



Das LARSIM-Bodenmodul

Sven van der Heijden

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

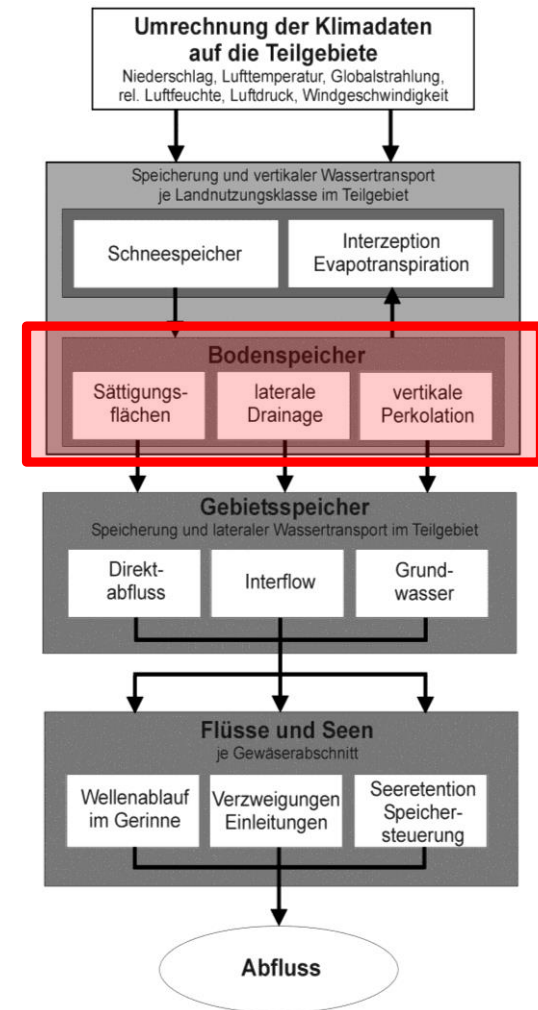
LARSIM-Schulung am 16./17. Mai 2017 in Mainz

Gliederung

1. Einführung
2. Altes Bodenmodul (3 Komponenten)
3. Neues Bodenmodul (4 Komponenten)
4. Weiterentwicklungen
 - Dominante Abflussprozesstypen
5. Systemzustand Bodenfeuchte
 - Einfluss
 - Validierungs-/Eingriffsmöglichkeiten
6. Ausblick/zukünftige Entwicklungen
 - Modellreaktion auf Starkregen

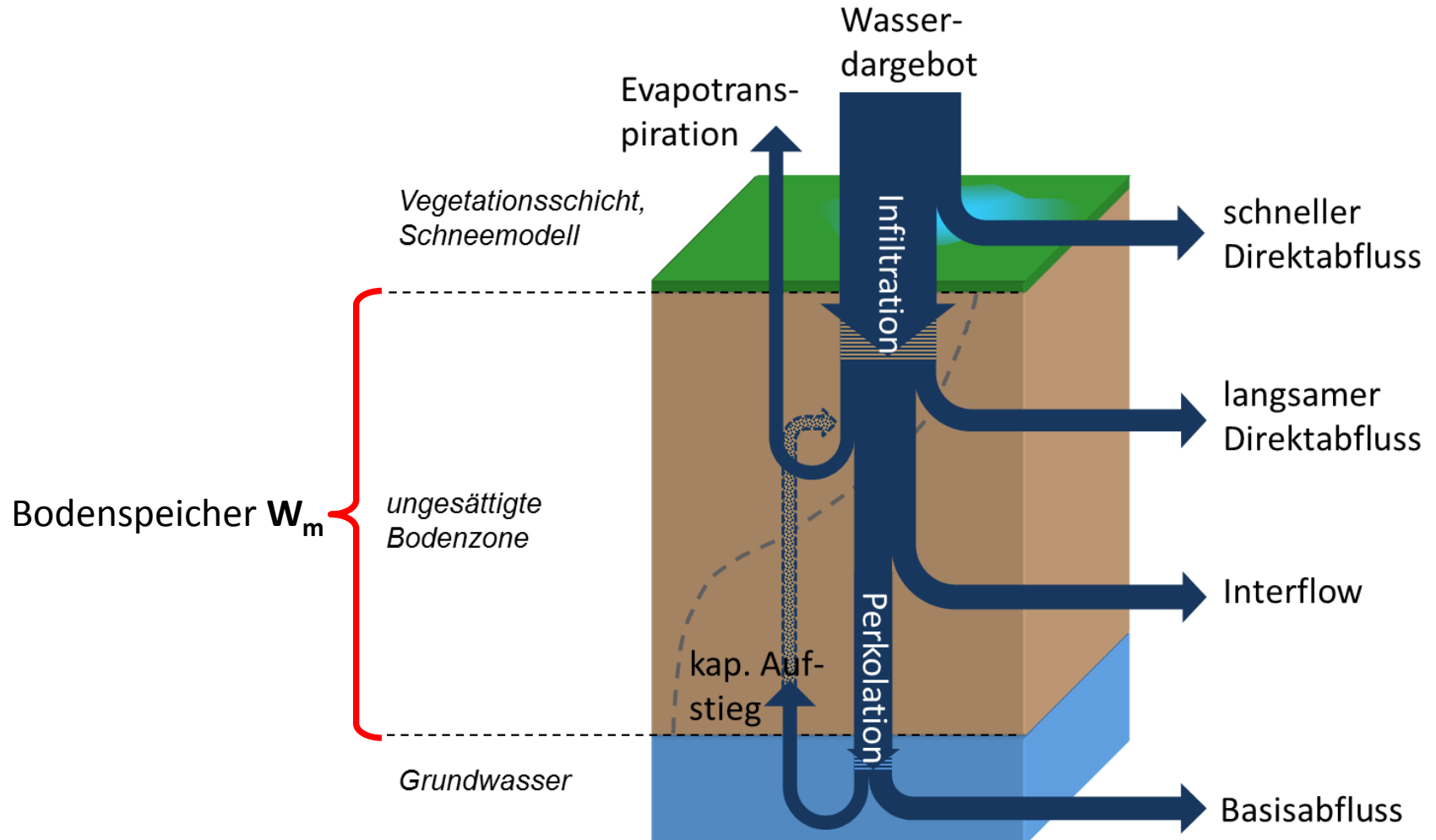
1. Einführung Allgemeines

- Der Boden nimmt eine entscheidende Rolle als Regel- und Verteilersystem in der Abflussbildung ein
- Die Komplexität eines Bodenmodells ist trotz großer Heterogenität und zentraler Bedeutung immer begrenzt (Datenverfügbarkeit, Rechenzeit) → Kompromiss!
- LARSIM verwendet den *Xinanjiang*-Ansatz: Ein einzelner Speicher für den Boden, der über unterschiedliche Pfade gefüllt und entleert werden kann

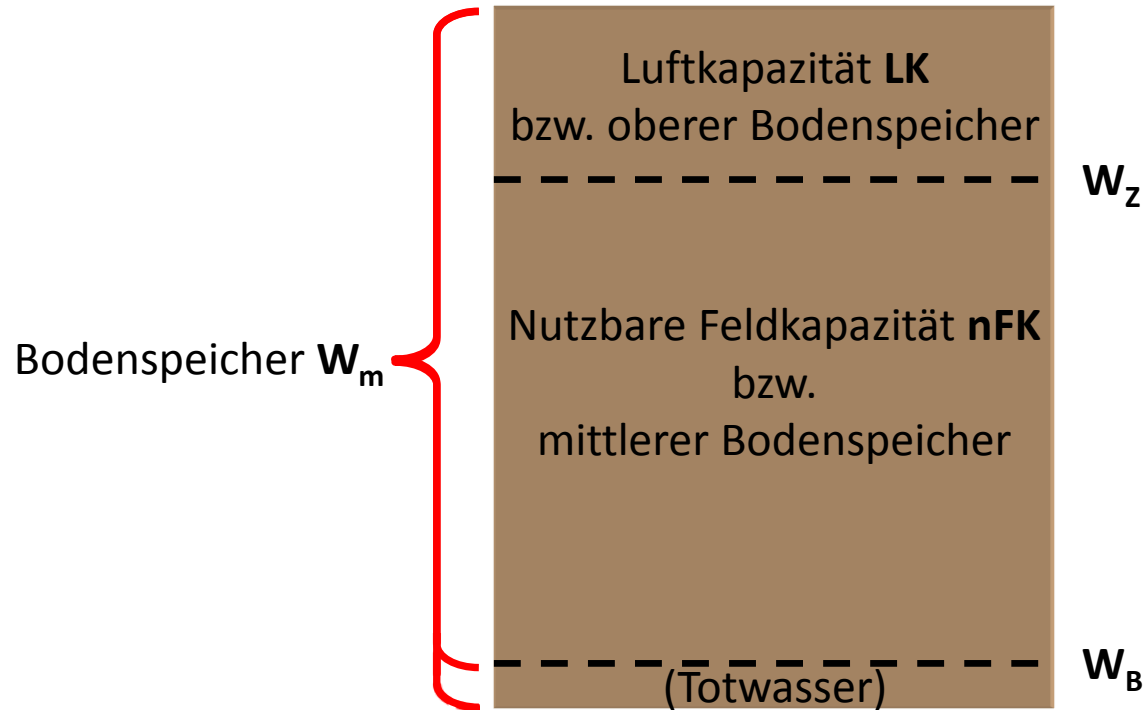


1. Einführung

Xinjiang-Modell



1. Einführung Bodenspeicher



Parametrisierung: LK und nFK aus bodenhydrologischen Kartenwerken oder W_m vorgeben mit $W_z = 0,7 \cdot W_m$ und $W_B = 0,05 \cdot W_m$

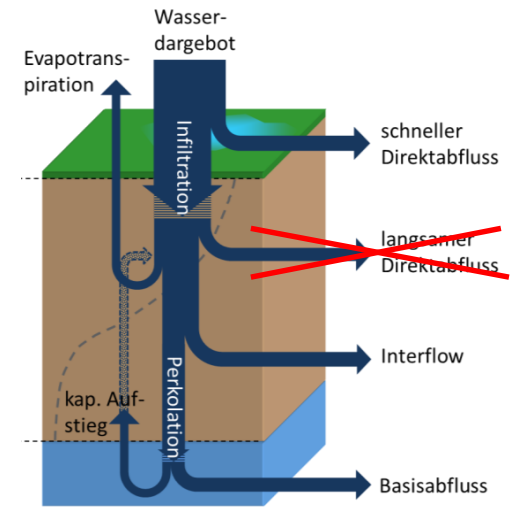
2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

■ Bilanz:

$$W_0(t+1) = W_0(t) + P(t) - E_{ai}(t) - QS_D(t) - QS_I(t) - QS_G(t)$$

mit:

$W_0(t)$	[mm]	Füllung des Bodenspeichers zum Zeitpunkt t
$P(t)$	[mm]	Wasserdargebot
$E_{ai}(t)$	[mm]	Aktuelle Evapotranspiration
$QS_D(t)$	[mm]	Direktabfluss
$QS_I(t)$	[mm]	Laterale Drainage aus dem Bodenspeicher (Interflow)
$QS_G(t)$	[mm]	Vertikale Perkolation aus dem Bodenspeicher (Basisabfluss)



2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

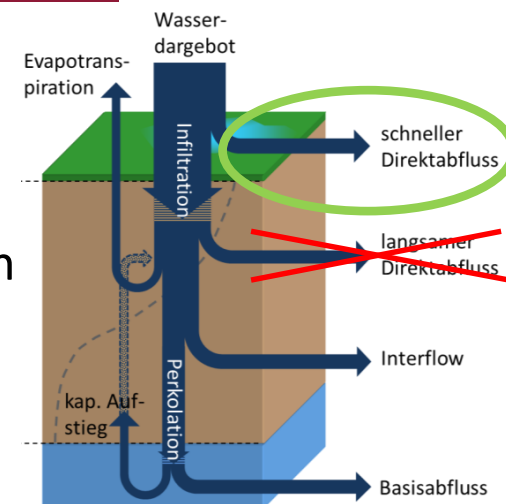
- Direktabfluss QS_D :
 - Integriert Infiltrationsüberschuss, Sättigungsflächen und schnellen lateralen Abfluss im Boden
 - 1. Fall: „überlaufender Bodenspeicher“:

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

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

mit:

P	[mm]	Wasserdargebot im Berechnungszeitschritt
W_0	[mm]	Füllung des Bodenspeichers zu Beginn des Berechnungszeitschrittes
W_m	[mm]	Maximaler Wasserinhalt im gesamten Bodenspeicher
b	[-]	Formparameter der Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion



2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

- Direktabfluss QS_D :

- 2. Fall: „Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion“

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

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

mit:

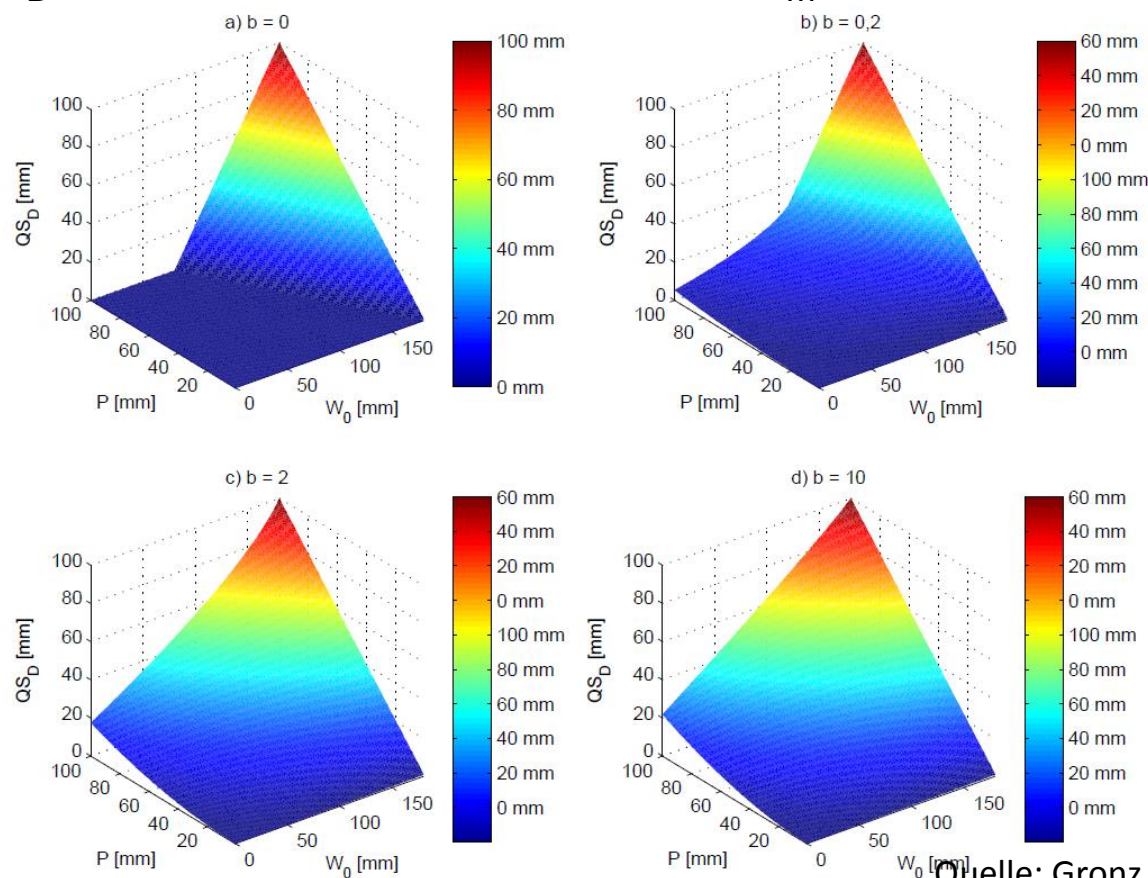
P	[mm]	Wasserdargebot im Berechnungszeitschritt
W_0	[mm]	Füllung des Bodenspeichers zu Beginn des Berechnungszeitschrittes
W_m	[mm]	Maximaler Wasserinhalt im gesamten Bodenspeicher
b	[-]	Formparameter der Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion

2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

- Direktabfluss QS_D : Einfluss des Parameters b ($W_m=180\text{mm}$)

$b=0 \rightarrow QS_D=0$
solange Speicher nicht voll

QS_D wird größer:
Je größer die Intensität (P)
Je voller der Speicher (W_0)
Je größer b



Quelle: Gronz (2013)

2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

- Interflow QS_I :

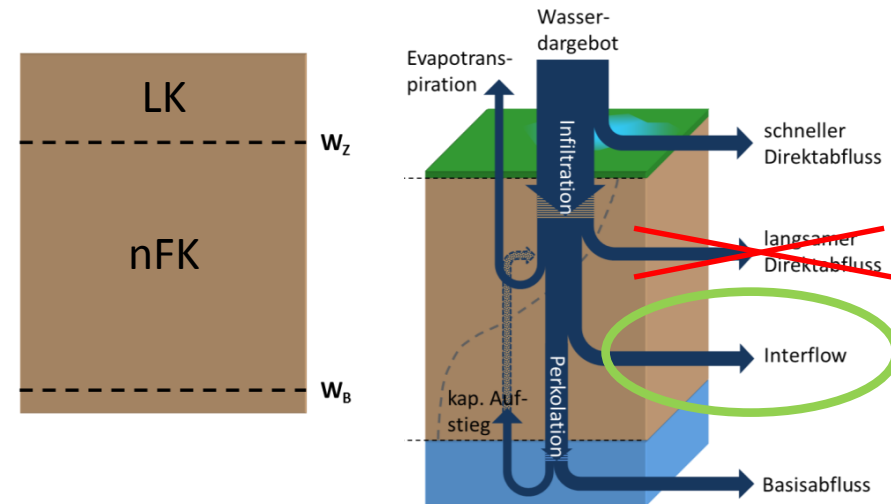
$$QS_I = 0 \quad \text{für} \quad W_0 \leq W_B$$

bzw.

$$QS_I = D_{\min} \frac{W_0}{W_m} \Delta t \quad \text{für} \quad W_B < W_0 < W_Z$$

bzw.

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



2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

■ Interflow QS_I :

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

mit:

$D_{\min}$ [mm/h] Drainage (Entleerung) des Bodenspeichers bei Füllung W_Z (möglicher Eichparameter in LARSIM über Faktor r_dmin mit $D_{\min} = 0.001008 \cdot r_dmin \cdot ta$

ta = Rechenzeitschritt in Stunden

r_dmin = dimensionsloser Eichfaktor)

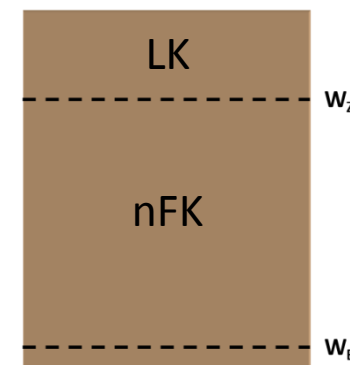
Δt [d] Berechnungszeitschritt

$D_{\max}$ [mm/h] Drainage (Entleerung) des Bodenspeichers bei Füllung W_m (möglicher Eichparameter in LARSIM über Faktor r_dmax mit $D_{\max} = 0.1008 \cdot r_dmax \cdot ta$

ta = Rechenzeitschritt in Stunden

r_dmax = dimensionsloser Eichfaktor)

c [-] Formparameter. In LARSIM ist $c = 1,5$



2. Altes Bodenmodul mit drei Abflusskomponenten

- Perkolation QS_G :

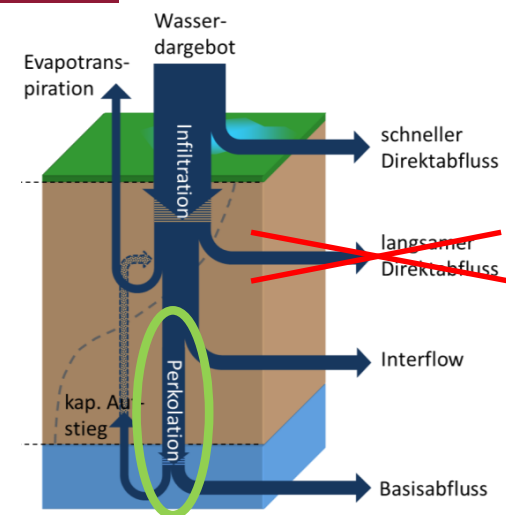
$$QS_G = 0 \quad \text{für } W_0 \leq W_B$$

bzw.

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

mit:

β $[1/d]$ Vertikaler Drainageindex für den Bodenspeicher,
Kalibrierungsparameter in LARSIM



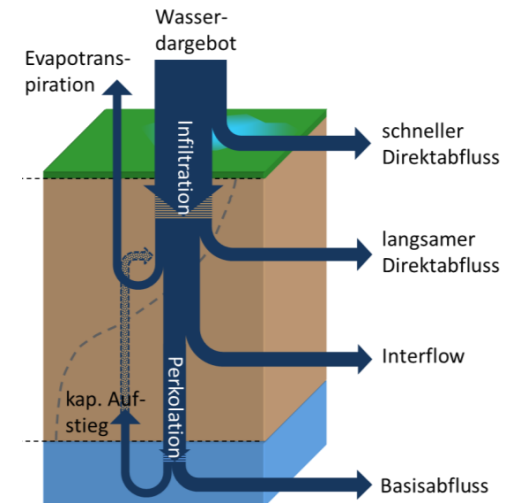
3. Neues Bodenmodul mit vier Abflusskomponenten

- Bilanz:

$$W_0(t + 1) = W_0(t) + P(t) - E_{ai}(t) - QS_{D2}(t) - QS_D(t) - QS_I(t) - QS_G(t)$$

mit:

$W_0(t)$	[mm]	Füllung des Bodenspeichers zum Zeitpunkt t
$P(t)$	[mm]	Wasserdargebot
$E_{ai}(t)$	[mm]	Aktuelle Evapotranspiration
$QS_D(t)$	[mm]	Langsamer Direktabfluss
$QS_{D2}(t)$	[mm]	Schneller Direktabfluss
$QS_I(t)$	[mm]	Laterale Drainage (Interflow)
$QS_G(t)$	[mm]	Vertikale Perkolation aus dem Bodenspeicher

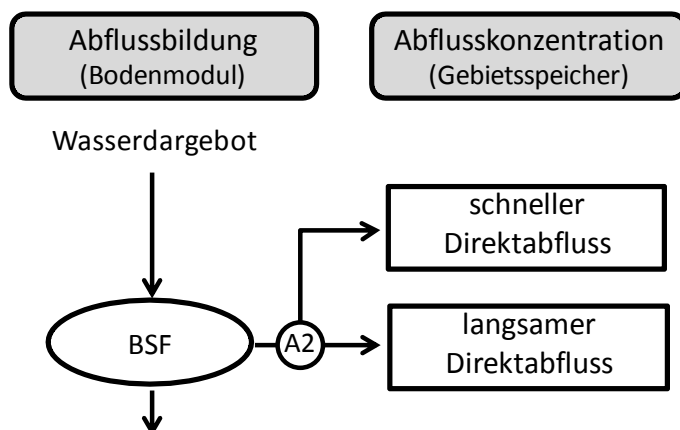


- Unterscheidung zwischen Oberflächenabfluss (Infiltrationsüberschuss, Sättigungsflächen) und schnellem unterirdischen Abfluss (Makroporen u.ä.)!

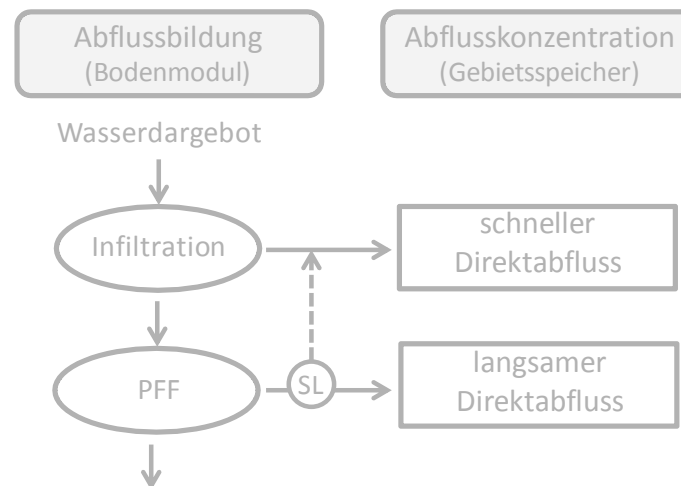
3. Neues Bodenmodul mit vier Abflusskomponenten

- Zwei Varianten zur Separation von schnellem und langsamem Direktabfluss:

Schwellenwertansatz



Infiltrationsmodul



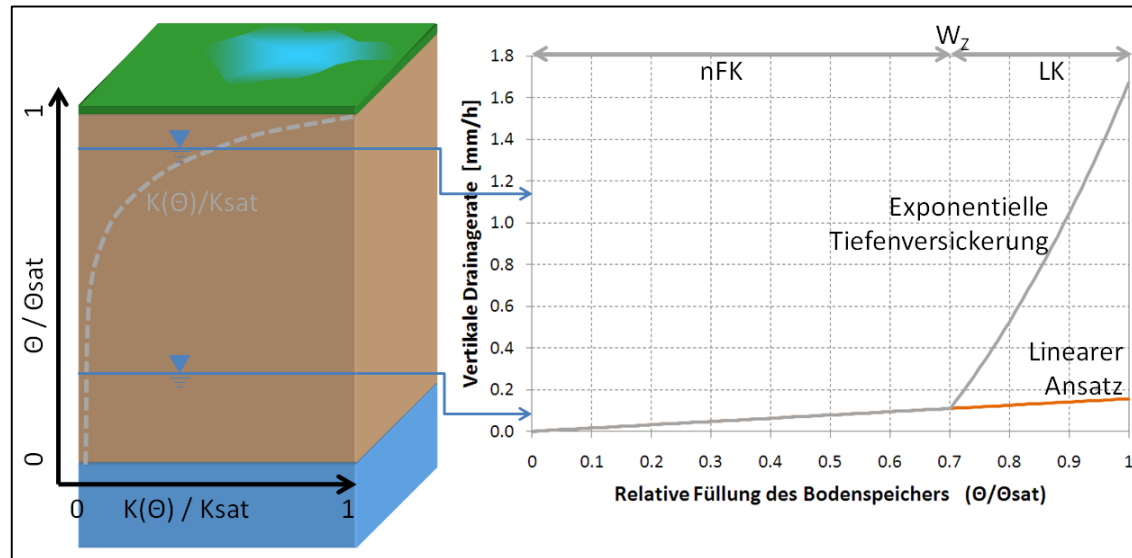
- Schwellenwertansatz robust und in der operationellen Hochwasservorhersage bewährt!
- A2 [mm/h] gebietsspezifischer Kalibrierparameter

4. Weiterentwicklungen

Exponentielle Tiefenversickerung

- Veränderte Berechnung der Perkolation QS_G (vgl. Folie 12):

$$QS_G = \beta \left(1 + (f_\beta - 1) \frac{W_0 - W_B - W_Z}{W_m - W_B - W_Z} \right) (W_0 - W_B) \Delta t \quad \text{für } W_0 > W_B$$



f_β [-] Faktor zur überproportionalen Zunahme der vertikalen Perkolation im Grobporenbereich – Ableitung über bodenphysikalische Eigenschaften oder Kalibrierung

4. Weiterentwicklungen

Dominante Abflussprozessstypen

Prozesse:

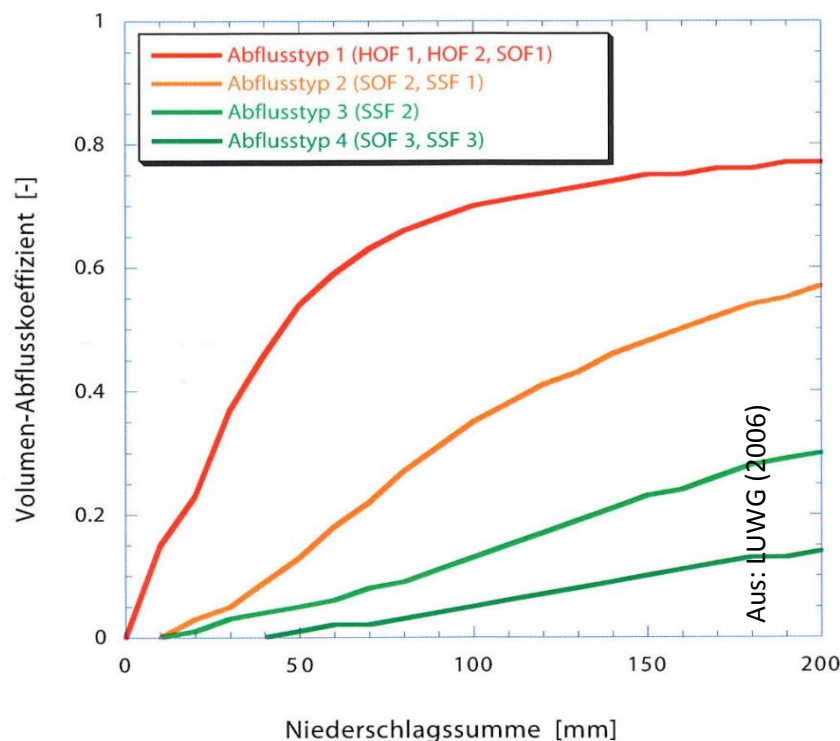
Horton-Overland-Flow (HOF)
Saturation-Overland-Flow (SOF)
Subsurface-Storm-Flow (SSF)
Deep Percolation (DP)
(+ not contributing) (DP=)

+

Intensität:

Verzögerung
Abschwächung

Charakteristische Abflussreaktionskurven:



Quelle: Hydron

4. Weiterentwicklungen

Dominante Abflussprozesstypen

Im erweiterten Bodenparametersatz für das Nahegebiet implementierte dominante Abflussprozesstypen (LUWG 2010)

Kürzel	Abflusstyp	Beschreibung der dominanten Abflussreaktion bei intensivem, ergiebigem Niederschlag.
HOF	1	Oberflächenabfluss infolge Infiltrationshemmnissen oder geringer Infiltrationskapazität.
SOF1	1	Oberflächenabfluss mit geringer Verzögerung infolge rascher Sättigung der Fläche.
SOF2	2	Verzögerter Oberflächenabfluss infolge Sättigung der Fläche.
SOF3	3	Stark verzögerter Oberflächenabfluss infolge langsamer Sättigung der Fläche.
SSF1	2	Mit geringer Verzögerung einsetzender lateraler Abfluss im Boden.
SSF2	3	Mit Verzögerung einsetzender lateraler Abfluss im Boden.
SSF3	4	Mit starker Verzögerung einsetzender lateraler Abfluss im Boden.
DP	5	Tiefenversickerung ohne rasche Abflussreaktion.
DP=	5	Nicht beitragende Flächen ohne Tiefenversickerung (z.B. Moorflächen ohne Neigung)

4. Weiterentwicklungen

Dominante Abflussprozesstypen

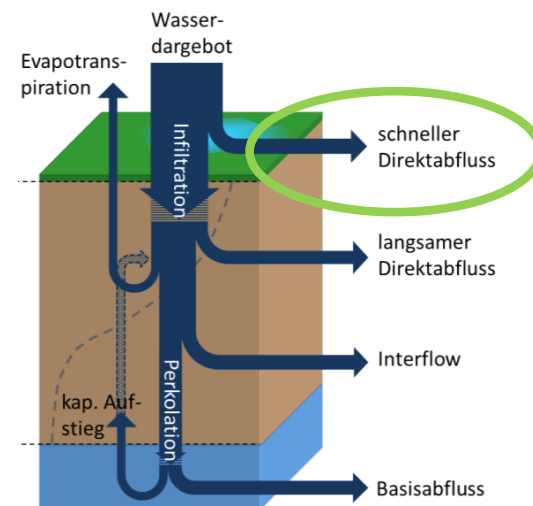
- Abtrennung von Oberflächenabfluss (HOF und SOF) durch neue Infiltrationsgleichung:

$$I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot \left(1 - \frac{W_0 - W_B}{W_m - W_B}\right)^{b_{\inf}}$$

mit:

I	[mm/d]	aktuelle Infiltrationskapazität
$I_{\min}$	[mm/d]	minimale Infiltrationskapazität
$I_{\max}$	[mm/d]	maximale Infiltrationskapazität (bei $W_0 = W_m$)
$b_{\inf}$	[-]	Formparameter der Infiltrationskurve

- Je nach Parametrisierung kann HOF oder SOF dargestellt werden → Formel ist hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Abflussprozesstypen interpretierbar!



4. Weiterentwicklungen

Dominante Abflussprozessestypen

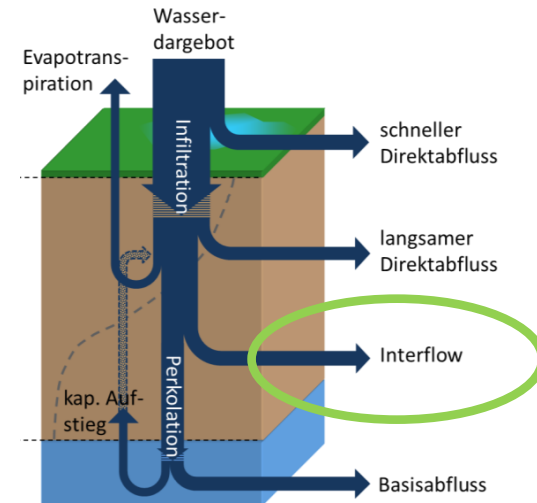
- Modifikation des Interflow für zeitlich stark verzögerte Reaktionen:

$$QS_I = \left(D_{\min} \frac{W_0}{W_m} + (D_{\max} \cdot f_{if} - D_{\min}) \left(\frac{W_0 - W_Z}{W_m - W_Z} \right)^c \right) \Delta t$$

für $W_0 \geq W_Z$

mit:

f_{if} [-] Faktor zur überproportionalen Zunahme der lateralen Drainage im Grobporenbereich

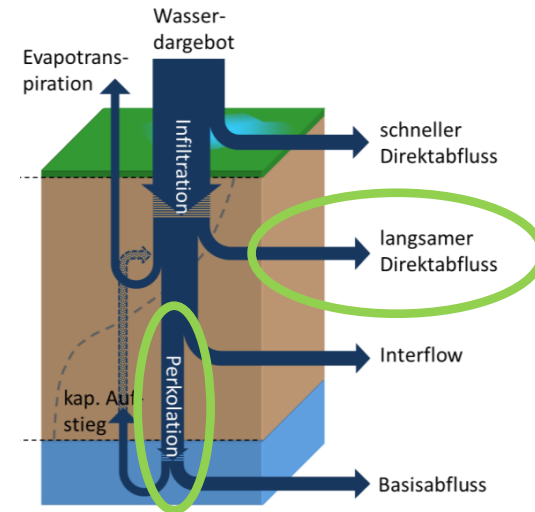


- Modifikation ähnlich der exponentiellen Tiefenversickerung

4. Weiterentwicklungen

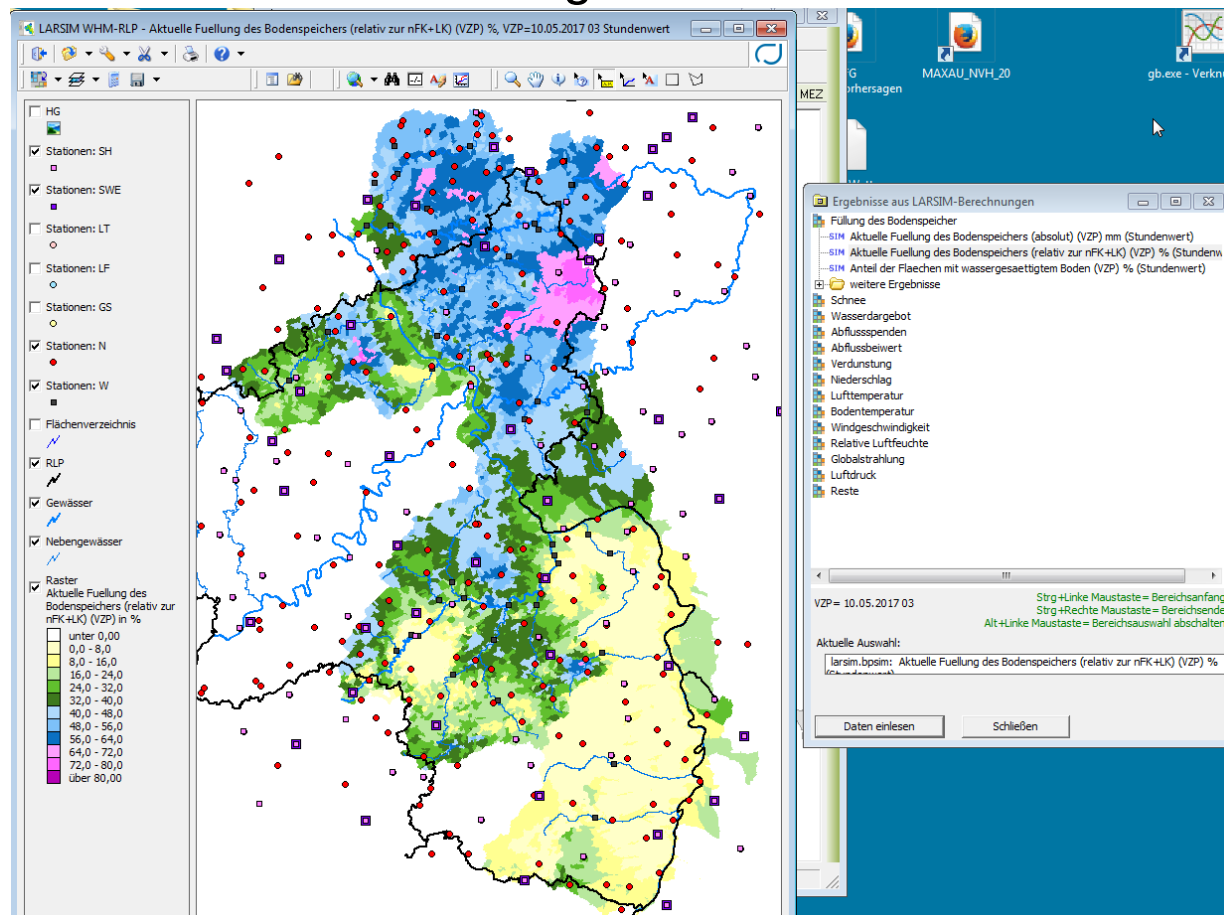
Dominante Abflussprozessestypen

- Langsamer Direktabfluss (=schneller unterirdischer Abfluss SSF) wird über die Gleichung der BSF als Preferential Flow Function PFF berechnet (vgl. Folie 8)
- Perkolation wird über exponentielle Tiefenversickerung berechnet (vgl. Folie 15)
- Für die implementierten Abflussprozessestypen wurden charakteristische Parameterwerte ($I_{\max}$, $I_{\min}$, b_{inf} , b_{PFF} , f_{if} , f_{β}) ermittelt
- Parameterwerte sind zeitschrittabhängig!
- Kalibrierung durch PKB-spezifische multiplikative Faktoren



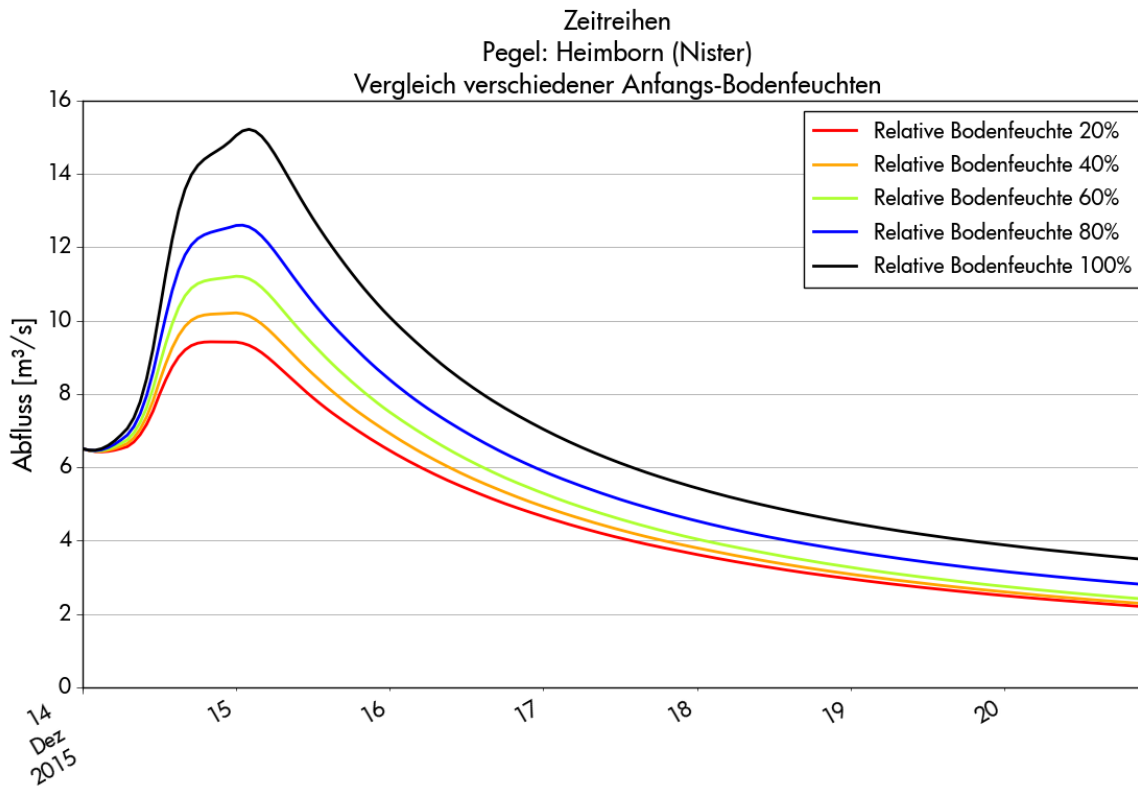
5. Systemzustand Bodenfeuchte Validierungsmöglichkeiten

■ Flächenhafte Darstellung der Bodenfeuchte in LARISSO



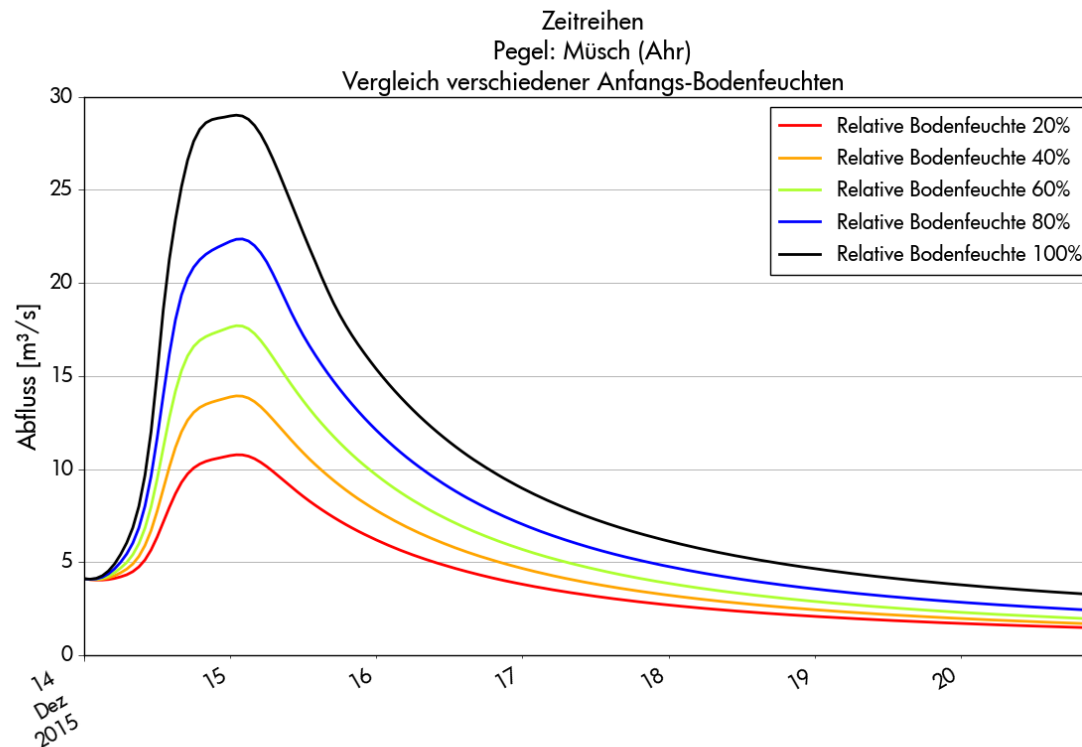
5. Systemzustand Bodenfeuchte

Einfluss der Bodenfeuchte



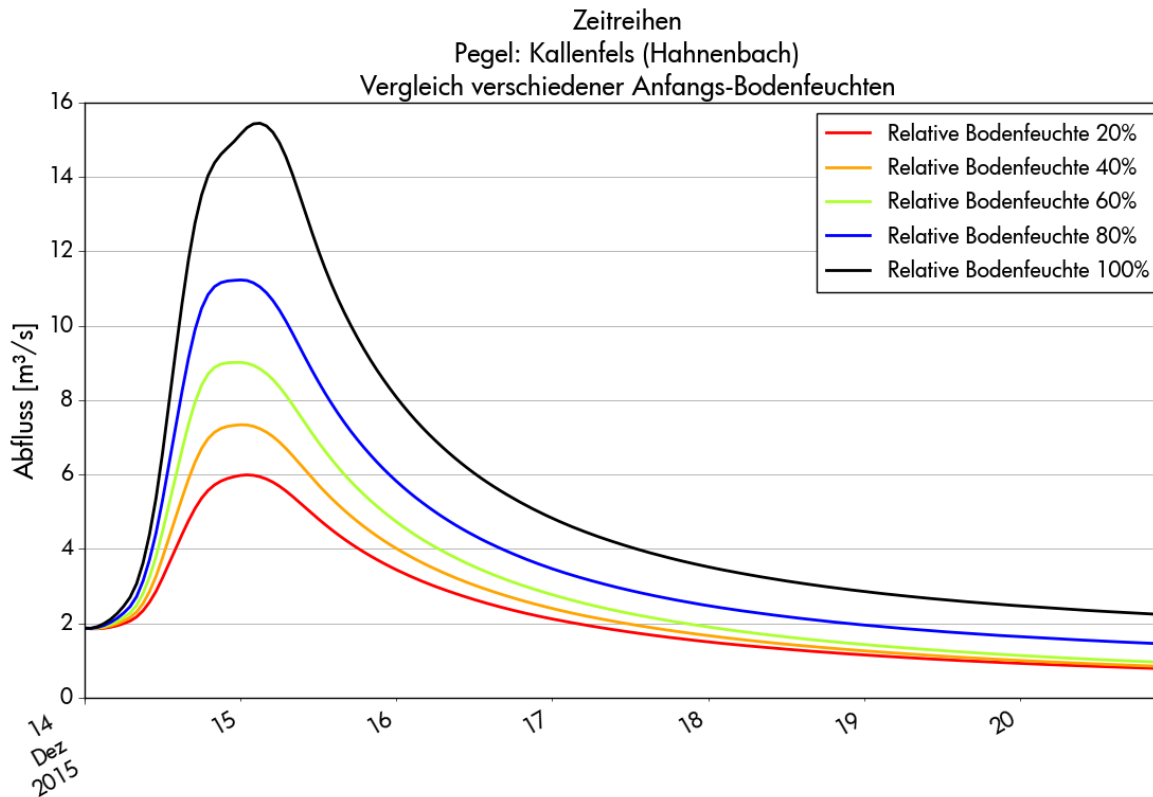
5. Systemzustand Bodenfeuchte

Einfluss der Bodenfeuchte



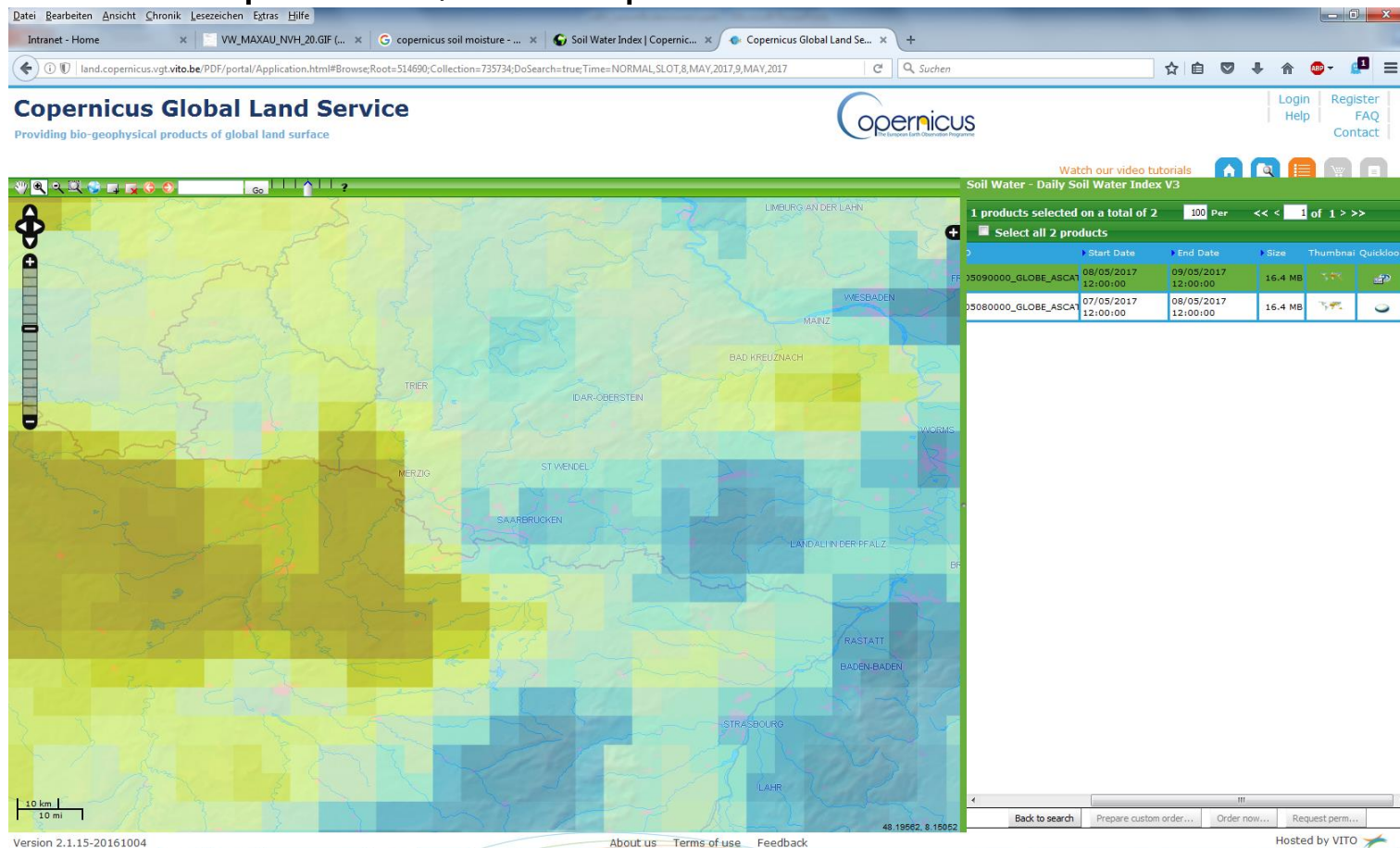
5. Systemzustand Bodenfeuchte

Einfluss der Bodenfeuchte



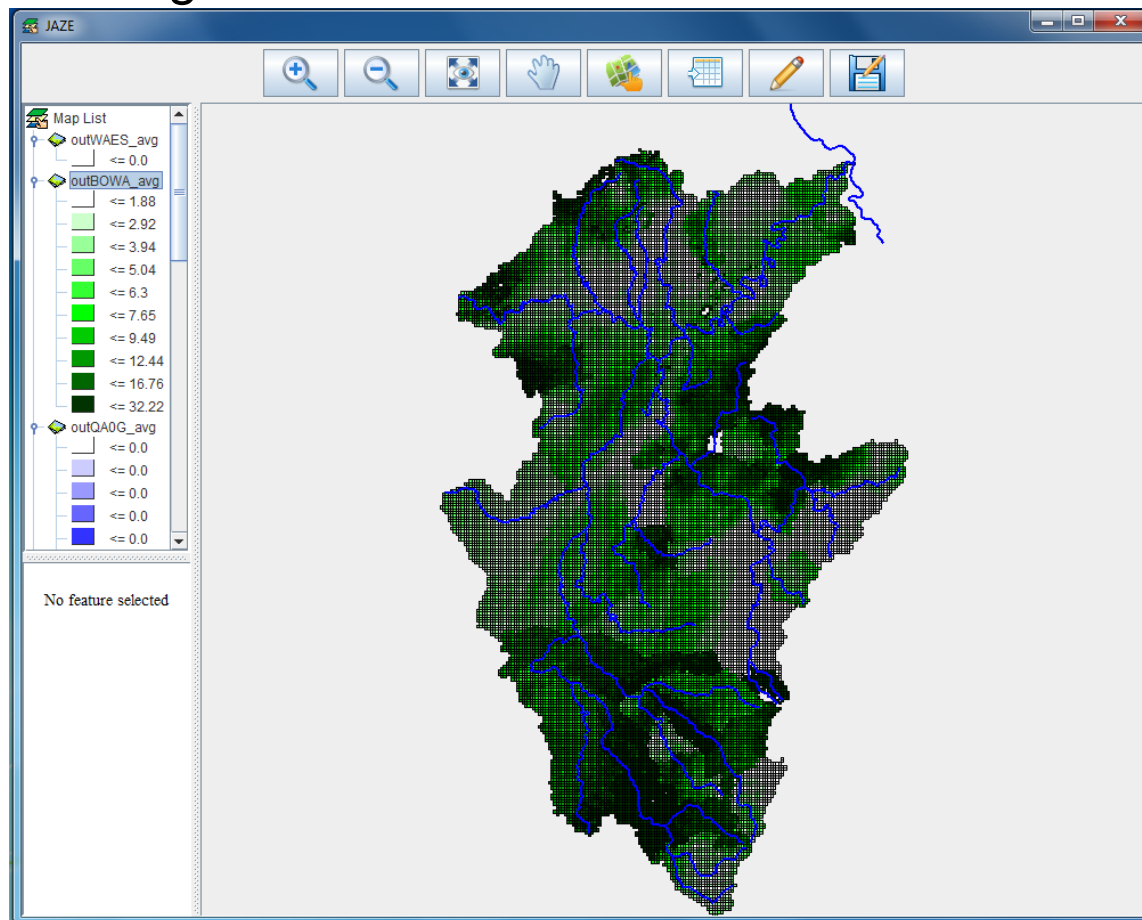
5. Systemzustand Bodenfeuchte Validierungsmöglichkeiten

- Satellitenprodukte, z.B. Copernicus Soil Water Index



5. Systemzustand Bodenfeuchte Eingriffsmöglichkeiten

- Nachführung der Bodenfeuchte mit JAZE → siehe Übung



5. Systemzustand Bodenfeuchte

Eingriffsmöglichkeiten

- Ab LILA/KALA: neue Funktion FAKTOR BODENFEUCHTE in TAPE 35

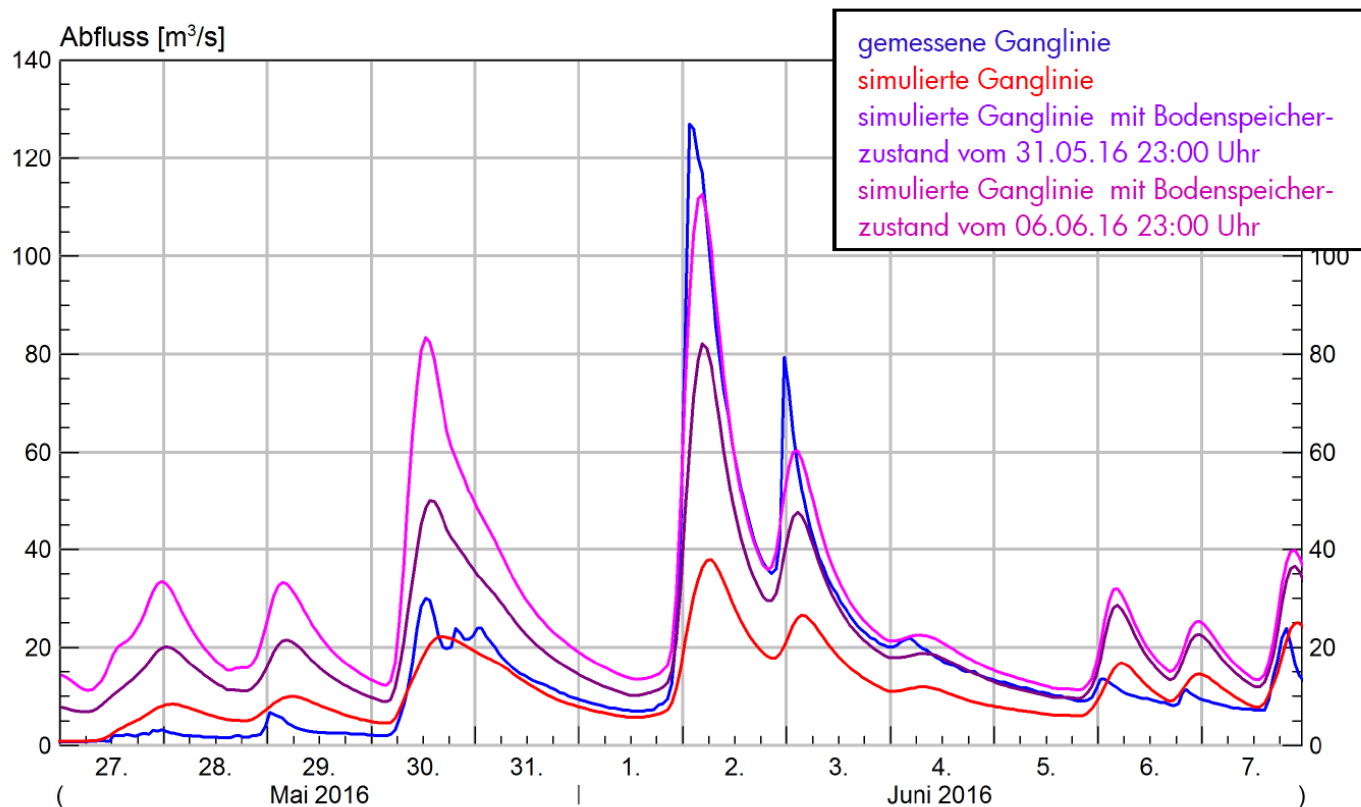
FAKTOR BODENFEUCHTE

Mithilfe der Option FAKTOR BODENFEUCHTE kann der Anfangszustands der Bodenfeuchte modifiziert werden. Dazu ist im [<tape35>](#) der Parameter **KBoFeu** zu definieren. Der Faktor KBoFeu wird mit dem Anfangszustand der Füllung des Bodenspeichers (aus WHM-Zustandsdatei) multipliziert. Folglich bewirken Werte von KBoFeu kleiner 1.0 eine Verringerung der Füllung des Bodenspeichers, wohingegen Werte größer 1.0 eine Erhöhung bewirken. Bei einer Erhöhung der Bodenfeuchte ($KBoFeu > 1.0$) und einem Anfangszustand der Bodenfeuchte von weniger als 10% der maximalen Füllung des Bodenspeichers (laut [<tape12>](#)), wird der Anfangszustand auf 10% der maximalen Füllung gesetzt. Dadurch wird verhindert, dass bei leerem (oder fast leerem) Bodenspeicher keine (bzw. fast keine) Veränderung der Bodenfeuchte erfolgt.

6. Ausblick / zukünftige Entwicklung

Modellreaktion auf Starkregen

- Test: veränderter Bodenspeicher durch andere Zustandsdatei



Quelle: Hydron

6. Ausblick / zukünftige Entwicklung

Modellreaktion auf Starkregen

- **Unwetterperiode** im Mai/Juni 2016 mit vielen lokalen **Starkregenereignissen**
- Viele **Scheitel** wurden mit LARSIM sowohl in der Vorhersage als auch im Hindcast mit Messdaten **stark unterschätzt**



... für Ihre Aufmerksamkeit!

*Bei Fragen und Anregungen:
Sven.vanderHeijden@lfu.rlp.de*

