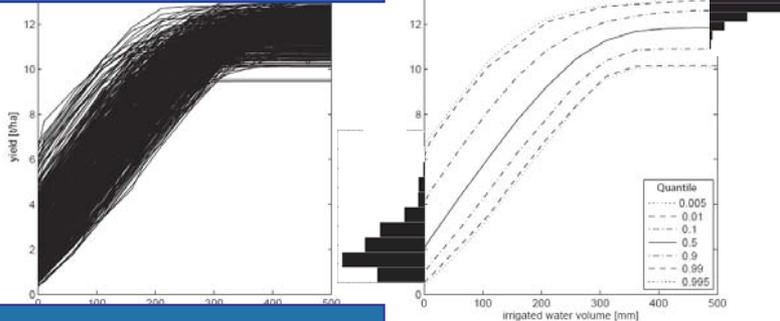
Optimale Steuerung

- 2D/3D ungesättigte Zone
- 2D Wurzelmodell
- optimale Wasserzuführung

- Neuentwickelter evolutionärer Algorithmus
- Monte Carlo Simul. mit Importance Sampling Strategie und hocheffizienter Dichteschätzung
- Neuentwickelte ANN-Architektur

BOTTOM UP zum großskaligen IWRM

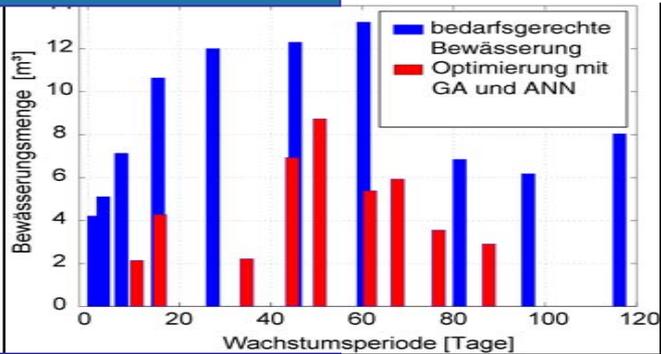
Regional Ebene



Großskaliges multikriterielles und stochastisches IWRM Tool

- Paretomengen von Nutzen- und Schadfunktionen (Wkt.) \leftrightarrow GIS-Interface
- optimale Ressourcenbewirtschaftung und Risikomanagement

Farm Ebene



SCWPF (Kompakt-Modell)

Stochastische Schadensfkt. Minimale Nebenwirkungen

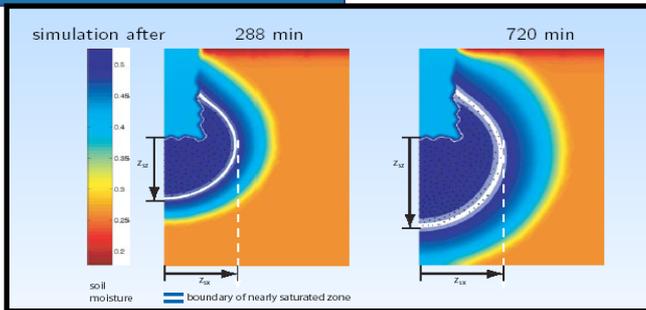
- 1D/2D SVAT Modell
- optimales Scheduling von Wasser (-güte) und Düngung
- Variabilität von Klima, Boden

- stochastische Optimierungsverfahren

- Neuentwickelter evolutionärer Algorithmus

- Monte Carlo Simul. mit Importance Sampling Strategie und hocheffizienter Dichteschätzung

Feld Ebene



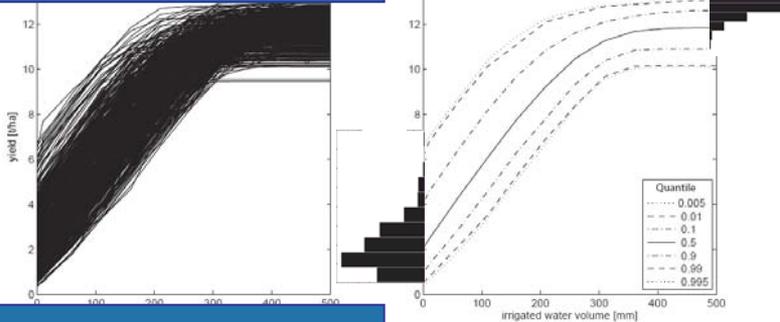
SOM-MIO(Kompakt-Modell) Optimale Steuerung

- 2D/3D ungesättigte Zone
- 2D Wurzelmodell
- optimale Wasserzuführung

- Neuentwickelte ANN-Architektur

BOTTOM UP zum großskaligen IWRM

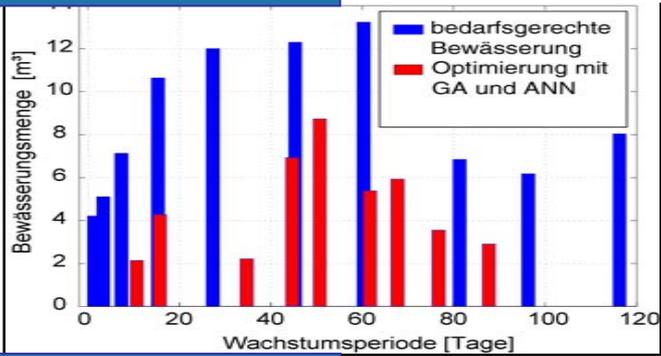
Regional Ebene



Großskaliges multikriterielles und stochastisches IWRM

- Paretomengen von Nutzen- und Schadfunktionen (Wkt.) \leftrightarrow GIS-Interface
- optimale Ressourcenbewirtschaftung und Risikomanagement

Farm Ebene

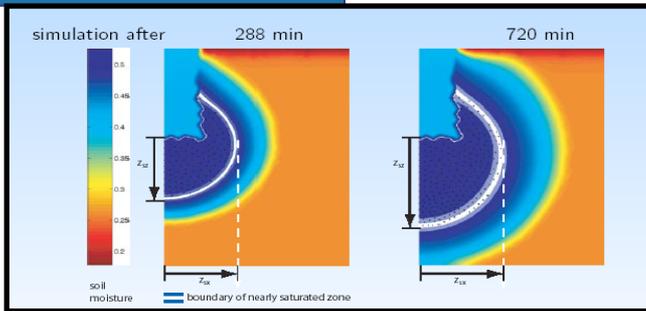


SCWPE (Kompakt-Modell)

Stochastische Schadensfkt. Minimale Nebenwirkungen

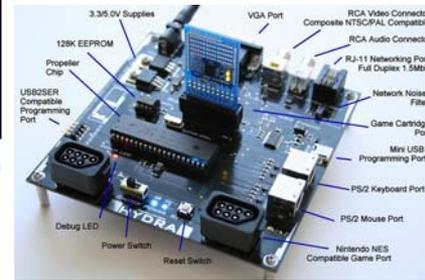
- 1D/2D SVAT Modell
- optimales Scheduling von Wasser (-güte) und Düngung
- Variabilität von Klima, Boden

Feld Ebene



SOM-MIO(Kompakt-Modell) Optimale Steuerung

- 2D/3D ungesättigte Zone
- 2D Wurzelmodell
- optimale Wasserzuführung



Mikrocontroller

5. Umgang mit Unsicherheiten: Capacity building in der Region

Zielgruppenbasierte Ansätze (Beispiel IWAS Mittlerer Osten– Oman)

Wissenschaftsbereich: invited keynote, 2 Vortr. Gulf Water Conf.

- Gemeinsames, Oman finanziertes, flankierendes Forschungsprojekt
- Wissenschaftleraustausch, Betreuung omanischer Doktoranden
- Gemeinsame Feldexperimente im Oman

Ministerialbereich → Entscheidungsträger

- Frühzeitige Integration in das IWRM-Projekt → Bildung einer eigenen IWAS-Expertengruppe mit 11 Beamten aus relevanten Abteilungen mit eigener finanzieller Ausstattung (600.000€)
- Projektspezifische, neu konzipierte E-learning module (Finanzierung Oman) in Zusammenarbeit mit IHP/UNESCO und RTWTH Aachen → Fokus: IWRM in Arid Regions am Beispiel des Pilotprojektes
- On-the-job-Training in Deutschland → Schwerpunkt: Umgang mit unsicheren Informationen und Modellierung im Rahmen von IWRM

Bauernverbände

- Pilotfarmen → Einsatz moderner Bewässerungstechnik u. Steuerung
- Schulungen und Planspiele



Danke!

شكرا

