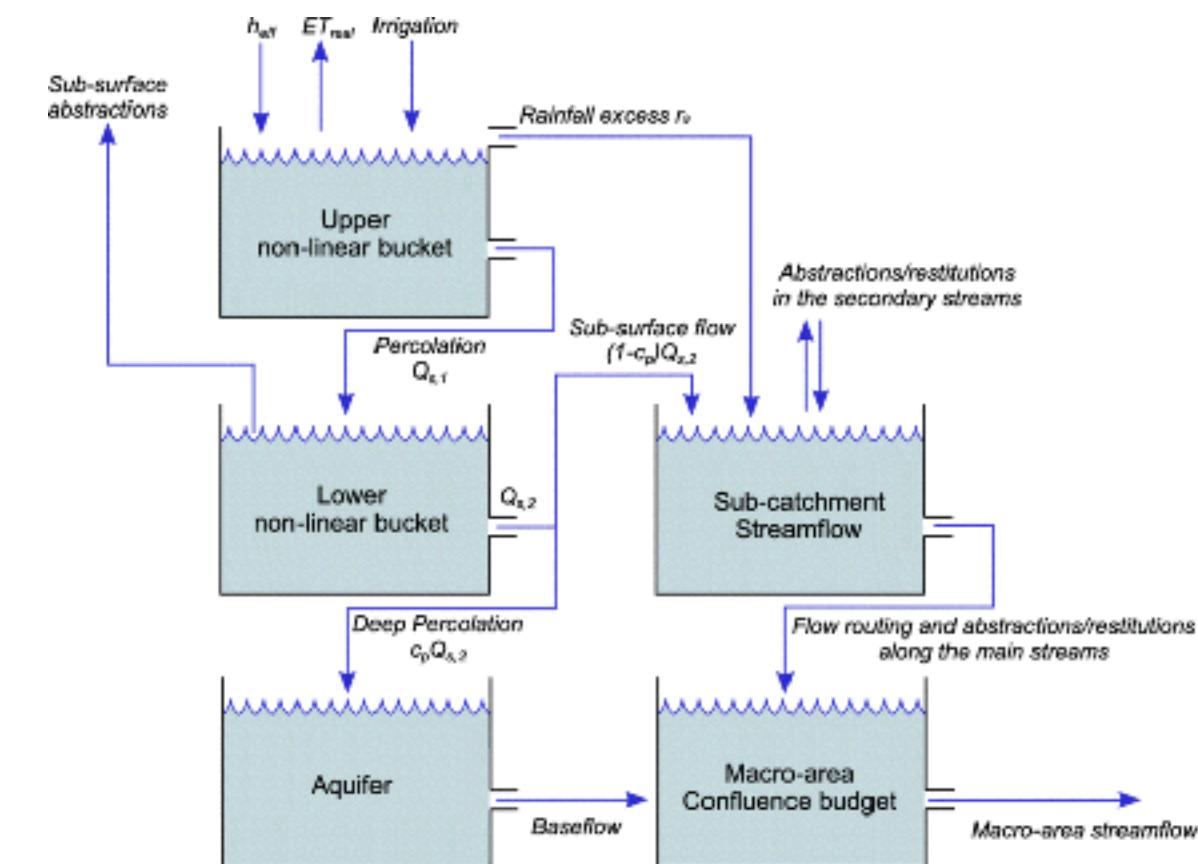


Hydrologische Modelle (1)

Grundlagen der Hydrologie
Primer in Hydrology



[Routing to macro-area node is performed using GIUH]

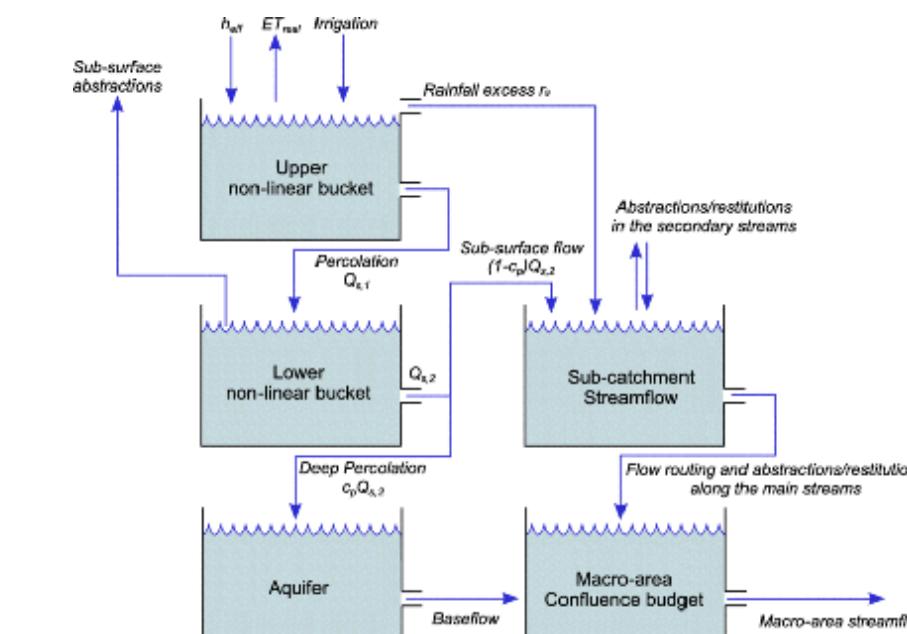
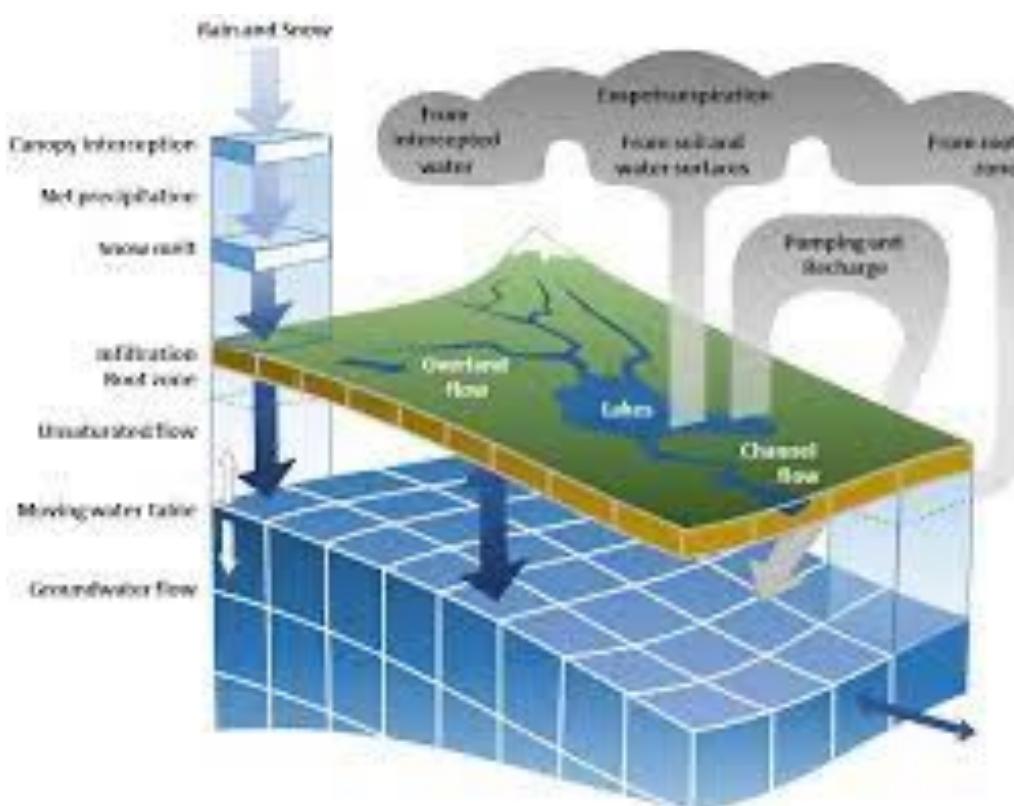
[Baseflow is transferred to macro-area node using a linear bucket model]

Ziel der heutigen Vorlesung

Erste hydrologische Modelle kennen lernen und deren Eigenschaften verstehen

Ziele:

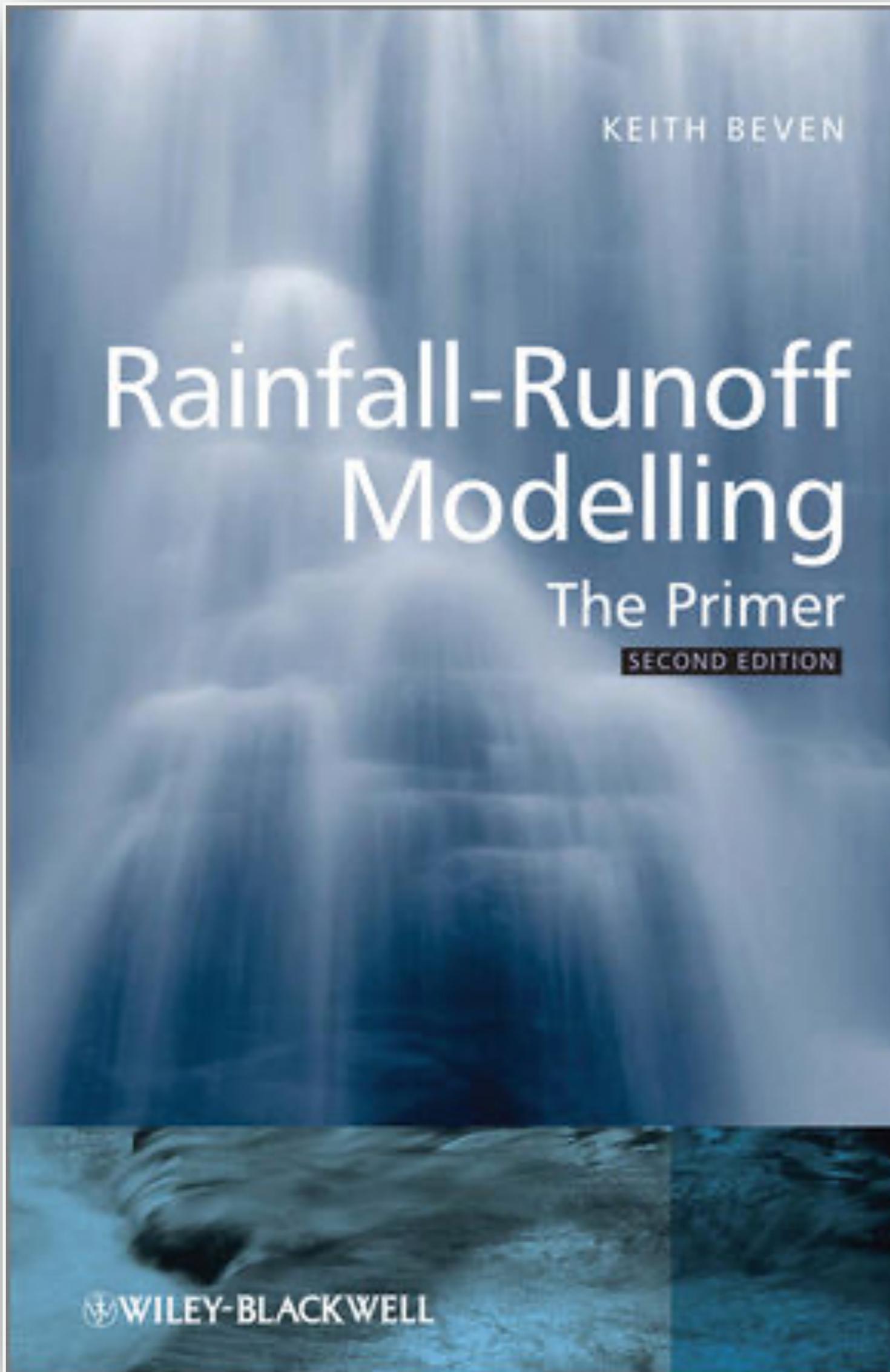
- All models are wrong – but some are useful
(after George Box)
 - Schritte der Modellentwicklung verstehen
 - Konzepte für Rainfall-Runoff-Models kennen und ihre Verknüpfungen verstehen
 - Kalibrierung und Equifinalität verstehen



[Routing to macro-area node is performed using GIUH]
[Baseflow is transferred to macro-area node using a linear bucket model]

A large, bold, gray number '9' is centered on a white background. The number is rendered in a thick, rounded font style.

Buch zur heutigen Vorlesung



vieles heute kann im Detail
hier nachgelesen werden...

Keith Beven

- Prof. em. Lancaster
- einer der Godfathers of Hydrology
- Podcast...
- Interview...

Was verstehen wir unter “Modell”?

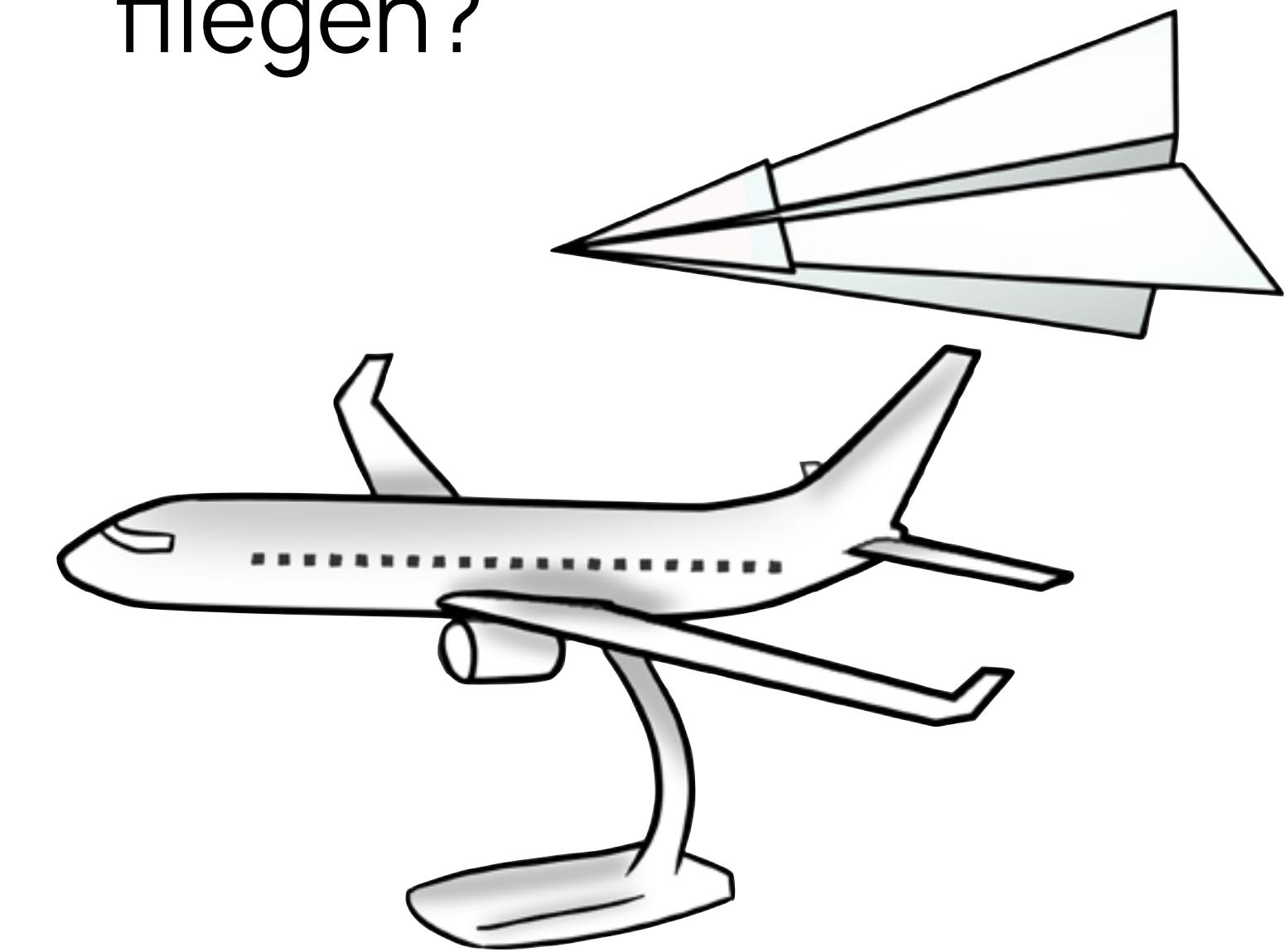
allgemein

Allgemein:

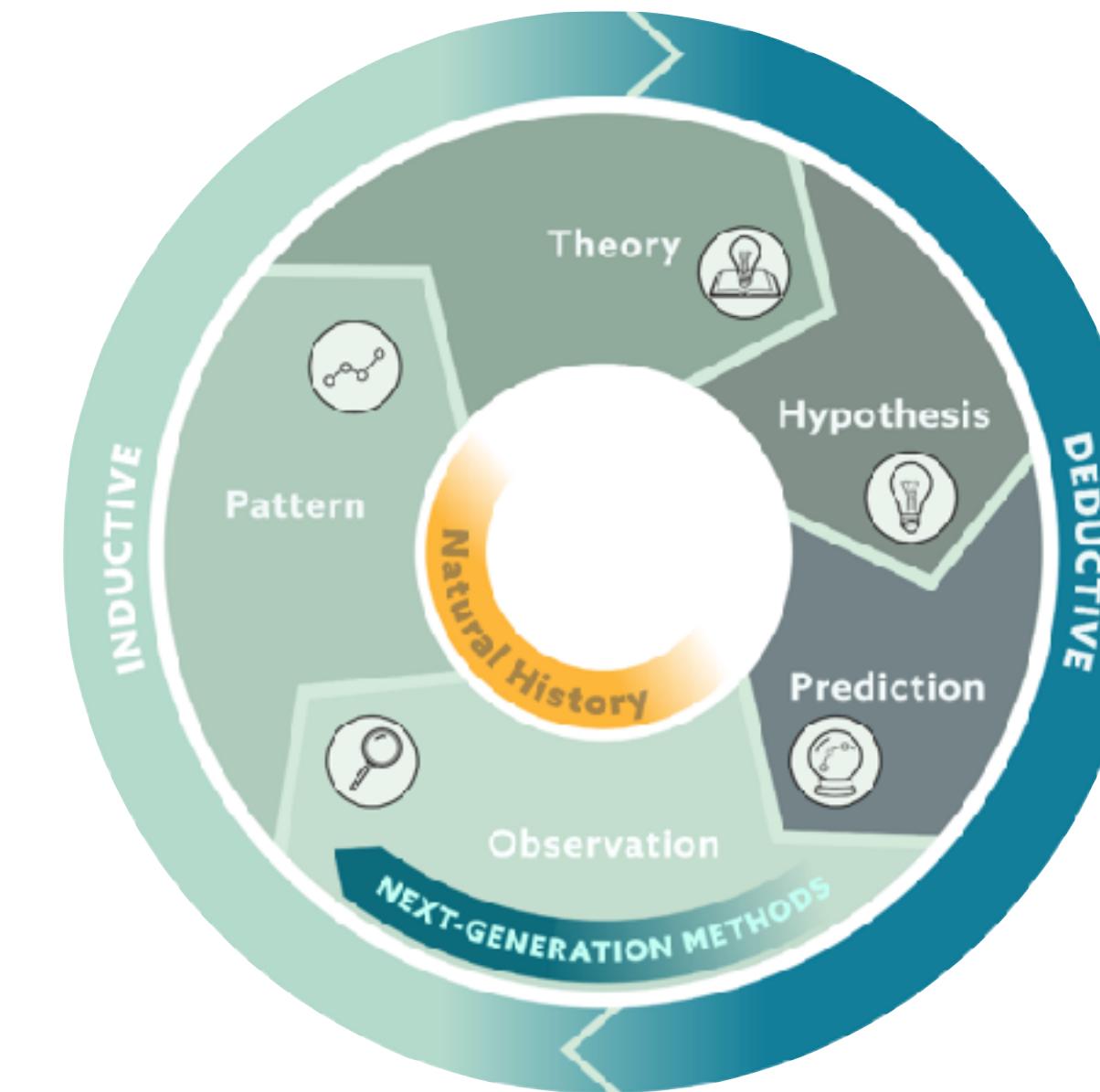
- ein Abbild der Wirklichkeit
→ konsistent, logisch,
vereinfacht
- um Dinge der realen Welt
besser zu verstehen
- als eine Form der
Datenverarbeitung und
-visualisierung
- können ganz
unterschiedlich sein

- Modelle als Teil des
wissenschaftlichen
Erkenntnisgewinns

- Welches Modell wird
fliegen?



- die “richtige” Verein-
fachung ist Schlüssel



Was verstehen wir unter “Modell”?

aus hydrologischer Perspektive

Allgemein:

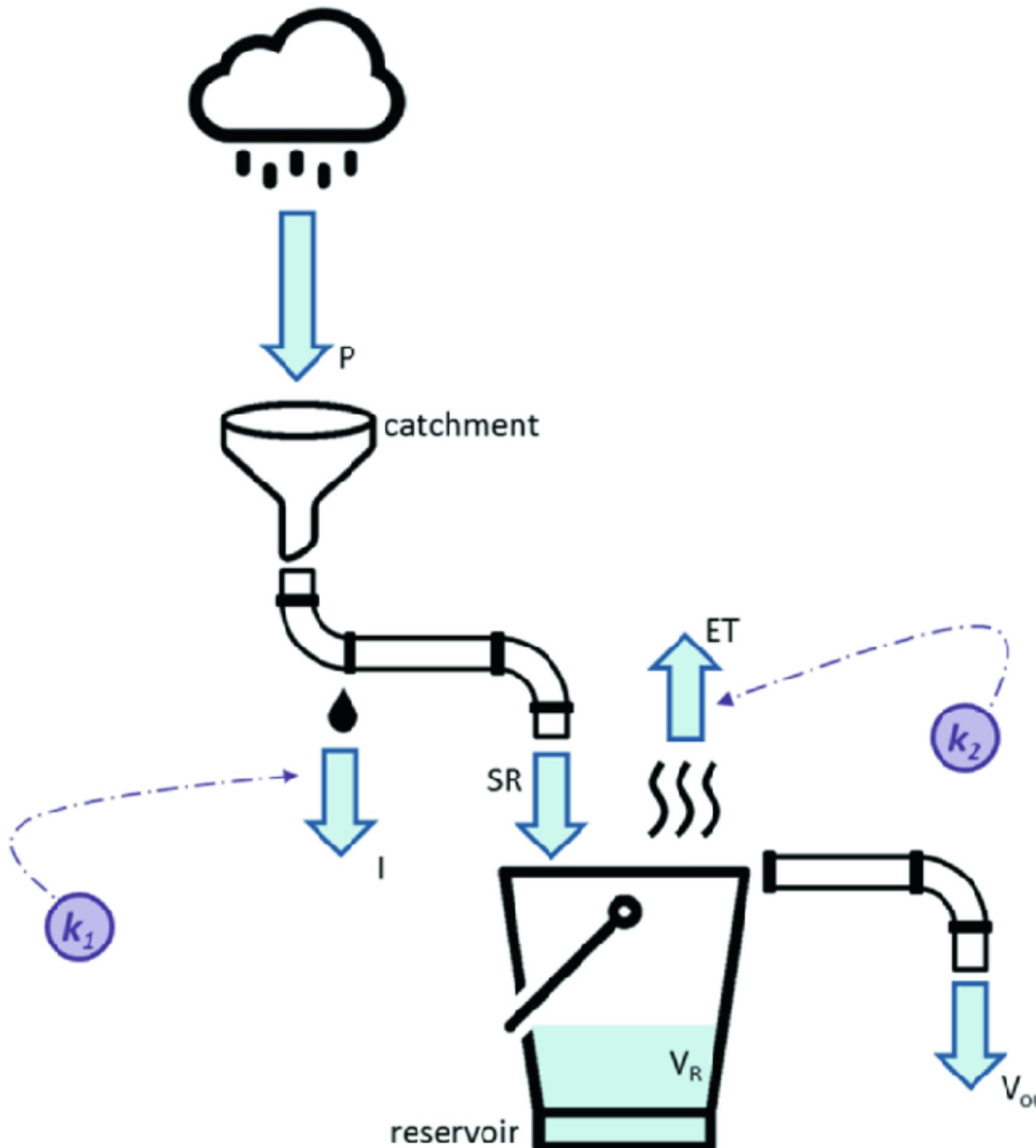
- ein Abbild der Wirklichkeit
→ konsistent, logisch,
vereinfacht
- um Dinge der realen Welt
besser zu verstehen
- als eine Form der
Datenverarbeitung und
-visualisierung
- können ganz
unterschiedlich sein

Hydrologie:

- ein vereinfachtes Abbild von Prozessen des
Wasserkreislaufs
- Analysen von Prozessen, Extrema, Szenarien,
Wechselwirkungen, Hypothesen...
- Komprimierung von Systemverständnis in
Modellelementen und Parametern
- Visualisierung von sonst schwer
zugänglichen Prozessen
- können ganz unterschiedlich sein

Was verstehen wir unter “Modell”?

aus hydrologischer Perspektive

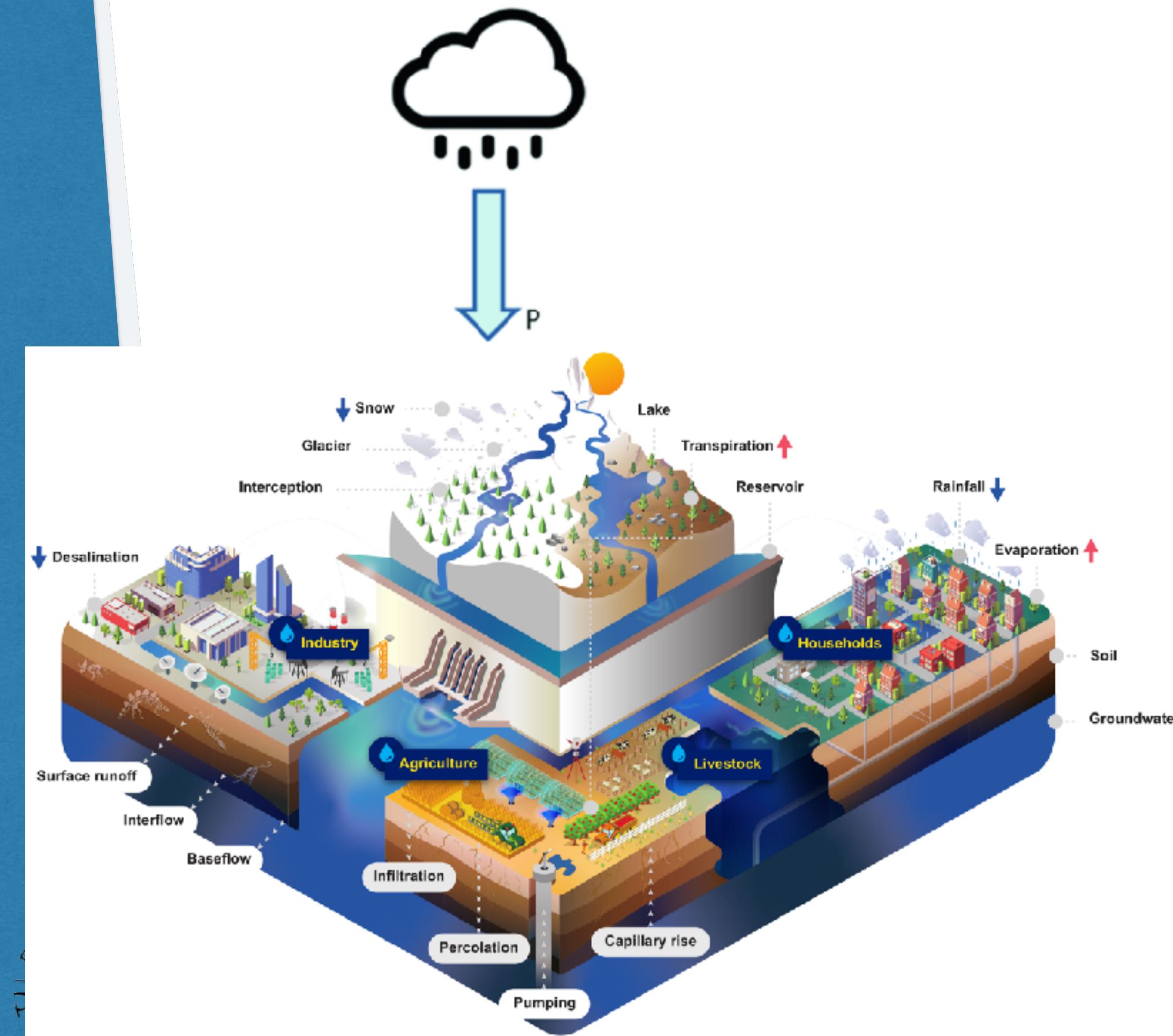


Hydrologie:

- ein vereinfachtes Abbild von Prozessen des Wasserkreislaufs
- Analysen von Prozessen, Extrema, Szenarien, Wechselwirkungen, Hypothesen...
- Komprimierung von Systemverständnis in Modellelementen und Parametern
- Visualisierung von sonst schwer zugänglichen Prozessen
- können ganz unterschiedlich sein

Was verstehen wir unter "Modell"?

aus hydrologischer Perspektive



Hydrologie:

- ein vereinfachtes Abbild von Prozessen des Wasserkreislaufs
- Analysen von Prozessen, Extrema, Szenarien, Wechselwirkungen, Hypothesen...
- Komprimierung von Systemverständnis in Modellelementen und Parametern
- Visualisierung von sonst schwer zugänglichen Prozessen
- können ganz unterschiedlich sein

Was verstehen wir unter “Modell”?

zwei mögliche Klassen

Statische Modelle:

- Phänomen an einem Zeitpunkt oder im Vergleich von diskreten Zeitpunkten
- beschreiben Struktur von Objekten in der Problemdomäne
- zB. Digitales Gelände/
Oberflächen Modell

Dynamische Modelle:

- Vorhersage von Veränderungen im System über Zeit, Raum, Objekte...
- benutzen meistens statische Modelle als Grundlage (Struktur der Objekte/Stocks/Elemente)
- müssen aber zusätzlich die Flüsse, Umwandlungsfunktionen und Bilanzen abbilden
- zB. Niederschlag-Abfluss-Modell

Was verstehen wir unter “Modell”?

zwei weitere mögliche Klassen

Deterministische Modelle:

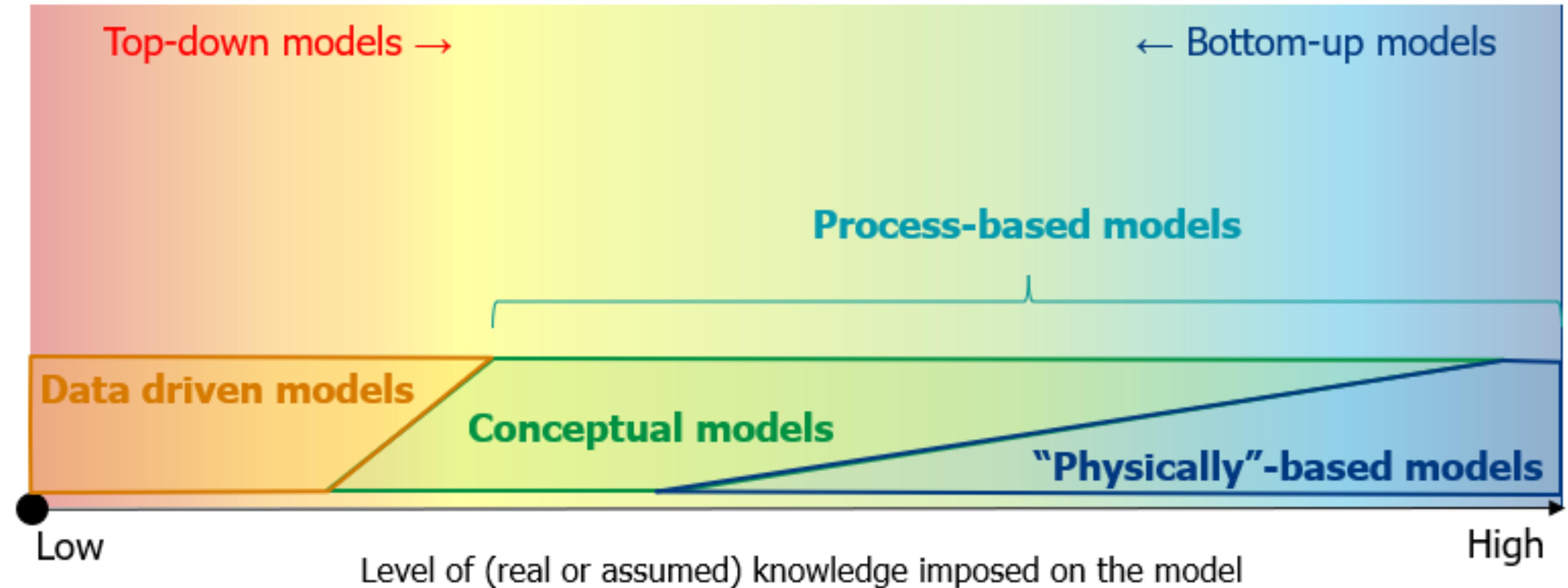
- ein Ergebnis aus einem definierten Set von treibenden Variablen und Parametern
- eine Wahrheit – viel Vertrauen in das Modell mit den identifizierten Parametern nötig

Stochastische Modelle:

- mehrere mögliche Ergebnisse (im Sinne von probabilistischen Vorhersagen) aus einem Set von treibenden Variablen und Parametern
- Quellen der Zufälligkeiten können vielfältig sein

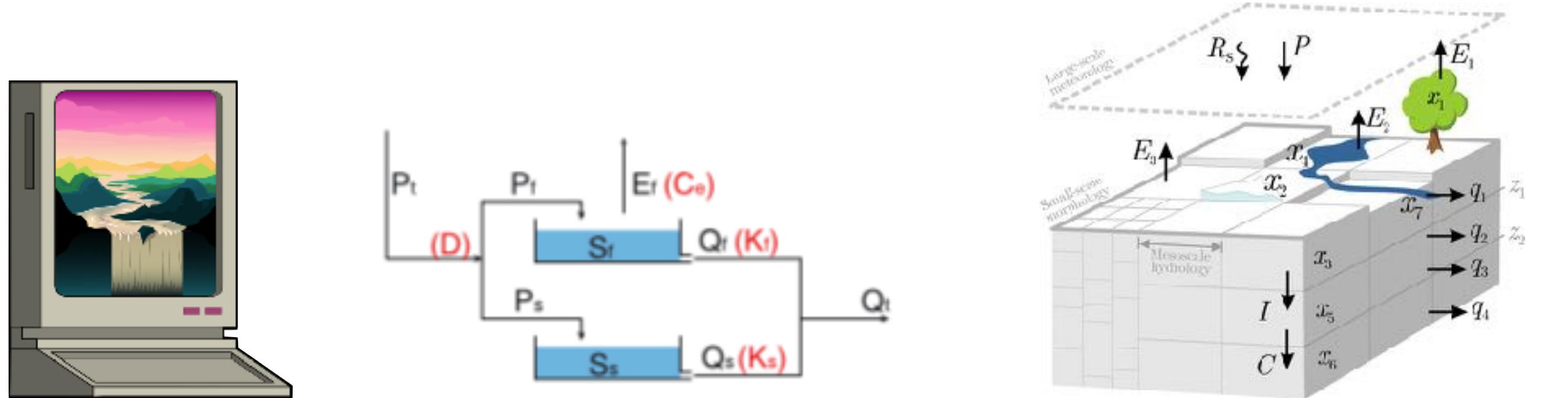
Was verstehen wir unter “Modell”?

zwei weitere mögliche Klassen



Verschiedene Modellklassen

mit verschiedenen Anforderungen und Eigenschaften



	Data Driven	Conceptual	"Physically"-based
Data requirement	variable: very low – very high	moderate	very high
No. model parameters	variable: very low – very high	low - moderate	very high
Typical spatial resolution	very low - moderate	very low - high	high – very high
Conservation laws imposed	typically none	full conservation of mass conservation of energy possible	full conservation of mass full conservation of energy full conservation of momentum
Ensure dissipative system	no	yes	yes
Explicit use of gradients	no	simplified representation of gradients	full representation of continuous gradients
Ensure causality	no	yes	yes

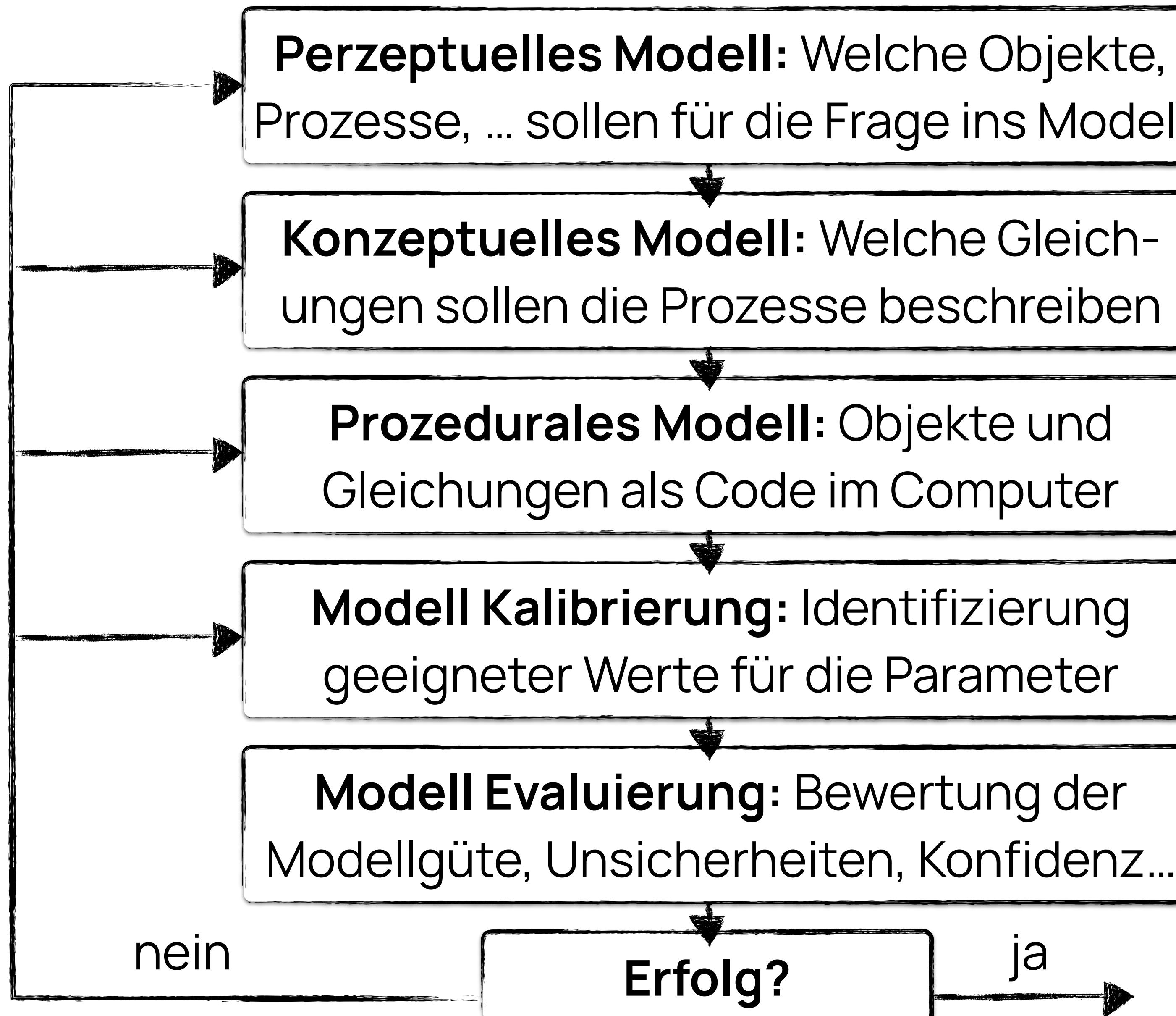
die Wahl des Modells hängt von vielen Faktoren ab:

- Fragestellung
- Datenverfügbarkeit
- Systemeigenschaften

• ...

Was verstehen wir unter "Modellierung"?

Revision



...en, Benutzen von Modellen

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

nein

ja

Erfolg?

Rainfall-Runoff-Modell

Ein erstes, einfaches Modell

Elemente:

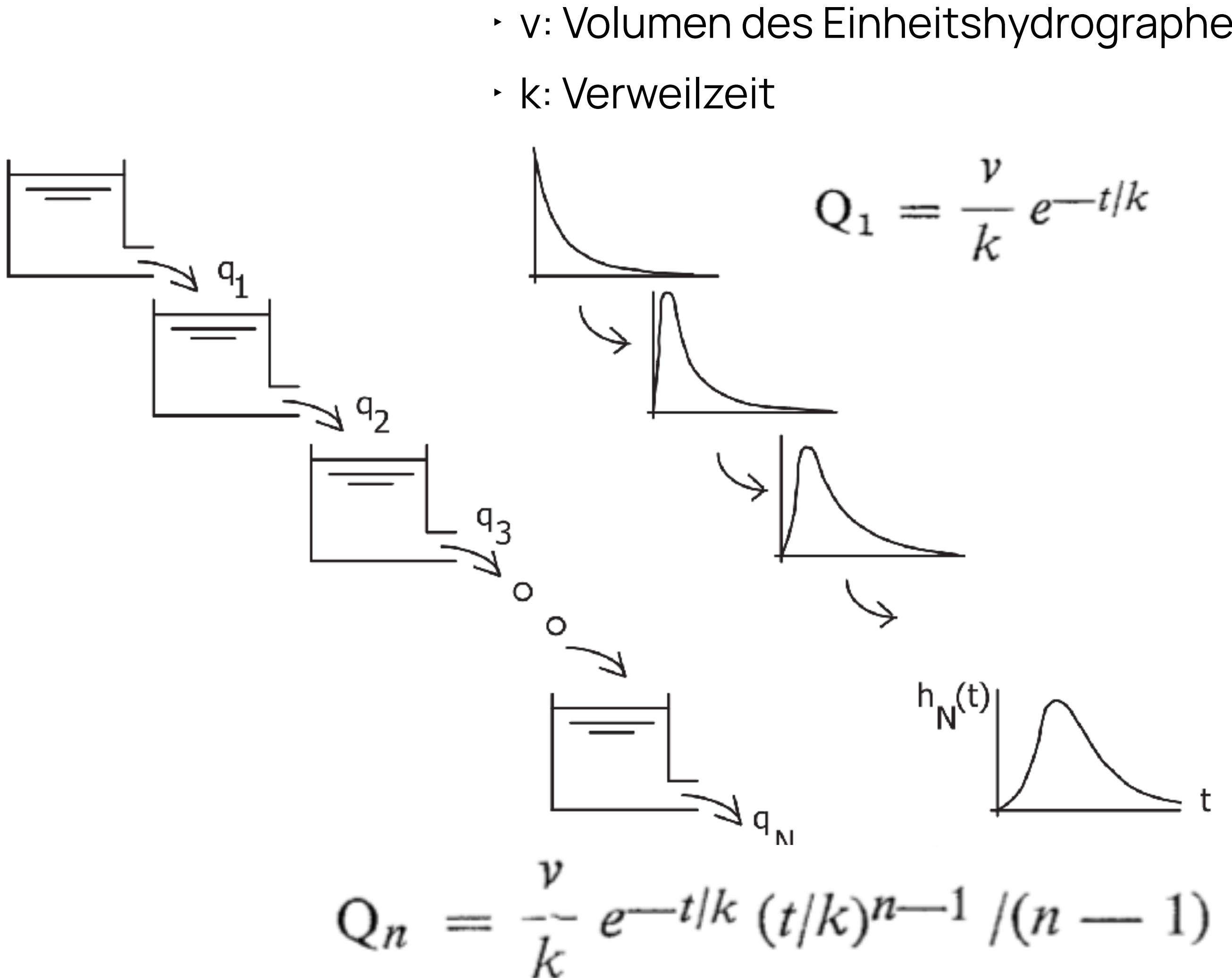
- Niederschlag → Abfluss
- Linearspeicher

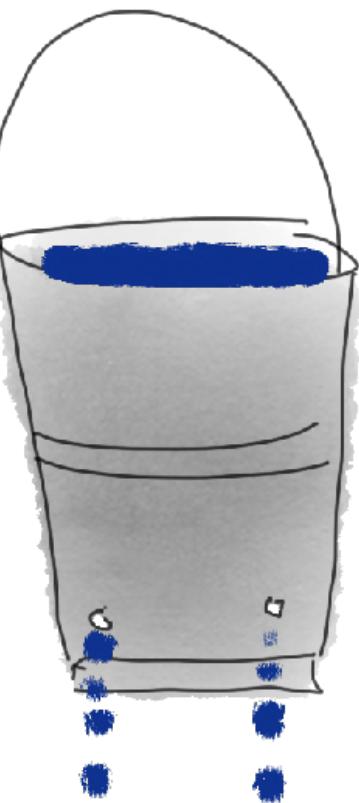
Perzeptuelles Modell:

- Speicher und Dränage

Nash-Dooge Kaskade:

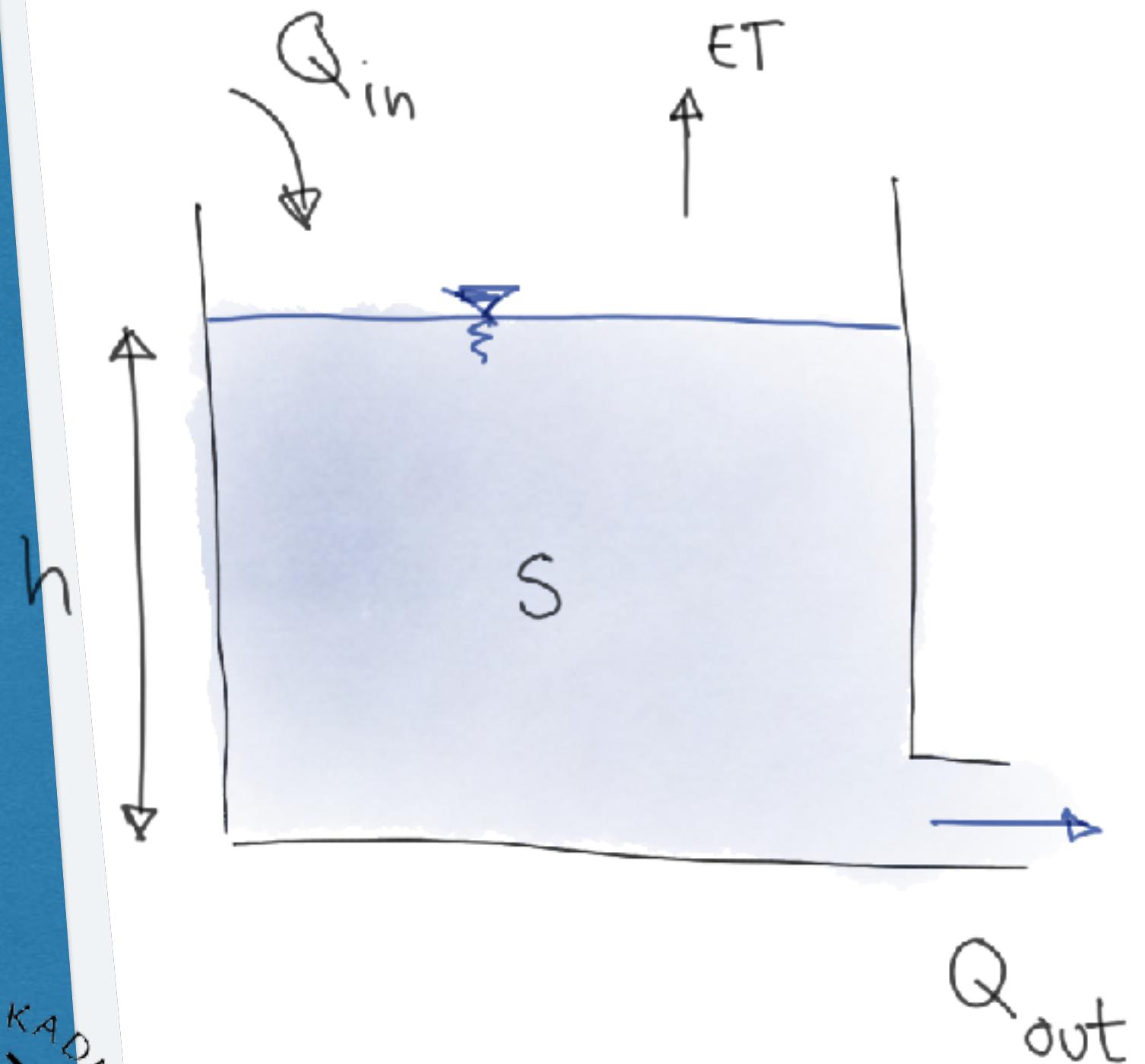
- Linearspeicherkaskade erlaubt es einen Hydrographen abzubilden





Linearspeicher

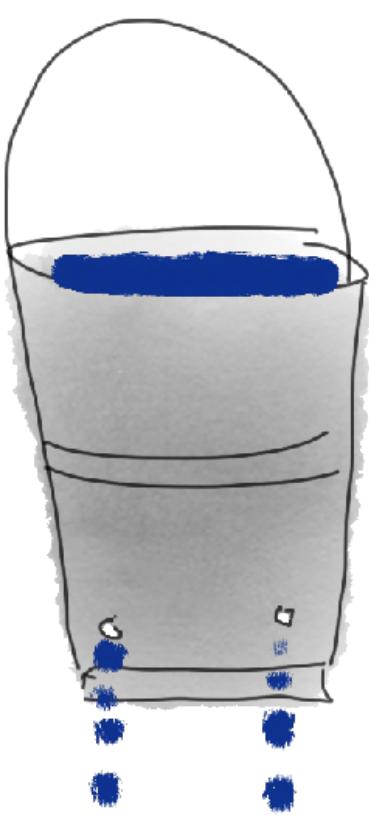
nochmal langsam



- $Q_{out} = S/t_{verweil}$
- lineare Funktion des Ausflusses mit der Speicherfüllung

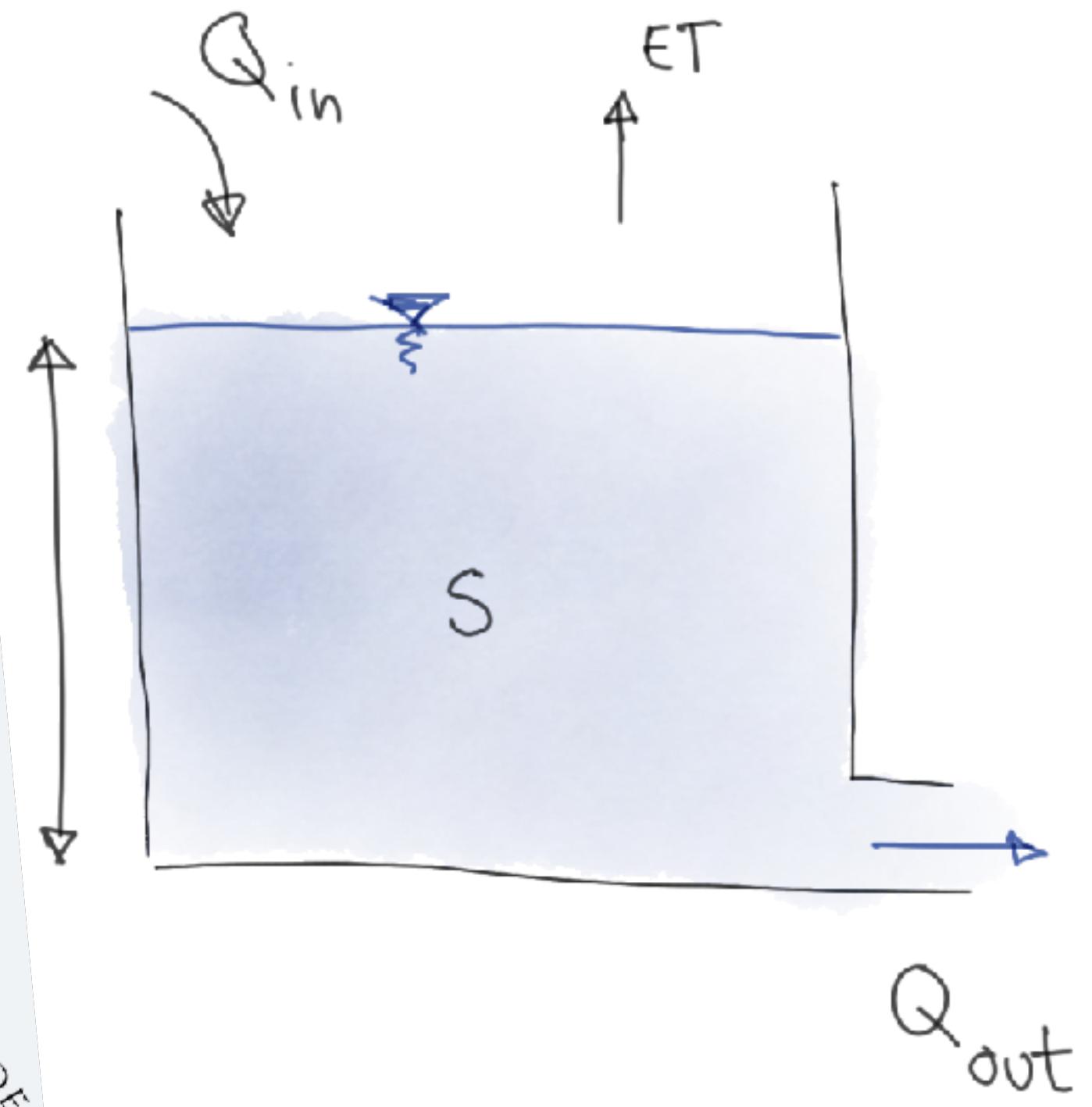
- $S_{t+1} = S_t + Q_{in,t} - ET_t - Q_{out,t}$
- $Q_{out,t} = S_t/t_{verweil}$
- t :: Zeitschritt
- zentraler Parameter: $t_{verweil}$

Wasserbilanz plus Zeitschritt



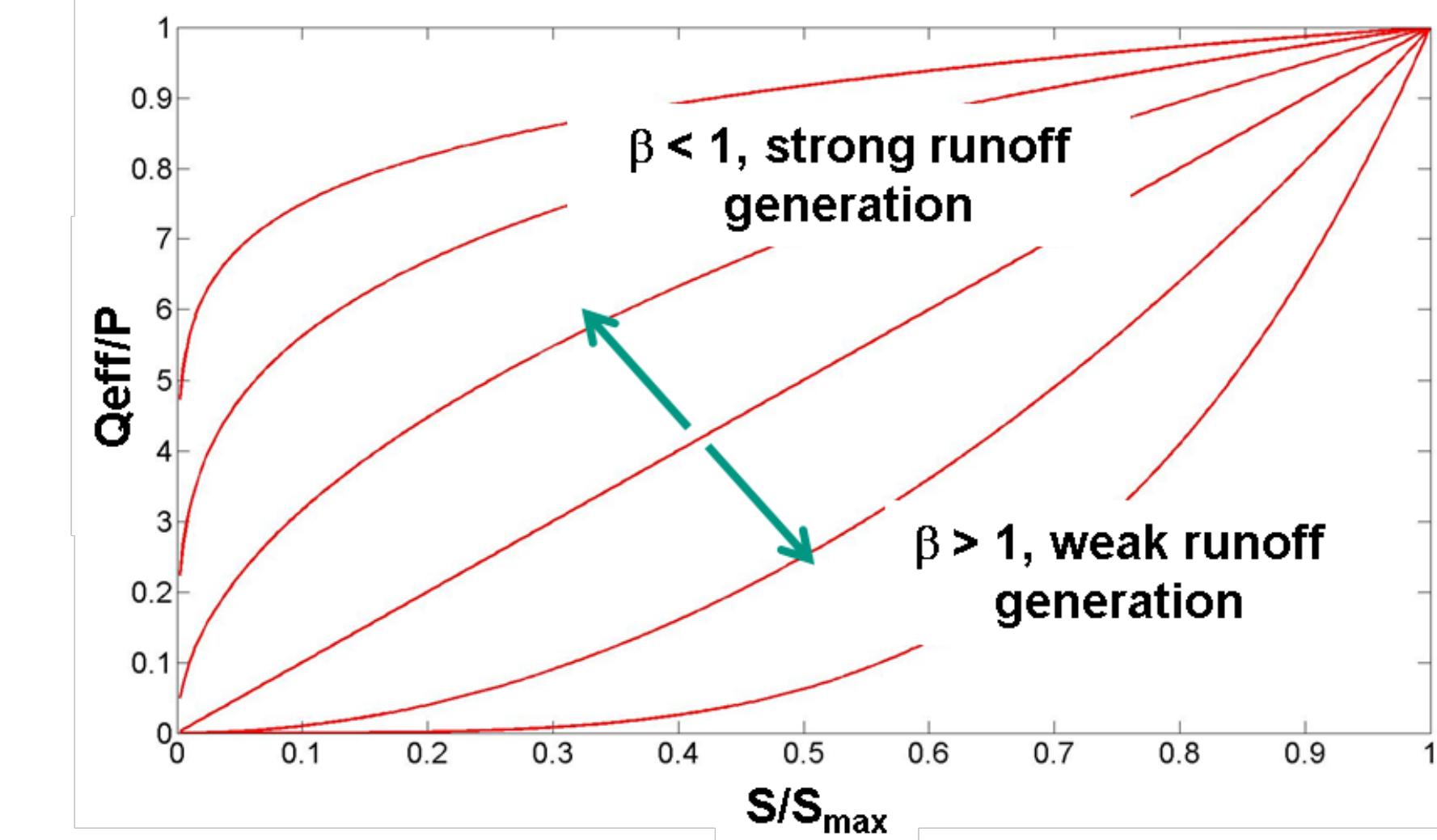
Beta-Speicher

ein weiteres Konzeptuelles Modell



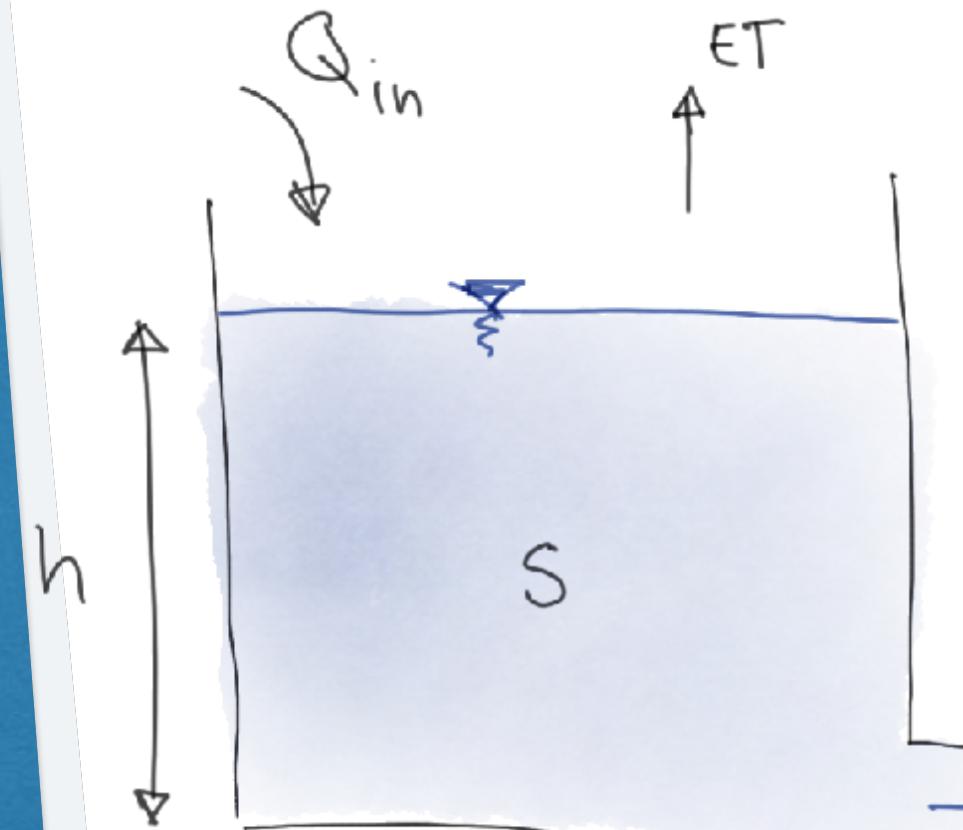
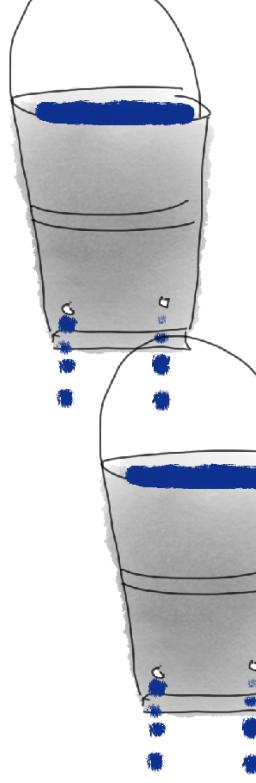
- $Q_{out} = Q_{in} \cdot (S/S_{max})^\beta$
- exponentielle Funktion des Abflusses mit einem Zustrom und einer Speicherfüllung

- $S_{t+1} = S_t + Q_{in,t} - ET_t - Q_{out,t}$
- $Q_{out,t} = Q_{in,t} \cdot (S/S_{max})^\beta$
- t :: Zeitschritt
- zentrale Parameter: S_{max} , β

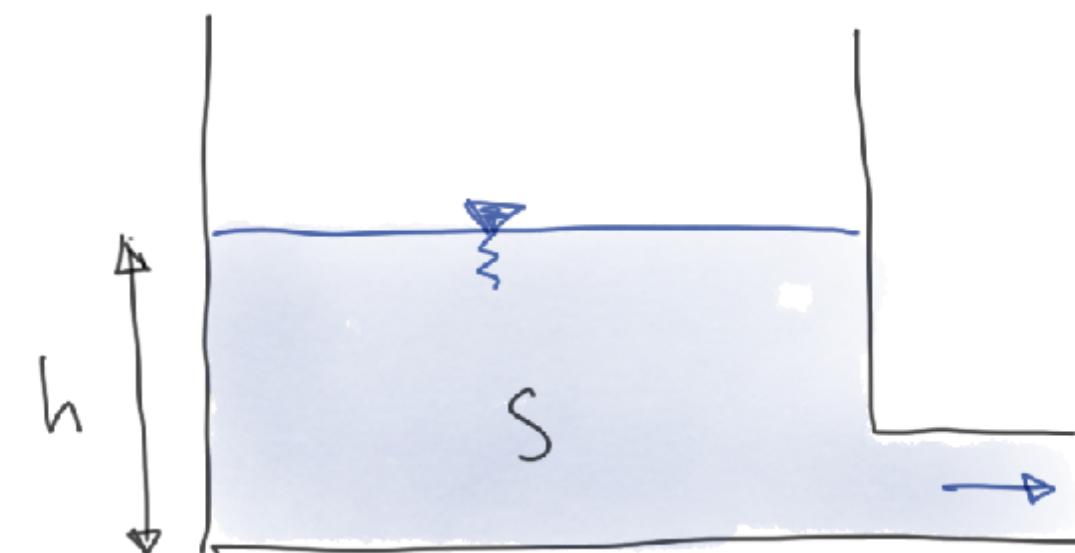


Kombinierte Speicher

Kaskade ähnlich Nash



- Bodenwasser:
- $Q_{soil,t} = Q_{in,t} \cdot (S_{soil,t}/S_{soil,max})^\beta$
- $S_{soil,t} = S_{soil,t-1} + Q_{in,t} - ET_t - Q_{soil,t}$



- Abfluss Netzwerk
- $Q_{out,t} = S_{G,t}/t_{residence}$
- $S_{G,t} = S_{G,t-1} + Q_{soil,t} - Q_{out,t}$

- mehrere verbundene Speicher
- meist nur vorwärts verknüpft

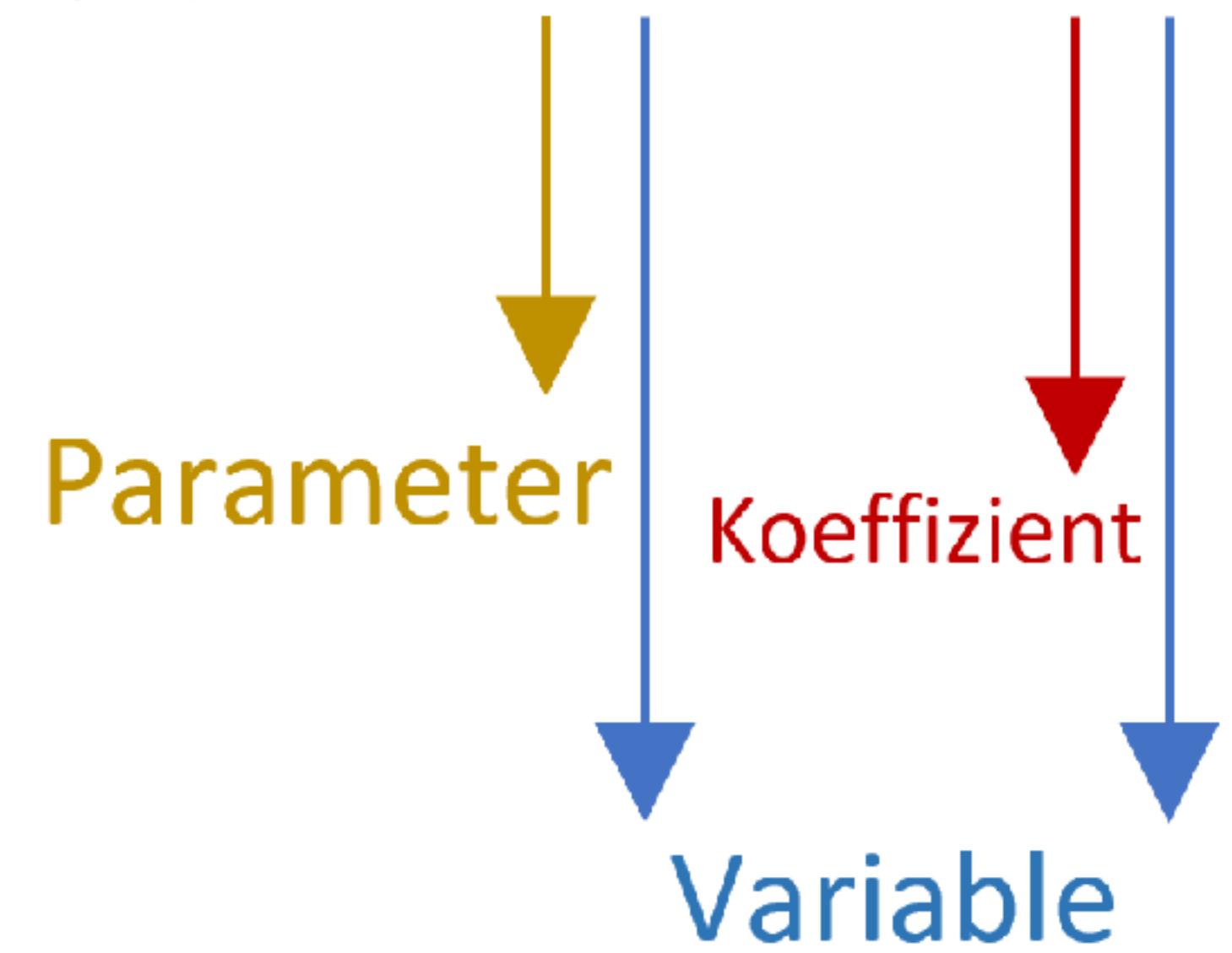
verschiedene
Speichertypen:

- $Q_{out} = S/t_{residence}$
- $Q_{out} = Q_{in} \cdot (S/S_{max})^\beta$

Begriffsklärung

$$f_k(x) = kx^3 - 2x$$

Parameter, Variable, ...



Parameter

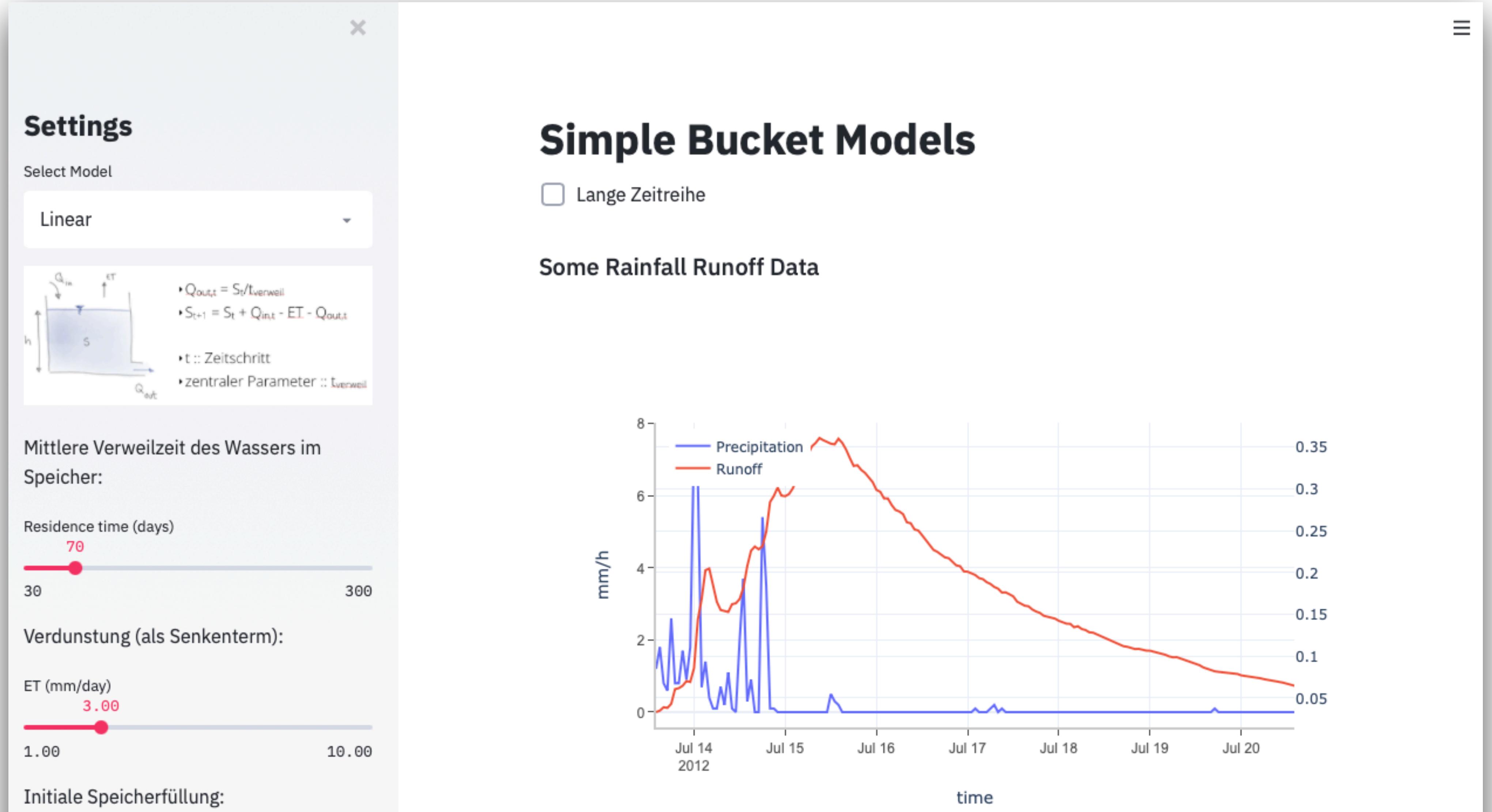
- ein fest einstellbarer Wert zur Definition von Systemfunktionen

Variable

- ein variabler Wert zur Beschreibung von Systemzuständen

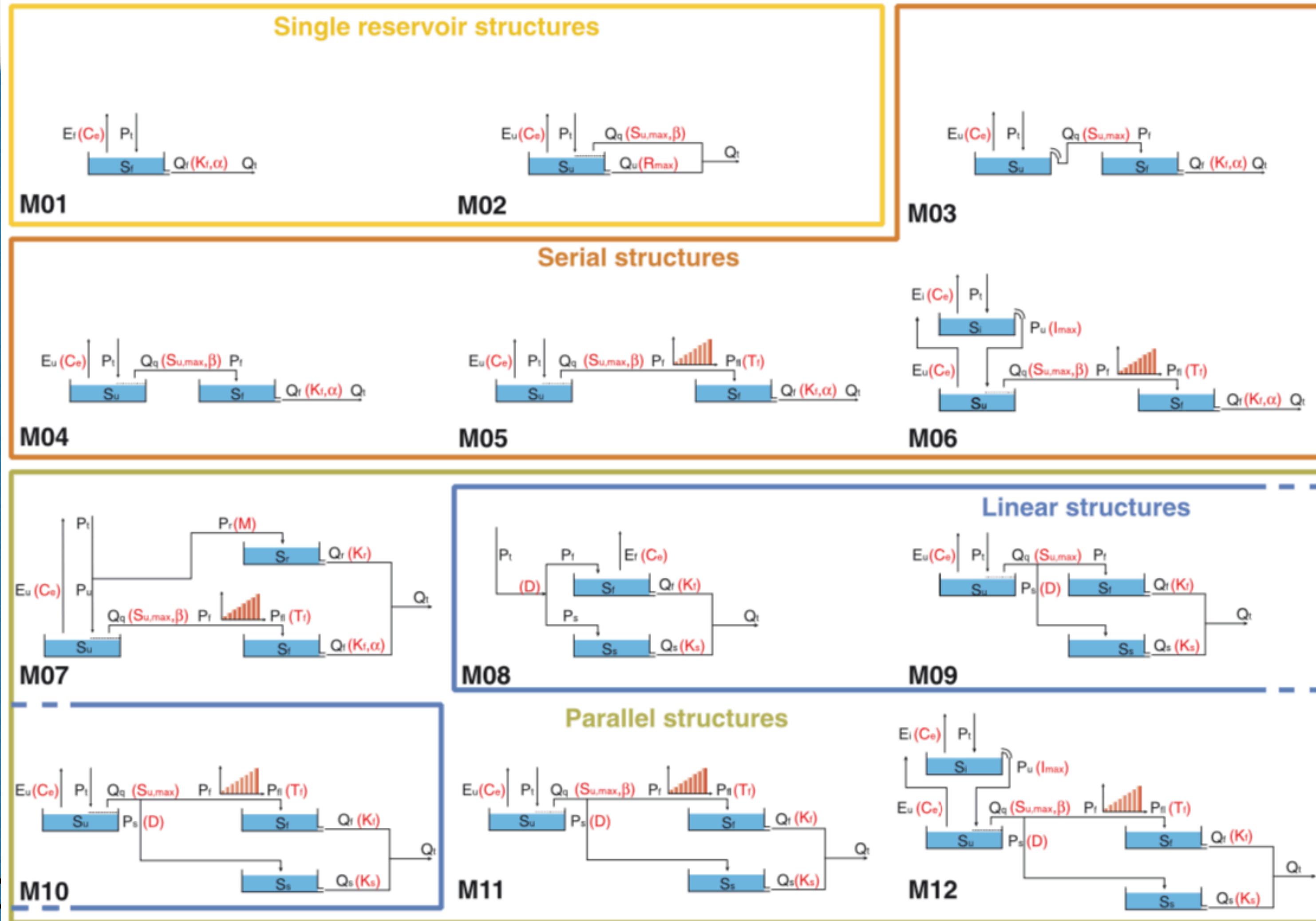
Hands-on: Bucket Models

<https://tinyurl.com/eimer>

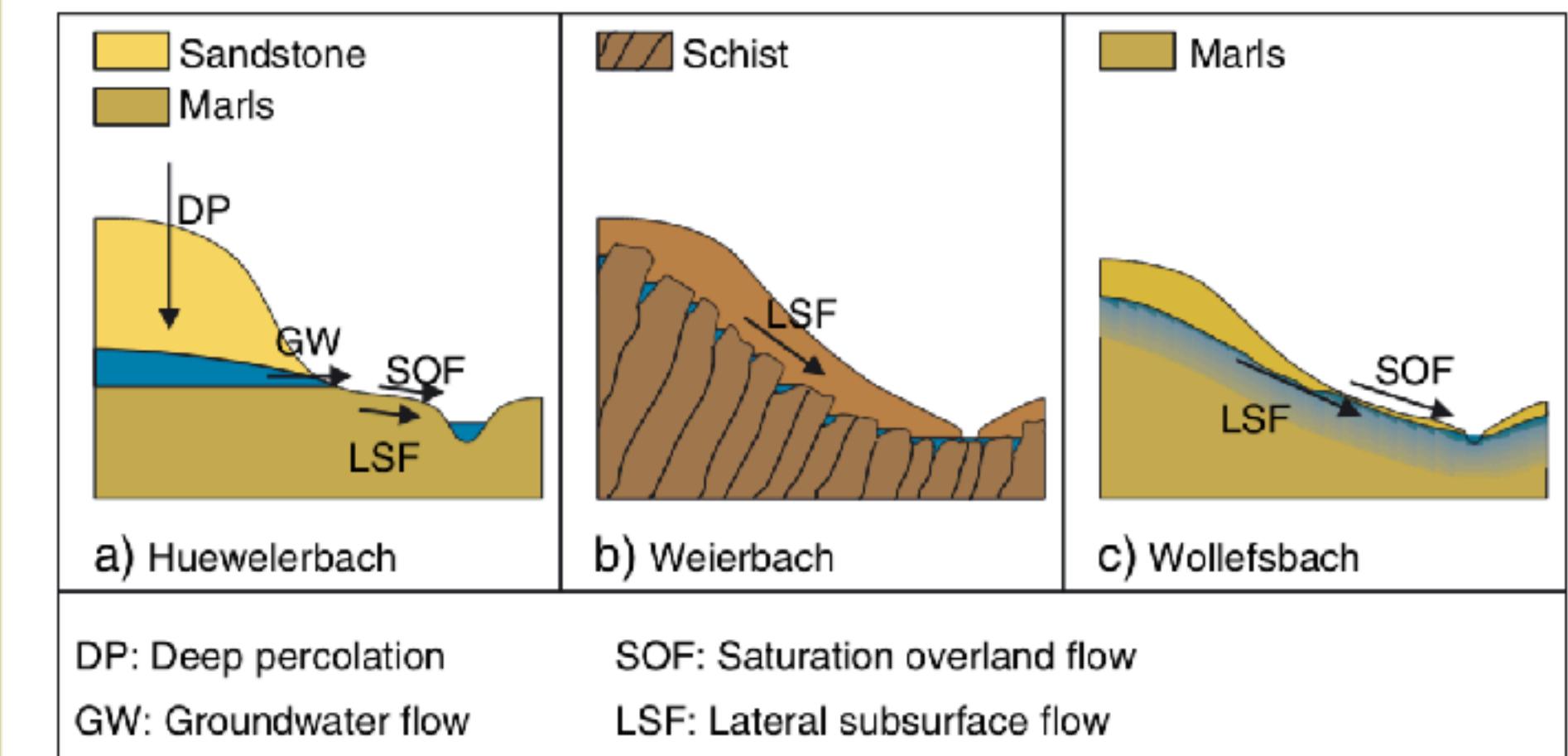


Eimer, Verknüpfungen und Konverter

Landschaftsmodelle mit Superflex

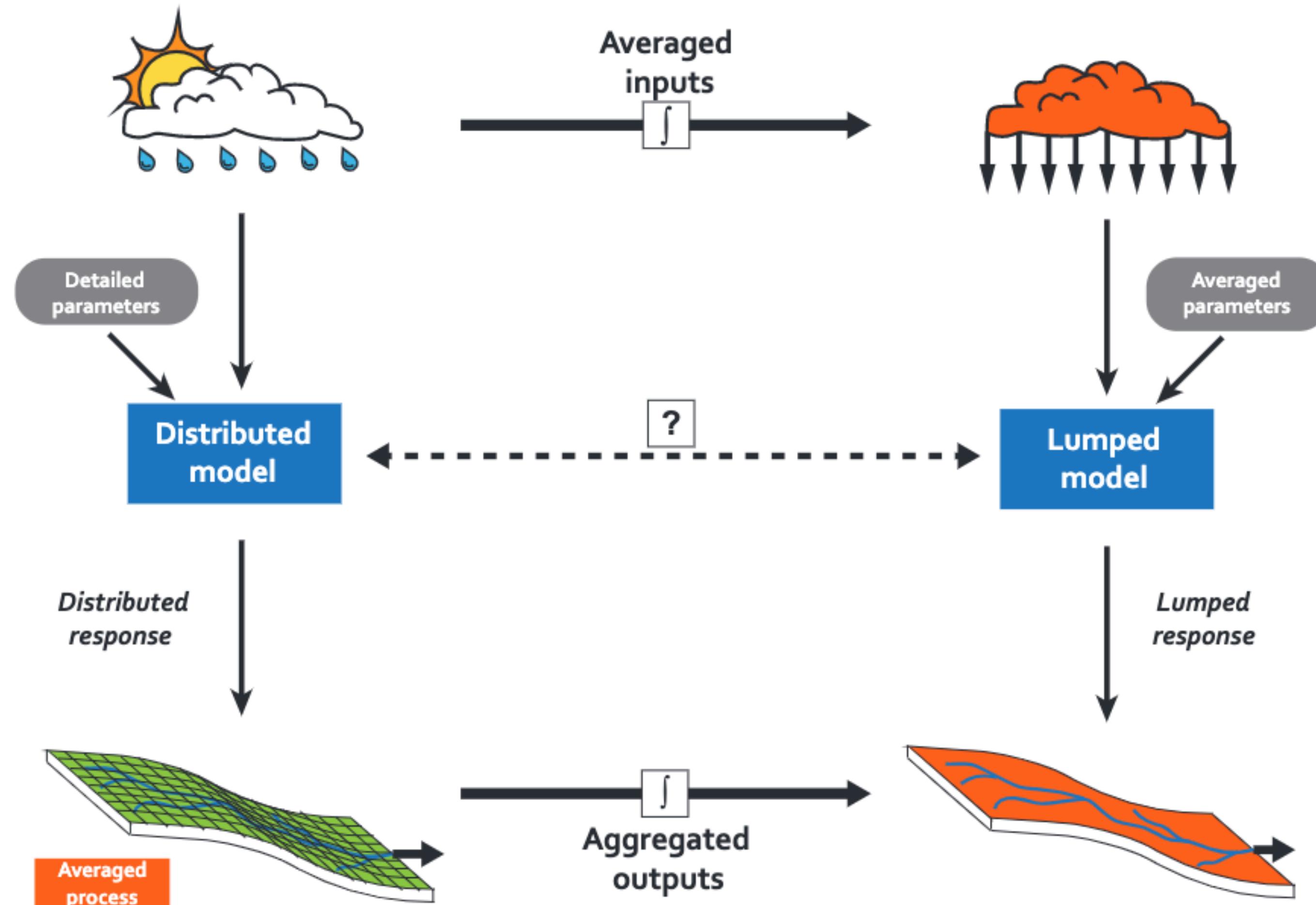


- Eine Bibliothek von Speicherkombinationen um verschiedene Landschaftseigenschaften abzubilden



Eimer, Systeme und verteilte Prozesse

Eine Frage der Modellkonzeptualisierung

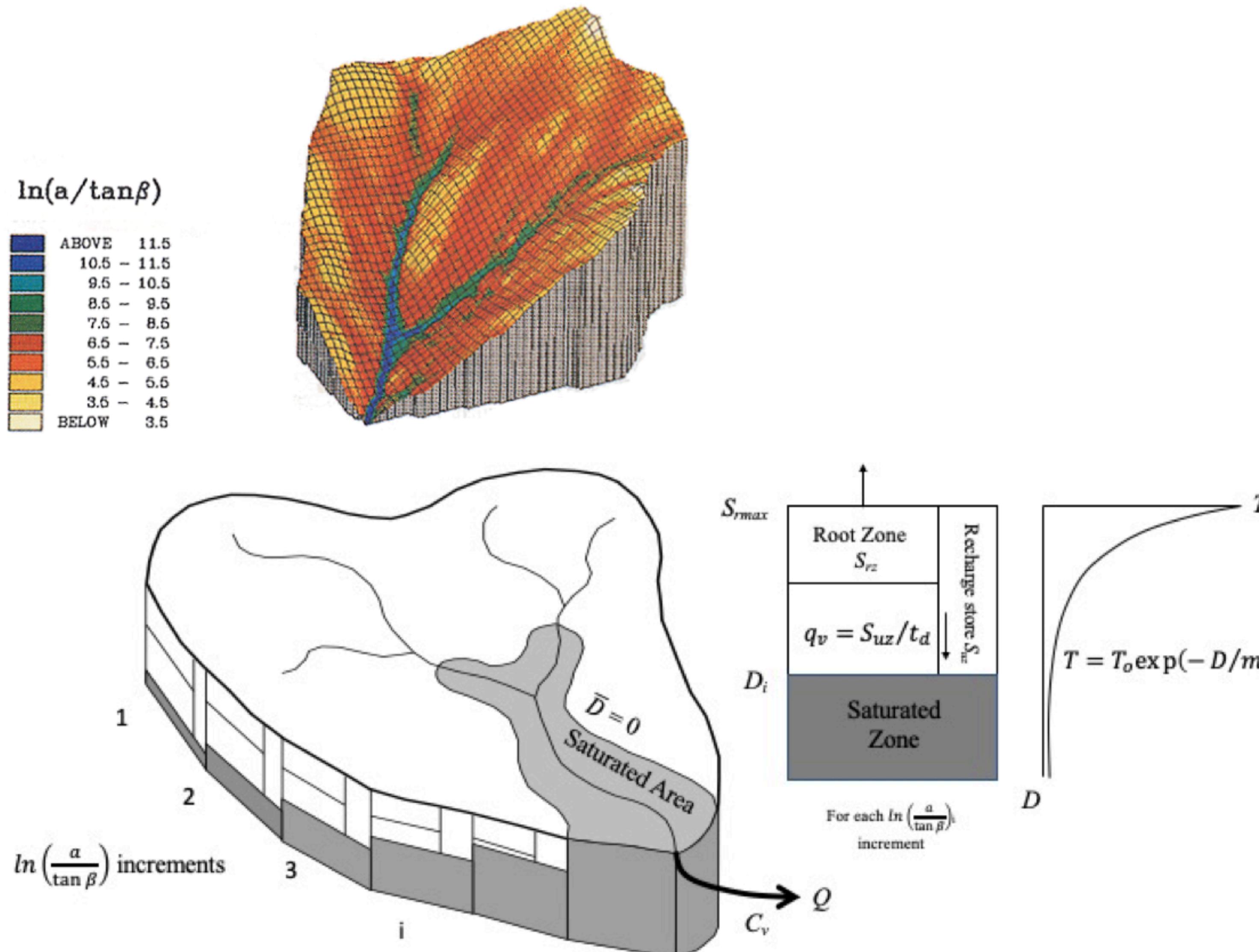


- Verteilte Modelle brauchen viel mehr Parameter
- Können aber auch mit wenigen Parametern dynamisch verbundene Speicher abbilden
- Irgendwo ist jedes Modell nicht vollständig aufgelöst

räumlich verteilte Modelle

keine Frage der Physik

- Topographic Wetness Index → Topmodel



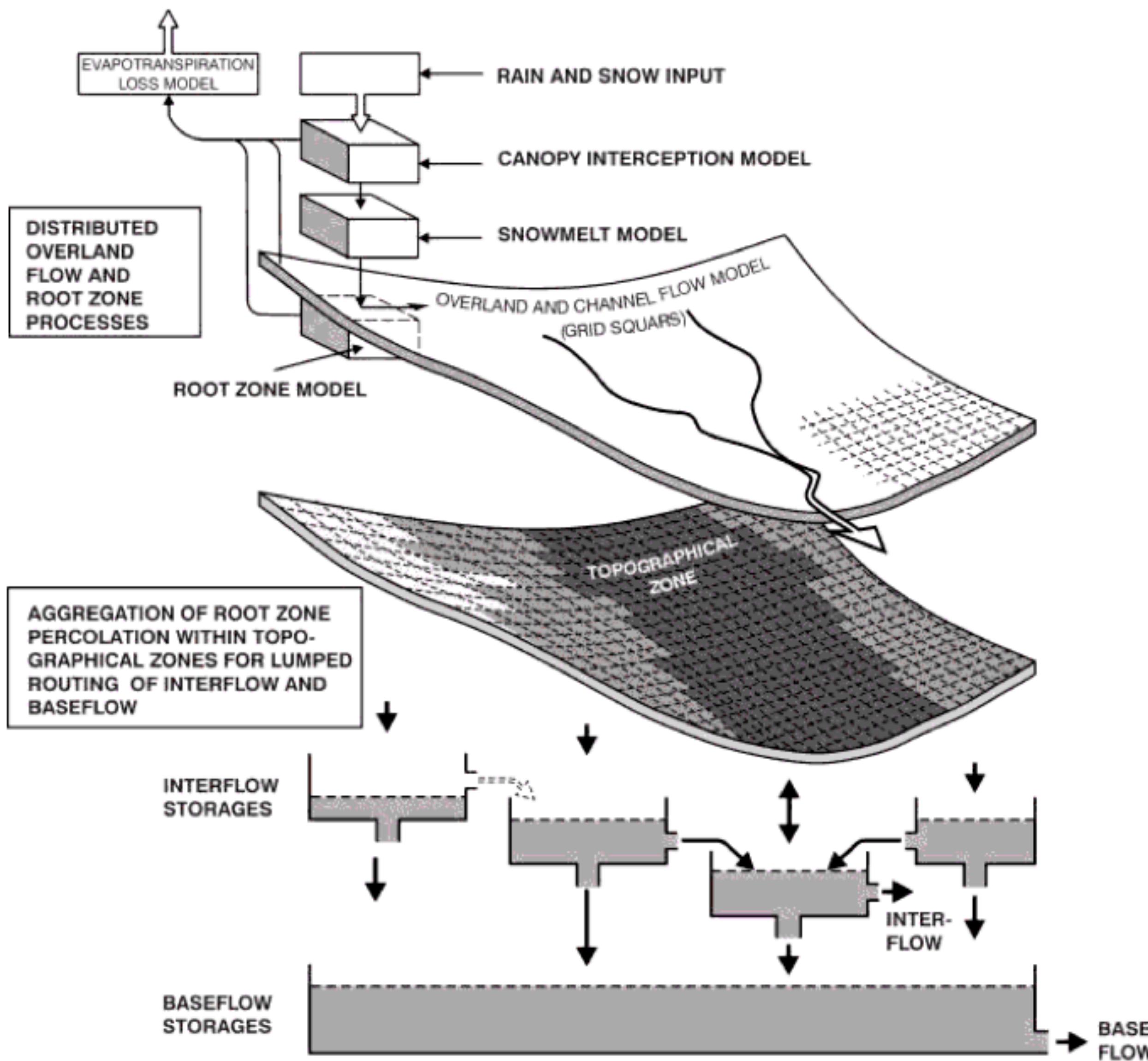
Beven, K. and Kirkby, M.: A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, 24, 43–69, 1979.

Abbott M, Bathurst J, Cunge J, et al (1986) An introduction to the European Hydrological System -- Systeme Hydrologique Européen, "SHE". Journal of Hydrology 87:61–77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90115-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90115-0)

räumlich verteilte Modelle

keine Frage der Physik

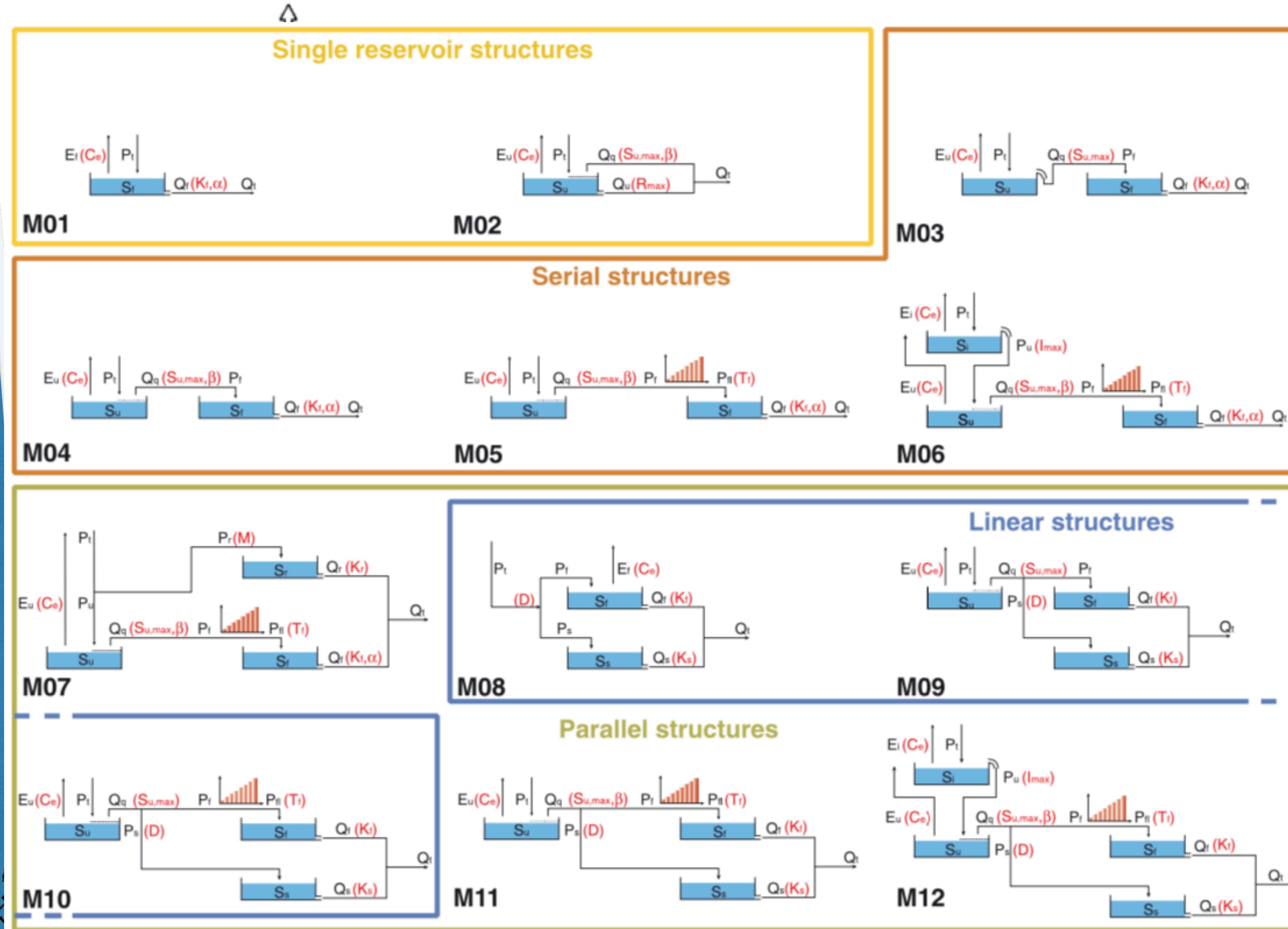
- Topographic Wetness Index → Topmodel
- Kombination aus lokalen Bodensäulen, Speichern und deren Verteilung in der Landschaft



Beven, K. and Kirkby, M.: A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, 24, 43–69, 1979.

Abbott M, Bathurst J, Cunge J, et al (1986) An introduction to the European Hydrological System -- Système Hydrologique Européen, "SHE". Journal of Hydrology 87:61–77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90115-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90115-0)

räumlich verteilte Modelle



keine Frage der Physik

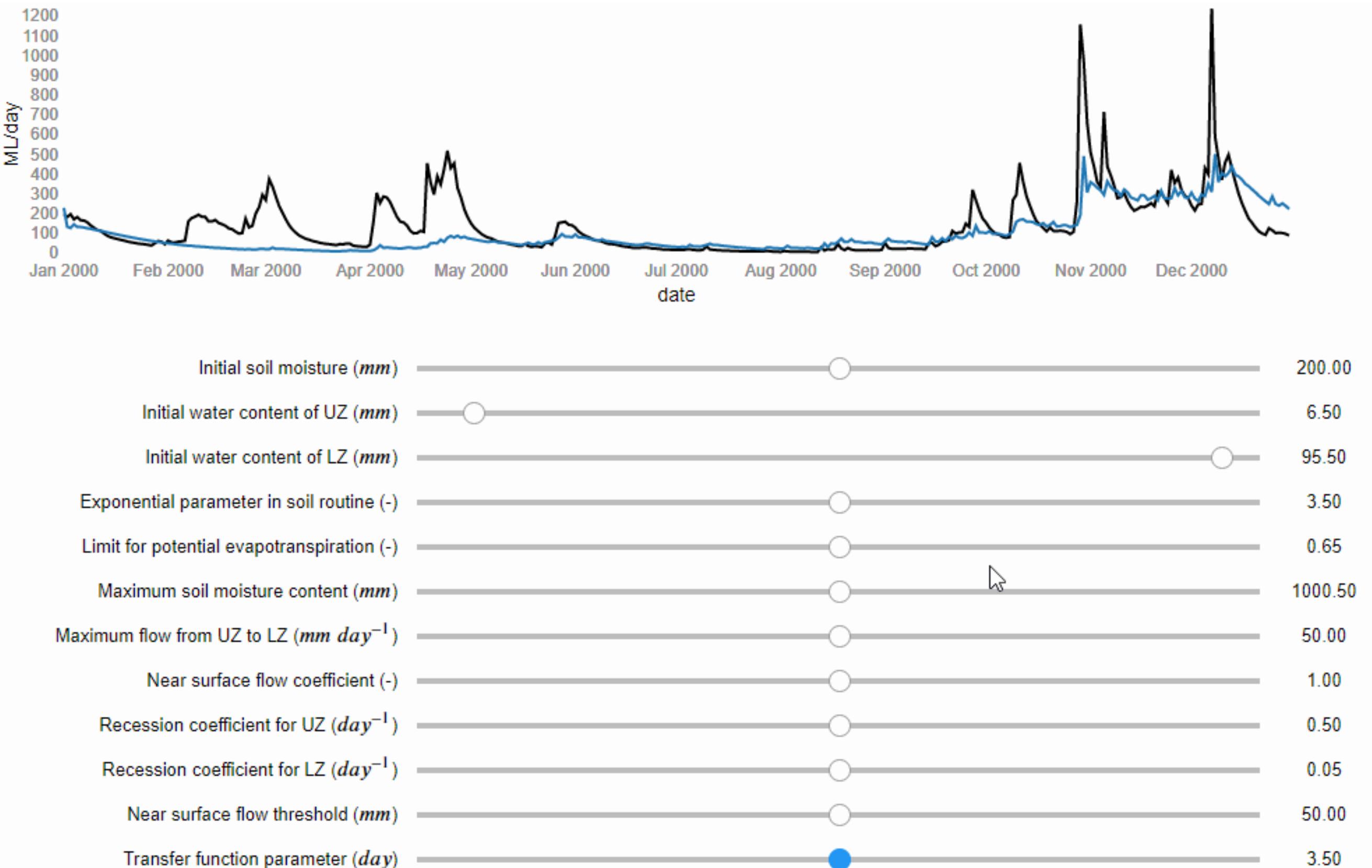
- Topographic Wetness Index → Topmodel
- Kombination aus lokalen Bodensäulen, Speichern und deren Verteilung in der Landschaft
- Achtung: Das können einfache Speicher aber auch.

Modell-Kalibrierung

Allgemeiner Überblick

Ziel: die “richtigen” Parameter finden

- › wir haben ein Modell und Daten und versuchen beides in Einklang zu bringen
- › warum ist das ein Problem?



Modell-Kalibrierung

Allgemeiner Überblick

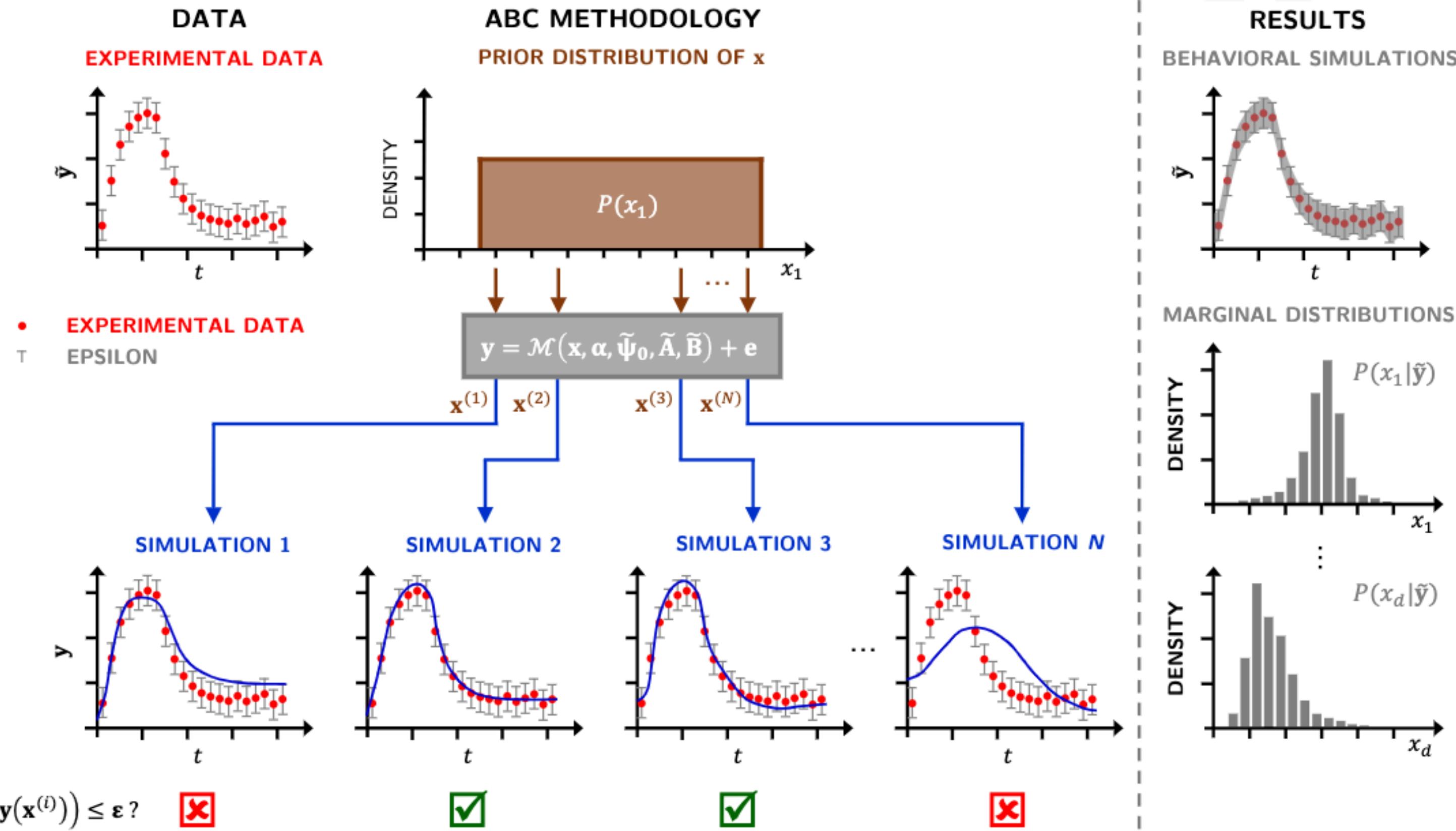
Ziel: die “richtigen” Parameter finden

- wir haben ein Modell und Daten und versuchen beides in Einklang zu bringen
- warum ist das ein Problem?

- es gibt sehr viele Parameter
- die Daten sind unsicher
- die Evaluation ist von meinen Gütemaßen abhängig
- es gibt mehrere Parametersätze mit ähnlich guten Ergebnissen → Equifinalität

Equifinality

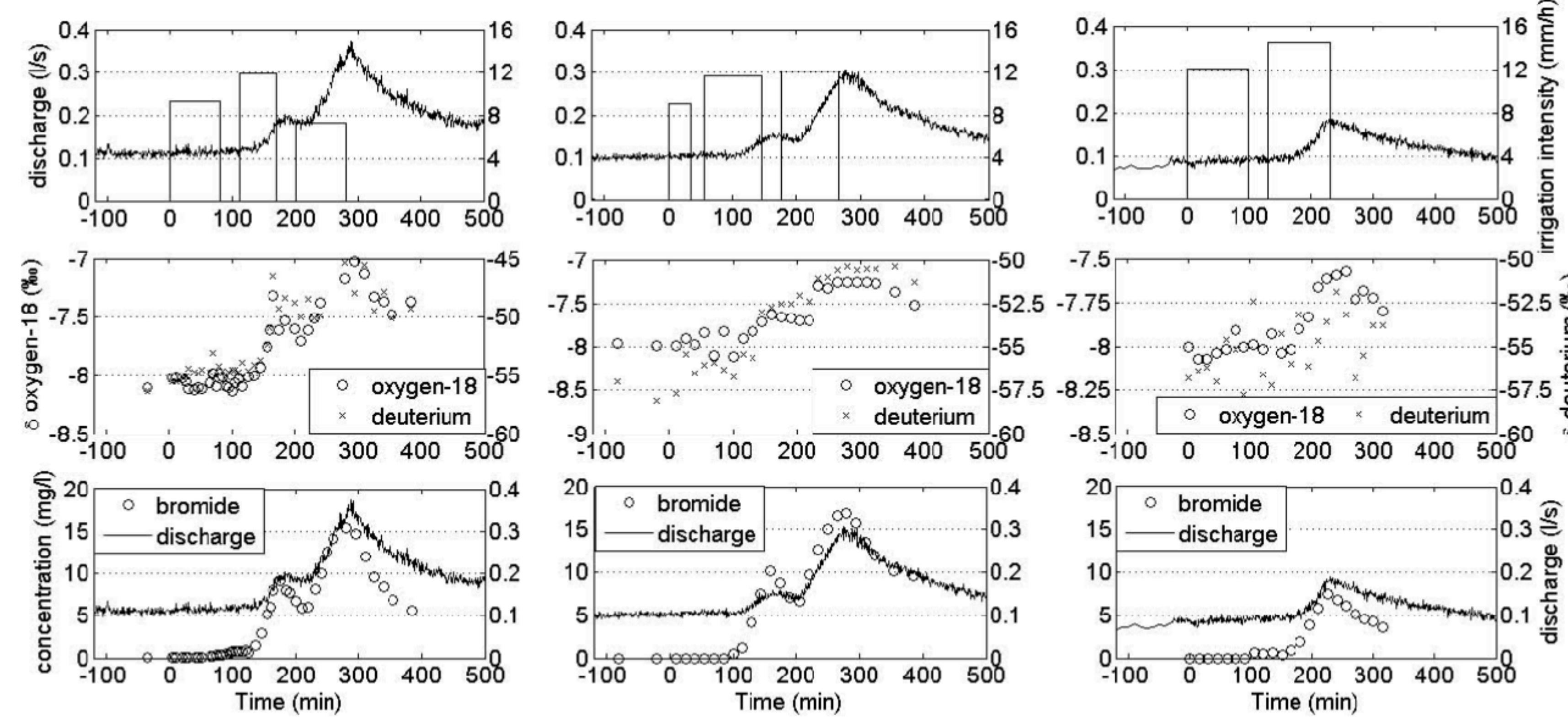
und wie man damit umgehen kann



- Unsicherheiten werden grundsätzlich mitgedacht
- Parameter, mit denen die Modelle innerhalb der Unsicherheiten bleiben sind akzeptabel

Equifinalität

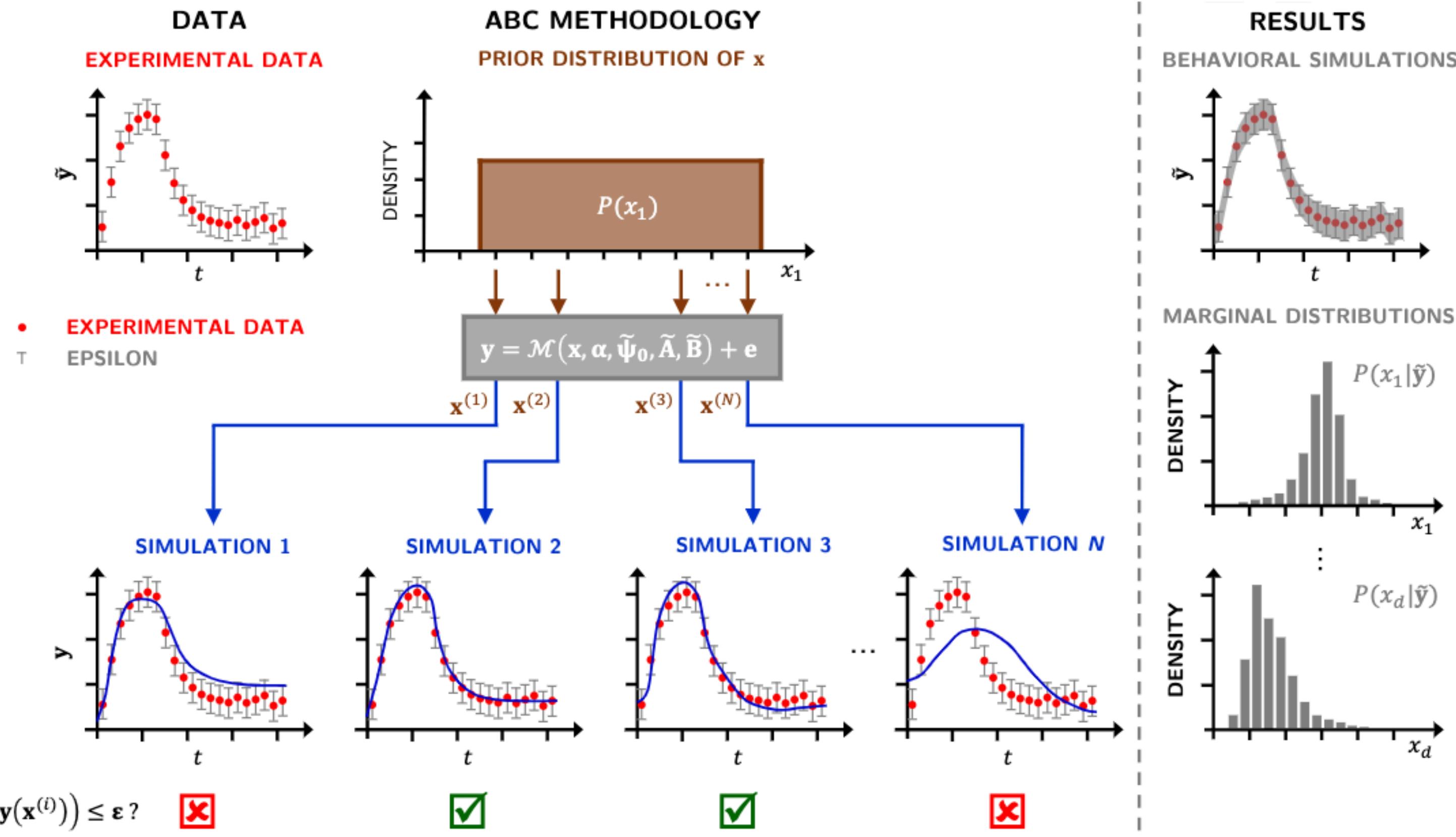
und wie man damit umgehen kann



- Unsicherheiten werden grundsätzlich mitgedacht
- Parameter, mit denen die Modelle innerhalb der Unsicherheiten bleiben sind akzeptabel
- Dann werden weitere Kriterien gebraucht, um das “richtige” Set zu finden

Equifinality

und wie man damit umgehen kann

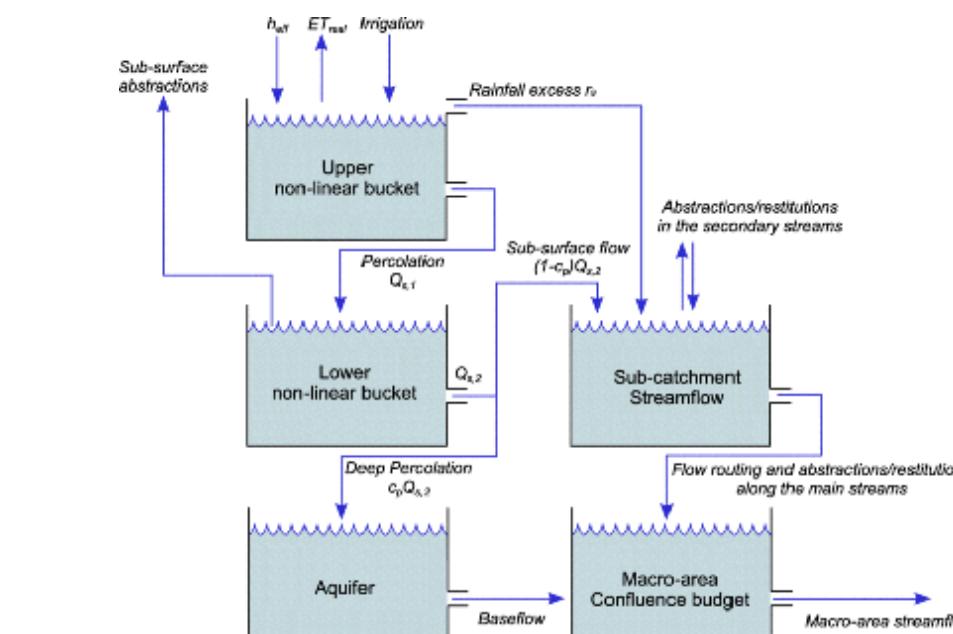
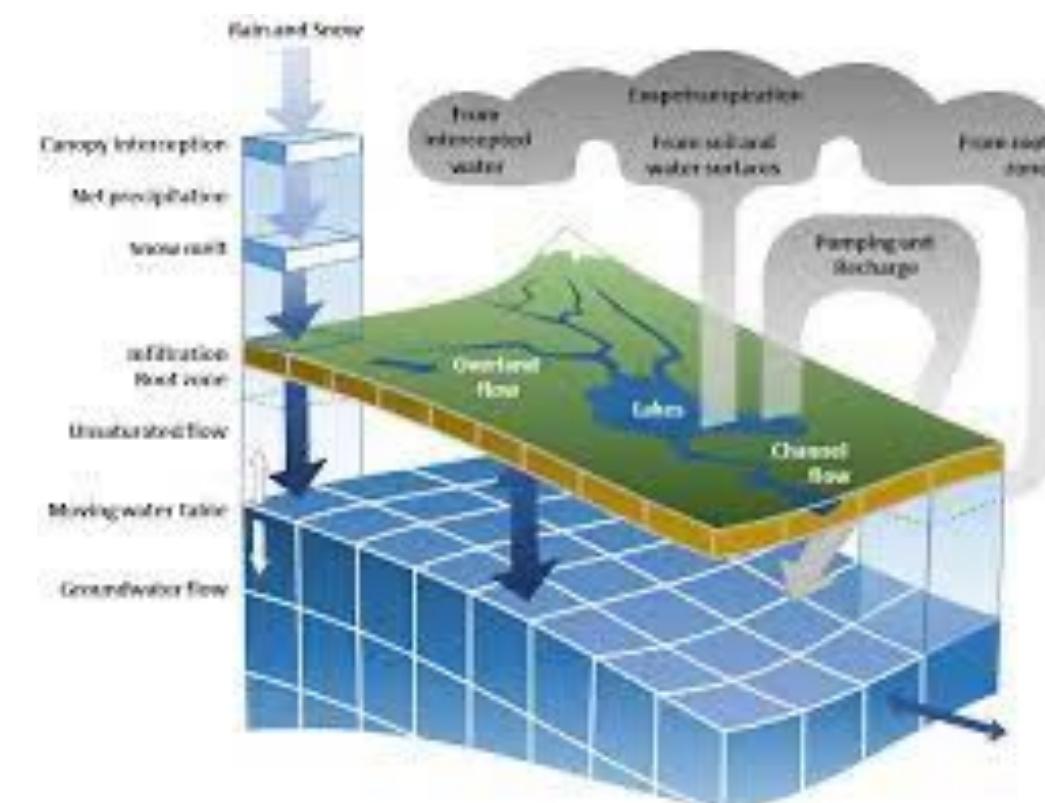


- Unsicherheiten werden grundsätzlich mitgedacht
- Parameter, mit denen die Modelle innerhalb der Unsicherheiten bleiben sind akzeptabel
- Es bleibt aber immer unsicher und equifinal...

9

Ziel der heutigen Vorlesung

Erste hydrologische Modelle kennen lernen und deren Eigenschaften verstehen



[Routing to macro-area node is performed using GIUH]
 [Baseflow is transferred to macro-area node using a linear bucket model]

Ziele:

- All models are wrong – but some are useful
(after George Box)
- Schritte der Modellentwicklung verstehen
- Konzepte für Rainfall-Runoff-Models kennen und ihre Verknüpfungen verstehen
- Kalibrierung und Equifinalität verstehen