

Das operationelle LARSIM WHM Nahe mit erweitertem Boden- und Infiltrationsmodul: Modellgrundlagen und Kalibrierung

Nicole Henn, Ingo Haag

HYDRON Ingenieurgesellschaft für
Umwelt und Wasserwirtschaft mbH

Norbert Demuth

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz LUWG

Inhalt

(1) Modellkonzept

Abflussprozesstypen

Bodenmodul im Überblick

Infiltration (HOF, SOF)

Preferential Flow (SSF)

Drainage (DP, Dämpfung)

Abflussreaktion

(2) Das neue WHM Nahe

Modellaufbau

Kalibrierung

Ergebnisse

(3) Zusammenfassung

(4) Ausblick

Modellkonzept: Abflussprozessstypen

Abflussprozessstypen in a nutshell:

Prozesse:

Horton-Overland-Flow (HOF)

Saturation-Overland-Flow (SOF)

Subsurface-Storm-Flow (SSF)

Deep Percolation (DP)
(+ not contributing) (DP=)

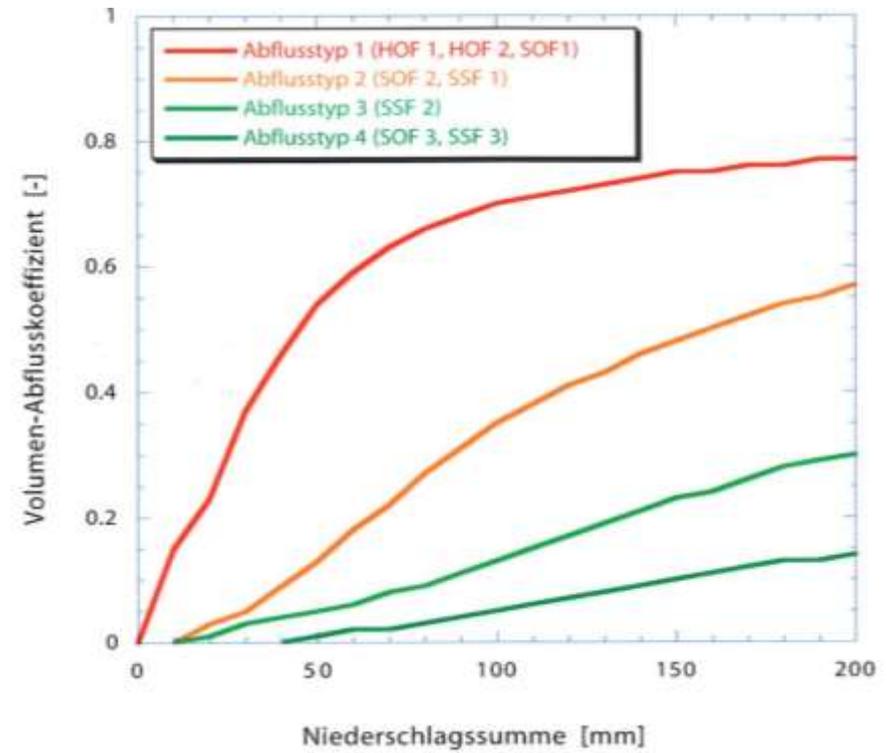
+

Intensität (1,2,3):

Verzögerung

Abschwächung

Charakteristische Abflussreaktionskurven:

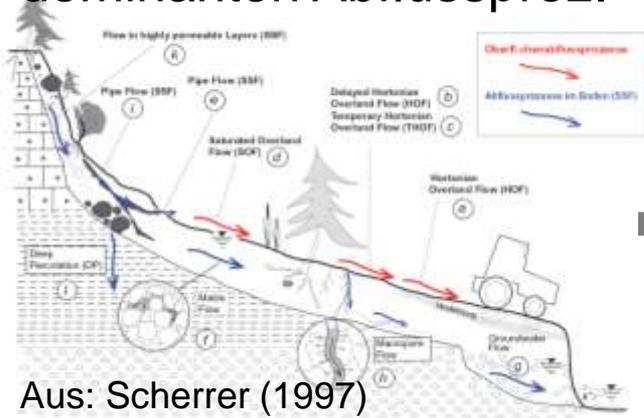


Aus: LUWG (2006)

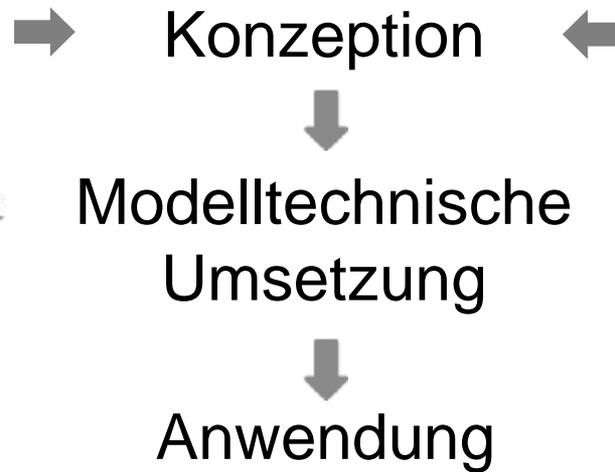
Modellkonzept: Abflussprozessstypen

Integration der **Abflussprozessstypen** nach Scherrer in **LARSIM**

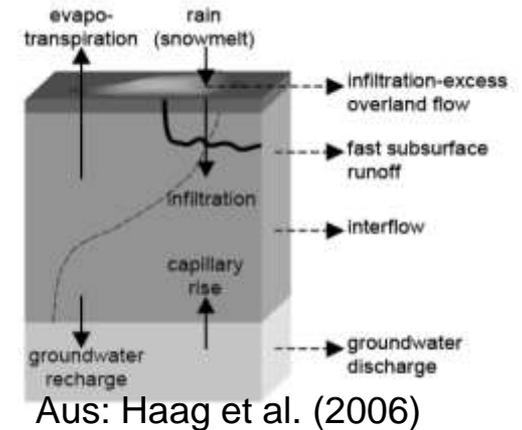
Kartierung der bei der
Hochwasserentstehung
dominanten Abflussproz.



- Feldversuche
 - Bodeneigenschaften
 - Hangneigung
 - Lage im EZG
- ⇒ Klassifikation



Xinanjiang-Bodenmodul
in LARSIM



- Unterteilgebiete
- Bodeneigenschaften
- Parametrisierung
- Kalibrierung

Modellkonzept: Bodenmodul - Überblick

Prozesse und „Intensitäten“

HOF / SOF:

- Abbildung der Prozesse mit neuem Infiltrationsmodul

SSF:

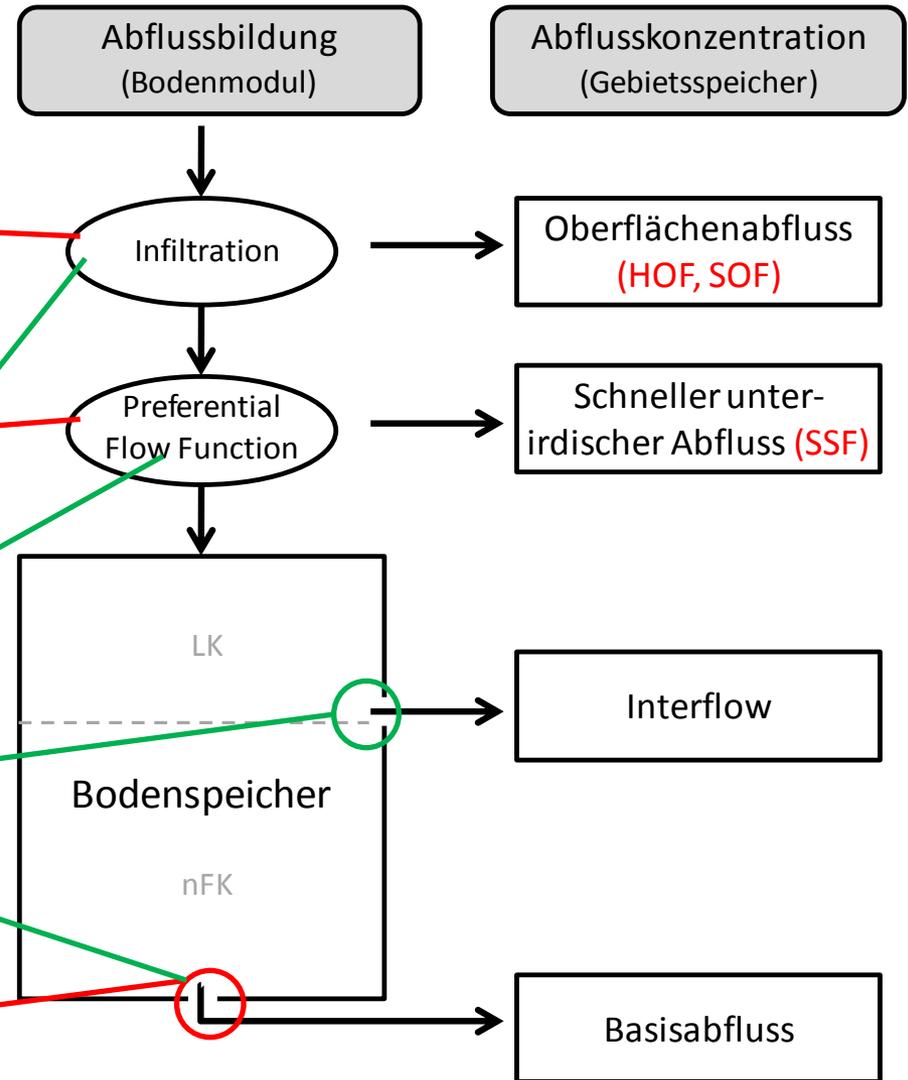
- Abbildung des Prozesses mit PFF

Verzögerung und Abschwächung:

- Infiltrationsmodul (SOF1/2/3)
- PFF (SSF1/2/3)
- Anpassung der lateralen Drainage und der Tiefenversickerung (alle)

DP:

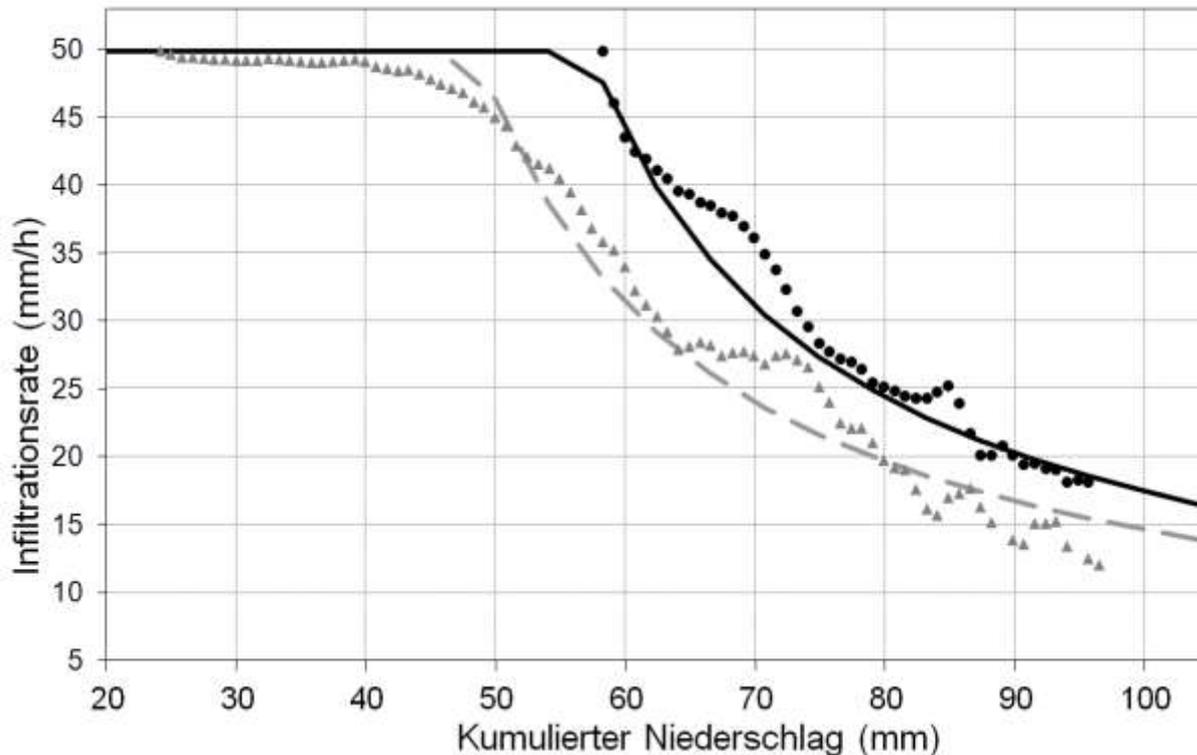
- Abbildung des Prozesses über Anpassung der Tiefenversickerung



Modellkonzept: Infiltration (HOF, SOF)

Infiltrationsmodul (Abhängigkeit von der Bodenfeuchte):

$$I_{\text{kap}} = I_{\text{min}} + (I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) \cdot \left(1 - \frac{W_0 - W_b}{W_m - W_b}\right)^{\text{binf}}$$



• Realistische Abbildung des Infiltrationsverhaltens

Parametrisierung HOF, SOF

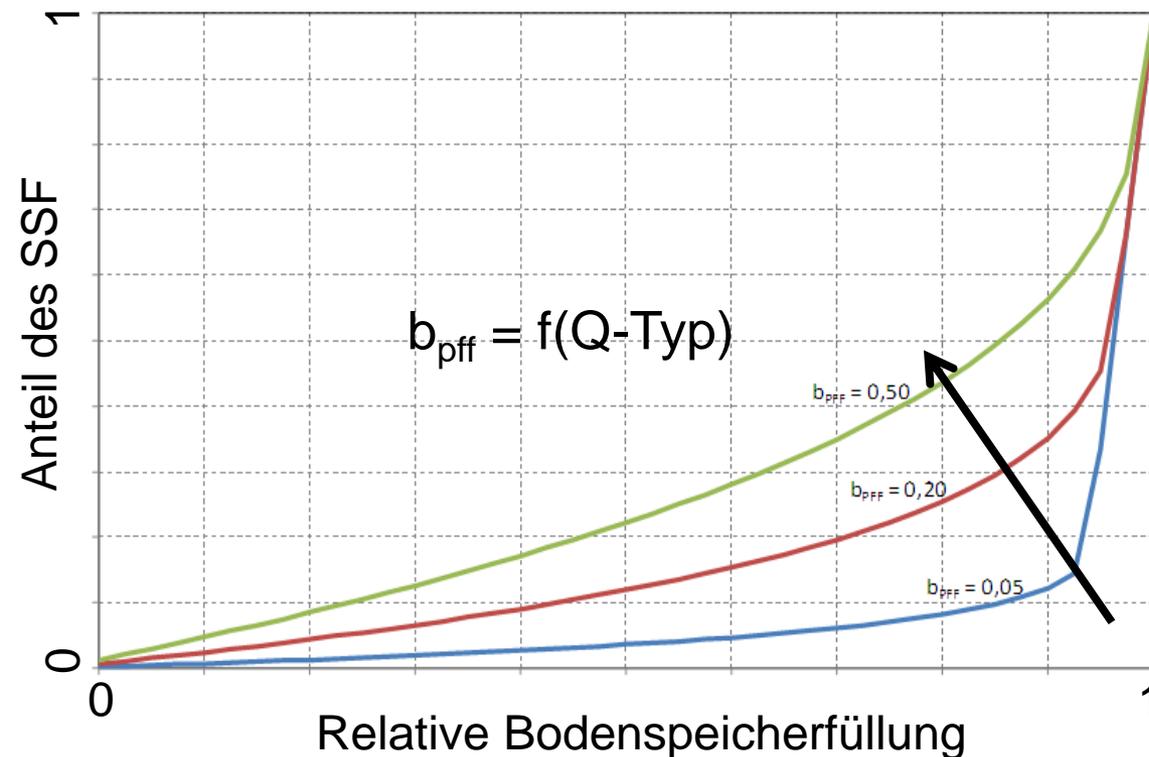
• Horton-Overland-Flow:
(I_{kap} generell gering)

• Saturation-Overland-Flow:
(rasche Reduktion von I_{kap}
= Sättigung)

Modellkonzept: Preferential Flow (SSF)

Preferential Flow Function (VIC-, ARNO- oder Xinanjiang-Konzept):

$$SSF = Inf - (W_m - W_0) + W_m \left(\left(1 - \frac{W_0}{W_m} \right)^{\frac{1}{b_{pff}+1}} - \left(\frac{Inf}{(b_{pff}+1)W_m} \right)^{b_{pff}+1} \right)$$



SSF nimmt mit Sättigung zu

Parametrisierung SSF:

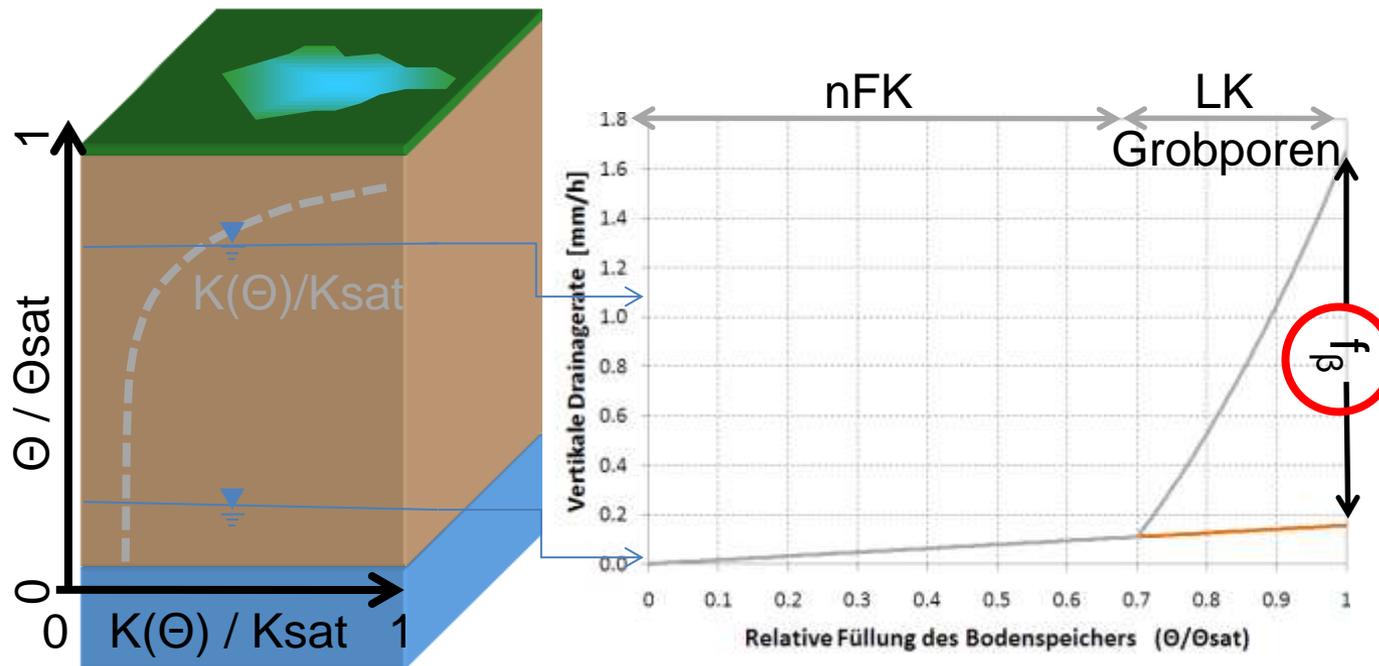
Mit zunehmender Intensität
größeres b_{pff}
(SSF_1 , SSF_2 , SSF_3)

Modellkonzept: Drainage (DP, Dämpfung)

Tiefenversickerung:

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

Realistische exponentielle Zunahme der Versickerung im Grobporenbereich:



Deep Percolation:

- hohes f_β

Dämpfung der Intensität anderer Prozesse:

- Variation f_β
- Variation $f_{interflow}$

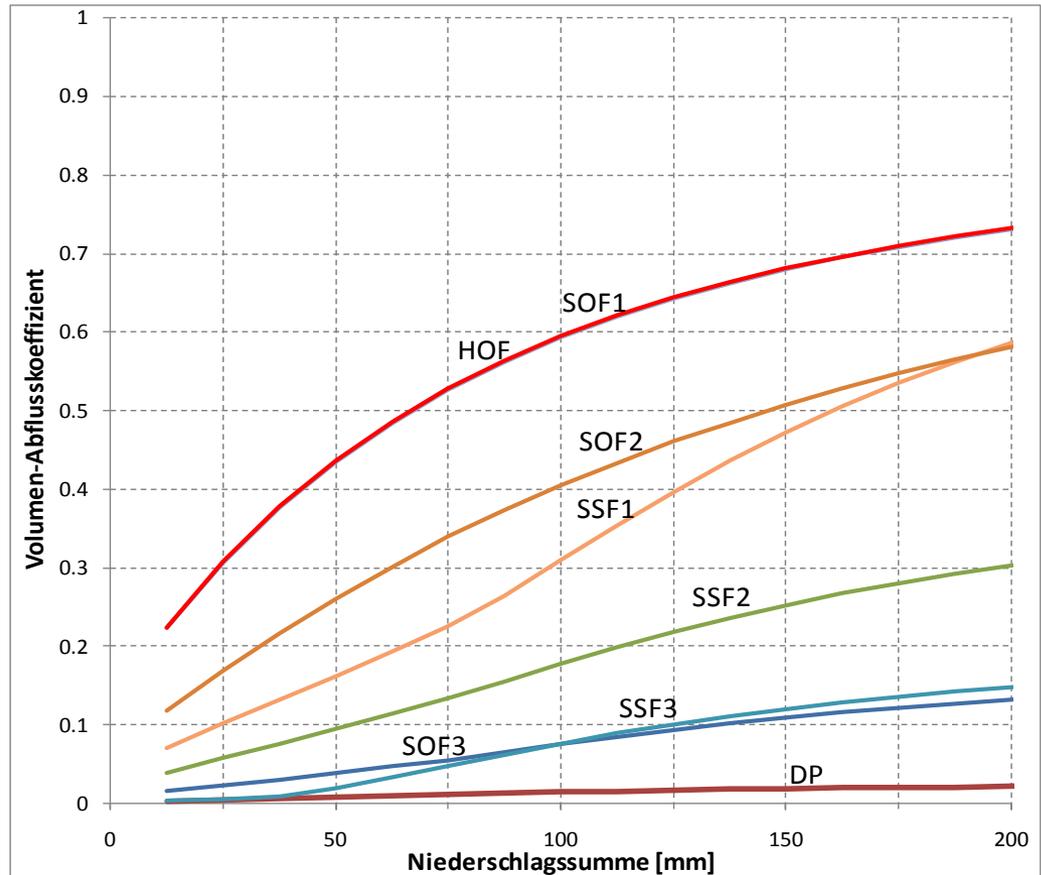
Modellkonzept: Abflussreaktion

Parametrisierung des Bodenmoduls

Grundparametrisierung
differenziert nach
Abflussprozesstyp:

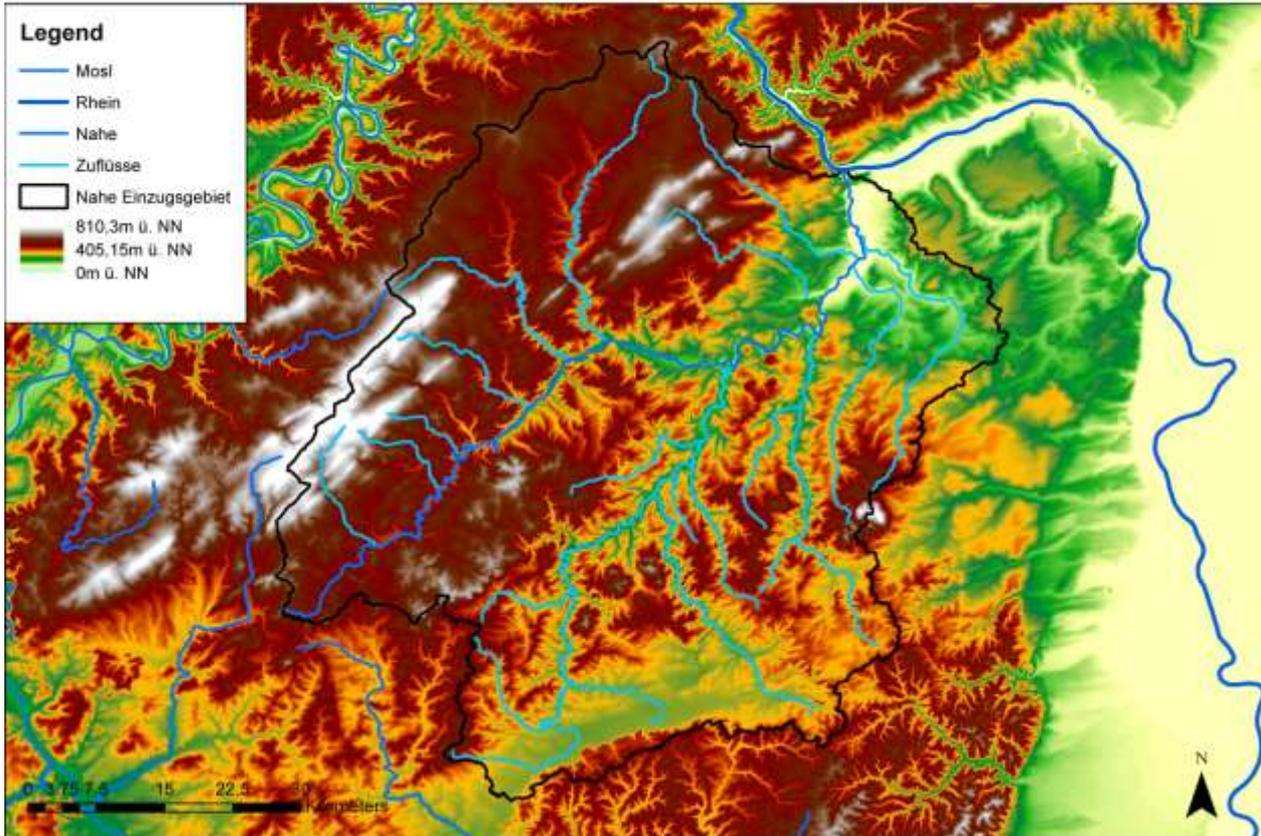
- Infiltration
- Preferential Flow
- Laterale Drainage
- Vertikale Drainage

⇒ Charakteristische
Abflussreaktionskurven



WHM Nahe: Modellaufbau

Nahe Einzugsgebiet



A_{EZG} : 4 067 km²

Höhenlage:
80 – 816 m ü. NN

Jahresniederschlag:
450 – 1 400 mm

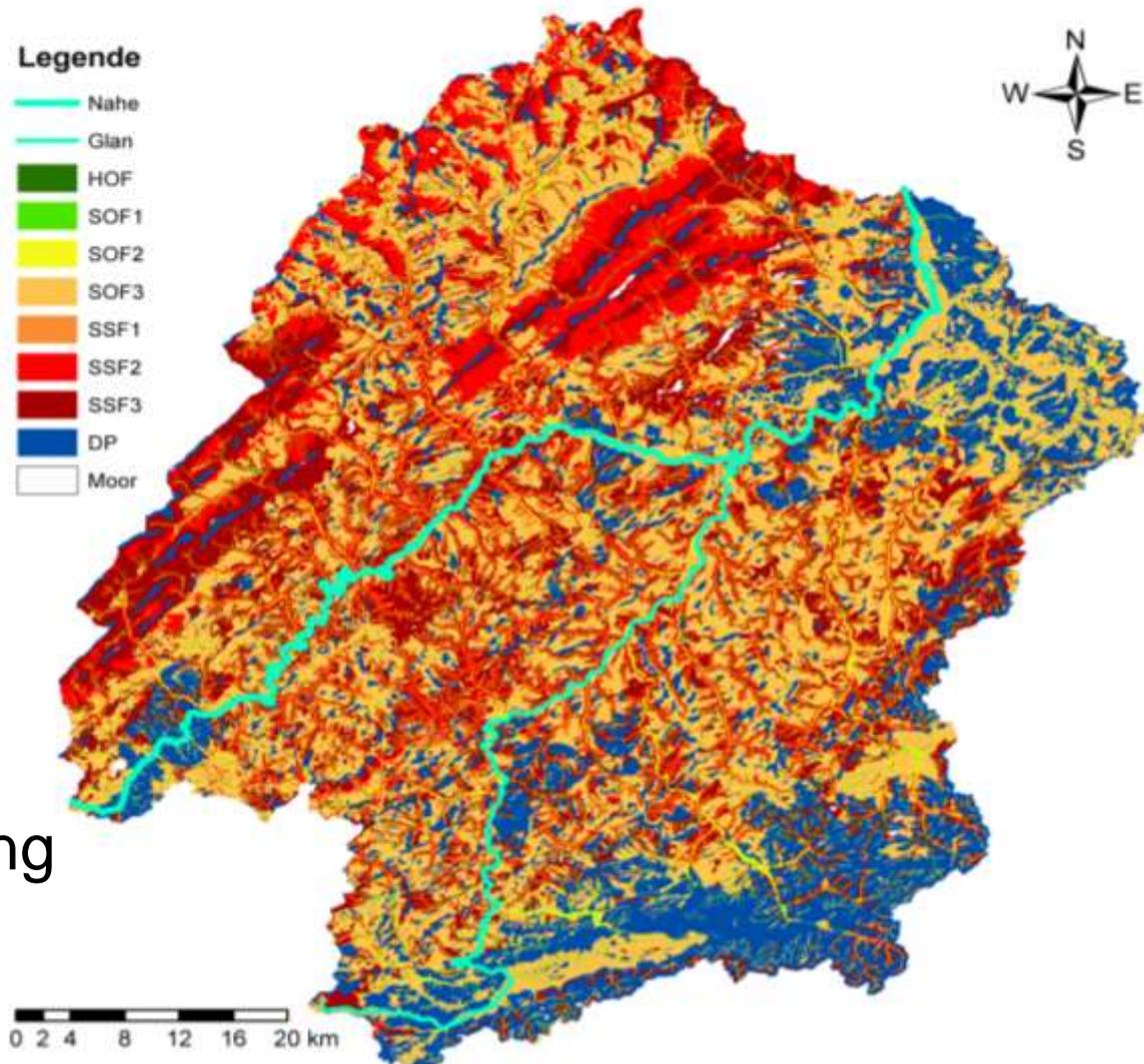
Durchschnittstemp.:
7,5 – 12,5°C

Variable Petrographie
und Böden

WHM Nahe: Modellaufbau

Variabilität von

- Klima
- Morphologie
- Petrographie
- Böden



⇒ Deutliche Differenzierung
der dominanten
Abflussprozesstypen

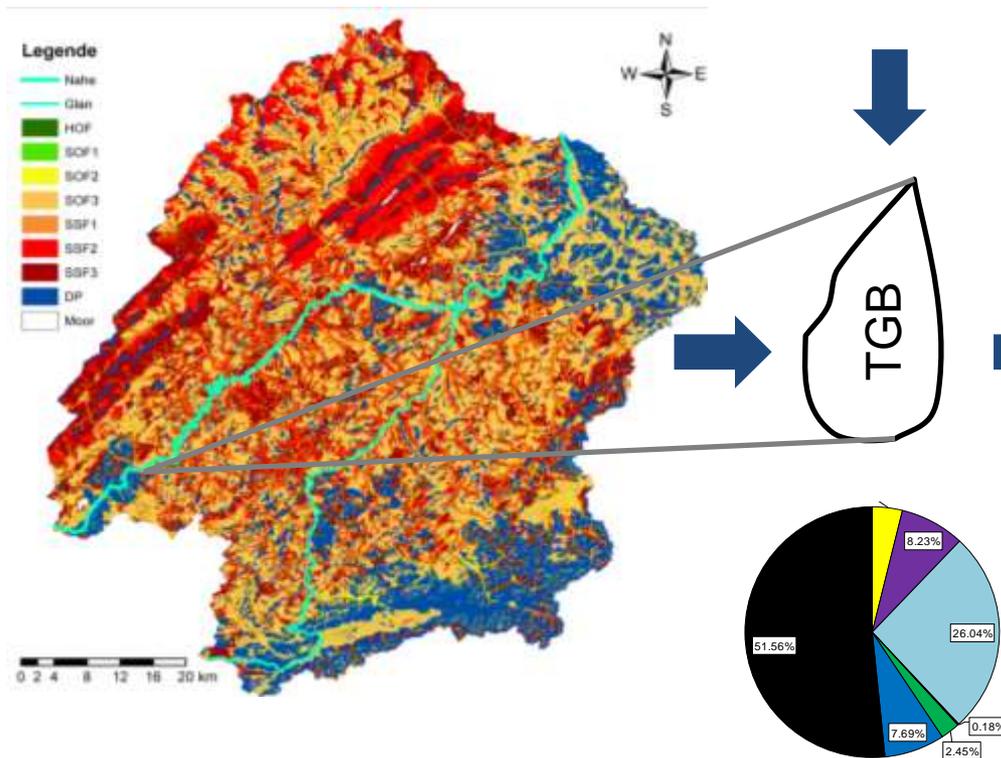
WHM Nahe: Modellaufbau

Integration der Abflussprozessstypen in Gebietsdatei/Tape12

Karte der dominanten Abflussprozessstypen

Verschneidung je TGB:
+ Lanu + Boden (nFK, LK)

Landnutzung-Boden-
Prozess-Kompartimente



(HRU)

22642541111100	2.465	2.461		
2264	238107	238106		
2264				
2264				
2264BP 07	8	0.115	37.	35.
2264BP 13	8	0.198	78.	33.
2264BP 01	1	0.023	109.	43.
2264BP 08	1	0.124	88.	38.
2264BP 13	1	0.009	78.	32.
2264BP 01	2	0.023	109.	43.
2264BP 07	2	0.024	118.	50.
2264BP 08	2	0.109	100.	40.
2264BP 13	2	0.042	77.	31.
2264BP 01	3	0.285	107.	42.
2264BP 07	3	0.274	108.	47.
2264BP 08	3	0.611	85.	36.
2264BP 13	6	0.590	97.	37.

Lanu (green box)
Prozess (red box)
Fläche (grey box)
nFK (red box)
LK (blue box)

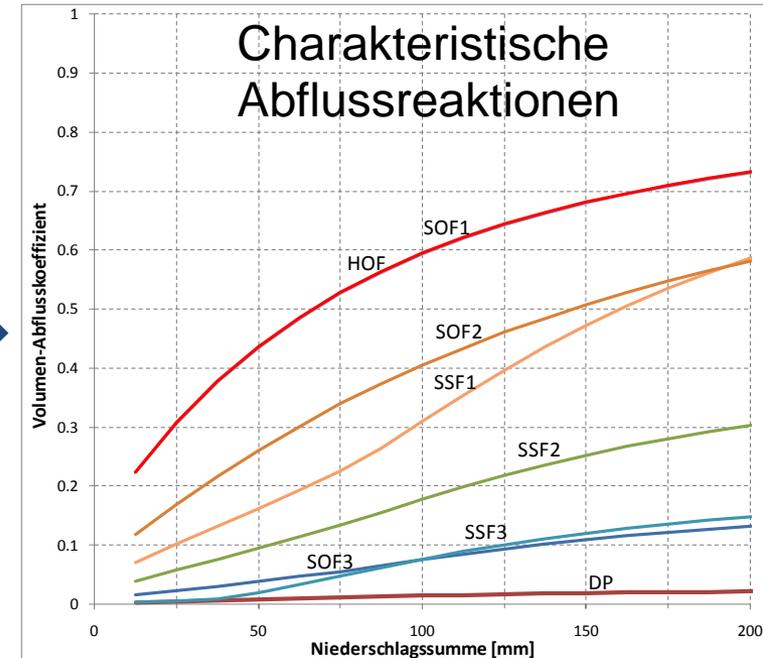
WHM Nahe: Modellaufbau

Parametrisierung der Abflussprozessstypen über BODEN.PAR

BODEN.PAR:

Grundparametrisierung der Abflussprozessstypen

```
* =====  
* Nr  Imax_c  Imin_c  binf_c  bPFF_c  fint_c  fbas_c  Q-Typ  
* =====  
Anzahl Q-Typen: 10  
1  900.0  24.0  5.0  0.05  1.0  1.0  SOF1  
2  1200.0  24.0  2.0  0.05  5.0  1.0  SOF2  
3  2400.0  24.0  1.25  0.05  25.0  100.0  SOF3  
4  2400.0  360.0  0.1  0.45  1.0  1.0  SSF1  
5  2400.0  360.0  0.1  0.25  25.0  25.0  SSF2  
6  2400.0  360.0  0.1  0.12  25.0  100.0  SSF3  
7  2400.0  360.0  0.1  0.05  1.0  1.0  MOOR  
8  2400.0  360.0  0.1  0.05  1.0  250.0  DP  
9  -1.0  -1.0  -1.0  -1.00  -1.0  -1.0  Risk  
10  240.0  24.0  5.0  0.05  1.0  1.0  HOF
```



⇒ Grundparametrisierung über numerische Experimente

⇒ Für gesamtes, heterogenes Nahegebiet anwendbar

WHM Nahe: Kalibrierung

Kalibrierung:

- 24 Pegel
- 1994 – 2013
- 5, 6 HW im Detail
- Plausibilität der Abflussmessungen
- Konsistenz aufeinander folgender Pegel
- Mit Option <BODENMODUL Q-TYPEN>

Legende

- ▲ Pegel
- Hauptgewässer

Teilgebiete

- EZG Nahe bis Glanmündung
- EZG Glan
- EZG Nahe nach Glanmündung



0 3 6 12 18 24 30 km

WHM Nahe: Kalibrierung

Besonderheiten beim erweiterten Boden- und Infiltrationsmodul (BODENMODUL Q-TYPEN)

Skalierfaktoren BODEN.PAR:

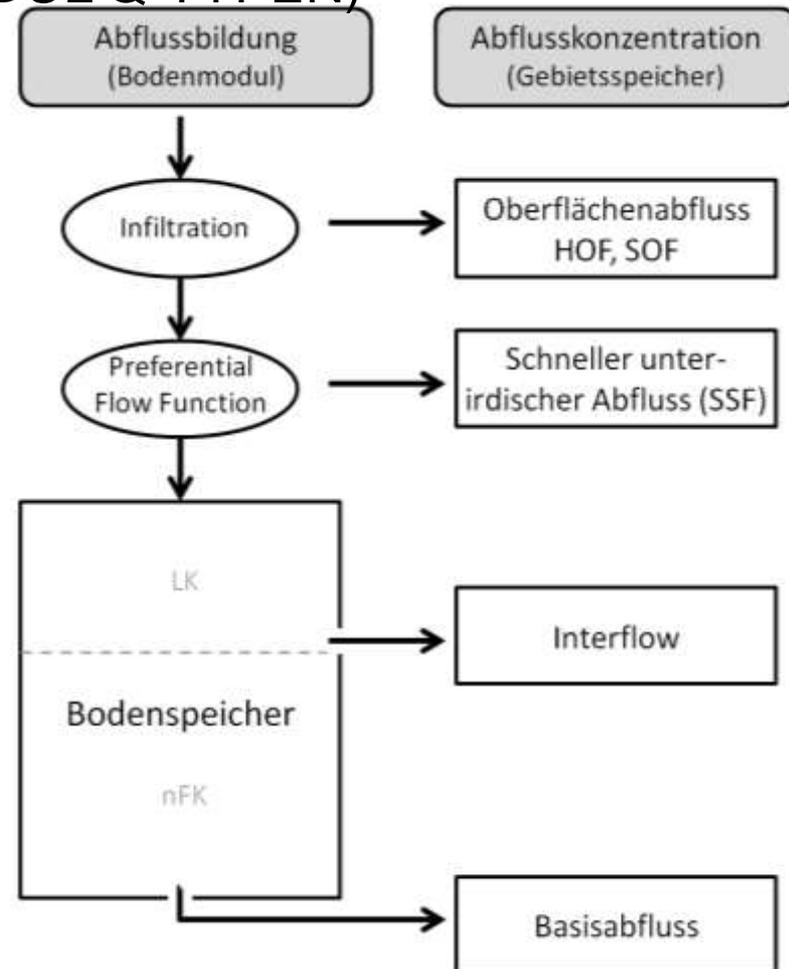
- I_{max_fak} , I_{min_fak} , $binf_fak$
- $bPFF_fak$
- $fint_fak$
- $fbas_fak$

Geänderte Bedeutung:

- rD_{min} , rD_{max}
- β

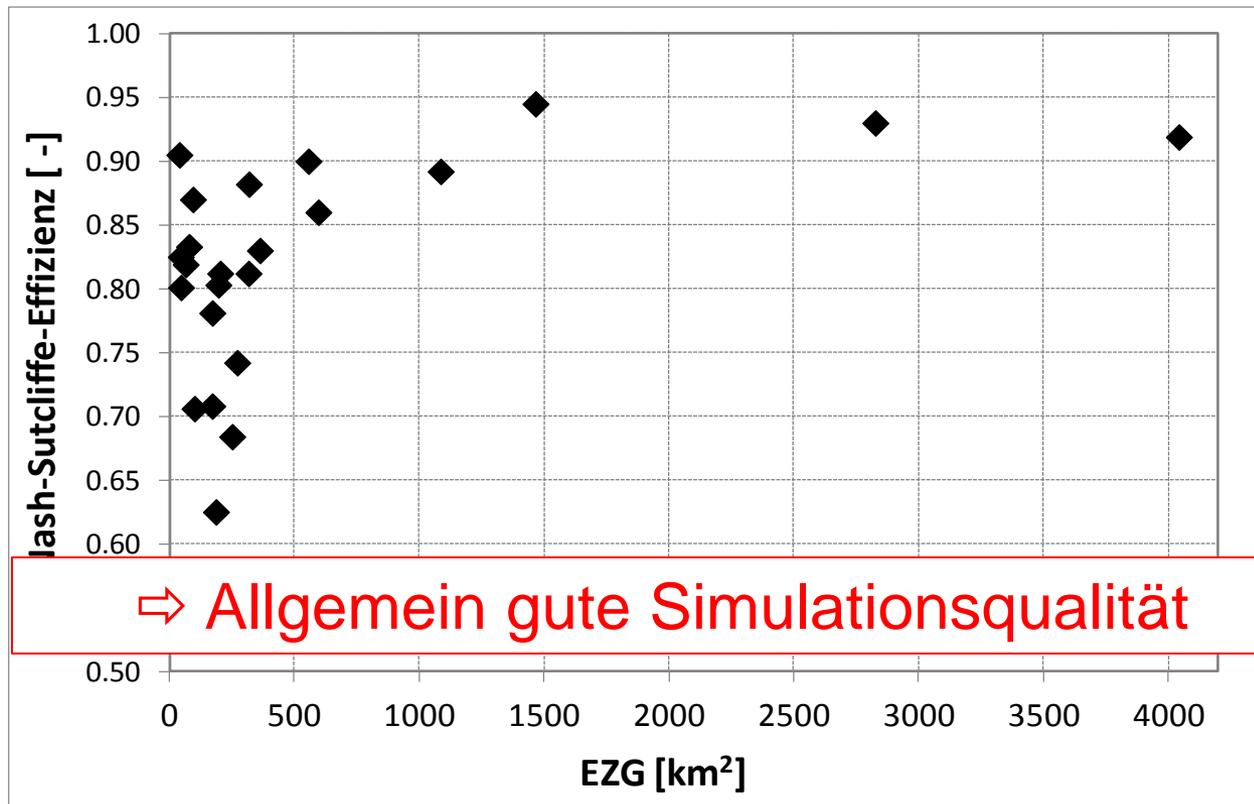
Entfallen:

- BSF
- A2

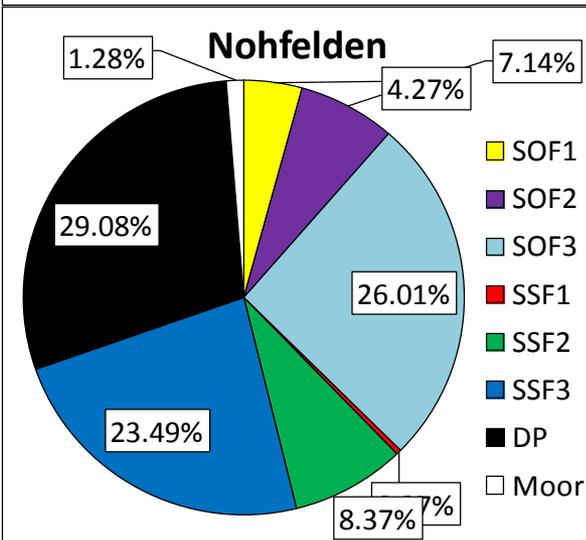
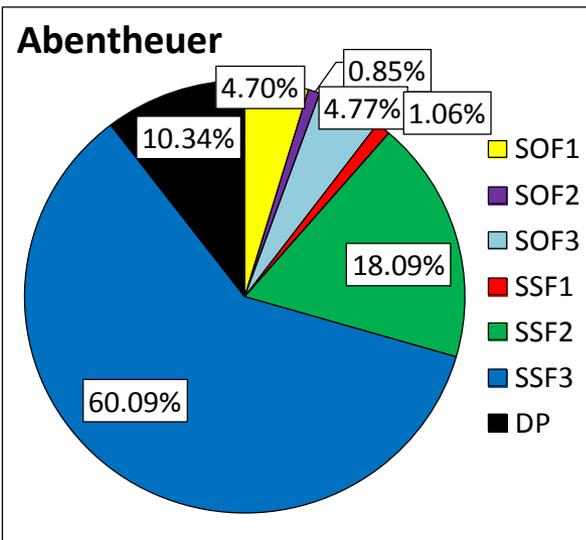


WHM Nahe: Ergebnisse

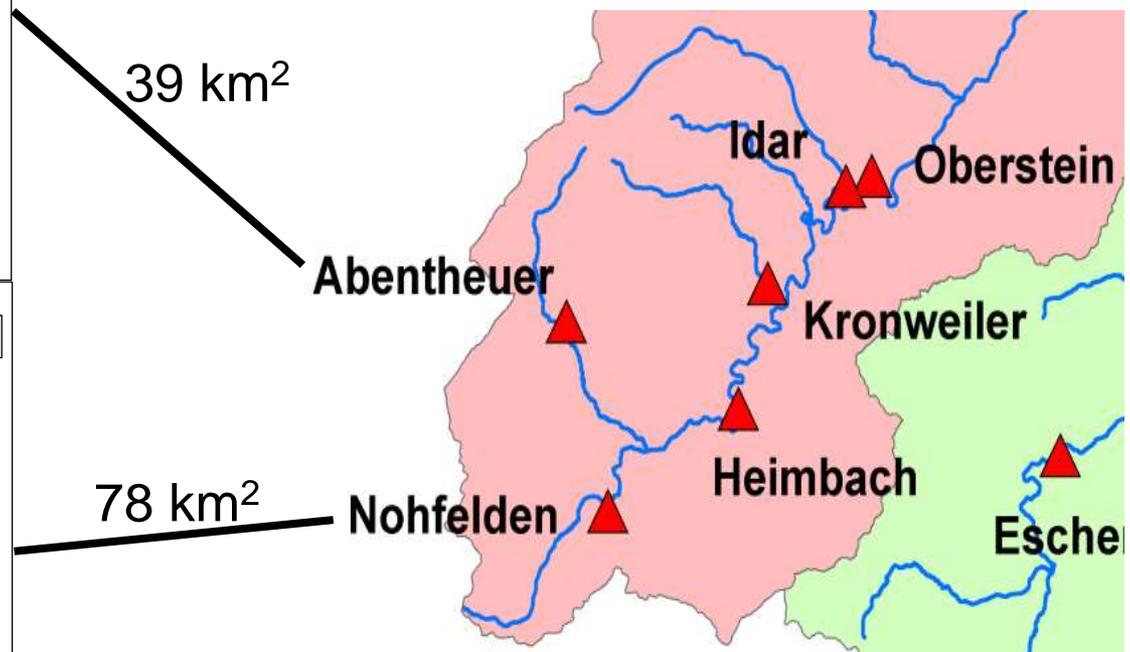
- Physikalisch / konzeptionell plausible Werte für Parameter
- Skalierfaktoren variieren zumeist um 1,0
 - ⇒ BODEN.PAR für gesamtes heterogenes EZG anwendbar



WHM Nahe: Ergebnisse

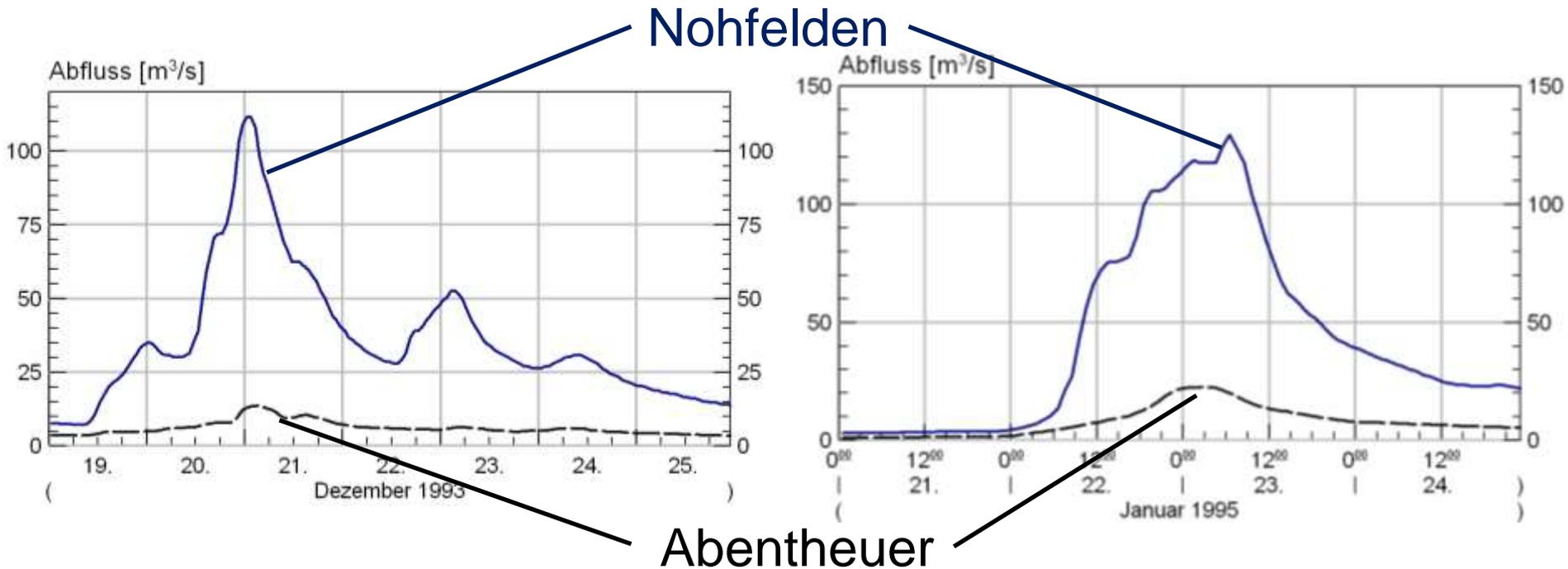


Wirksamkeit der Abflussprozessstypen



WHM Nahe: Ergebnisse

Gemessene Abflüsse der beiden höchsten Hochwasser

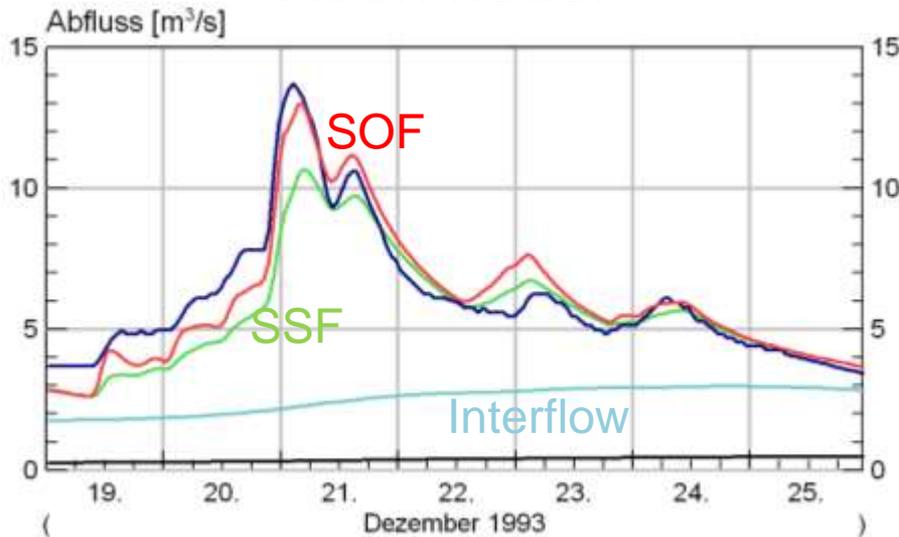


⇒ Bei Abentheuer massive Abschwächung durch SSF 3

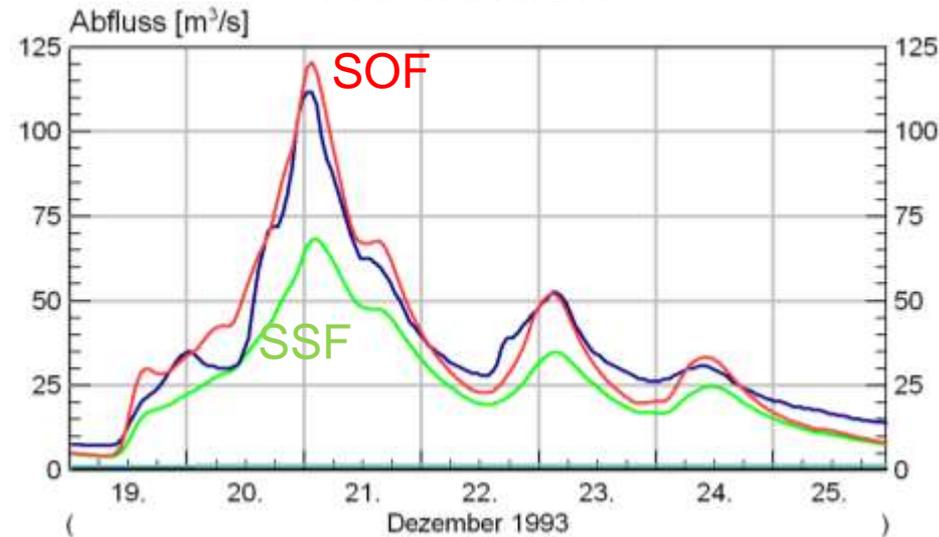
WHM Nahe: Ergebnisse

Auswirkung in der Simulation

Abentheuer



Nohfelden



⇒ Infiltration

⇒ Weniger Infiltration

⇒ D
(A
⇒ **Unterschiede in dominanten Abflussprozesstypen wirken sich wie erwartet auf die Simulation aus**

⇒ Dominanz SSF

⇒ Dominanz SOF

Zusammenfassung: Modellkonzept

- Abflussprozesstypen können in LARSIM berücksichtigt werden
- Erfolgreiche Integration durch Weiterentwicklung des Bodenmoduls:
 - Infiltrationsmodul (realistisch, flexibel, HOF + SOF)
 - Preferential Flow Function (SSF)
 - Drainage (realitätsnah, zeitl. Dynamik, Verzögerung und Abschwächung)
- Grundparametrisierung der Prozesse als $f(Q\text{-Typen})$
 - ⇒ räumlich differenzierte Abflussreaktionskurven
 - ⇒ BODEN.PAR für heterogenes Nahe-Gebiet einsetzbar
- Skalierung / Kalibrierung über PKB-spezifische Faktoren

Zusammenfassung: WHM Nahe

- Verbesserte bodenhydrologische Karte für das Nahegebiet liegt vor und wurde genutzt
- Gebietsdatei mit Abflussprozesstypen und Grundparametrisierung für das gesamte Nahegebiet
- WHM Nahe mit neuem Ansatz erfolgreich kalibriert
- Dominante Abflussprozesstypen zeigen erwartete Wirkung
- Verbesserte räumliche Differenzierung innerhalb eines PKB
- Spezifische Kalibrieranleitung steht zur Verfügung

Ausblick

- Überführung des WHM Nahe in den operationellen Betrieb
- Vorhersagetests zur Bewertung und zum Vergleich mit bisherigem Modell
- Bewertung der Differenzierung anhand von genesteten Pegeln
- Anwendung auf weitere Gebiete

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Modellkonzept: Drainage (DP, Dämpfung)

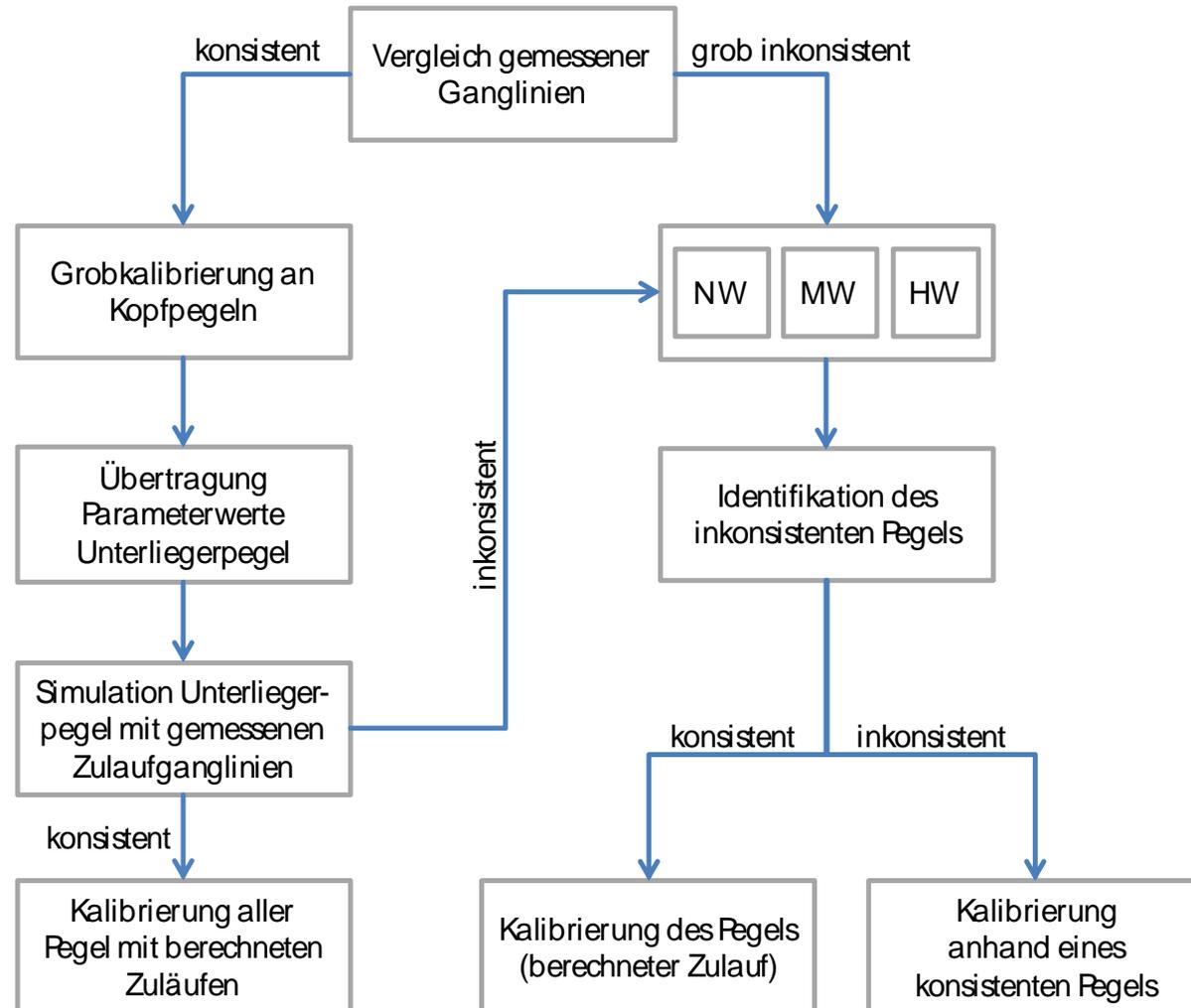
Stark verzögerte Reaktionen (SSF3, SOF3) und DP – Ausgangslage:

- Bei gefülltem Bodenspeicher in LARSIM immer Direktabfluss
⇒ DP sowie stark verzögerte und gedämpfte Reaktionen erfordern erhöhte laterale und/oder vertikale Drainage
- Gemäß Bodenphysik exponentieller Anstieg der hydraulischen Leitfähigkeit mit Füllung der Grobporen
- Unter stationären Bedingungen entsprechende exp. Zunahme der vertikalen Drainage im Grobporenbereich (LK)
⇒ Bis nFK drainiert der Boden nur sehr langsam, verstärkte Tiefenversickerung bei Überschreiten von nFK
- Im LARSIM-Bodenmodul bisher lineare Abhängigkeit der vertikalen Drainage vom Bodenwassergehalt

WHM Nahe: Kalibrierung

Prüfung der räumlichen Konsistenz

- Zusätzliche Plausibilitätsprüfung
- Gemessene und berechnete Zuflüsse
- Maßgeblich für operationellen Betrieb



Modellkonzept: DP=

