

LARSIM-Schulung im Rahmen des Internationalen LARSIM-Anwenderworkshops 2019:

Abflussbildung bei Starkregen und Nutzung der neuen Infiltrationsmodule in LARSIM: Funktionsweise, Datengrundlagen, Beispiele

Ingo Haag
HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft
März 2019



Auftraggeber: **Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie**

Inhalt

- (1) Einführung
- (2) Zeitschrittweite und Radar-Niederschläge
- (3) Funktionsweise und Parametrisierung der Infiltrations-Module
 - LARSIM-Grundlagen
 - Statisches Infiltrationsmodul (InfM)
 - Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung
 - Dynamische Infiltrationsmodul (InfDyn)
- (4) Beispiele / Hinführung zur Übung

Einführung

Hintergrund:

- Hohes Schadenspotential von Starkregen und Sturzfluten (Braunsbach, Simbach, Bretten ...)
- Auslöser kleinräumige, konvektive Niederschläge häufig auf trockene Böden
→ Infiltrationsüberschuss und Horton-Overland-Flow
- LARSIM-Anwendung war nicht auf solche Ereignisse ausgerichtet

Problemfelder:

- Räumliche Auflösung des Niederschlags → Radardaten, Nutzung in LARSIM
- Zeitliche Auflösung (kurzzeitige hohe Intensität) → Radardaten, LARSIM-Zeitschrittweite
- Abbildung von Infiltration / Infiltrationsüberschuss → Infiltrationsmodule

Darstellung der Möglichkeiten in LARSIM:

- Zeitschrittweite und Radar-Niederschläge → kurz / technisch
- Infiltrationsmodule (Funktionsweise, Parametrisierung, Beispiele) → ausführlich

Zeitschrittweite und Radar-Niederschläge

Radar-Niederschläge:

- Unterschiedliche Produkte von DWD und anderen Anbietern sind verfügbar
- Unterschiede in räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie in „Aneichung“

Beispiele:

Anbieter	Produkt	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung
DWD	RADOLAN RW	1 x 1 km	1 Stunde
DWD	RADOLAN YW	1 x 1 km	5 Min
Meteologix	Super HD	250 x 250 m	5 Min
DWD	RADOLAN RL	1 x 1 km	1 Stunde
DWD	...		

Zeitschrittweite und Radar-Niederschläge

Nutzung in LARSIM:

- Aufbereitung mit CORA
- Nutzung als KALA-Dateien (Raster-Daten) → Tape10, Pfade.dat

Tape10:

<pre>;----- ; Eingabe ;----- LILA-EIN SPALTE LILA-EIN STATIONSNAME *NIEDERSCHLAG KALA WHM-ZUSTAND EIN SORTIERT</pre>	<pre>;----- ; Meteorologie ;----- METEO-LUECKEN STATIONSBEZOGEN FUELLEN KORR. N-MESSUNG SEVRUK RASTERPUNKT HOEHENGEWICHTUNG RASTERPUNKT</pre>
--	---

Pfade.dat:

<pre>'Messdaten:' ' - Niederschlag ' - Lufttemperatur ' - Globalstrahlung ' - Windgeschwind. ' - Luftdruck ' - Rel. Luftfeuchte ' - Abfluss</pre>	<pre>' '.\' ' '..\meteo_5min\tlu_2015.lila' ' '..\meteo_5min\xglob_2015.lila' ' '..\meteo_5min\xwind_2015.lila' ' '..\meteo_5min\xludr_2015.lila' ' '..\meteo_5min\rflu_2015.lila' ' '..\abfluss\5min\q_2015.lila'</pre>
---	--

<pre>'Messdaten KALA-Format:' ' - Niederschlag</pre>	<pre>' '..\super-hd\radar_super-hd.kala'</pre>
--	--

Zeitschrittweite und Radar-Niederschläge

Zeitschrittweiten in LARSIM-WHM:

- Bis 2016 nur Stunden- oder Tageswerte (kürzere Zeitschritte nur für LARSIM-NA)
- Seit 2017 „beliebige“ Zeitschrittweite größer/gleich 5 Min
- Angabe der Zeitschrittweite in der Einheit [h] → 15 Min = 0,25 [h]; 5 Min = 0,083 [h]
- Alle Antriebsdaten müssen im entsprechenden Zeitschritt vorliegen

Tape10:

```
;-----  
; Modellsteuerung  
;-----  
ERSTES TGB          1  
LETZTES TGB         198  
ORDNUNG ERSTE GTS    1  
INTERVALLAENGE (H)  1.  
*INTERVALLAENGE (H) 0.083
```

Pfade.dat:

```
'Messdaten:'  
' - Niederschlag           ' '..\'  
' - Lufttemperatur         ' '..\meteo\5min\flu_2015.lila'  
' - Globalstrahlung        ' '..\meteo\5min\xglob_2015.lila'  
' - Windgeschwindigkeit    ' '..\meteo\5min\xwind_2015.lila'  
' - Luftdruck              ' '..\meteo\5min\xludr_2015.lila'  
' - Rel. Luftfeuchte        ' '..\meteo\5min\rflu_2015.lila'  
' - Abfluss                ' '..\abfluss\5min\q_2015.lila'  
  
'Messdaten KALA-Format:'  
' - Niederschlag           ' '..\super-hd\radar_super-hd.kala'
```

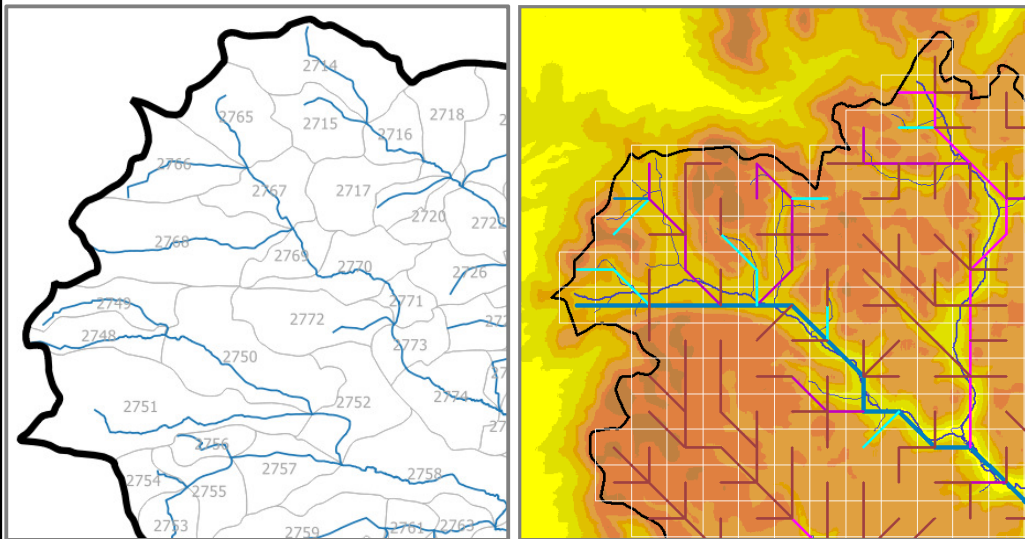
LARSIM-Grundlagen

Teilgebiete (TGB):

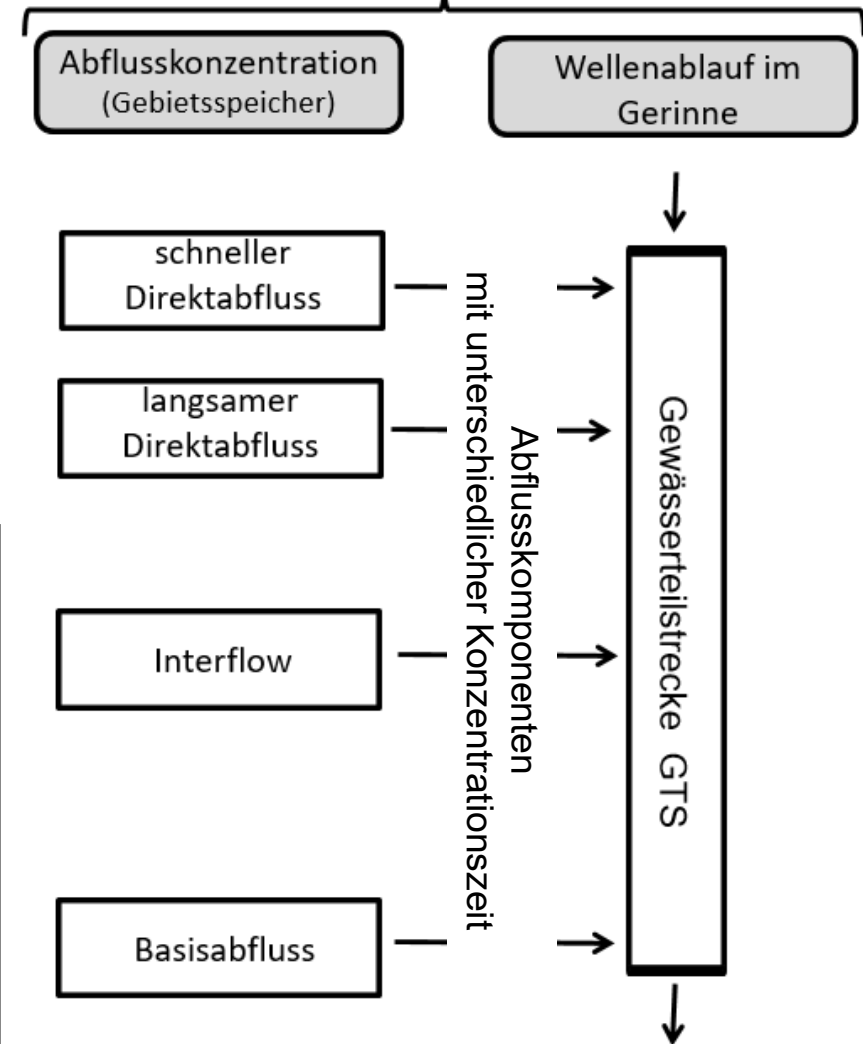
- Unterteilung der Einzugsgebiete in TGB: hydrologische Teil-EZG oder Raster
- Häufig $\sim 1 \text{ km}^2$
- Hydrologische Fließvernetzung: reale Gewässer-Teilstrecken je TGB

→ Prozesse auf TGB-Ebene:

- Abflusskonzentration (Gebietsspeicher)
- Wellenablauf in GTS (Floodrouting)



TGB-spezifisch



LARSIM-Grundlagen

Unter-Teilgebiete (UTGB):

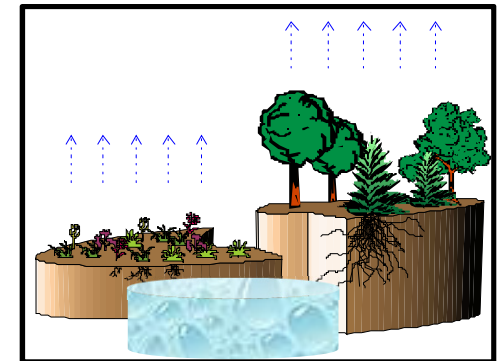
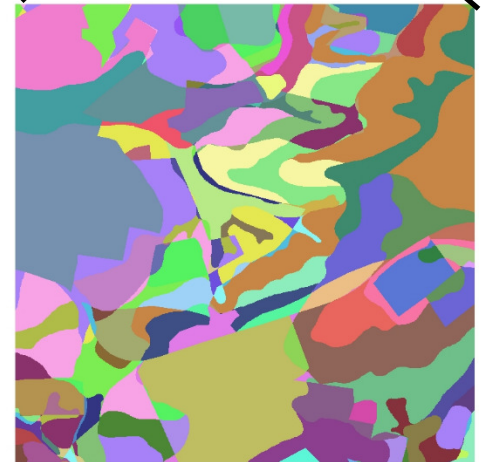
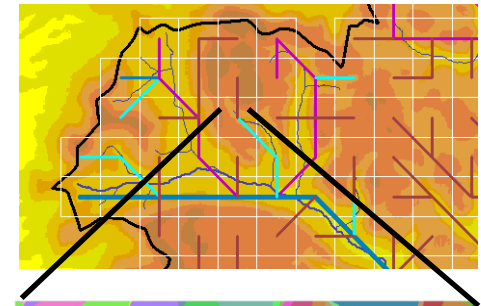
- Jedes TGB ist in subskalige Unter-Teilgebiete unterteilt (UTGB)
- Ursprünglich: Gleiche Landnutzung (Landnutzungs-Kompartimente)
- Erw. Bodenparameter: Gleiche LANU + ähnliche Bodeneigenschaften (nFK, LK sowie ggf. Abfluss-Prozesstyp, VDB, KapA, ...)
- Häufig ~ 1 Hektar

→ UTGB = Flächen ähnlicher hydrologischer Reaktion:

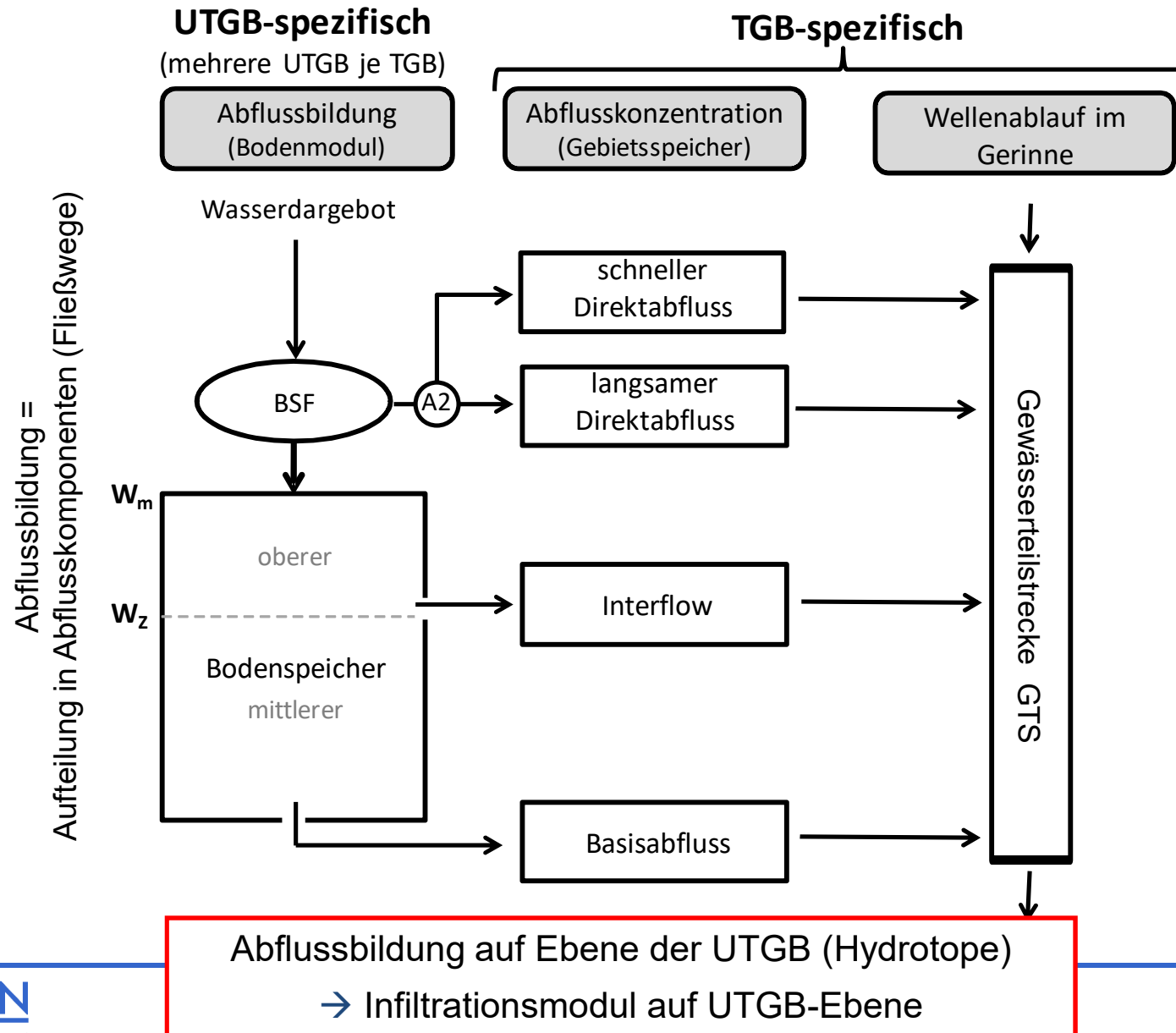
UTGB = Hydrotipe (HRU, Lanu-Boden-Kompartimente ...)

→ Prozesse auf UTGB-Ebene:

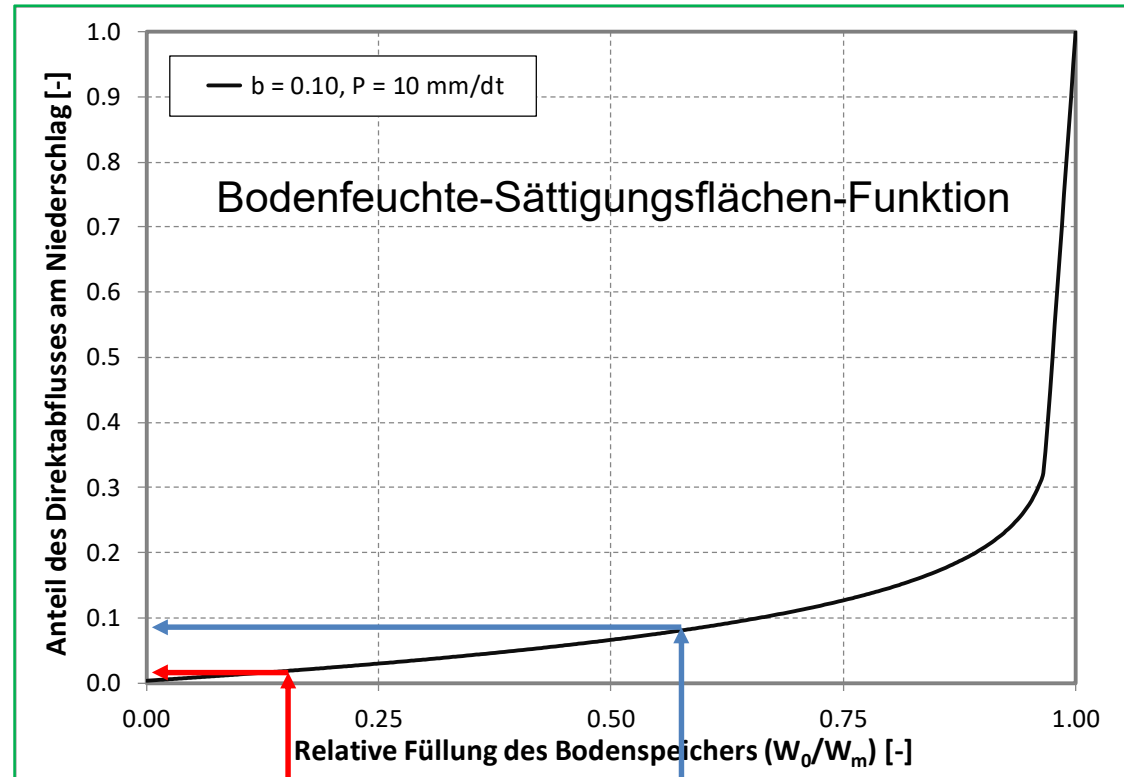
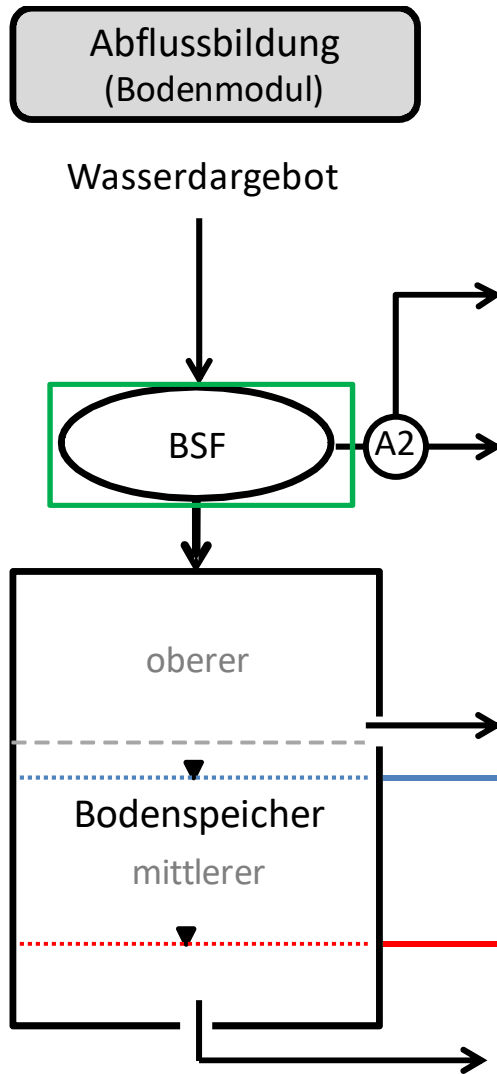
- Interzeption / Interzeptionsverdunstung
- Schnee (ggf. Schnee-Kompartimente)
- Verdunstung
- Bodenwasserhaushalt
- Abflussbildung
(Aufteilung in Abflusskomponenten)



LARSIM-Grundlagen



LARSIM-Grundlagen

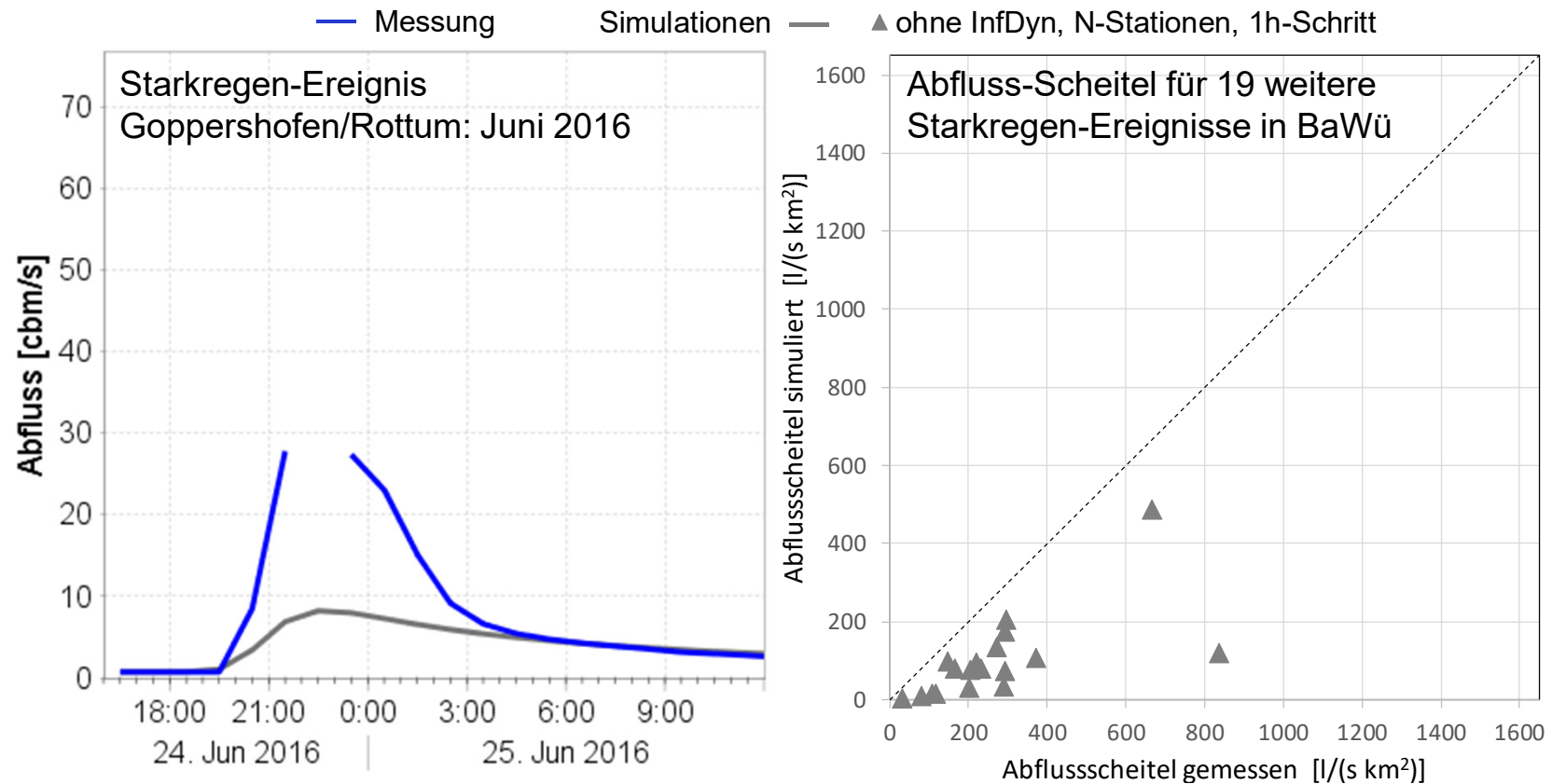


- Direktabfluss = f (Füllung des Bodenspeichers bis 1m)
- Kaum Einfluss der Nied.-Intensität
- A2 einfacher Schwellenwert zur Aufteilung in langsamen und schnellen Direktabfluss

LARSIM-Grundlagen

Ausgangslage: Bei Starkregen auf „leeren“ Bodenspeicher ohne Infiltrationsmodul

- Systematische Unterschätzung der Abflussreaktion

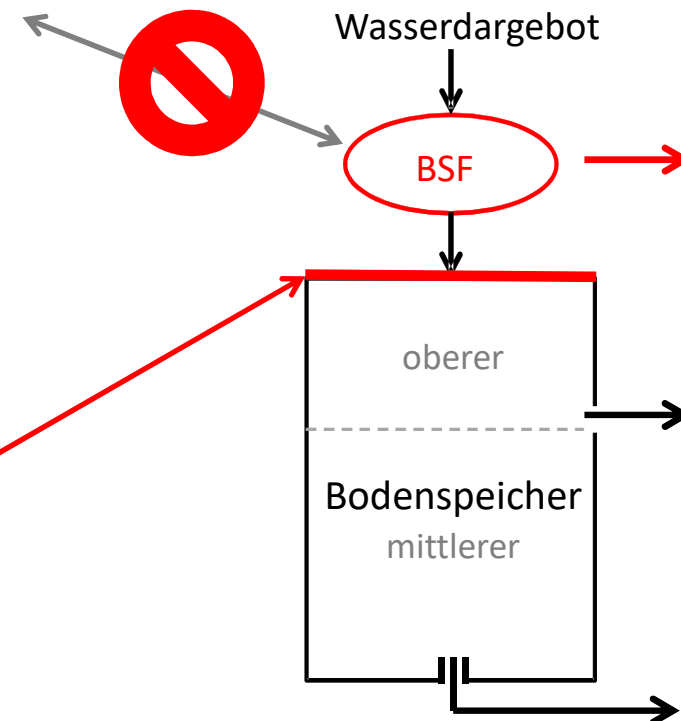


LARSIM-Grundlagen

- Infiltrations-Überschuss bei Starkregen zeigt nur geringe Abhängigkeit vom Wassergehalt der Gesamt-Bodensäule

- **Infiltrationsüberschuss bei Starkregen ist abhängig von:**

- Aktueller N-Intensität (Eingangsdaten, Zeitschritt)
- Statischen Eigenschaften der Bodenoberfläche (Textur, Vegetation, Makroporen ...)
- Jahreszeitlich variablen Eigenschaften der Bodenoberfläche (Verschlammungsgrad, Vegetationsentwicklung, Trockenrisse...)
- Variablem Feuchtezustand der Bodenoberfläche und dynamischem Infiltrationsprozess



→ **Zwei Ansätze zur besseren Abbildung der Infiltration:**

- Einfacher statischer Infiltrations-Grenzwert (InfM)
- Prozessorientierte dynamische Simulation der Infiltration (InfDyn)
- Für beide anwendbarer einfacher Ansatz für Verschlammung (auf Acker)

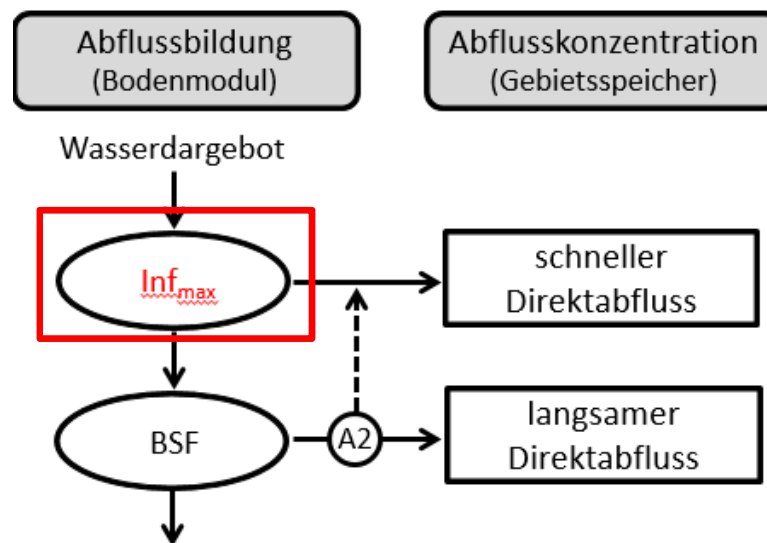
LARSIM-Grundlagen

Grundlagen statischer und dynamischer Infiltrations-Ansatz

- In beiden Ansätzen: Abtrennung von Infiltrationsüberschuss in Abhängigkeit der Niederschlags-Intensität durch maximale Infiltration → HOF (schneller Direktabfluss)

Einfacher statischer Inf.-Grenzwert

- Zeitlich konstant
- Zusätzlich optional jahreszeitlich variable Verschlämmung (für Acker)
- Einfache Parametrisierung



Prozessorientierte dynamische Simulation

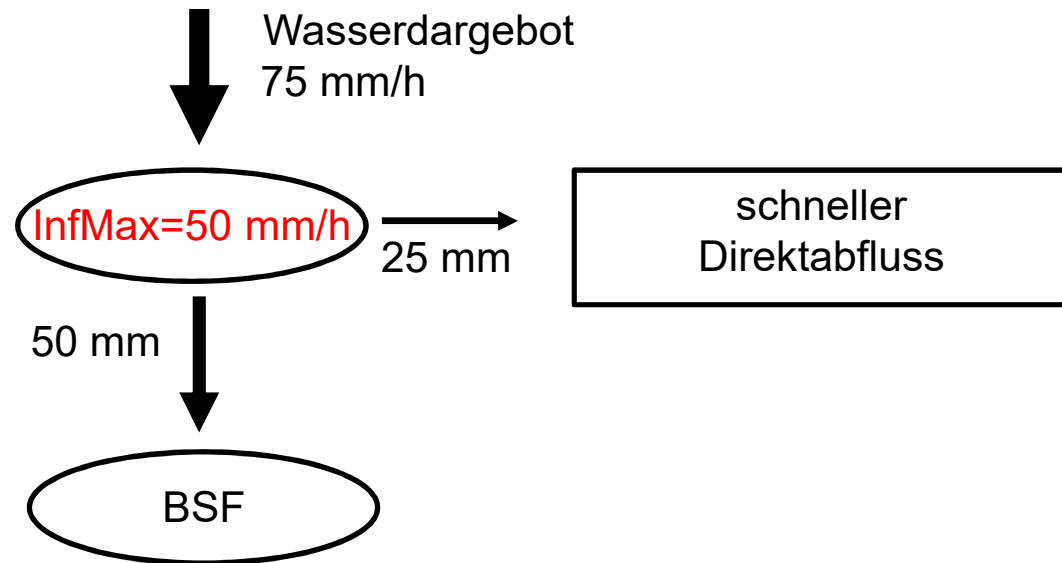
- Berücksichtigt variable Anfangsbedingungen
- Veränderung der Infiltrationskapazität während Ereignis
- Berücksichtigt Einfluss des Niederschlagsverlaufs
- Zusätzlich optional Verschlämmung (für Acker)
- Aufwändigere aber machbare Parametrisierung

- Alle anderen Abflussbildungsprozesse unverändert über LARSIM-Bodenspeicher abgebildet
- SOF über Bodenfeuchte-Sättigungsflächen-Funktion (BSF) und A2

Statisches Infiltrationsmodul (InfM)

Statischer Ansatz

Funktionsweise:

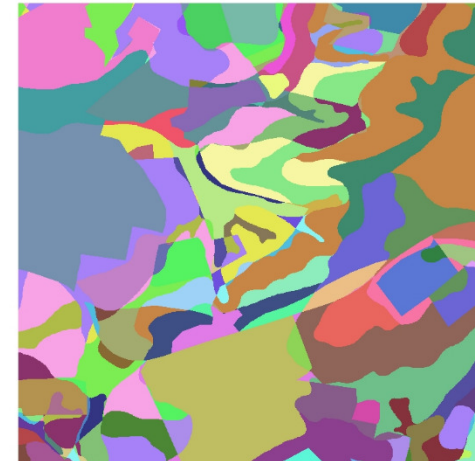


InfMax = InfM, sofern nicht durch Verschlämmung reduziert

Statisches Infiltrationsmodul (InfM)

Statischer Ansatz

- Ein zeitlich konstanter Inf.-Grenzwert InfM je UTGB
- Repräsentiert max. Infiltration bei „trockenem“ Boden
- Funktion von Boden und Landnutzung (ggf. weitere)
- Einheit [mm/h]
- Optional jahreszeitlich variabel durch Verschlämmung (auf Ackerflächen) reduzierbar



Parameter in utgb.dat

TGB;	UTGB;	LN;	Flaeche;	nFK;	...	InfM
1;	1;	14;	0.30073;	95.0;	...	55.0
1;	2;	14;	0.02128;	120.0;	...	301.0
1;	3;	14;	0.04738;	130.0;	...	53.0
1;	4;	14;	0.32671;	125.0;	...	78.0
1;	5;	14;	0.05695;	125.0;	...	50.0
1;	6;	14;	0.06569;	170.0;	...	59.0
1;	7;	14;	0.04733;	170.0;	...	56.0
1;	8;	14;	0.00201;	180.0;	...	98.0
1;	9;	14;	0.13192;	85.0;	...	96.0

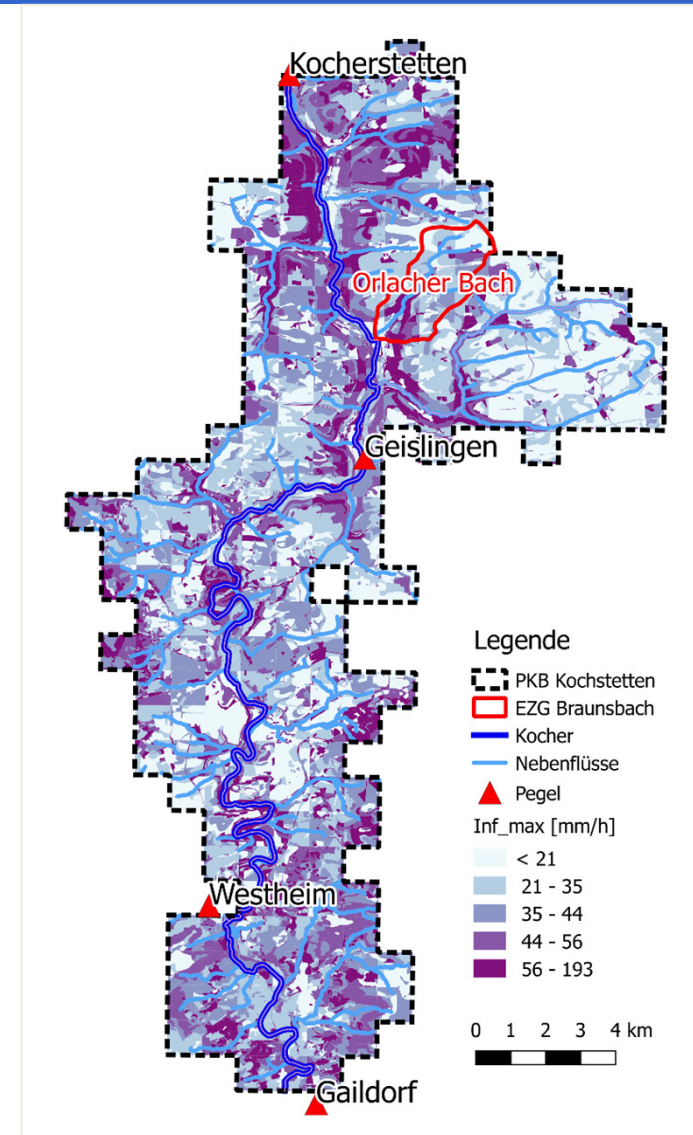
Tape10: INFILTRATION GRENZWERT

```
;-----  
; Hydrologie  
;-----  
WASSERHAUSHALT  
INTERZEPT. PENMAN-MONTEITH  
VERDUNSTUNG STUNDENWERTE  
RAUHIGKEITSL. NACH QUAST UND BOEHM  
GERINNEVERDUNSTUNG  
KORREKTURFAKTOR WASSERDARGEBOT  
ERW. BODENPARAMETER  
TIEFENVERSICKERUNG EXPONENTIELL  
PERKOLATION MIT VDB-WERTEN  
4 Q-KOMP MIT A2  
KAPILLARER AUFSTIEG  
*INFILTRATION GRENZWERT  
*INFILTRATION DYNAMISCH
```

Statisches Infiltrationsmodul (InfM)

Parametrisierung: Bestimmung der Werte für InfM

- In BaWü über RoGeR-Simulationen mit definierten Bedingungen: Maximale Infiltrationsrate über 1 h bei 20% Füllung der nFK („trockener“ Boden)
- Berechnung der maximalen Matrix-Infiltration als Funktion der Bodenart mit Green-Ampt-Ansatz + landnutzungsspezifische Zuschläge für Makroporen + tongehalts-spezifische Zuschläge für Trockenrisse
- Empirische Zusammenhänge zu Bodenart und Landnutzung (etc.)
- Aus Kombination von hydrologischem Bodentyp und Landnutzung (vgl. Lookup-Table im LARSIM-NA)
- ...



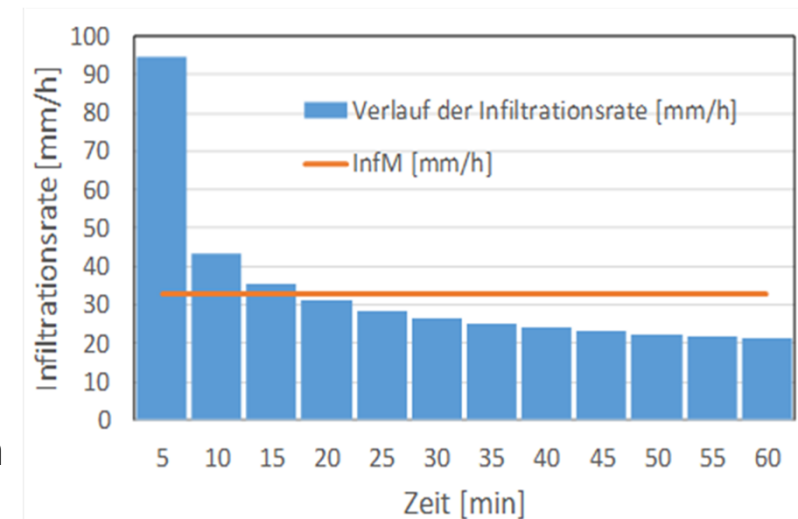
Statisches Infiltrationsmodul (InfM)

Ergebnisse mit statischem Infiltrationsansatz:

- Für Starkregen klar besser als Simulation ohne Infiltrations-Ansatz (20 Ereignisse in BaWü)
- Ereignisse werden erfasst (auch wenn der Bodenspeicher leer ist)
- Merkliche Überschätzung bei sehr trockenen Tonböden (Trockenrisse)
- Merkliche Unterschätzungen bei feuchten Vorbedingungen

Defizite des Ansatzes:

- „Trockener Boden“ ??? → Anfangsbedingungen
- Dynamische Veränderung von Inf_{max} über Zeit bzw. durch bereits infiltrierte Wassermenge
- Berücksichtigt nicht zeitlichen Verlauf des Nied
- Abhängig von Rechen-Zeitschrittweite
- Defizite werden in dynamischen Ansatz ausgeglichen



→ **Dynamischer Ansatz lieferte in BaWü bessere Ergebnisse**

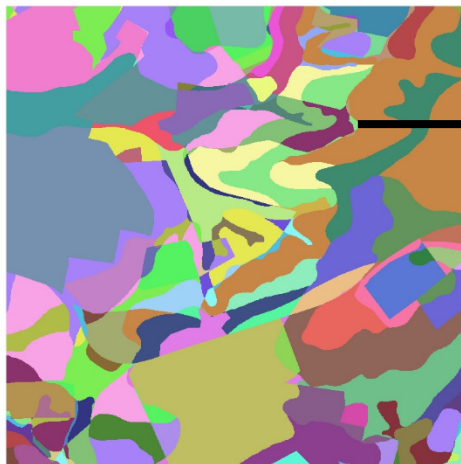
Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung

Einfacher Ansatz für die Wirkung der Verschlämmung

- Auf statische und dynamische Infiltration anwendbar
- Einfache Verringerung der max. Infiltration durch Reduktionsfaktor (RedFak)
- Wird für Lanu „Acker“ angewandt (auf beliebige Landnutzungen anwendbar, falls sinnvoll)

Reduktionsfaktor für Verschlämmung ergibt sich aus Kombination von:

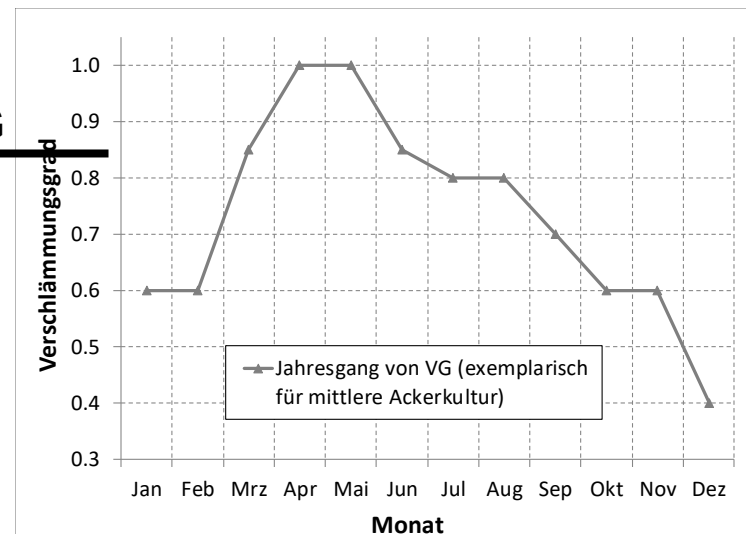
- UTGB-spezifischer Verschlammungsneigung der Böden (VF)
- Mittlerem Jahresgang des tatsächl. Verschlammungsgrades (VG) (für „mittlere“ Ackerböden)



VF

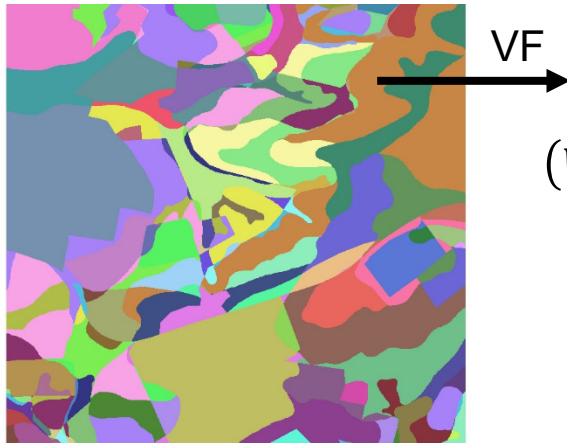
$$\text{RedFak} = (VF + (1 - VF) \cdot (1 - VG))$$

VG



Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung

- UTGB-spezifischer Verschlammungsneigung der Böden (VF)



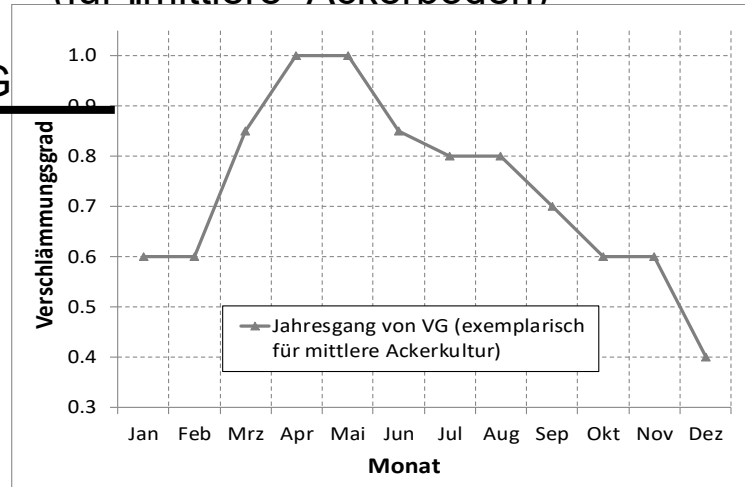
VF

$$RedFak = (VF + (1 - VF) \cdot (1 - VG))$$

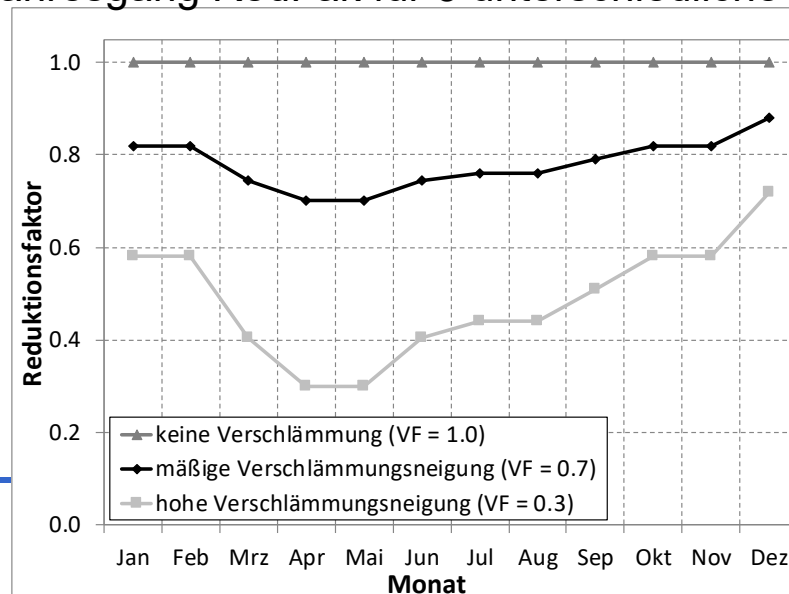


- Mittlerem Jahresgang des tatsächl. Verschlammungsgrades (VG) (für „mittlere“ Ackerböden)

VG



Jahresgang RedFak für 3 unterschiedliche VF



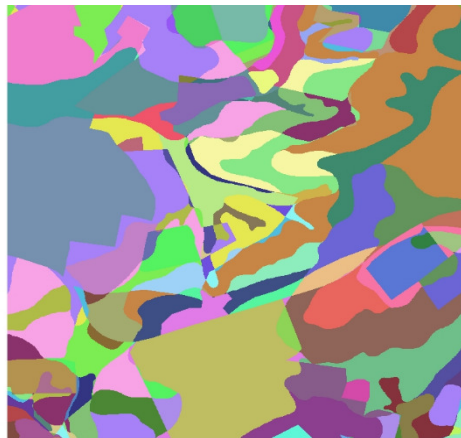
$$Inf_{max} = InfM \cdot RedFak$$

Reduktion der max. Infiltration durch Verschlammung:

- UTGB-spezifisch
- Jahreszeit-spezifisch

Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung

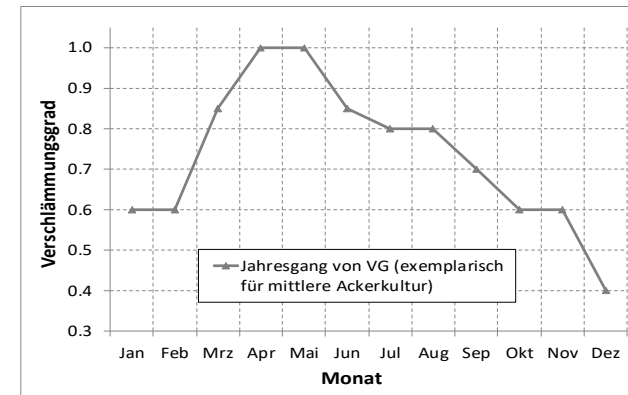
- UTGB-spezifischer Verschlammungsneigung der Böden (VF)



VF: in utgb.dat

UTGB;	LN;	Flaeche;	nFK;	...	VF;
1;	2;	0.00587;	180.0;	...	-999.0;
2;	3;	0.00126;	180.0;	...	-999.0;
3;	5;	0.00859;	130.0;	...	0.3;
4;	5;	0.02306;	125.0;	...	0.3;
5;	5;	0.19037;	180.0;	...	0.7;
6;	8;	0.00158;	95.0;	...	-999.0;

- Mittlerem Jahresgang des tatsächl. Verschlammungsgrades (VG) (für „mittlere“ Ackerböden)



VG: in lanu.par

```
'Verschlaemmungsgrad [-]'
```

```
*****
```

* Monat	1	2	3	4
'Siedlungsflaechen'	0.	0.	0.	0.
'Siedlungsfreifl.'	0.	0.	0.	0.
'Industrie'	0.	0.	0.	0.
'versiegelt'	0.	0.	0.	0.
'Acker'	0.6	0.6	0.85	1.0
'Obst- u. Weinbau'	0.	0.	0.	0.

Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung

Parametrisierung: Bestimmung der Werte für VF und VG

VF Verschlammungsneigung:

- Anhand der Bodenart:
Verschlammungsneigung oder Erodierbarkeit
gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5)

Erodierbarkeit gemäß KA 5	VF
keine (Torfböden)	1.0
sehr gering	
gering	0.7
mittel	
hoch	0.3
sehr hoch	

VG jahreszeitlicher Verschlammungsgrad:

- Jahreszeitliche Abfolge von Bodenbearbeitung, Pflanzenwachstum und Ernte
- Für BaWü mittlerer Jahresgang für „mittlere“ Ackernutzung durch LGRB (Dr. Waldmann) abgeschätzt
- Differenzierung für spezifische Ackerkulturen möglich (Differenzierung der Landnutzungen)
- Nicht berücksichtigt: Einfluss von Niederschlagsereignissen

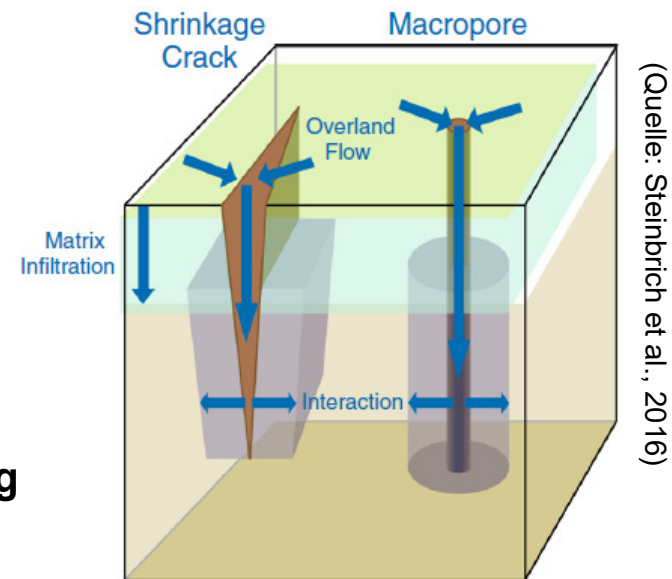
Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Prozessbeschreibung gemäß bodenhydrologischem Runoff Generation Research Modell RoGeR
der Professur für Hydrologie / Uni Freiburg (Steinbrich et al., 2016)

Gekoppelte Simulation der Infiltration über:

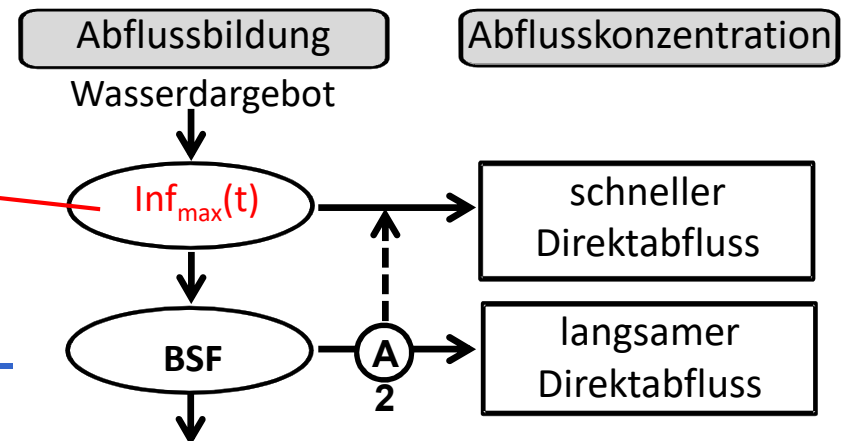
- Matrix
- Makroporen
- Trockenrisse

Optional zusätzlich jahreszeitliche Verschlämmung



Summe aus den 3 Teilprozessen:

→ Dyn. berechnete maximale
Gesamtinfiltration



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Dynamische Berechnung der Infiltrationsprozesse mit „RoGeR“-Ansatz

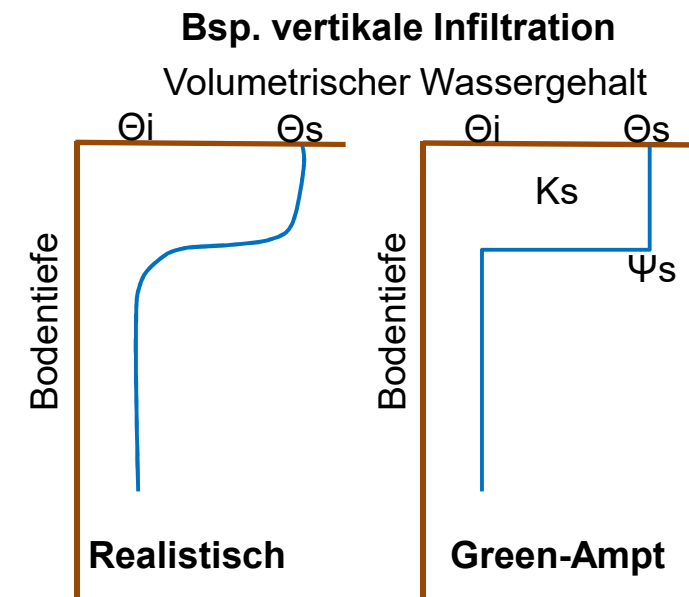
- Green-Ampt-Approximation der Infiltrationsprozesse

$$I [mm] = (\theta_s - \theta_i) \cdot \sqrt{2 \cdot K_s \cdot \frac{\psi_s}{\theta_s - \theta_i} \cdot t}$$

- Generell einfache analytische Lösungen → keine aufwändige numerische Berechnungen
- Vertikale Matrix-Infiltration mit variablem Niederschlag nach Peschke (1985)

Erforderliche Parameter für vertikale Matrix-Infiltration:

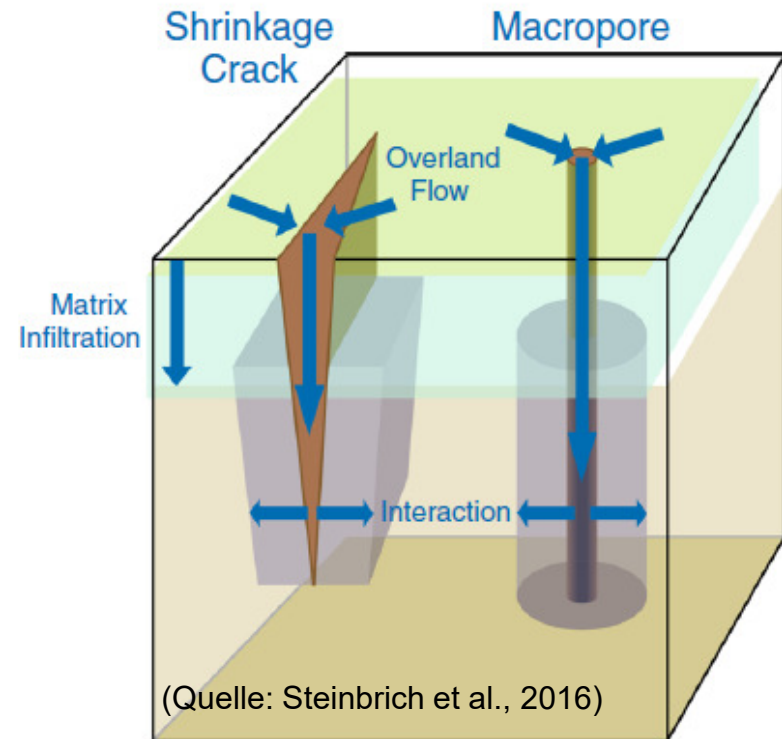
- θ_s : Effektives Porenvolumen ($n_{FK} + LK$) (physikalisch)
- θ_i : Anfangsfüllung des Bodenspeichers (physikalisch)
- K_s : Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (physikalisch)
- ψ_s : Saugspannung an der Sättigungsfront (semi-physikalisch, PTF)



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Grundlegende Modellvorstellung:

- 1) Vertikale Matrix-Infiltration
 - 2) Matrix-Infiltrationsüberschuss fließt teilweise in Makroporen
→ Zufluss-Anteil = $f(\text{Makroporendichte})$ [Anzahl/m²]
→ Radialsymmetrische Infiltration aus Makroporen über horizontale Green-Ampt-Lösung
 - 3) Restlicher Überschuss infiltriert teilweise über Trockenrisse
→ Spiegelsymmetrische Inf. aus Trockenrissen über horizontale Green-Ampt-Lösung
- Resultierender Infiltrations-Überschuss = HOF (schneller Direktabfluss)



Berücksichtigte Interaktionen:

- Matrix-Sättigungsfront → Reduktion der effektiven für Infiltration verfügbaren Länge von Makroporen und Trockenrissen
- Sättigung des Porenvolumens zwischen Makroporen und Trockenrissen

Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

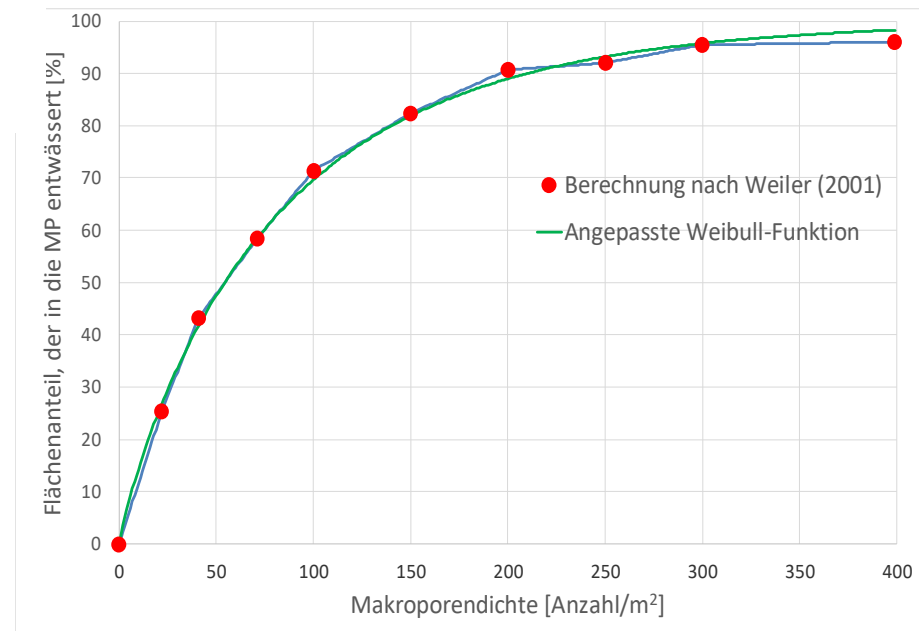
Grundlagen und Parameter für Infiltration über Makroporen:

- Selbe Bodenparameter wie für Matrix-Infiltration (Θ_s , Θ_i , K_s , Ψ_s)
→ Horizontale Green-Ampt-Infiltration

- Mittlerer Durchmesser der Makroporen:
Konstant 5 mm

- Makroporendichte MPD [Anzahl/m²]
→ Anteil des Matrix-Infiltrations-Überschuss,
der in Makroporen fließen kann

- Mittlere Tiefe der vertikalen Makroporen
→ Radialsymmetrische Fläche über die
infiltrieren kann (zusammen mit MPD und
fixem Durchmesser von 5 mm)

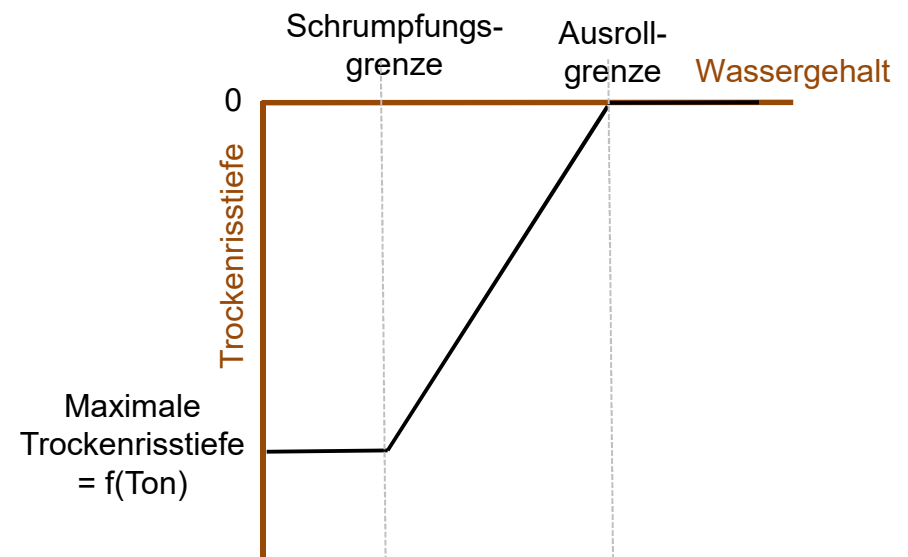
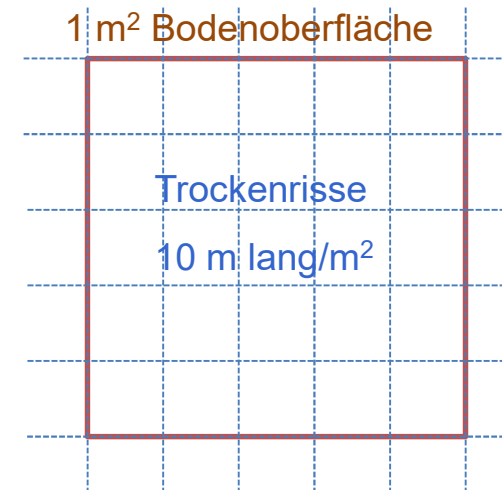


→ Parametrisierung der Makroporendichte und –tiefe
über Landnutzung und Bodeneigenschaften

Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Grundlagen und Parameter für Infiltration über Trockenrisse:

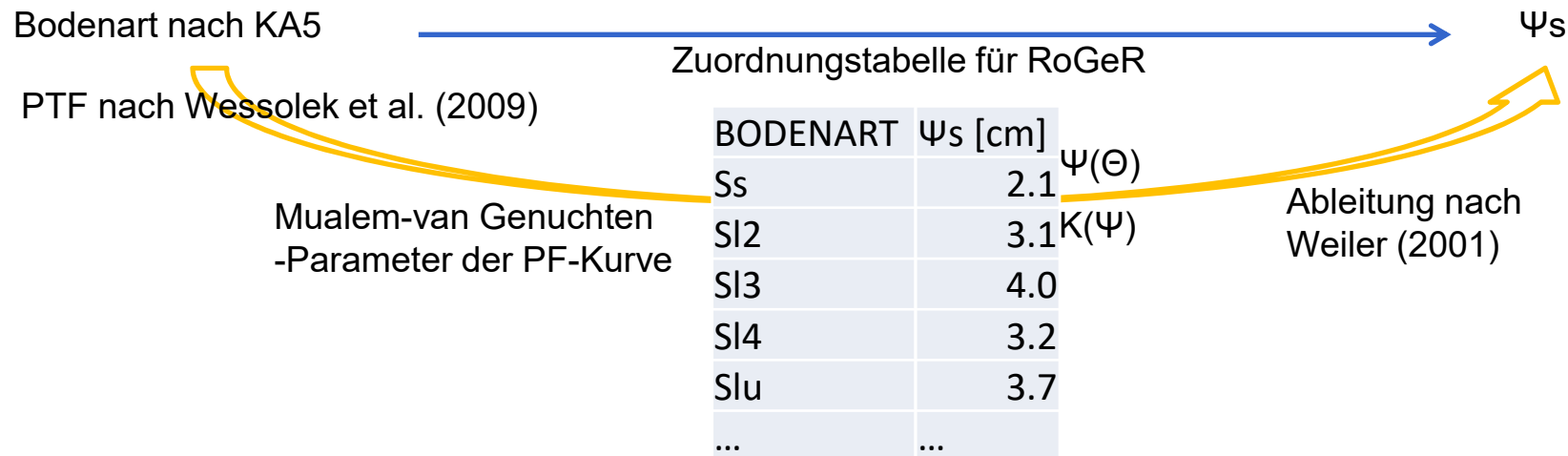
- Selbe Bodenparameter wie für Matrix-Infiltration (Θ_s , Θ_i , K_s , Ψ_s)
→ Horizontale Green-Ampt-Infiltration
- Trockenrisse in fixem 20 cm-Gitter → 10 m/m²
- Trockenrisse nur bei Tonböden und aktueller Bodenfeuchte < Ausrollgrenze
- Maximale Tiefe der Trockenrisse bei aktueller Bodenfeuchte ≤ Schrumpfungsgrenze
- Maximale mögliche Tiefe der Trockenrisse = f(Tongehalt)
- Aktuelle Tiefe der Trockenrisse = f(Tongehalt, Bodenfeuchte)



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Bestimmung der Parameter für Green-Ampt:

- Θ_s : Effektives Porenvolumen = volumetrische nFK + LK des Oberbodens [-]
- K_s : Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit = kf-Werte des Oberbodens [mm/h]
 → In Bodenkarten verfügbar (z. B. BK50 in Baden-Württemberg)
 → Alternativ über PTF aus Bodenart (...) abschätzbar (Bodenkundliche Kartieranleitung)
- Θ_i : Anfangsfüllung des Porenvolumens = dynamisch aus LARSIM-Bodenspeicher
- Ψ_s : Saugspannung an der Sättigungsfront (semi-physikalisch)



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Bestimmung Zusatz-Parameter für Makroporen:

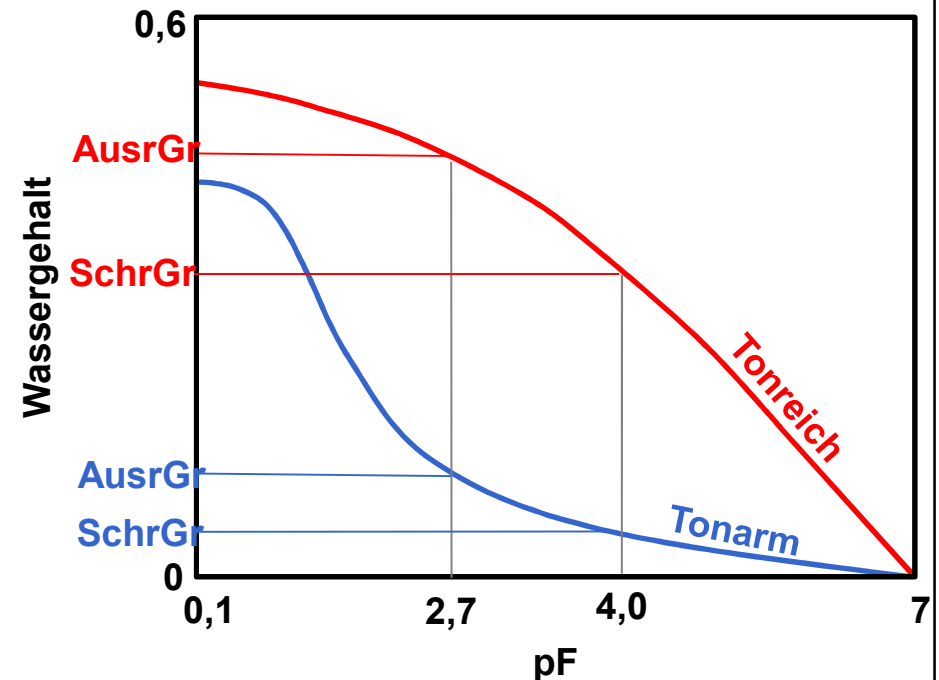
- Parametrisierung in Anlehnung an Professur für Hydrologie, Uni Freiburg (Steinbrich et al.)
- Parameter: Makroporendichte und -tiefe
Konstant: Durchmesser = 5 mm
- Grundsätzlich Abschätzung aus Landnutzung
- Gesonderte Behandlung von Torfböden und anthropogen überprägten Böden in Siedlungsbereichen
- Zuschlag zur Makroporendichte bei hohem Skelettanteil
- Begrenzung der Tiefe durch Bodengründigkeit (auch kf-Sprung) und Grundwasserflurabstand

Landnutzungs-kategorie	Dichte [Anzahl/m ²]	Tiefe [cm]
Ackerland	75	30
Weinbauflächen	75	50
Obst- und Beerenobst	100	50
Grünland	100	80
Komplexe Parzellen	100	30
Laubwälder	150	50
Mischwälder	150	50
Nadelwälder	150	30
Feuchtflächen	100	30
Wasserflächen	0	0

Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Bestimmung Zusatz-Parameter für Trockenrisse:

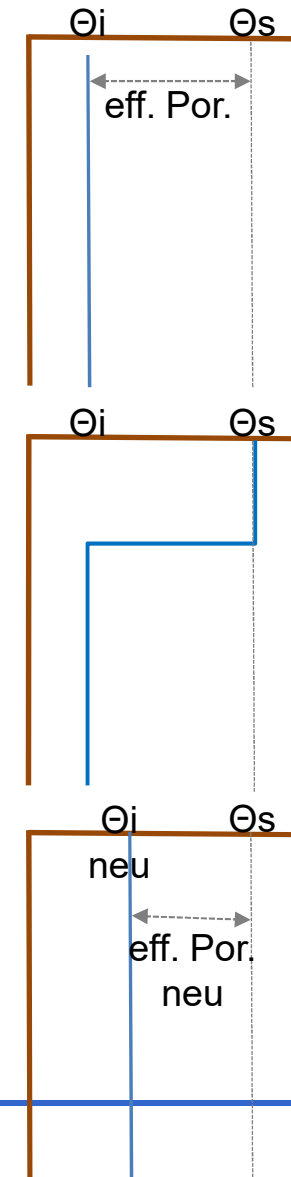
- Parametrisierung in Anlehnung an Professur für Hydrologie, Uni Freiburg (Steinbrich et al.)
- Parameter: Maximale Tiefe und Wassergehalte bei Ausroll- und Schrumpfungsgrenze
Konstant: Räumliche Dichte 10 [m/m²]
- Maximale Tiefe der Trockenrisse: Lineare Funktion des Tonanteils mit Mindest-Tonanteil
- Ausroll- und Schrumpfungsgrenze indirekt aus pF-Kurve
 - Mualem-van Genuchten Parameter aus Bodenart mit PTF nach Wessolek et al. (2009)
 - pF-Kurve mit MvG-Modell (van Genuchten, 1980)
 - Ausrollgrenze: Wassergehalt bei pF=2,7
 - Schrumpfungsgrenze: Wassergehalt bei pF=4,0
- Dynamische Berechnung der aktuellen Trockenrisstiefe als f(Bodenfeuchte)
- Begrenzung der aktuellen Tiefe durch Bodengründigkeit (auch kf-Sprung) und Grundwasserflurabstand



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

Definition eines Infiltrations-Ereignisses:

- Berechnung Dyn. Infiltrationsmodul nur während Inf.-Ereignis
- **Ereignisbeginn:** WD-Intensität > 1. Schwellenwert
(Einzelparameter: z.B. 5 mm/h)
- Def. Bedingungen für Infiltrationsmodul aus Bodenspeicher:
 - Aktuelle effektive Porosität
 - Aktuelle Tiefe der Trockenrisse
- **Während Ereignis:**
 - Def. Bedingungen Infiltrationsmodul bleiben konstant
→ Vorrücken der Infiltrationsfronten
 - Infiltriertes Wasser gelangt aber über BSF in Bodenspeicher
- **Ereignisende:** WD-Intensität < 2. Schwellenwert für bestimmte Zeit
(Einzelparameter: z.B. 0,5 mm/h, 6 h)
- Bei neuem Ereignis „Reset“ der Inf.-Bedingungen
 - Zustandsdatei für Infiltrations-Größen erforderlich:
YYYYMMTTHH.inf; enthält nur Daten während Inf.-Ereignis



Dynamisches Infiltrationsmodul (InfDyn)

■ Tape10

```

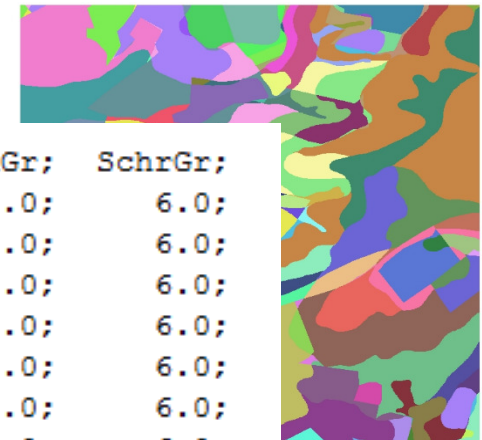
;-----;-----
; Hydrologie; Hydrologie
;-----;-----
WASSERHAUSHALT*INF. EREIGNIS5.0 0.50 6.0
...
PERKOLATION MIT VDB-WERTEN
4 Q-KOMP MIT A2
KAPILLARER AUFSTIEG
*INFILTRATION GRENZWERT
*INFILTRATION DYNAMISCH
    
```

- Zu überschreitende Intensität [mm/h] für Ereignisbeginn
- Zu unterschreitende Intensität [mm/h] für Ereignisende
- Minstdauer der Unterschreitung [h] für Ereignisende

■ Parameter des dynamischen Infiltrationsmoduls UTGB-Spezifisch

Alle 9 Parameter: in utgb.dat

...	nFKVol;	LKVol;	ks;	wsf;	MPdi;	MPla;	TRti;	AuGr;	SchrGr;
...	15.0;	15.0;	10.0;	91.0;	75.0;	300.0;	189.0;	57.0;	6.0;
...	15.0;	15.0;	10.0;	91.0;	75.0;	300.0;	189.0;	57.0;	6.0;
...	13.0;	12.0;	1.0;	73.0;	100.0;	300.0;	231.0;	55.0;	6.0;
...	13.0;	12.0;	2.0;	73.0;	100.0;	300.0;	196.0;	55.0;	6.0;
...	15.0;	11.0;	10.0;	91.0;	75.0;	300.0;	189.0;	57.0;	6.0;
...	16.0;	15.0;	125.0;	73.0;	125.0;	600.0;	70.0;	55.0;	6.0;
...	13.0;	12.0;	6.0;	73.0;	125.0;	800.0;	231.0;	55.0;	6.0;
...	15.0;	15.0;	10.0;	91.0;	100.0;	800.0;	189.0;	57.0;	6.0;
...	11.0;	12.0;	6.0;	40.0;	125.0;	800.0;	322.0;	48.0;	4.0;
...	16.0;	15.0;	125.0;	73.0;	175.0;	500.0;	70.0;	55.0;	6.0;
...	13.0;	12.0;	6.0;	73.0;	175.0;	500.0;	231.0;	55.0;	6.0;



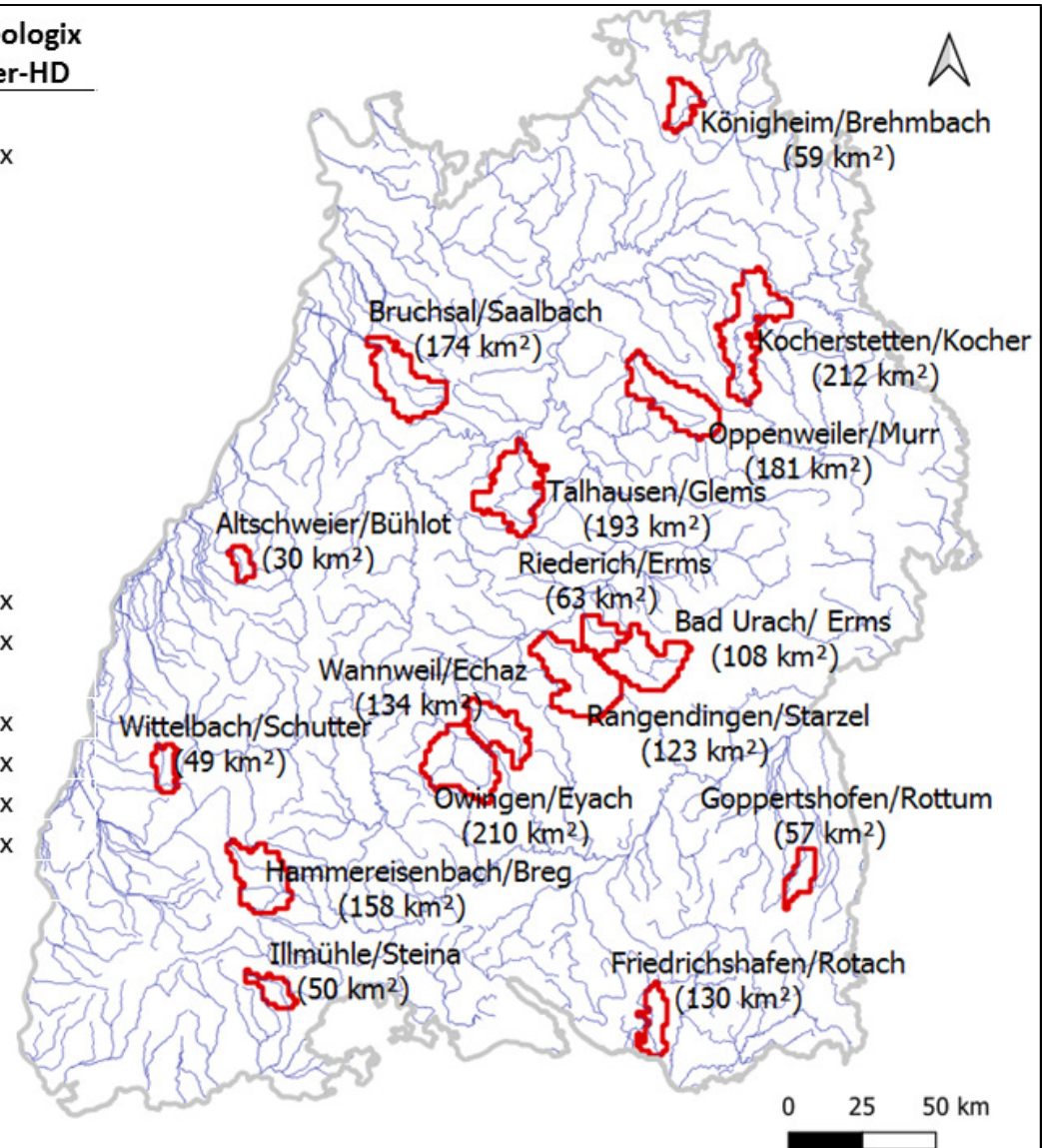
Beispiele / Hinführung zur Übung

Testrechnung in Baden-Württemberg

Pegel	Ereignisse	DWD Radolan-YW	Meteologix Super-HD
Illmühle	19.06.2002	x	
	14.06.2015	x	x
Altschweier	05.07.2006	x	
Wannweil	22.07.2006	x	
Rangendingen	02.06.2008	x	
Riederich	02.06.2008	x	
Wittelbach	01.09.2008	x	
	10.07.2010	x	
Oppenweiler	03.07.2009	x	
Talhausen	04.07.2010	x	
Königheim	06.06.2011	x	
Goppertshofen	25.05.2014	x	
	29.05.2016	x	x
	24.06.2016	x	x
Hammereisenbach	11.06.2014	x	
Bruchsal	06.06.2015	x	x
Owingen	03.07.2015	x	x
Kocherstetten	29.05.2016	x	x
Bad Urach	24.06.2016	x	x
Friedrichshafen	08.07.2017	x	

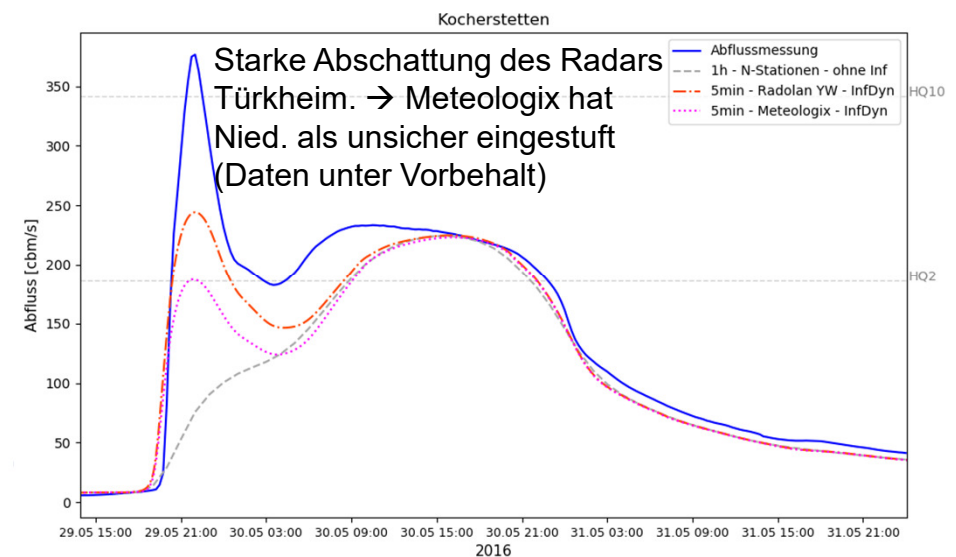
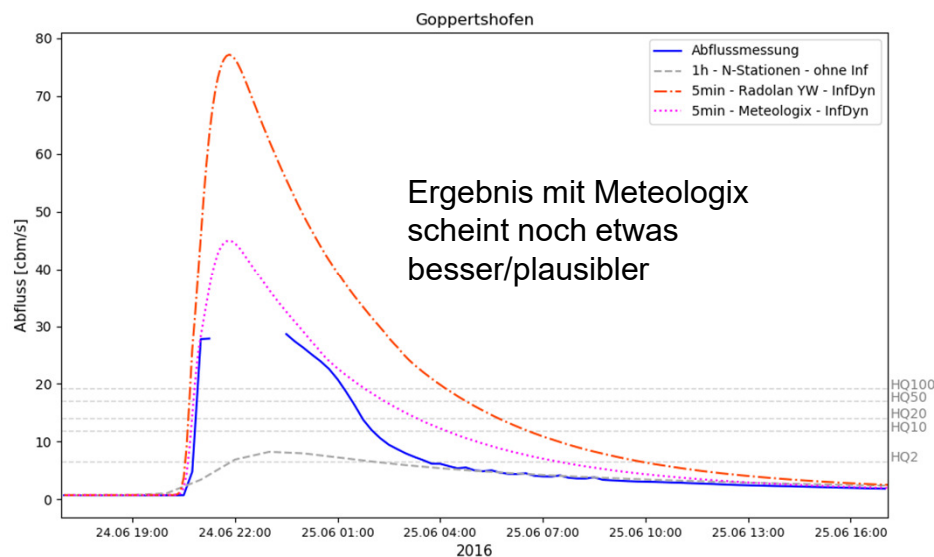
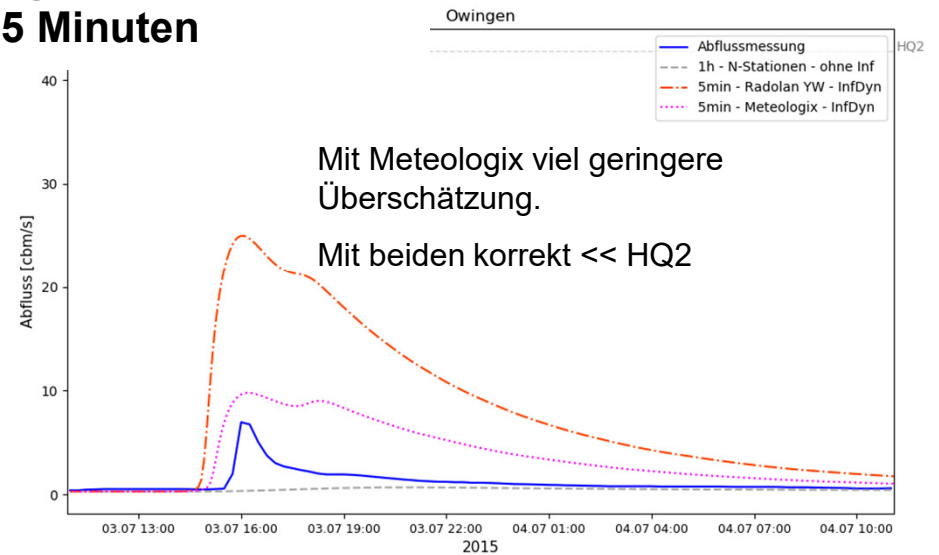
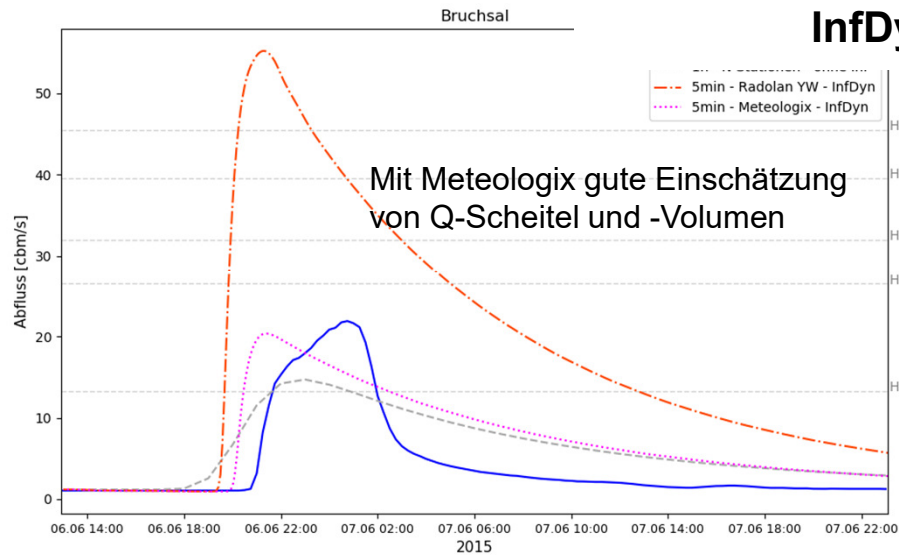
16 EZG 20 Ereignisse

- Variable Naturräume
- Variable Abflussreaktionen
- Zwei Radarprodukte



Beispiele / Hinführung zur Übung

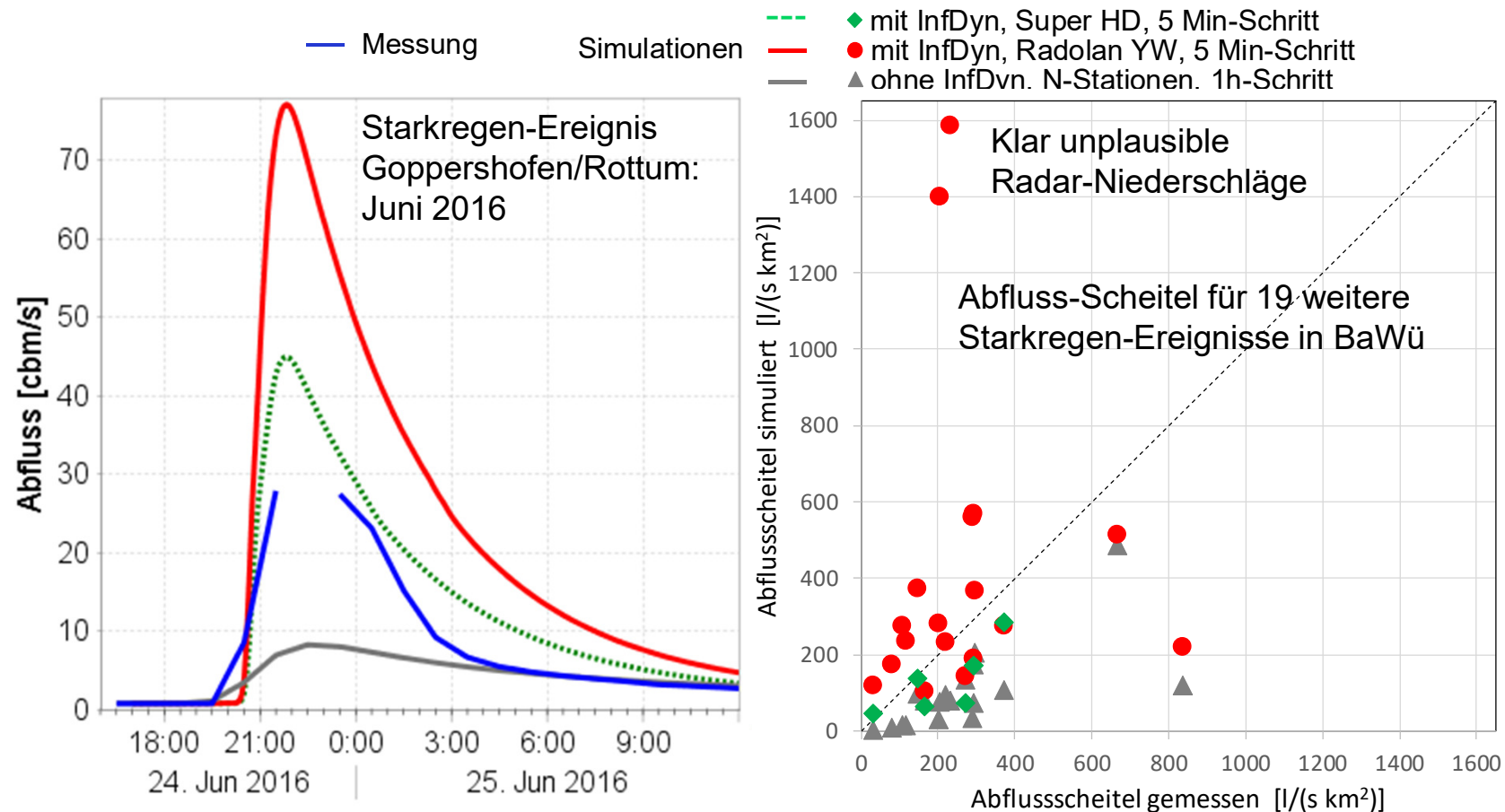
Beispielhafte Ergebnisse BaWü: InfDyn 5 Minuten



Beispiele / Hinführung zur Übung

Überblick Ergebnisse für BaWü:

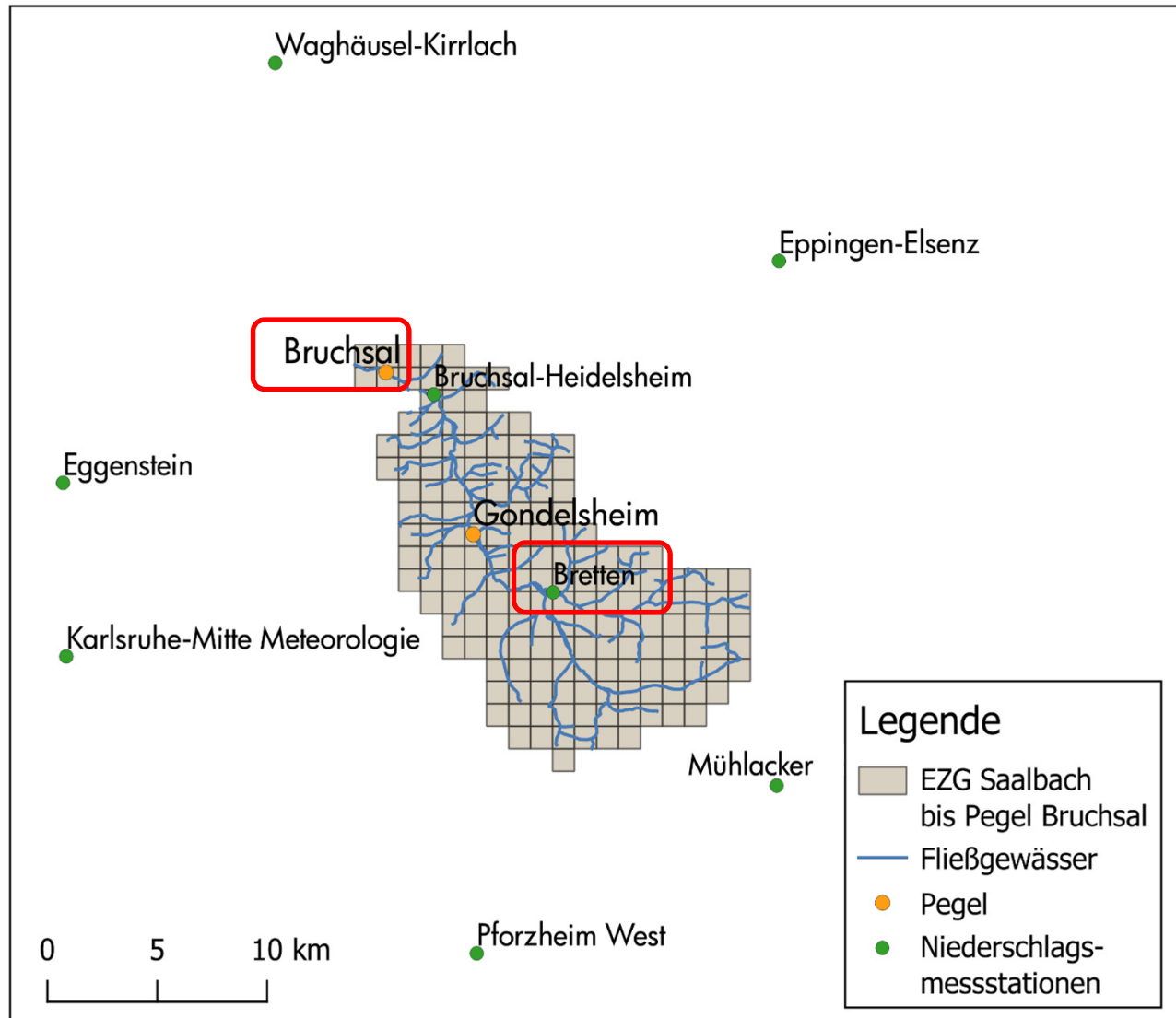
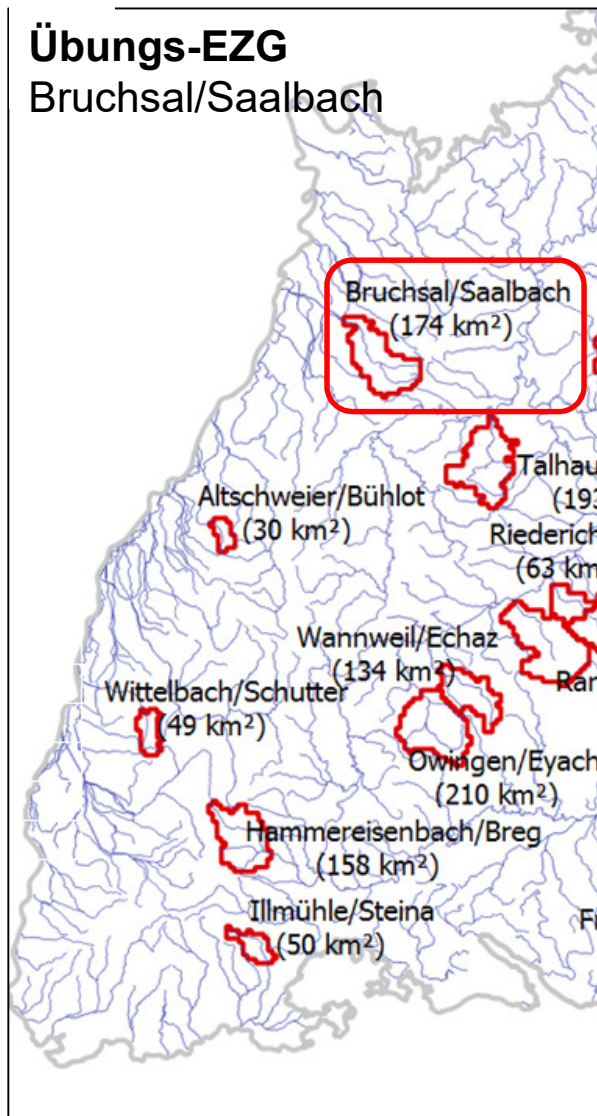
- Klare Verbesserung bei Nutzung des (dynamischen) Infiltrationsmoduls
- Aber deutliche Streuung und einzelne Ausreißer
- DWD Radolan YW (RW) mit klaren Fehleinschätzungen → erklärt Ausreißer
- Z.T. große Unterschiede zwischen DWD Radolan YW und Meteologix Super HD



Beispiele / Hinführung zur Übung

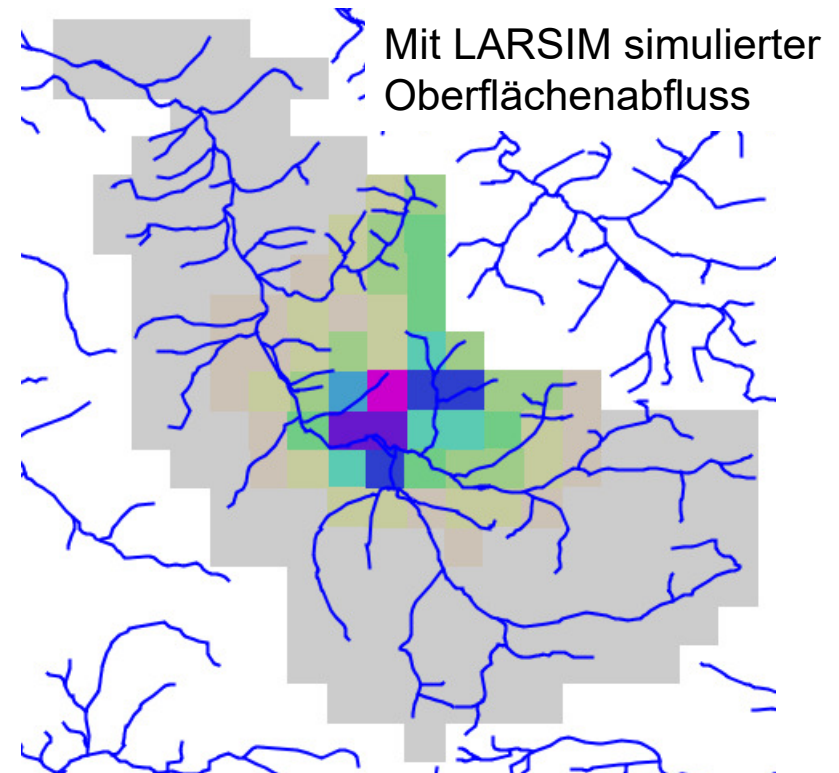
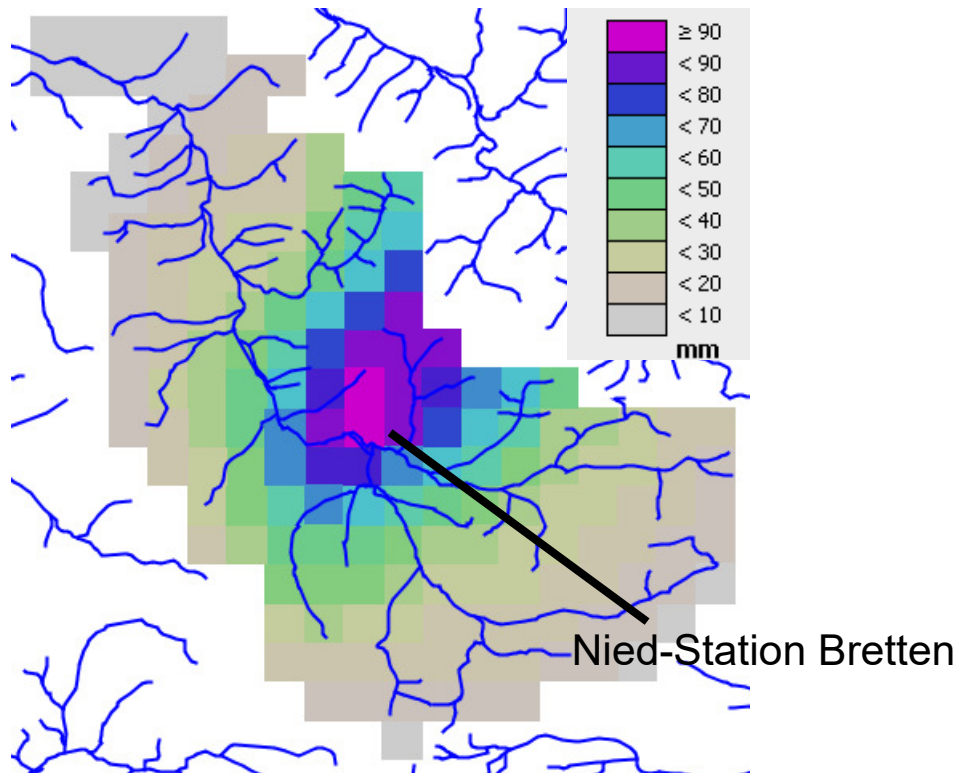
Übungs-EZG

Bruchsal/Saalebach



Beispiele / Hinführung zur Übung

- EZG Bruchsal/Saalbach im Kraichgau (174 km²)
- 32% Ackerflächen auf Lößböden mit hoher Verschlammungsneigung (VF=0,3)
- Extremes Starkregenereignis in Bretten am 6. Juni 2015 (~100 mm in drei Stunden)



→ **Übung:** Analyse anhand des Pegels Bruchsal (Gondelsheim sehr unzuverlässig)

Zusammenfassung

LARSIM-Funktionalitäten zur Simulation von Starkregen:

- Nutzung von Radar-Niederschlägen
- Berechnungszeitschrittweite ab 5 Minuten
- Abbildung von Infiltration und Infiltrationsüberschuss
 - Statischer Infiltrationsansatz oder alternativ Dynamischer Infiltrationsansatz
 - Optional ergänzt um einfachen Verschlämmungs-Ansatz für beide Inf.-Ansätze

Nutzung von Radar-Niederschlagsdaten in der Regel im KALA-Format:

- Tape10: Option NIEDERSCHLAG KALA (ggf. Niederschlagskorrektur deaktivieren)
- Pfade.dat: Pfad für KALA-Daten des Niederschlags angeben (für Stationsdaten deaktivieren)

Anpassung der Zeitschrittweite:

- Alle Eingangsdaten müssen in korrekter Zeitschrittweite vorliegen
- Tape10: Einzelparameter INTERVALLAENGE (H) anpassen
- Pfade.dat: Pfade für Eingangsdaten in korrekter Zeitschrittweite

Zusammenfassung

Statisches Infiltrationsmodul:

- Utgb.dat: Parameter InfM [mm/h]
- Tape10: Option INFILTRATION GRENZWERT
- (ggf. PKB-spezifische Anpassung von InfM über den Faktor InfMFak im Tape35)

Einfache Berücksichtigung der Verschlämmung (jahreszeitlich, i.d.R. nur für Acker):

- Auf statisches und dynamisches Infiltrationsmodul anwendbar
- Utgb.dat: Verschlammungsneigung VF (i.d.R. nur für Acker-UTGB)
- Lanu.par: Jahresgang des tatsächlichen Verschlammungsgrades VG (Lanu-spezifisch)
- Keine separate Option. Ist in Verbindung mit INFILTRATION GRENZWERT oder INFILTRATION DYNAMISCH aktiv
- Deaktivierung über utgb.dat oder lanu.par

Zusammenfassung

Dynamisches Infiltrationsmodul:

- Sollte gegenüber statischem Ansatz bevorzugt werden (bei geeigneter Parametrisierung)
- Physikalisch basiert, keine Kalibrierung
- Utgb.dat: 9 physikalisch basierte Parameter, die aus Bodendaten und Landnutzung abgeleitet werden können
- Tape10: Option INFILTRATION DYNAMISCH
Einzelparameter INF. EREIGNIS

Zusammenfassung

Wesentliche Ergebnisse (siehe auch Vortrag Dr. Bremicker morgen 16.00 Uhr):

- Erfolgreiche Parametrisierung des dynamischen Ansatzes für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz (für Mosel-EZG in Arbeit)
- Mit statischem und vor allem dynamischem Infiltrationsmodul wird die Abflussreaktion auf Starkregen wesentlich besser erfasst als zuvor
- Verbleibende Unsicherheiten (sehr sensitive Schwellenwert-Reaktion)
- Häufig große Unterschiede zwischen Radar-Niederschlags-Produkten und z. T. klar nachgewiesene sehr große Überschätzungen durch DWD Radolan YW (RW)
→ Erhebliche Unsicherheit durch Niederschlag
- Modellinterne Sensitivitäten vor allem hinsichtlich Bodenfeuchte vor Ereignis und EQD2
→ Kalibrierung beeinflusst physikalisch basierte Berechnung indirekt

Ausblick

- Mögliche Anwendung für Hochwasser-Frühwarnung und Oberflächen-Abfluss-Karten
- Verbesserung der Radar-Produkte wünschenswert
- Genauere Analyse indirekter Einfluss der Kalibrierung (→ Kalibrierleitfaden)
- Modellverbesserungen z. B. hinsichtlich Verschlämmung, Parametrisierung der Makroporen, und Verlusten während der Abflusskonzentration