

Berechnung der Infiltration im Wasserhaushaltsmodell LARSIM

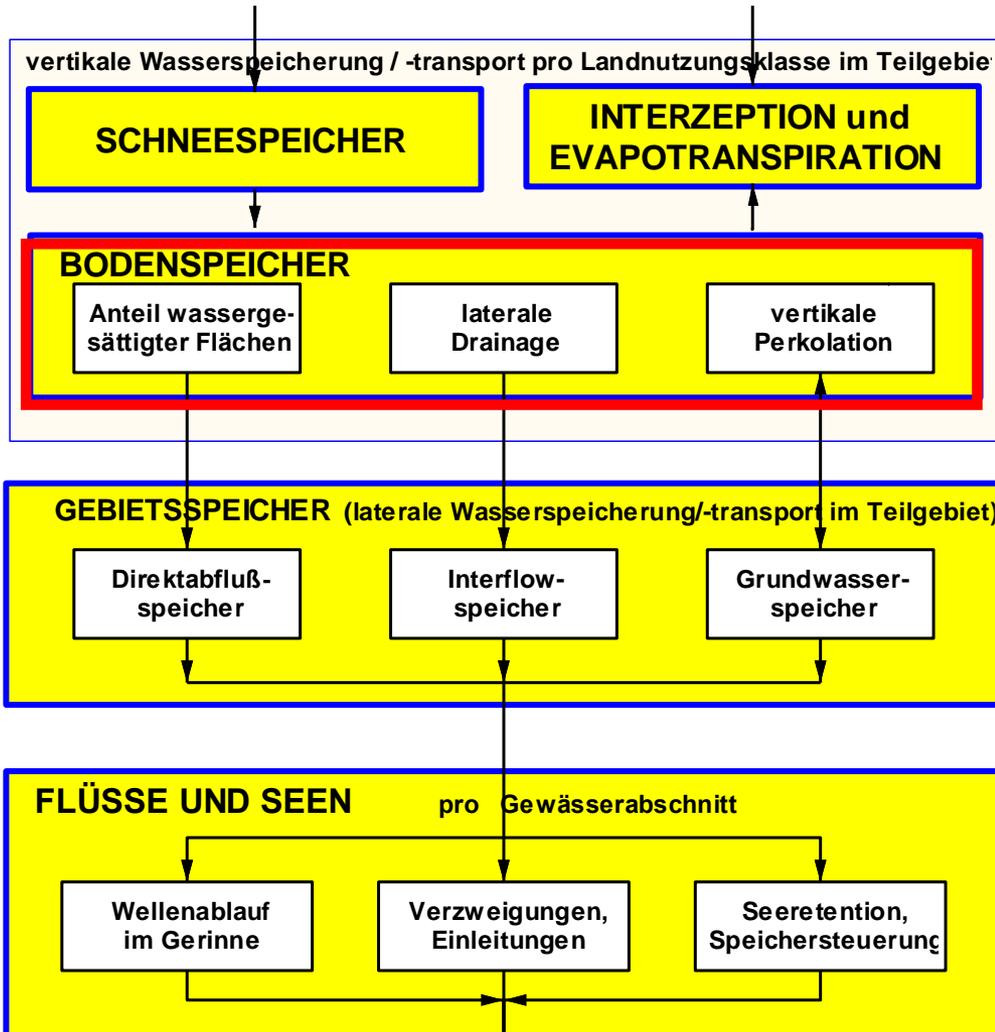
Dr.-Ing. Kai Gerlinger

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

Juni 2020

Bodenspeicher

Das Bodenmodul in LARSIM:

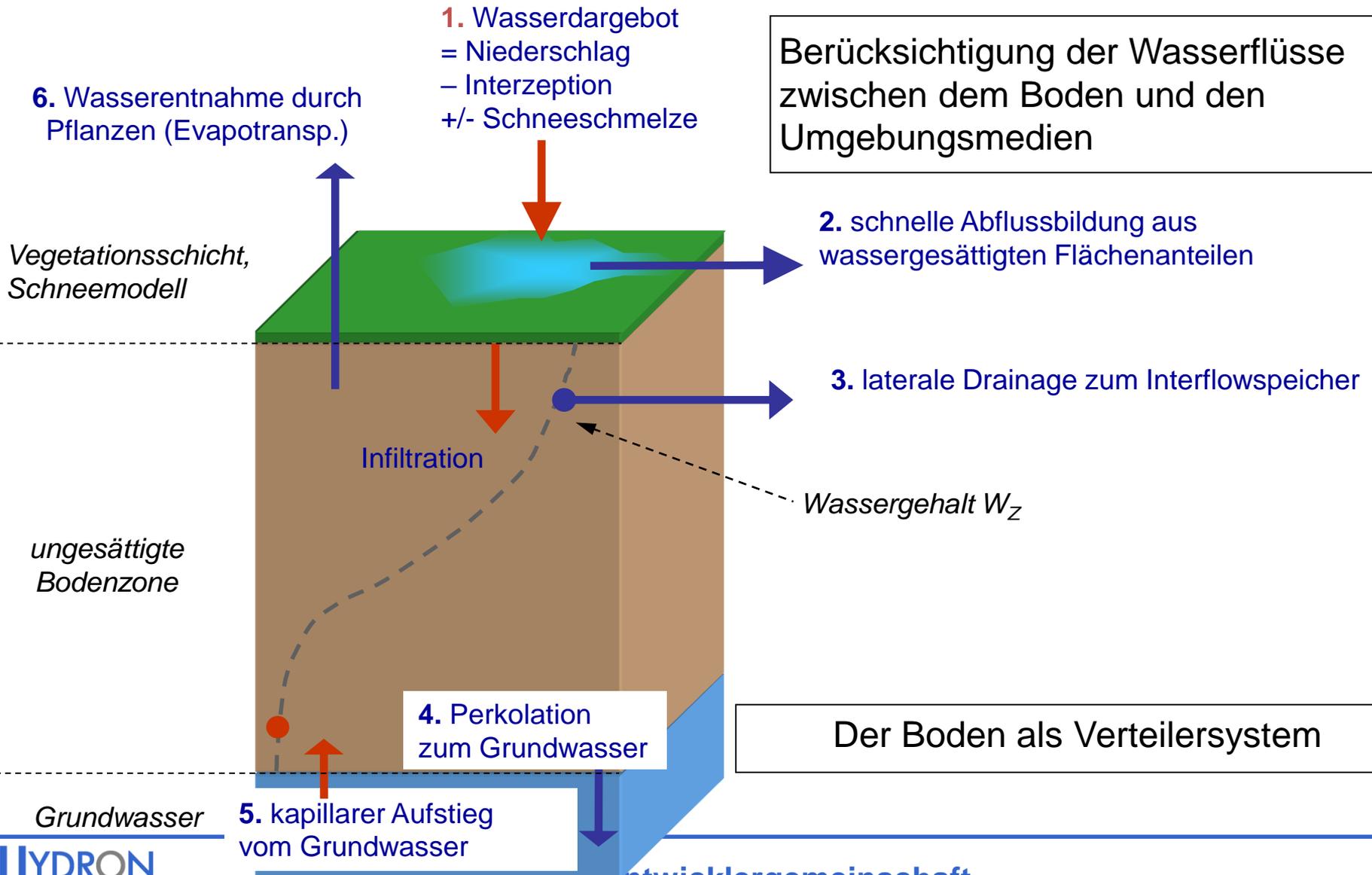


Der Boden ist das zentrale Regel- und Verteilersystem im Wasserkreislauf

Bodenmodell = Kompromiss, bezogen auf:

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

Bodenspeicher

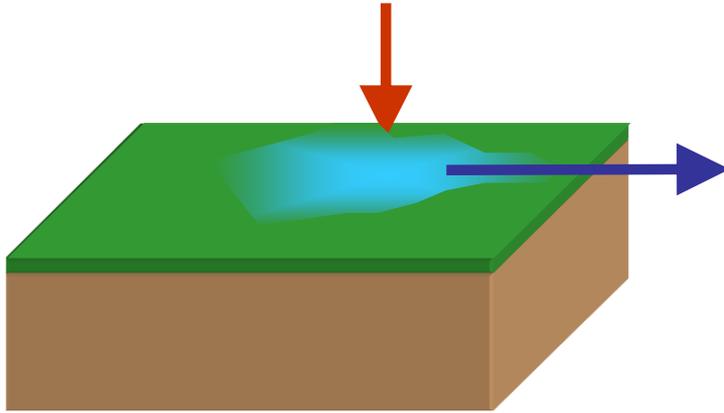


Berücksichtigung der Wasserflüsse zwischen dem Boden und den Umgebungsmedien

Der Boden als Verteilersystem

Bodenspeicher

Die Bodenfeuchte-Sättigungsflächen-Funktion:



Modellannahmen:

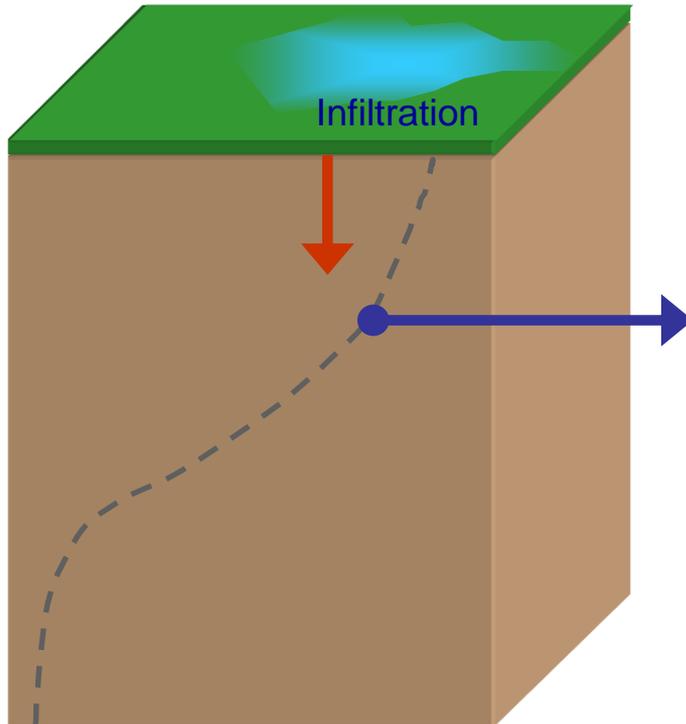
- Es gibt (zumindest zeitweise) wassergesättigte Bodenflächen im Teilgebiet
- Auf den wassergesättigten Böden findet eine schnelle Abflussbildung statt
- Zusammenhang zwischen dem Anteil der wassergesättigten Bodenfläche im Kompartiment und der aktuellen Bodenfeuchte in der Modell-Bodensäule



Overland runoff from disturbed areas often contains excessive sediment in addition to water. (USGS)

Bodenspeicher

Laterale Drainage (Abflussbildung für den Interflow):



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

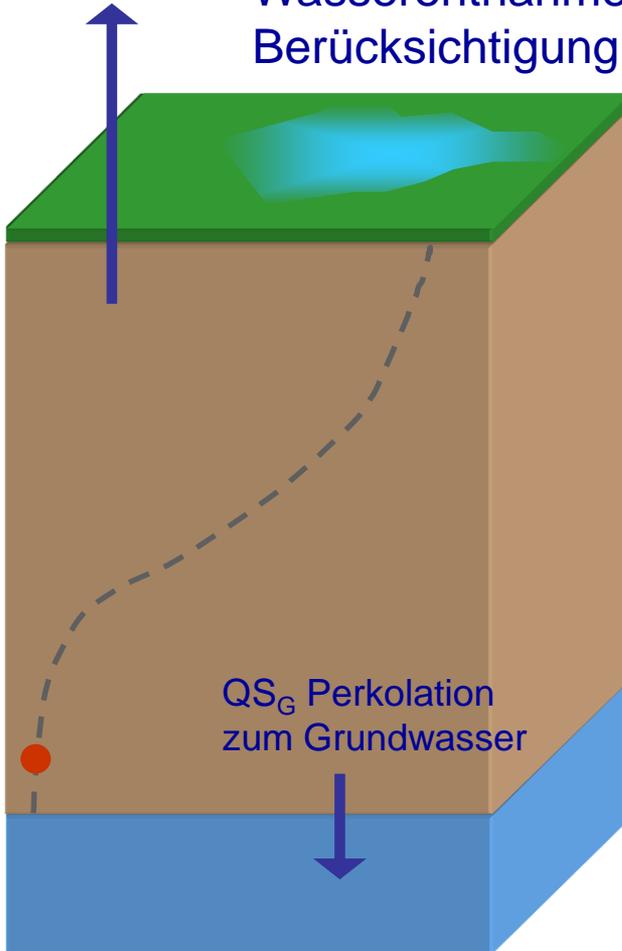
Differenz aus Wasserdargebot und oberflächennaher Wasserabgabe infiltriert in den Boden

In Abhängigkeit der aktuellen Bodenfeuchte springen unterschiedliche unterschiedliche Bodenwasserflüsse an

Bodenspeicher

Schnittstellen zu Atmosphäre:

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

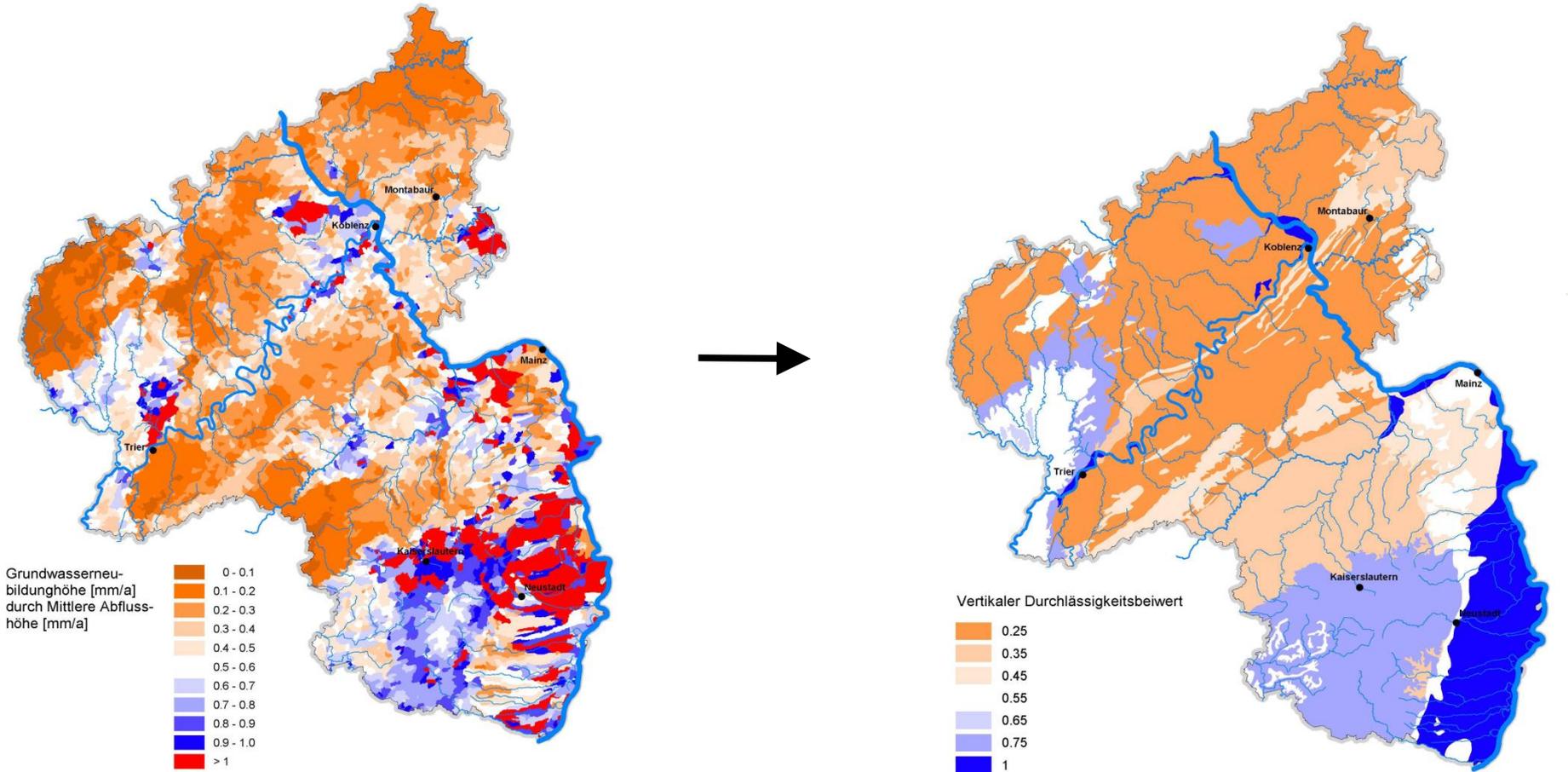


Schnittstellen zu Basisabfluss/Grundwasser:

Linearer Zusammenhang zwischen Wasserinhalt im Boden und Perkolations zum Grundwasser

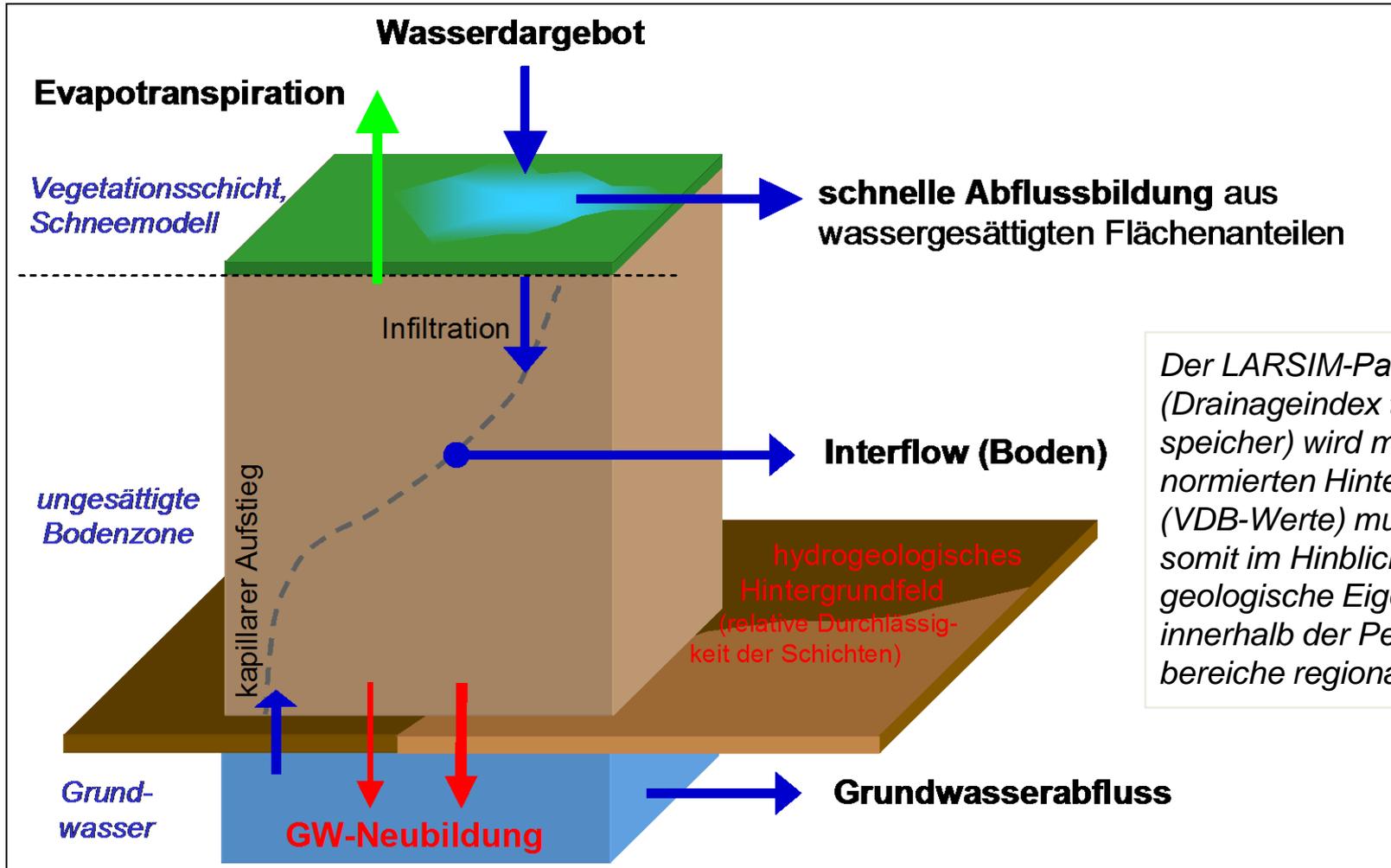
Bodenspeicher

Berücksichtigung der vertikalen Durchlässigkeitswerte (VDB)



Bodenspeicher

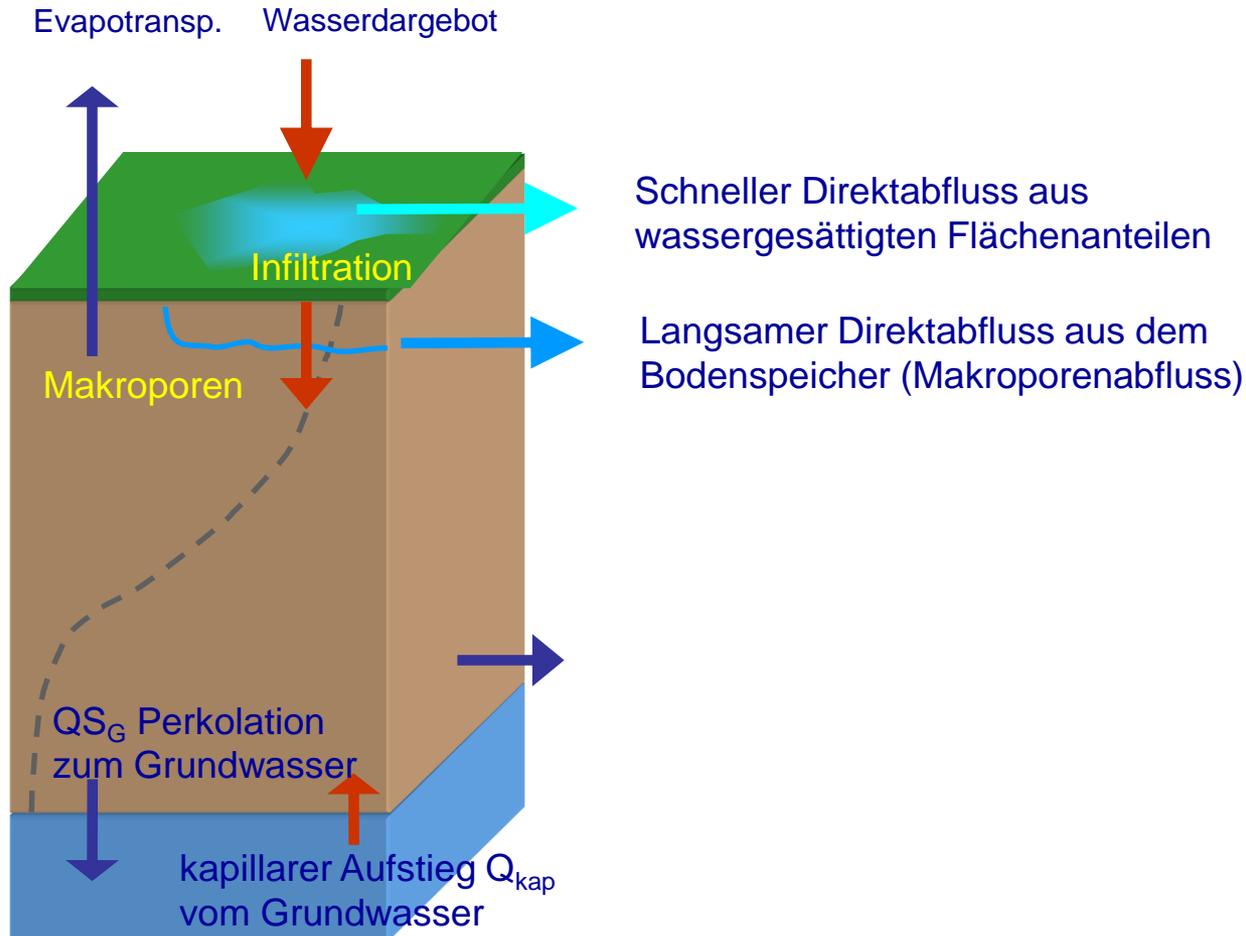
Berücksichtigung der vertikalen Durchlässigkeitswerte (VDB)



Der LARSIM-Parameter β (Drainageindex tiefer Bodenspeicher) wird mit dem normierten Hintergrundfeld (VDB-Werte) multipliziert und somit im Hinblick auf hydrogeologische Eigenschaften innerhalb der Pegelkontrollbereiche regionalisiert.

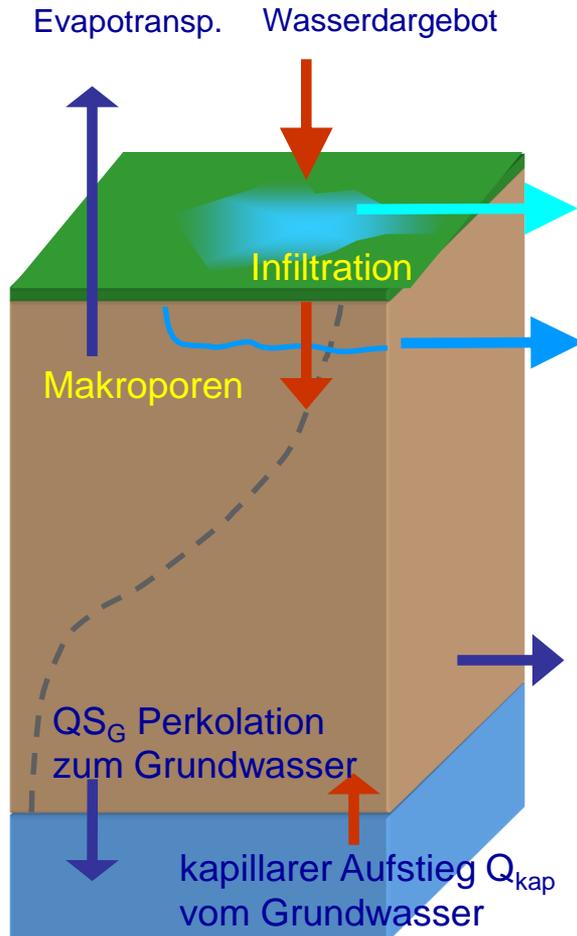
Bodenspeicher

Weiterentwicklungen des Bodenmoduls: Berücksichtigung von vier Abflusskomponenten



Bodenspeicher

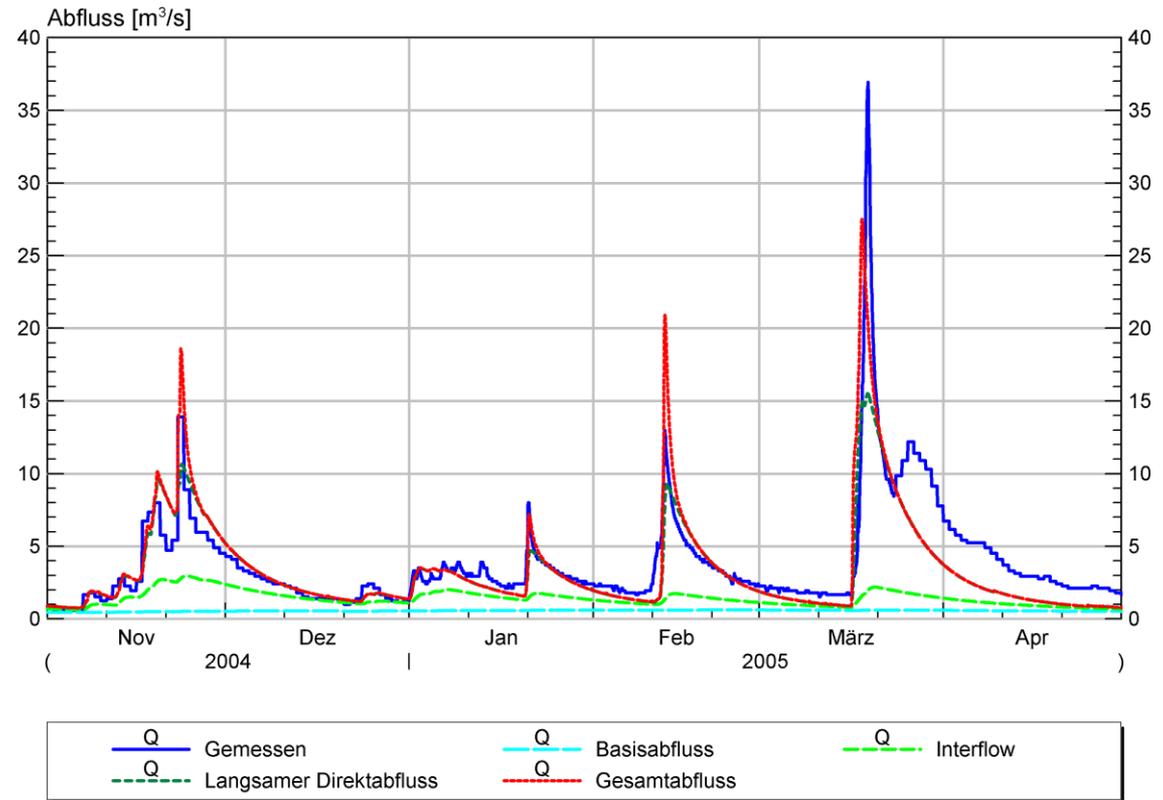
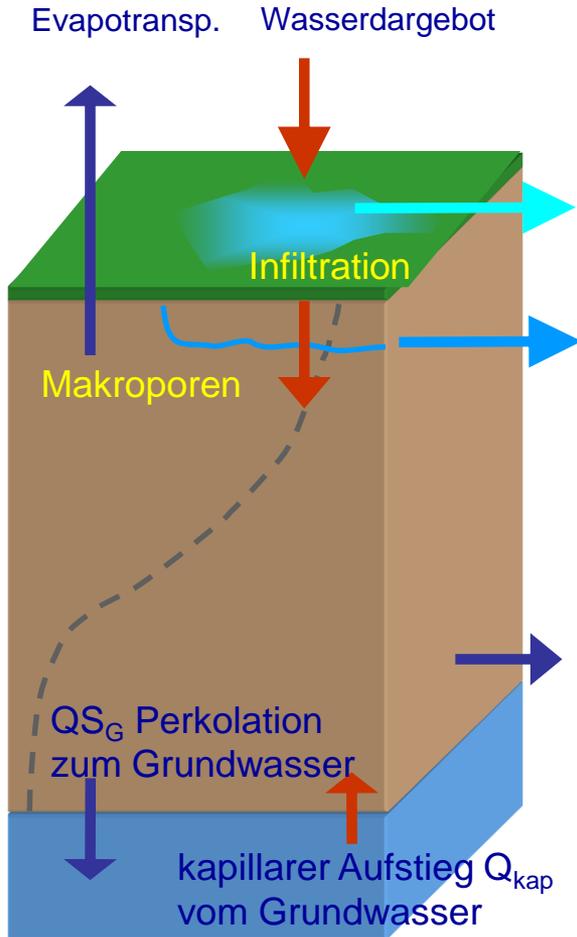
Weiterentwicklungen des Bodenmoduls: Berücksichtigung von vier Abflusskomponenten



- Bei Verwendung der Option wird der Direktabfluss in zwei Komponente aufgeteilt:
 - Ermittlung des Direktabflusses über die Bodenfeuchte-Sättigungsflächen-Funktion.
 - Aufteilung des Direktabflusses mit Hilfe eines Schwellenwerts (A_2 [mm/h]) in schnellen und langsamen Direktabfluss:
 - Direktabfluss unterhalb Schwellenwert: vollständig als langsamer Direktabflussspeicher.
 - Direktabflussanteil oberhalb Schwellenwert: zum Speicher für schnellen Direktabfluss.
 - Schwellenwert A_2 ist pegelkontrollbereichs-spezifische Kalibriergröße.

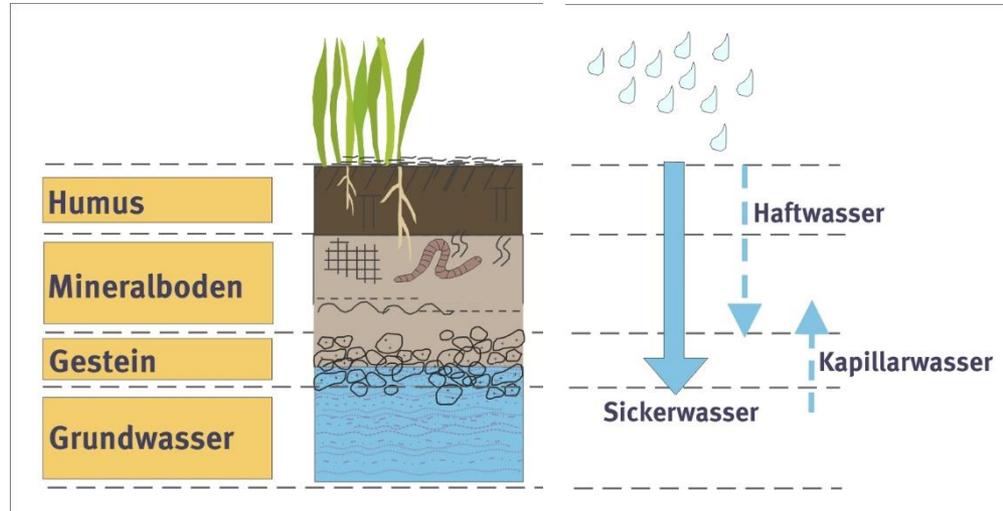
Bodenspeicher

Weiterentwicklungen des Bodenmoduls: Berücksichtigung von vier Abflusskomponenten



Bodenspeicher

Parametrisierung der Bodenspeicher-Eigenschaften:

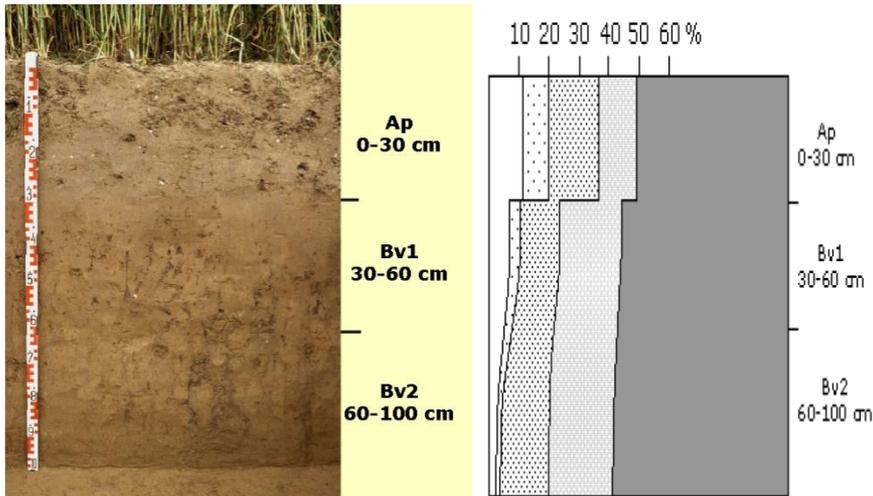


Kategorie	Ausprägungen			
Porenbereiche	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
pF-Wert	unter 1,8	1,8 bis 2,5	2,5 bis 4,2	über 4,2
Äquivalentdurchmesser in μm	über 50	50 bis 10	10 bis 0,2	unter 0,2
Funktion der Poren	schnell bewegliches	langsam bewegliches	pflanzenverfügbares	nicht pflanzenverfügbares
	Sickerwasser		Haftwasser	
Kennwerte	Luftkapazität LK		nutzbare Feldkapazität	Totwasser
Kurzzeichen	LK		nFK	TOT
	Gesamtporenvolumen			

Bodenspeicher

Parametrisierung der Bodenspeicher-Eigenschaften: Werte für die nutzbare Feldkapazität (mittlerer Bodenspeicher) und die Luftkapazität (oberer Bodenspeicher)

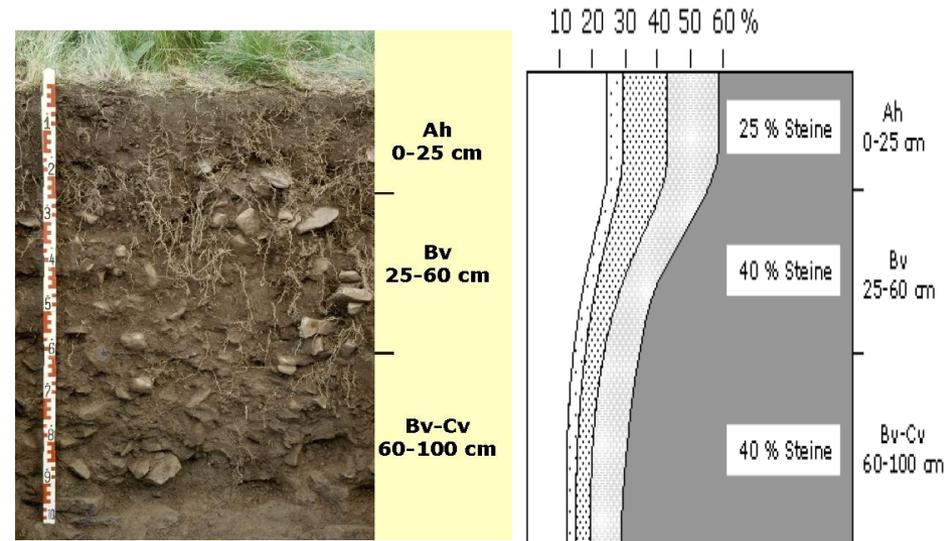
Braunerde aus Lösslehm



	LK [%]	nFK [%]	nFK [mm]
Ap	11	25	75
Bv1	8	15	45
Bv2	3	16	48

- >50 μ Ø Luftkapazität, LK
 - 10-50 μ Ø
 - 0,2-10 μ Ø
 - <0,2 μ Ø Totwasser, TW
 - feste Bodensubstanz
- } nutzbare Feldkapazität, nFK

Braunerde aus Basalt



	LK [%]	nFK [%]	nFK [mm]
Ah	24	18	44
Bv	16	12	42
Bv-Cv	13	10	20

Bodenspeicher

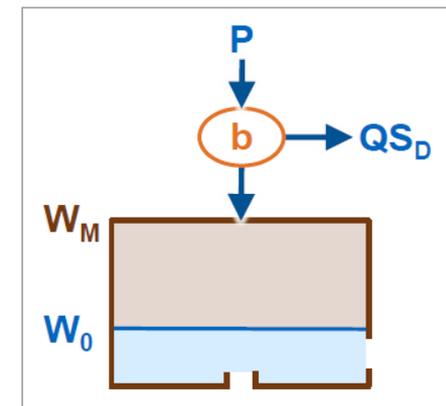
Beispiel: Berechnung des Direktabflusses

Lineare
Beziehung für
viel Abfluss

$$QS_{D+} = P - (W_m - W_0) * \Delta t$$



W_0	Akt. Bodenwassergehalt	[mm]
W_m	Max. Bodenwassergehalt	[mm]
P	Wasserdargebot	[mm]
QS_{D+}	Schneller & langsamer Direktabfluss	[mm]
b	Modellparameter BSF	



Bodenspeicher

Beispiel: Berechnung des Direktabflusses

Lineare
Beziehung für
viel Abfluss

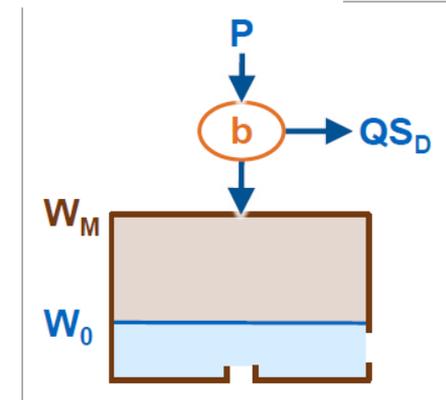
$$QS_{D+} = P - (W_m - W_0) * \Delta t$$

Nicht-lineare
Beziehung für
weniger
Abfluss

$$QS_{D+} = \left[P - (W_m - W_0) + W_m * \left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b) * W_m} \right)^{b+1} \right] * \Delta t$$

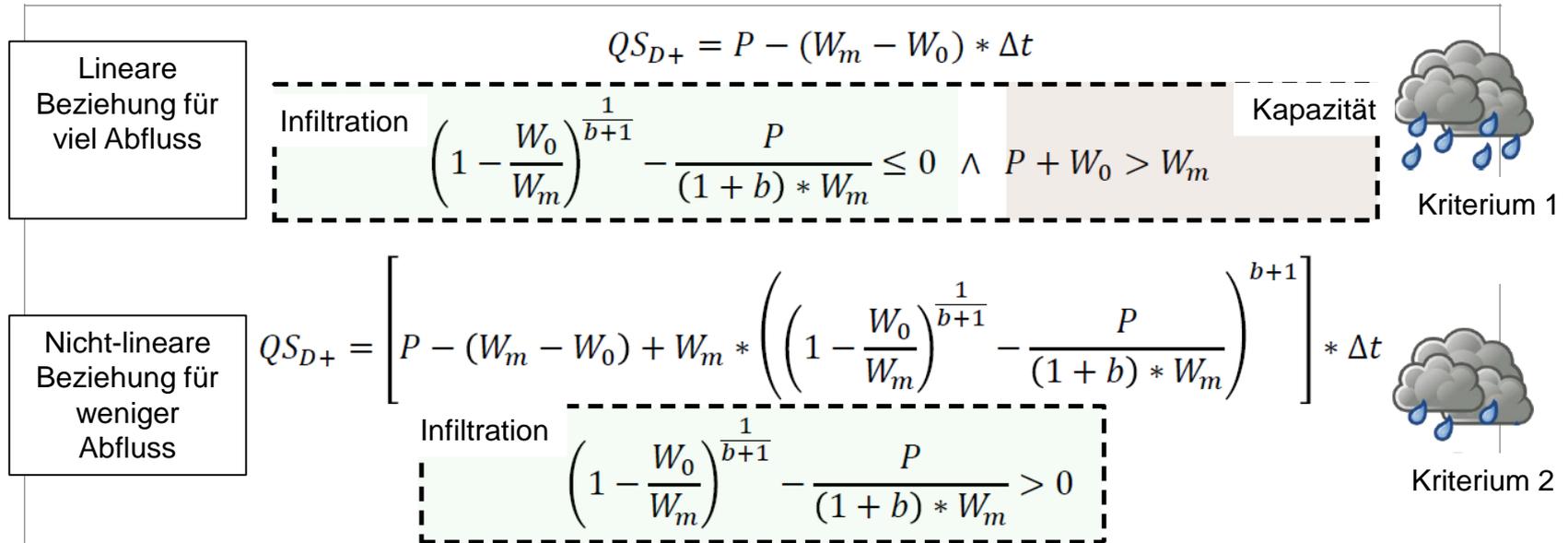


W_0	Akt. Bodenwassergehalt	[mm]
W_m	Max. Bodenwassergehalt	[mm]
P	Wasserdargebot	[mm]
QS_{D+}	Schneller & langsamer Direktabfluss	[mm]
b	Modellparameter BSF	

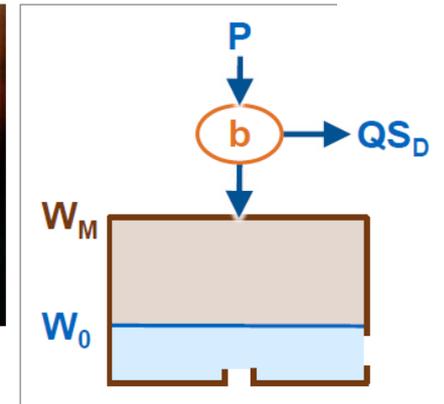


Bodenspeicher

Beispiel: Berechnung des Direktabflusses



- W_0 Akt. Bodenwassergehalt [mm]
- W_m Max. Bodenwassergehalt [mm]
- P Wasserdargebot [mm]
- QS_{D+} Schneller & langsamer Direktabfluss [mm]
- b Modellparameter BSF



Bodenspeicher

Beispiel: Berechnung des Direktabflusses



$$W_M = FC_u = 143 \text{ [mm]}$$

$$W_Z = 0.7 \cdot W_M = 100 \text{ [mm]}$$

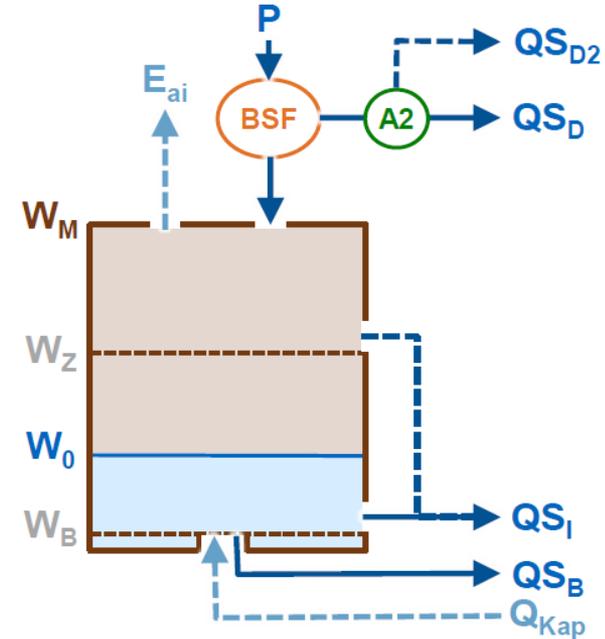
$$W_B = 0.05 \cdot W_B = 7.15 \text{ [mm]}$$

$$W_0 = 130 \text{ [mm]}$$

$$P = 40 \text{ [mm]}$$

$$b = 0.1$$

$$A2 = 1.5$$



Kriterium 1: $P + W_0 > W_M \rightarrow 40 + 130 = 170 > 140$

Kriterium 2: $\left(1 - \frac{W_0}{W_m}\right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(1+b) \cdot W_m} \leq 0 \rightarrow \left(1 - \frac{130}{143}\right)^{\frac{1}{0.1+1}} - \frac{40}{(1+0.1) \cdot 143} = -0.141 < 0$

Direktabfluss: $QS_{D+} = P - (W_m - W_0) = 40 - (143 - 130) = 27 \text{ [mm]}$

Schneller Direktabfluss: $QS_{D2} = QS_{D+} - A2 = 27 - 1.5 = 25.5 \text{ [mm]}$

Langsamer Direktabfluss: $QS_D = A2 = 1.5 \text{ [mm]}$

Bodenspeicher

Beispiel: Berechnung des Interflows



$$W_M = FC_u = 143 \text{ [mm]}$$

$$W_Z = 0.7 \cdot W_M = 100 \text{ [mm]}$$

$$W_B = 0.05 \cdot W_B = 7.15 \text{ [mm]}$$

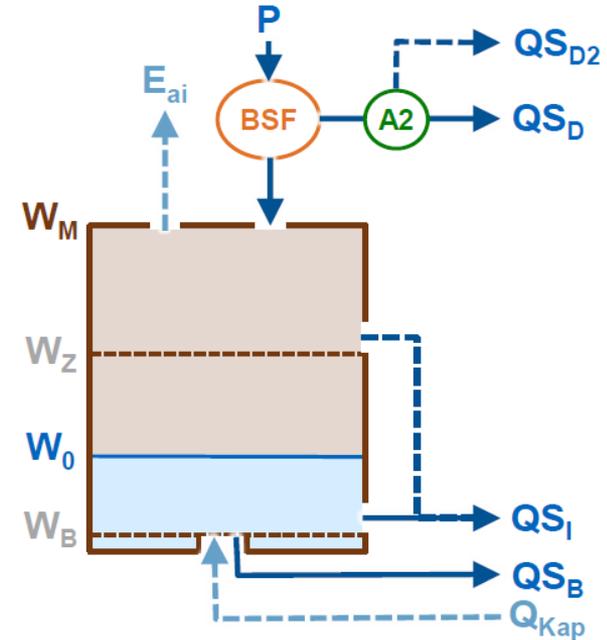
$$W_0 = 130 \text{ [mm]}$$

$$P = 40 \text{ [mm]}$$

$$b = 0.1$$

$$A2 = 1.5 \text{ [mm]}$$

$$D_{max} = 3 \text{ [mm]}$$



Kriterium: $W_0 \geq W_Z \rightarrow 130 > 100$

Interflow: $QS_I = 0 + (D_{max} - 0) \cdot \left(\frac{W_0 - W_Z}{W_m - W_Z}\right)^{1.5} = 3 \cdot \left(\frac{130 - 100}{143 - 100}\right)^{1.5} = 1.75 \text{ [mm]}$

Bodenspeicher

Beispiel: Berechnung des Basisabflusses

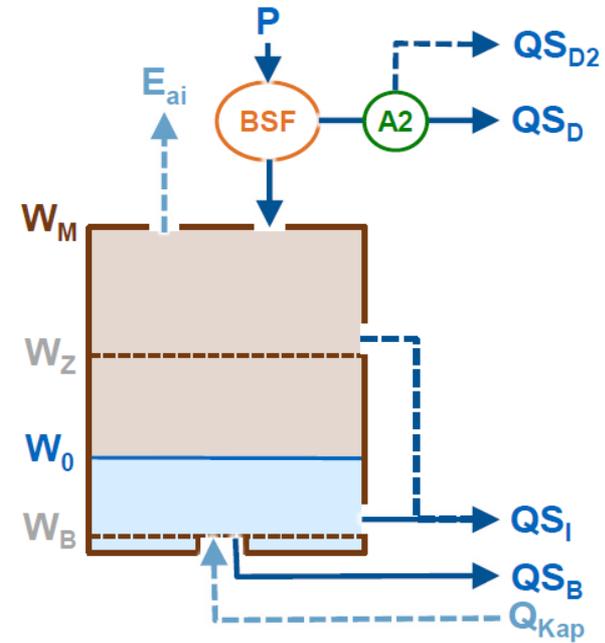


$$W_M = FC_u = 143 \text{ [mm]}$$
$$W_Z = 0.7 \cdot W_M = 100 \text{ [mm]}$$
$$W_B = 0.05 \cdot W_B = 7.15 \text{ [mm]}$$

$$W_0 = 130 \text{ [mm]}$$
$$P = 40 \text{ [mm]}$$
$$b = 0.1$$
$$A2 = 1.5 \text{ [mm]}$$
$$D_{max} = 3 \text{ [mm]}$$
$$\beta = 0.015 \text{ [mm]}$$

Kriterium: $W_0 > W_B \rightarrow 130 > 7.15$

Basisabfluss: $QS_B = \beta \cdot (W_0 - W_B) = 0.015 \cdot (130 - 7.15) = \mathbf{1.84 \text{ [mm]}}$

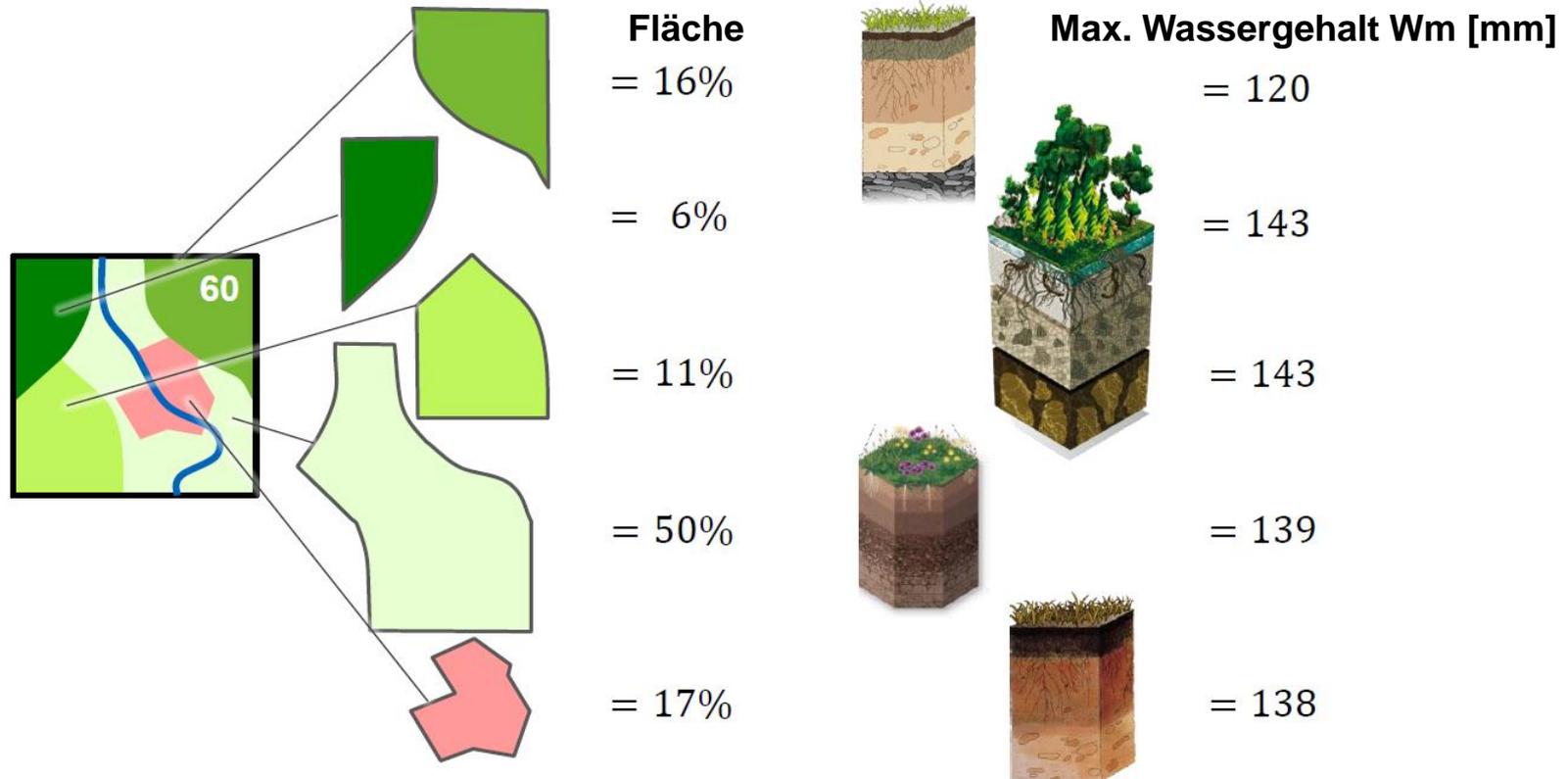


Bodenspeicher

1. Bodenspeicher ohne erweiterte Bodenparameter

Subskalige Prozessbeschreibung innerhalb der Raster / Teilgebiete:

Separate Modellierung des Wasserhaushalts für die gekoppelten Landnutzungs-/
Bodenkompartimente innerhalb der Modellelemente

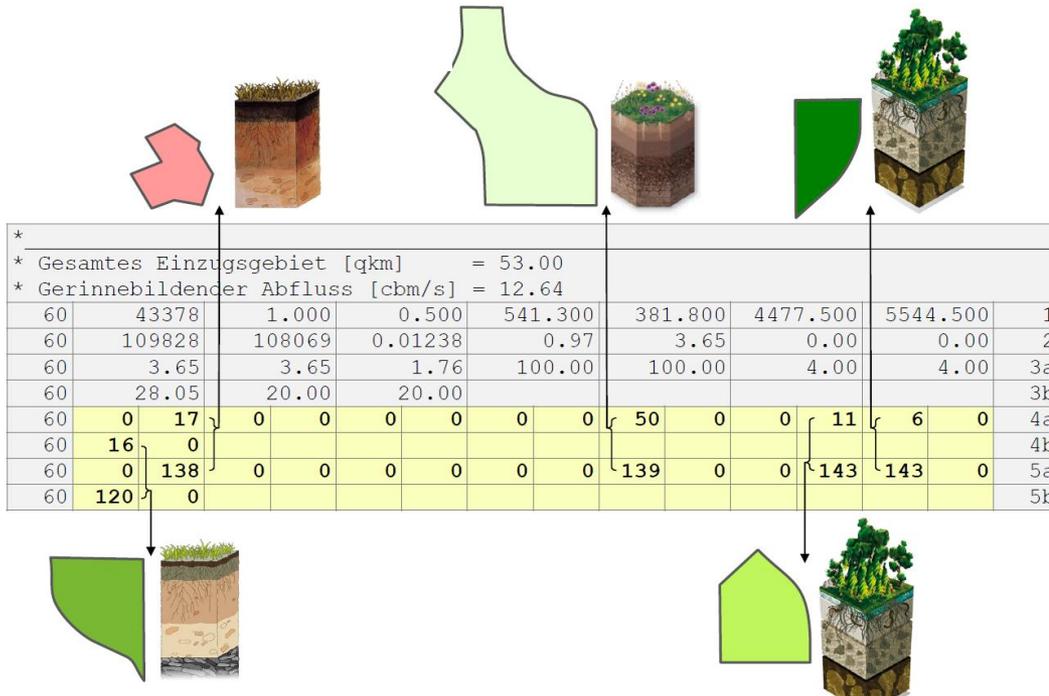


Bodenspeicher

1. Bodenspeicher ohne erweiterte Bodenparameter

Subskalige Prozessbeschreibung innerhalb der Raster / Teilgebiete:

Disse & Mitterer 2017



TGB	UTGB	FTanteil	Wm	LN
60	1	17	138	2
60	2	50	139	9
60	3	11	143	12
60	4	6	143	13
60	5	16	120	15

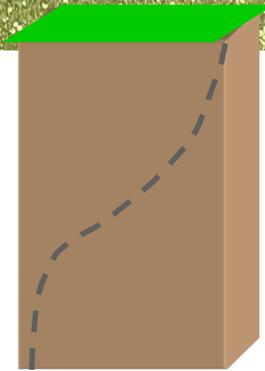
<tape12>

<utgb.dat>

Bodenspeicher

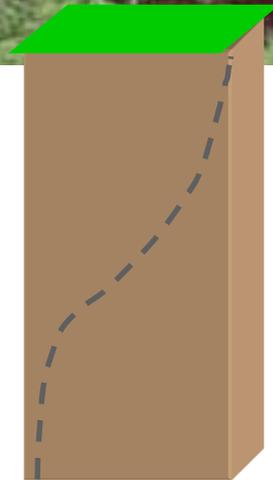
1. Bodenspeicher ohne erweiterte Bodenparameter

Subskalige Prozessbeschreibung innerhalb der Raster / Teilgebiete:



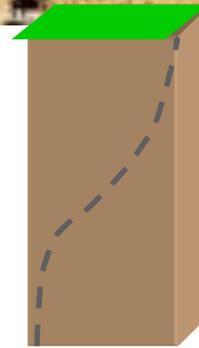
37 ha Wiese

auf Boden mit
Parametersatz A



24 ha Mischwald

auf Boden mit
Parametersatz B



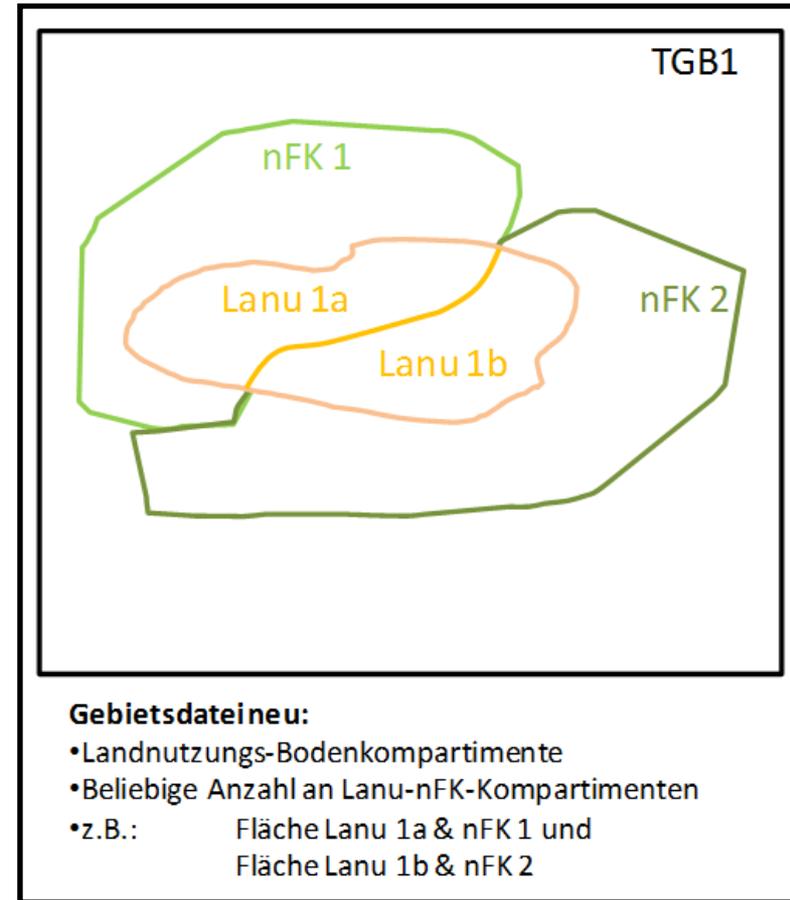
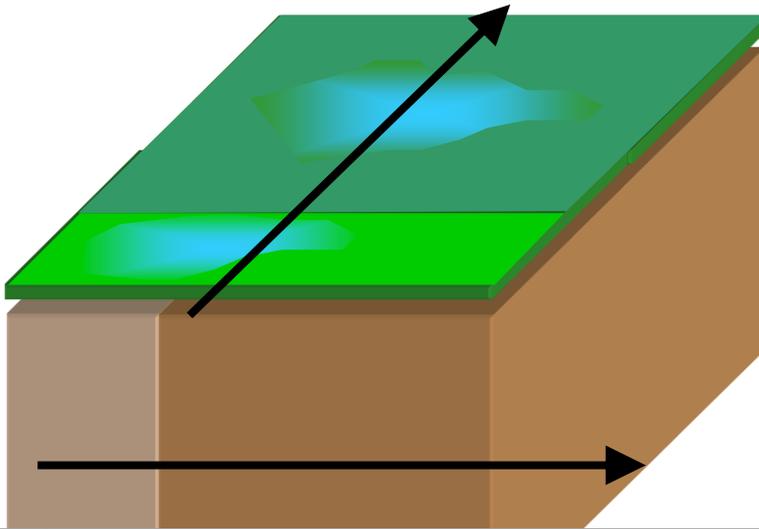
39 ha Weizen

auf Boden mit
Parametersatz C

Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

- 2D-Matrix für Landnutzungs- und Bodenklassen innerhalb der Modellelemente

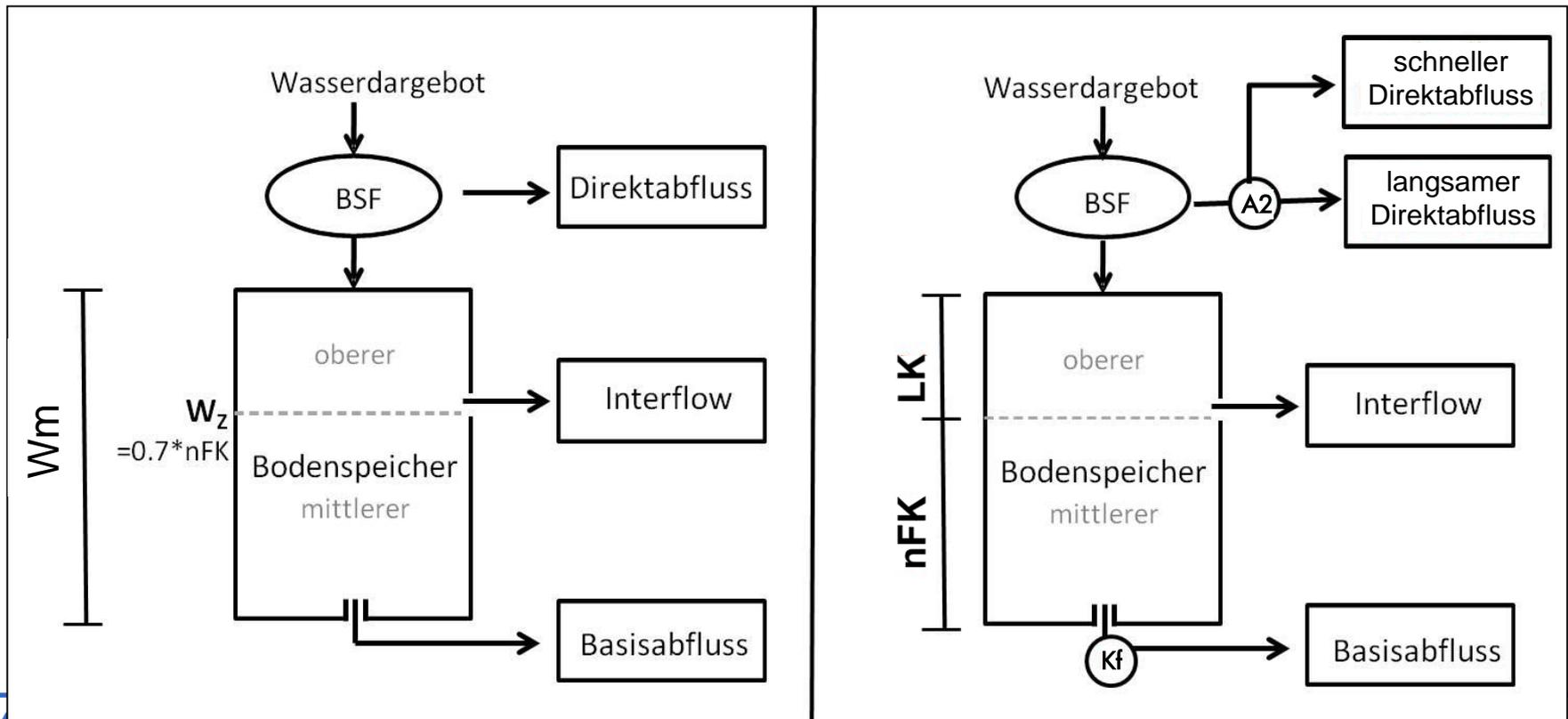


TGB XY		Landnutzungs-klasse						
		1	2	3	4	5	6	7
Nutzbare Feldkapazitätsklasse	1	10,1%	-	5,0%	-	-	0,1%	3,0%
	2	0,3%	-	-	2,1%	-	-	0,5%
	3	1,1%	-	-	1,1%	-	-	-
	4	-	-	14,8%	0,3%	0,2%	0,2%	-
	5	-	-	0,2%	0,4%	48,5%	0,1%	2,5%
	6	8,5%	-	-	1,0%	-	-	-

Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

- Nutzung von nutzbarer Feldkapazität und Luftkapazität:
 - Korrekte Aufteilung und räumliche Differenzierung zwischen (schnell drainierenden) Grobporen und Mittelporen statt starrem Schwellenwert W_z
 - Realistischeres Gesamt-Porenvolumen

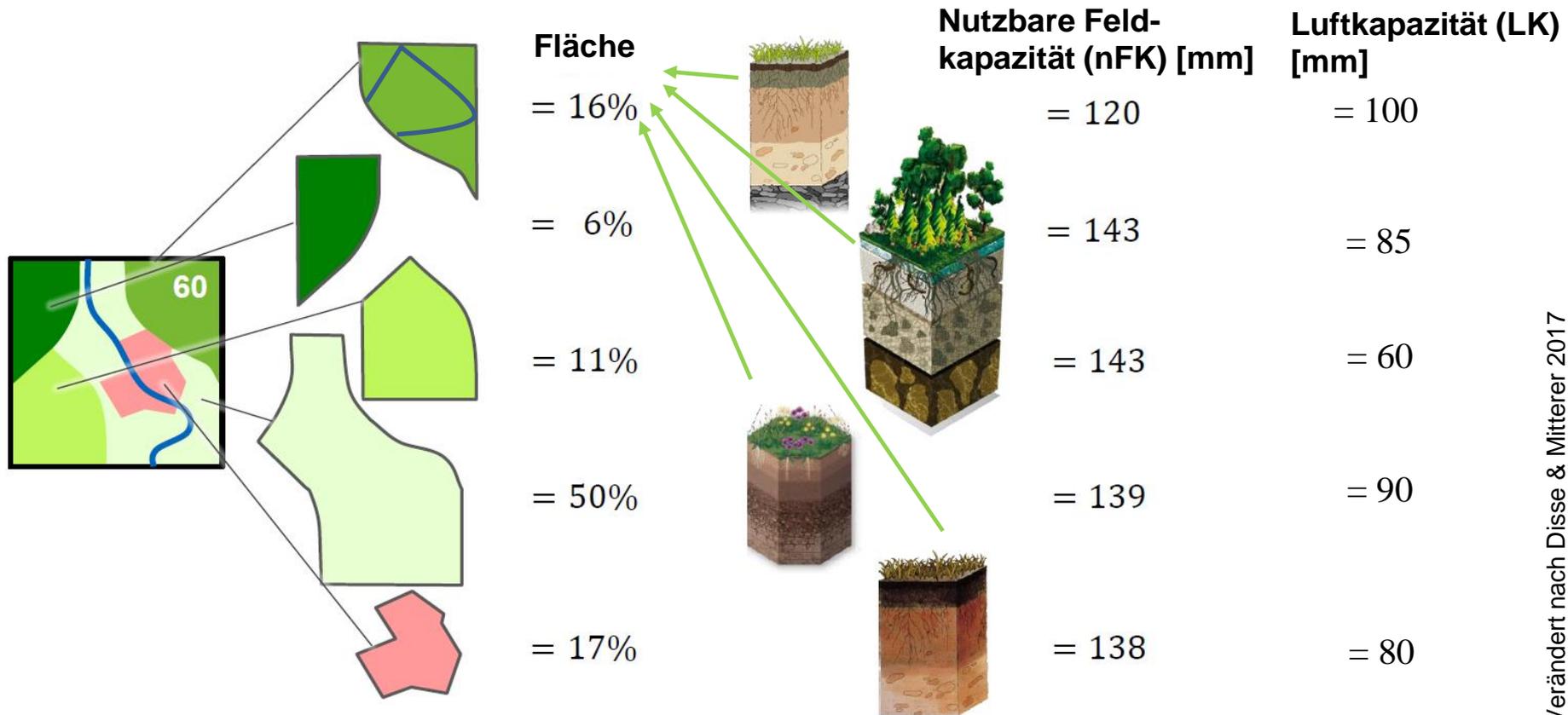


Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

Subskalige Prozessbeschreibung innerhalb der Raster / Teilgebiete:

Separate Modellierung des Wasserhaushalts für die gekoppelten Landnutzungs-/ Bodenkompartimente innerhalb der Modellelemente



Verändert nach Disse & Mitterer 2017

Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

Räumliche Unterteilung in

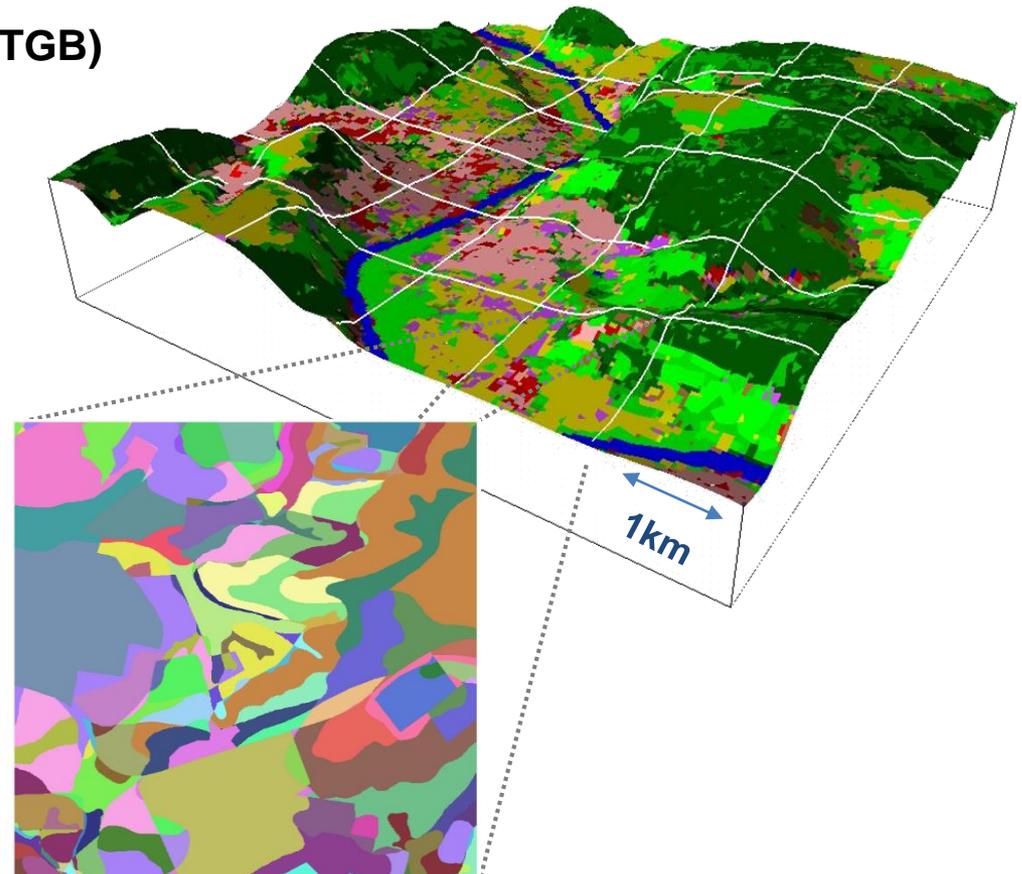
- Teilgebiete (TGB) und
- subskalige Unterteilgebiete (UTGB)

Unter-TGB bzw. Landnutzungs-
Boden-Kompartimente werden auch
als Hydrotope bezeichnet

Hydrotope = Flächen gleicher
Landnutzung und ähnlicher
Bodenparameter innerhalb des TGB

→ resultieren aus Verschneidung von
Landnutzung und Bodenparametern

WHM Neckar: Im Mittel 22,5
Hydrotope je TGB



Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

Räumliche Unterteilung in

- **Teilgebiete (TGB) und**
- **subskalige Unterteilgebiete (UTGB)**

Unter-TGB bzw. Landnutzungs-Boden-Kompartimente werden auch als Hydrotope bezeichnet

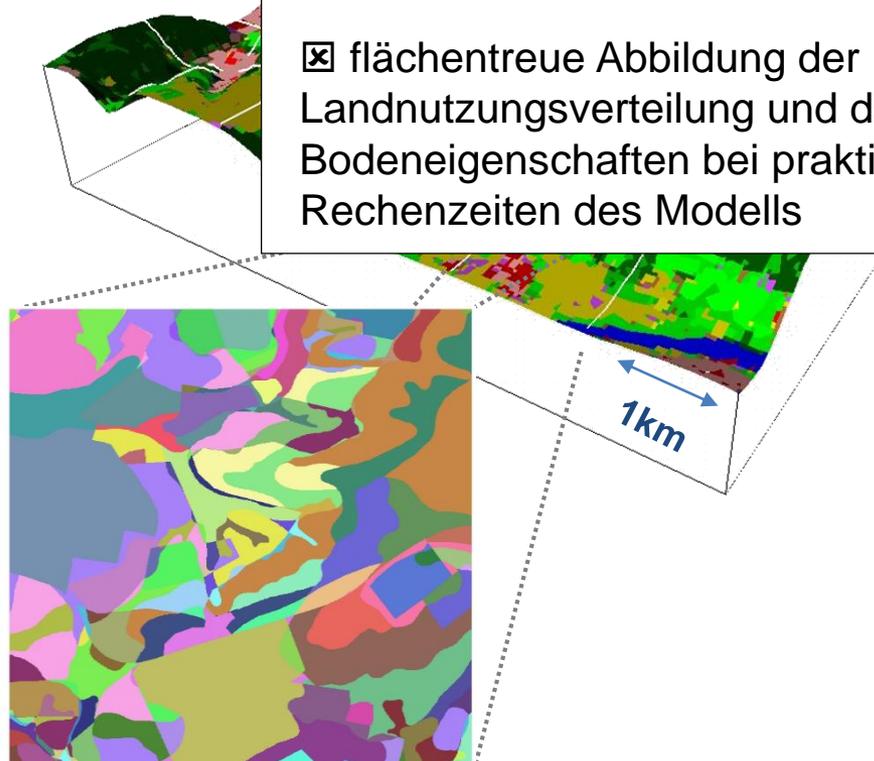
Hydrotope = Flächen gleicher Landnutzung und ähnlicher Bodenparameter innerhalb des TGB

→ resultieren aus Verschneidung von Landnutzung und Bodenparametern

WHM Neckar: Im Mittel 22,5 Hydrotope je TGB

☒ räumliche Lage der einzelnen Landnutzungs-Boden-Kompartimente innerhalb der Modellelemente wird vernachlässigt.

☒ flächentreue Abbildung der Landnutzungsverteilung und der Bodeneigenschaften bei praktikablen Rechenzeiten des Modells



Bodenspeicher

2. Bodenspeicher mit erweiterten Bodenparametern

Festlegung der Gebietseigenschaften der Landnutzungs-Boden-Kompartimente in der Datei <tape12> oder in der Datei <utgb.dat>

```

*
* gesamtes Einzugsgebiet [qkm] = 1.73
* Gerinnebildender Abfluss [cbm/s] = 0.31
23282541162900 x.xxx 1.231 669.300 571.700 2578.530 5509.250 1
2328 240602 240601 2
2328 3a
2328 3b
* TGB LN BPTy Fläche NFK LK KapA VDB NrBf Kf InfM VF
2328BP 11 8 0.276 122. 67. 0.0 0.25 4638 4 20.0 -9.0
2328BP 12 8 0.126 122. 67. 0.0 0.25 4638 4 20.0 -9.0
2328BP 13 8 0.361 122. 67. 0.0 0.25 4638 4 20.0 -9.0
2328BP 11 9 0.084 146. 63. 0.0 0.25 4670 2 20.0 -9.0
2328BP 13 9 0.038 146. 63. 0.0 0.25 4670 2 20.0 -9.0
*
* gesamtes Einzugsgebiet [qkm] = 10.85
* Gerinnebildender Abfluss [cbm/s] = 1.59
23292541163100 x.xxx 0.784 731.650 552.200 2579.050 5507.860 1
2329 240601 238754 0.02015 0.54 1.14 0.00 0.00 2
2329 1.14 1.14 0.85 100.00 100.00 4.00 4.00 3a
2329 27.28 20.00 20.00 3b
* TGB LN BPTy Fläche NFK LK KapA VDB NrBf Kf InfM VF
2329BP 11 8 0.257 122. 67. 0.0 0.13 4638 4 20.0 -9.0
2329BP 12 8 0.024 122. 67. 0.0 0.13 4638 4 20.0 -9.0
2329BP 13 8 0.078 122. 67. 0.0 0.13 4638 4 20.0 -9.0
2329BP 11 7 0.231 136. 55. 0.0 0.13 4645 2 20.0 -9.0
2329BP 13 7 0.177 136. 55. 0.0 0.13 4645 2 20.0 -9.0

```

Beispiel für eine <utgb.dat>

Maximale Anzahl an Unterteilgebieten: 38

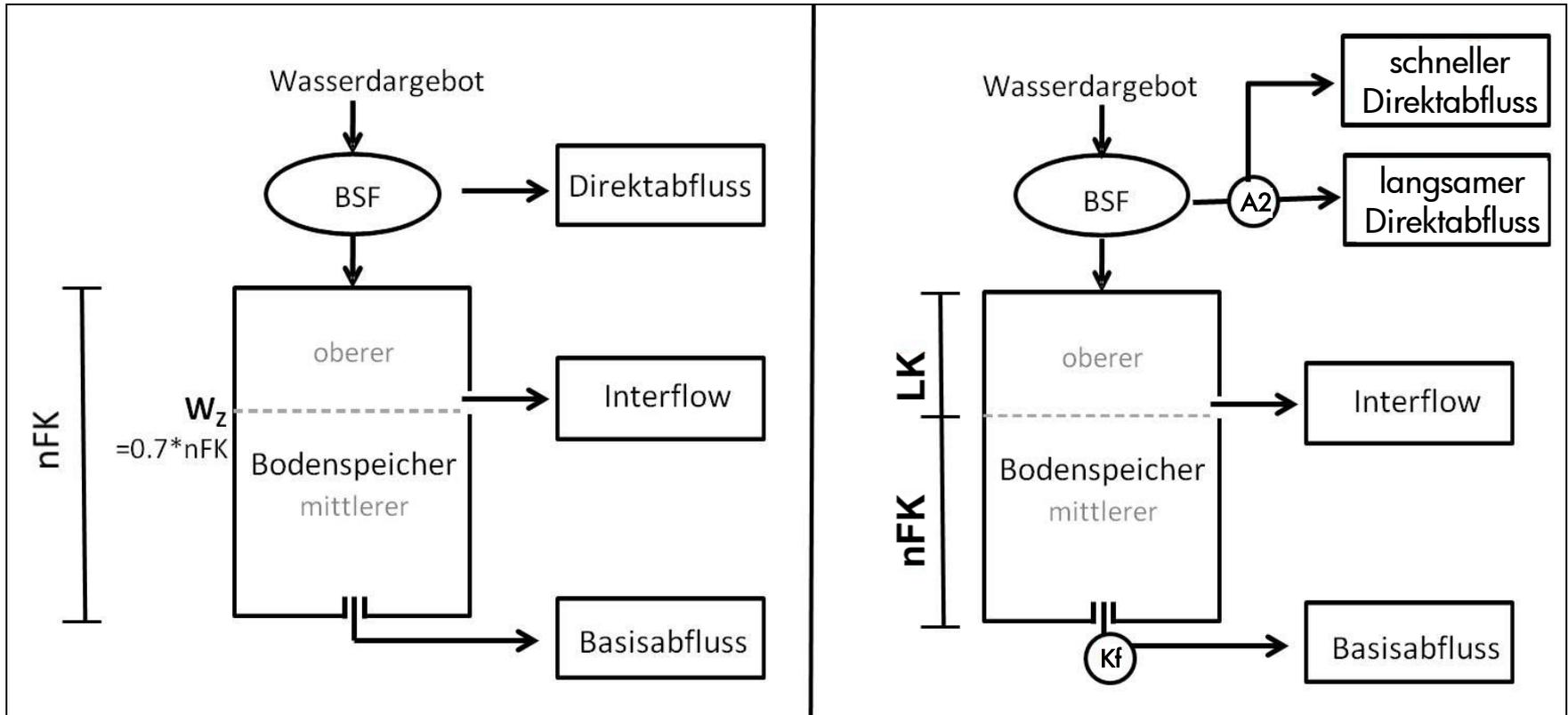
TGB;	UTGB;	LN;	Flaeche;	nFK;	LK;	KapA;	VDB;
1;	1;	2;	0.27141;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	2;	2;	0.00560;	130;	80;	0.00;	0.100;
1;	3;	2;	0.05944;	75;	140;	0.00;	0.625;
1;	4;	3;	0.03156;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	5;	5;	0.44562;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	6;	5;	0.06966;	130;	80;	0.00;	0.100;
1;	7;	8;	0.01496;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	8;	8;	0.02150;	130;	80;	0.00;	0.100;
1;	9;	8;	0.02173;	75;	140;	0.00;	0.625;
1;	10;	9;	0.00120;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	11;	11;	0.00088;	115;	100;	0.00;	1.000;
1;	12;	11;	0.00226;	130;	80;	0.00;	0.100;
1;	13;	12;	0.00184;	130;	80;	0.00;	0.100;
1;	14;	12;	0.00865;	54;	40;	0.25;	1.000;
1;	15;	12;	0.03990;	75;	140;	0.00;	0.625;
1;	16;	15;	0.00379;	0;	0;	0.00;	1.000;
2;	1;	2;	0.02672;	115;	100;	0.00;	1.000;
2;	2;	2;	0.00159;	120;	80;	0.00;	0.100;
2;	3;	2;	0.00077;	150;	100;	0.00;	0.250;
2;	4;	2;	0.00191;	90;	60;	0.00;	0.250;
2;	5;	3;	0.00163;	115;	100;	0.00;	1.000;
2;	6;	3;	0.00062;	120;	80;	0.00;	0.100;
2;	7;	5;	0.00334;	110;	40;	0.00;	0.100;
2;	8;	5;	0.52990;	115;	100;	0.00;	1.000;
2;	9;	5;	0.06446;	120;	60;	0.00;	0.100;
2;	10;	5;	0.10457;	130;	80;	0.00;	0.100;
2;	11;	5;	0.07471;	135;	80;	0.00;	0.375;
2;	12;	5;	0.00179;	150;	100;	0.00;	0.250;
2;	13;	5;	0.07085;	90;	60;	0.00;	0.250;
2;	14;	8;	0.01022;	120;	80;	0.00;	0.100;
2;	15;	8;	0.01620;	115;	100;	0.00;	1.000;
2;	16;	8;	0.00080;	90;	60;	0.00;	0.250;
2;	17;	8;	0.00736;	130;	80;	0.00;	0.100;
2;	18;	12;	0.00568;	130;	80;	0.00;	0.100;
2;	19;	12;	0.07685;	115;	100;	0.00;	1.000;

[...]

Bodenspeicher

3. Berücksichtigung der kf-Werte (Stauhorizonte)

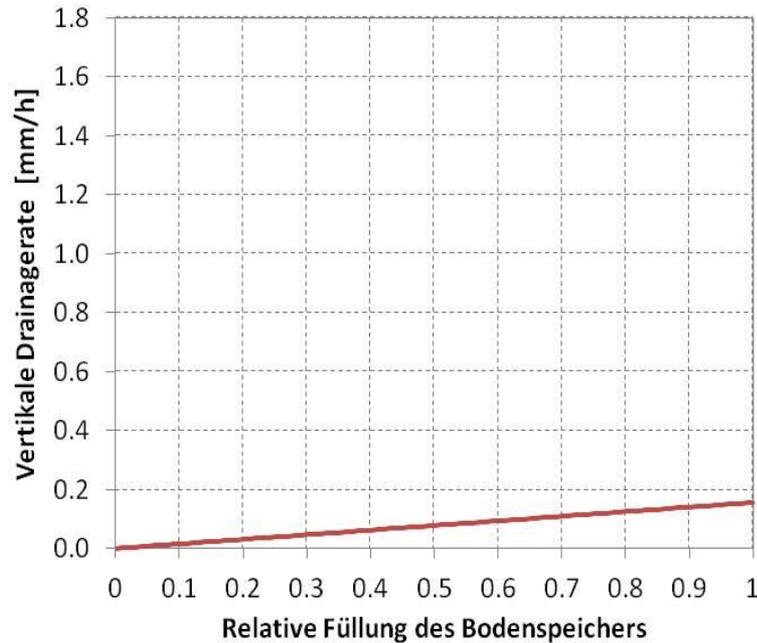
- Beeinflussung der Tiefenversickerung (Grundwasserneubildung)
- Neigung zur Sättigung des Bodens und Ausbildung von Direktabfluss
- LARSIM-Modifikation zur Landnutzungs-Boden-spezifischen Vorgabe von VDB



Bodenspeicher

4. Exponentielle Zunahme der Tiefenversickerung im Grobporenbereich (LK)

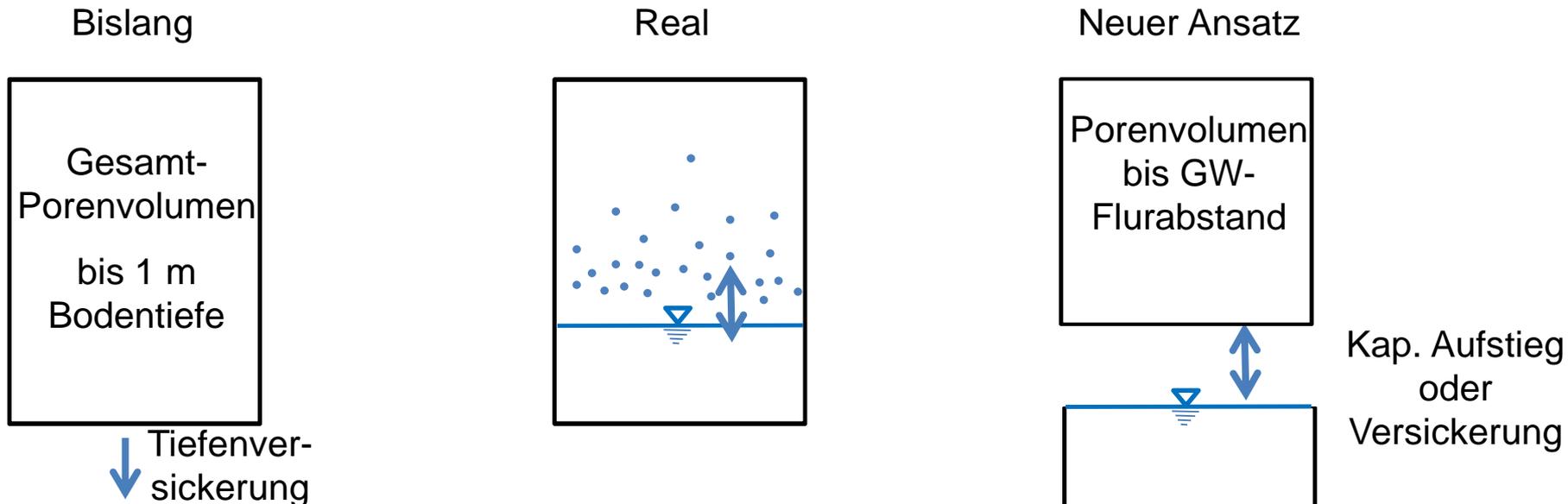
- Realistischer zeitliche Dynamik der Tiefenversickerung (Grundwasserneubildung)
- Indirekte Wirkung auf Direktabfluss (Vorfeuchte, Versickerung während Ereignis)
- Einfluss des relativen Anteils von LK am Gesamtporenvolumen und von k_f



Bodenspeicher

5. Grundwasserbeeinflusste Böden

- Bislang Überschätzung der „Pufferwirkung des Bodens“ für ergiebige Niederschläge
- Reduktion von nFK und LK durch GW-Flurabstand und
- Berücksichtigung des kapillaren Aufstiegs
 - Verminderte Pufferwirkung durch Bodenspeicherreduktion und feuchten Boden
 - Trotzdem realistische Verdunstung
- LARSIM-Erweiterung für kapillaren Aufstieg



6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

Unterschied Sättigungsflächenabfluss und Horton'scher Oberflächenabfluss:

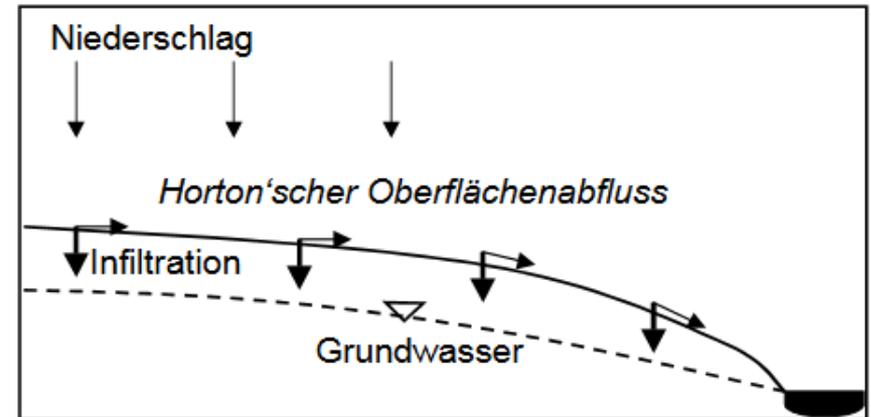
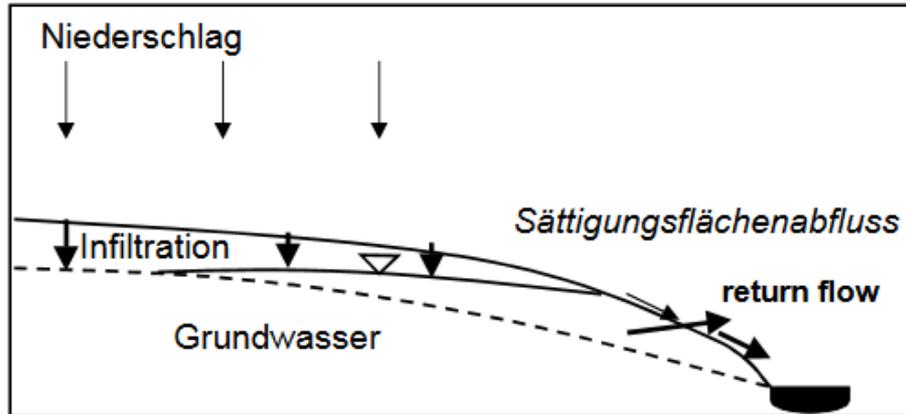
Sättigungsflächenabfluss (SOF) („Saturation Excess Flow“):

Kann der Boden infolge von vollständiger Sättigung kein Wasser mehr aufnehmen, kommt es zur Bildung von Oberflächenabfluss. Während eines Niederschlags nimmt der Anteil der gesättigten Böden und damit die Neigung zur Bildung von Oberflächenabfluss infolge Sättigungsüberschuss zu.

Bei Starkregen, insbesondere auf trockenen Boden, kann der Oberflächenabfluss unterschätzt werden.

Horton'scher Oberflächenabfluss (HOF) („Infiltration Excess Flow“):

Überschreiten der Infiltrationskapazität während eines Regen- oder Schneeschmelzeereignisses → Niederschläge mit hoher Intensität auf Böden mit geringer Infiltrationskapazität



Casper 2002

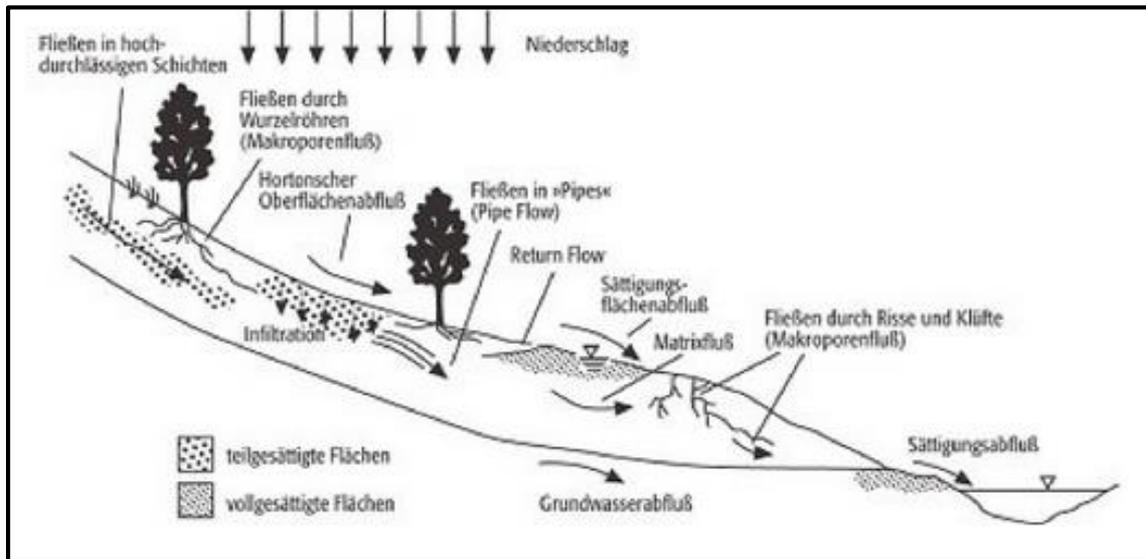
Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

Unterschied Sättigungsflächenabfluss und Horton'scher Oberflächenabfluss:

Sättigungsflächenabfluss (SOF) („Saturation Excess Flow“):

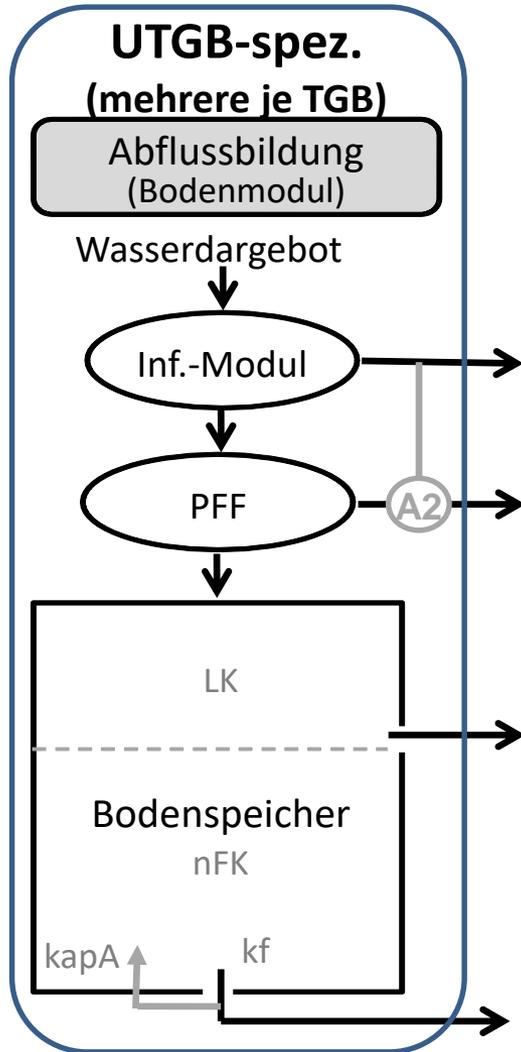
Horton'scher Oberflächenabfluss (HOF) („Infiltration Excess Flow“):



Spektrum 2020

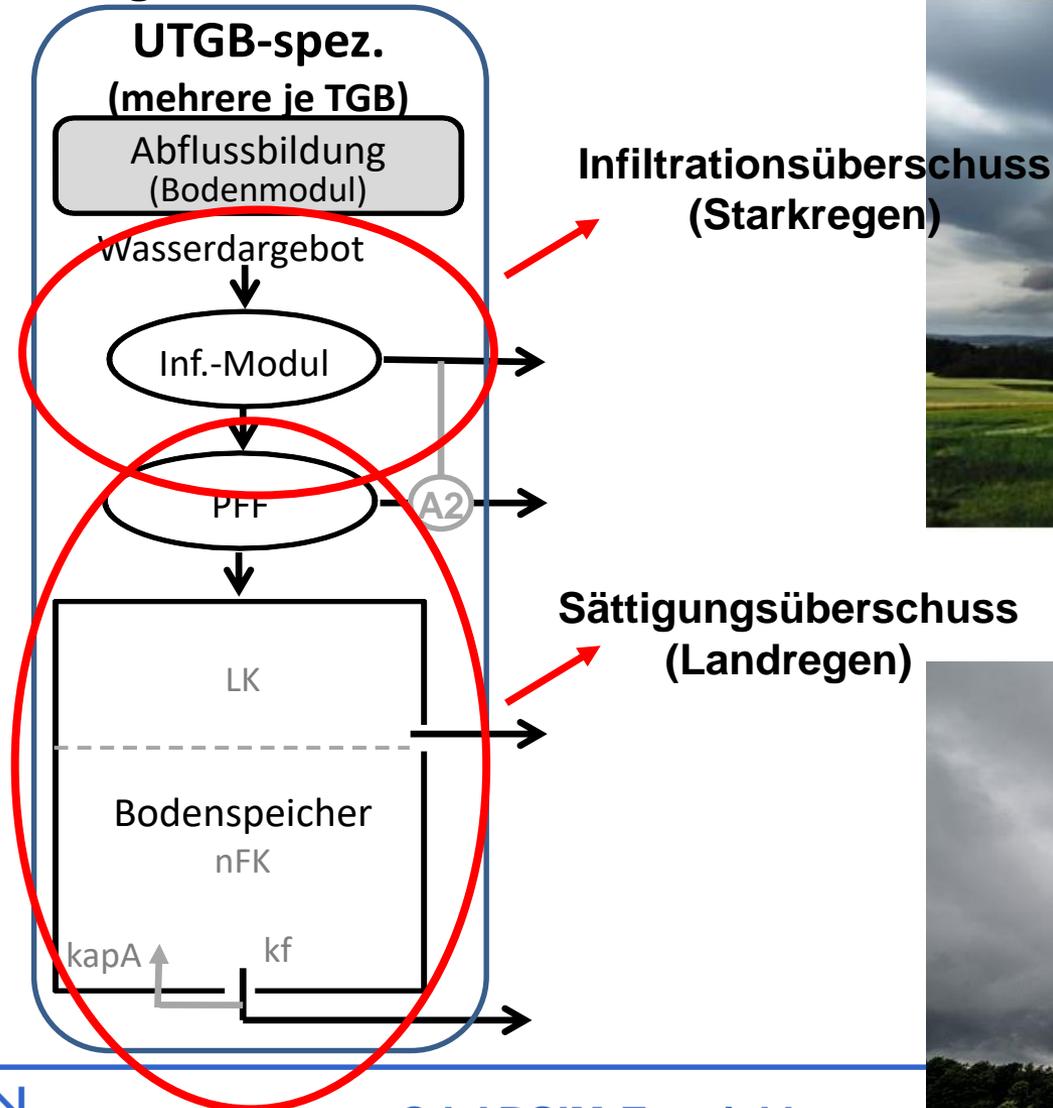
Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses



Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

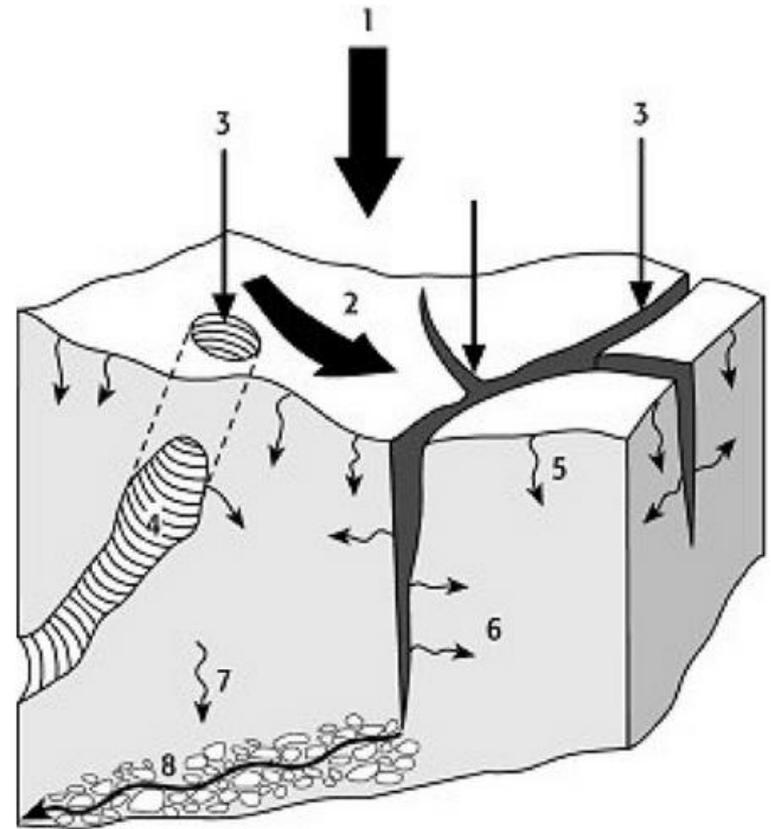


6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

Wichtige Fließprozesse im Boden:

- Wasserdargebot (1)
- Direktabfluss (2)
- Versickerung in die Makroporen bzw. Trockenrissen (3)
- Fließen in den Makroporen (4)
- Versickerung in die Bodenmatrix durch die Bodenoberfläche (5)
- Versickerung aus den Makroporen/Trockenrissen in die Mikroporen (6)
- Versickerung in den Mikroporen bzw. Bodenmatrix (7)
- Schneller, lateraler, unterirdischer Abfluss auf bevorzugten Fließwegen in Makroporen hochdurchlässiger Schichten (8)

→ Abhängigkeit zur Bodenfeuchte



Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

Prozessbeschreibung in enger Anlehnung an bodenhydrologisches Modell RoGeR der Professur für Hydrologie / Uni Freiburg (Steinbrich et al., 2016)

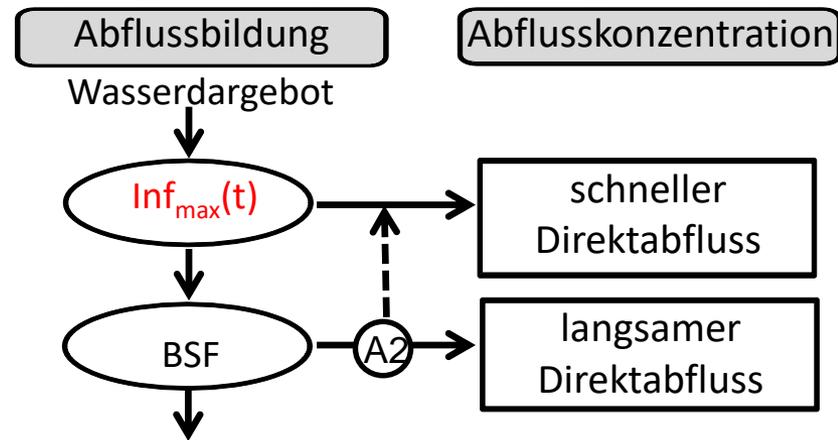
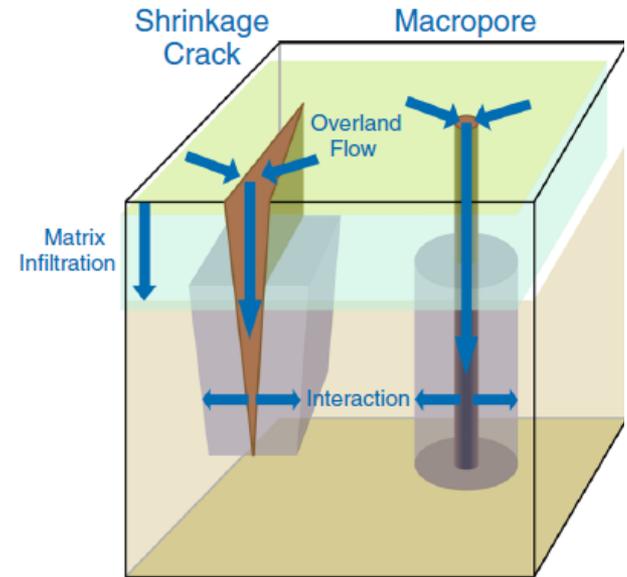
Gekoppelte Simulation der Infiltration über:

- Bodenmatrix
- Makroporen
- Trockenrisse

Optional zusätzlich jahreszeitliche Verschlämmung

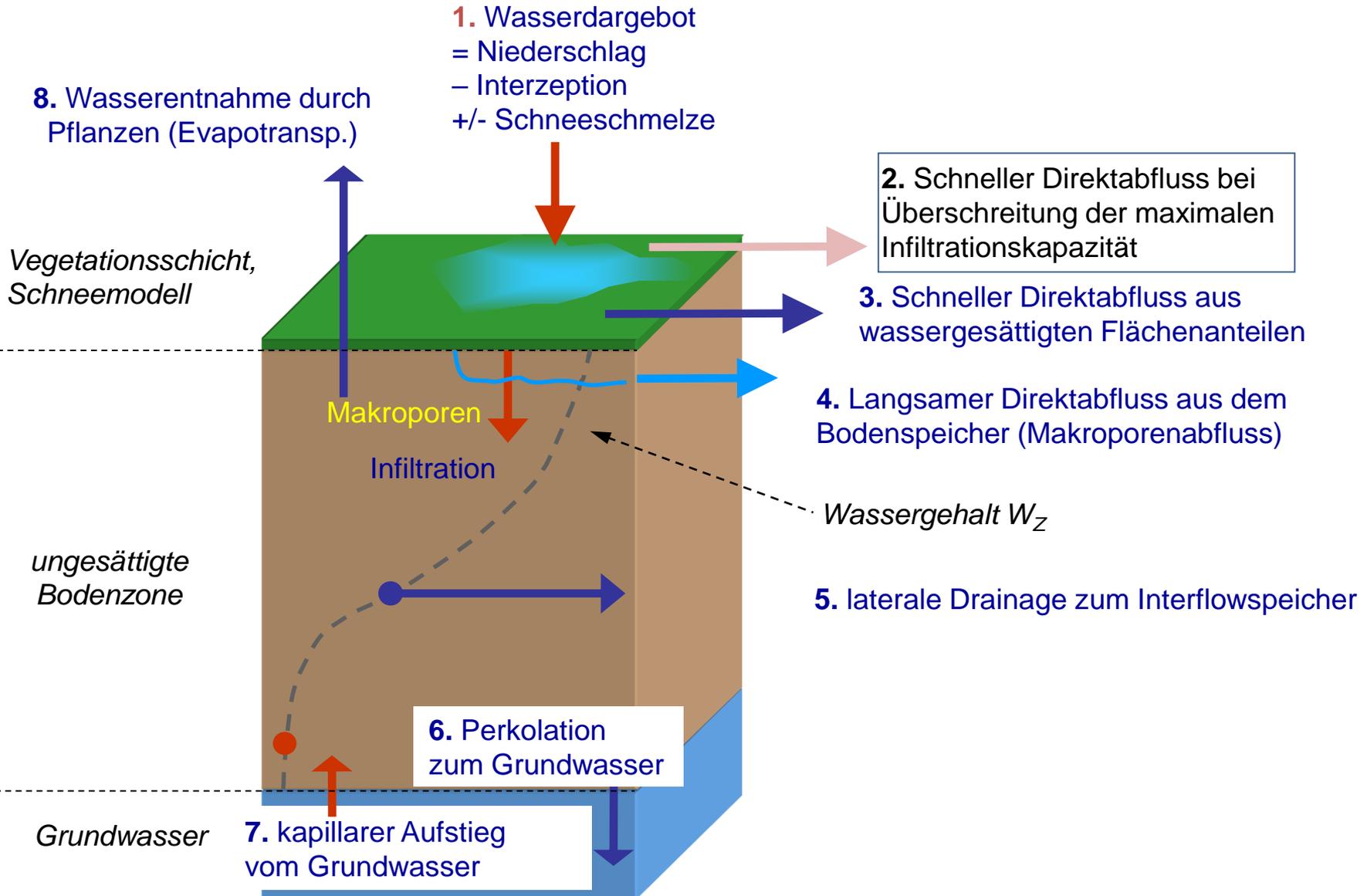
Summe aus den 3 Teilprozessen:

→ **Dynamisch berechnete maximale Gesamtinfiltration**



Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses



6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

- 9 physikalisch basierte (Boden-) Parameter
- Auf Ebene der Unterteilgebiete (Hydrotope)

Infiltrations-Parameter:

- k_f : gesättigte hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]
- n_{FKVol} als Volumenanteil []
- $LKVol$ als Volumenanteil []
- w_{sf} : Saugspannung an der Sättigungsfront [mm]
- MP_{dichte} : Dichte der vertikalen Makroporen [Anzahl/m²]
- MP_{laenge} : Länge bzw. Tiefe der vertikalen Makroporen [mm]
- TR_{tiefe_max} : Maximale Tiefe der Trockenrisse [mm]
- $AusrGr100$: Wassergehalt bei der Ausrollgrenze
- $SchrGr100$: Wassergehalt bei der Schrumpfungsgrenze

→ Ableitung der Parameter für Landesfläche von Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern auf Basis von Bodenkarte und Landnutzung vorliegend

UTGB mit spez. Inf.-Parametern
Innerhalb eines 1x1 km² TGB



Bodenspeicher

6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses

- Angabe der Bodeneigenschaften in der Datei <utgb.dat>

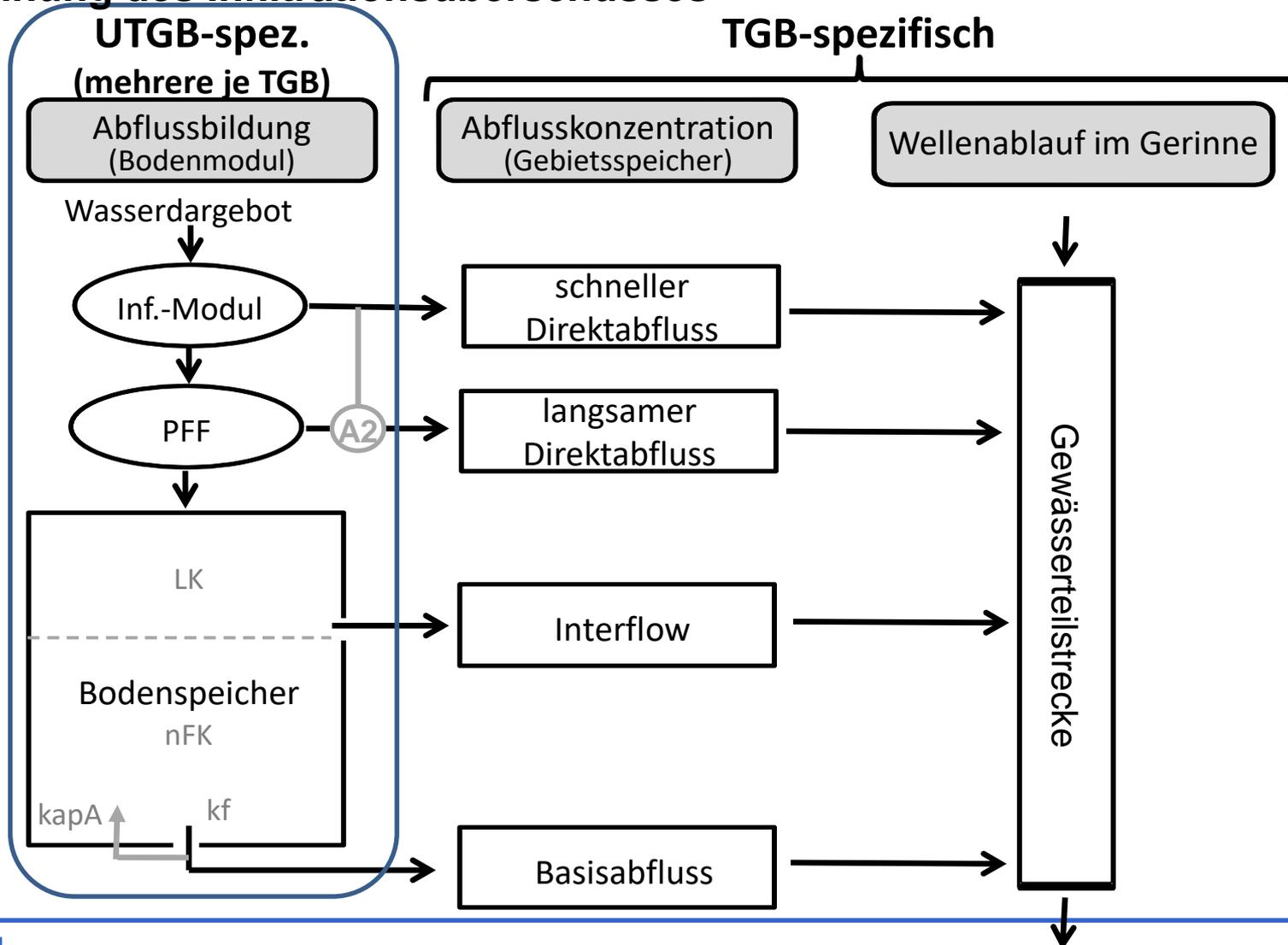
```
# Beispiel für eine <utgb.dat> mit erweiterten Bodenparametern
# =====
#
# Übergeordneter Kommentarblock (wird von LARSIM überlesen)
#
# Beispiel für ein Modell mit erweiterten Bodenparametern
# mit Landnutzungs-Boden-spezifischen Angaben zum kapillaren Aufstieg (KapA) und VDB
# sowie Parametern für die dynamische Infiltration
#
Maximale Anzahl an Unterteilgebieten: 38
TGB; UTGB; LN; Flaeche; nFK; LK; KapA; VDB; nFKVol; LKVol; ks; wsf; MPdi; MPla; TRti; AuGr; SchrGr;
1; 1; 2; 0.27141; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
1; 2; 2; 0.00560; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
1; 3; 2; 0.05944; 75; 140; 0.00; 0.625; 9; 18; 42; 31; 75; 300; 28; 47; 5;
1; 4; 3; 0.03156; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
1; 5; 5; 0.44562; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
1; 6; 5; 0.06966; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 10; 32; 100; 300; 84; 51; 5;
1; 7; 8; 0.01496; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 150; 800; 84; 51; 5;
1; 8; 8; 0.02150; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
1; 9; 8; 0.02173; 75; 140; 0.00; 0.625; 9; 18; 42; 31; 150; 800; 28; 47; 5;
1; 10; 9; 0.00120; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
1; 11; 11; 0.00088; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 150; 300; 84; 51; 5;
1; 12; 11; 0.00226; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
1; 13; 12; 0.00184; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 175; 300; 84; 51; 5;
1; 14; 12; 0.00865; 54; 40; 0.25; 1.000; 16; 12; 42; 40; 200; 200; 49; 41; 3;
1; 15; 12; 0.03990; 75; 140; 0.00; 0.625; 9; 18; 42; 31; 200; 300; 28; 47; 5;
1; 16; 15; 0.00379; 0; 0; 0.00; 1.000; ; ; ; ; ; ; ; ;
2; 1; 2; 0.02672; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
2; 2; 2; 0.00159; 120; 80; 0.00; 0.100; 10; 15; 6; 53; 75; 300; 175; 55; 6;
2; 3; 2; 0.00077; 150; 100; 0.00; 0.250; 21; 15; 17; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
2; 4; 2; 0.00191; 90; 60; 0.00; 0.250; 13; 12; 10; 49; 75; 300; 259; 54; 6;
2; 5; 3; 0.00163; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
2; 6; 3; 0.00062; 120; 80; 0.00; 0.100; 10; 15; 6; 53; 75; 300; 175; 55; 6;
2; 7; 5; 0.00334; 110; 40; 0.00; 0.100; 14; 7; 2; 53; 75; 300; 210; 55; 6;
2; 8; 5; 0.52990; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
2; 9; 5; 0.06446; 120; 60; 0.00; 0.100; 10; 10; 2; 53; 75; 300; 175; 55; 6;
2; 10; 5; 0.10457; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 10; 32; 100; 300; 84; 51; 5;
2; 11; 5; 0.07471; 135; 80; 0.00; 0.375; 11; 12; 6; 31; 100; 300; 161; 53; 5;
2; 12; 5; 0.00179; 150; 100; 0.00; 0.250; 21; 15; 10; 32; 75; 300; 84; 51; 5;
2; 13; 5; 0.07085; 90; 60; 0.00; 0.250; 13; 12; 4; 49; 125; 300; 259; 54; 6;
2; 14; 8; 0.01022; 120; 80; 0.00; 0.100; 10; 15; 6; 53; 100; 800; 175; 55; 6;
2; 15; 8; 0.01620; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 150; 800; 84; 51; 5;
2; 16; 8; 0.00080; 90; 60; 0.00; 0.250; 13; 12; 10; 49; 150; 700; 259; 54; 6;
2; 17; 8; 0.00736; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 125; 300; 84; 51; 5;
2; 18; 12; 0.00568; 130; 80; 0.00; 0.100; 13; 12; 29; 32; 175; 300; 84; 51; 5;
2; 19; 12; 0.07685; 115; 100; 0.00; 1.000; 14; 12; 17; 32; 200; 300; 84; 51; 5;
```

Infiltrations-Parameter:

- kf: gesättigte hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]
- nFKVol als Volumenanteil []
- LKVol als Volumenanteil []
- wsf: Saugspannung an der Sättigungsfront [mm]
- MPdichte: Dichte der vertikalen Makroporen [Anzahl/m²]
- MPlaenge: Länge bzw. Tiefe der vertikalen Makroporen [mm]
- TRtiefe_max: Maximale Tiefe der Trockenrisse [mm]
- AusrGr100: Wassergehalt bei der Ausrollgrenze
- SchrGr100: Wassergehalt bei der Schrumpfungsgrenze

Bodenspeicher

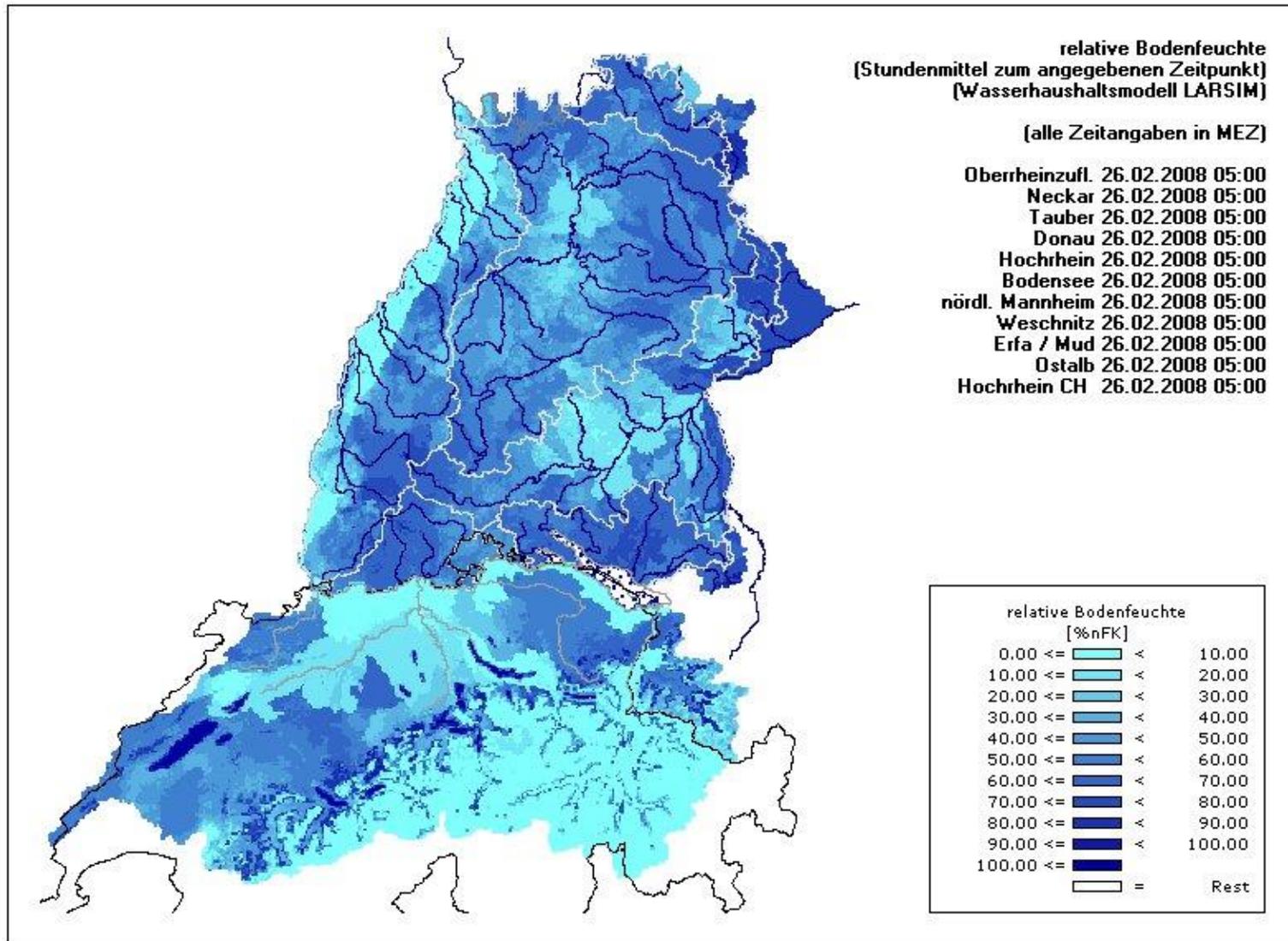
6. Berechnung des Infiltrationsüberschusses



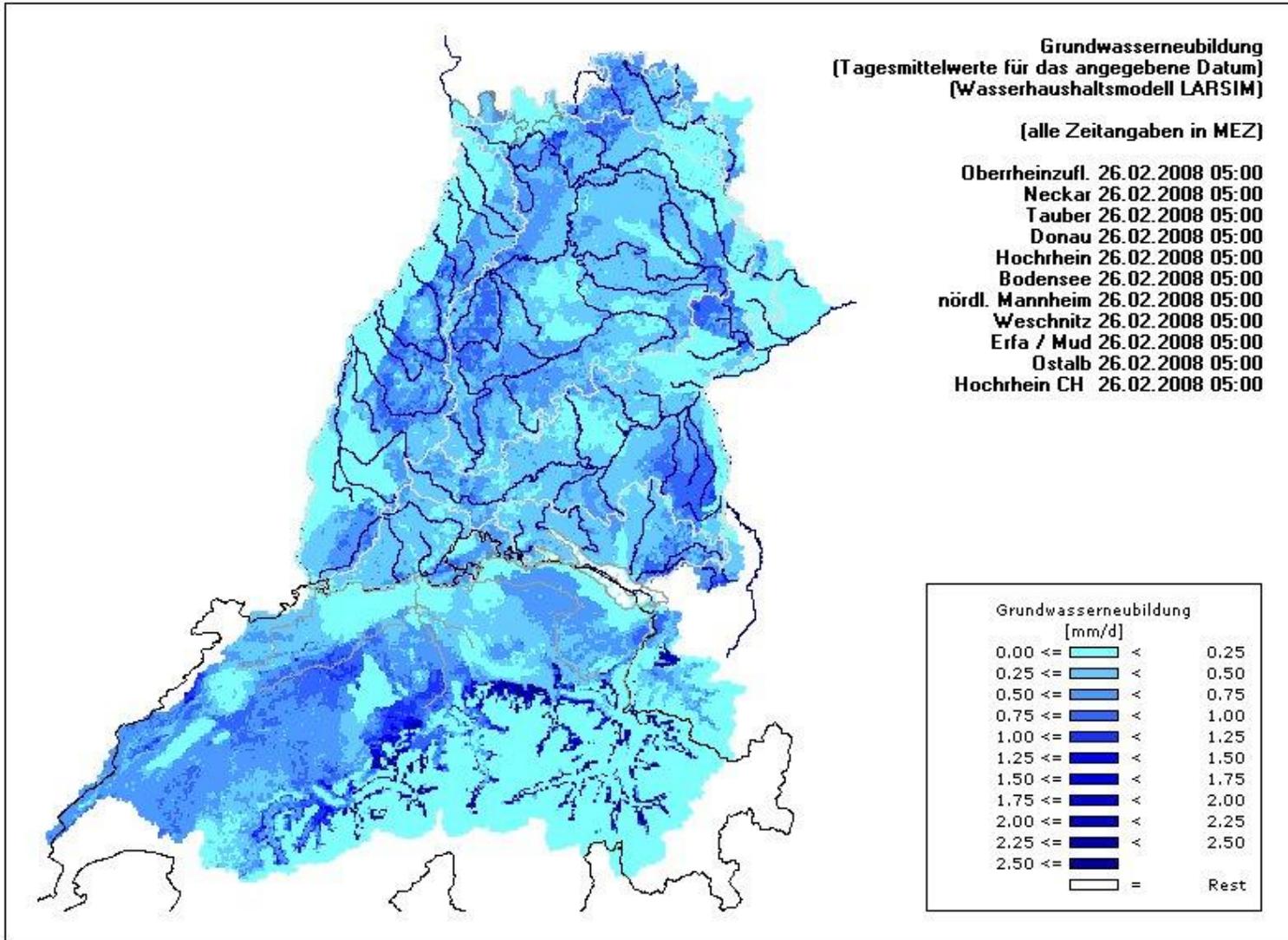
Abflussbildung

- Aufgaben für die Anwender (Abflussbildung):
 - Die Parameter für die Abflussbildung werden bei der Kalibrierung des Modells detailliert angepasst
 - Kontrolle der berechneten Abflüsse hinsichtlich systematischer Abweichungen im Verlauf zwischen gemessener und berechneter Ganglinie
 - Kontrolle der Bodenfeuchte und ihrer Verteilung
 - Bei Verwendung von vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten: Kontrolle der berechneten Grundwasserneubildung

Abflussbildung



Abflussbildung



Abflussbildung

- Aufgaben für die Anwender (Abflussbildung):
 - Die Parameter für die Abflussbildung werden bei der Kalibrierung des Modells detailliert angepasst
 - Kontrolle der berechneten Abflüsse hinsichtlich systematischer Abweichungen im Verlauf zwischen gemessener und berechneter Ganglinie
 - Kontrolle der Bodenfeuchte und ihrer Verteilung
 - Bei Verwendung von vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten: Kontrolle der berechneten Grundwasserneubildung
- Einflussmöglichkeiten des Anwenders:
 - Nachkalibrierung

Literatur

- BLfU (2015): https://www.lfu.bayern.de/boden/boeden_brauchen_wissenschaft/physik/poren/index.htm
- Casper M. (2002): Die Identifikation hydrologischer Prozesse im Einzugsgebiet des Dürreychbaches (Nordschwarzwald).
https://www.researchgate.net/publication/36451326_Die_Identifikation_hydrologischer_Prozesse_im_Einzugsgebiet_des_Durreychbaches_Nordschwarzwald
- Disse M. & Mitterer J. (2017): Flood Risk and Flood Management – Exercise. TU München
- Steinbrich A. et al. (2016): Model-based quantification of runoff generation processes at high spatial and temporal resolution. Environmental Earth Sciences 75:1423(21)
https://www.researchgate.net/publication/309673205_Model-based_quantification_of_runoff_generation_processes_at_high_spatial_and_temporal_resolution
- Spektrum (2020):
<https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hortonscher-landoberflaechenabfluss/7119>