

Wasserhaushaltsmodell LARSIM

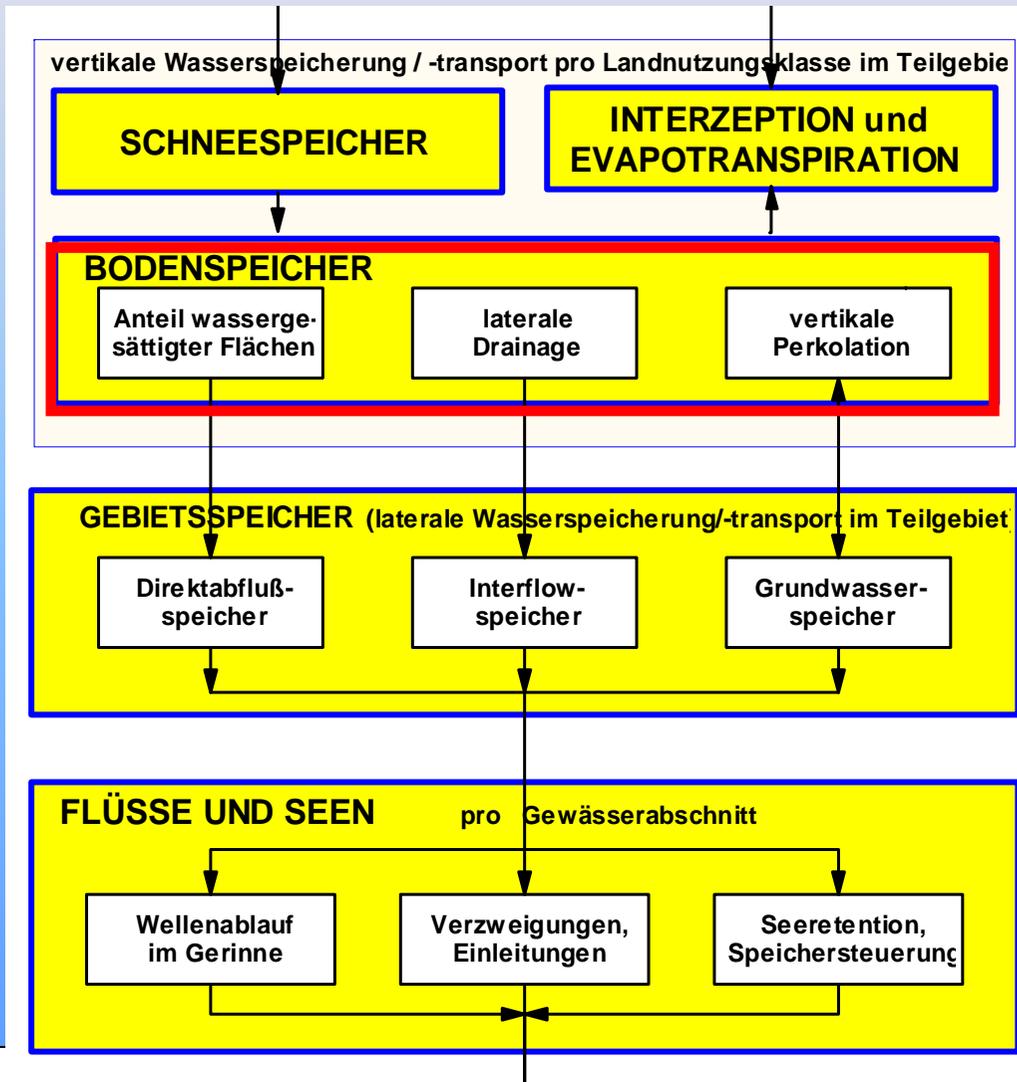
Bodenspeicher

Manfred Bremicker, Kai Gerlinger, Oliver Gronz

März 2012

Bodenspeicher

Das Bodenmodul in LARSIM:

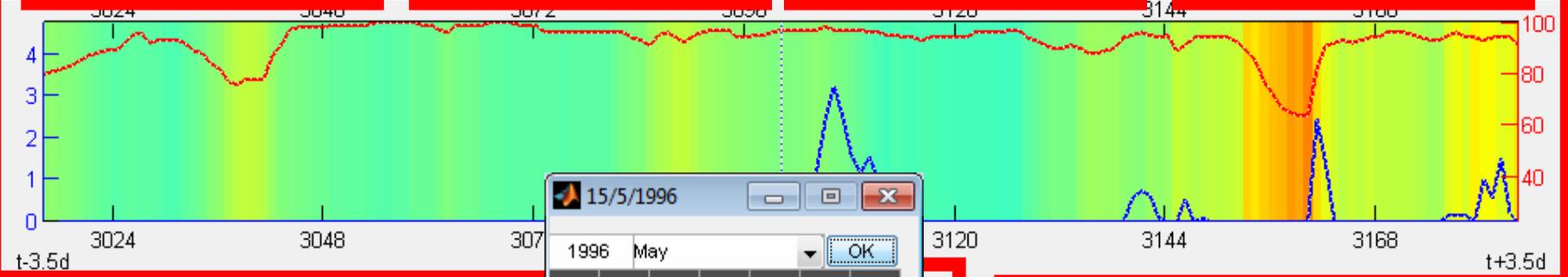
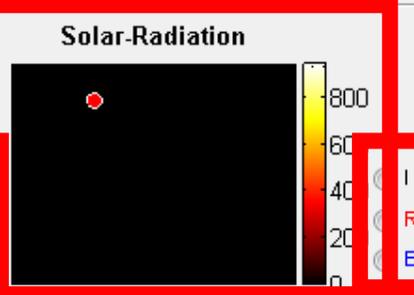
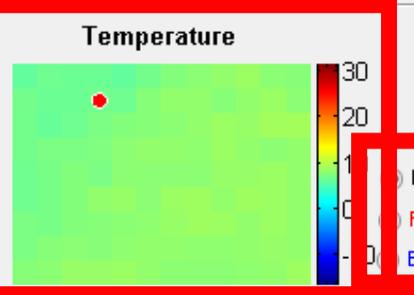
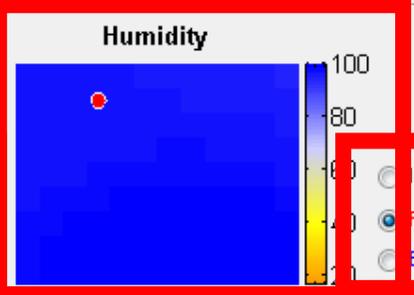
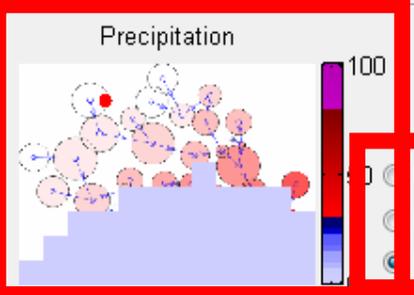


Der Boden ist das zentrale Regel- und Verteilersystem im Wasserkreislauf

Bodenmodell = Kompromiss, bezogen auf:

- Bedeutung im hydrologischen Kreislauf
- Heterogenität der Böden
- verfügbare Daten für Bodenkennwerte
- Rechenzeit im Modell

derzeit: Kalibrierung von 3 Bodenparametern, Festlegung weiterer Parameter über Literaturwerte

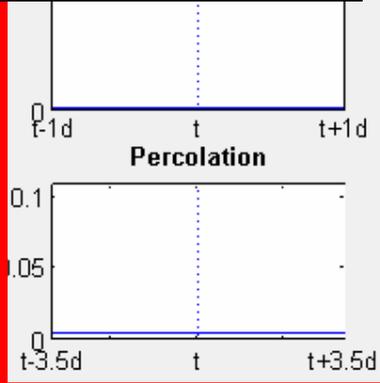
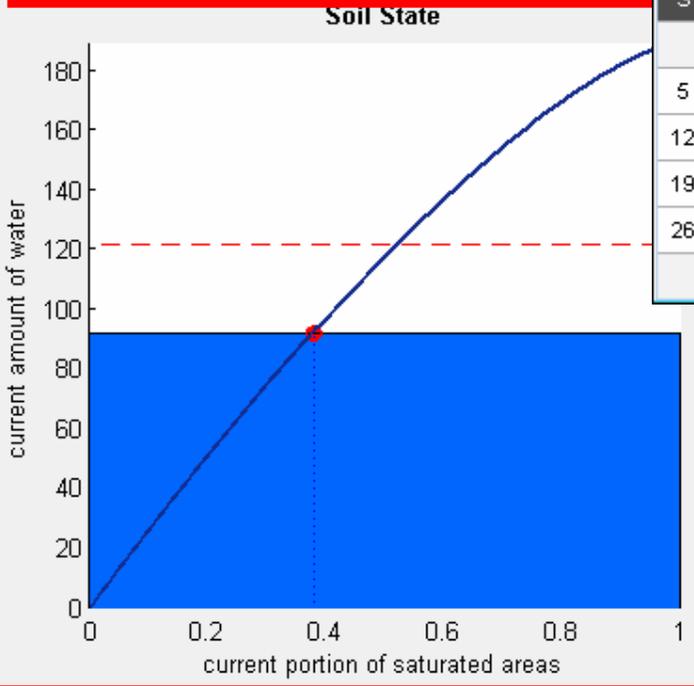


15/5/1996

1996 May

S	M	T	W	T	F	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

OK



Info

Area: 0.125

Soil Storage Capacity: 189

Land Use: Laubwald

Runoff process type: DP

Water Yield (Plot): I R B

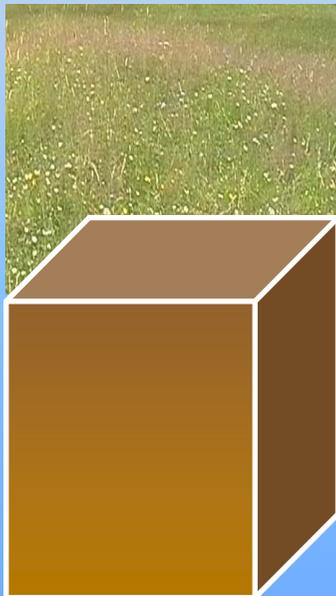
t = 15-May-1996 05:00:00

Start Stop

Bodenspeicher

Subskalige Prozessbeschreibung innerhalb der Raster / Teilgebiete:

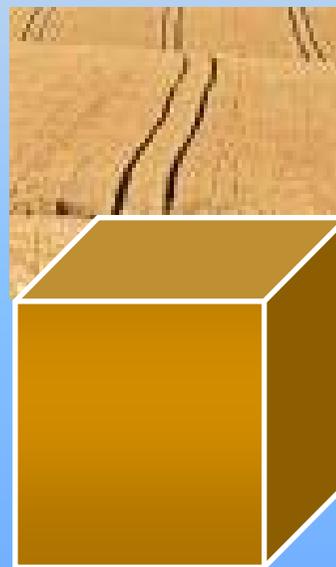
separate Modellierung des Wasserhaushalts für die gekoppelten Landnutzungs-/ Bodenkompimente innerhalb des km-Raster



37 ha Wiese
auf Boden mit
Parametersatz A



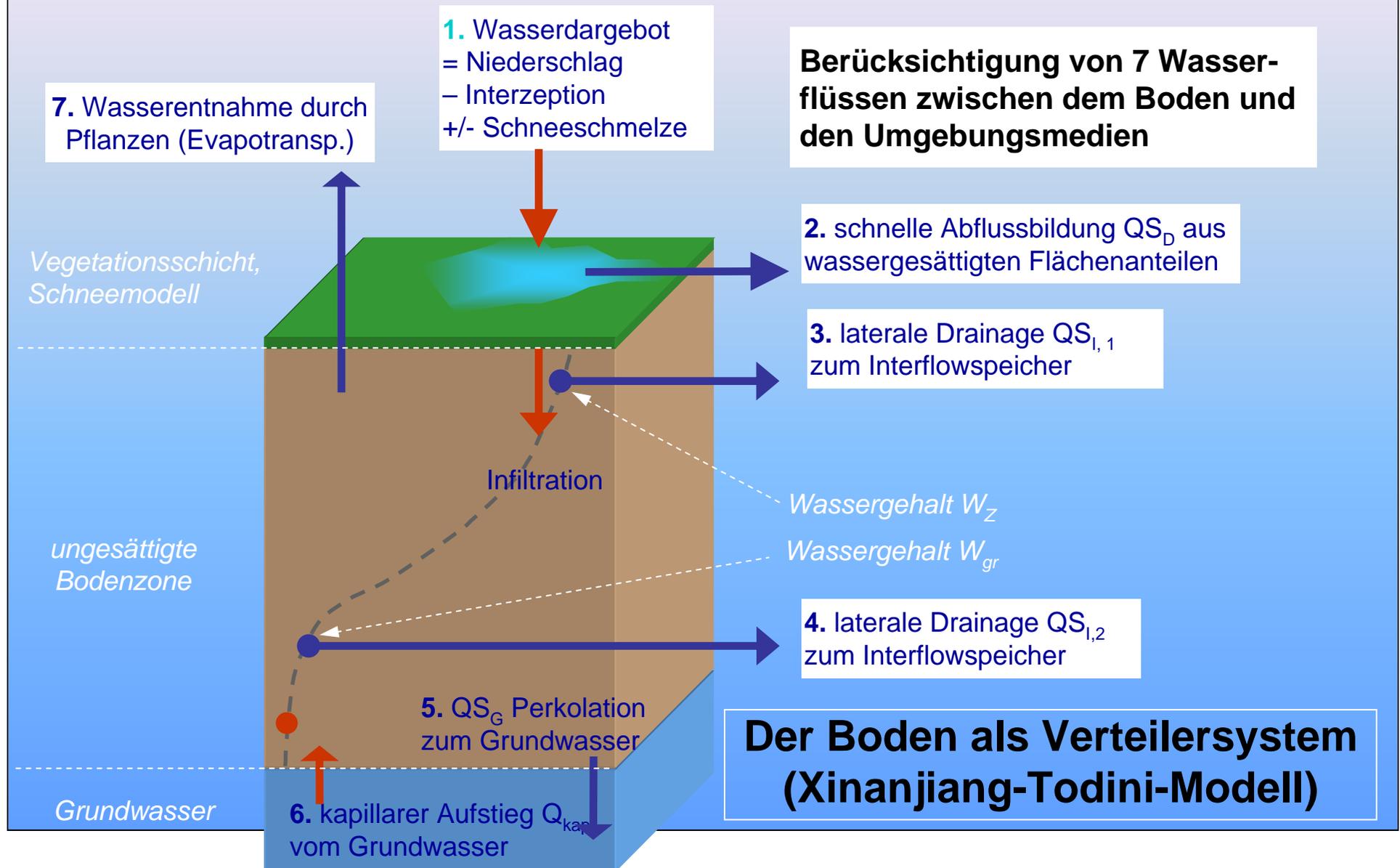
24 ha Mischwald
auf Boden mit
Parametersatz B



39 ha Weizen
auf Boden mit
Parametersatz C

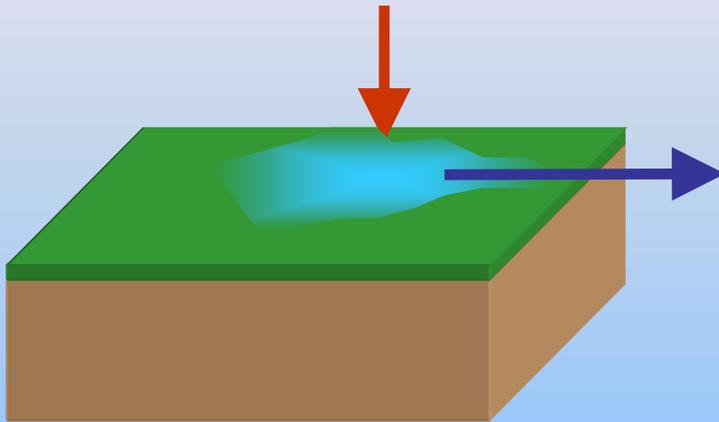
- ☒ räumliche Lage der einzelnen LaNu-Pixel innerhalb des Raster wird vernachlässigt.
- ☒ pro Landnutzung/Boden eine repräsentative Bodensäule
- ☒ aggregierte Betrachtung aller Flächenpixel
- ☒ flächentreue Abbildung der Landnutzungsverteilung bei praktikablen Rechenzeiten des Modells

Bodenspeicher



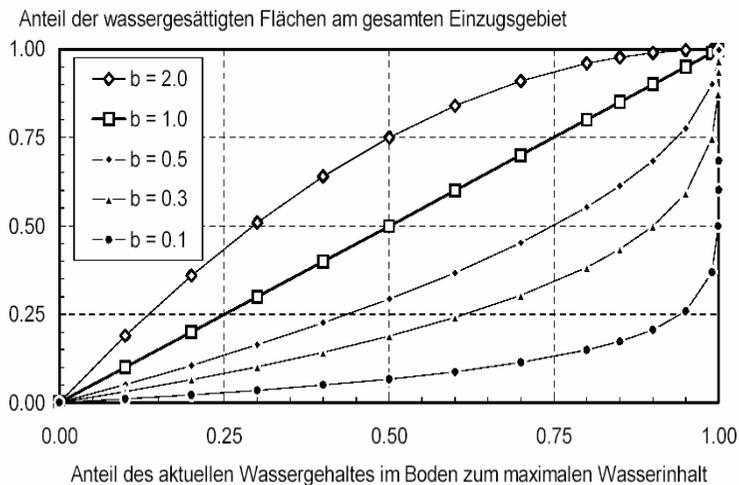
Bodenspeicher

Die Bodenfeuchte-Sättigungsflächen-Funktion:



Modellannahmen:

- es gibt (zumindest zeitweise) wassergesättigte Bodenflächen im Teilgebiet
- auf den wassergesättigten Böden findet eine schnelle Abflussbildung statt
- Zusammenhang zwischen dem Anteil der wassergesättigten Bodenfläche im Kompartiment und der aktuellen Bodenfeuchte in der Modell-Bodensäule:



$$\frac{s}{S} = 1 - \left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^b$$

Kalibrier-Parameter

mit:

s/S [%]

Anteil der wassergesättigten Böden an der gesamten Bodenfläche des Einzugsgebietes

W_0 [mm]

aktuelle Füllung des Bodenspeichers

W_m [mm]

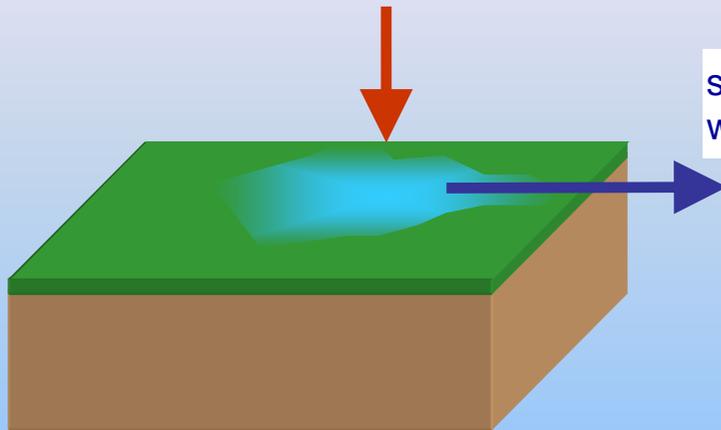
maximaler Wasserinhalt im gesamten Bodenspeicher

b [-]

Formparameter der Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion (Regionalisierung des Parameters b siehe Kap. 3.3.1)

Bodenspeicher

Abflussbildung auf wassergesättigten Flächenanteilen:



schnelle Abflussbildung QS_D aus wassergesättigten Flächenanteilen

Das Xinanjiang-Verfahren berücksichtigt, dass ein höherer Anteil des Niederschlages (bzw. Wasser aus der Schneeschmelze) oberflächennah abfließt bei

- zunehmendem Anteil von wassergesättigten Böden im Einzugsgebiet sowie bei
- hohen gegenüber niedrigeren Niederschlagsintensitäten

$$QS_D = P - (W_m - W_0)$$

für

$$\left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(b+1) W_m} \right) \leq 0 \text{ und } P + W_0 > W_m$$

$$QS_D = P - (W_m - W_0) + W_m \left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \left(\frac{P}{(b+1) W_m} \right) \right)^{b+1}$$

für

$$\left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(b+1) W_m} \right) > 0$$

QS_D [mm]	Abflussbildung über den wassergesättigten Flächenanteilen des Bodenspeichers ("surface runoff")
P [mm]	Niederschlag im Berechnungszeitschritt
W_0 [mm]	Füllung des Bodenspeichers zu Beginn des Berechnungszeit-schrittes
W_m [mm]	Maximaler Wasserinhalt im gesamten Bodenspeicher
b [-]	Formparameter der Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion, (Regionalisierung des Parameters b siehe Kap. 3.3.1)

Bodenspeicher

Abflussbildung auf wassergesättigten Flächenanteilen:

$$QS_D = P - (W_m - W_0)$$

for

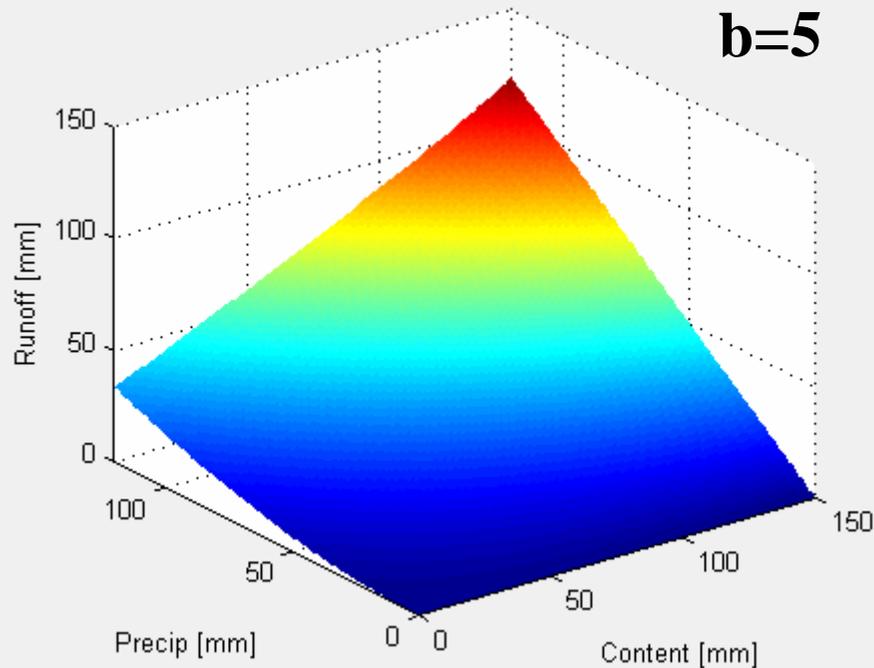
$$\left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b)W_m} \right) \leq 0 \text{ and } P + W_0 > W_m$$

$$QS_D = P - (W_m - W_0) + W_m \left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \left(\frac{P}{(b+1)W_m} \right) \right)^{b+1}$$

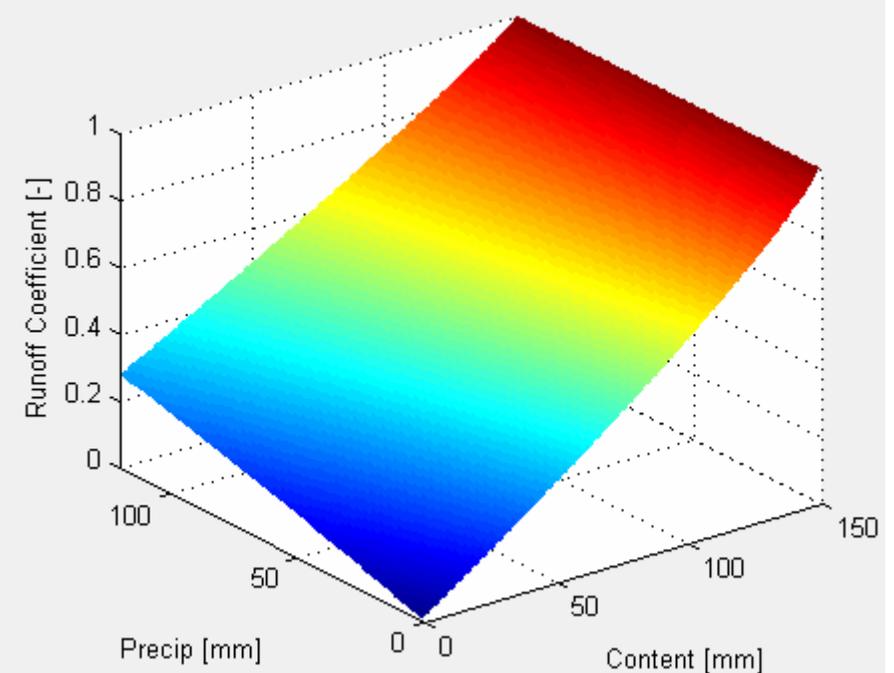
for

$$\left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b)W_m} \right) > 0$$

Oberflächenabfluss



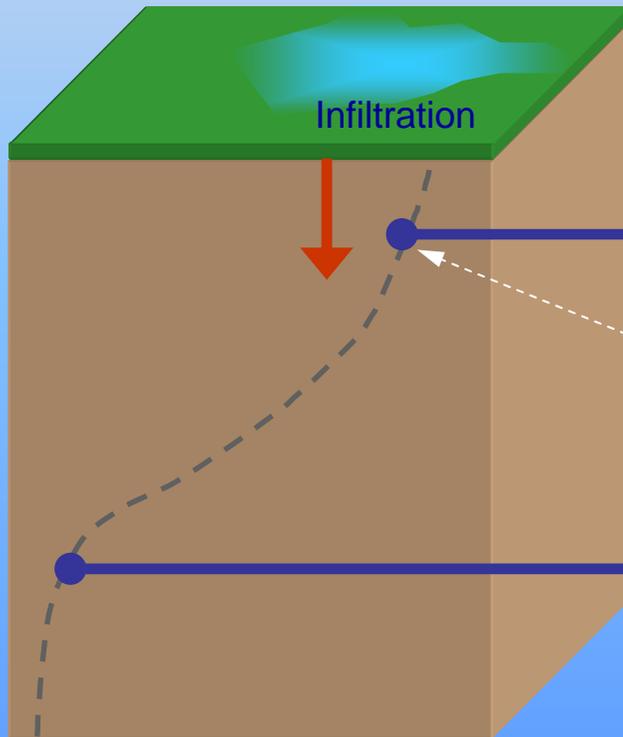
Abflussbeiwert



Bodenspeicher

Laterale Drainage (Abflussbildung für den Interflow):

- Differenz aus Wasserdargebot und oberflächennaher Wasserabgabe infiltriert in den Boden
- max. Wassergehalt des Bodens $W_m = nFK_{dB} + LK$
- in Abhängigkeit der aktuellen Bodenfeuchte springen unterschiedliche Bodenwasserflüsse an



$$QS_l = \left((D_{max} - D_{min}) \left(\frac{W_0 - W_z}{W_m - W_z} \right)^c \right) \Delta t \quad \text{für } W_0 \geq W_z$$

Wassergehalt W_z ($? = f(\text{Matrixpotential})$)

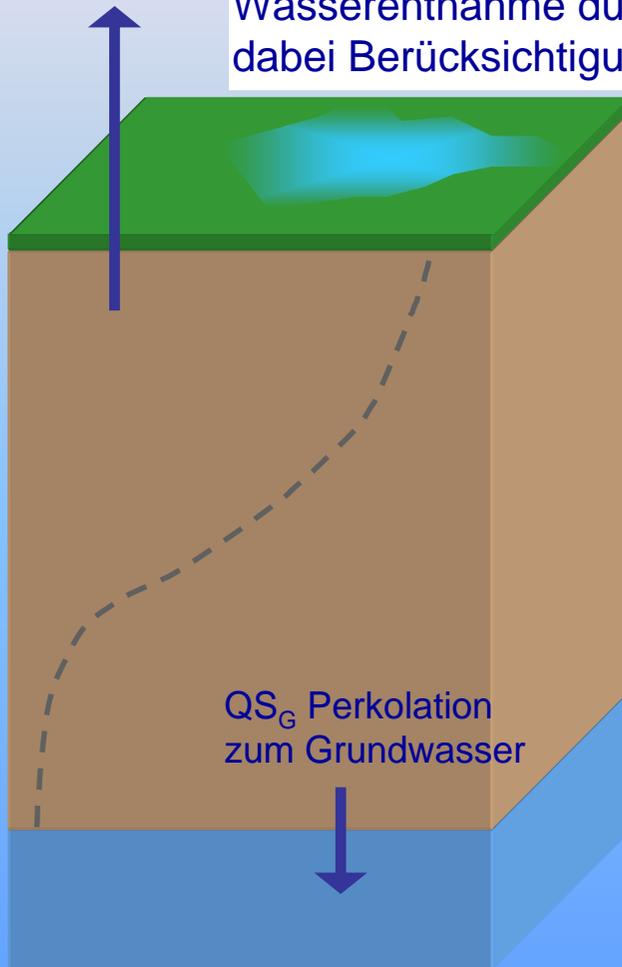
$$QS_l = D_{min} \frac{W_0}{W_m} \Delta t$$

- D_{min}, D_{max} = laterale Durchlässigkeitsparameter [mm/d]
- W_0 = aktuelle Bodenfeuchte
- W_z = Schwellenwert der Bodenfeuchte, ableitbar aus pF-Kurven?
- c = Formparameter nach DKZR

Bodenspeicher

Schnittstellen zu Atmosphäre und Grundwasser:

Wasserentnahme durch Pflanzen: Penman-Monteith-Verfahren / MORECS
dabei Berücksichtigung der Bodenwasserbindung als f (Bodenfeuchte)



linearer Zusammenhang zwischen Wasserinhalt im Boden und Perkolationsverlust zum Grundwasser:

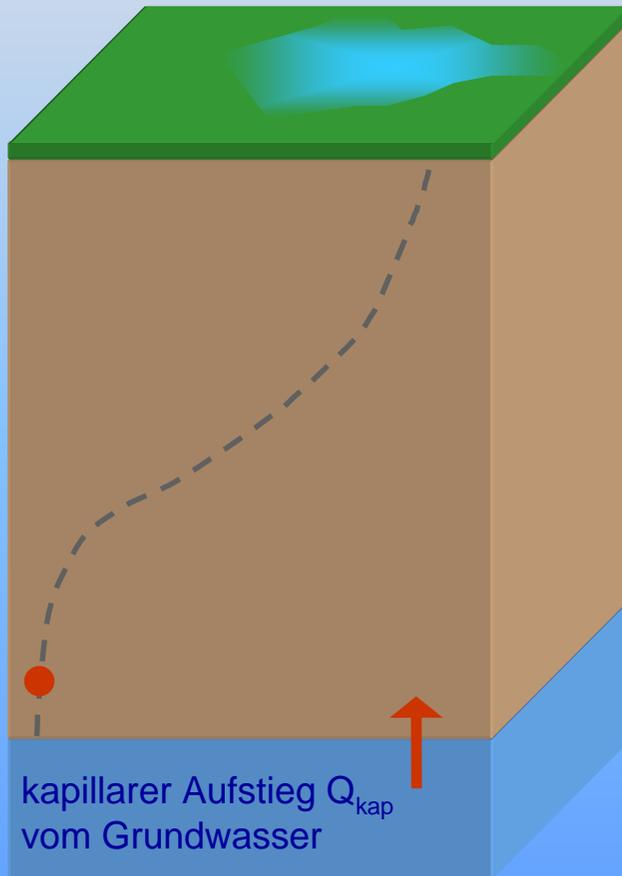
$$QS_G = \beta (W_0 - W_B) \Delta t \quad \text{für} \quad W_0 > W_B$$

QS_G [mm]	Wasserabgabe aus dem Bodenspeicher durch vertikale Perkolations ("percolation loss") im Berechnungszeitschritt in den Gebietspeicher für Grundwasser (Kap. 3.1.6)
W_0 [mm]	Füllung des Bodenspeichers zum Beginn des Berechnungszeitschrittes
W_B [mm]	Schwellenwert des Wasserinhaltes im tiefen Bodenspeicher. In LARSIM ist $W_B = 0,05 \cdot W_m$ (entsprechend DKRZ 1994)
β [1/d]	Drainageindex tiefer Bodenspeicher, Kalibrierungsparameter in LARSIM

Bodenspeicher

Schnittstelle Grundwasser und Boden:

linearer Zusammenhang zwischen Wassergehalt im Boden und kapillarem Aufstieg aus dem Grundwasser:

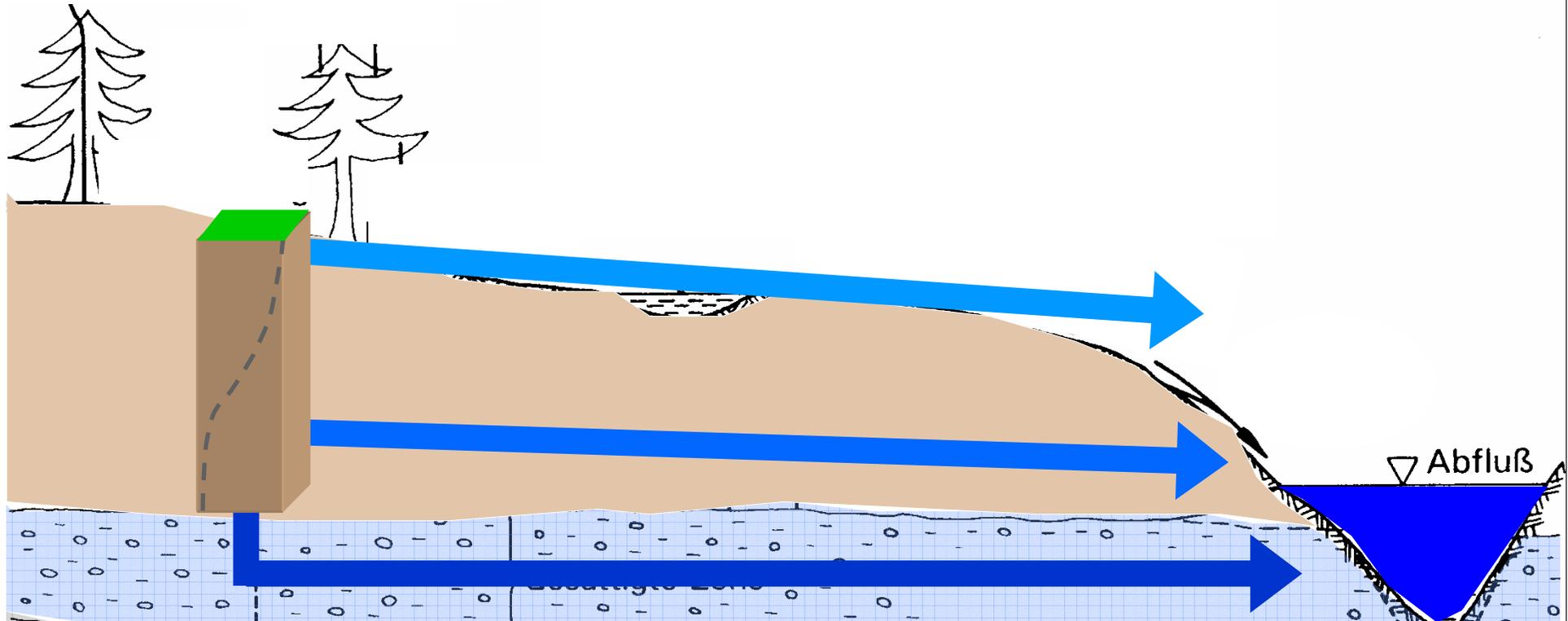


$$Q_{kap} = \frac{W_{gr} - W_0}{W_{gr}} \cdot QMAX_{kap} \quad \text{für } W_0 < W_{gr}$$

Q_{kap}	[mm/d]	kapillarer Aufstieg vom Grundwasserspeicher in den Bodenspeicher
W_{gr}	[mm]	Schwellenwert für den Wassergehalt im Bodenspeicher, bei dessen Unterschreitung der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser einsetzt (in LARSIM: $W_{gr} = 0,1 \cdot W_{max}$)
W_0	[mm]	aktueller Inhalt des Bodenfeuchtespeichers
$QMAX_{kap}$	[mm/d]	Maximale kapillare Aufstiegsrate vom Grundwasserspeicher in den Bodenspeicher (bei vollständig entleertem Bodenspeicher)

Bodenspeicher

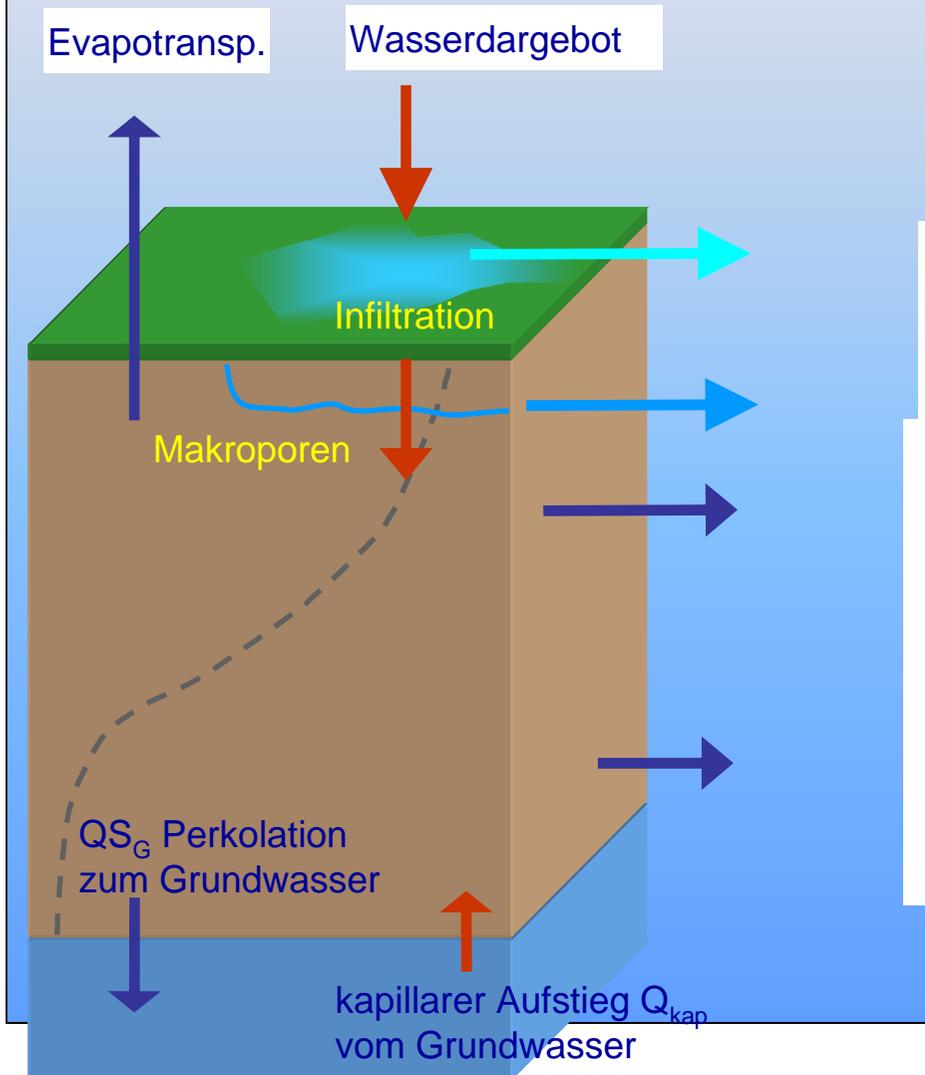
Bodensäule(n) → Einzugsgebiet → Gewässer



Der laterale Wassertransport von der Bodensäule zum Vorfluter wird über das LARSIM-Modul für die Abflusskonzentration berechnet

Bodenspeicher

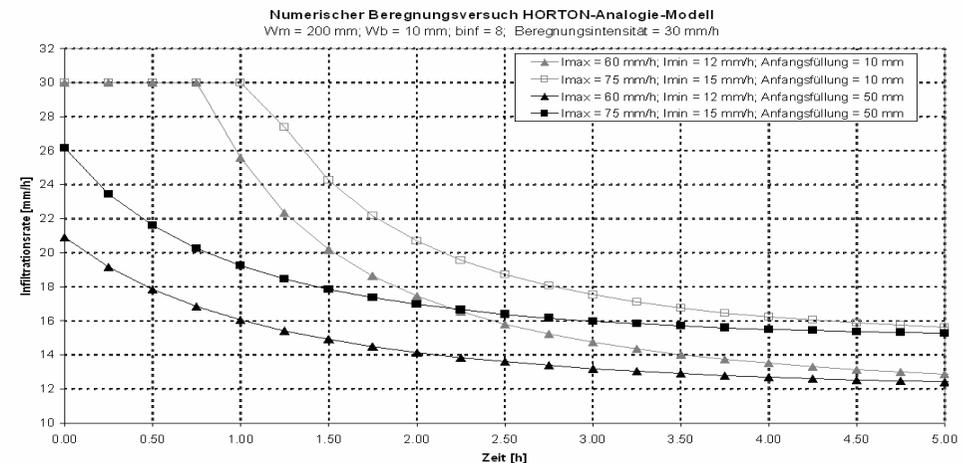
Weiterentwickeltes Bodenmodul:



Aufteilung der schnellen Abflussbildung in „echten“ Oberflächenabfluss und schnellen bodenbürtigen Abfluss

☒ Infiltrationsmodell als Exponentialfunktion der aktuellen Bodenspeicherfüllung:

$$I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot \exp\left(-b_{\text{inf}} \cdot \frac{W_0 - W_b}{W_m - W_b}\right)$$



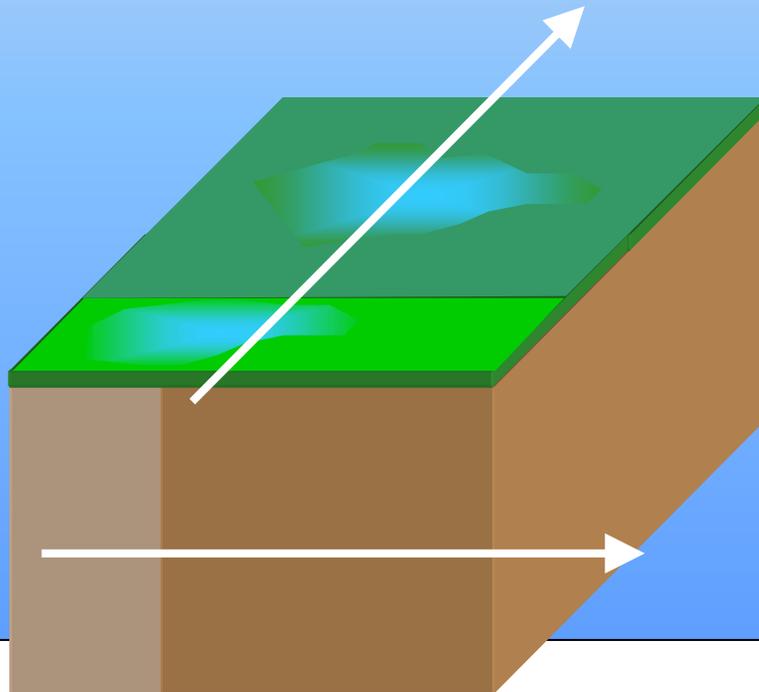
☒ schnelle bodenbürtige Abflussbildung („Makroporen-Durchfluss“) in wasser-gesättigten Flächenanteilen

Bodenspeicher

Erweiterung des LARSIM-Bodenmoduls:

Interreg-Vorhaben WaReLa (LGB RP, LUWG, IBL, Uni Trier u.a.):

- verbesserte bodenphysikalische Parametrisierung des vorhandenen LARSIM-Bodenmoduls
- 2D-Matrix für Landnutzungs- und Bodenklassen innerhalb der Teil-EZG
- zusätzliche physikalisch-konzeptionelle Bodenmodule



Bodenspeicher

Bestimmung der Grundwasserneubildung:

**Klassische
Verfahren:**

**langjähriges Mittel der
Grundwasserneubildung für**

- > Wasser- und Bodenatlas
- > Grundwasser-Modelle in
Lockergesteinen

**Wasserhaus-
haltsmodell:**

Modellierung des

Abfluss-Kontinuums für

- > operat. HW- und NW-Vorhersage
- > KLIWA-Untersuchungen

Bodenspeicher

Bestimmung der Grundwasserneubildung:

**Klassische
Verfahren:**

**Wasserhaus-
haltsmodell:**

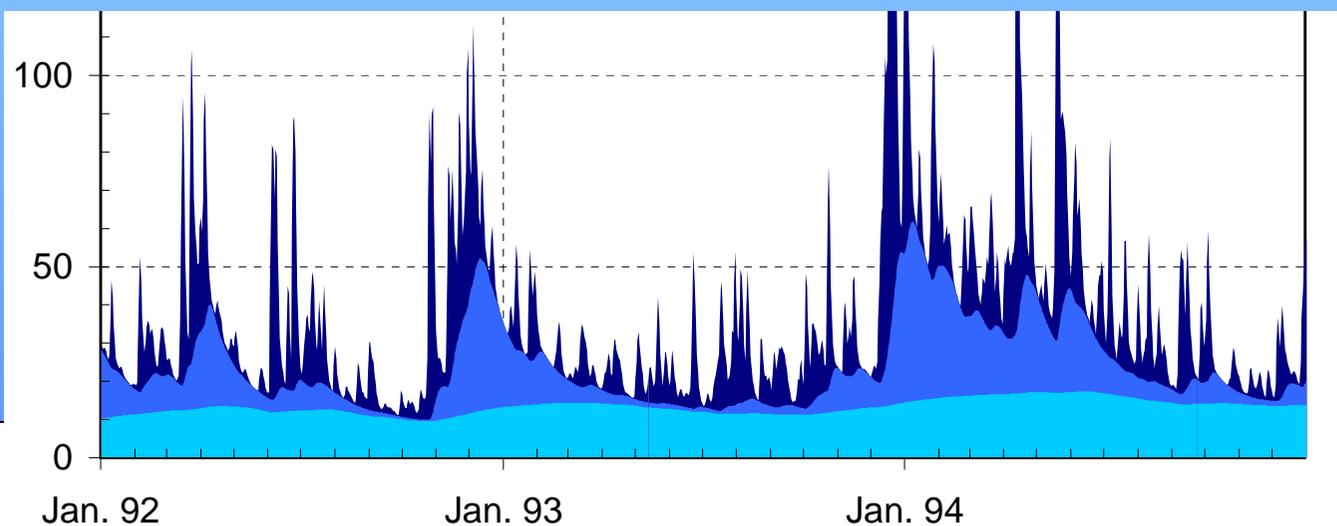
Anteil der GWN am nutzbaren Wasserdargebot:

zeitlich konstant

(langjähriges Mittel, d.h. keine Unterscheidung von trockenen/nassen Monaten bzw. trockenen/nassen Jahren)

**f (Niederschlagshöhe +
Bodenfeuchte)**

(zeitvariante Aufteilung des Wasserdargebots in Oberflächenabfluss, Interflow und Grundwasserneubildung)



Bodenspeicher

Bestimmung der Grundwasserneubildung:

**Klassische
Verfahren:**

**Wasserhaus-
haltsmodell:**

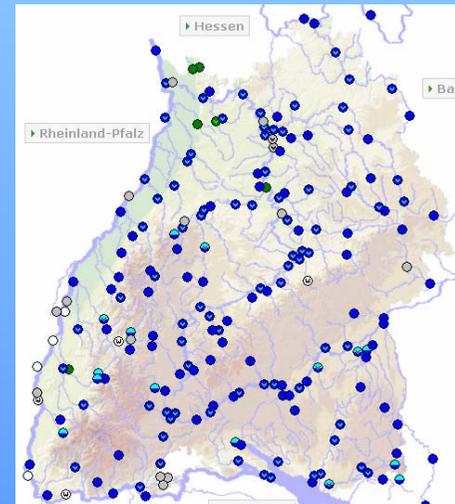
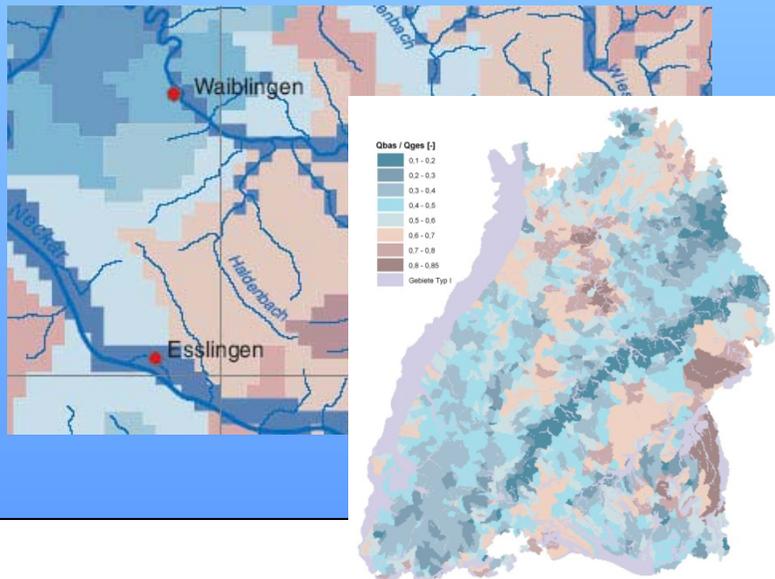
Räumliche Abbildung hydrogeologischer Strukturen:

hochaufgelöstes Raster

(an Pegeln kalibriertes Regressionsmodell
mit Nutzung hydrogeologischer Daten)

gemäß Pegel-Einzugsgebiete

(kalibriertes Wasserhaushaltsmodell ohne
explizite Verwendung hydrogeolog. Daten)



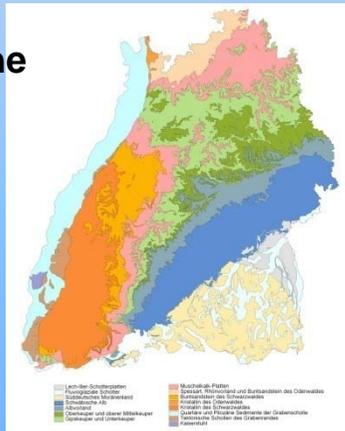
Bodenspeicher

Abbildung hydro-
geologischer Einheiten

zeitvariante Aufteilung
des Wasserdargebots

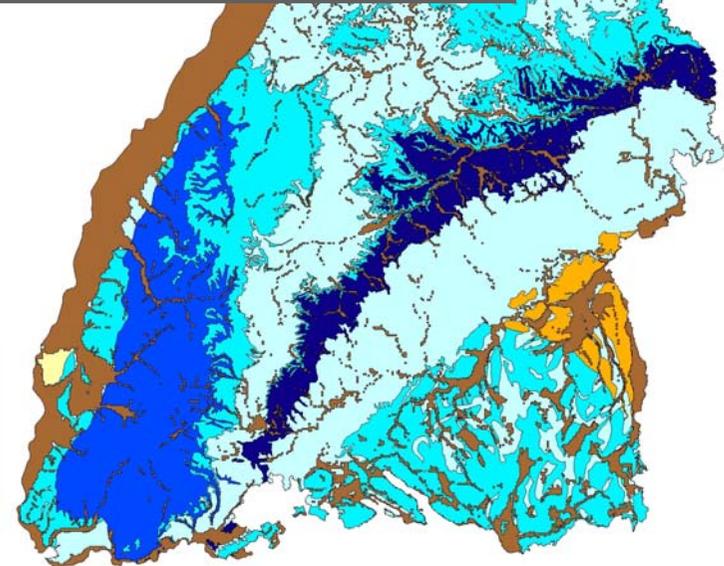
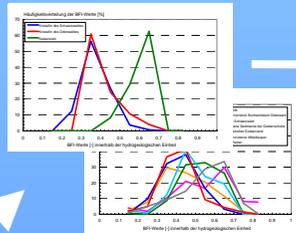
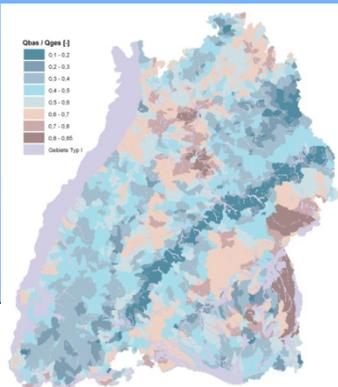
Einarbeitung eines hydrogeologischen
Hintergrundfeldes in das Wasserhaushaltsmodell:

hydrogeologische
Teilräume



langjährig
mittlere Werte
des baseflow-
Index (BFI).

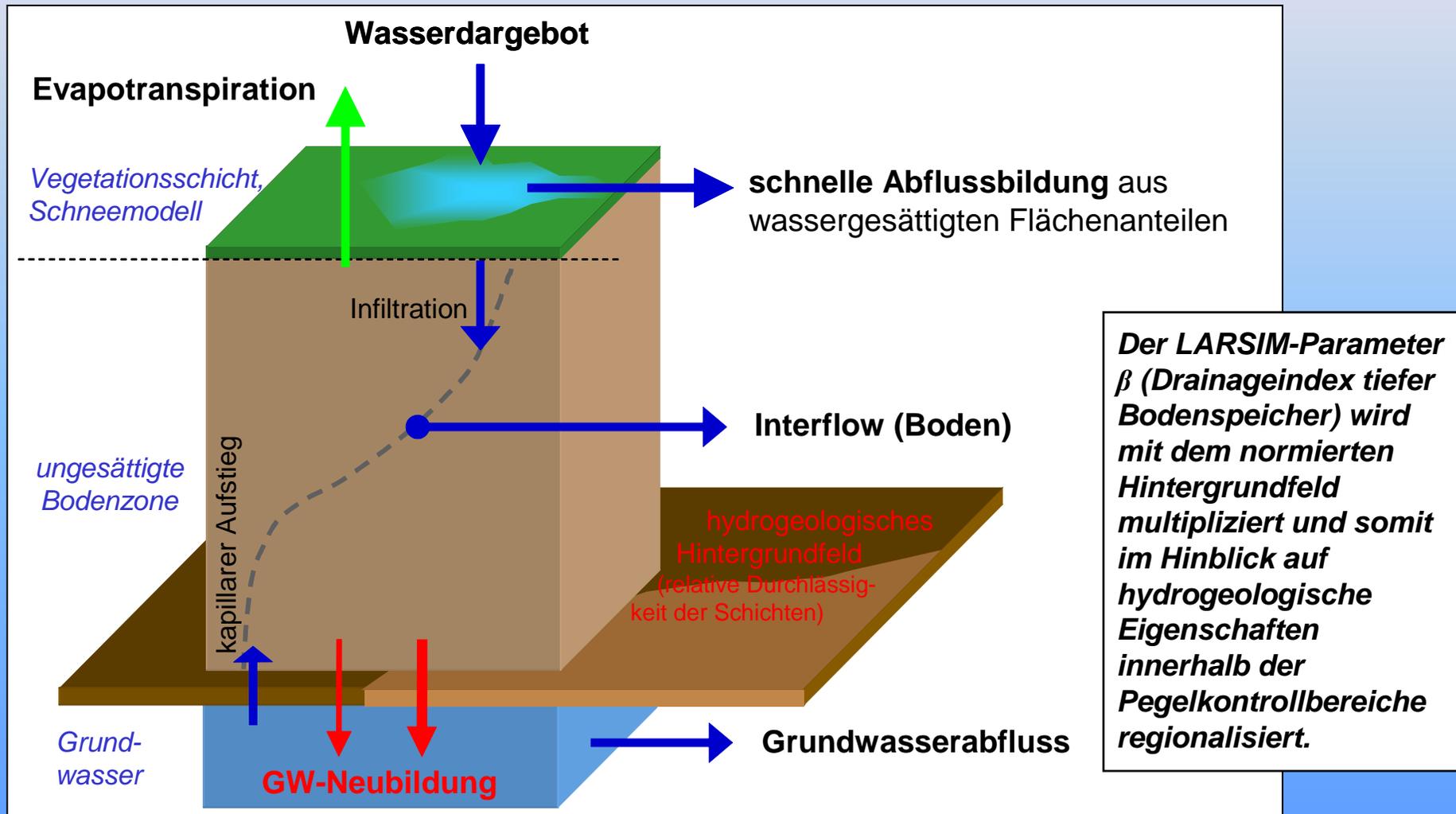
BFI = Basis-
abfluss / Ge-
samtabfluss



vertikaler Durchlässigkeits-Beiwert VDB

Bodenspeicher

Umsetzung im LARSIM-Bodenmodul:



Bodenspeicher

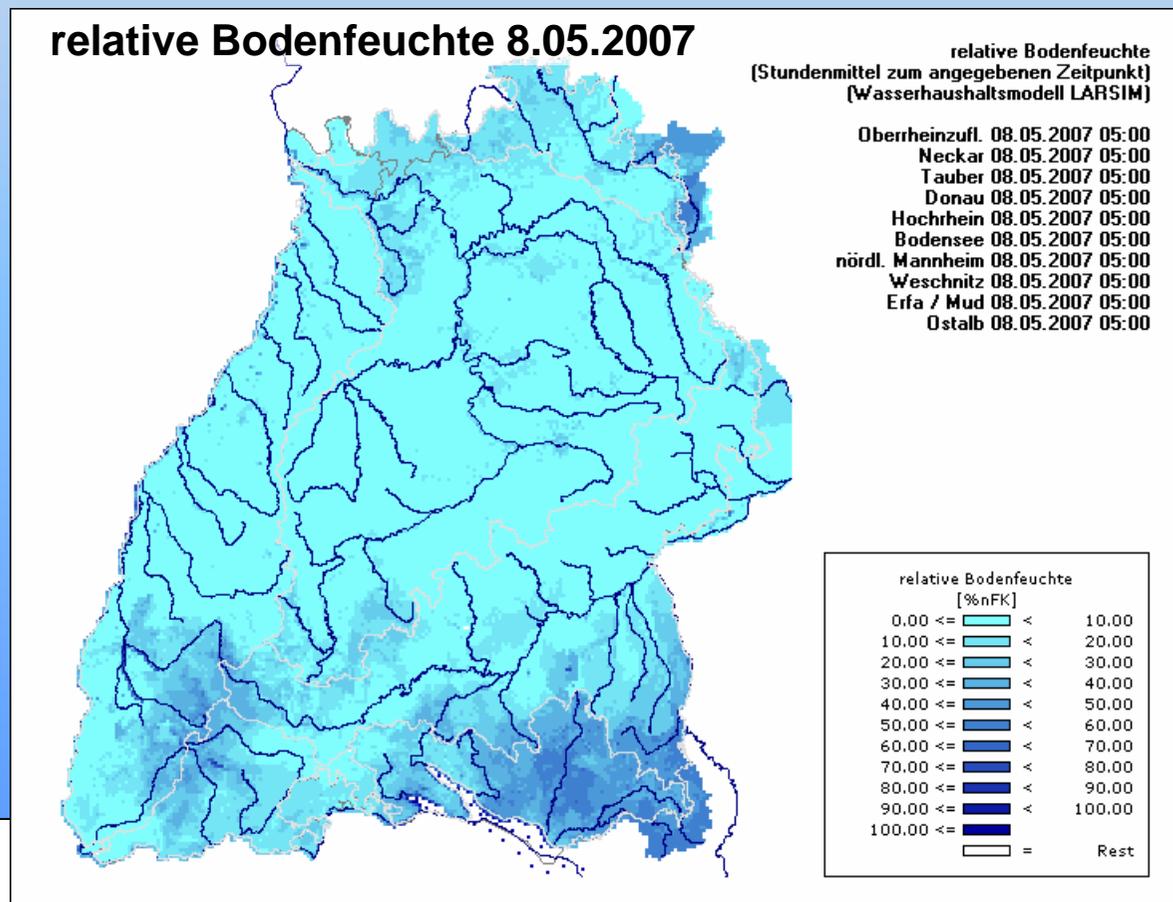
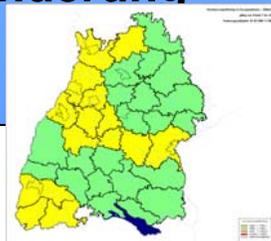
Wasserhaushaltsmodell mit VDB-Feld:

- feuchteabhängige **Aufteilung des Wasserdargebotes** als Funktion von Wassergehalt des Bodens und N-Intensität.
- Abbildung der relativen Durchlässigkeitsunterschiede **hydrogeologischer Strukturen**.
- weitere Verbesserungen bei der Grundwasserneubildung sowie bei der Niedrigwassermodellierung.
- geeignet zur landesweiten Berechnung der GW-Neubildung in hoher zeitlicher Auflösung sowohl für den **Ist-Zustand** des Klimas als auch für **Klimaszenarien**.

Bodenspeicher

Wasserhaushaltsmodell mit VDB-Feld:

- in sich geschlossene (d.h. widerspruchsfreie) Modellierung aller Wasserhaushaltskomponenten
- fachbereichsübergreifende Nutzung der WHM ermöglicht Synergieeffekte
- tägliche Bereitstellung von landesweit berechneten Grundwasser-Neubildungen aus den operationellen WHM
- offline-Berechnungen für historische Zeiträume und Szenarien der Klimaänderung
- ...



Bodenspeicher

- **Konsequenzen für die Praxis:**
 - **Der Bodenspeicher ist das zentrale Verteilersystem für den Abfluss**
 - **Nutzbare Feldkapazität geht als wichtige Systemeigenschaft ein (maximaler Inhalt des Bodenspeichers)**
 - **Die Parameter für den Bodenspeicher werden bei der Kalibrierung des Modells detailliert angepasst**
 - **Einflussmöglichkeiten des Anwenders: Nachkalibrierung der Bodenparameter**
 - **Aufgaben für den Anwender:**
 - **Kontrolle der berechneten Bodenfeuchte**
 - **Bei Verwendung von vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten: Kontrolle der berechneten Grundwasserneubildung**