
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 - $10^{5(6)}$ km², 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
- 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):

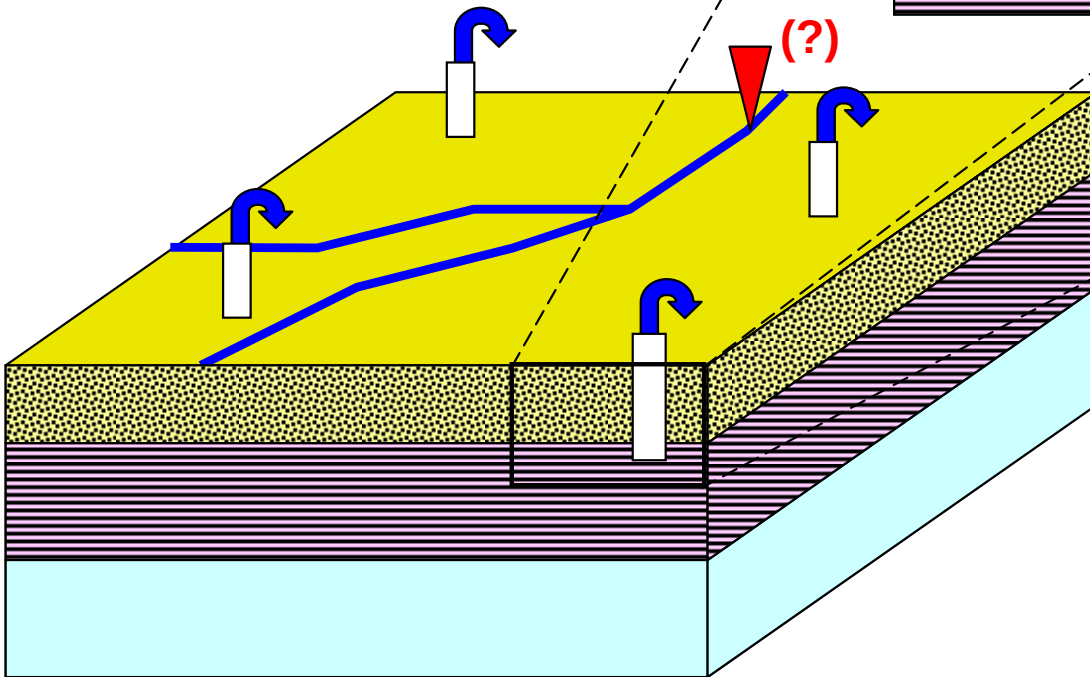
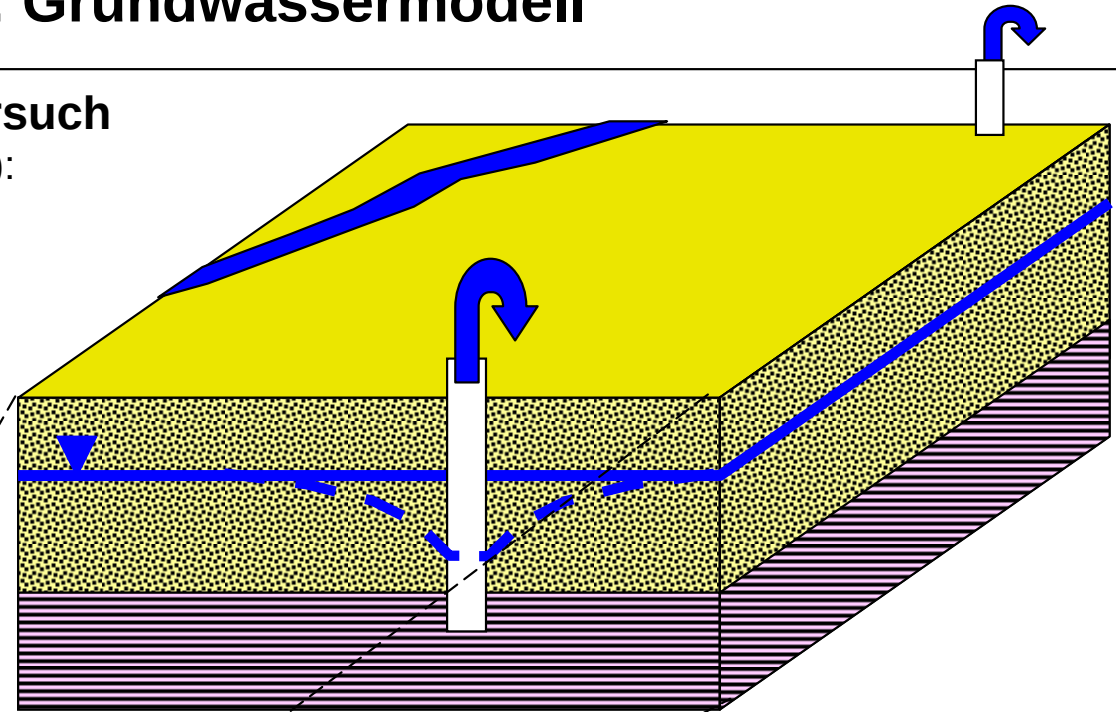
Zeitraum: 3 Tage

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-Systeme“** 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.

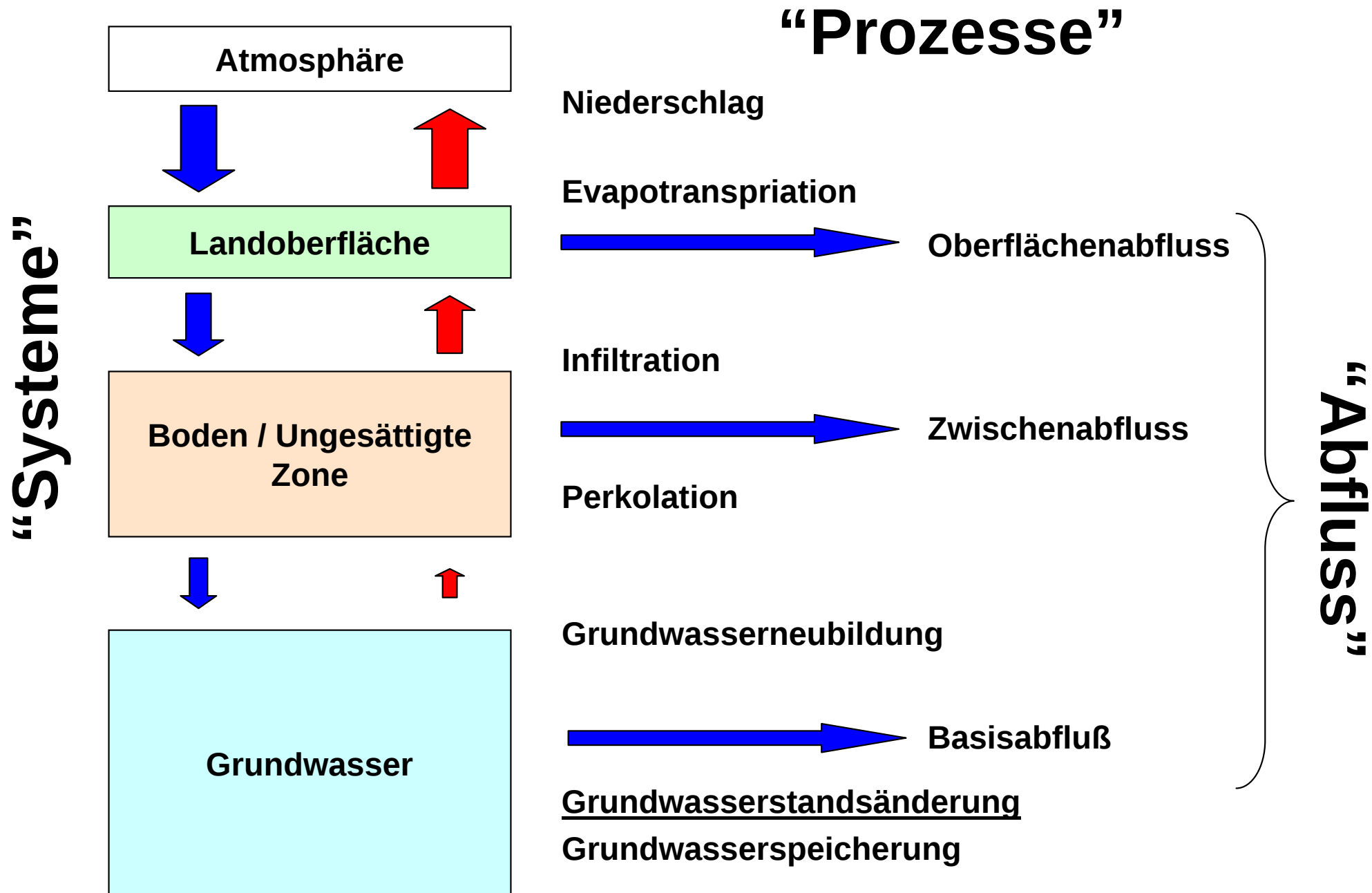
Konzeption einer Modell/System-Kopplung

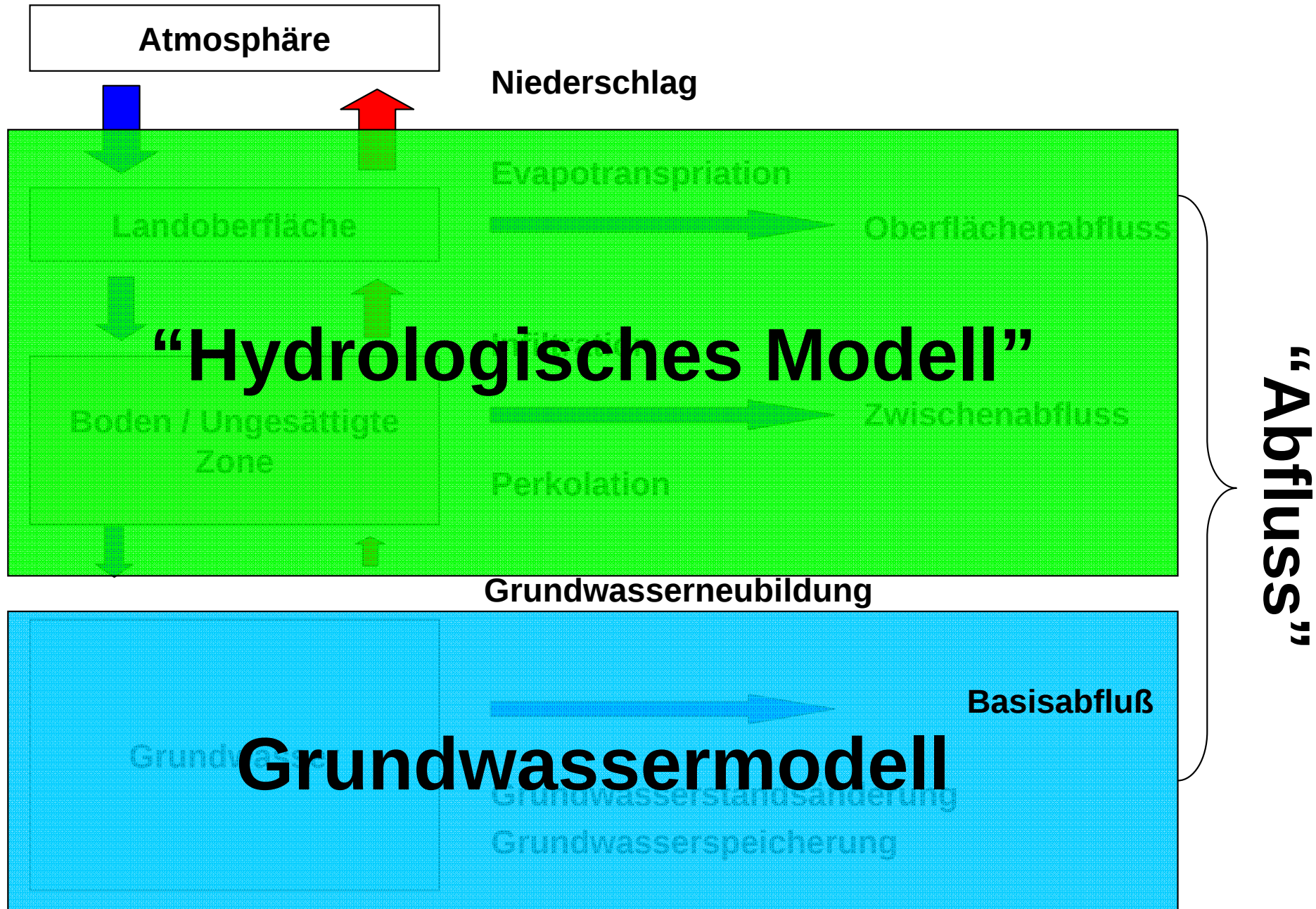
Frage 1: Wie sind die Systeme voneinander abgegrenzt?

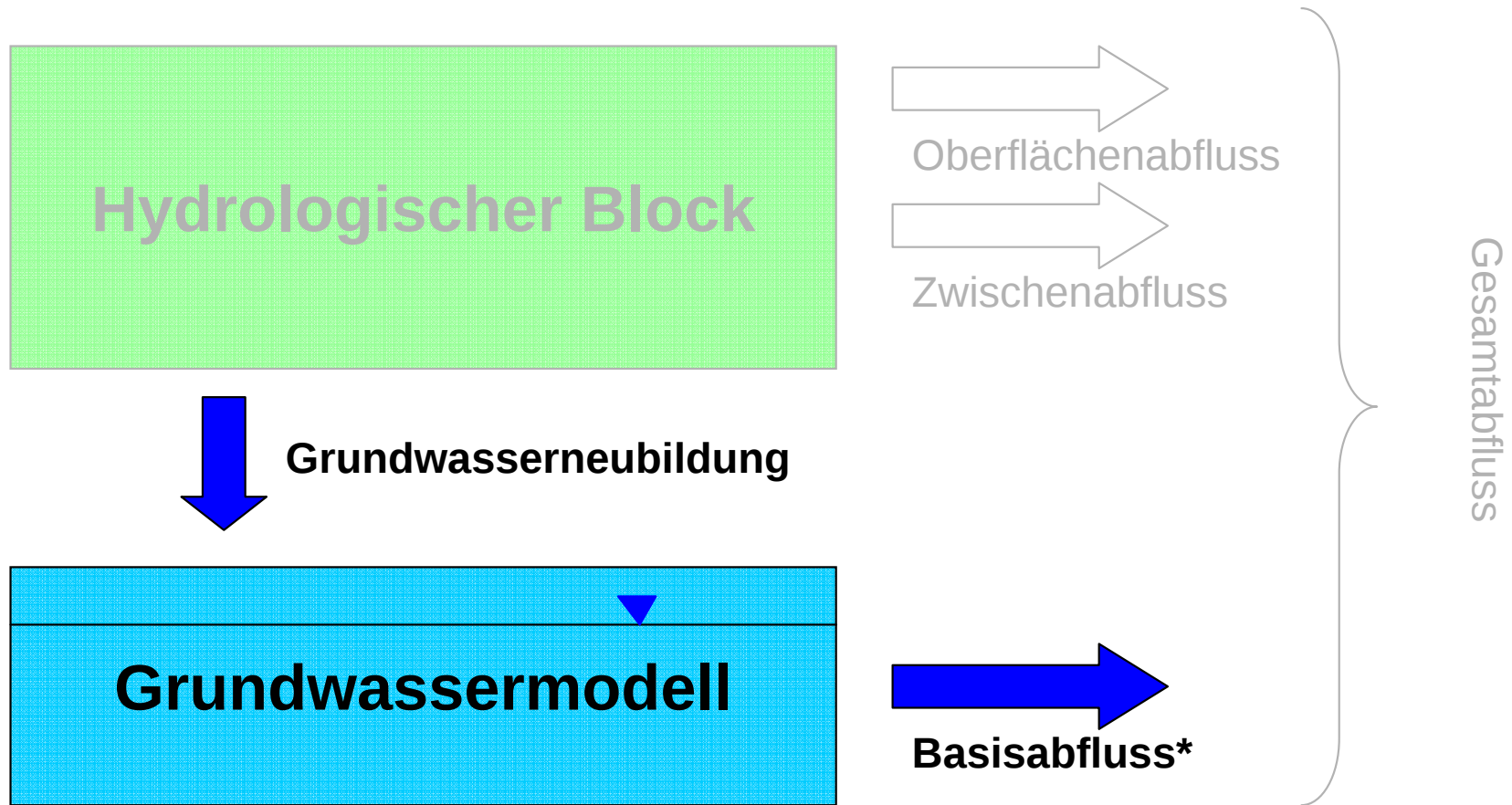
Frage 2: Welche Prozesse verbinden die Systeme?

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?







- 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**“.

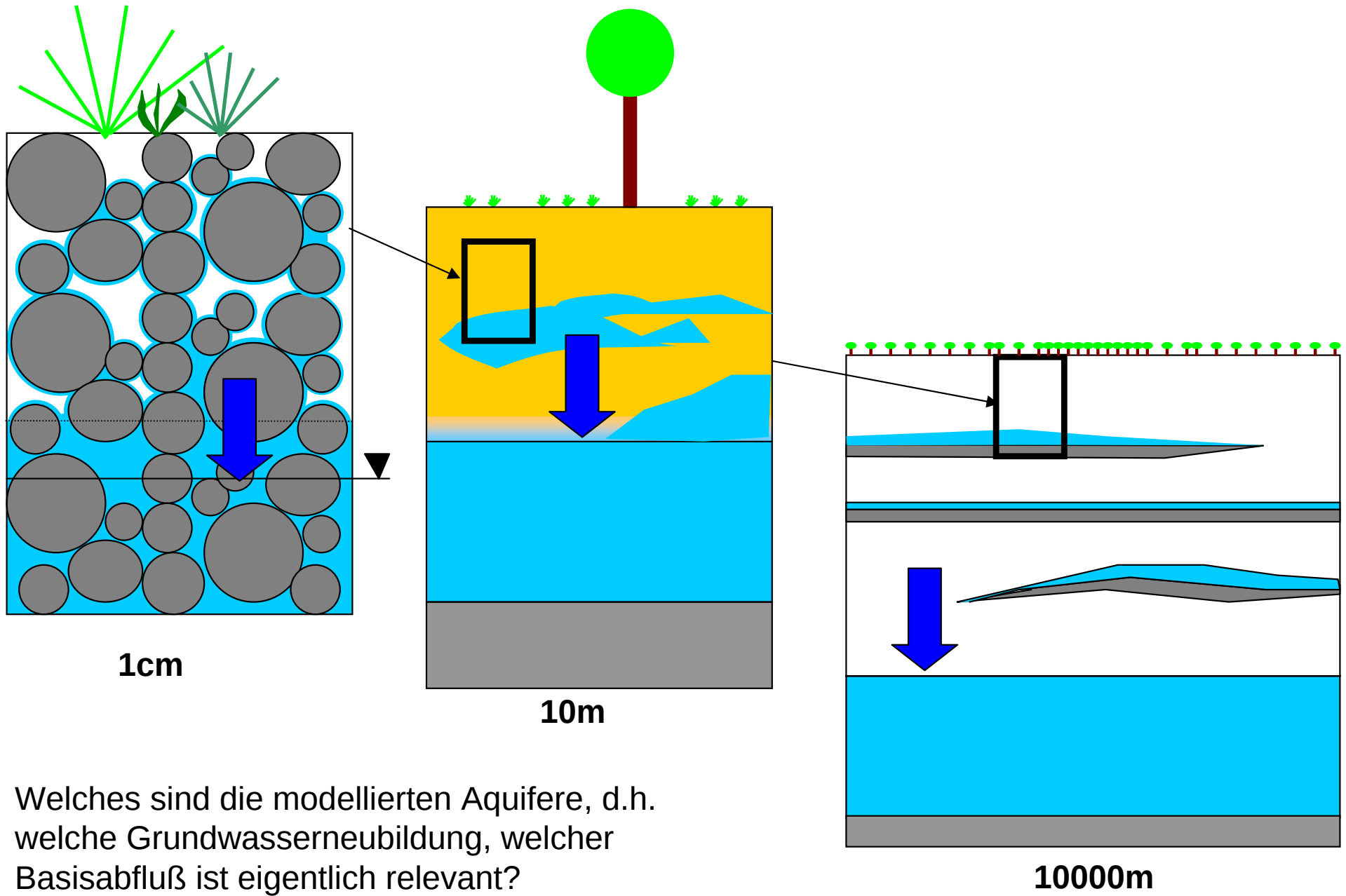
Grundwasserbürtiger Abfluss: Teil des **Basisabflusses**, der dem Vorfluter **aus dem Grundwasser** zugeflossen ist.

Spezifische Definitionen für ein spezifisches Grundwassermodell:

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

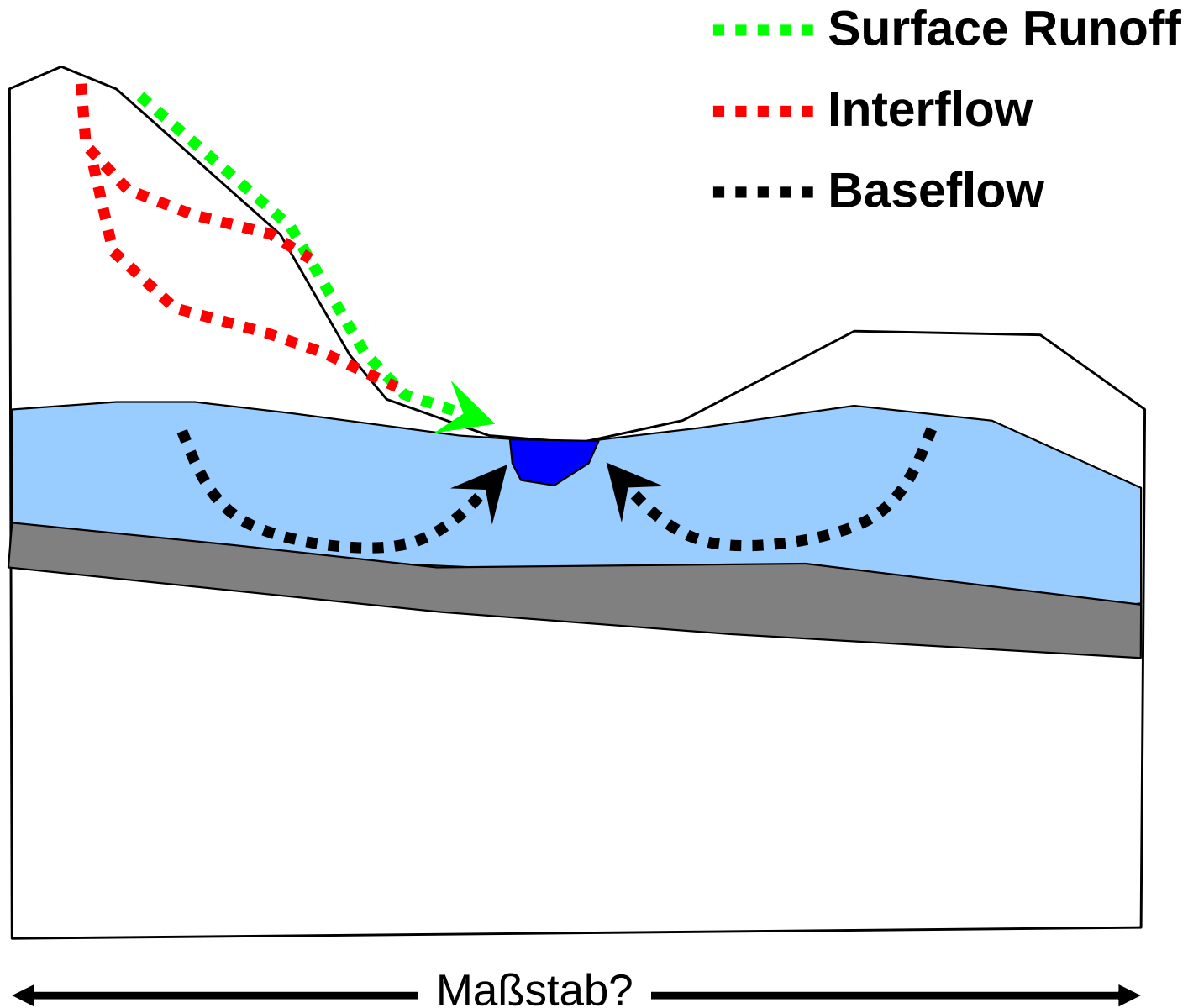
Grundwasserbürtigerabfluss / Basisabfluss: Abfluss von **systemeigenem Wasser** (aus den **modellierten Grundwasserleitern** stammend) in die in das Modell als Randbedingungen **integrierten Oberflächengewässer**

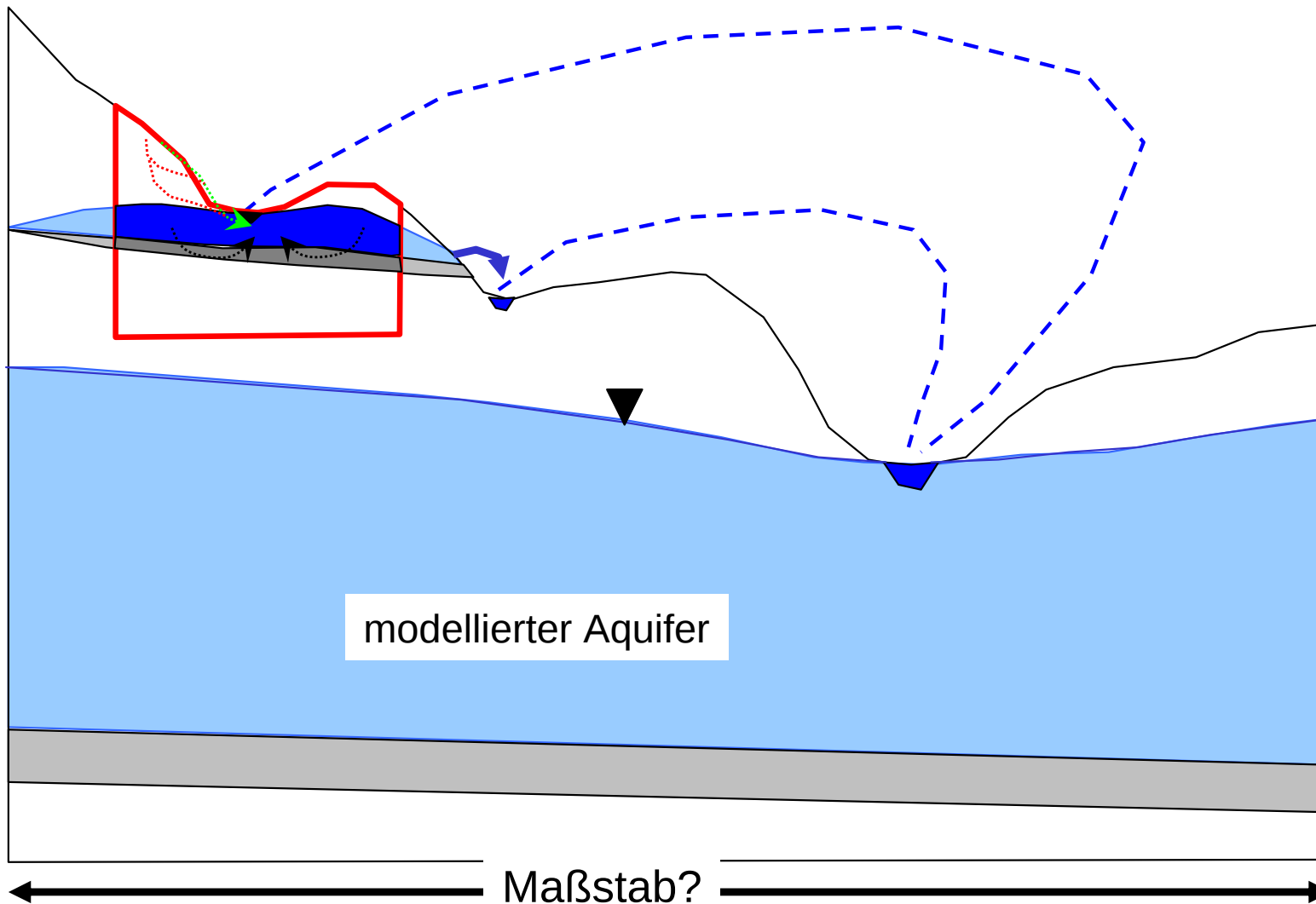
Systembeschreibung auf unterschiedlichen Skalen



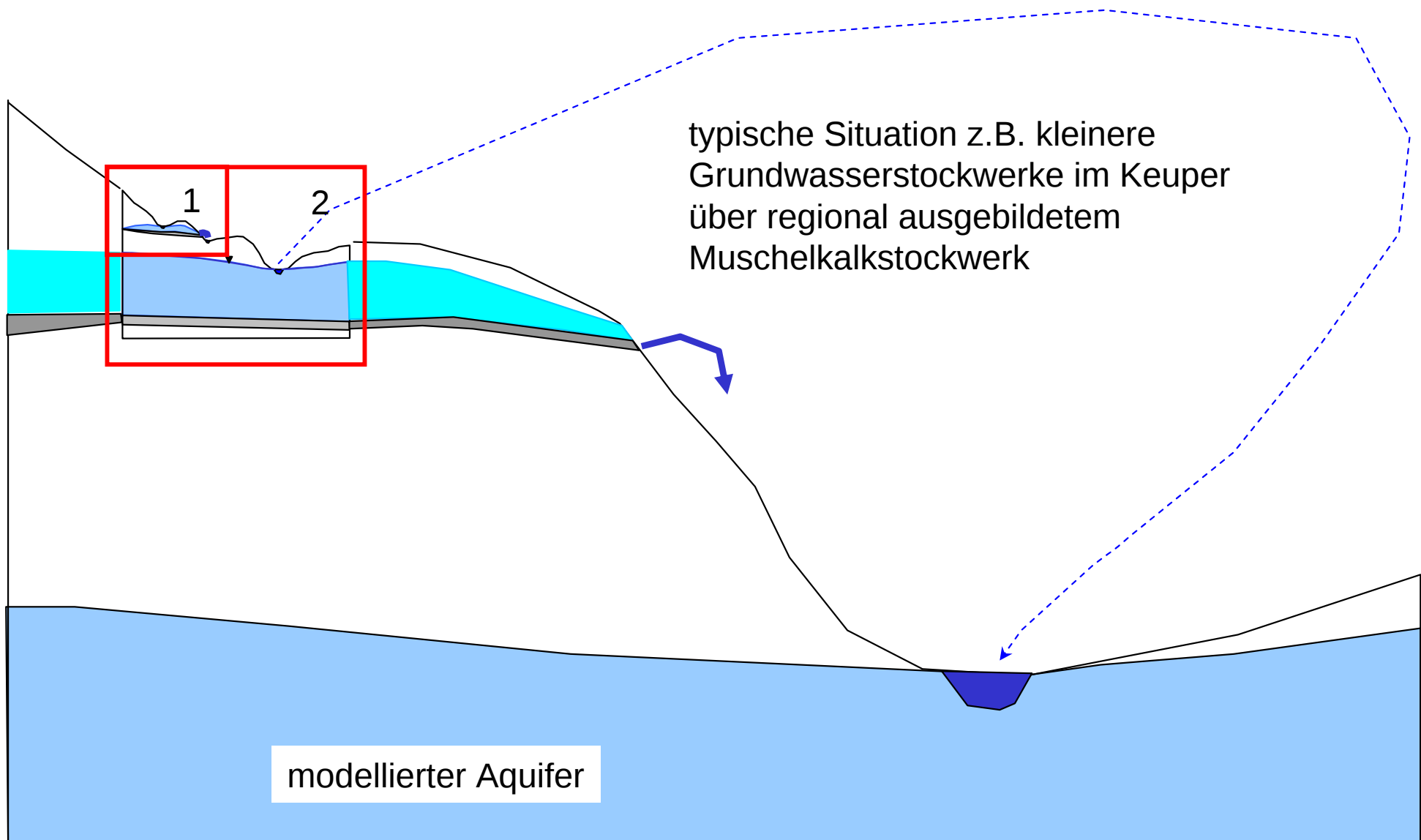
Welches sind die modellierten Aquifere, d.h. welche Grundwasserneubildung, welcher Basisabfluß ist eigentlich relevant?

Ablusskomponenten und –prozesse: „Basisabfluss“

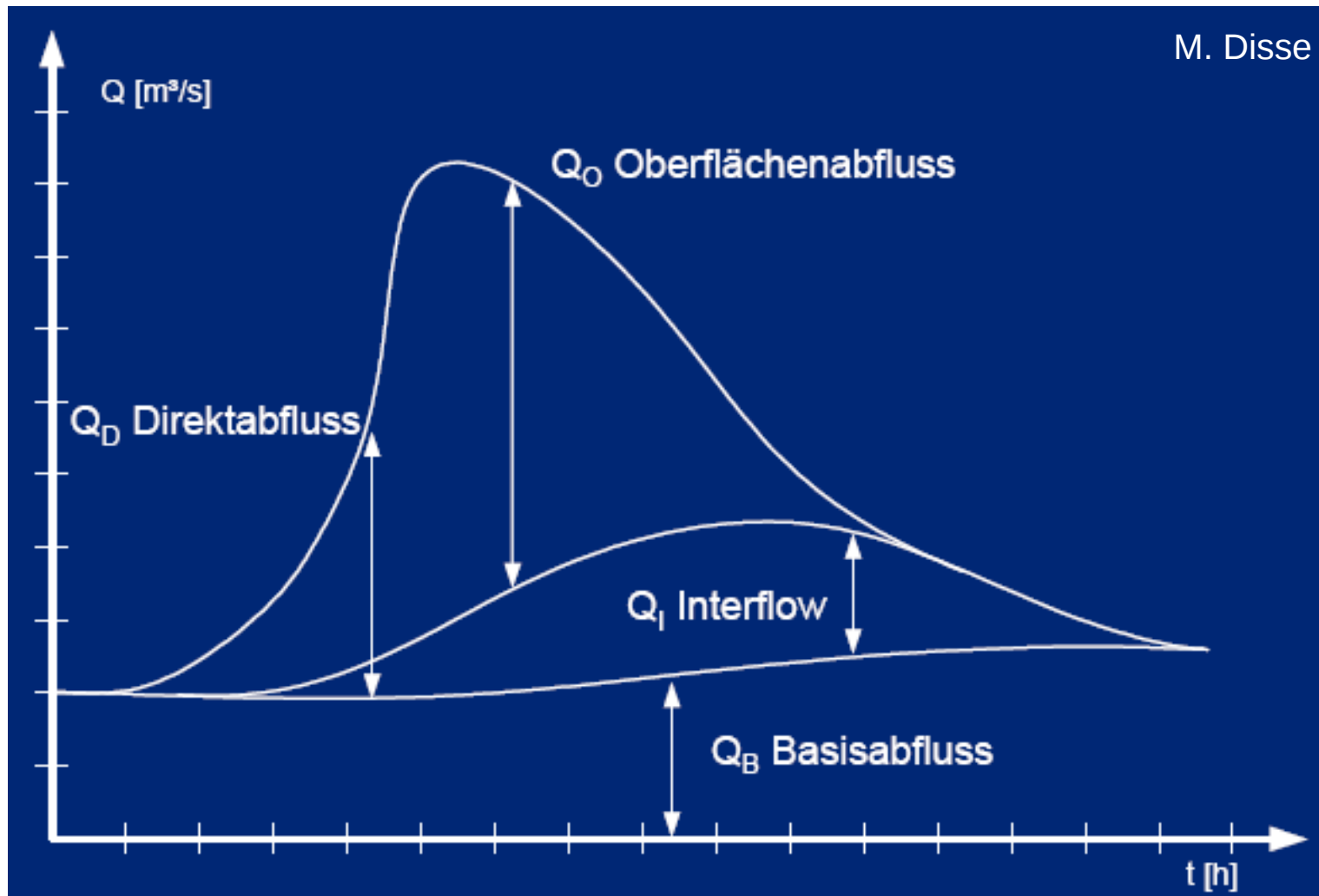




Baseflow lokal – Interflow regional? Abhängig von Skala, Diskretisierung, Fragestellung etc.

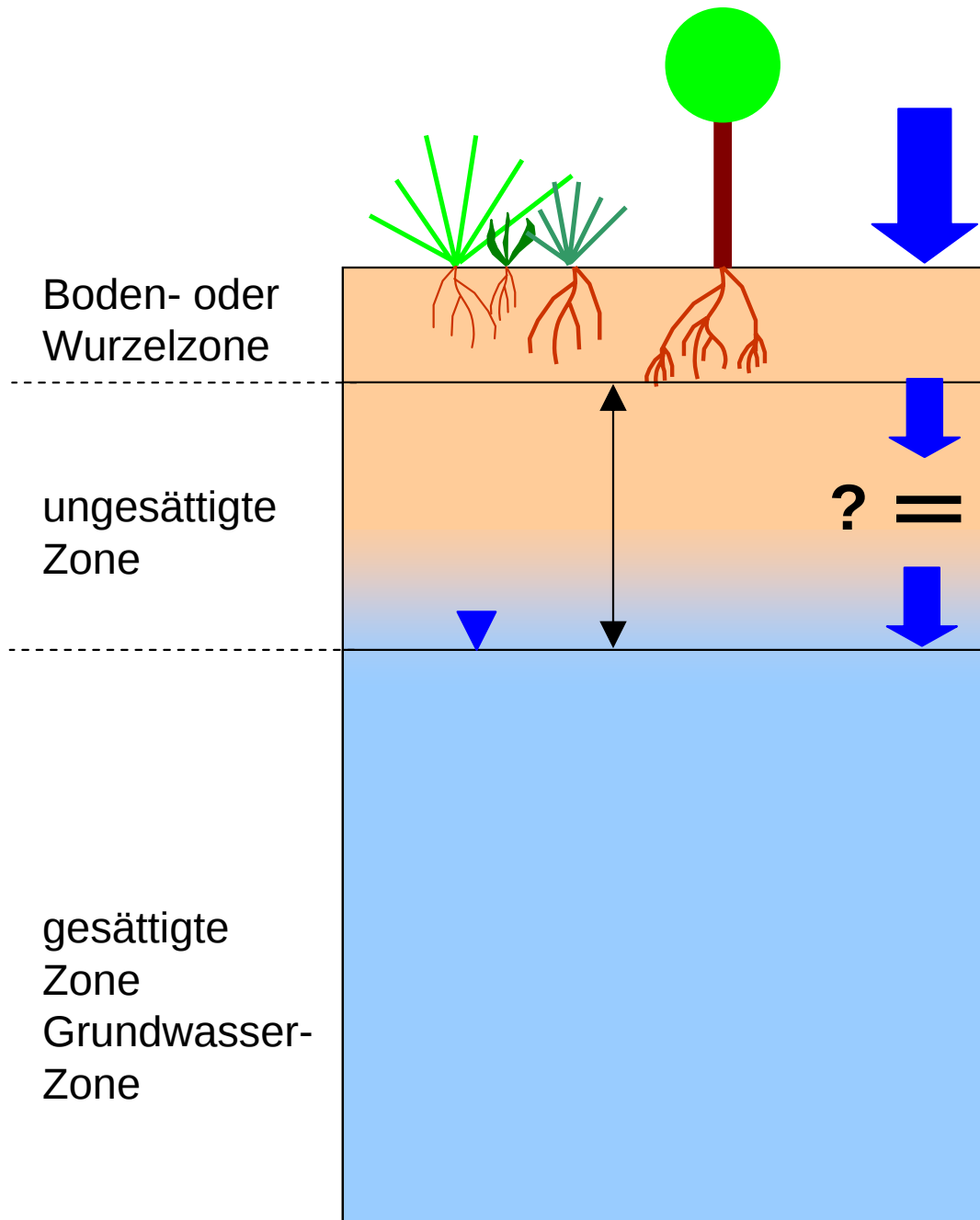


Kopplungsprobleme mit konzeptionellen hydrologischen Modellen



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

Grundwasserneubildung: 1) Typische konzeptionelle Vorstellung



Niederschlag

Infiltration: "Versickerung, Einsickerung"

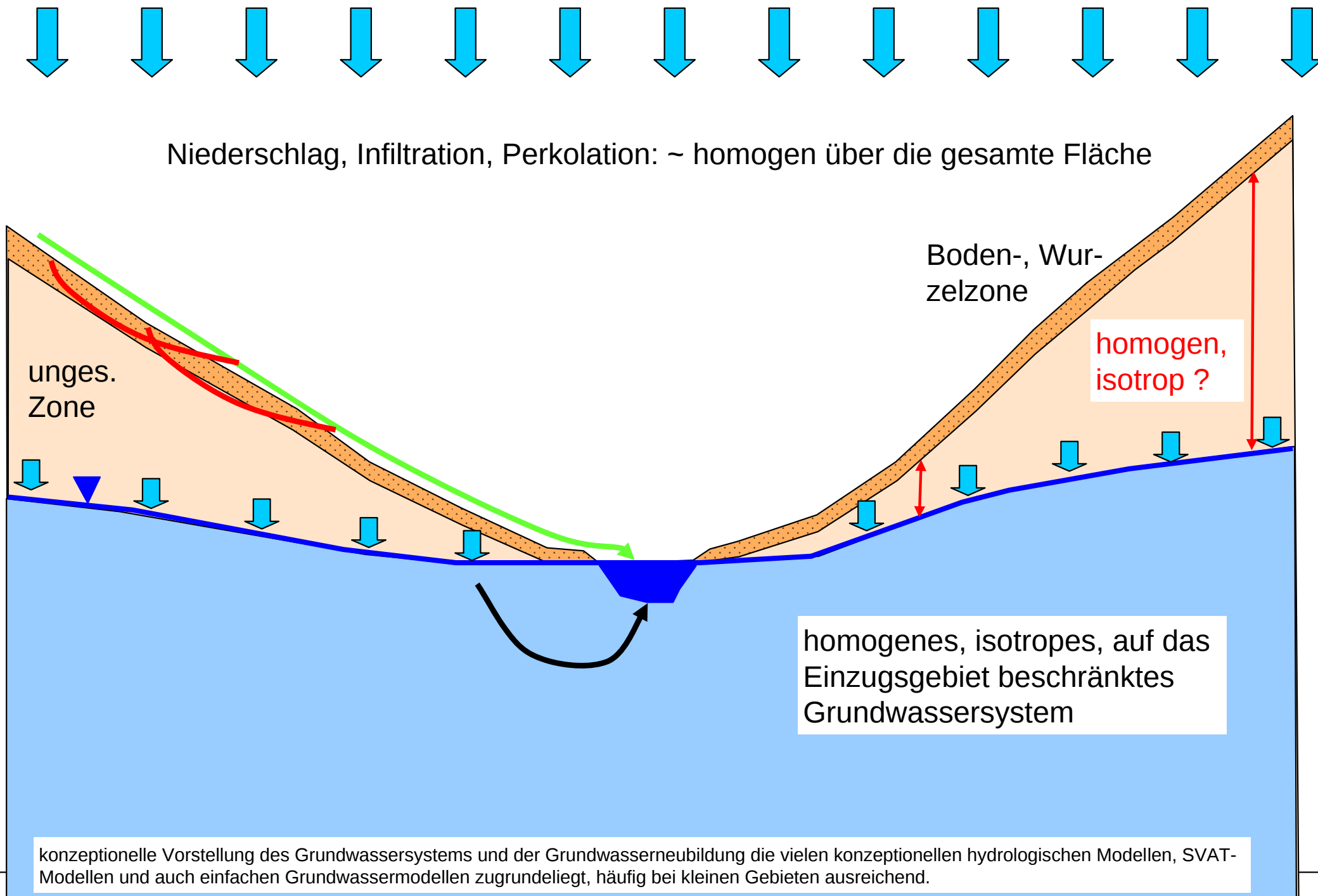
Perkolation: Durchsickerung

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

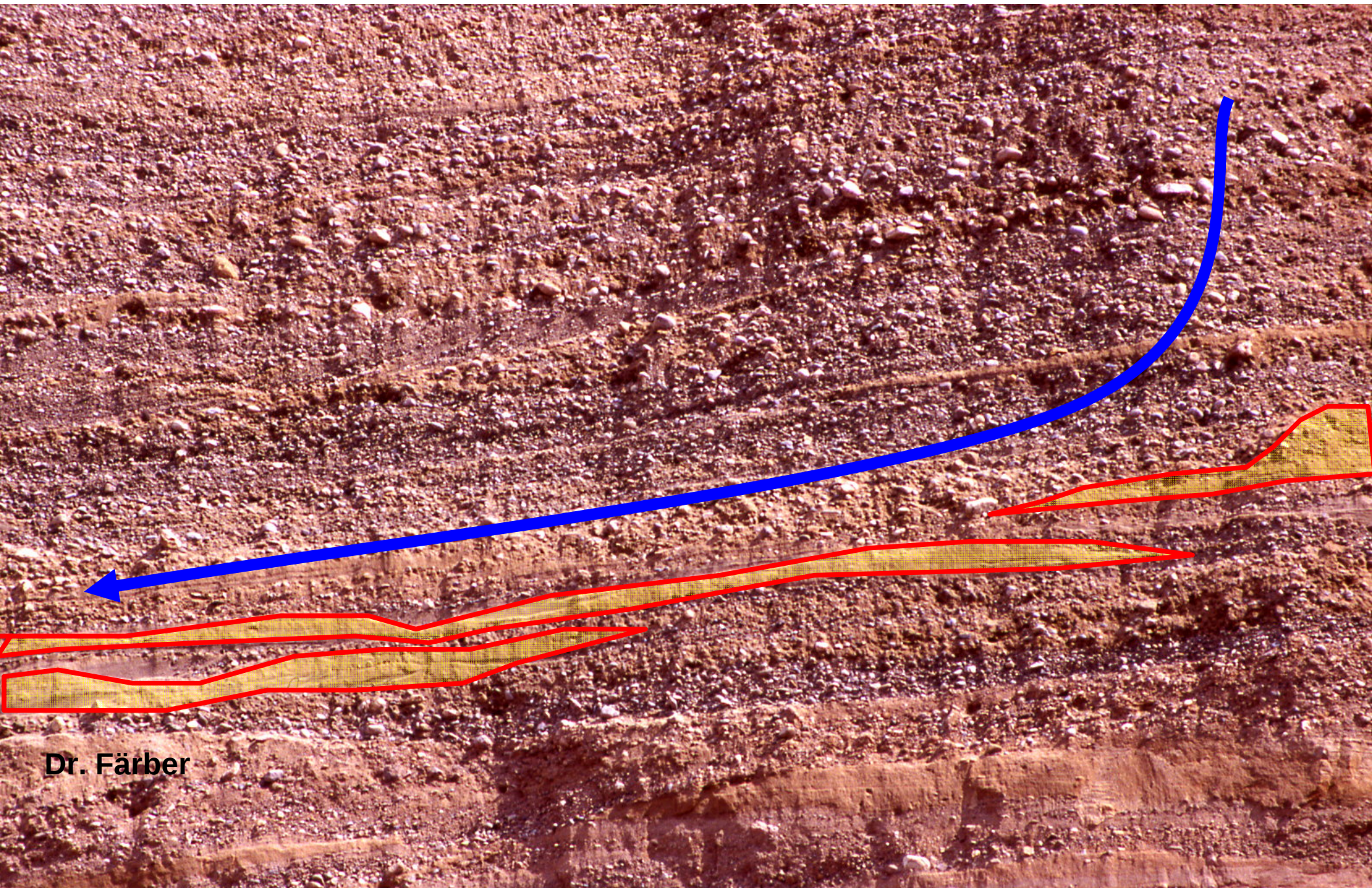
Grundwasserneubildung nach DIN 4049

relevante Grundwasserneubildung für ein Grundwassermodell

Grundwasserneubildung: 1b) Konzeptionelle Realitätsannäherung



Homogenität und Isotropie in natürlichen Systemen



Dr. Färber

Homogenität und Isotropie in natürlichen Systemen



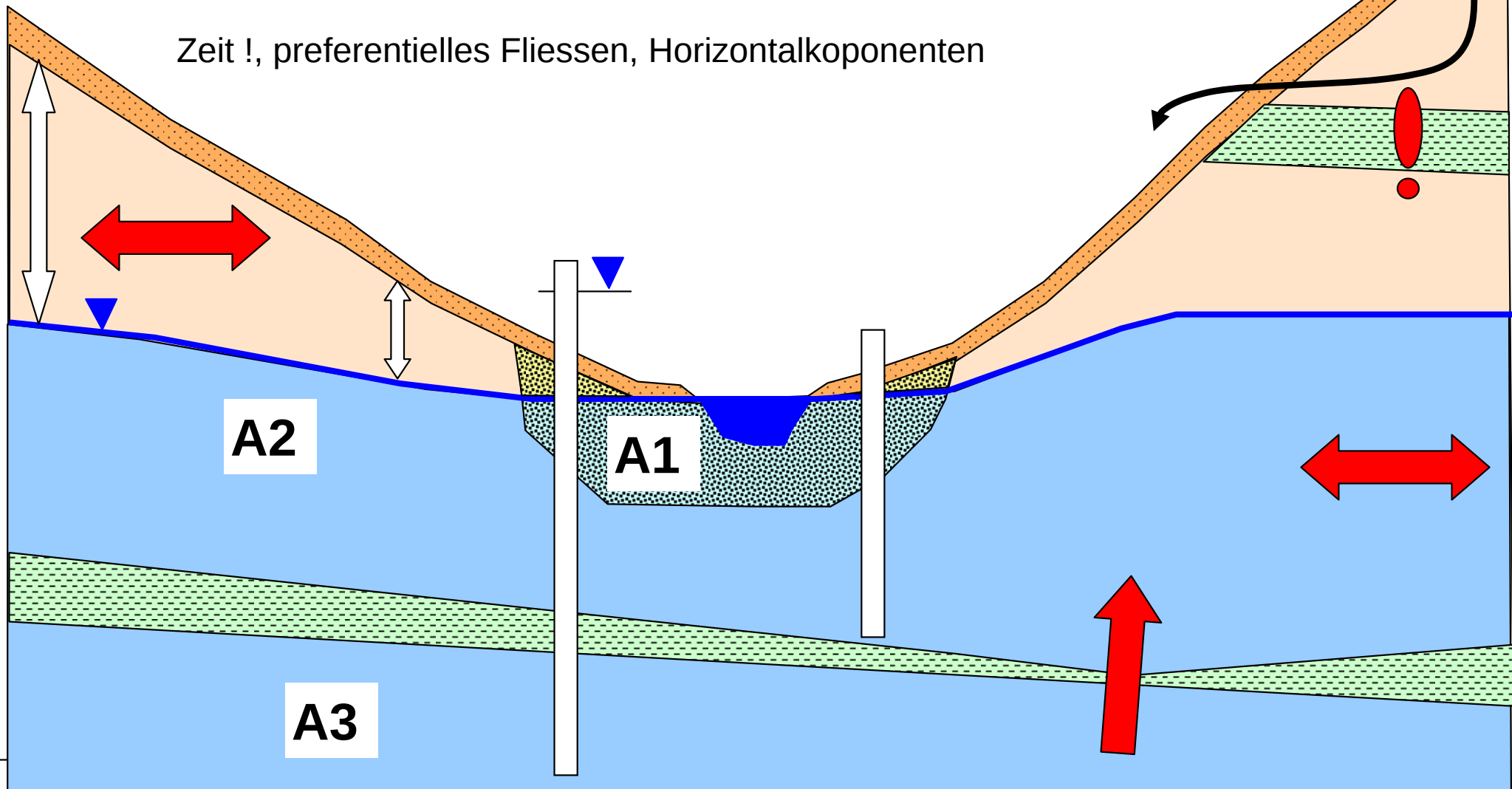
Dr. Färber

Grundwasserneubildung: 2) Realistische konzeptionelle Vorstellung



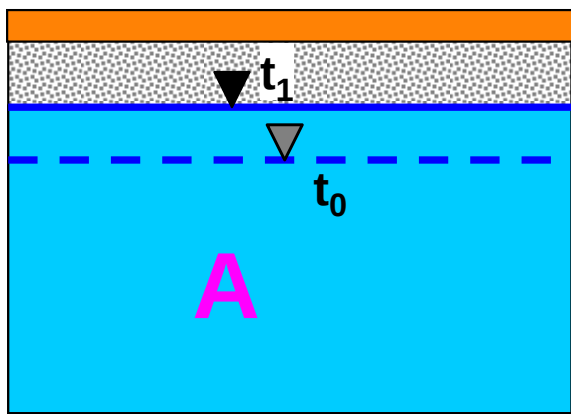
Niederschlag, Infiltration, Perkolation: ~ homogen über die gesamte Fläche,
Grundwasserneubildung für Aquifer 1, Aquifer 2, Aquifer 3 – homogen?

Zeit !, preferentielles Fließen, Horizontalkomponenten

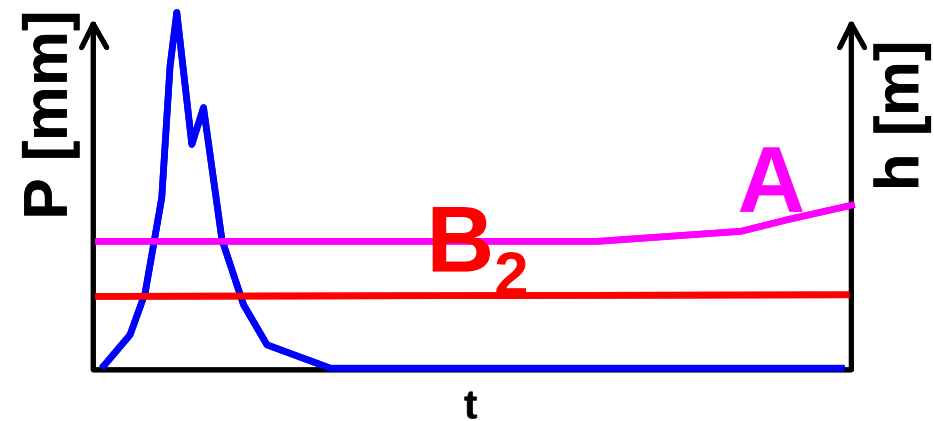
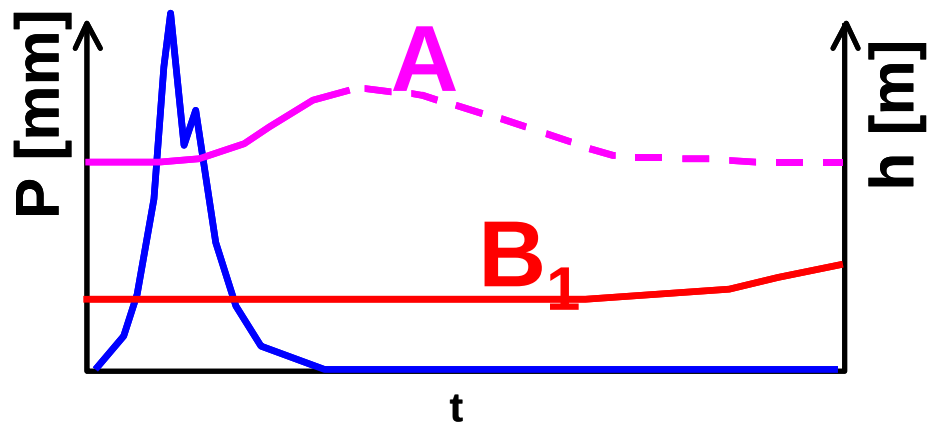
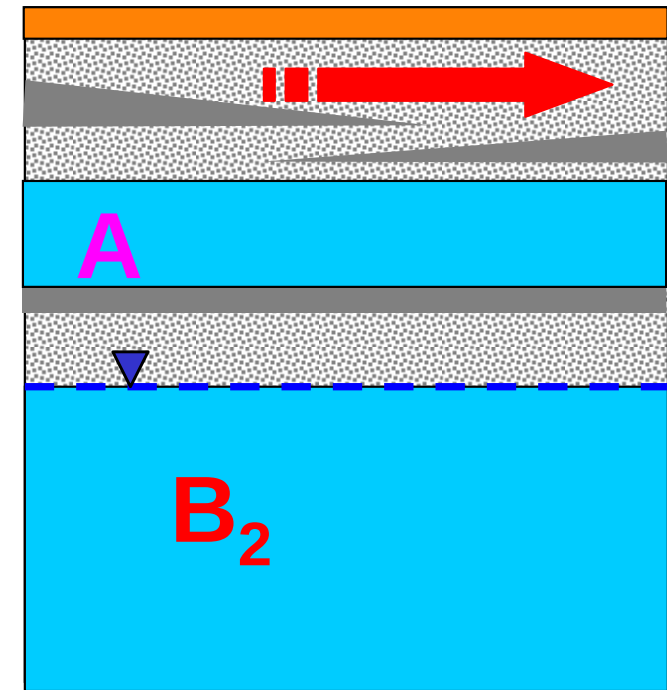
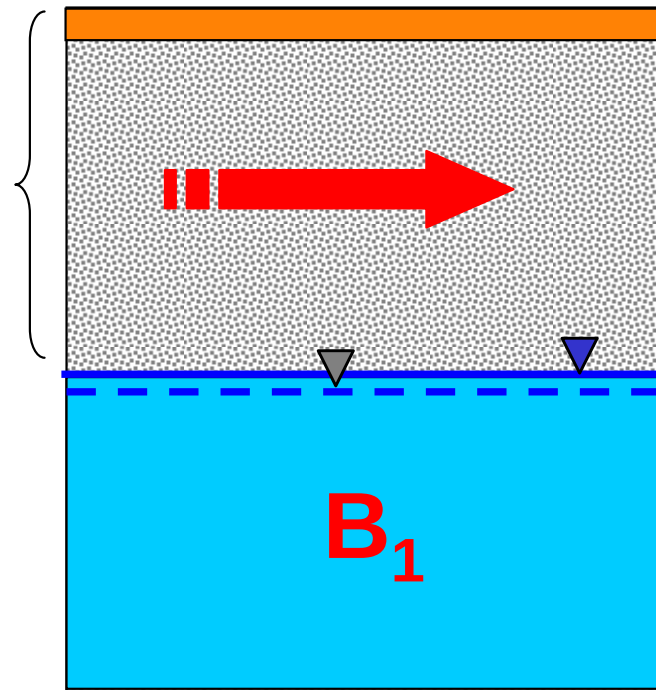


Bedeutung der tiefen ungesättigten Zone für die Grundwasserneubildung

Flurabstand FA

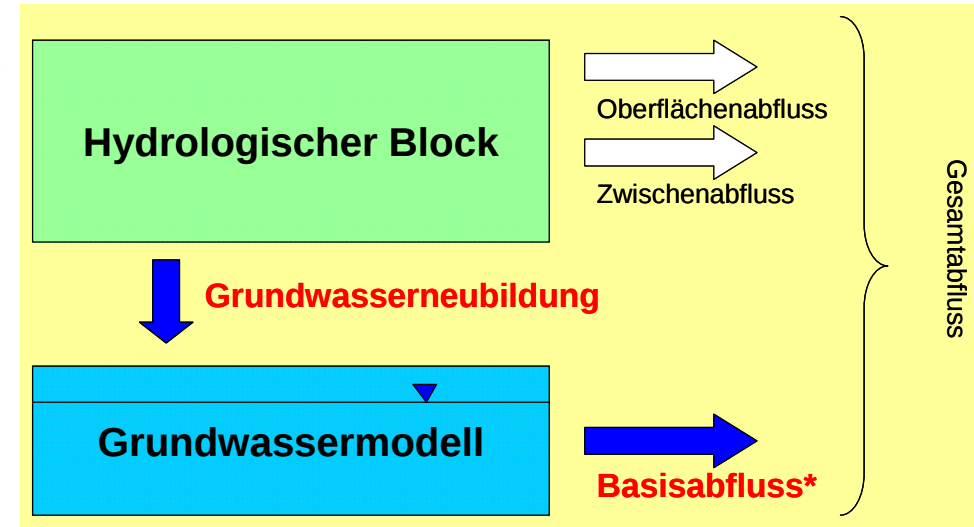


Zeitaspekte
Mengenaspekte!



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 Fliesen**)



- 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