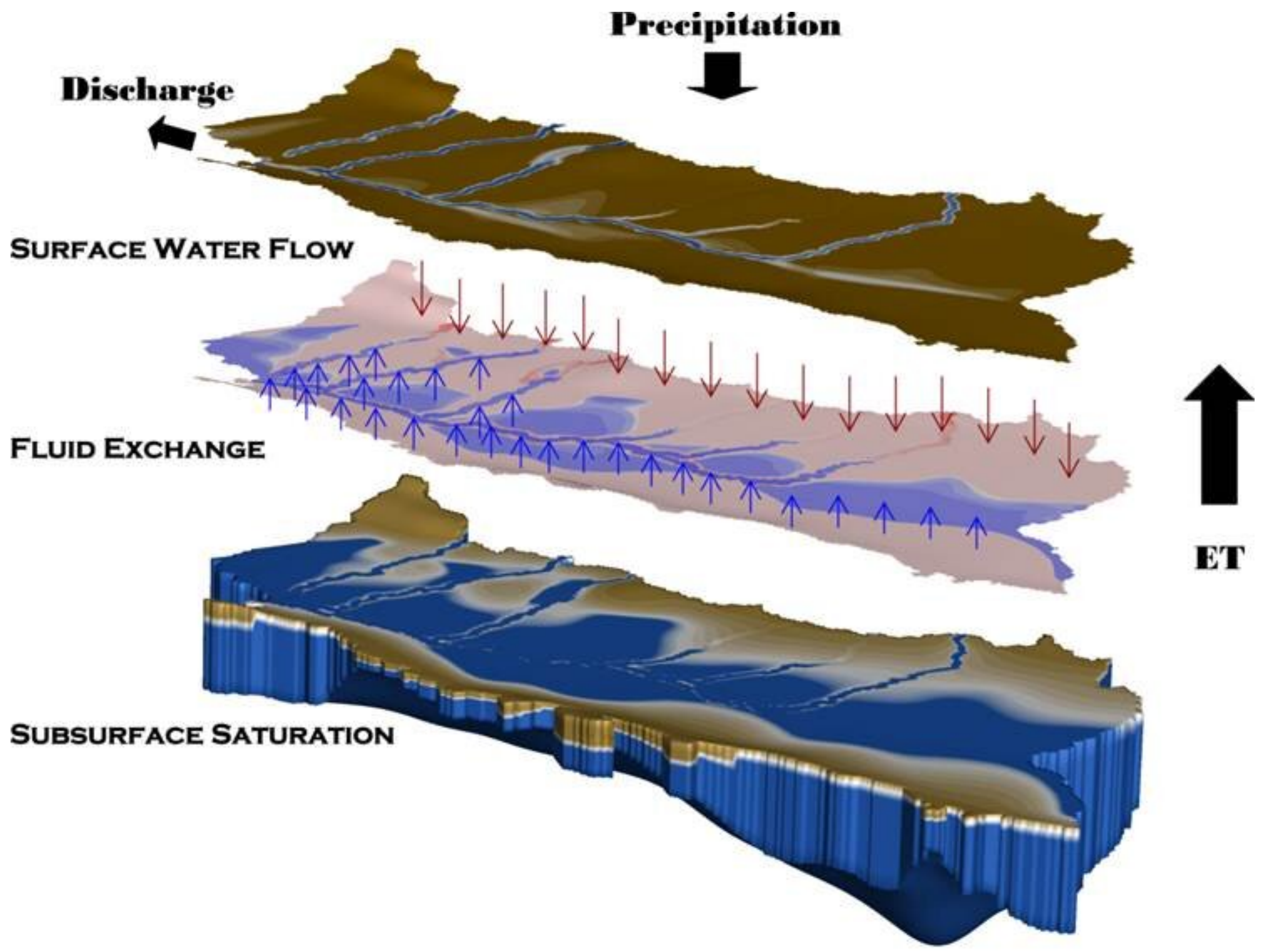
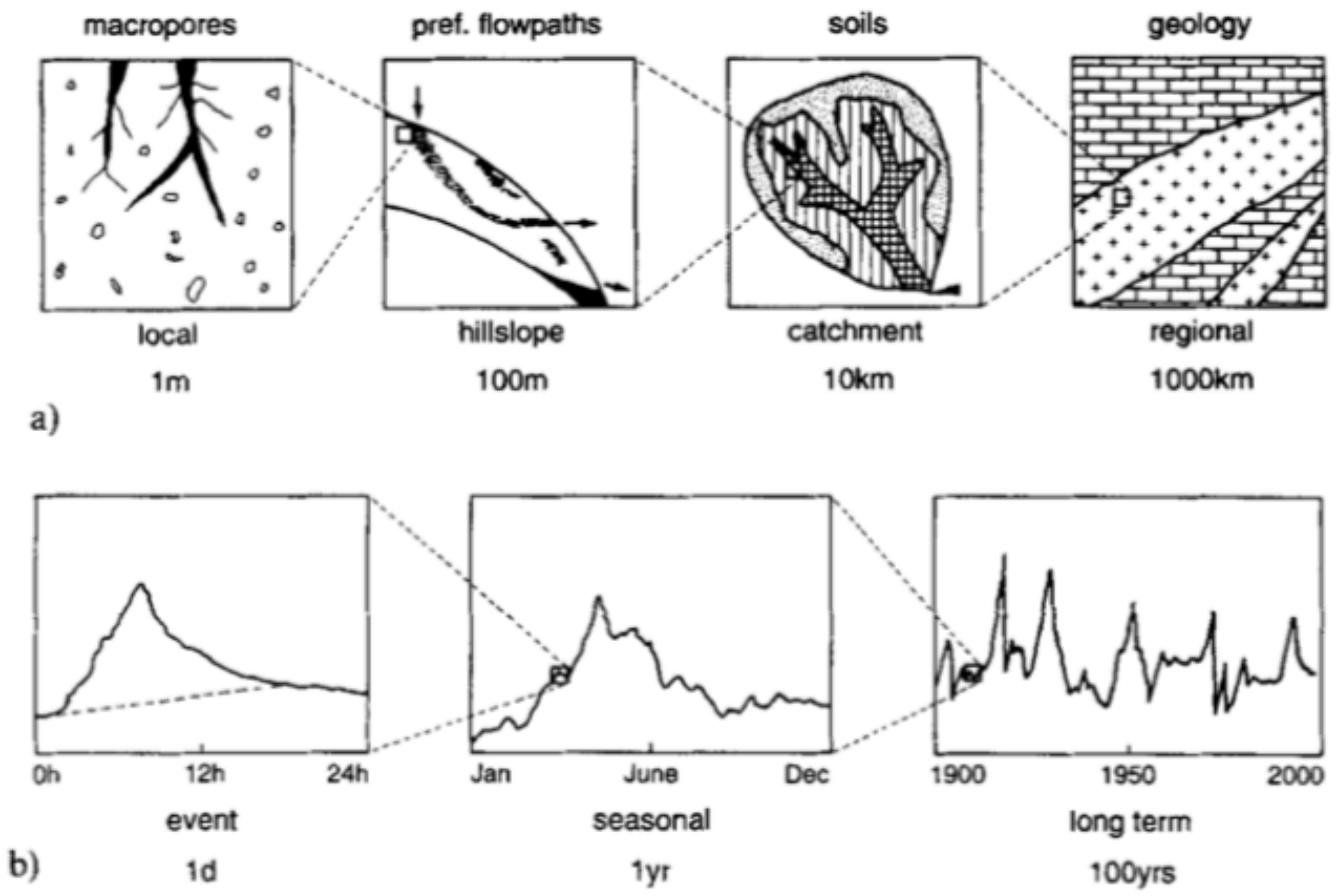
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.
TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Modelle, Skalen, Sensitivität 11

Grundlagen der Hydrologie
Primer in Hydrology



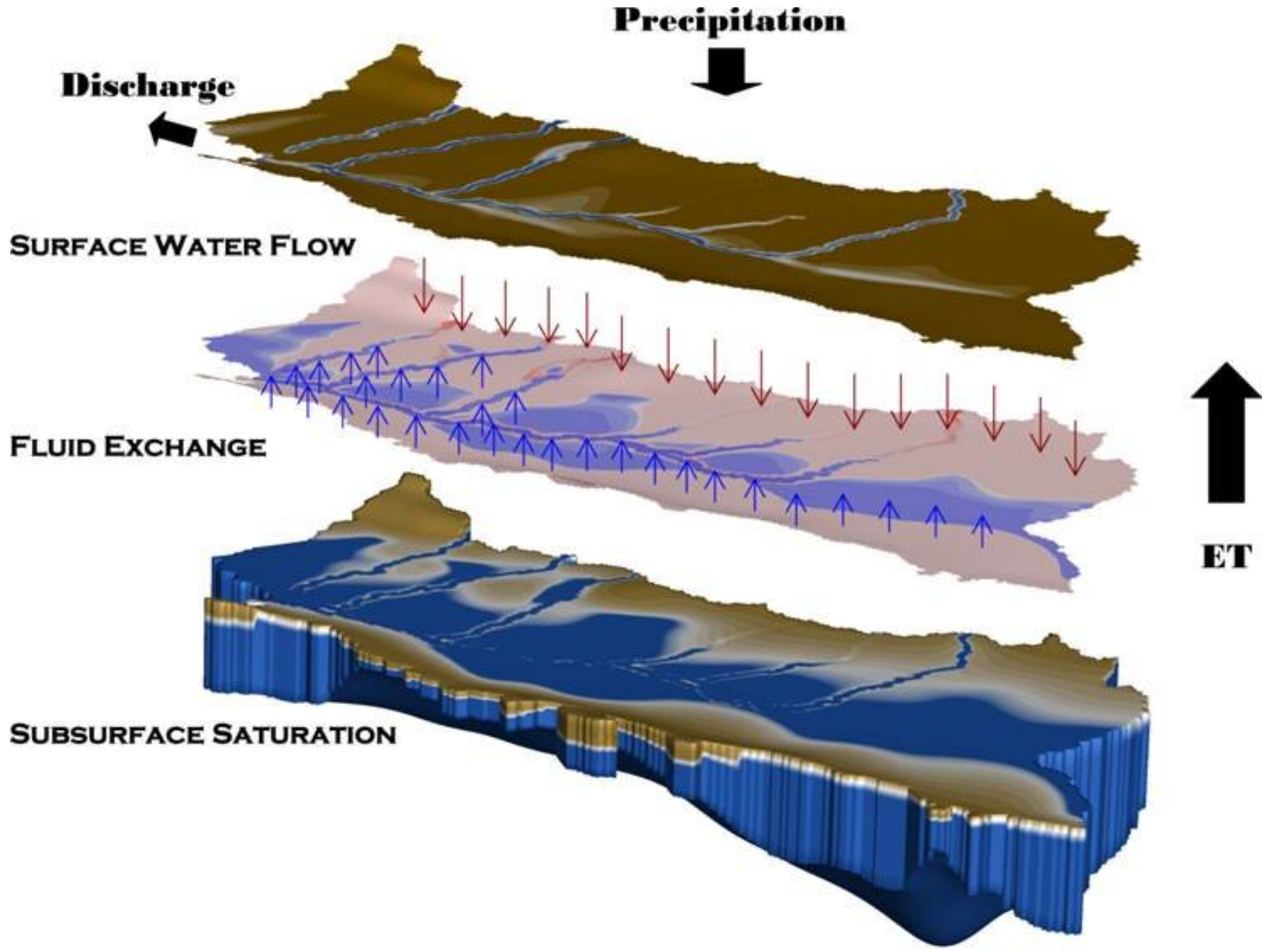


conrad.jackisch@tbt.tu-freiberg.de

Ziele der heutigen Vorlesung

Physikalische Modelle, Regionalisierung und Modellanwendung

11



Ziele:

- All models are wrong – but some are useful (after George Box)
- Klarheit darüber, was “physikalische Modelle” sind
- Konzepte der Sensitivität und Unsicherheit kennen und deren Wirkung verstehen
- das Skalen-Triplet und Skalierung verstehen
- Parameter Regionalisierung verstehen und in Anwendungsfälle einordnen können
- Hands on EZG analyse und Modellierung mit airGR in der PVL

Was verstehen wir unter “Modellierung”?

Perzeptuelles Modell: Welche Objekte, Prozesse, … sollen für die Frage ins Modell

Konzeptuelles Modell: Welche Gleichungen sollen die Prozesse beschreiben

Prozedurales Modell: Objekte und Gleichungen als Code im Computer

Modell Kalibrierung: Identifizierung geeigneter Werte für die Parameter

Modell Evaluierung: Bewertung der Modellgüte, Unsicherheiten, Konfidenz…

Erfolg?

nein

ja

Revision

das Entwickeln, Anpassen, Evaluieren, Benutzen von Modellen

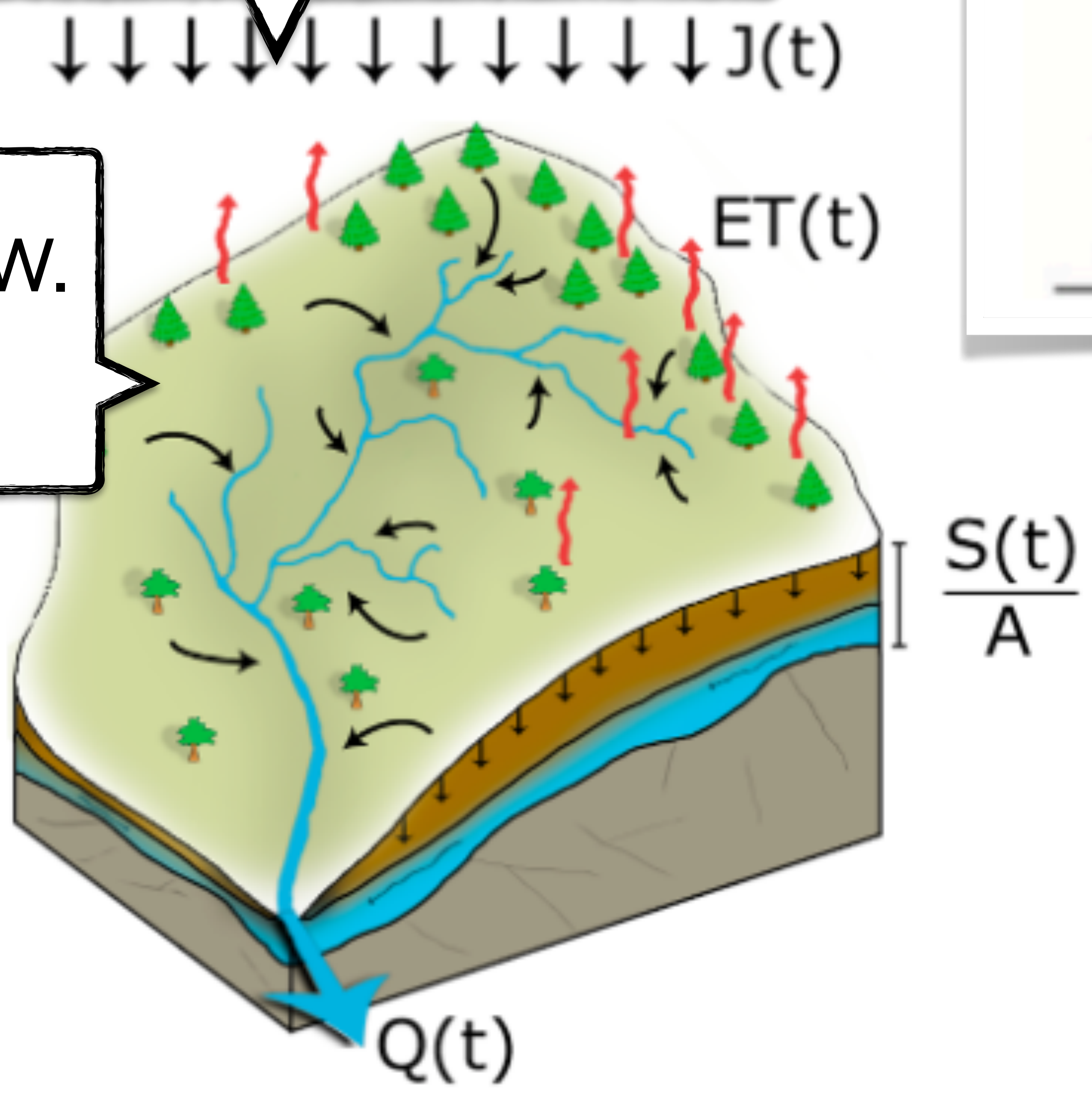
Der Modellierungs-Prozess beginnt weit vor der Verfahrens-anleitung von Berech-nungen im Computer.

"Physikalische" Modelle

Ein Frage der Prozessapproximation?

Einzugsgebiet mit Niederschlag (J), Speicher (S), Abfluss (Q) und Verdunstung (ET)

Topographie bzw. Höhenmodell

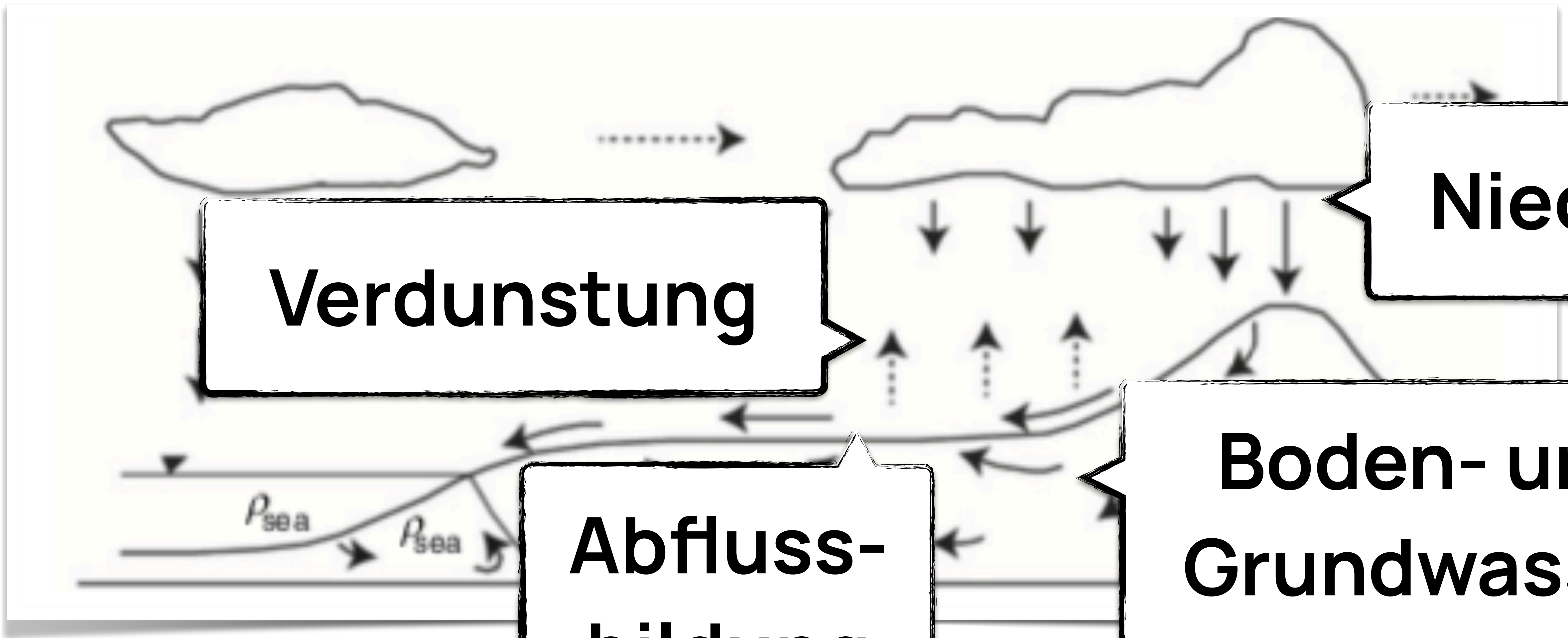


Verdunstung

Niederschlag

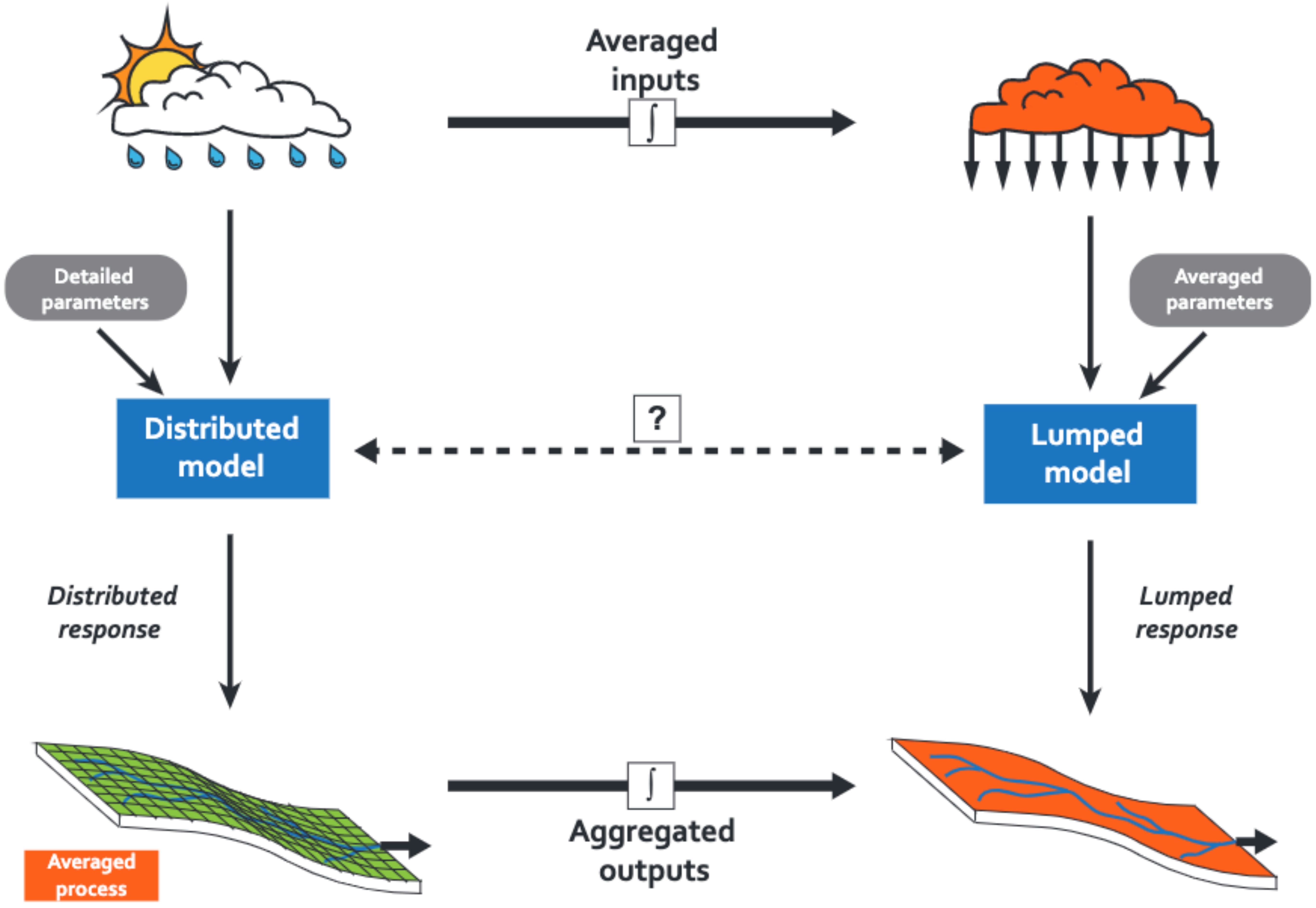
Boden- und Grundwasser

Abfluss-bildung



Eimer, Systeme und verteilte Prozesse

Eine Frage der Modellkonzeptualisierung im Raum?



- Verteilte Modelle brauchen viel mehr Parameter
- Können aber auch mit wenigen Parametern dynamisch verbundene Speicher abbilden
- Irgendwo ist jedes Modell nicht voll-aufgelöst

Peters-Lidard CD, Clark M, Samaniego L, et al (2017) Scaling, similarity, and the fourth paradigm for hydrology. Hydrol Earth Syst Sc 21:3701–3713. https://doi.org/10.5194/hess-21-3701-2017

“Physikalische” Modelle

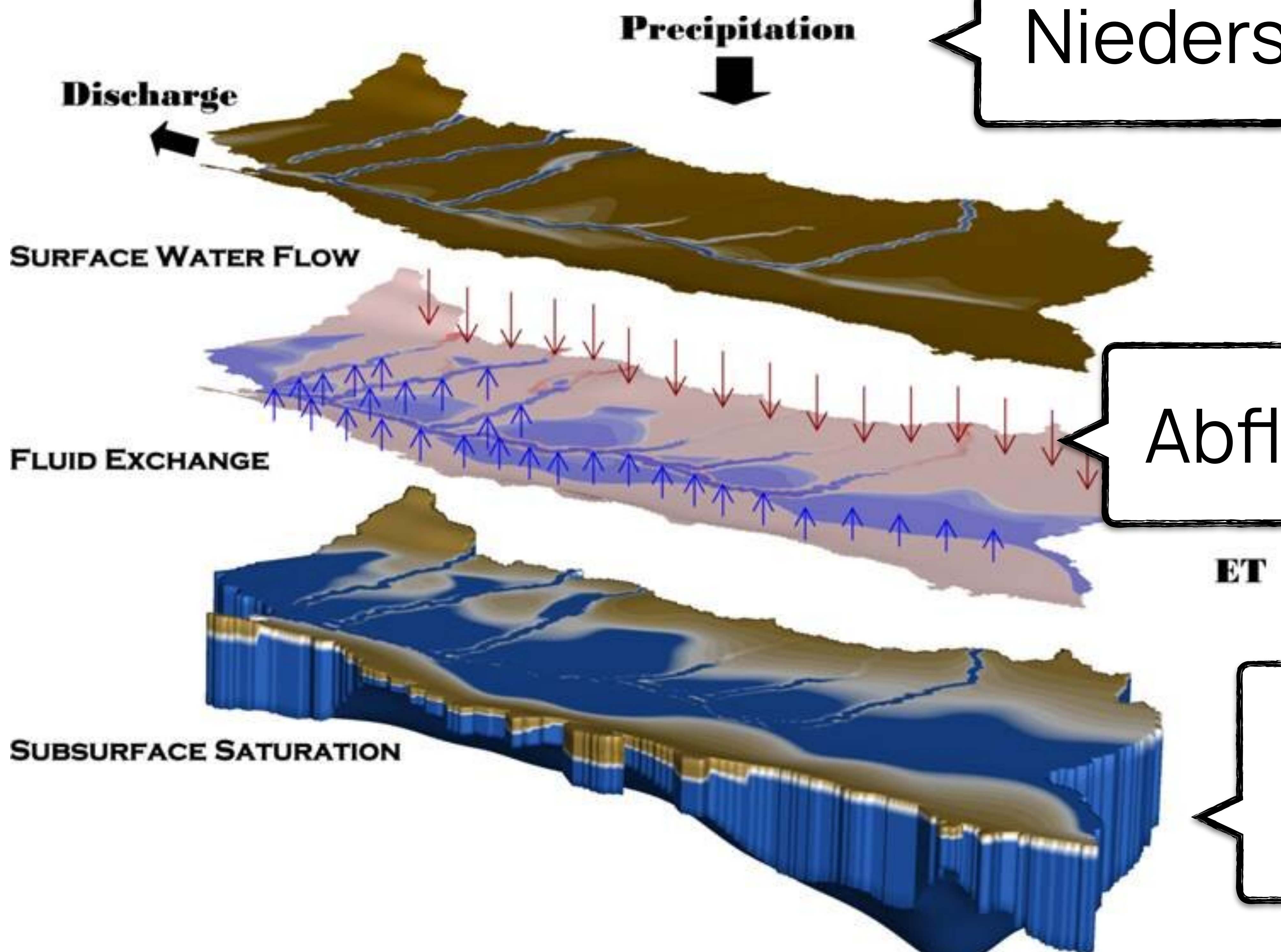
Beispiel HydroGeoSphere

3D Modell von Oberfläche und Untergrund

- Ziel: Verteile Zustandsdynamik mit messbaren Materialeigenschaften und Randflüssen simulieren

Höhenmodell, Landnutzung, Fließgewässernetz

Boden, Aquifere, Geologie



Niederschlag, Verdunstung

Abflussbildung, Routing

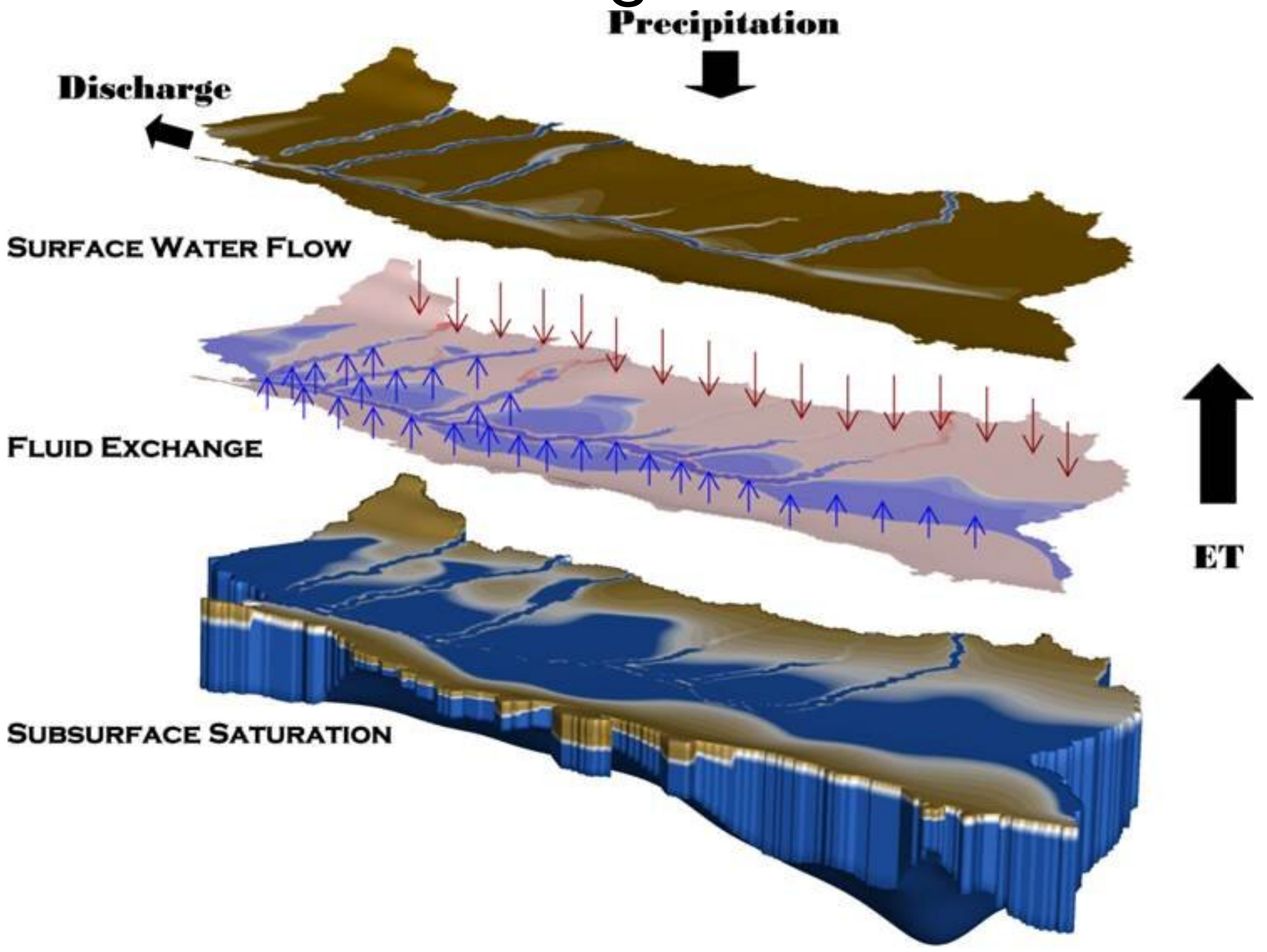
Grundwasser, Stofftransport

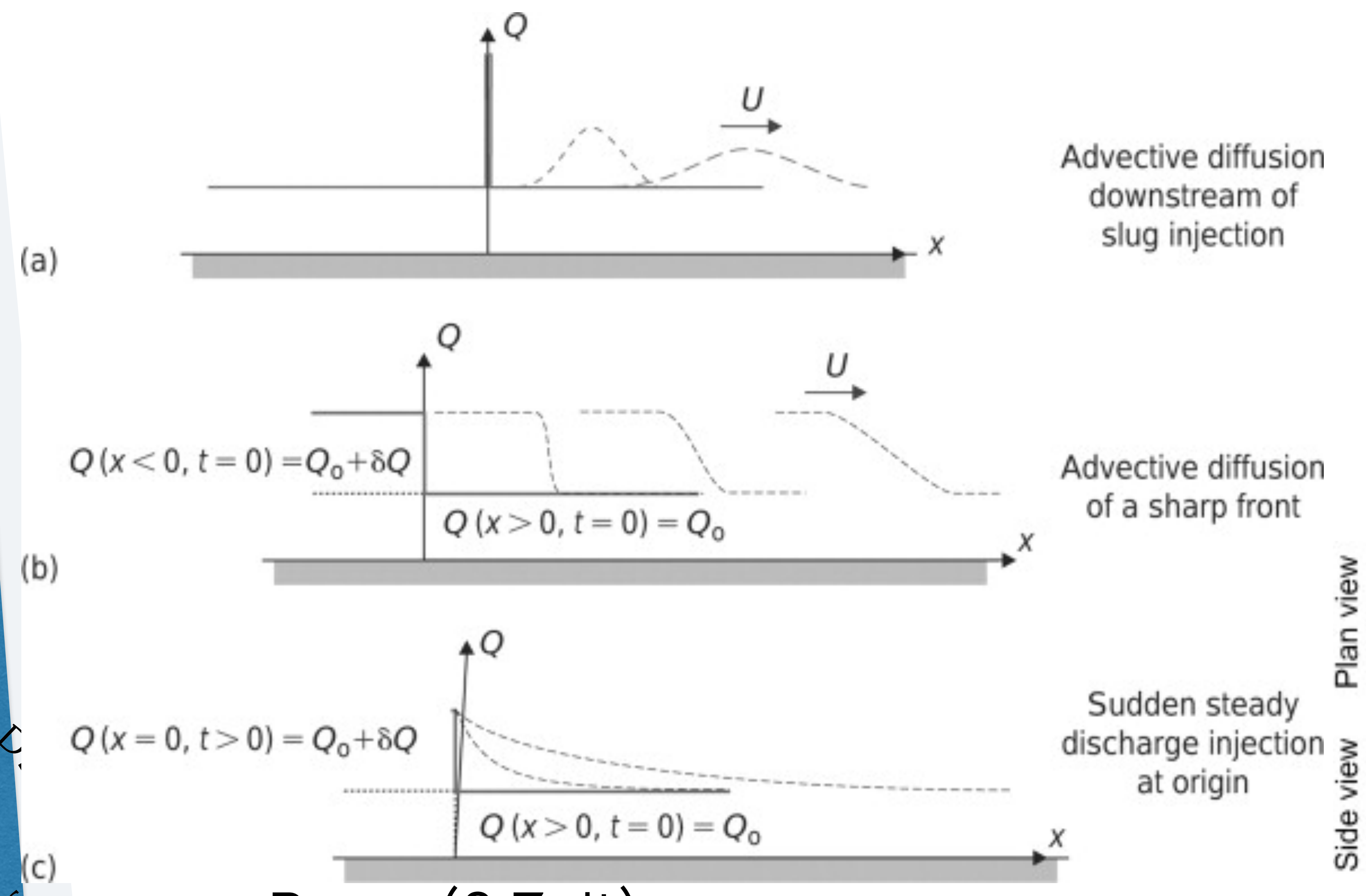
“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

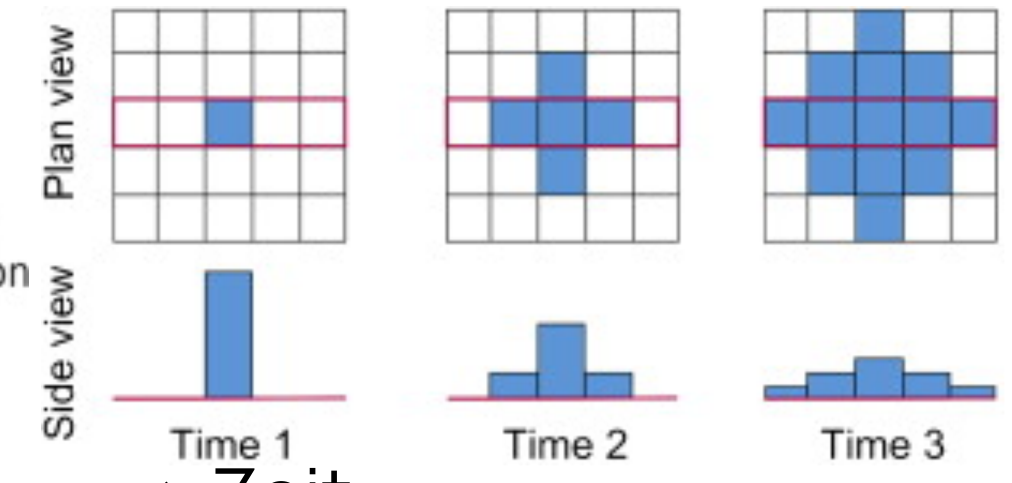
3D Modell von Oberfläche und Untergrund

- Aber wie genau wird so etwas gemacht?





→ Raum (& Zeit)



→ Zeit

“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

3D Modell von Oberfläche und Untergrund

…u wird so etwas gemacht?

Diffusionswellengleichungen
(Shallow water equations, 1D: Saint-Venant)

- Instationäre Gerinneströmung

Kontinuitätsgleichung

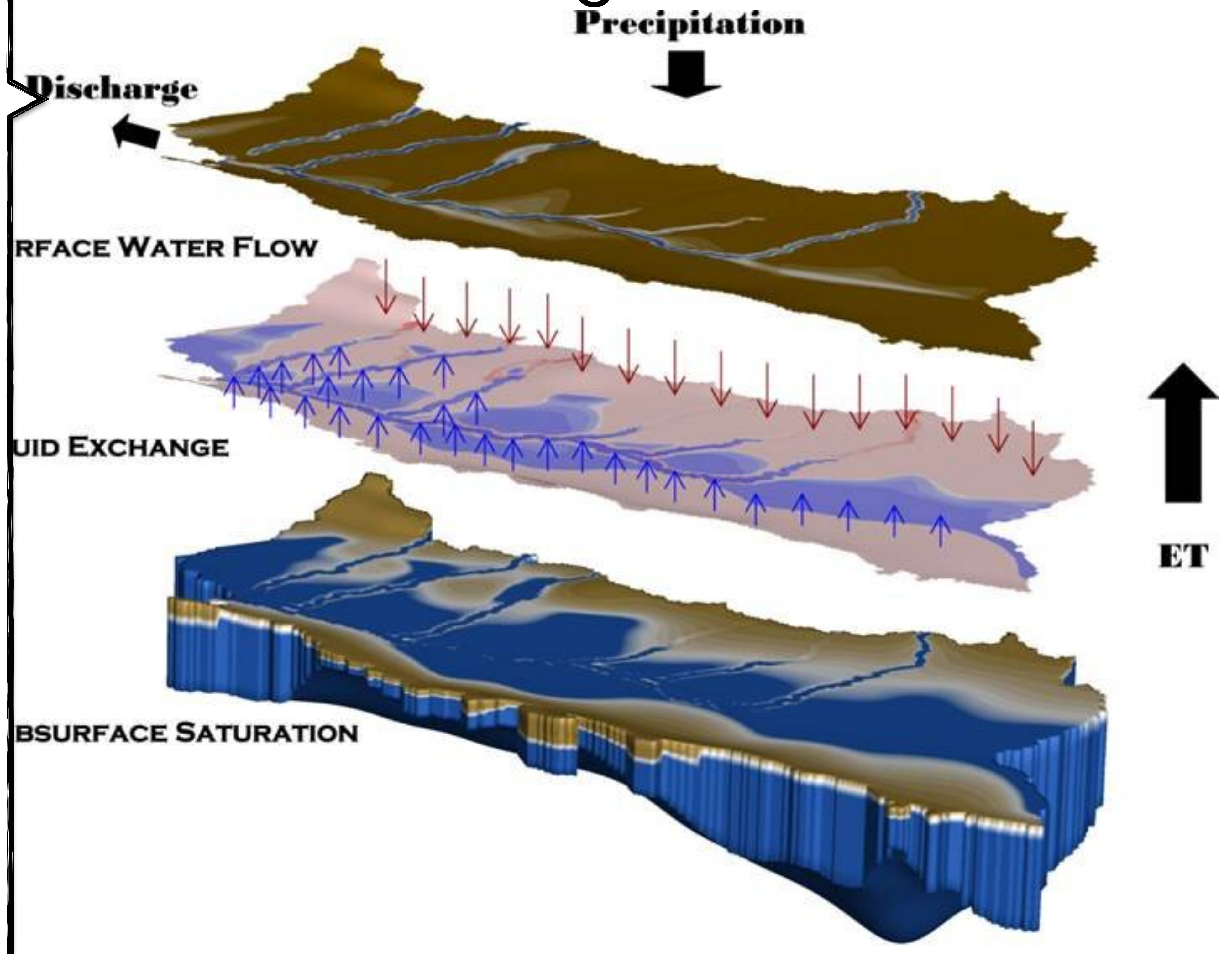
$$\frac{\partial Q}{\partial s}+\frac{\partial A}{\partial t}=0$$

- Q Durchfluss
- A Fließquerschnitt
- s Fließlänge
- t Zeit

Energiegleichung

$$\frac{\partial v}{\partial t}+v\cdot\frac{\partial v}{\partial s}+g\cdot\frac{\partial h}{\partial s}+g\cdot(J_S+J_V)=0$$

- v Fließgeschwindigkeit
- g Erdbeschleunigung
- h Wasserstand/-höhe
- J_S Solengefälle
- J_V Reibungsgefälle



“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

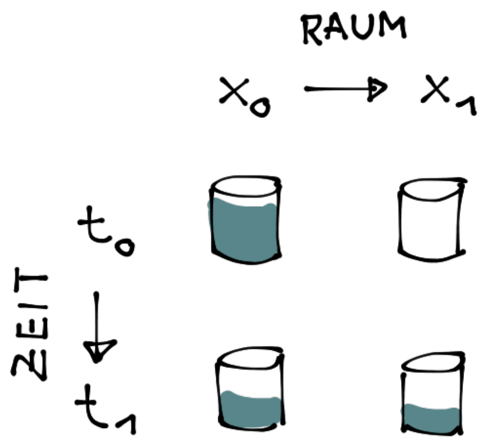
3D Modell von Oberfläche und Untergrund

u wird so etwas gemacht?

Richards-Gleichung

- ungesättigter Bodenwasserfluss

Kontinuitätsgleichung



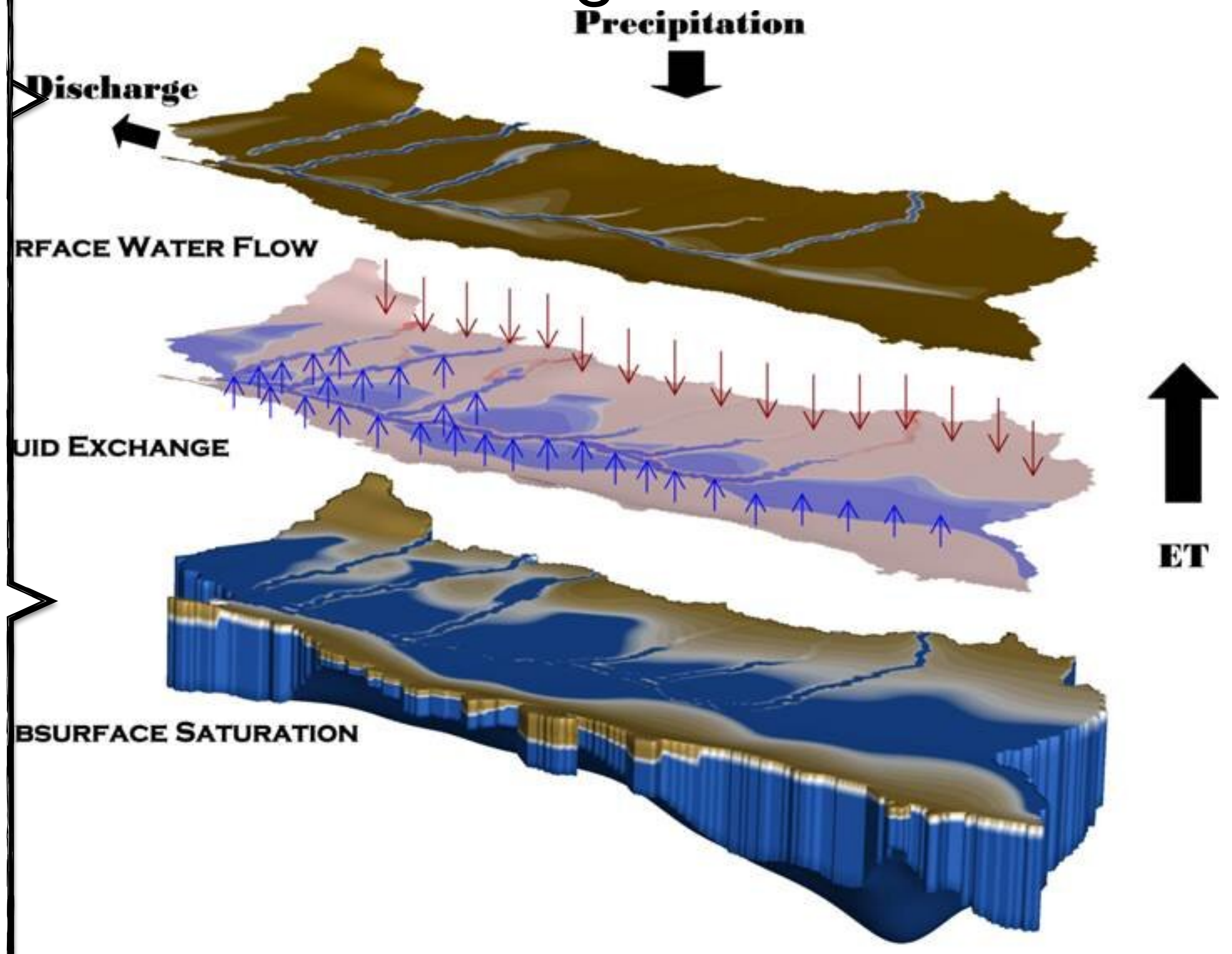
$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{dQ}{dx}$$

- θ Bodenfeuchte
- Q Fluss
- x Raum
- t Zeit

Energiegleichung

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{d}{dx}\left(K(\theta) \cdot \nabla H\right)$$

- K hydr. Leitfähigkeit
- ∇H hydr. Gradient

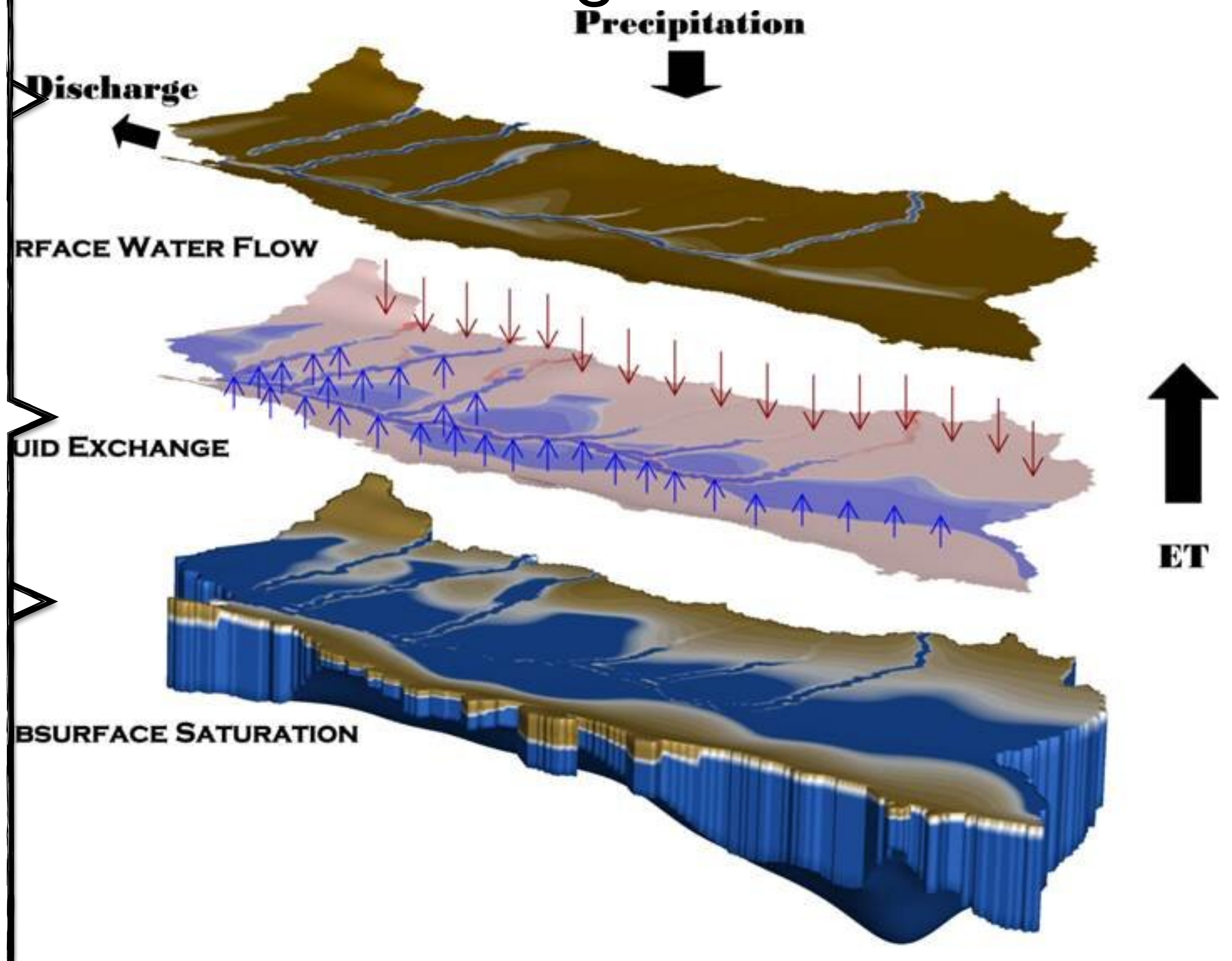


“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

3D Modell von Oberfläche und Untergrund

au wird so etwas gemacht?



Advektions-Dispersionsgleichung

- Stofftransport mit dem Wasser

Volumenbilanz

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = A\left(q_{in} - q_{out}\right)$$

(Stoff)Massenbilanz

$$\frac{\partial (Ac)}{\partial t} + \frac{\partial (Qc)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(AD\frac{\partial c}{\partial x}\right) = Aq_{in}c_{in} - Aq_{out}c$$

- A Querschnittsfläche
- q,Q Durchfluss (1D,3D)
- x Raum
- t Zeit

- c Konzentration
- D Diffusionskoeffizient

- u Fließgeschwindigkeit

Transportgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial c}{\partial x}\right) = q_{in}\left(c_{in} - c\right)$$

“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

Diffusionswellen-gleichungen

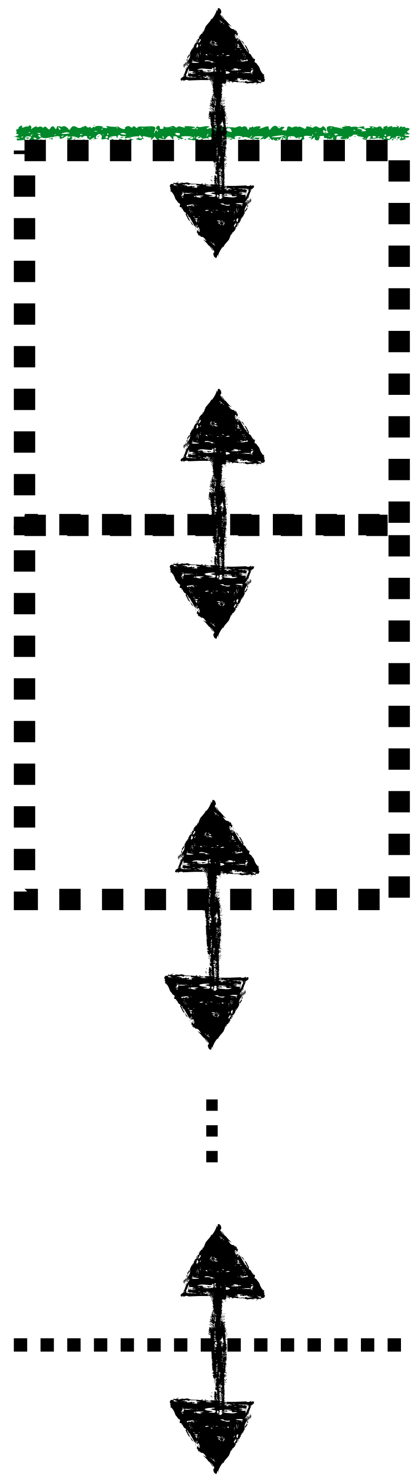
$$\frac{\partial v}{\partial t}+v\cdot\frac{\partial v}{\partial s}+g\cdot\frac{\partial h}{\partial s}+g\cdot(J_S+J_V)=0$$

Richards-Gleichung

$$\frac{d\theta}{dt}=-\frac{d}{dx}\left(K(\theta)\cdot\nabla H\right)$$

Advektions-Dispersionsgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t}+u\frac{\partial c}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial c}{\partial x}\right)=q_{in}(c_{in}-c)$$



3D Modell von Oberfläche und Untergrund

- Aber wie genau wird so etwas gemacht?

alle diese Differenzialgleichungen beziehen sich auf die Zustandsänderungen eines Kontrollvolumens!

- Wir brauchen also ein Netz aus solchen Kontrollvolumina, auf das wir die Gleichungen anwenden können

“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

Diffusionswellen-gleichungen

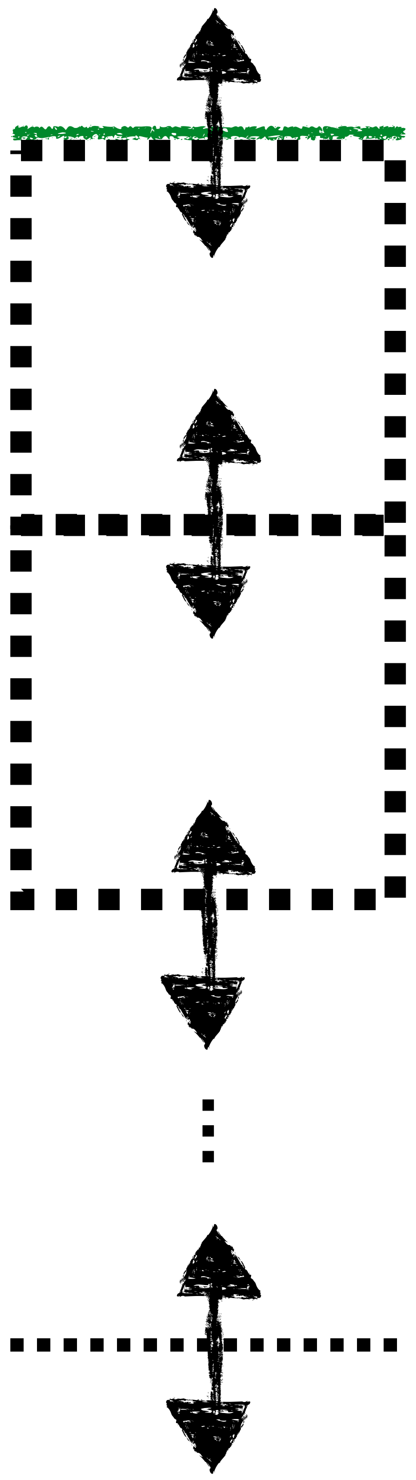
$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial s} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial s} + g \cdot (J_S + J_V) = 0$$

Richards-Gleichung

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{d}{dx}\left(K(\theta) \cdot \nabla H\right)$$

Advektions-Dispersionsgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial c}{\partial x}\right) = q_{in}(c_{in} - c)$$

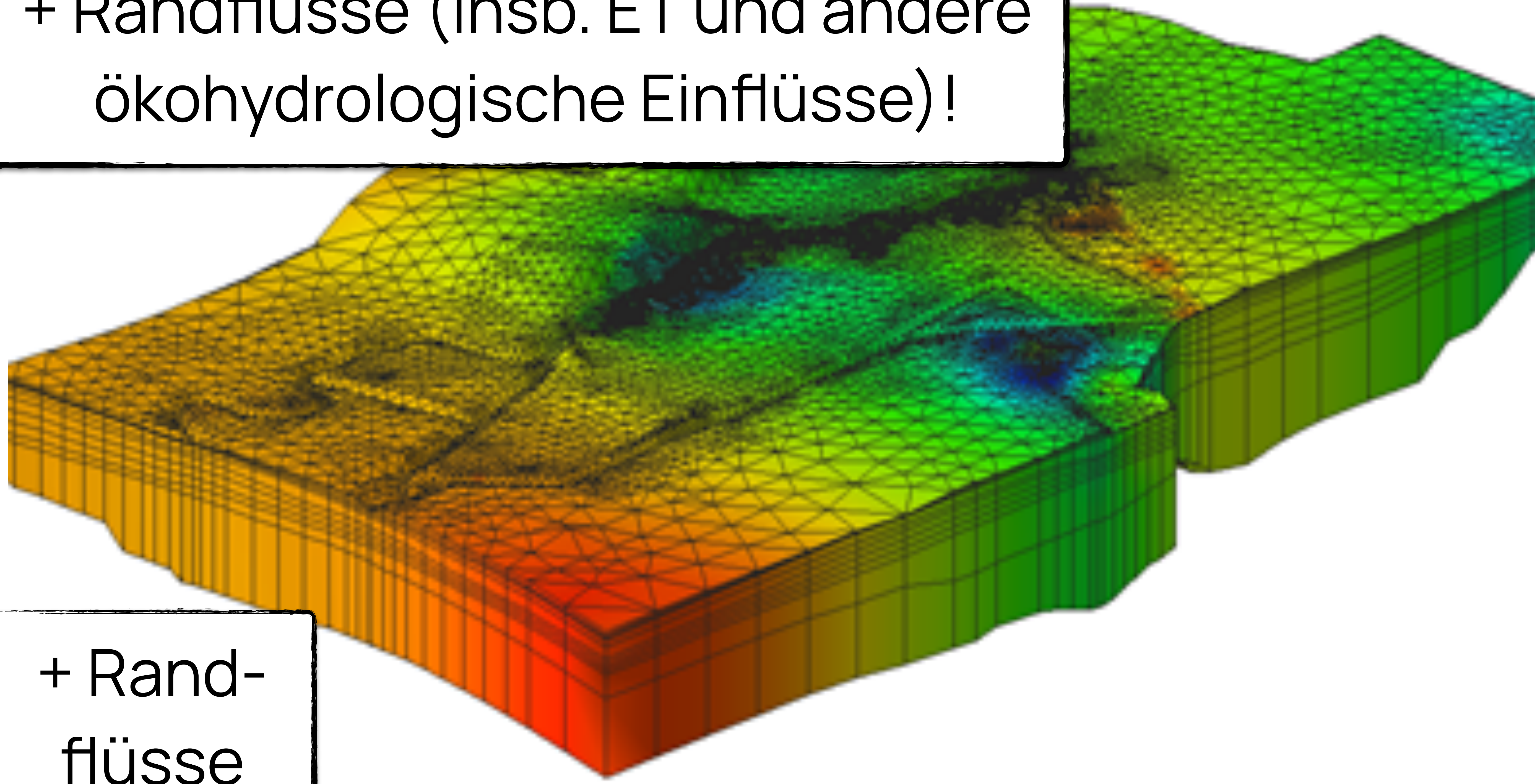


3D Modell von Oberfläche und Untergrund

- Aber wie genau wird so etwas gemacht?

+ Randflüsse (insb. ET und andere ökohydrologische Einflüsse)!

+ Randflüsse



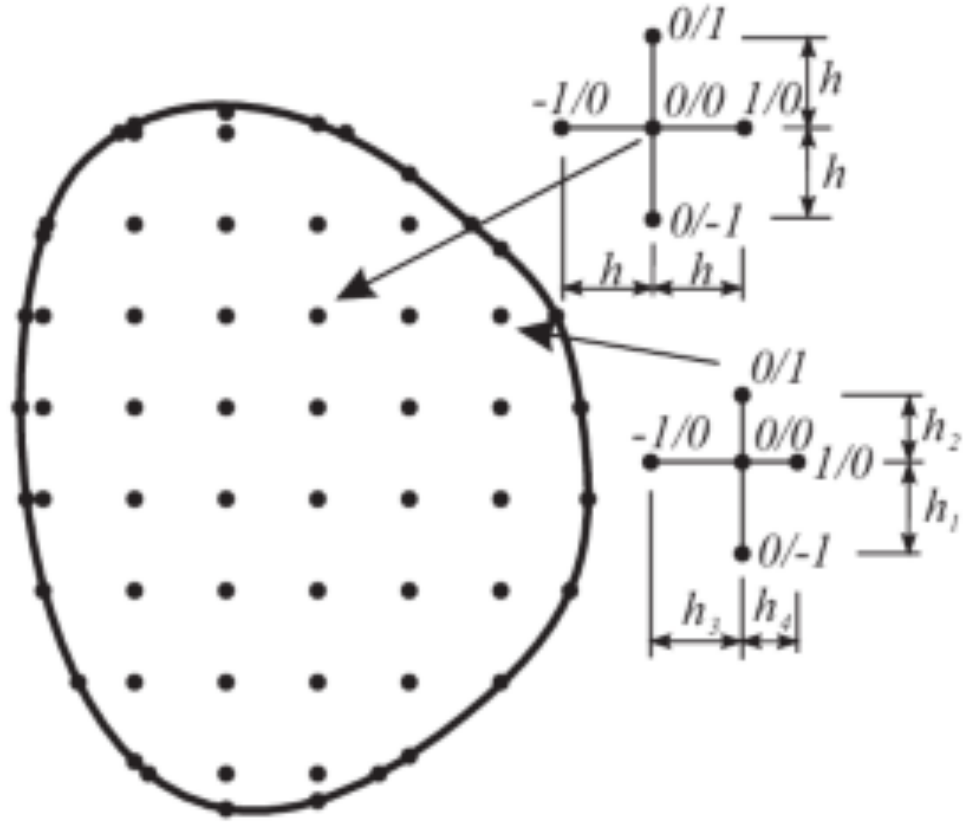
- am “besten” 3D

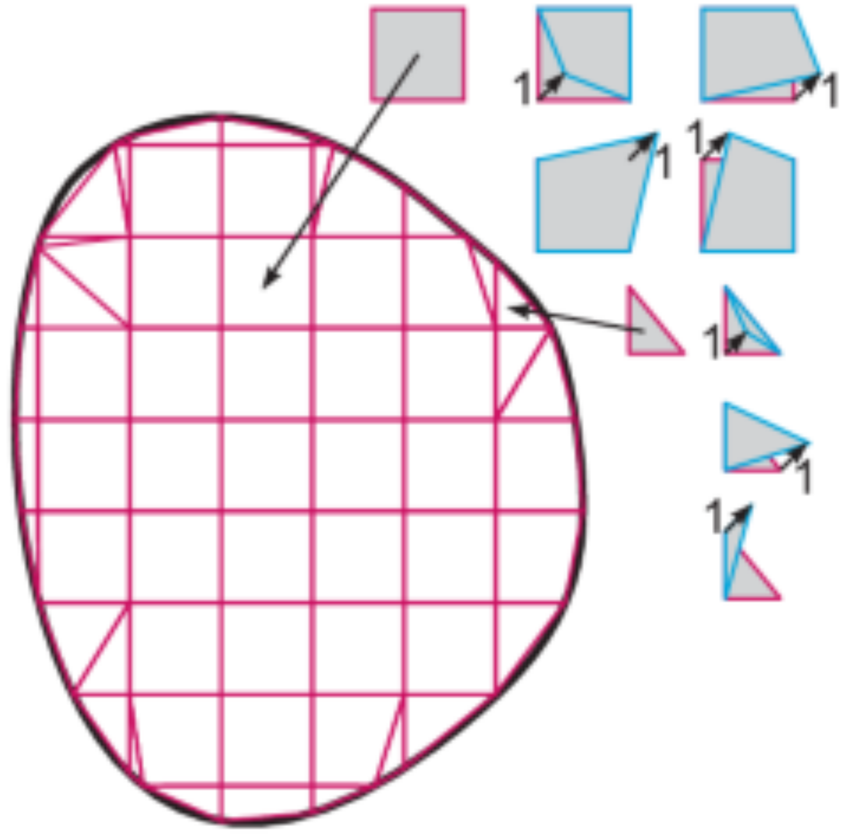
“Physikalische” Modelle

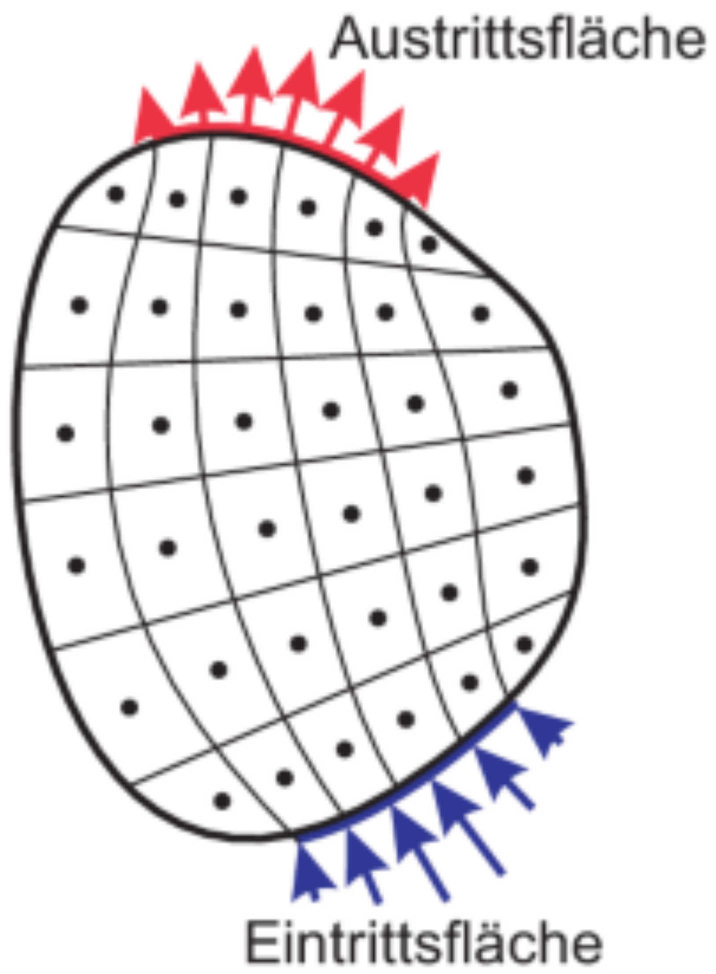
Beispiel HydroGeoSphere (oder MikeSHE, FEFLOW, Cathy, Hydrus…)

Unterteilen in Gitter

- Finite Differenzen (gleiche Abstände mit Gewichten für Flächenabdeckung)
- Finite Elemente (Flächenzerlegung mit angepassten Randlängen)
- Finite Volumen (curvilineare Zerlegung zur Bilanzierung der Randflüsse, FE Sonderfall)







Grundidee

- Differentialgleichungen in ein lösbares Gleichungssystem überführen

"Physikalische" Modelle

Beispiel HydroGeoSphere

Lösung der

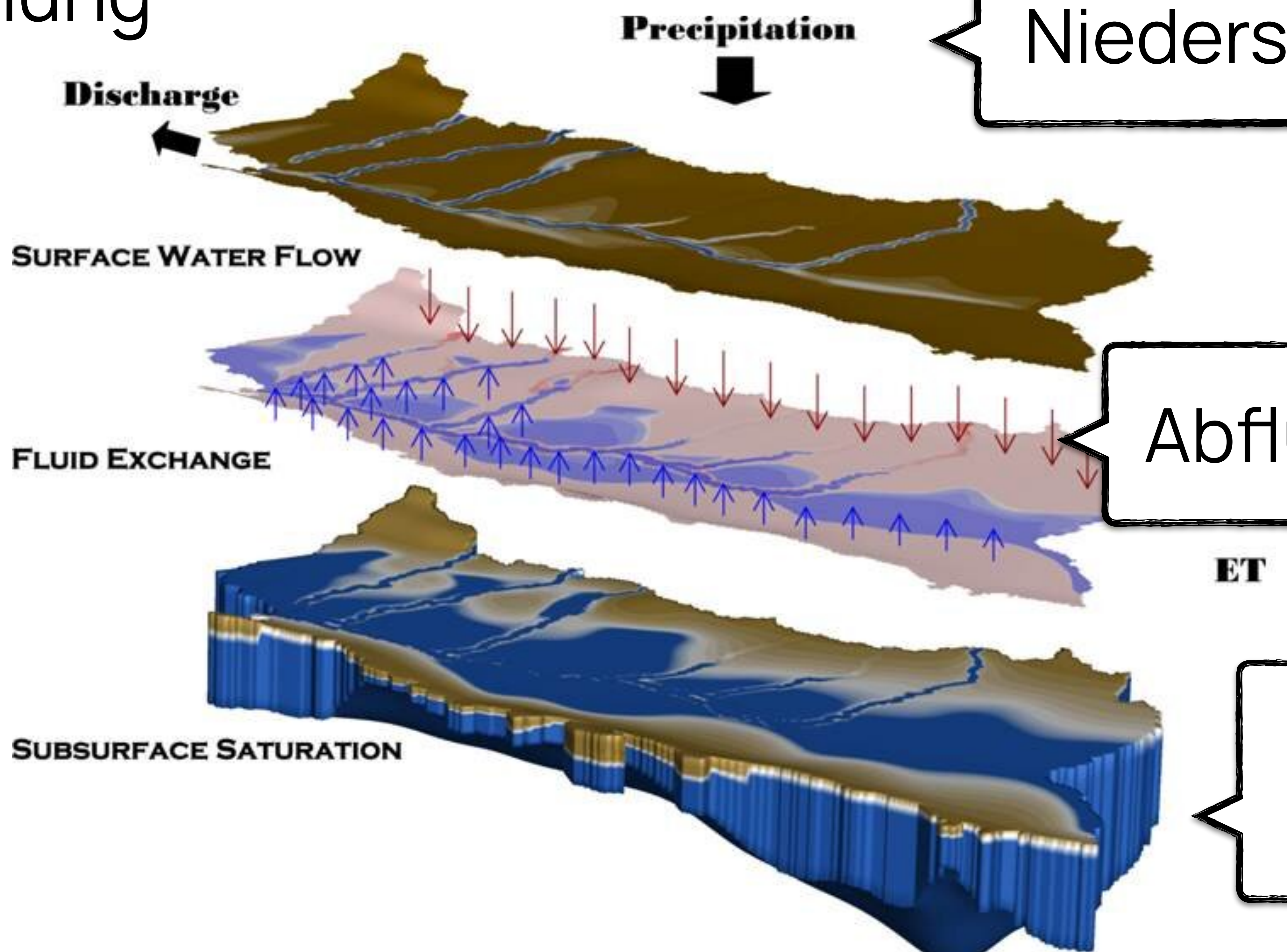
- 2D Diffusionswellengleichung
- 3D Richardsgleichung
- in allem Adv.-Dispersionsgleichung

3D Modell von Oberfläche und Untergrund

- Ziel: Verteile Zustandsdynamik mit messbaren Materialeigenschaften und Randflüssen simulieren

Höhenmodell, Landnutzung, Fließgewässernetz

Boden, Aquifere, Geologie



Niederschlag, Verdunstung

Abflussbildung, Routing

Grundwasser, Stofftransport

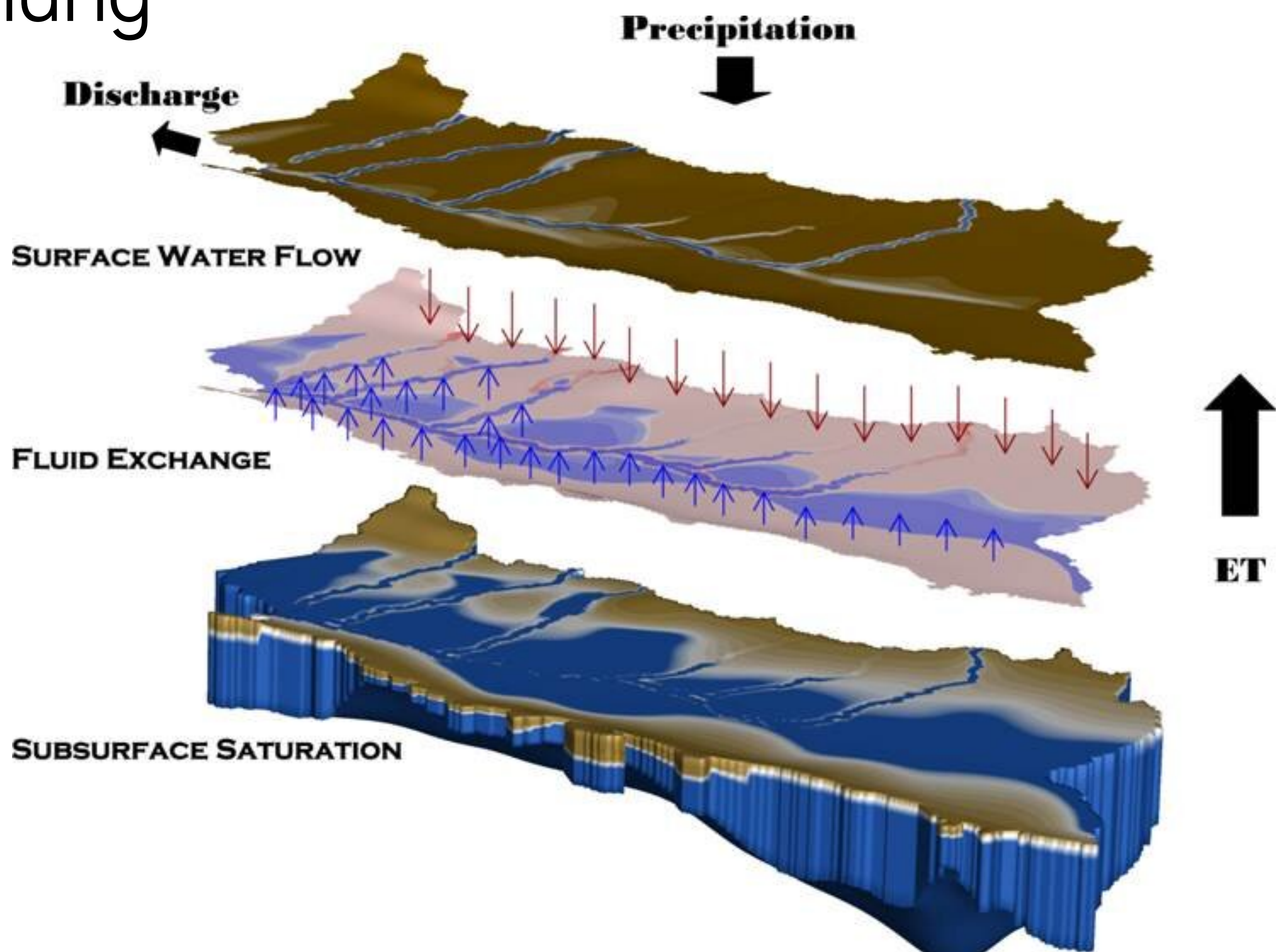
“Physikalische” Modelle

Beispiel HydroGeoSphere

Lösung der
- 2D Diffusionswellengleichung
- 3D Richardsgleichung
- in allem Adv.-Dispersionsgleichung

Aber:
- es müssen weiter für jedes Kontrollvolumen korrekte Parameter definiert werden…

3D Modell von Oberfläche und Untergrund
- Ziel: Verteile Zustandsdynamik mit messbaren Materialeigenschaften und Randflüssen simulieren



TU Bergakademie Freiberg

Wrap-up hydrologischer Modellkonzepte

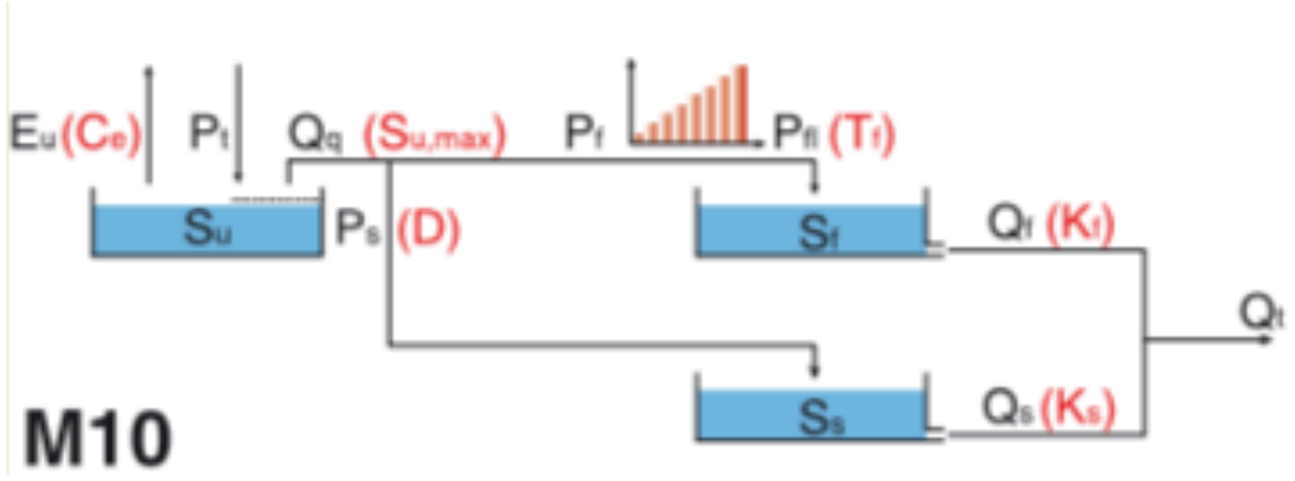
alle mit Vor- und Nachteilen, selten in “Reinform”

Statistische Modelle

- Regression und ML zur Verknüpfung von Prädiktoren (zB. P,t) und Zielvariablen (zB. Q,p_{HQ})
- Blackbox, keine physik. Begründung der Modelle und Parameter

Speicher und Filter

- Kaskade/Netz aus Speichern und Filtern
- Graybox, konzeptuelle Zuordnung von Netz und Speichern mit deren Eigenschaften zu Prozessbereichen



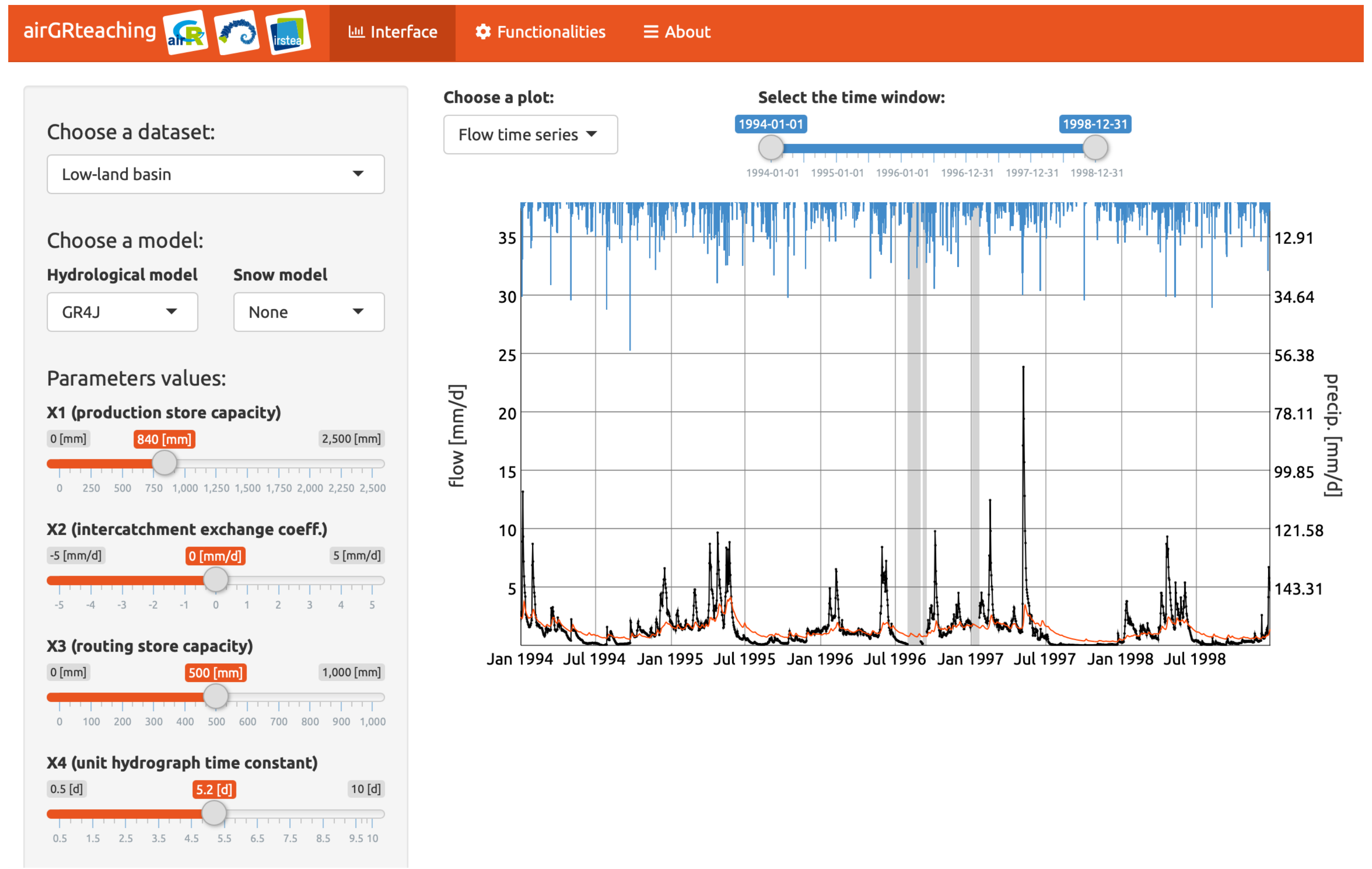
M10

Differenzialgleichungen

- riesiges Gleichungssystem aller Flüsse auf physik. Grundlage
- Whitebox, verteilte Zustände und Flüsse “vollständig” aufgelöst
- Vorteil = Nachteil: Parameter und Flüsse müssen auch überall definiert werden, Randflüsse weiter Problem

Sensitivität und Unsicherheit

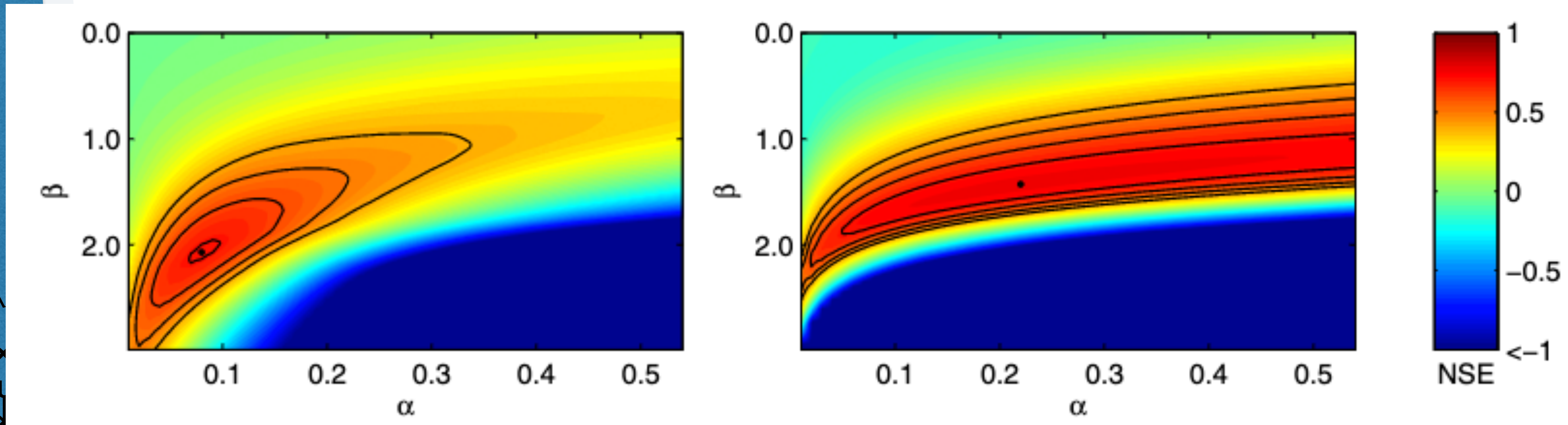
Parameter-Räume



Parameter Sensitivität

- wie stark steuert ein Parameter das Modell?
- erneut: nicht-linear und zustandsabhängig
- Parameter-Interaktion

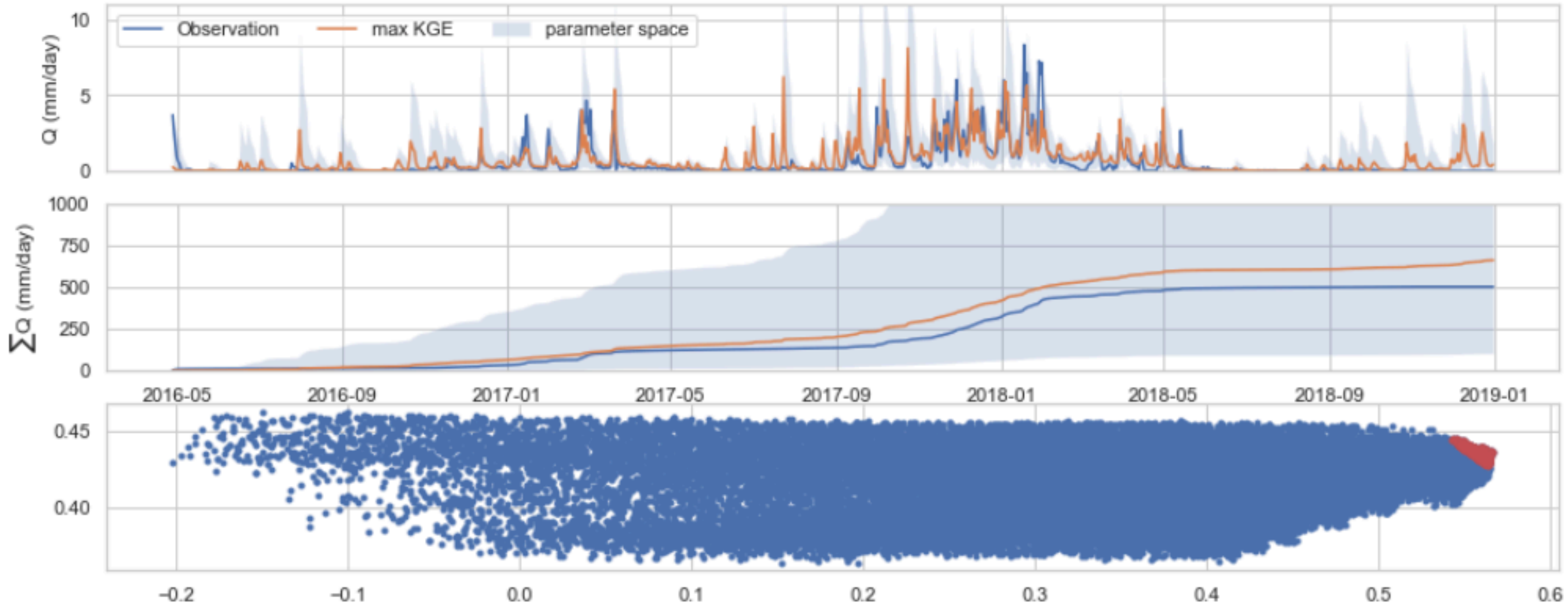
- α & β als Bsp. Parameter
- NSE als eval. Kriterium



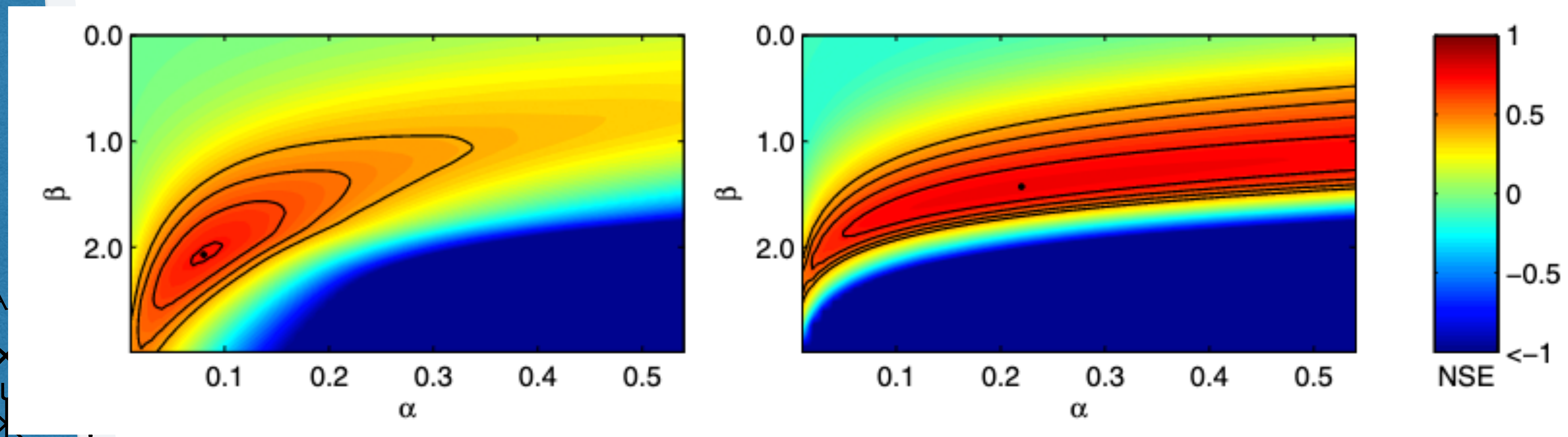
Melsen et al. (2014) Catchments as simple dynamical systems: A case study on methods and data requirements for parameter identification. Water Resources Research 50:5577–5596. https://doi.org/10.1002/2013wr014720

Sensitivität und Unsicherheit

Parameter-Räume



- α & β als Bsp. Parameter
- NSE als eval. Kriterium



Parameter Sensitivität

- wie stark steuert ein Parameter das Modell?
- erneut: nicht-linear und zustandsabhängig
- Parameter-Interaktion

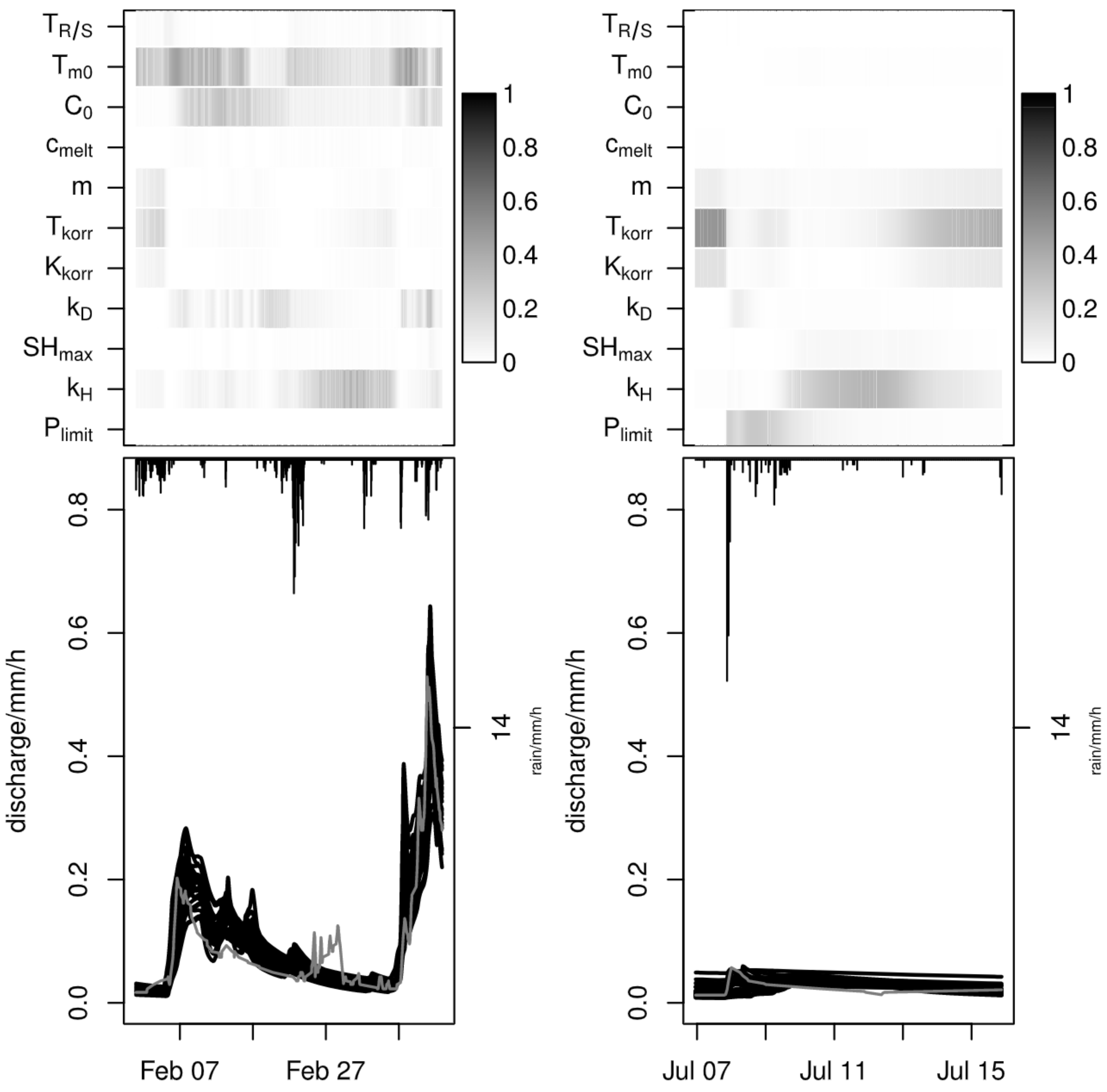
Pareto-Optimum

- ähnlich optimale Modellanpassungen

Melsen et al. (2014) Catchments as simple dynamical systems: A case study on methods and data requirements for parameter identification. Water Resources Research 50:5577–5596. https://doi.org/10.1002/2013wr014720

Sensitivität und Unsicherheit

Zustandsabhängige Sensitivität



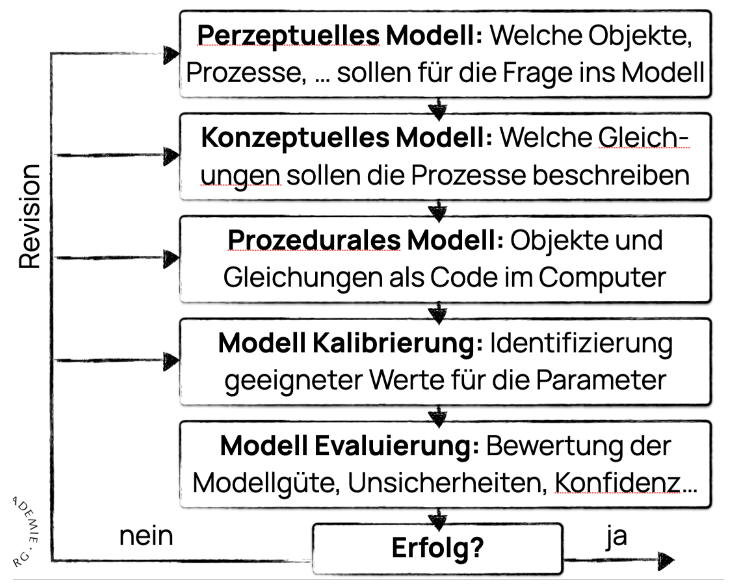
Parameter Sensitivität

- wie stark steuert ein Parameter das Modell?
- erneut: nicht-linear und zustandsabhängig
- Parameter-Interaktion

Pareto-Optimum

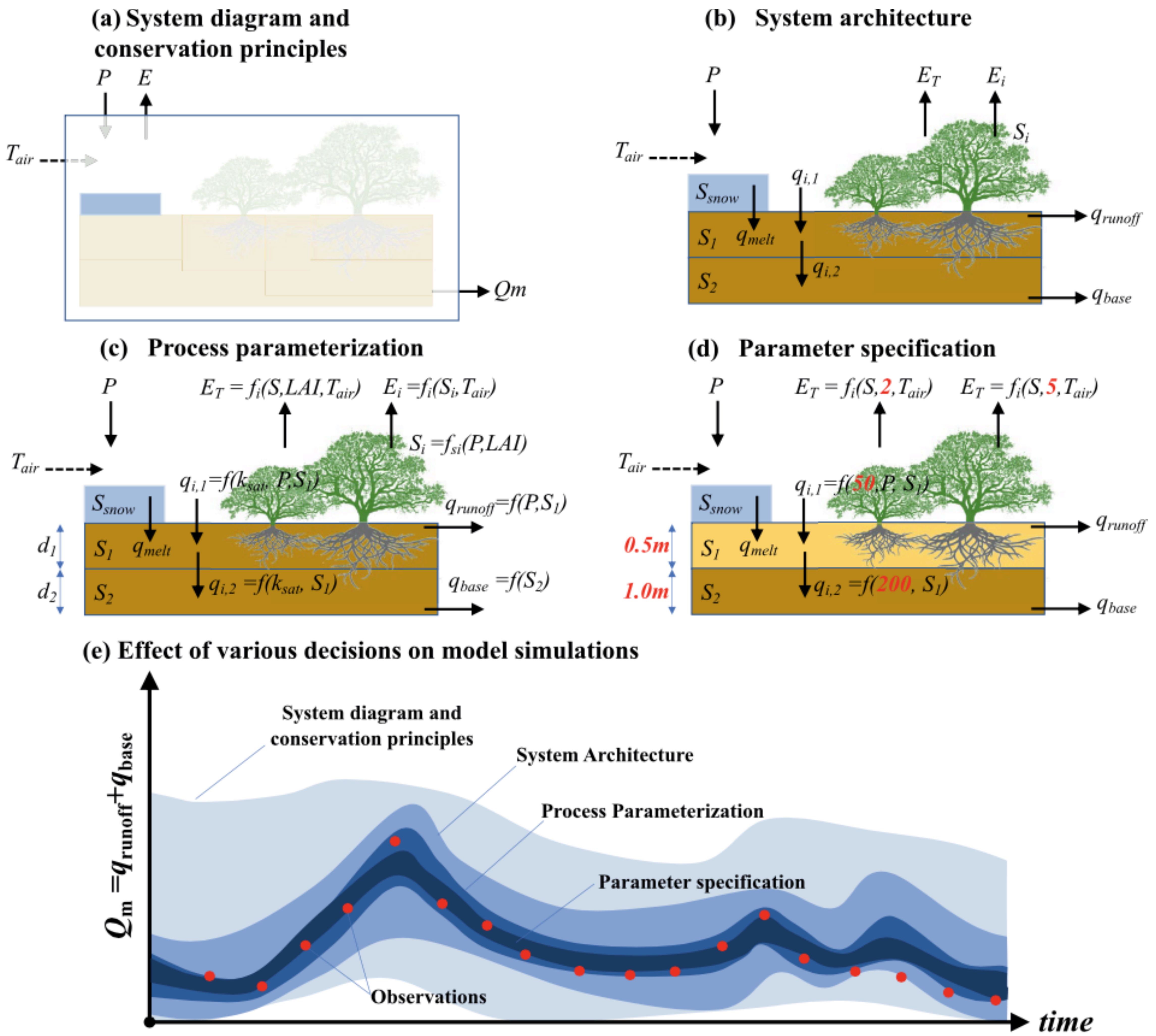
- ähnlich optimale Modellanpassungen

Reusser et al. (2011) Inferring model structural deficits by analyzing temporal dynamics of model performance and parameter sensitivity. Water Resources Research 47:W07550. https://doi.org/10.1029/2010wr009946



Sensitivität und Unsicherheit

Modelldefinition unter Unsicherheit

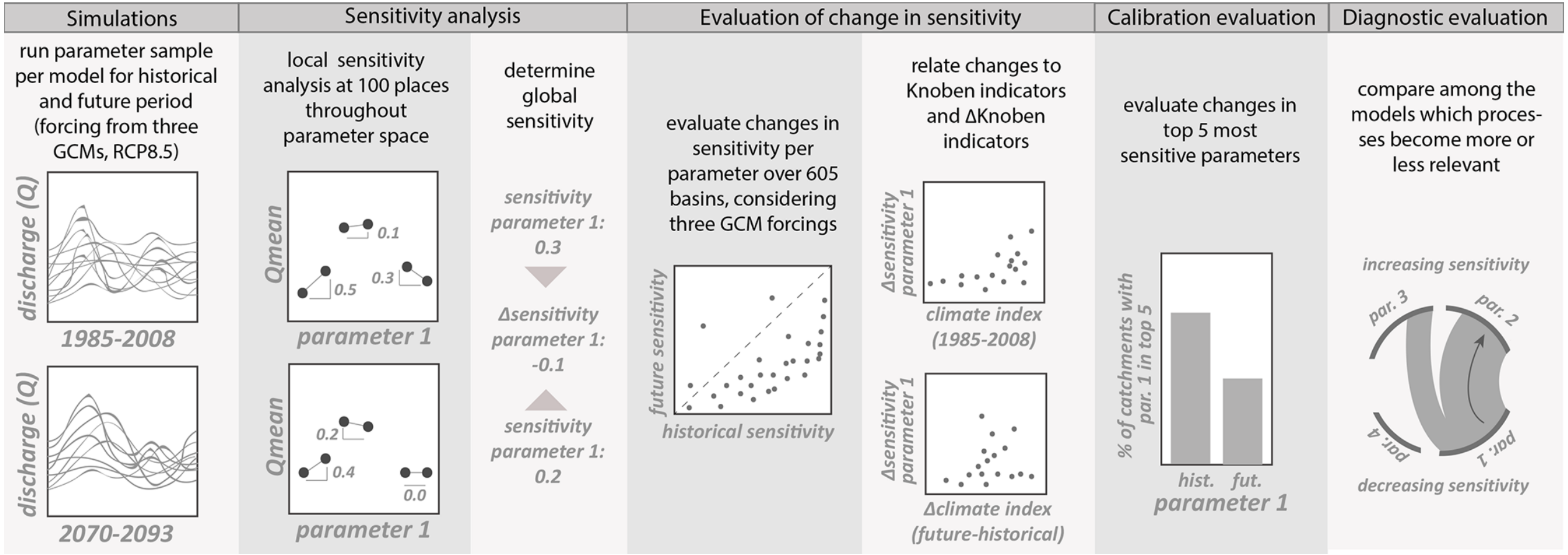


- Hierarchisches Vorgehen: a › Massen-/Energiebilanz b › Konzeptuelles Modell c › Prozesse parameterisieren d › Parameter spezifizieren
- solange keine neuen Kriterien dagegen sprechen: alle pareto-optimalen Modelle nutzen
- **Modelle sind Arbeits-Hypothesen!**

Gharari et al.: Understanding the Information Content in the Hierarchy of Model Development Decisions: Learning From Data, Water Resour Res, 57, https://doi.org/10.1029/2020wr027948, 2021.

Sensitivität und Unsicherheit

"Prediction is very difficult, especially about the future" (Niels Bohr)

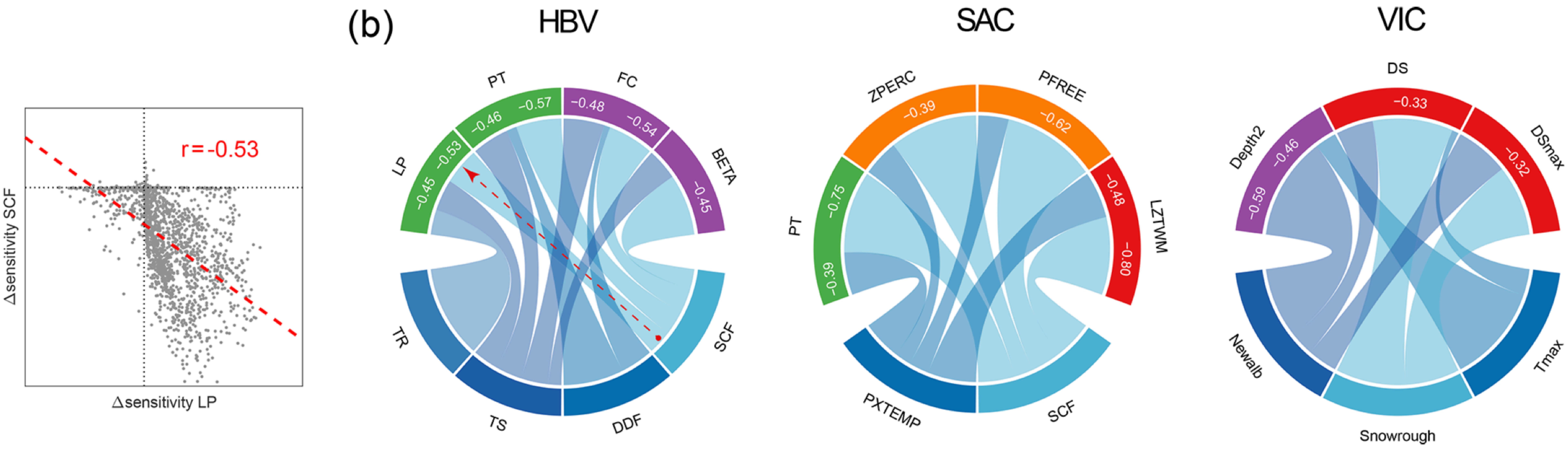


- Sensitivität ist (natürlich) regime-abhängig!
- Änderung Klima/Landnutzung → Änderung der optim. Parameter

Melsen LA, Guse B (2021) Climate change impacts model parameter sensitivity – implications for calibration strategy and model diagnostic evaluation. Hydrol Earth Syst Sc 25:1307–1332. https://doi.org/10.5194/hess-25-1307-2021

Sensitivität und Unsicherheit

“Prediction is very difficult, especially about the future” (Niels Bohr)

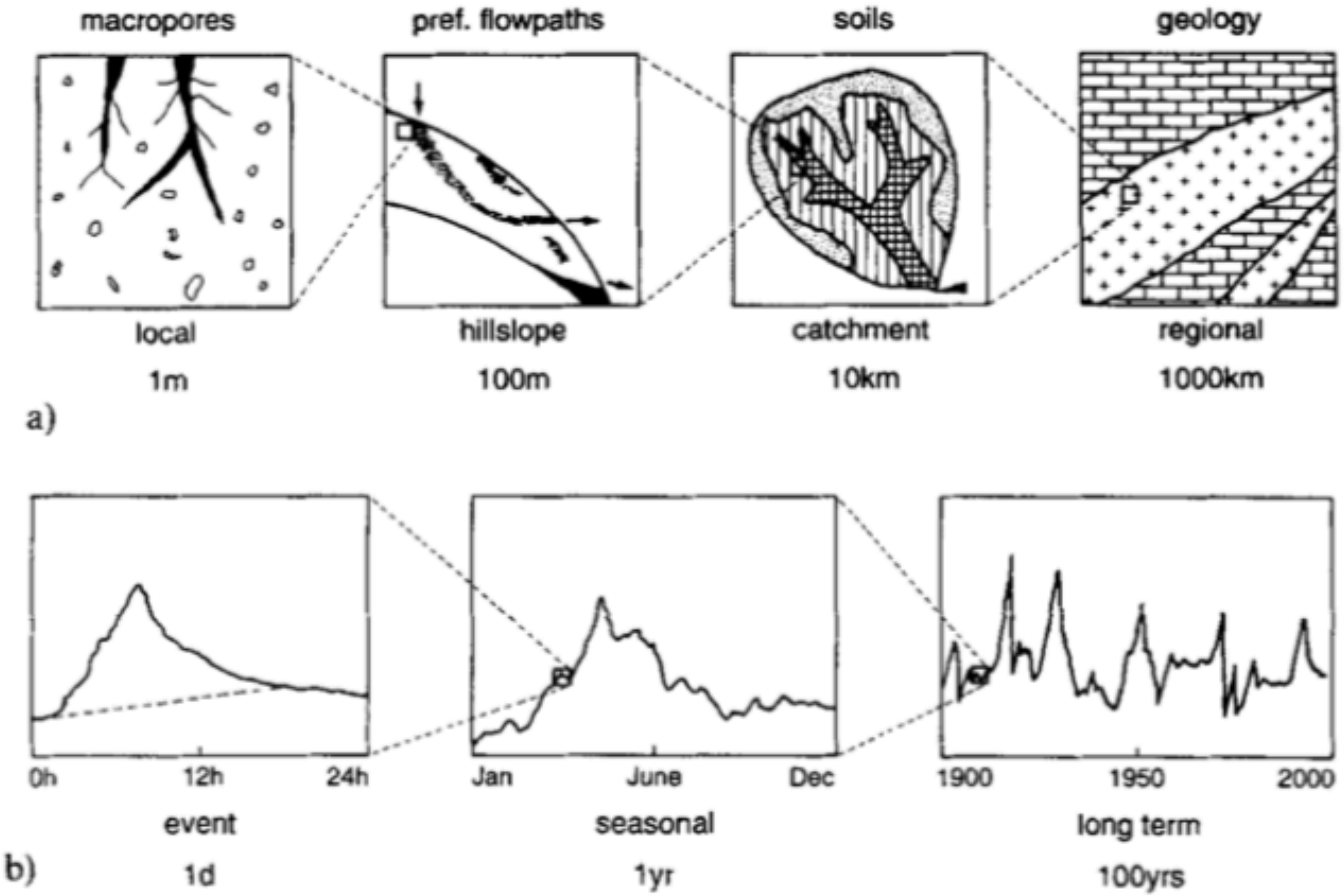


- Sensitivität ist (natürlich) regime-abhängig!
- Änderung Klima/Landnutzung → Änderung der optim. Parameter

Melsen LA, Guse B (2021) Climate change impacts model parameter sensitivity – implications for calibration strategy and model diagnostic evaluation. Hydrol Earth Syst Sc 25:1307–1332. https://doi.org/10.5194/hess-25-1307-2021

Das Problem der unvollständigen Beobachtung

Skalen und Strukturen



- Je nach Betrachtung und Fragestellung stellt sich die Frage nach der Skale von Prozessen und deren Beschreibung
- Die Skale ist eng verknüpft mit der Frage nach der Struktur und Prozess-Dynamik

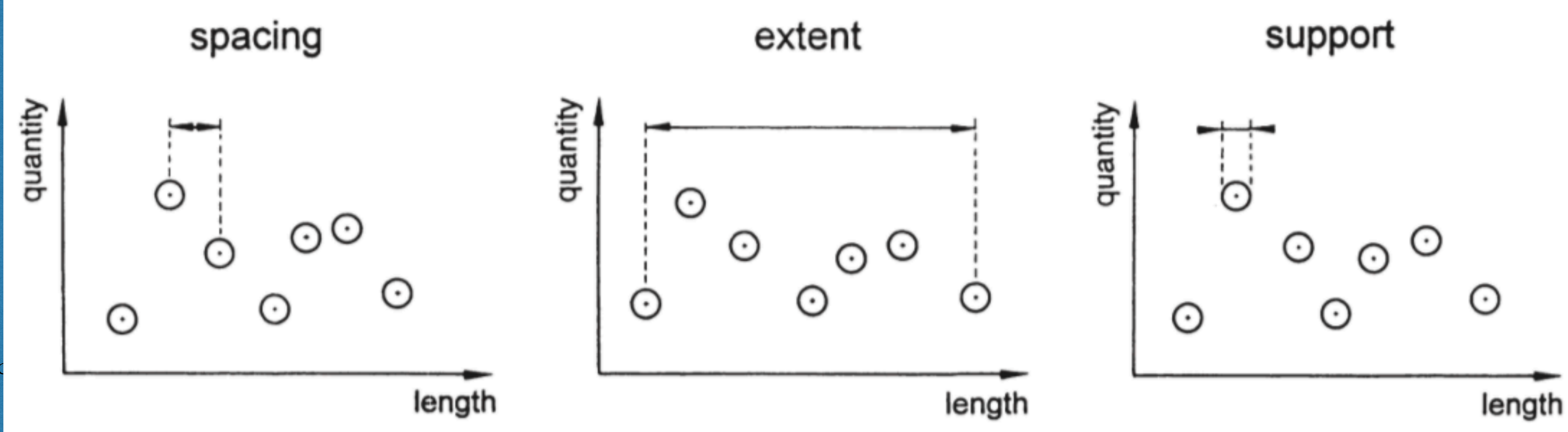
Blöschl and Sivapalan 1995: Scale issues in hydrological modelling: A review, https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305

Das Skalen-Triplet

Subtitle

Alle drei Komponenten des Skalen-Triplets werden benötigt, um die räumlichen und zeitlichen Dimensionen einer Variablen eindeutig zu spezifizieren.

- Abstand zwischen Referenzpunkten
- Abdeckung im System
- Integrationsgröße eines Referenzpunktes

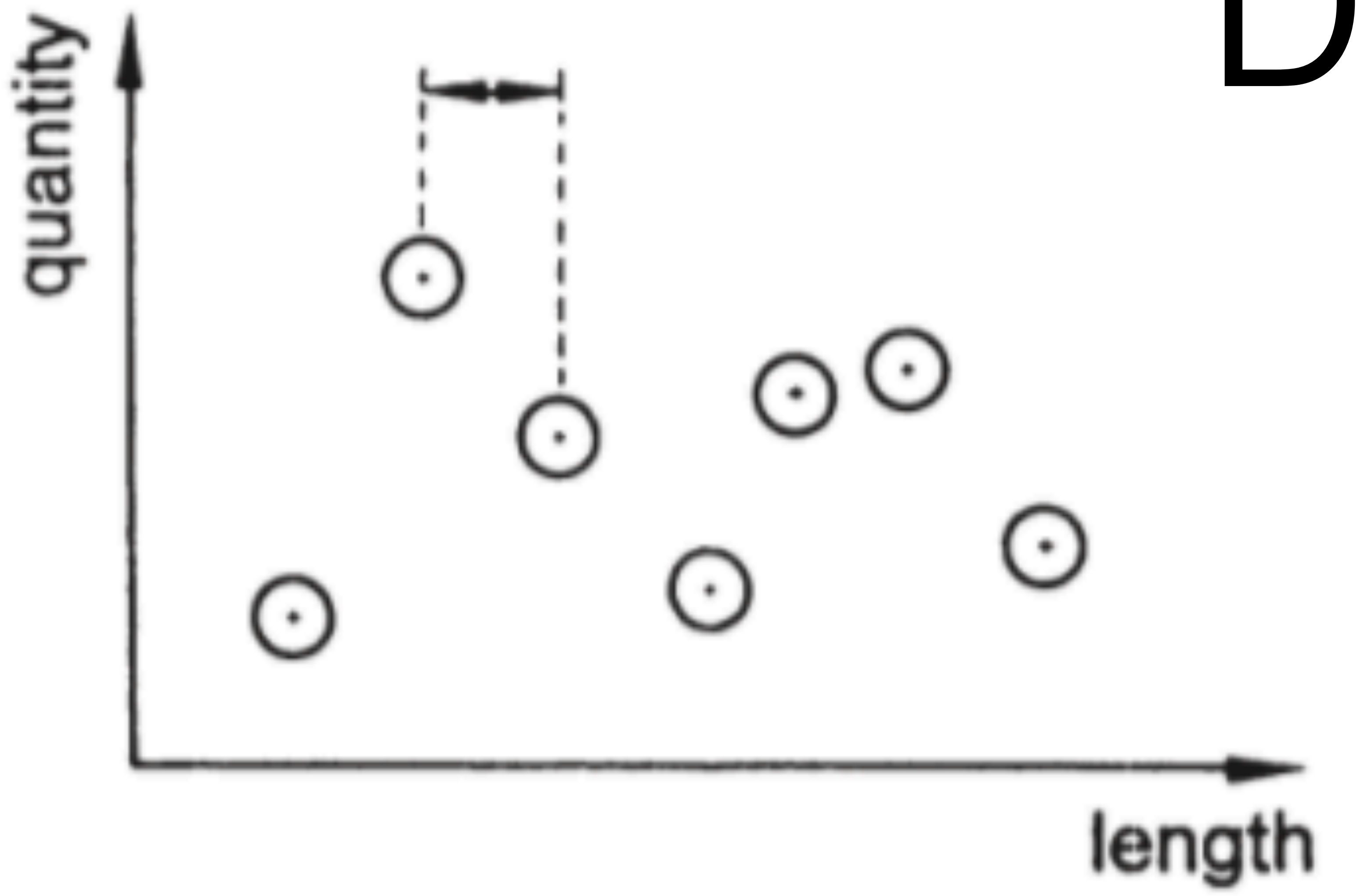


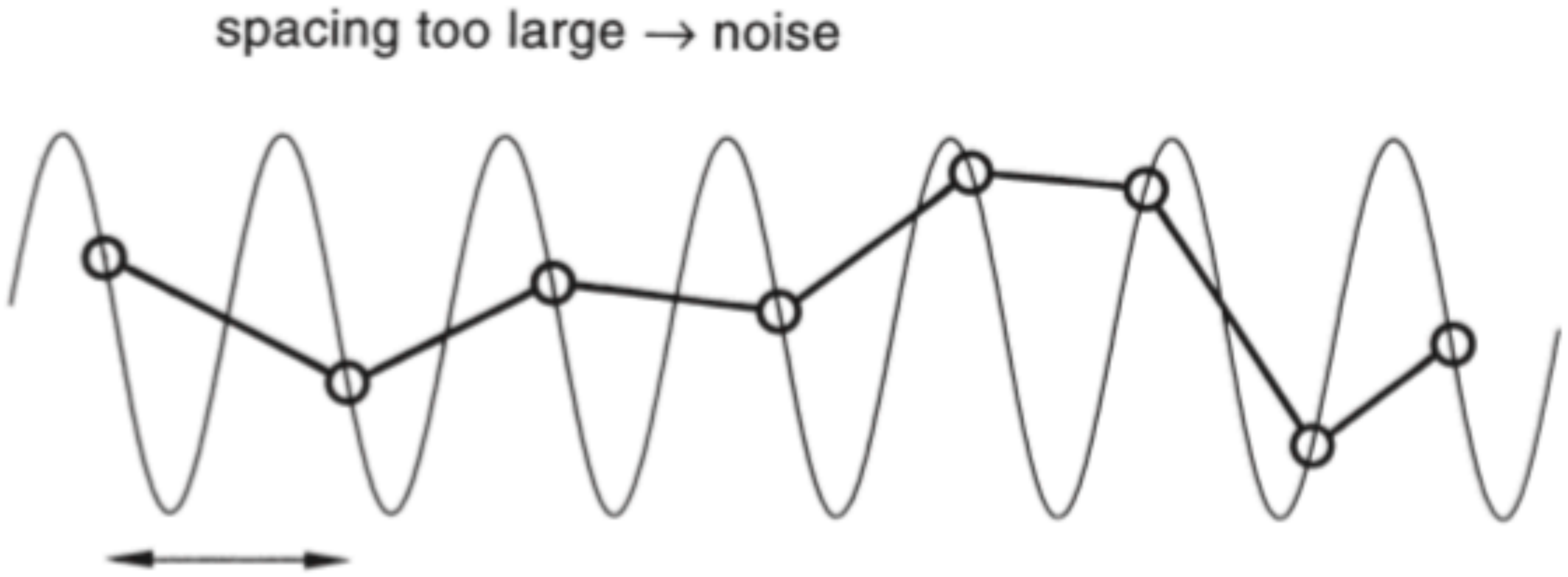
Blöschl and Sivapalan 1995: Scale issues in hydrological modelling: A review, https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305

Das Skalen-Triplet

Spacing

- Abstand zwischen Referenzpunkten





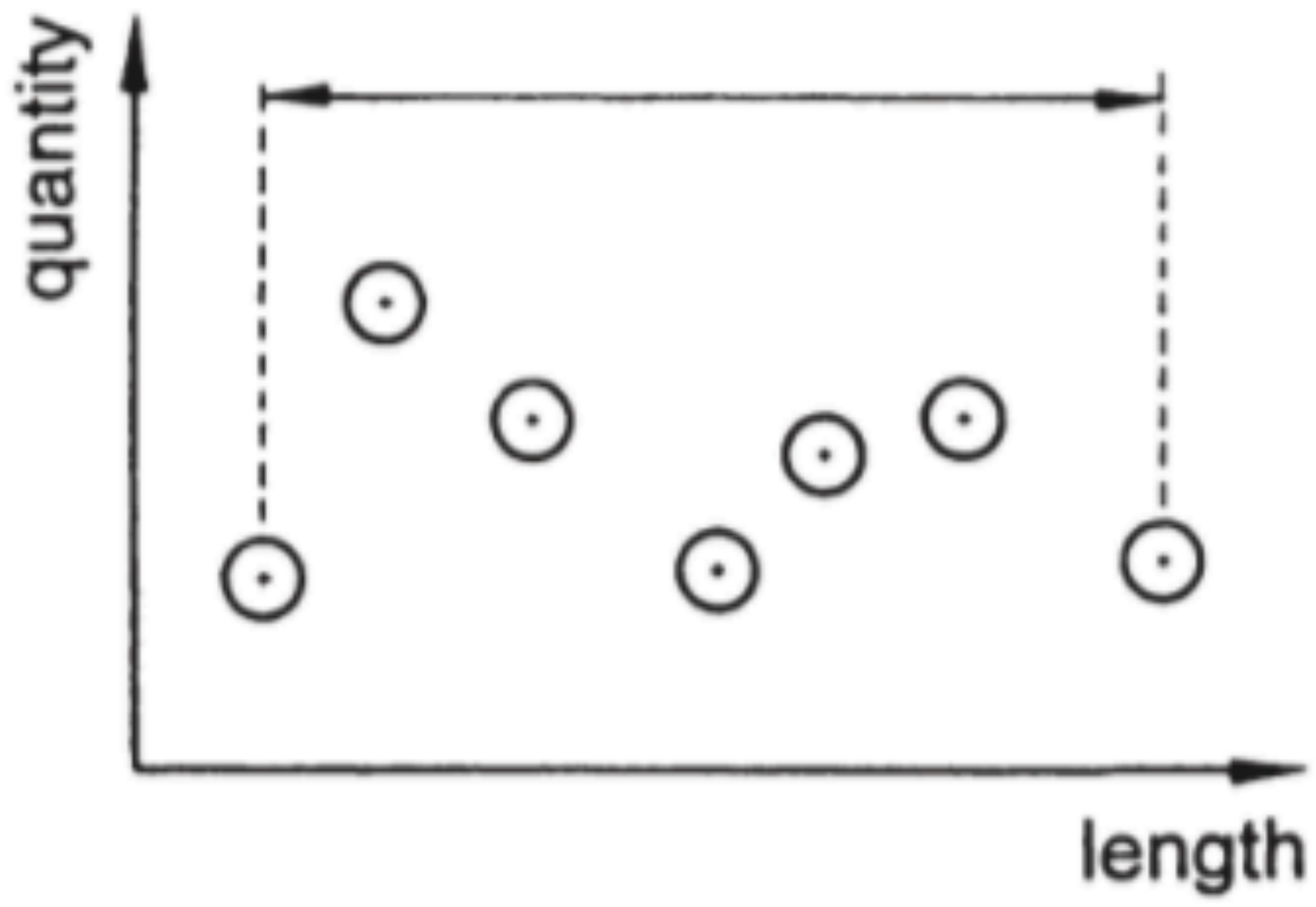
- Wenn der Abstand zwischen den Referenzpunkten zu weit gewählt wird, können Signale unterhalb des Spacings nicht erkannt werden

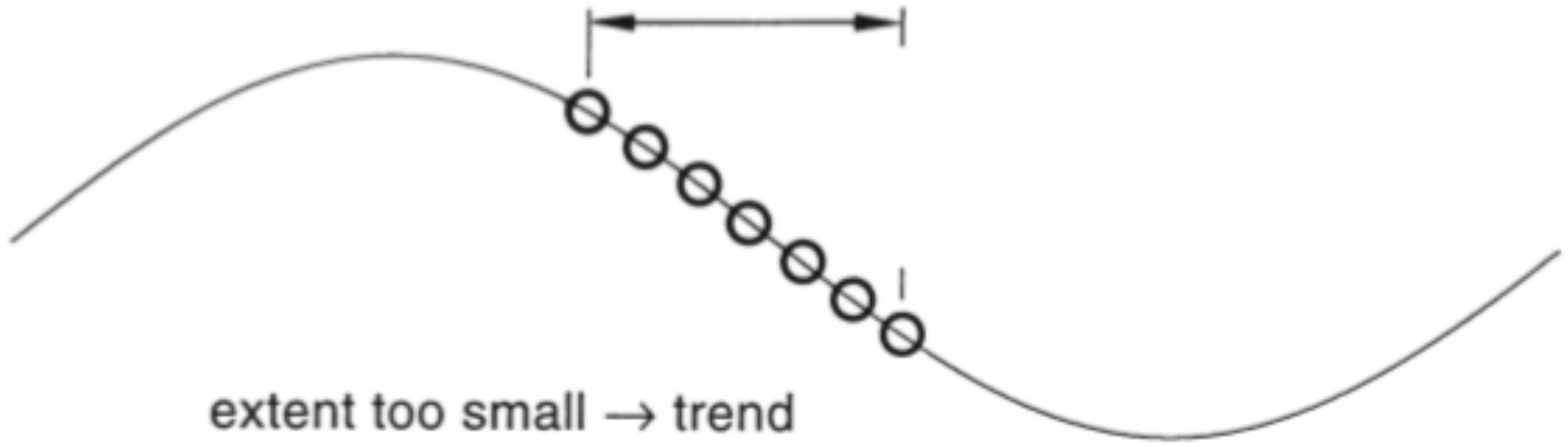
Blöschl and Sivapalan 1995: Scale issues in hydrological modelling: A review, https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305
Grayson and Blöschl (Eds.) 2001: Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling, Cambridge University Press.

Das Skalen-Triplet

Extent

- Abdeckung im System





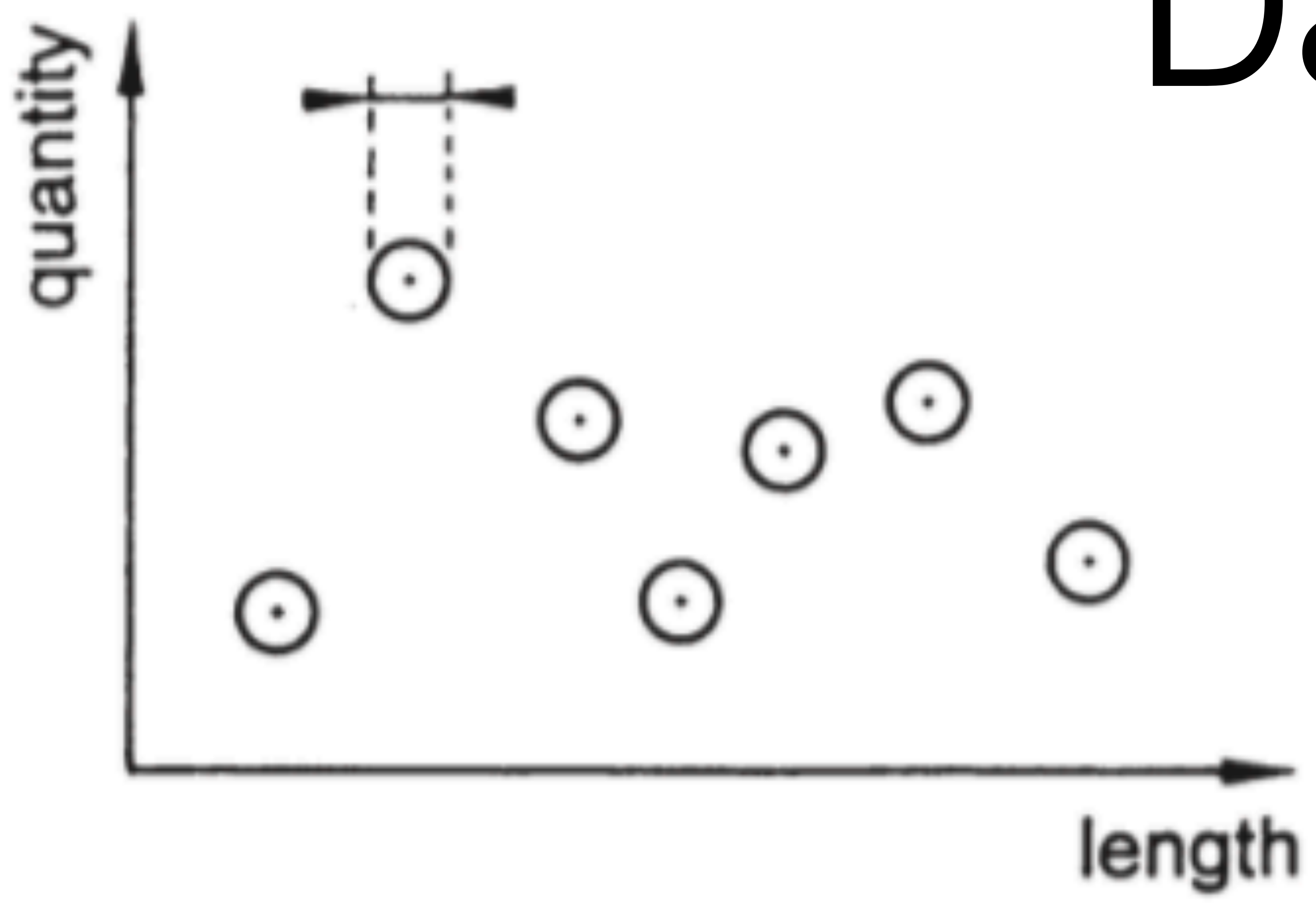
- Wenn die Abdeckung des Systems zu kurz/klein gewählt wird, können Signale jenseits des Extents nicht erkannt werden

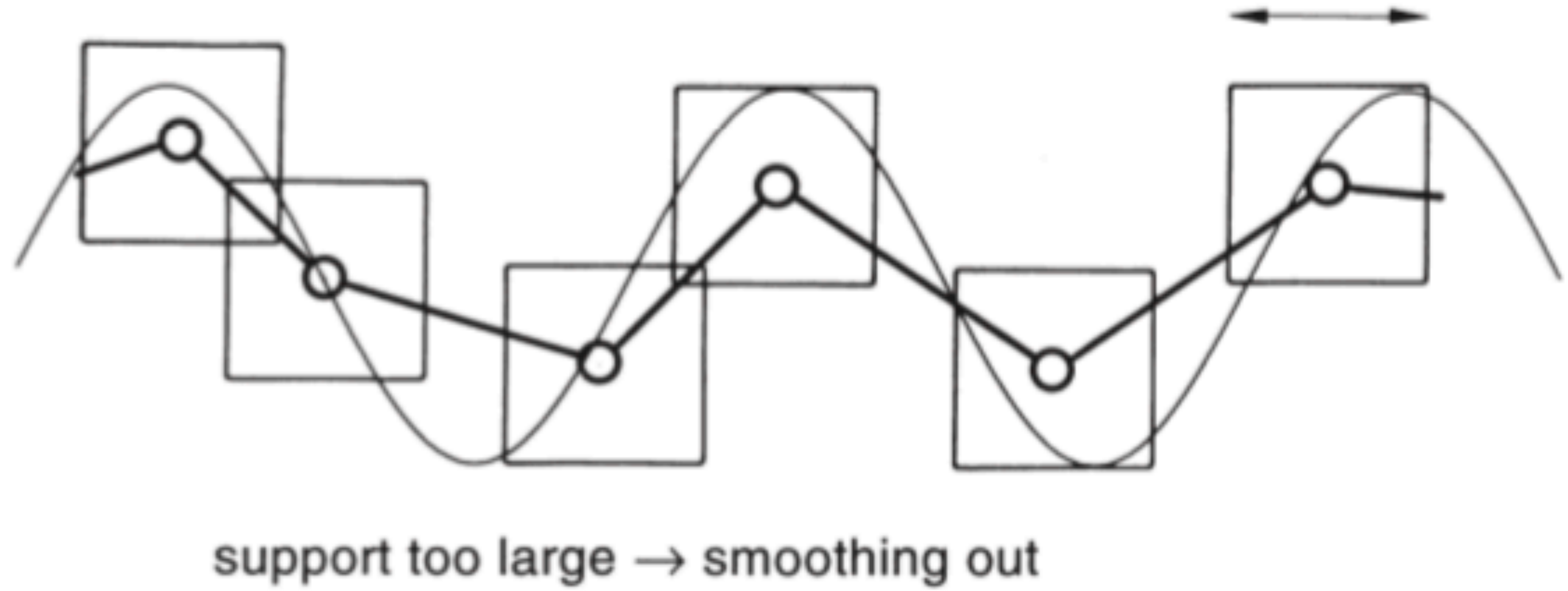
Blöschl and Sivapalan 1995: Scale issues in hydrological modelling: A review, https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305
Grayson and Blöschl (Eds.) 2001: Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling, Cambridge University Press.

Das Skalen-Triplet

Support

- Integration eines Referenzpunktes



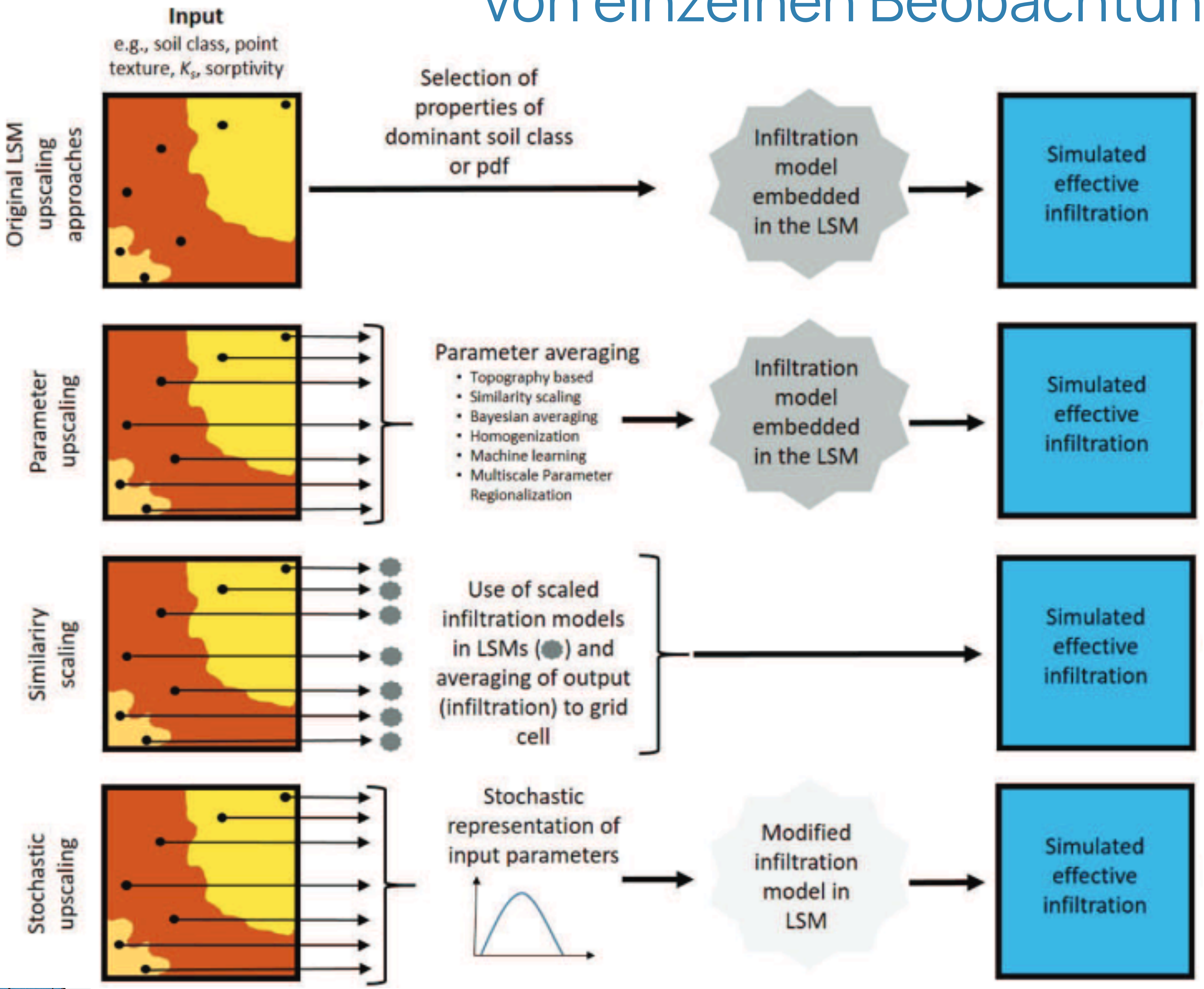


- Wenn die Integration eines Referenzpunktes zu groß ist, können Signale einer höheren Auflösung nicht erkannt werden

Blöschl and Sivapalan 1995: Scale issues in hydrological modelling: A review, https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305
Grayson and Blöschl (Eds.) 2001: Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling, Cambridge University Press.

Skalierung

von einzelnen Beobachtungen zu “effektiven” Simulationen

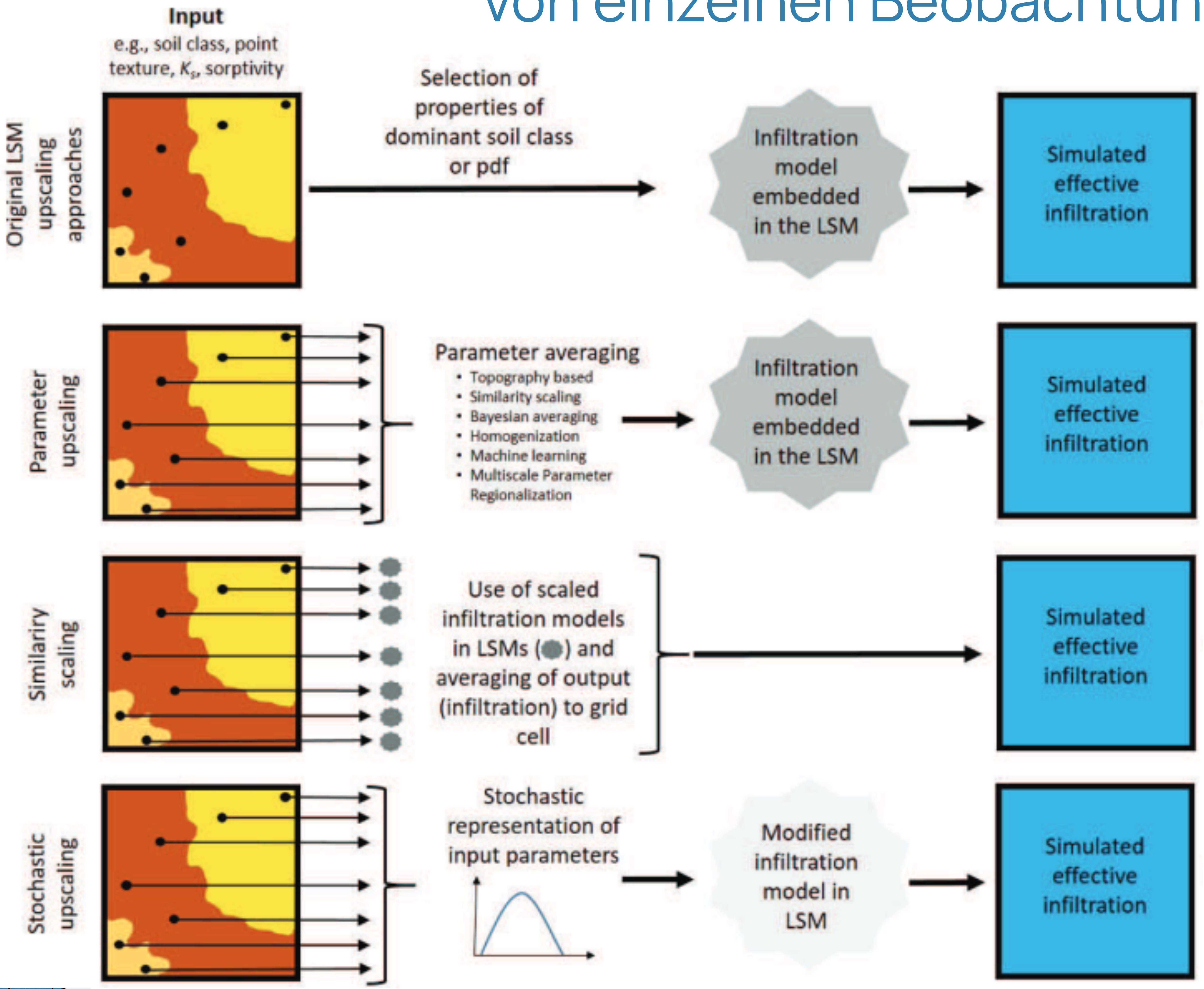


- dominante Eigenschaften definieren Klasse
- mittlere Eigenschaften einer Klasse
- effektive Eigenschaften einer Klasse
- stochastische Eigen-schaften einer Klasse

Vereecken et al.: Infiltration from the Pedon to Global Grid Scales: An Overview and Outlook for Land Surface Modeling, Vadose Zone J, 18, 1–53, https://doi.org/10.2136/vzj2018.10.0191, 2019.

Skalierung

von einzelnen Beobachtungen zu “effektiven” Simulationen



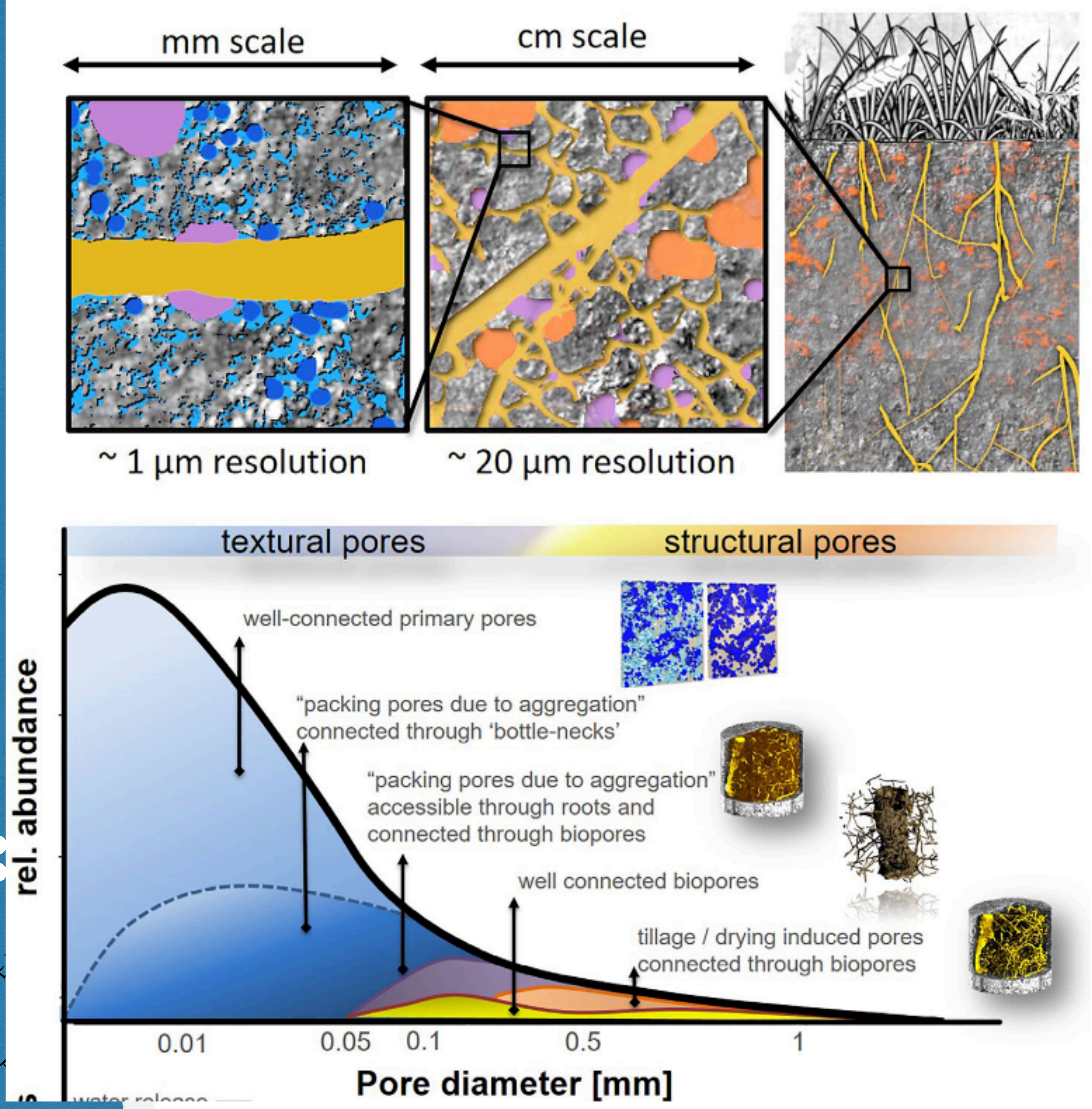
Verschiedene Beispiele für Upscaling

- “effektive” Parameter meint dabei solche Parameter, die das beobachtete Verhalten in der Simulation auf der Zielskale reproduzieren
- die Skalierungsmethode hängt auch von Daten und Zielmodell ab

Vereecken et al.: Infiltration from the Pedon to Global Grid Scales: An Overview and Outlook for Land Surface Modeling, Vadose Zone J, 18, 1–53, https://doi.org/10.2136/vzj2018.10.0191, 2019.

Skalierung

die “Tyrannei der kleinen Skalen”



AGU100 ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE

Water Resources Research

COMMENTARY
10.1029/2019WR024846

The Tyranny of Small Scales—On Representing Soil Processes in Global Land Surface Models

Dani Or[1]

[1]Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, Zurich, Switzerland

Key Points:
- A global perspective combined with spatially and temporally resolved observations offers a remedy for the tyranny of small scales
- New soil information and physically based processes are injected to global land surface models
- Better links between climate modelers, ecologists, hydrologists, and soil modelers are key to overcoming old disciplinary boundaries

Correspondence to:
D. Or,
dani.or@env.ethz.ch

Citation:
Or, D. (2019). The tyranny of small scales—On representing soil processes in global land surface models. *Water Resources Research*, *55*. https://doi.org/10.1029/2019WR024846

Received 20 FEB 2019
Accepted 6 JUN 2019
Accepted article online 18 JUN 2019

Abstract The representation of small-scale soil and hydrological processes has been a challenge and a subject of debate since the pioneering work of Richardson and the dawn of numerical weather prediction. The recent leap to global scales with long-term and large data offers new opportunities that place the long-standing challenge of small-scale representation in a more positive perspective. Global representation of soil processes requires evaluation of the origins of the information used for global models and the parameterization via the so-called pedotransfer functions. Parameters and processes benefit from application of physical constraints while replacing empirical approximations with small-scale physics adapted for large-scale processes. We provide an overview of the present state and opportunities for hydrology and soil communities in contemporary well-connected, observable, global, and big-data realities.

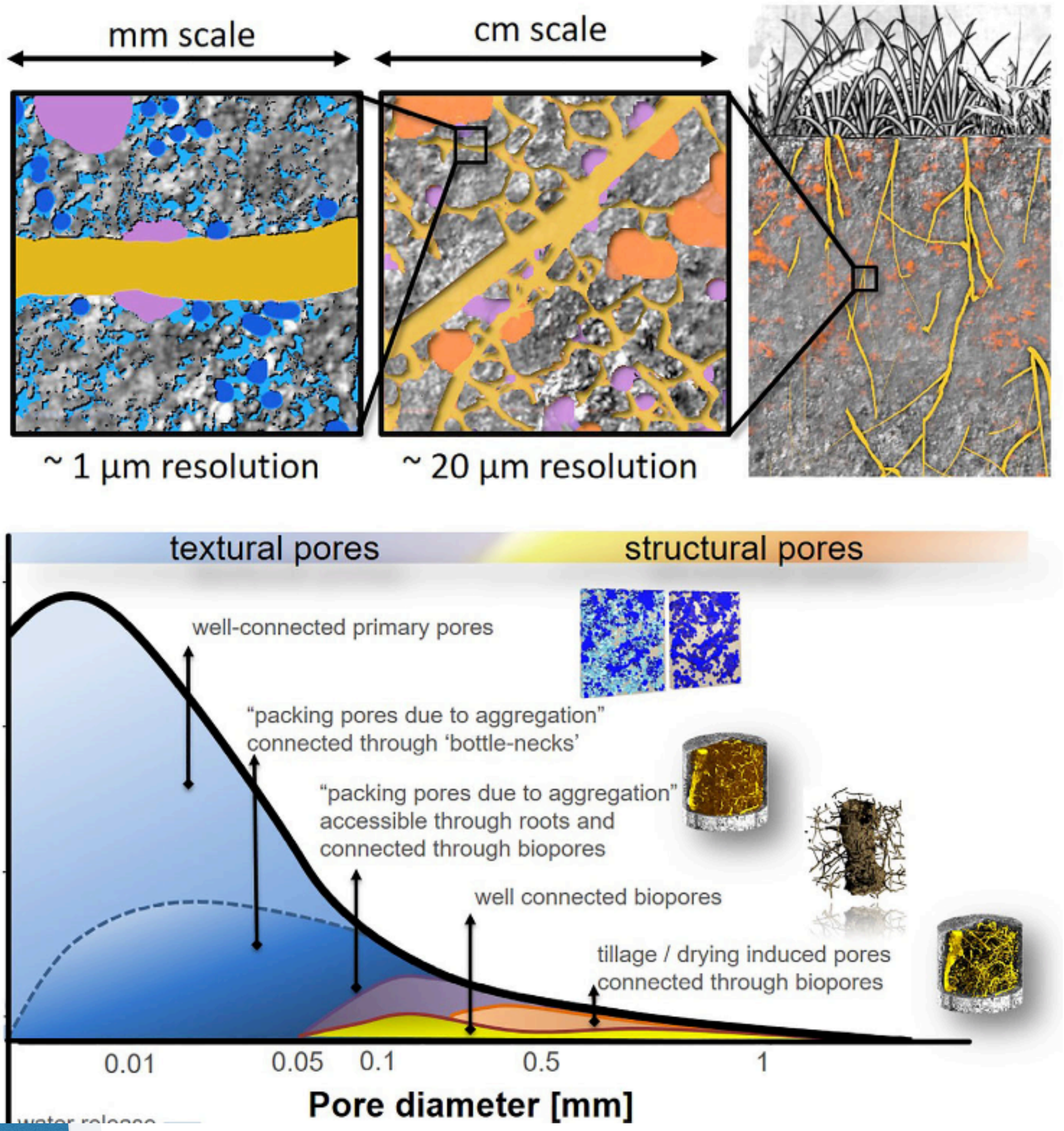
1. Introduction

I am deeply honored by the recognition of delivering the 2018 Walter B. Langbein lecture. It is humbling and thrilling to join the ranks of previous distinguished Langbein lecturers. The significance of this recognition and the opportunity to communicate a message clearly resonates from their inspiring lectures and universal wisdom. (I urge you to view some of these online at the AGU's website.) To my embarrassment, I had only a vague notion of Walter Langbein's many contributions, mostly from previous Langbein lectures. The more I delved into the fascinating history of Langbein's career, the more I became impressed by his prolific and diverse scientific contributions and by his personality and lifelong service to building a modern and scientifically based hydrology community. This has been a gratifying journey of discovery into the life and contributions of this humble giant of hydrology.

Lucas, M., Vetterlein, D., Vogel, H.-J., and Schlüter, S.: Revealing pore connectivity across scales and resolutions with X-ray CT, 130, 305–15, https://doi.org/10.1111/ejss.12961, 2020.
Or, D.: The Tyranny of Small Scales—On Representing Soil Processes in Global Land Surface Models, Water Resour Res, 56, https://doi.org/10.1029/2019wr024846, 2020.

Skalierung

die “Tyrannei der kleinen Skalen”



Hydrologische Systeme sind mehr als die Summe ihrer Teile

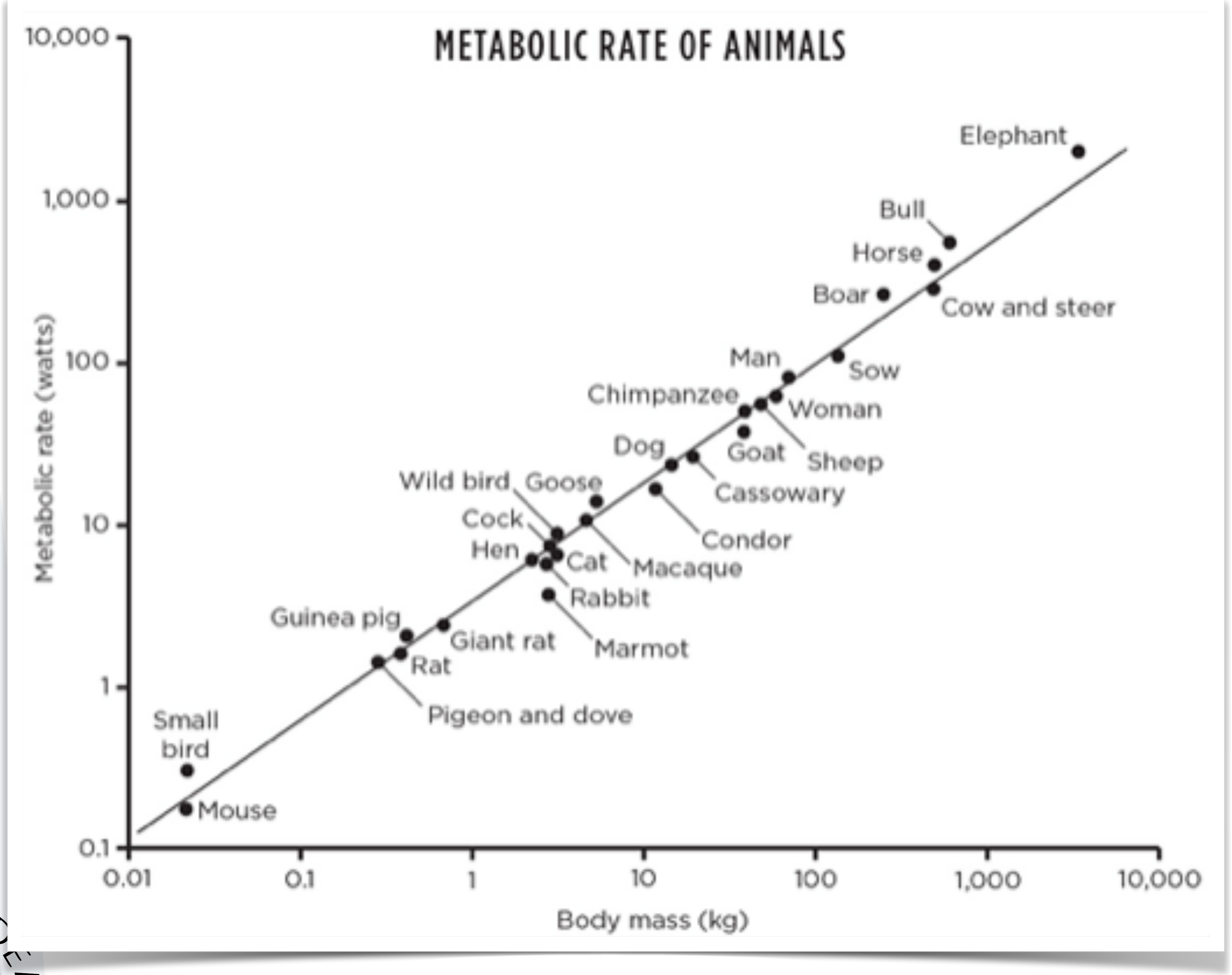
Body Level One
Body Level Two
Body Level Three

- Nicht-lineare Prozesse
- dynamische Konnektivität auf verschiedenen Skalen
- riesige Skalenunterschiede von Poren 10^{-6}–10^{-3} m bis zu Einzugsgebieten mit 10^{3}–10^{6} m und diffusen Flüssen mit 10^{-7} ms^{-1} bis zu reißenden Strömen mit 10^{1} ms^{-1}

Lucas, M., Vetterlein, D., Vogel, H.-J., and Schlüter, S.: Revealing pore connectivity across scales and resolutions with X-ray CT, 130, 305–15, https://doi.org/10.1111/ejss.12961, 2020.
Or, D.: The Tyranny of Small Scales—On Representing Soil Processes in Global Land Surface Models, Water Resour Res, 56, https://doi.org/10.1029/2019wr024846, 2020.

Skalierung

Selbstähnlichkeit und Skaleninvarianz



Viele Eigenschaften natürlicher Systeme skalieren mit der betrachteten Größe

- Mandelbrot: Fraktale (gebrochene Dimension)
- wenn etwas selbstähnlich ist, kann diese Dimension berechnet werden

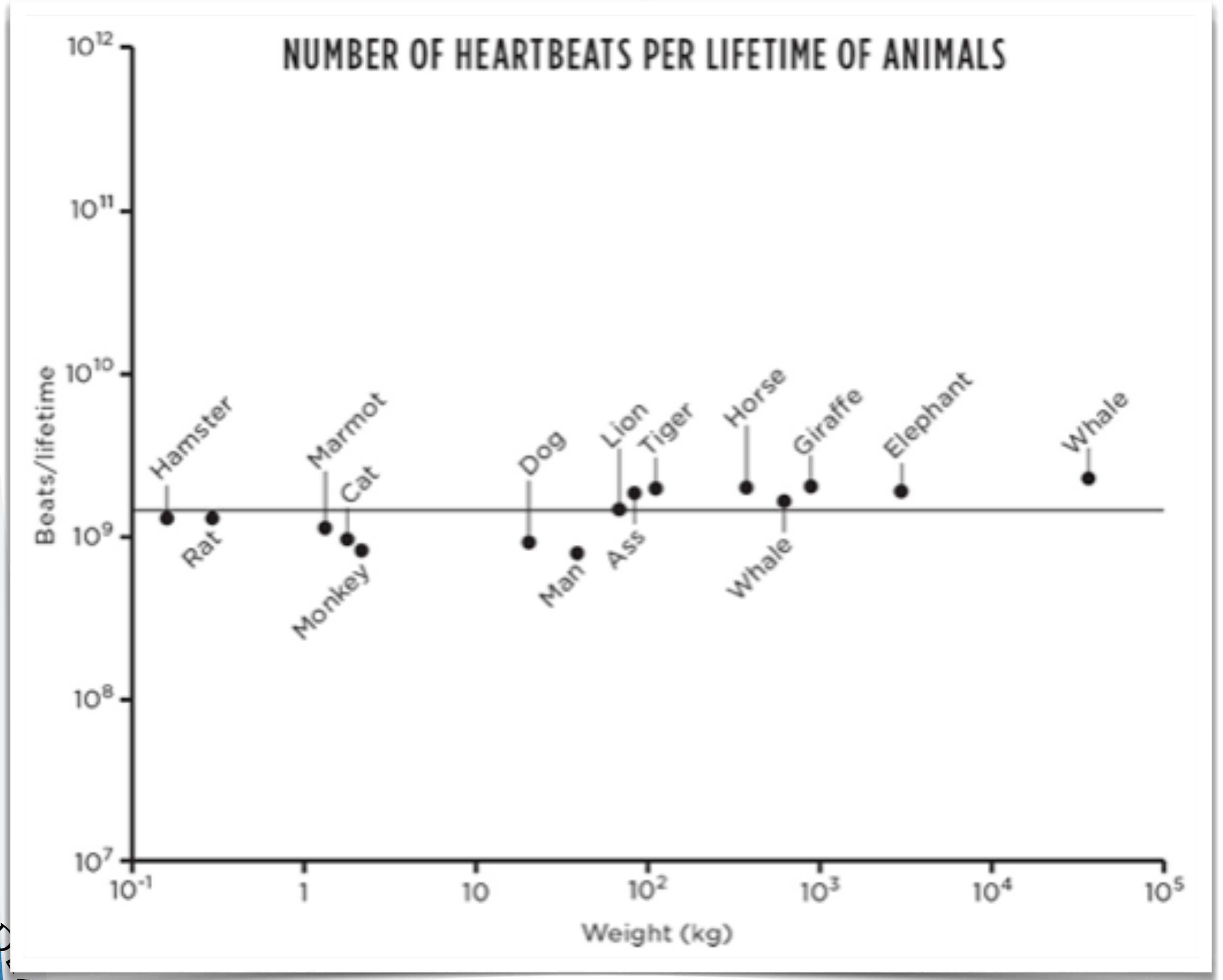
$$L(G) = MG^{1-D}$$

- L: Länge, G: Mess-Skale, M: Konst., D: Dimension

Mandelbrot (1967): How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science 156 (1967): 636–38.
West (2017): Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies, Penguin Press

Skalierung

Selbstähnlichkeit und Skaleninvarianz



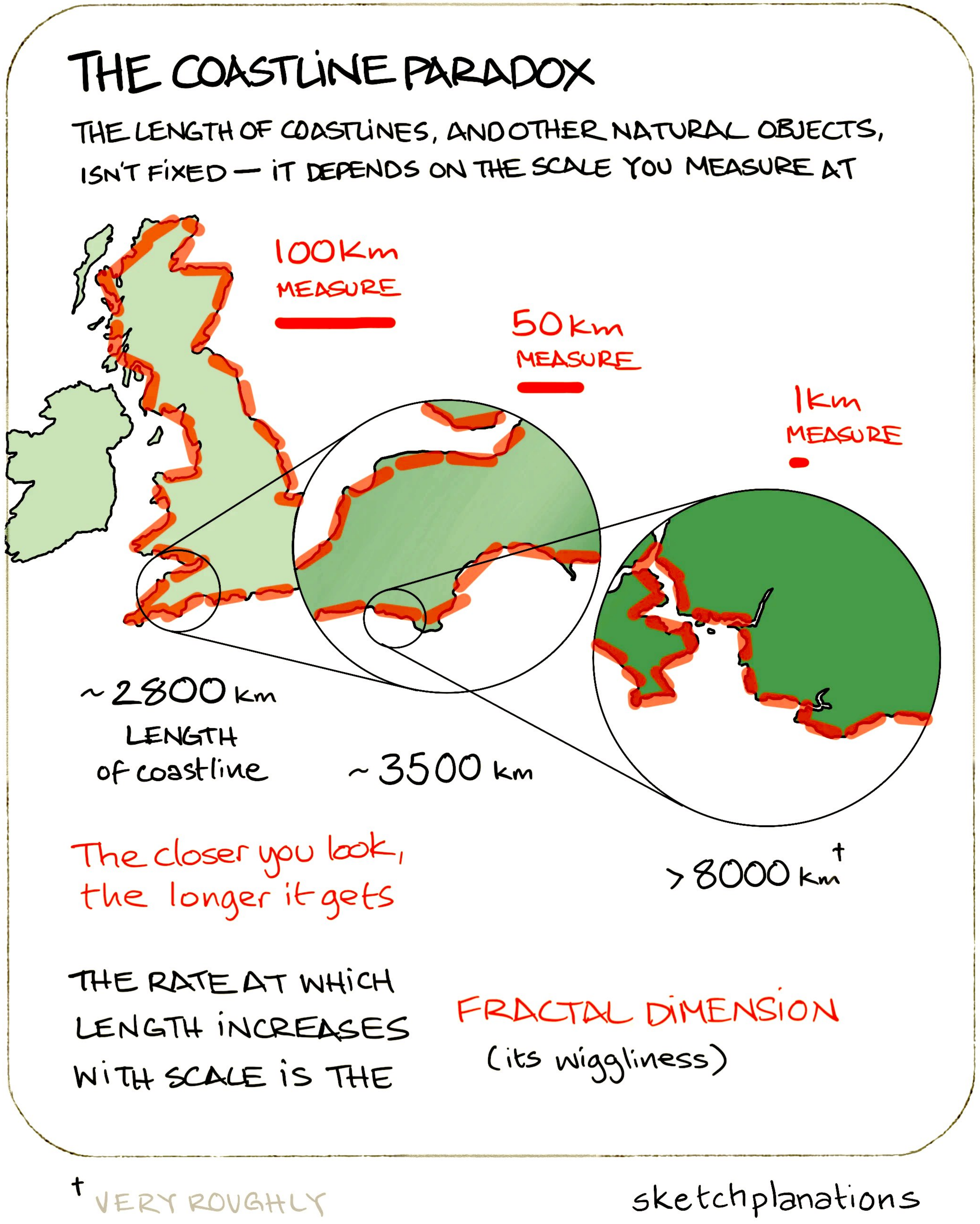
Viele Eigenschaften natürlicher Systeme skalieren mit der betrachteten Größe

- Mandelbrot: Fraktale (gebrochene Dimension)
- wenn etwas selbstähnlich ist, kann diese Dimension berechnet werden

$$L(G) = MG^{1-D}$$

- L: Länge, G: Mess-Skale, M: Konst., D: Dimension

Mandelbrot (1967): How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science 156 (1967): 636–38.
West (2017): Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies, Penguin Press



Skalierung

Selbstähnlichkeit und Skaleninvarianz

Viele Eigenschaften natürlicher Systeme skalieren mit der betrachteten Größe

- Mandelbrot: Fraktale (gebrochene Dimension)
- wenn etwas selbstähnlich ist, kann diese Dimension berechnet werden

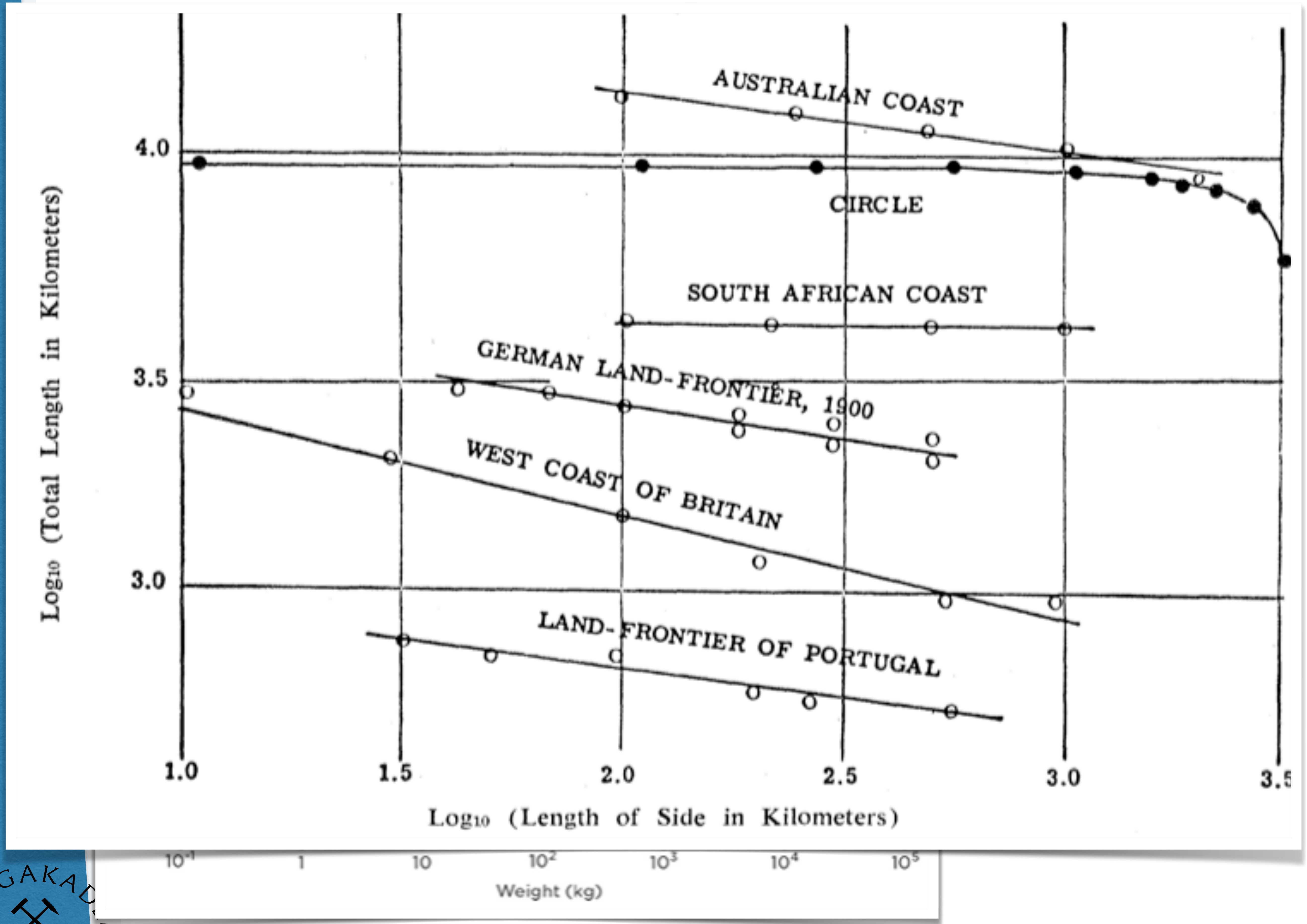
$$L(G) = MG^{1-D}$$

- L: Länge, G: Mess-Skale, M: Konst., D: Dimension

Mandelbrot (1967): How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science 156 (1967): 636–38.
West (2017): Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies, Penguin Press

Skalierung

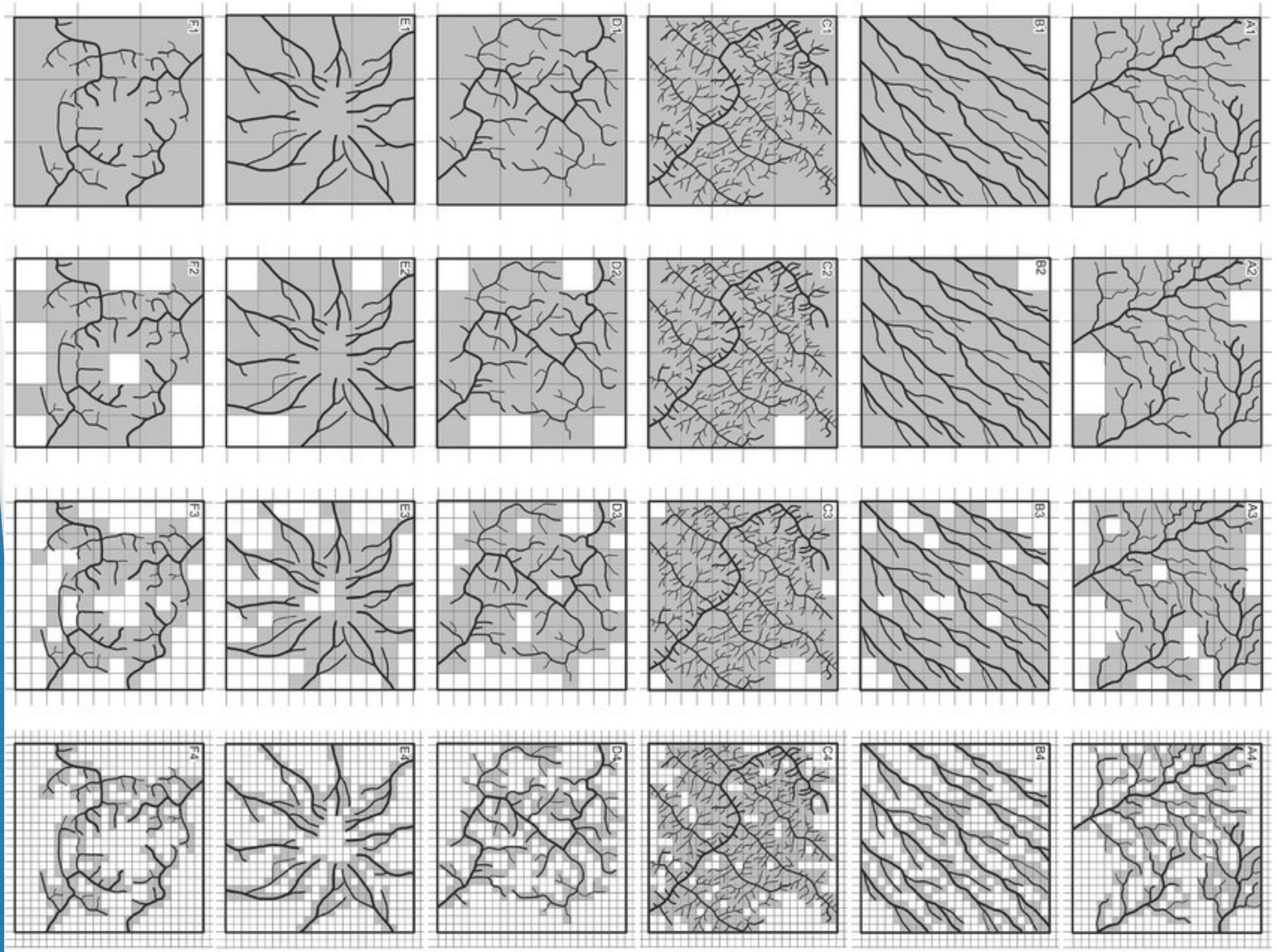
Selbstähnlichkeit und Skaleninvarianz



Viele Eigenschaften natürlicher Systeme skalieren mit der betrachteten Größe

- Mandelbrot: Fraktale (gebrochene Dimension)
- wenn etwas selbstähnlich ist, kann diese Dimension berechnet werden
  - Log10(L) = (1-D) log10(G) + M
- L: Länge, G: Mess-Skale, M: Konst., D: Dimension

Mandelbrot (1967): How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science 156 (1967): 636–38.
West (2017): Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies, Penguin Press



Skalierung

Selbstähnlichkeit und Skaleninvarianz

Selbstähnlichkeit beinhaltet Skaleninvarianz

- damit wäre es relativ einfach die Skalen zu überbrücken und eine skalenübergreifende Eigenschaft zu definieren (zB. Flussnetzwerke)
- leider sind viele hydrologische Prozesse **nicht** skaleninvariant sondern sehr skalenabhängig

- das gilt auch für "space for time substitution" Ansätze
- aber dennoch ein mächtiges Werkzeug zur Analyse

Kusak (2014): Review article: Methods of fractal geometry used in the study of complex geomorphic networks, https://doi.org/10.14712/23361980.2014.19

TU Bergakademie Freiberg

Skalen, Konnektivität & Skalenübergang

Praktischer Umgang

1. Skalen* klären:
- Beobachtungen
- Konzepte
- Hypothesen
- Fragestellung
- (beabsichtigte) Ergebnisse

2. Skalenübergänge vermeiden!

3. Dominate Prozesse:
- analysiere welche Prozesse/Eigenschaften das System kontrollieren
- behandle diese Analyse als Hypothesen
- es ist unmöglich und wenig zielführend jedes Detail mitzunehmen

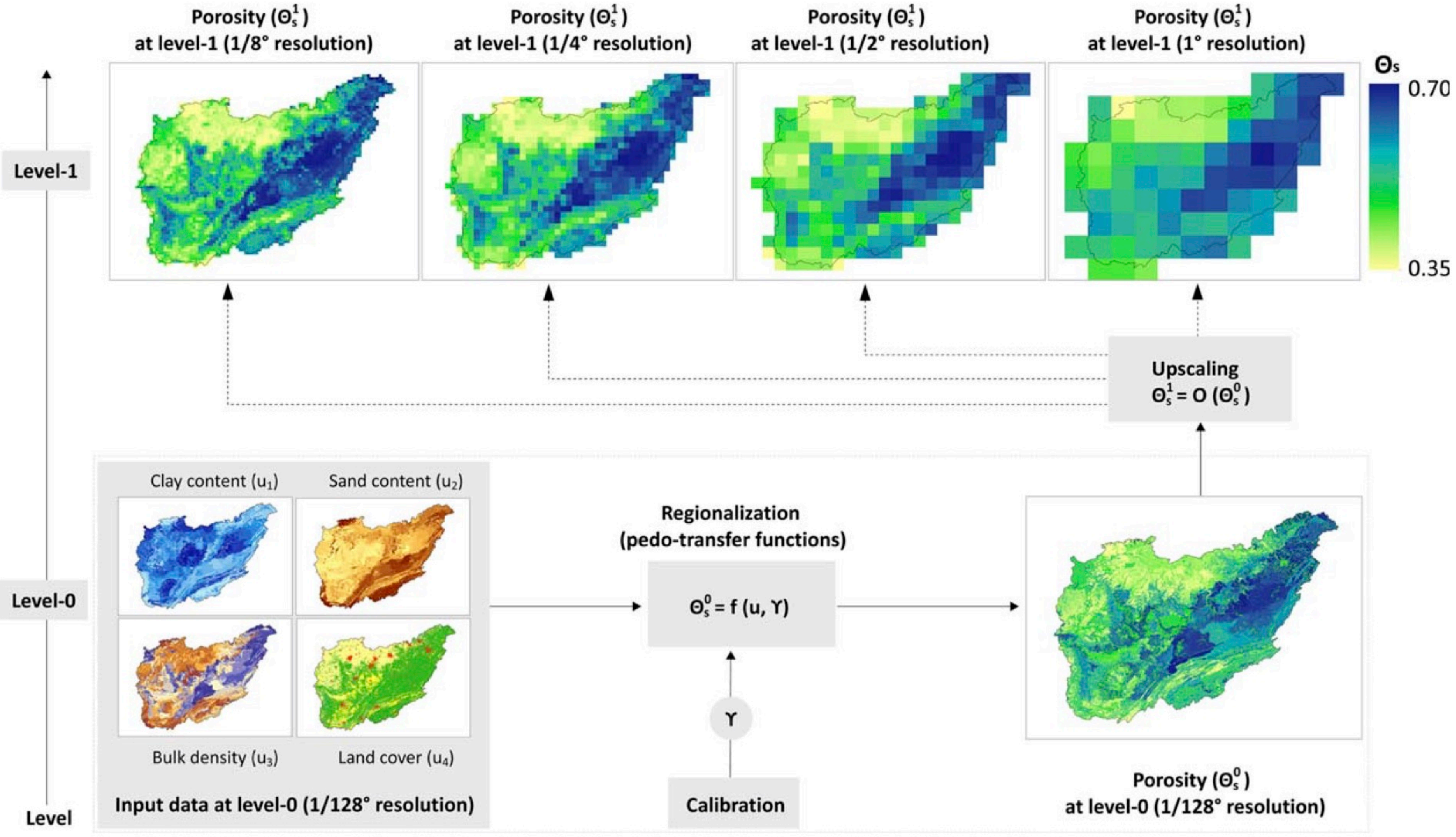
4. Skalenübergänge:
- überprüfe ob die (Dis)Aggregation insb. von Prozessen physik. begründet ist

5. Konnektivität:
- gibt es verbundene Fließpfade, die das System modifizieren?

* im Sinne des Skalentriplets

Parameter Regionalisierung

Übertragung von Parametern über Raum und Skalen



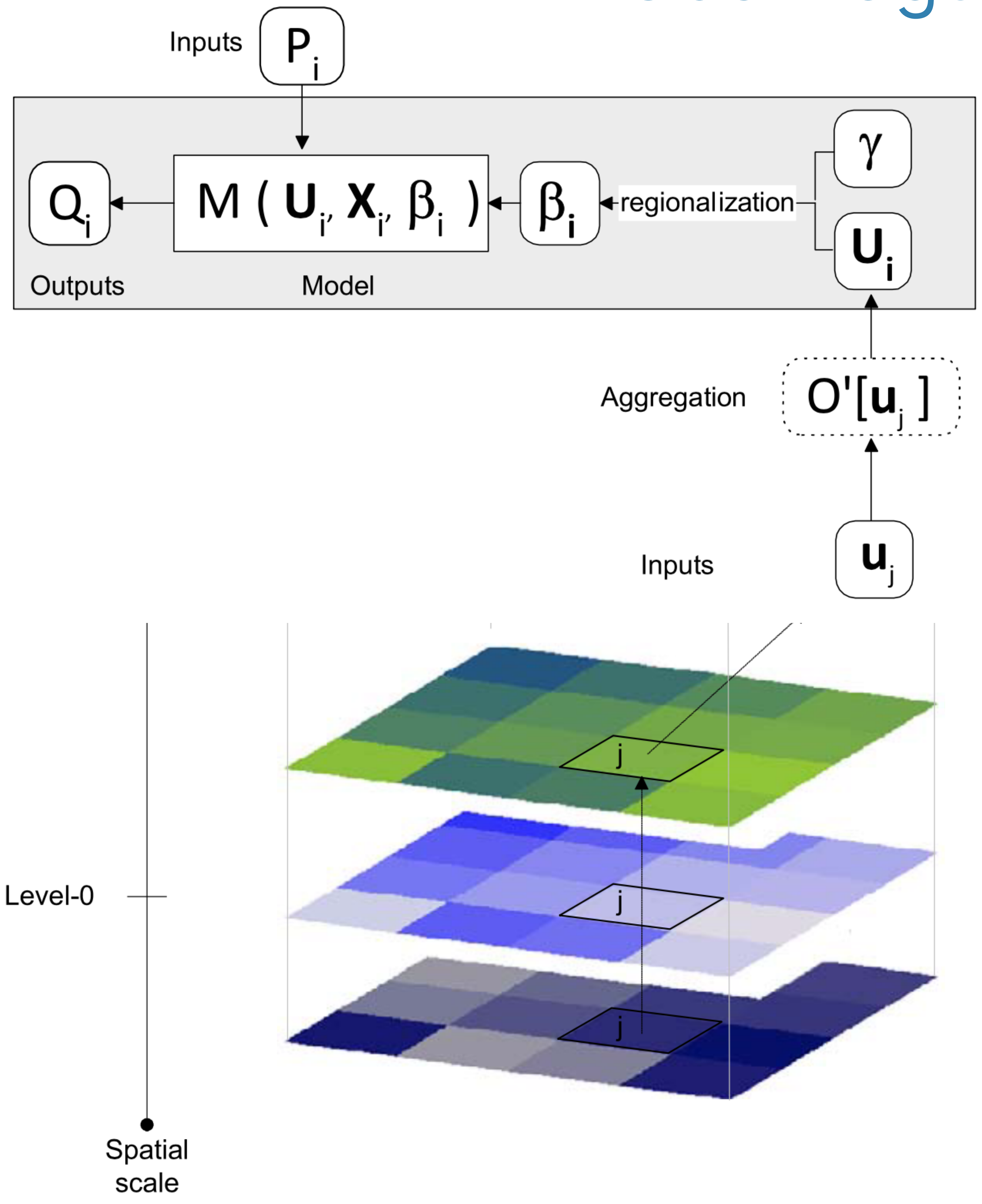
Praktisches Problem:

- Daten sind nicht im Gebiet oder in der gewünschten Auflösung verfügbar…
- Parameter/Prozesse sind aber skalenabhängig

Samaniego, L., Kumar, R., and Attinger, S.: Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, 46, W05523, https://doi.org/10.1029/2008wr007327, 2010.

Parameter Regionalisierung

Übertragung von Parametern über Raum und Skalen



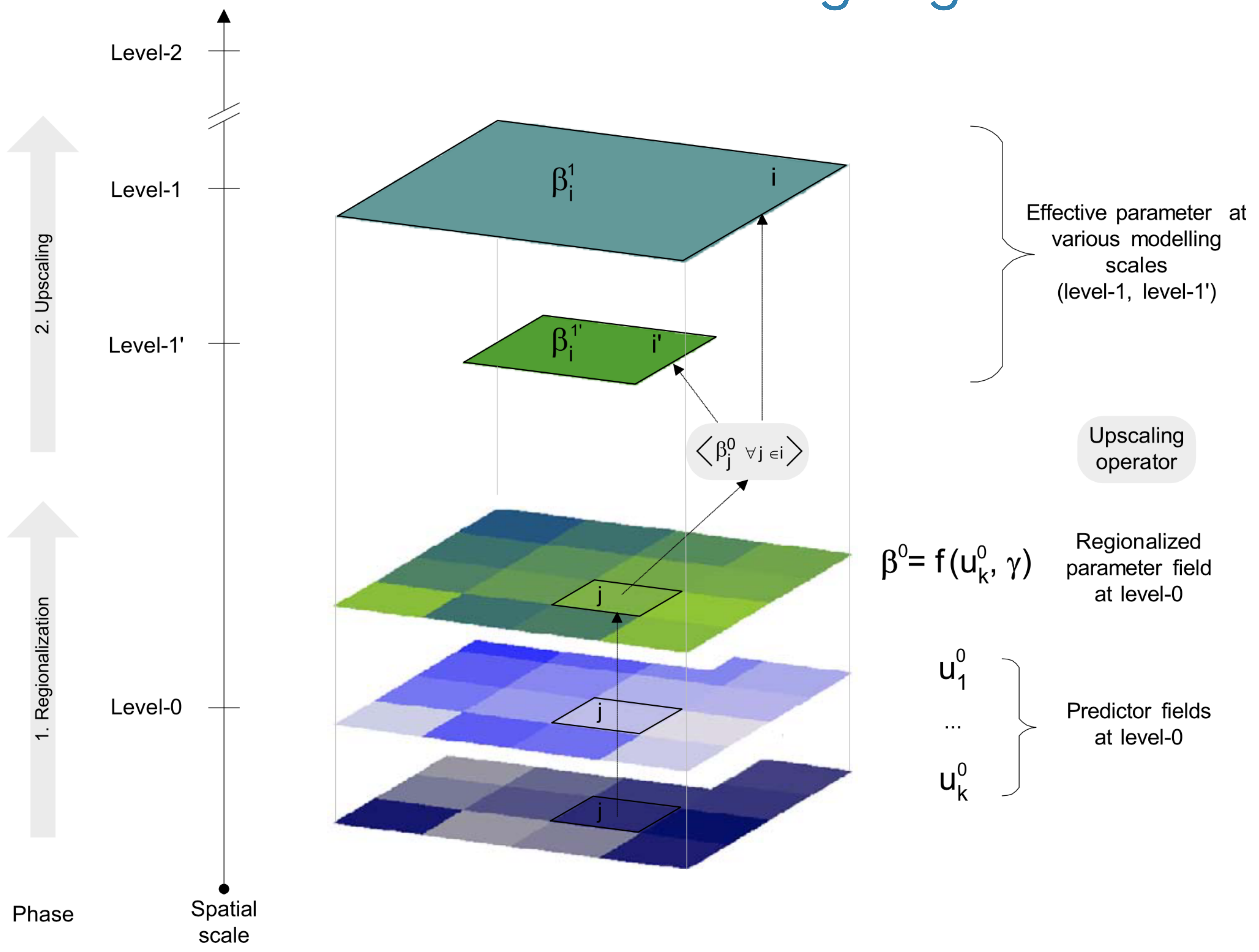
Möglichkeit “ad hoc”:

- einzelne Parameter über Aggregation/Disaggregation auf die benötige Anwendung und Skale übertragen
- Problem: Parameter wirken häufig nicht-linear und können deshalb nicht einfach gemittelt werden

Samaniego, L., Kumar, R., and Attinger, S.: Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, 46, W05523, https://doi.org/10.1029/2008wr007327, 2010.

Parameter Regionalisierung

Übertragung von Parametern über Raum und Skalen



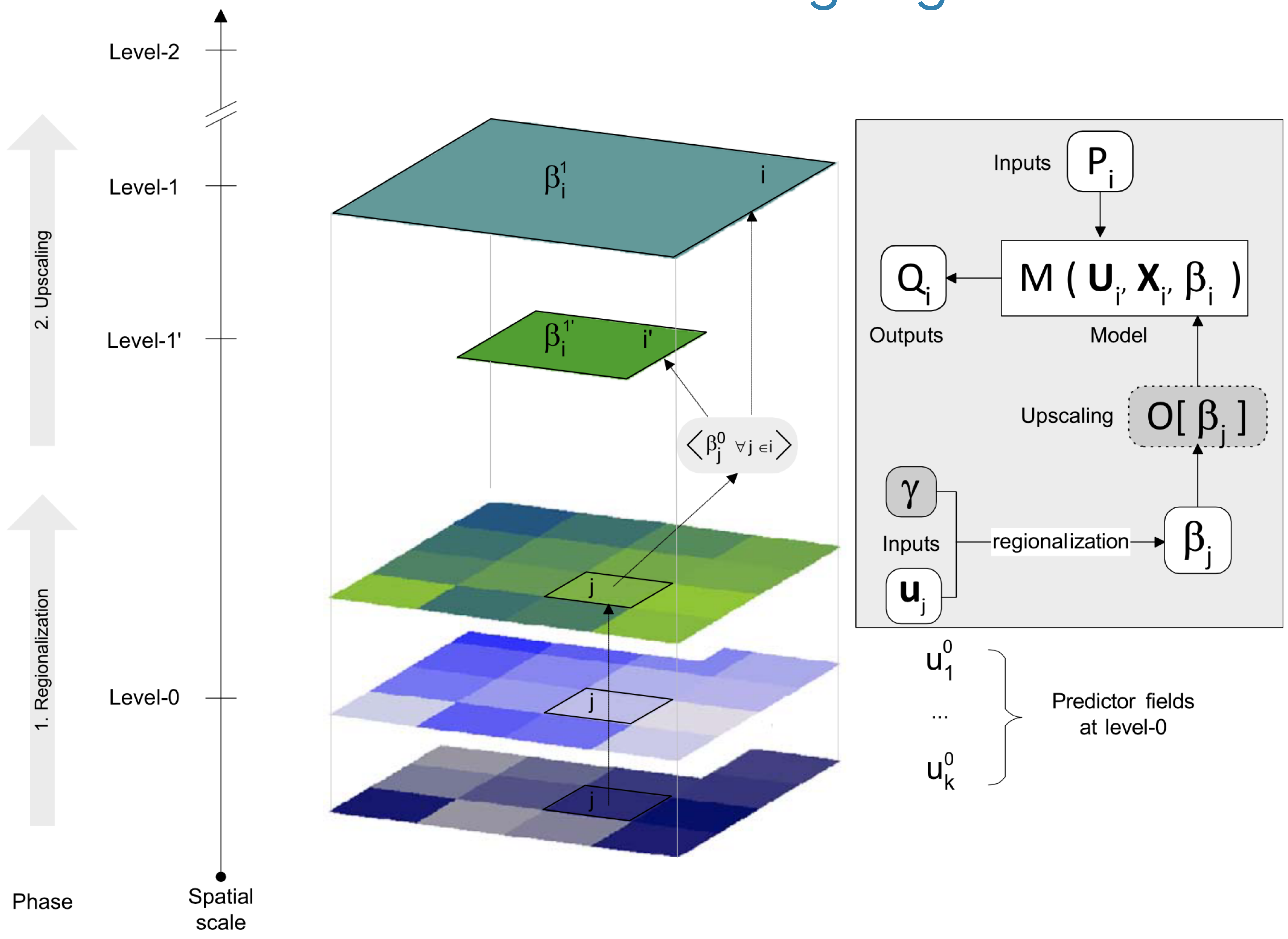
Multiscale Parameter Regionalization (MPR):

- Parameter werden erst in ihrer Wirkung im Modell regionalisiert
- Konzept "effektiver" Parameter als eine Art Modellanpassung im Zwischenschritt
- Übertragung dieser angepassten Parameter

Samaniego, L., Kumar, R., and Attinger, S.: Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, 46, W05523, https://doi.org/10.1029/2008wr007327, 2010.

Parameter Regionalisierung

Übertragung von Parametern über Raum und Skalen



Multiscale Parameter Regionalization (MPR):

- Parameter werden erst in ihrer Wirkung im Modell regionalisiert
- Konzept “effektiver” Parameter als eine Art Modellanpassung im Zwischenschritt
- Übertragung dieser angepassten Parameter

Samaniego, L., Kumar, R., and Attinger, S.: Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, 46, W05523, https://doi.org/10.1029/2008wr007327, 2010.