Besondere Herausforderungen der Modellkopplung und der integrativen, interdisziplinären Bearbeitung wasserbezogener Fragestellungen auf der regionalen Skala

Roland Barthel,

Jungwissenschaftlergruppe Grundwasserhydraulik und Grundwasserwirtschaft, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

Begriffs-Definitionen und Einschränkungen

- **Großskalig**: flusseinzugsgebietsweit, Flußgebiet hier 10^4-$10^{5(6)}$ km^2, Neckar, Rhein …
- **System**: „Hauptkomponenten“ des hydrologischen Kreislaufs, z.B. „das Grundwasser-System“, „die ungesättigte Zone“.
- **Modell**: übergeordnet - sowohl das Modellkonzept (MODFLOW, HBV …) als auch das konkrete Modell (z.B. MODFLOW-Modell Ammer)
- **Grundwassermodell**: Modell, das die Strömung in der gesättigten Zone, dreidimensional räumlich differenziert, transient beschreibt und als Ergebnis eine Verteilung der Grundwasserstände in allen beteiligten Aquiferen liefert.
- „**Hydrologisches Modell“**: Modell, dass sich in irgendeiner Form mit der Abflussbildung, der ungesättigten Zone befasst und als Ergebnis einen Abfluss am Pegel und eine Grundwasserneubildung liefern kann.
- **Kopplung**: Kopplung bestehender Modelle und Modellkonzepte, weniger Kopplung von (Prozess-) Gleichungen

Herausforderungen - Problemfelder: Allgemein (Auswahl)

- Spezifische Probleme der großen Skala
  - Datenverfügbarkeit (häufig unzureichend) und Datenmenge (teilweise überwältigend)
  - Fehlendes (skalenbezogenes) Prozessverständnis und Möglichkeiten der Prozessbeschreibung
  - Skalierungsprobleme - nicht gelöste effektive Parametrisierung physikalisch basierter Modelle
  - Diskretisierung nicht beliebig fein wählbar: Modellkonzeption <> Realität
- Spezifische Probleme der Kopplung von (bestehenden) Modell(en)/-konzepten
  - Bestehende Modelle sind kontextbezogene (anwendungs- und skalenspezifische) Entwicklungen
  - Bestehende Modelle fokussieren auf Teilsysteme des Wasserkreislaufs - bei ihrer Kopplung entstehen Lücken und Überlappungen. Diese schaffen Inkonsistenzen
  - Bestehende Modelle unterschiedlicher Teilsysteme verfolgen unterschiedliche Kalibrierungsstrategien, die schwer vereinbar sind
  - Unterschiedlich große Modelldomänen (z.B.: Hydrologische Modelle: Einzugsgebiet, Grundwassermodell: <> oberird. Einzugsgebiet)
  - Unterschiedliche relevante Raum- und Zeitskalen der dominanten Prozesse
- Spezifische Probleme der Kopplung auf der großen Skala
  - Rechenleistung unzureichend für gekoppelte Kalibrierung, Sensitivitätsanalyse und Plausibilitätsprüfungen, Quantifizierung der Unsicherheit, Darstellung rückgekoppelter Prozesse und angemessene Diskretisierung

Beispiel: Kopplung im System Gesättigte - Ungesättigte Zone

= Kopplung von Grundwassermodellen mit „hydrologischen“ Modellen

Modell-Kopplung auf der großen Skala - Warum überhaupt koppeln?

Für konzeptionelle und physikalisch basierte Modelle des Wasserkreislaufs gilt gleichermaßen:

Je **größer das betrachtete Gebiet** und

je **länger der betrachtete Zeitraum**, desto

größer die **„Wahrscheinlichkeit“**, dass

- unterschiedlichste Naturräume (auch z.B. Gebirge) im Gebiet vereint sind sind
- die betrachteten Prozesse über (mehrere) **Systemgrenzen** hinweg greifen,
- die einzelnen Systeme selbst einen **Komplexitätsgrad** erreichen, der eine individuelle **differenzierte Betrachtung** aller beteiligten Systeme erfordert
- Diskontinuierliche oder extrem langsame **Speicherphänomene** auftreten, die explizit zu betrachten sind (i.w. im Grundwasser)

weswegen die (komplexen) Interaktionen zwischen den Systemen nicht ignoriert werden dürfen

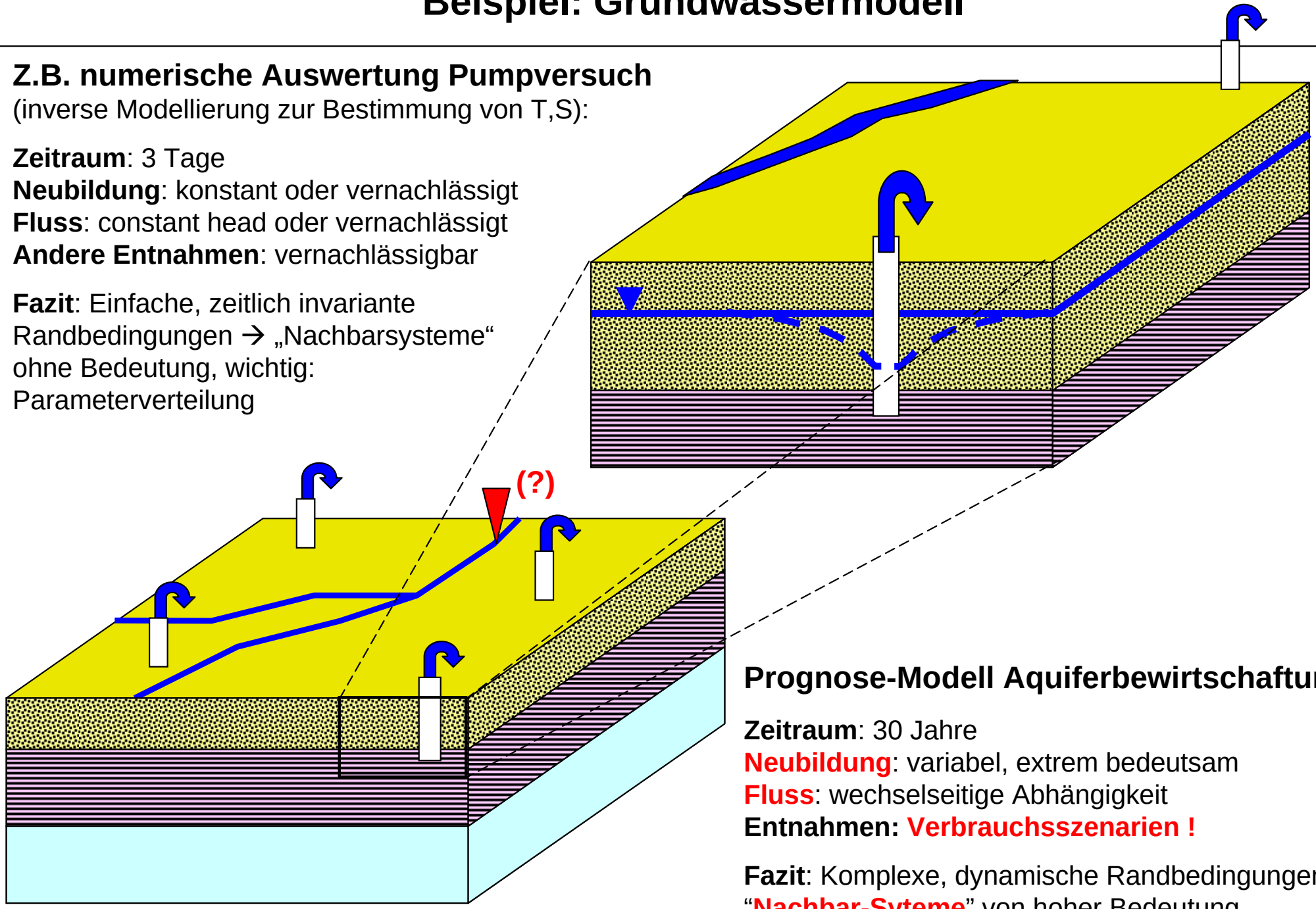
Beispiel: Grundwassermodell

Z.B. numerische Auswertung Pumpversuch

(inverse Modellierung zur Bestimmung von T,S):

Zeitraum: 3 Tage
Neubildung: konstant oder vernachlässigt
Fluss: constant head oder vernachlässigt
Andere Entnahmen: vernachlässigbar

Fazit: Einfache, zeitlich invariante Randbedingungen → „Nachbarsysteme“ ohne Bedeutung, wichtig: Parameterverteilung



Prognose-Modell Aquiferbewirtschaftung

Zeitraum: 30 Jahre
Neubildung: variabel, extrem bedeutsam
Fluss: wechselseitige Abhängigkeit
Entnahmen: Verbrauchsszenarien !

Fazit: Komplexe, dynamische Randbedingungen → “**Nachbar-Syteme**” von hoher Bedeutung

Chancen und Möglichkeiten der Kopplung

- **Verbesserte Kalibrierungsmöglichkeiten**
  - z.B. gemessene Grundwasserstände zusätzlich zu gemessenen Abflüssen
- **Identifikation von konzeptionellen Modellfehlern**
  - z.B. Identifikation von Grundwasserzu- und -abströmen in das und aus dem Einzugsgebiet
  - z.B. nicht-reprozierbare Niedrigwasserabflüsse erklärbar als Folge von komplexen Speichereffekten im Grundwasser
- **Vollständigere Abbildung von Prozessketten:**
  - z.B. Plausibilitätskontrolle für Grundwasserneubildungsberechnung

- **In der Praxis:**
  - sind die o.g. Vorteile aufgrund der vielfachen Fehlerquellen und Probleme (noch) nicht nutzbar.

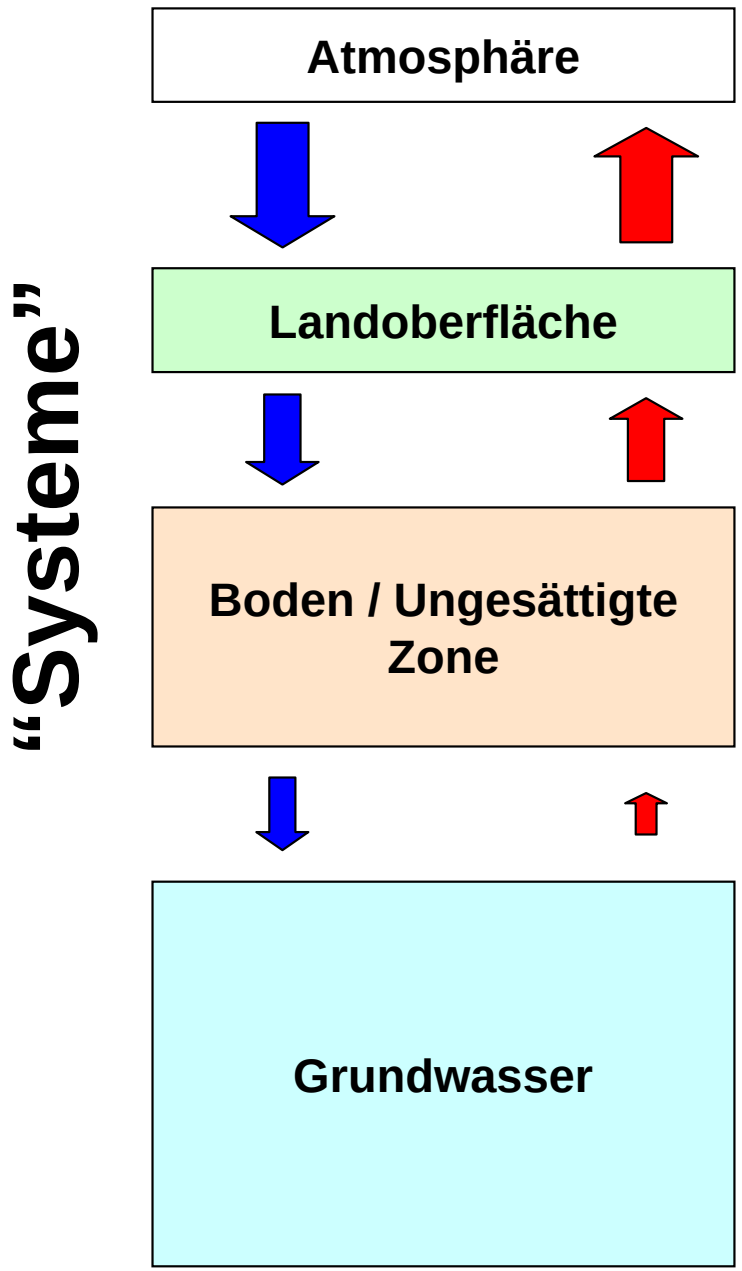
Konzeption einer Modell/System-Kopplung

Frage 1: Wie sind die Systeme voneinander abgegrenzt?

Frage 2: Welche Prozesse verbinden die Systeme?

Frage 3: Welche zeitlichen Abhängigkeiten bestehen (unterschiedliche Dynamik, Rückkopplungen …)

Frage 4: Welche (messbaren) Eingangs- und Ausgangssignale stehen als Randbedingungen und für die (gemeinsame) Kalibrierung zur Verfügung?



“Systeme”

“Prozesse”

Niederschlag

Evapotranspriation

Oberflächenabfluss

Infiltration

Zwischenabfluss

Perkolation

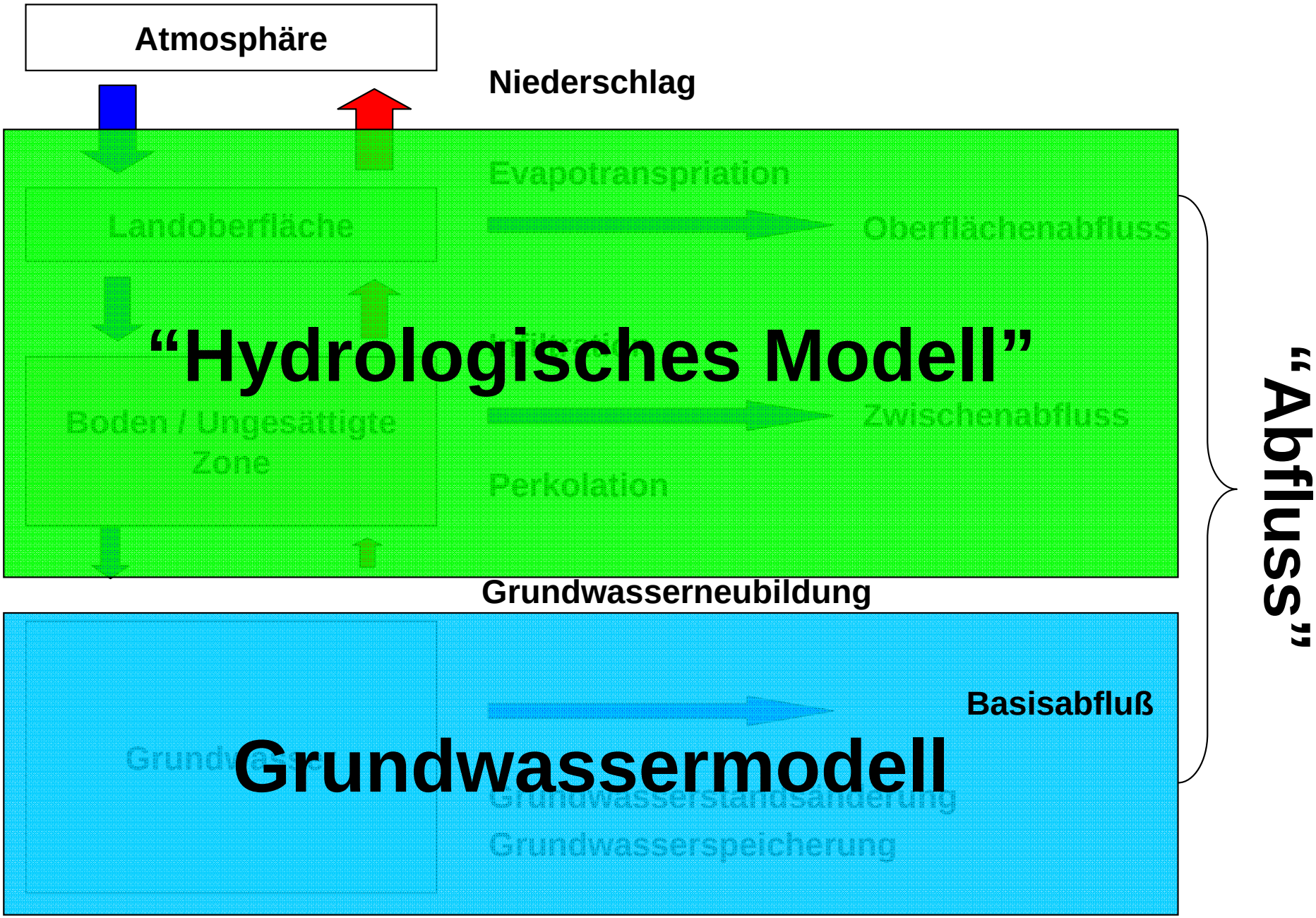
Grundwasserneubildung

Basisabfluß

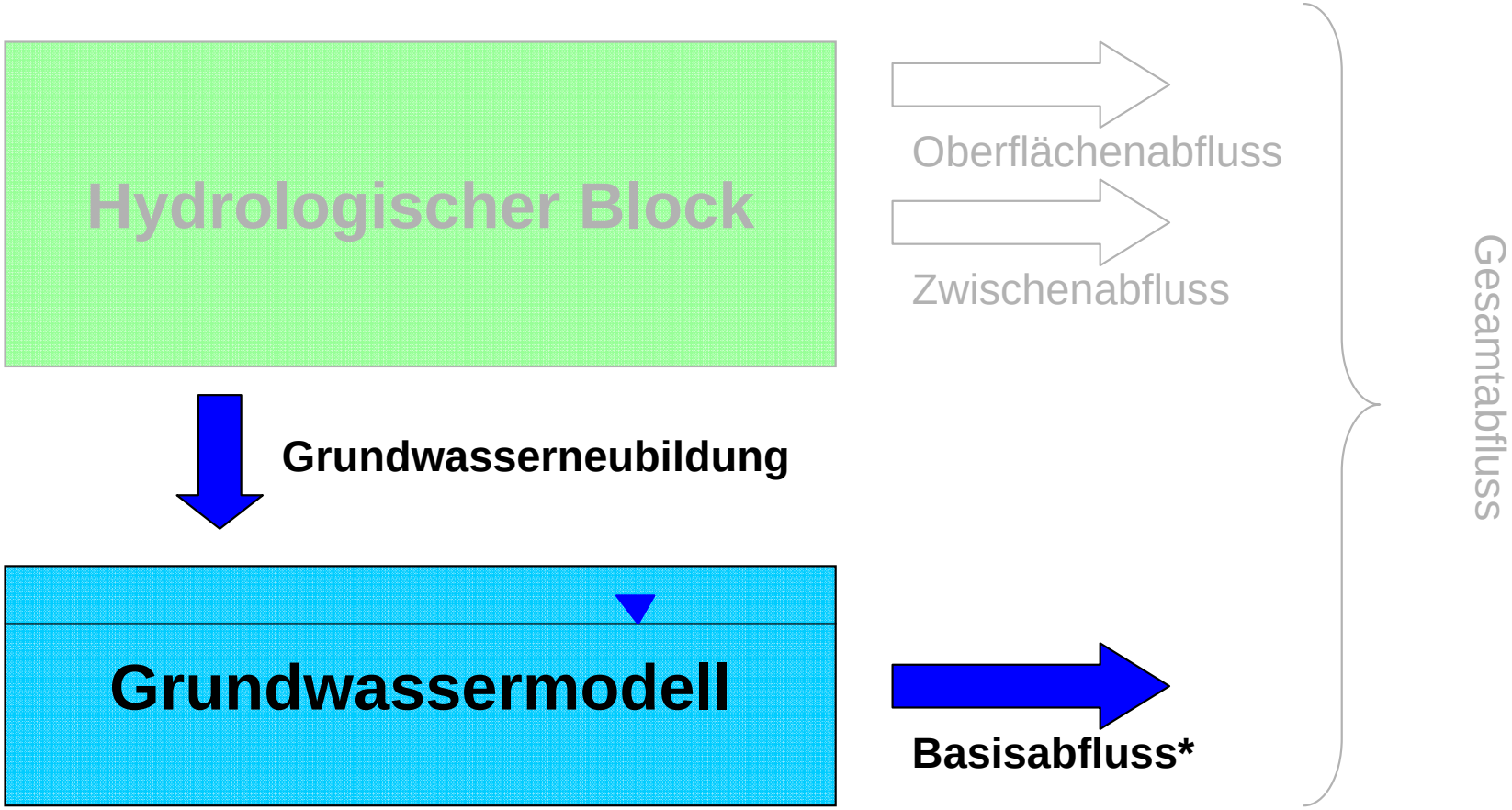
Grundwasserstandsänderung

Grundwasserspeicherung

“Abfluss”


Atmosphäre
Niederschlag
Evapotranspriation
Landoberfläche
Oberflächenabfluss
“Hydrologisches Modell”
Boden / Ungesättigte Zone
Zwischenabfluss
Perkolation
Grundwasserneubildung
Basisabfluß
Grundwassermodell
Grundwasserstandsänderung
Grundwasserspeicherung
“Abfluss”

Kopplung von Grundwassermodellen mit „hydrologischen“ Modellen



- Grundwasserneubildung und Basisabfluss:
  - weder direkt messbar
  - methodisch und konzeptionell nicht einwandfrei beschreibbar
  - **Skalen- und Kontext-spezifisch**

*** “grundwasserbürtiger Abfluss”**

Konzeption von Eingangs- und Ausgangsgrößen im Grundwassermodell

Ein Grundwassermodell benötigt scharf definierte Eingangs- und Ausgangsgrößen:

Allgemeine Definitionen (~ nach DIN 4049,Teil 3):

Grundwasserneubildung: „Zugang von infiltriertem Wasser **zum Grundwasser**“.

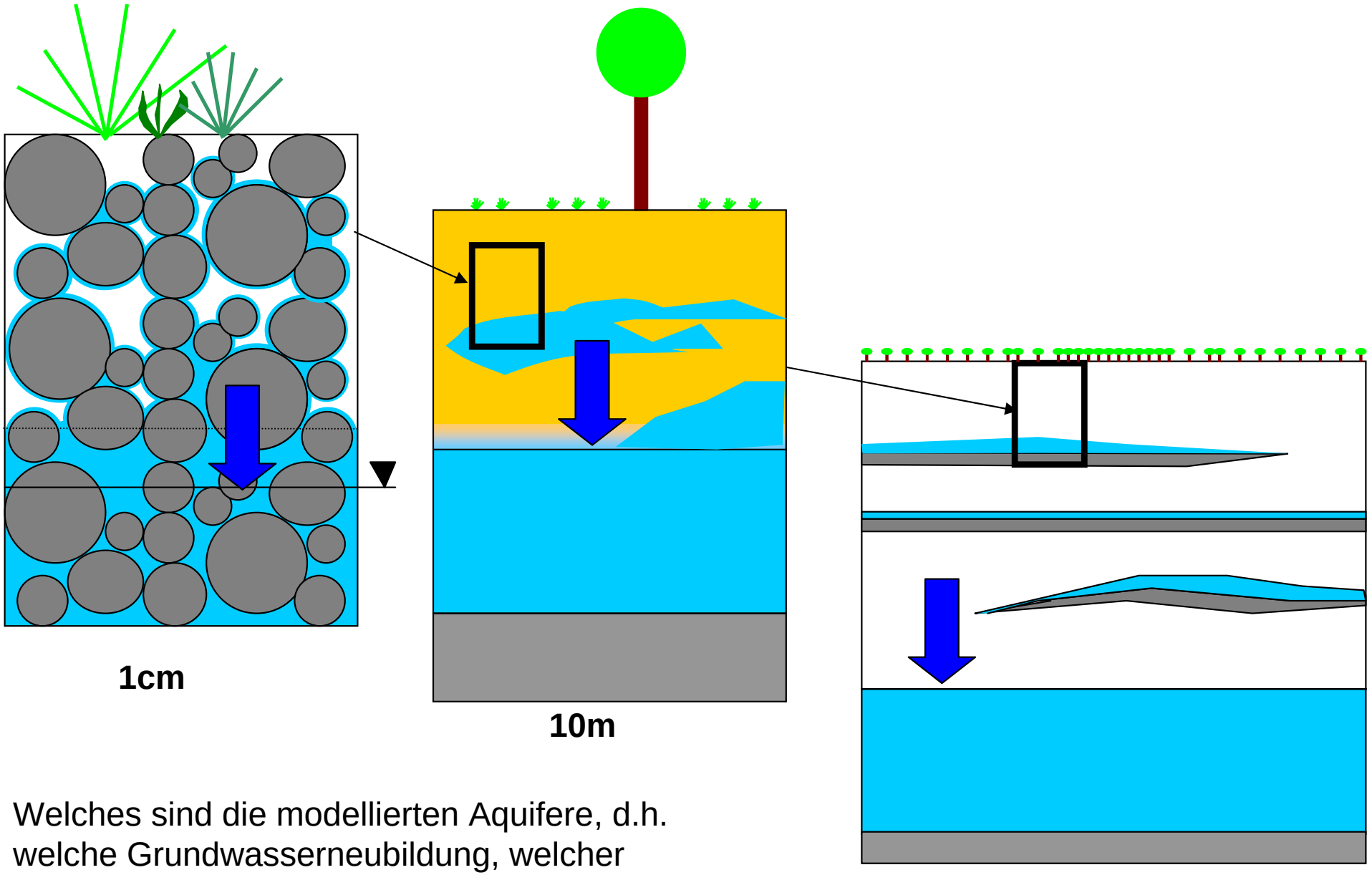
Grundwasserbürtiger Abfluss: Teil des **Basisabflusses**, der dem Vorfluter **aus dem Grundwasser** zugeflossen ist.

Spezifische Definitionen für ein spezifisches Grundwassermodell**:**

Grundwasserneubildung: „Zugang von **systemfremden Wasser** (das nicht aus den modellierten Grundwasserleitern selbst stammt) **zu den modellierten Grundwasserleitern**“

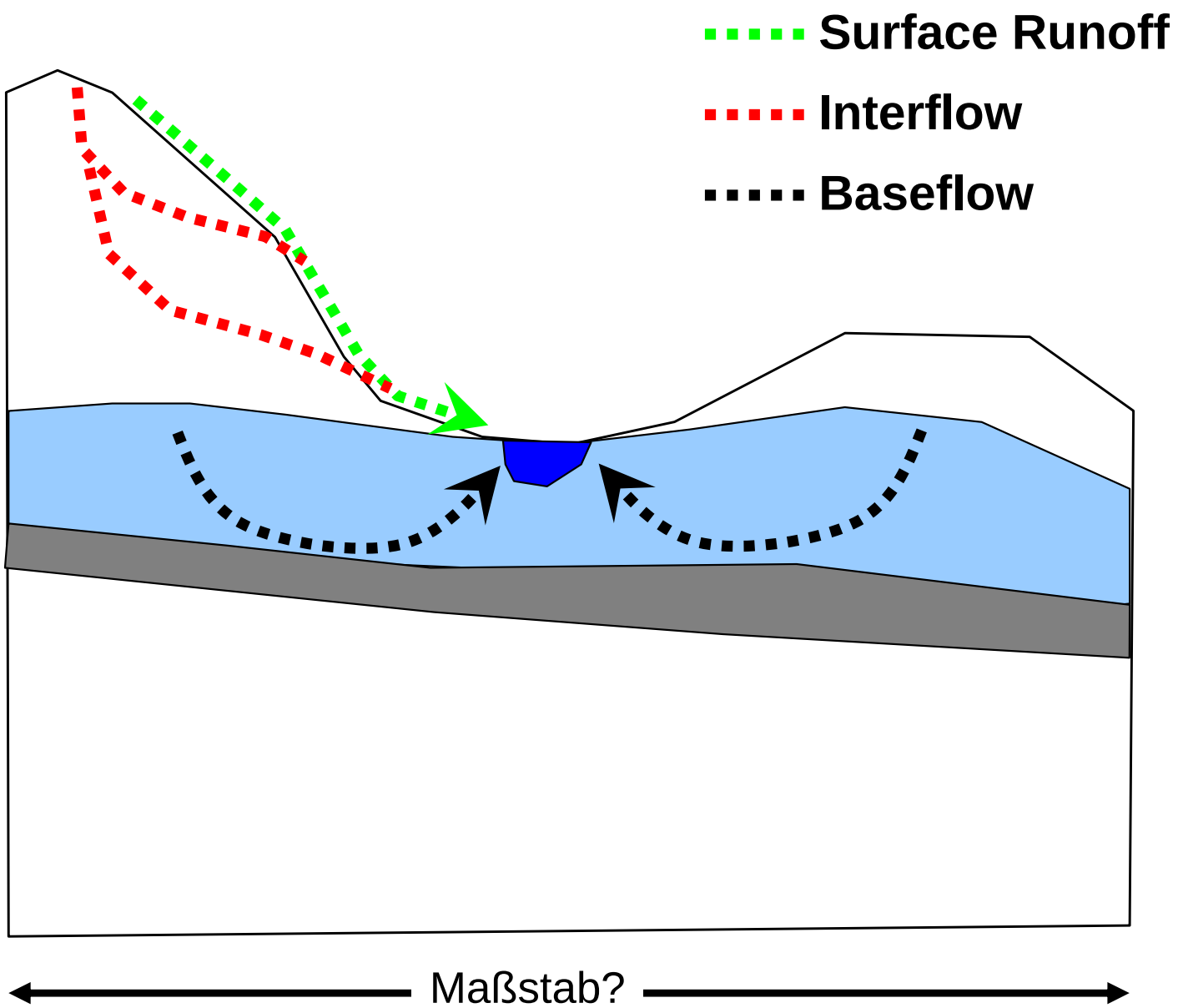
Grundwasserbürtigerabfluss / Basisabfluss: Abfluss von **systemeigenem Wasser** (aus den **modellierten Grundwasserleitern** stammend) in die in das Modell als Randbedingungen **integrierten Oberflächengewässer**

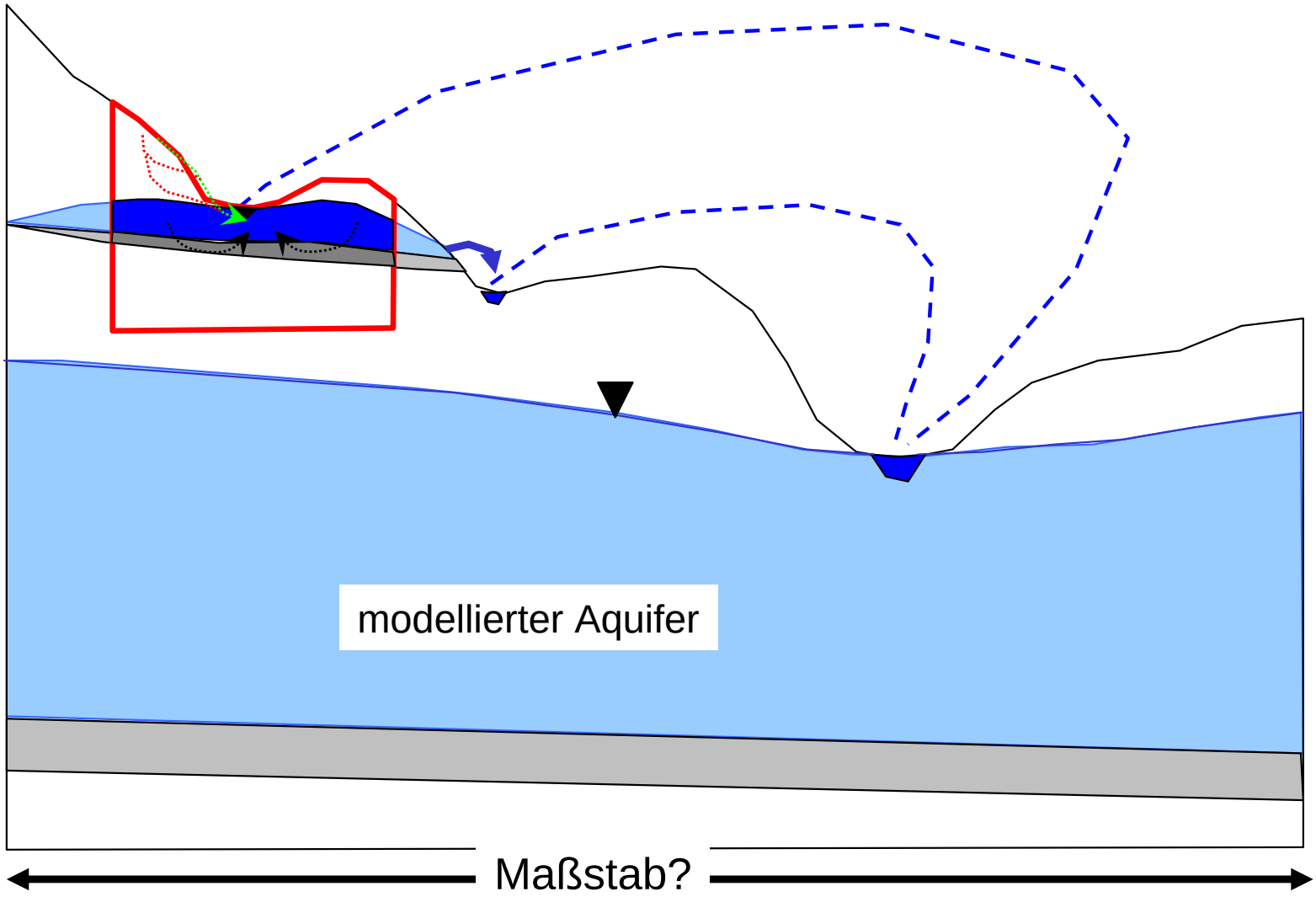
Systembeschreibung auf unterschiedlichen Skalen



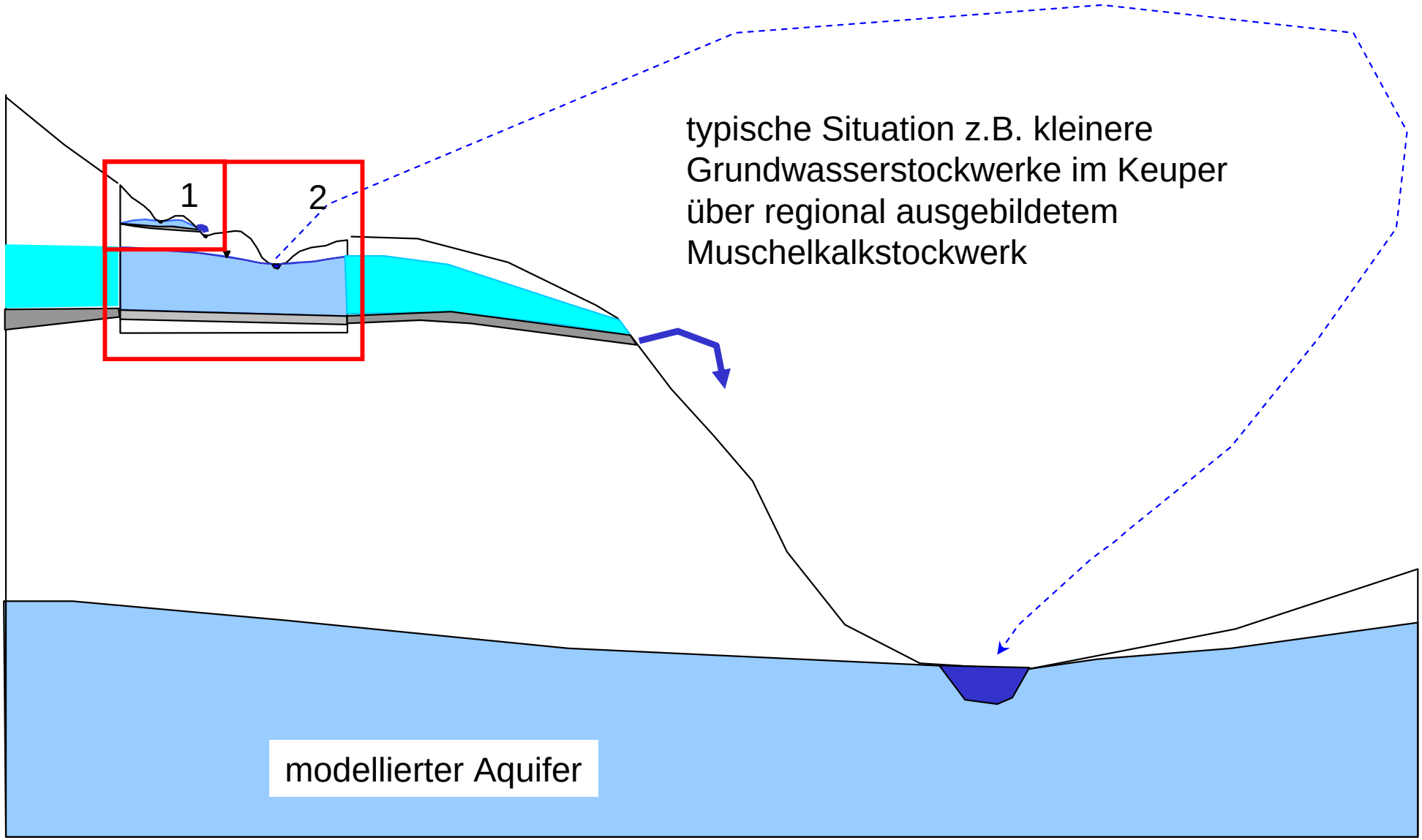
Welches sind die modellierten Aquifere, d.h. welche Grundwasserneubildung, welcher Basisabfluß ist eigentlich relevant?

Ablusskomponenten und –prozesse: „Basisabfluss“

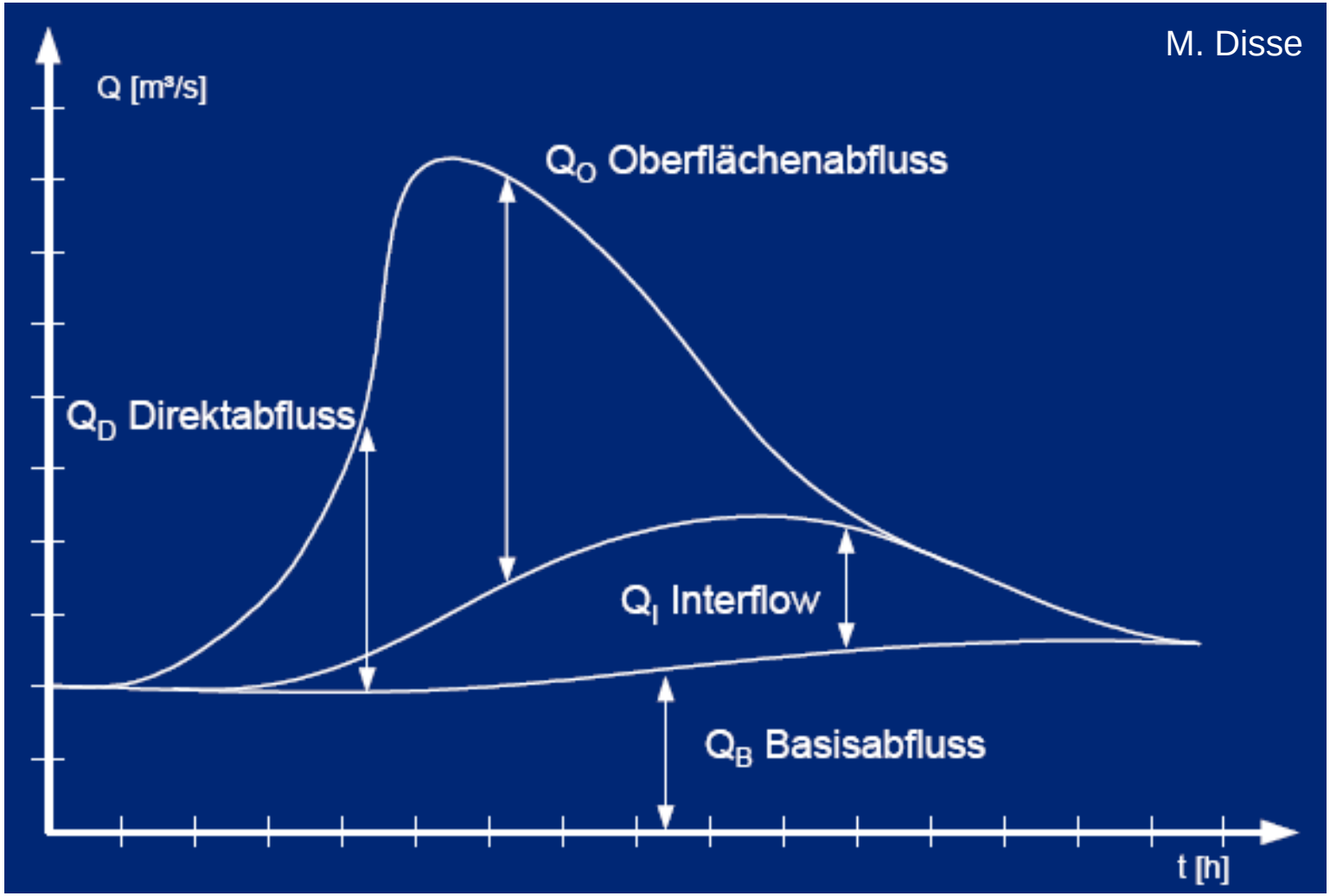



modellierter Aquifer
Maßstab?

Baseflow lokal –Interflow regional? Abhängig von Skala, Diskretisierung, Fragestellung etc.

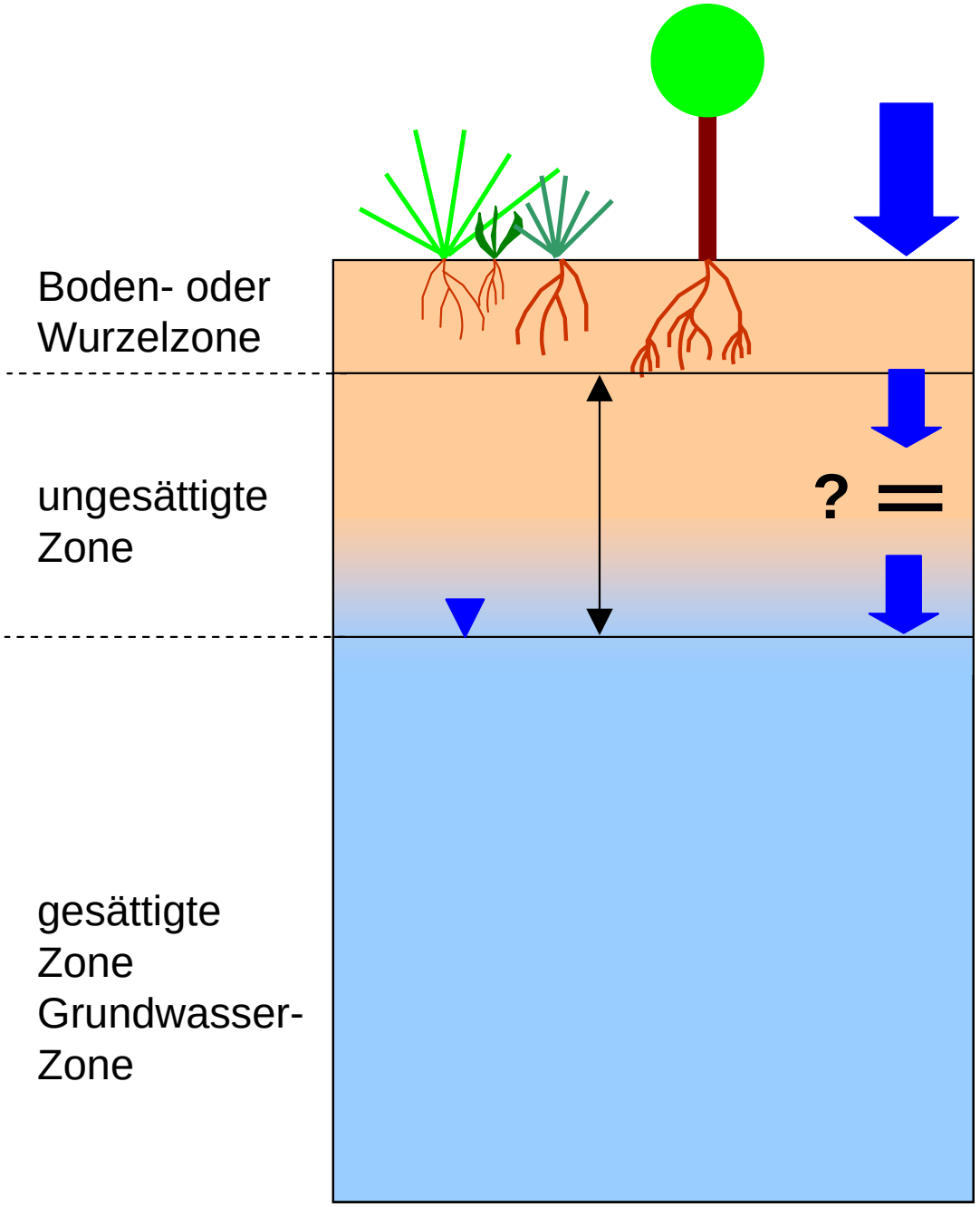


Kopplungsprobleme mit konzeptionellen hydrologischen Modellen



Problem: Der “Basisabfluss” in einem konzeptionellen hydrologischen Modell hat gar keine physikalische Interpretation mit der man ihm einem “Raum” im Modell zuordnen könnte!

Grundwasserneubildung: 1) Typische konzeptionelle Vorstellung



Niederschlag

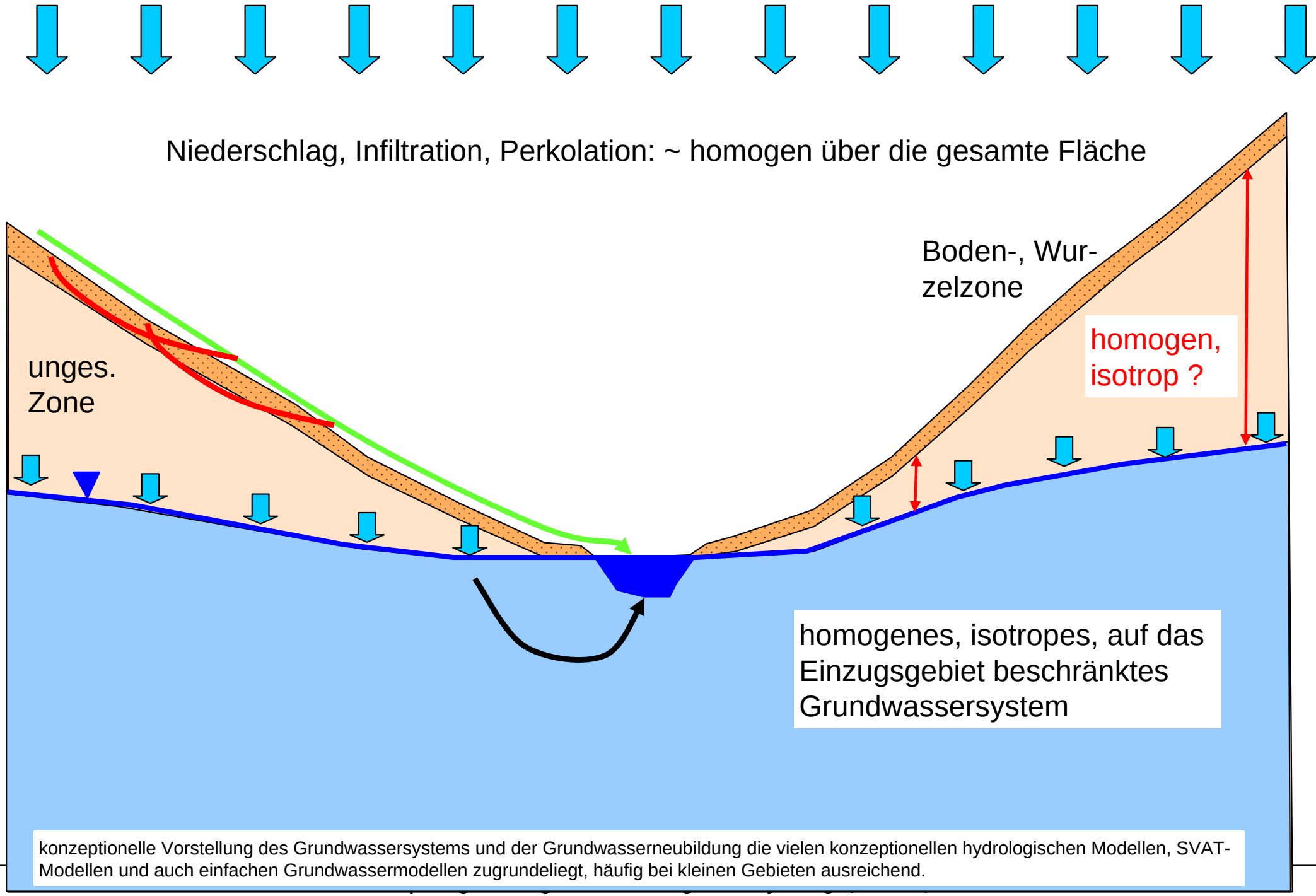
Infiltration: “Versickerung, Einsickerung”

Perkolation: Durchsickerung

Grundwasserneubildung für viele Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer (SVAT Modelle) bzw. physikalisch basierte Modelle für Böden und unges. Zone. (Lysimeter)

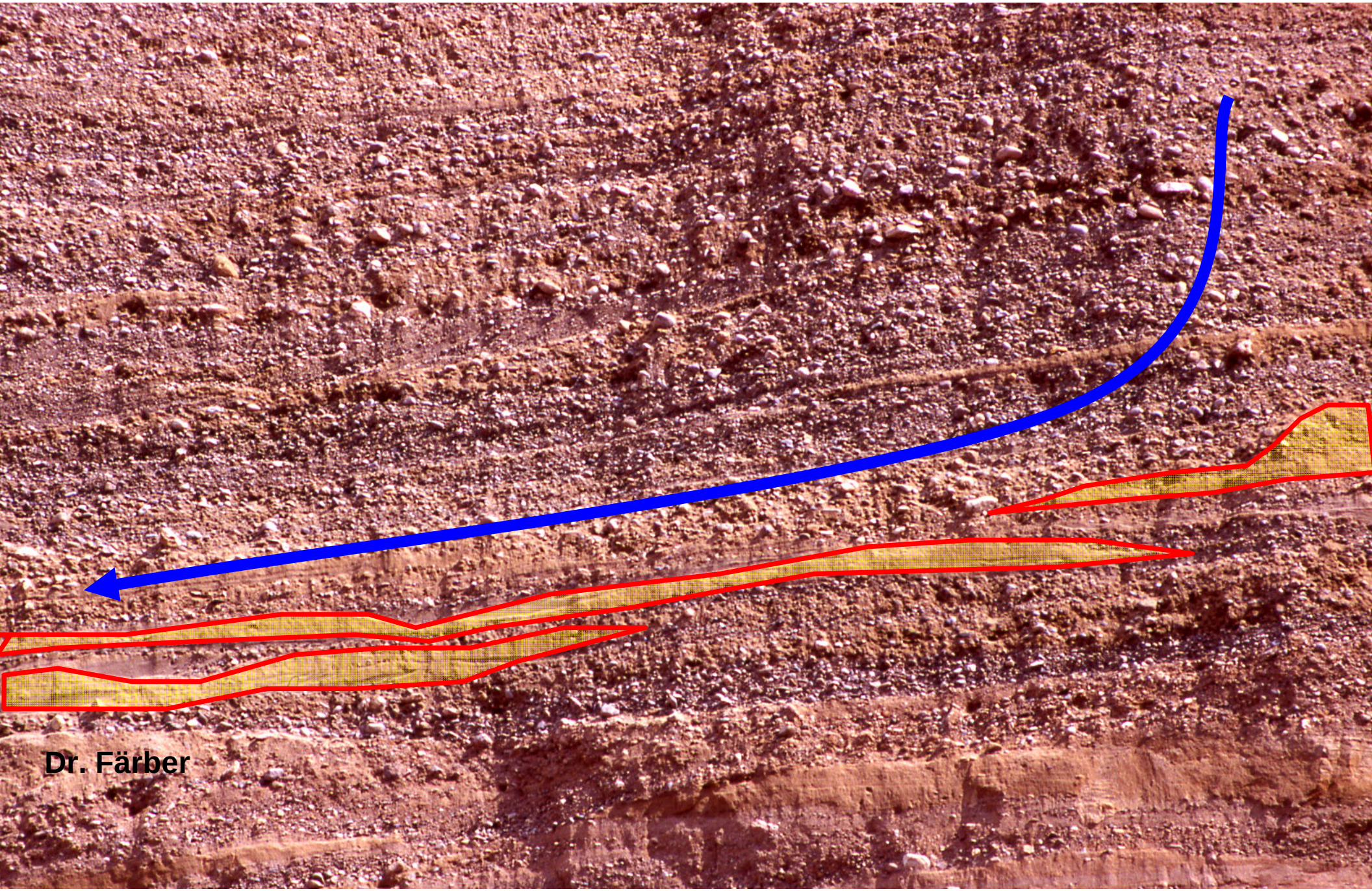
Grundwasserneubildung nach DIN 4049
relevante Grundwasserneubildung
für ein Grundwassermodell

Grundwasserneubildung: 1b) Konzeptionelle Realitätsannäherung



konzeptionelle Vorstellung des Grundwassersystems und der Grundwasserneubildung die vielen konzeptionellen hydrologischen Modellen, SVAT-Modellen und auch einfachen Grundwassermodellen zugrundeliegt, häufig bei kleinen Gebieten ausreichend.

Homogenität und Isotropie in natürlichen Systemen

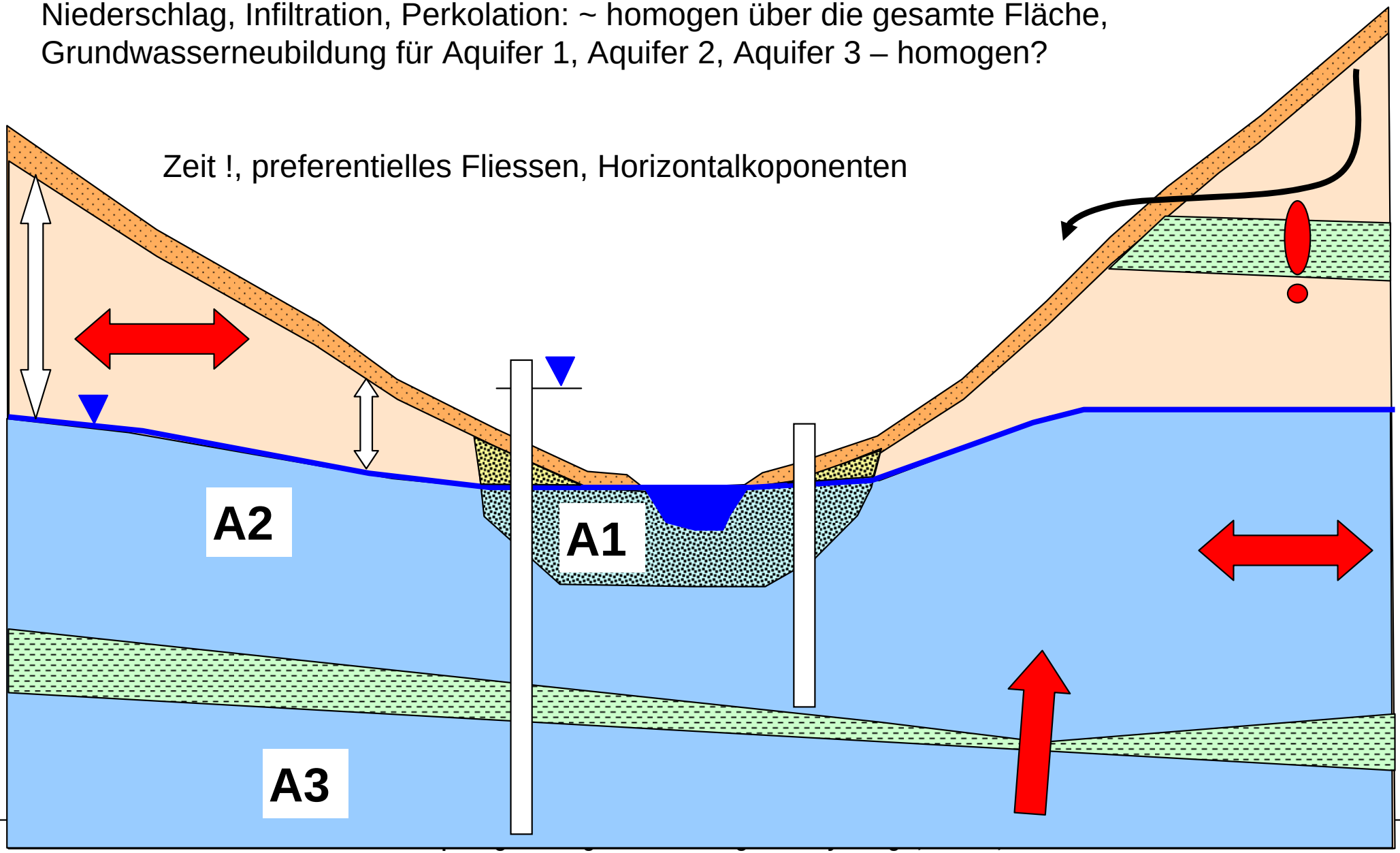


Homogenität und Isotropie in natürlichen Systemen

Grundwasserneubildung: 2) Realistische konzeptionelle Vorstellung

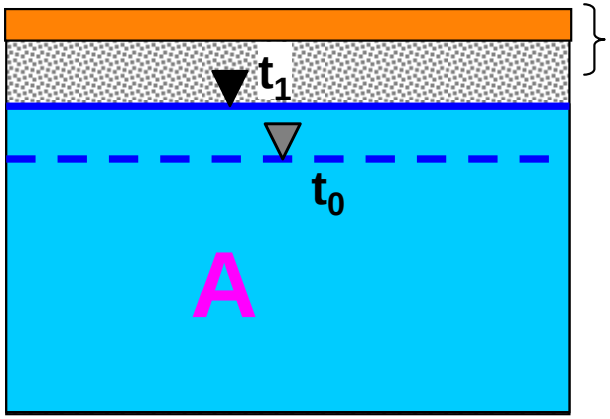
Niederschlag, Infiltration, Perkolation: ~ homogen über die gesamte Fläche,
Grundwasserneubildung für Aquifer 1, Aquifer 2, Aquifer 3 – homogen?

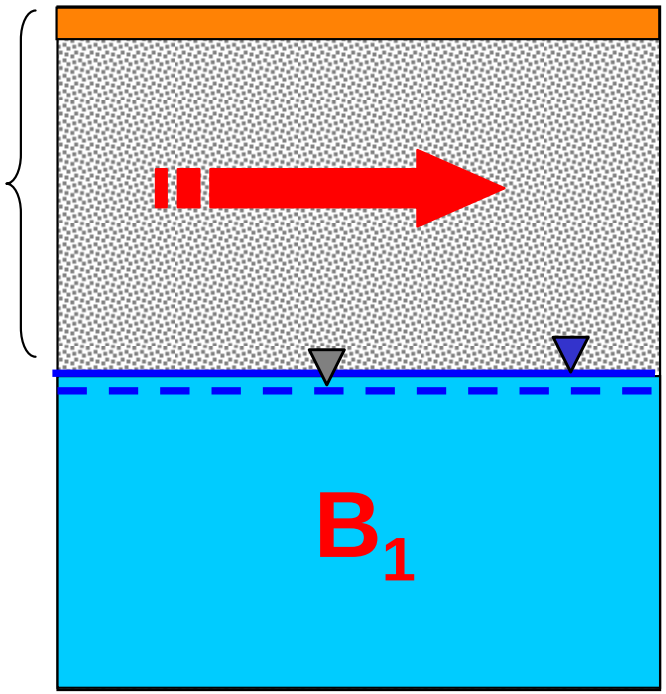
Zeit !, preferentielles Fliessen, Horizontalkoponenten

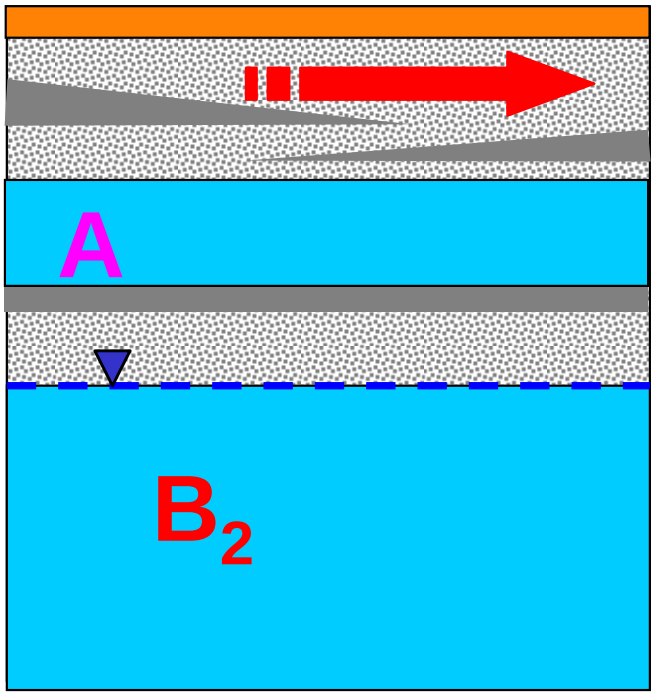


Bedeutung der tiefen ungesättigten Zone für die Grundwasserneubildung

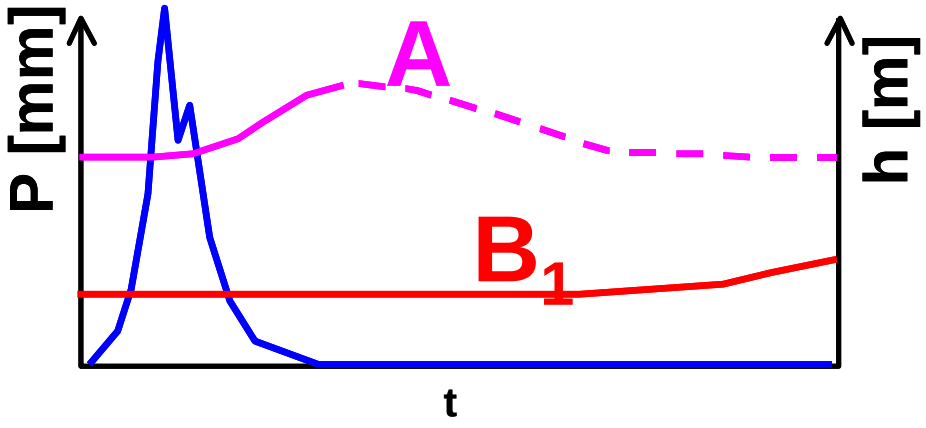
Flurabstand FA

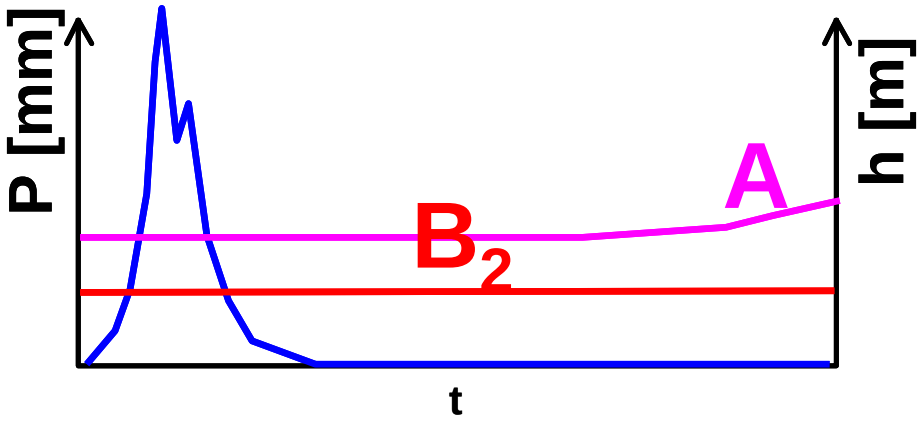






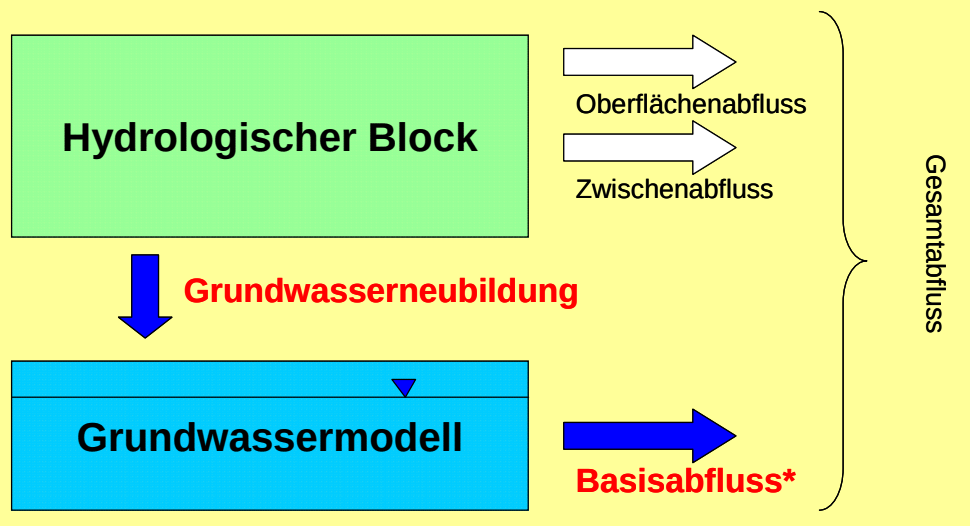
Zeitaspekte
Mengenaspekte!





Fazit: Kopplung Grundwasser - Hydrologische Modelle

- Physikalisch basierte **Bodenwasserhaushaltsmodelle** lassen meist außer acht, dass die **ungesättigte Zone** grundsätzlich, aber auch in Abhängigkeit von Skala, Diskretisierung und Fragestellung **sehr tief** reichen kann (bis zu km) und vernachlässigen häufig die dort **dominanten horizontalen Prozesse** (und **präferentielles Fliessen**)



- Konzeptionelle hydrologische Modelle beschreiben “Prozesse” die keine echte physikalische Entsprechung in der Natur haben und skalen-, diskretisierungs- und fragestellungsabhängig sind - was eine Grundwasserneubildungsbestimmung hier darstellt ist unklar
- Ein klassisches Grundwasserströmungsmodell ist nicht von sich aus in der Lage, aus einer konzeptionell nicht adäquaten Grundwasserneubildung angepassten Basisabfluss zu liefern
- Wir brauchen etwas neues in diesem Bereich ...!?

Zusammenfassung

- Großskalige Modellierung kommt ohne Kopplung nur dann aus, wenn bestimmte Fragestellungen ausgeklammert werden (Niedrigwasser..)
- Bisher sind keine Kopplungsschemata bekannt, die unabhängig von Skala, Fragestellung und gebietsspezifischen Eigenschaften dazu geeignet wären hydrologische und Grundwassermodelle sinnvoll miteinander zu koppeln
- Die Kopplung kann gelingen und bereichsweise „vernünftige“ Ergebnisse liefern, wobei, unabhängig von Gütemaßen, zu hinterfragen ist, für welchen Anwendungszweck diese Ergebnisse relevant sind

Deshalb

- **Speziell - im Hinblick auf die Kopplung Grundwassermodell - hydrologisches Modell:**
  - Sollte der Komplexität der **tieferen ungesättigten Zone**, dem „Sickerraum“, der Transferzone, deutlich mehr Beachtung geschenkt werden
- **Generell - im Hinblick auf die integrative Modellierung insgesamt:**
  - Müssen Begriffe, Systeme und Prozesse eindeutiger definiert und voneinander abgegrenzt und dabei die Abhängigkeit von der Betrachtungsskala und den Zielsetzungen berücksichtigt werden
  - Ist eine fundierte, gebietsspezifische, an den wesentlichen Fragestellungen orientierte Konzeptionierung bei Modellkopplungen noch viel wesentlicher als die ebenso notwendige fundierte Konzeptionierung der Einzelmodelle
  - Ist dabei eine an Skala und Zielsetzung orientierte angemessene **Modellauswahl** essentiell
  - Ist letztlich zu hinterfragen, ob die großskalige gekoppelte Modellierung nicht vielleicht völlig neue, integrative Modellkonzepte benötigt, die nicht auf bestehenden sektoralen Modellkonzepten basieren