

Grundlagen des dynamischen Infiltrationsmoduls zur verbesserten Simulation von Starkregenereignissen mit LARSIM

Ute Badde (UM BW), Manfred Bremicker (LUBW), Norbert Demuth (LfU RP), Wolfgang Rieger (LfU BY), Ingo Haag, Dirk Aigner (HYDRON)

Internationaler LARSIM-Anwenderworkshop 2018
14. März 2018

- Ausgangslage und Ziele
- Statischer Infiltrations-Schwellenwert
- Prozessorientierte dynamische Infiltration
 - Modelltheorie
 - Parametrisierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangslage und Ziele

Ausgangspunkt: Hohes Schadenspotential sommerlicher Starkregenereignisse und resultierender lokaler Hochwasser bzw. Sturzfluten

Problem: Unzureichende Simulation / Vorhersage solcher Ereignisse durch LARSIM-Modelle
→ 3 Haupthandlungsfelder

Radardaten

Eingangsdaten

Niederschlag in ausreichender Genauigkeit, räumlicher und zeitlicher Auflösung.

LARSIM

Rechenzeitschrittweite

Simulation in Stundenschritten unzureichend. Hohe zeitliche Auflösung erforderlich.

Prozessabbildung

Bessere Abbildung von Infiltrations-Überschuss bei intensivem Nied. auf trockenen Boden.



Seit 2017 LARSIM-WHM in Zeitschritten ab 5 Minuten

→ In Arbeit

Dieser Vortrag und Folgevortrag

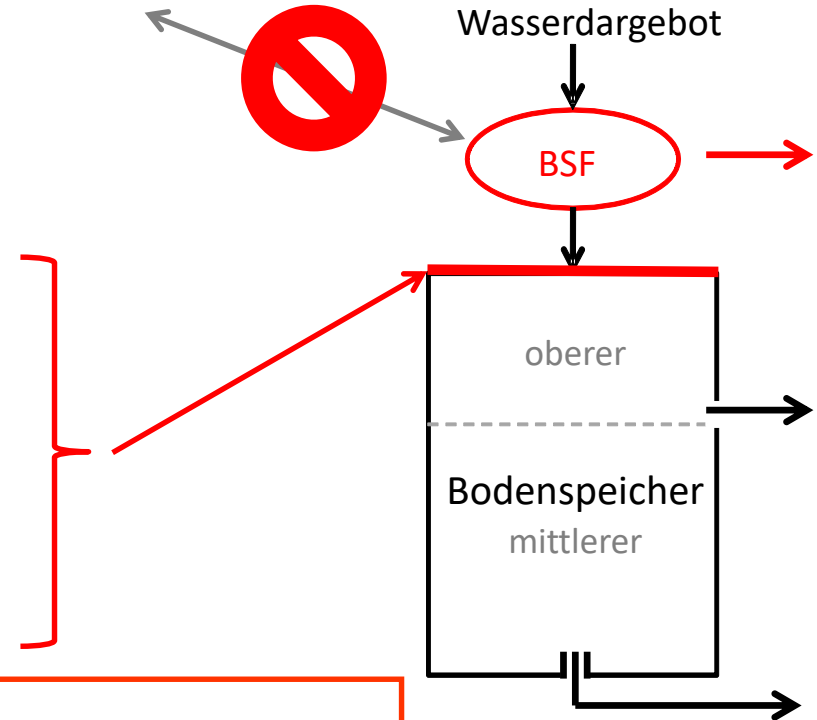
Ausgangslage und Ziele

Ausgangslage: Spezifische Bedingungen bei Starkregen auf „leeren“ Bodenspeicher

- 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 Verbesserung:

- Einfacher statischer Infiltrations-Schwellenwert
- Prozessorientierte dynamische Simulation der Infiltration

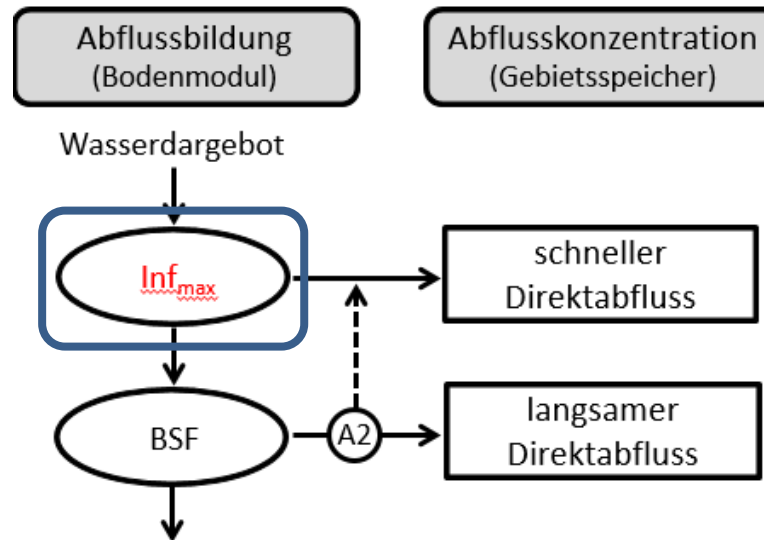
Ausgangslage und Ziele

Grundlagen beider Ansätze

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

Statischer Inf.-Schwellenwert:

- Zeitlich konstant (Boden, Lanu)
- Zusätzlich optional jahreszeitlich variable Verschlämmung (für Acker)



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

Statischer Infiltrations-Schwellenwert

Ausgangspunkt: InfM

Max. Infiltrationsrate bei „trockenem Boden“ ohne Verschlämmung für alle Landnutzungen.

Nicht-Acker

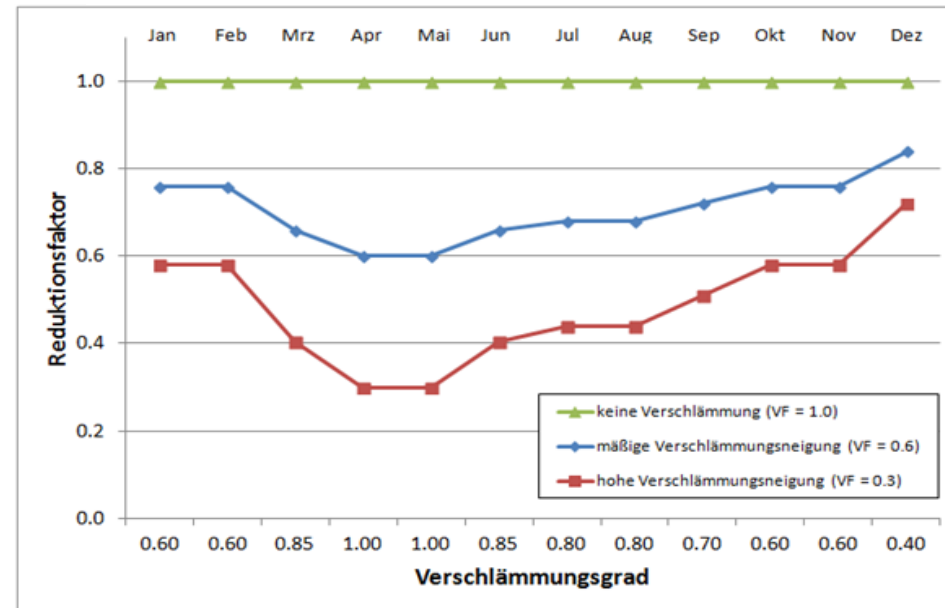


$$\text{Inf}_{\max} = \text{InfM}$$

Verschlämmung?

Acker

Reduktion der maximalen Infiltration je nach Verschlammungsanfälligkeit und jahreszeitlich differenzierter tatsächlicher Verschlammung



$$\text{Inf}_{\max} = \text{InfM} \times \text{RedFak}(\text{Monat})$$

Statischer Infiltrations-Schwellenwert

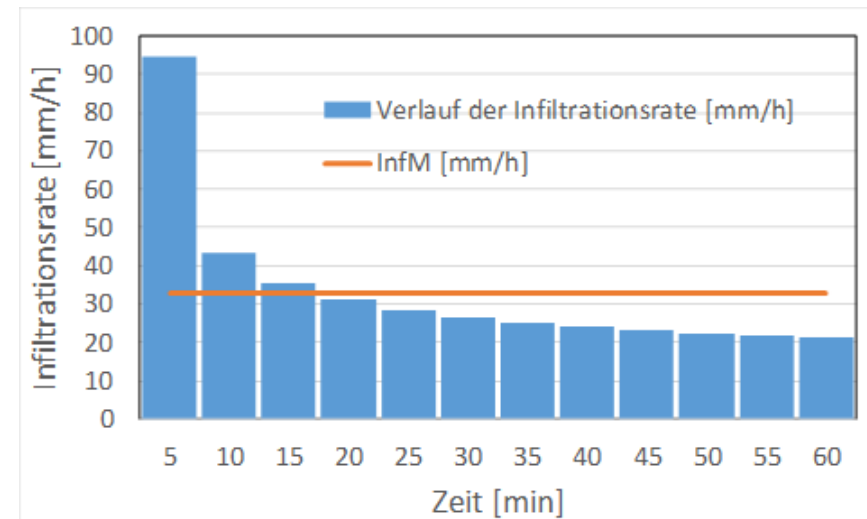
Statischer Ansatz → Beispielanwendung siehe Folgevortrag:

- Parametrisierung
- Ergebnisse für „Braunsbach“-Ereignis

→ **Beispiele verdeutlichen klare Verbesserung gegenüber bisherigen Möglichkeiten**

Aber vor allem folgende Defizite:

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



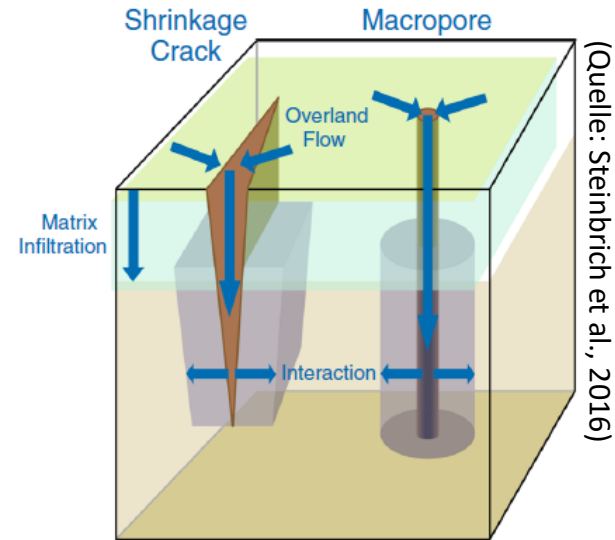
→ **Dynamischer Ansatz**

Dynamische Infiltration: Modelltheorie

Prozessbeschreibung wie im bodenhydrologischen Runoff Generation Research Modell RoGer der Professur für Hydrologie / Uni Freiburg (Steinbrich et al., 2016)

Gekoppelte Simulation der Infiltration über:

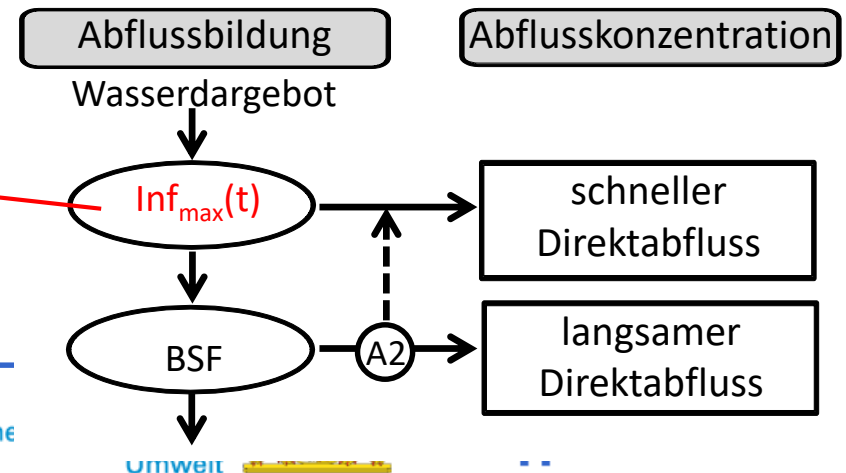
- Matrix
- Makroporen
- Trockenrisse



Optional zusätzlich jahreszeitliche Verschlämmung

Summe aus den 3 Teilprozessen:

→ Dyn. berechnete maximale Gesamtinfiltration



Dynamische Infiltration: Modelltheorie

Dynamische Berechnung der Infiltrationsprozesse im „RoGeR“-Ansatz

- Green-Ampt-Approximation der Infiltrationsprozesse

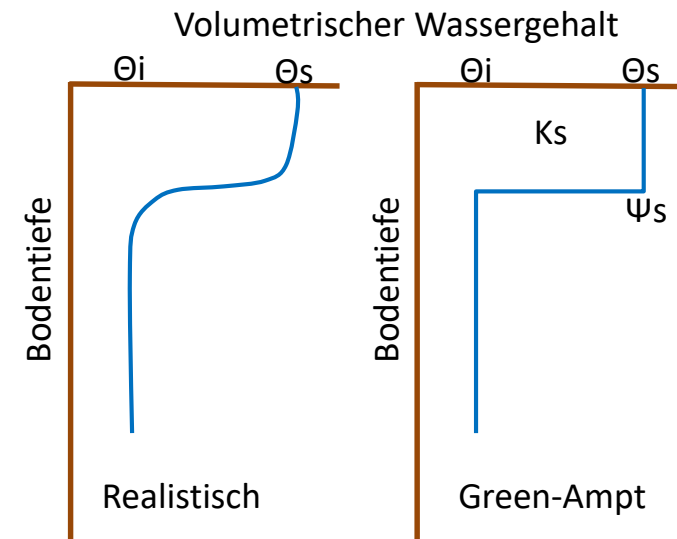
$$I [mm] = (\theta_s - \theta_i) \cdot \sqrt{2 \cdot K_s \cdot \frac{\psi_s}{\theta_s - \theta_i} \cdot t}$$

- 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)

Bsp. vertikale Infiltration

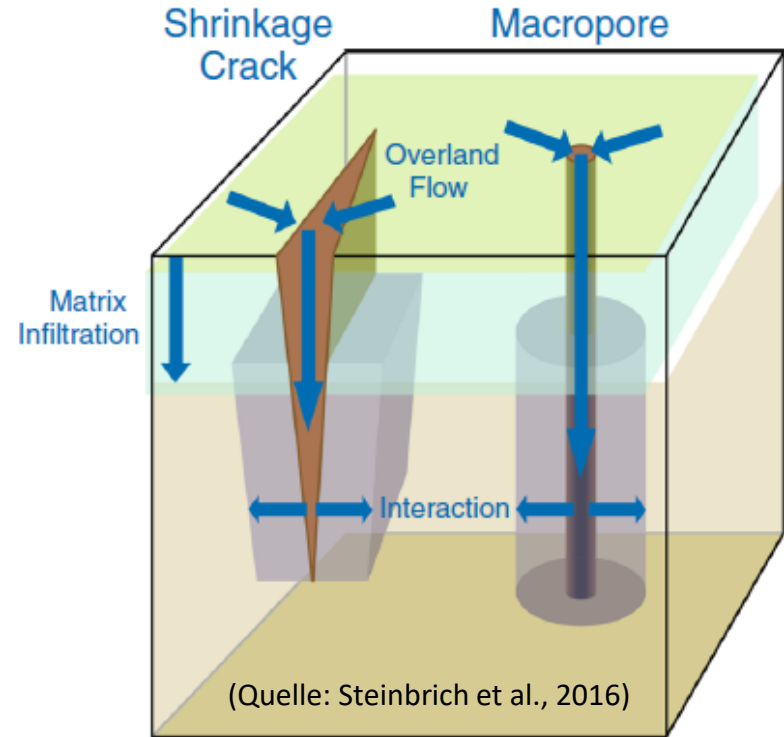


Dynamische Infiltration: Modelltheorie

Dynamische Berechnung der Infiltrationsprozesse im „RoGeR“-Ansatz

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 Infiltration 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

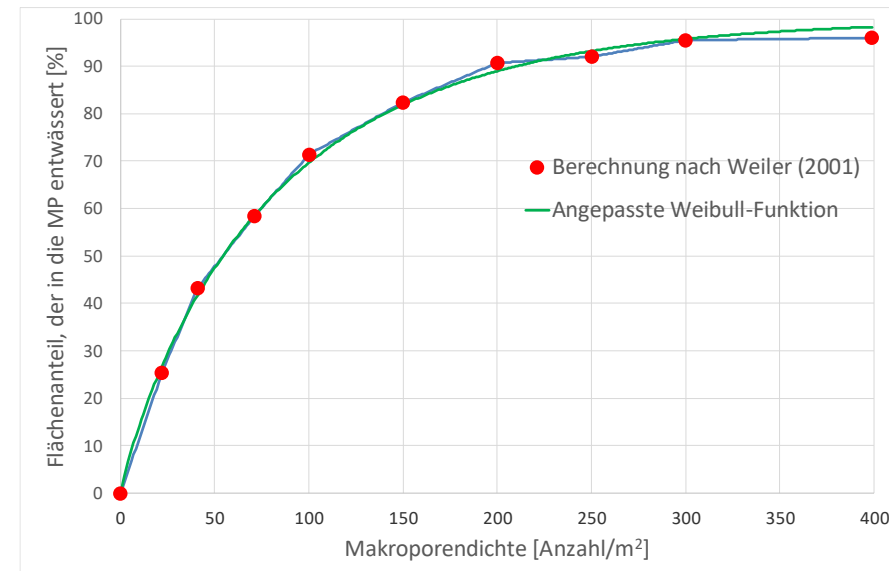
Dynamische Infiltration: Modelltheorie

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

- 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)

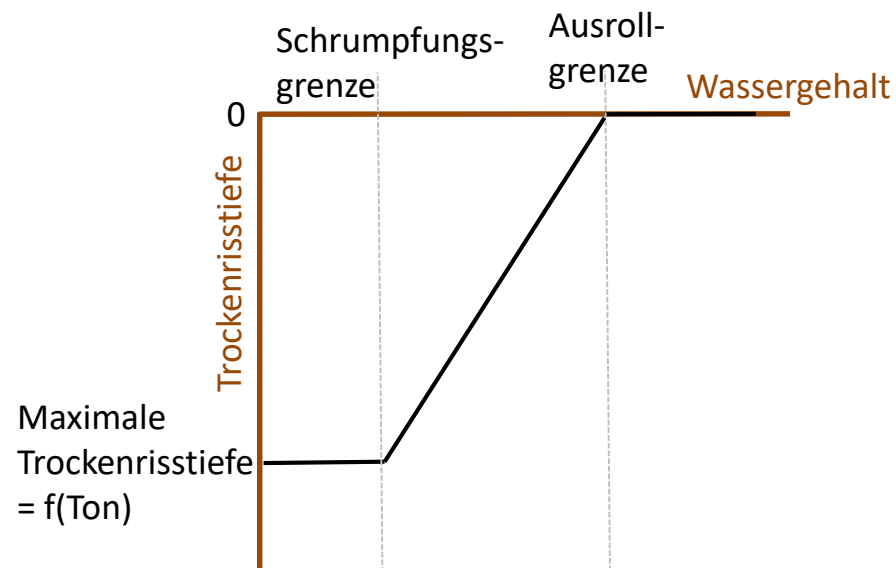
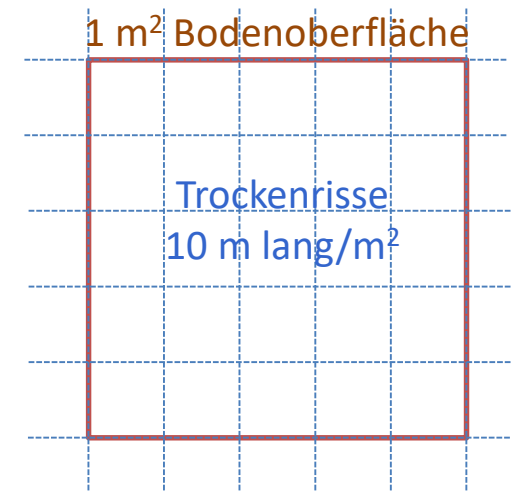


→ **Parametrisierung der Makroporendichte und –tiefe über Landnutzung und Bodeneigenschaften**

Dynamische Infiltration: Modelltheorie

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/m^2
- Trockenrisse nur bei Tonböden und aktueller Bodenfeuchte < Ausrollgrenze
- Maximale Tiefe der Trockenrisse bei aktueller Bodenfeuchte \leq Schrumpfungsgrenze
- Maximale mögliche Tiefe der Trockenrisse = $f(\text{Tongehalt})$
- Aktuelle Tiefe der Trockenrisse = $f(\text{Tongehalt, Bodenfeuchte})$



Dynamische Infiltration: Parametrisierung

Parameter für Green-Ampt:

- Θ_s : Effektives Porenvolumen = $nFK + LK$ des Oberbodens [-]
- K_s : Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit = k_f -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)

Bodenart nach KA5



Ψ_s

PTF nach Wessolek et al. (2009)

Mualem-van Genuchten
-Parameter der PF-Kurve

Zuordnungstabelle für RoGeR

BODENART	Ψ_s [cm]
Ss	2.1
Sl2	3.1
Sl3	4.0
Sl4	3.2
Slu	3.7
...	...

$\psi(\theta)$
 $K(\psi)$

Ableitung nach
Weiler (2001)

Dynamische Infiltration: Parametrisierung

Zusatz-Parameter für Makroporen:

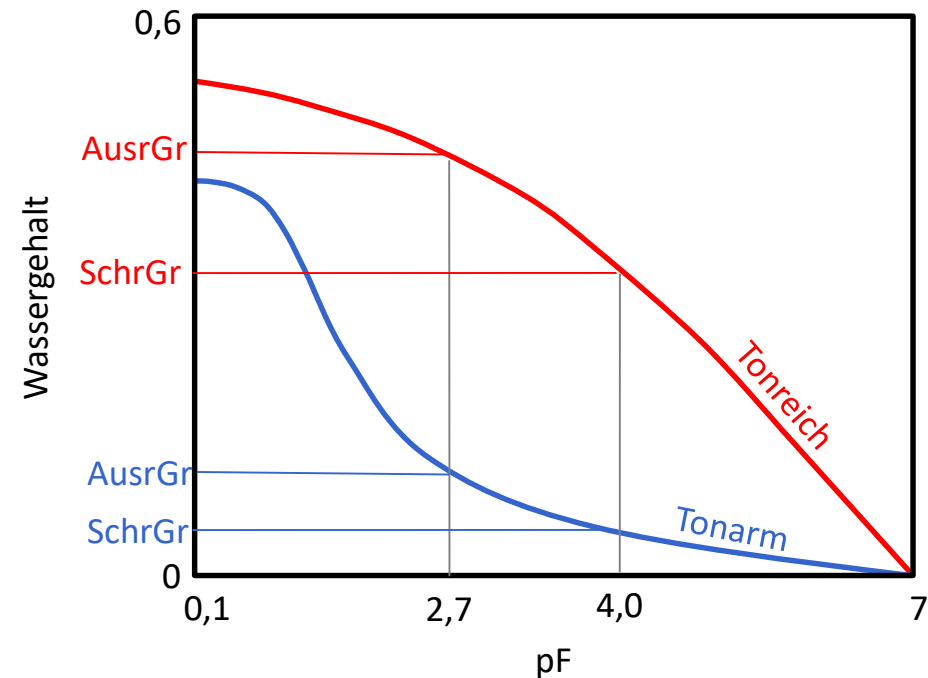
- **Parameter:** Makroporendichte und -tiefe
Konstant: Durchmesser = 5 mm
- Parametrisierung in Anlehnung an Professur für Hydrologie, Uni Freiburg (Steinbrich et al.)
- Grundsätzlich Abschätzung aus Landnutzung
- Gesonderte Behandlung von Torfböden und anthropogen überprägten Böden in Siedlungsbereichen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

Landnutzungsclass	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

Dynamische Infiltration: Parametrisierung

Zusatz-Parameter für Trockenrisse:

- **Parameter:** Maximale Tiefe und Wassergehalte bei Ausroll- und Schrumpfungsgrenze
Konstant: Räumliche Dichte 10 [m/m²]
- Parametrisierung in Anlehnung an Professur für Hydrologie, Uni Freiburg (Steinbrich et al.)
- Maximale Tiefe der Trockenrisse: Lineare Funktion des Tonanteils mit Mindest-Tonanteil
- Ausroll- und Schrumpfungsgrenze indirekt über 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



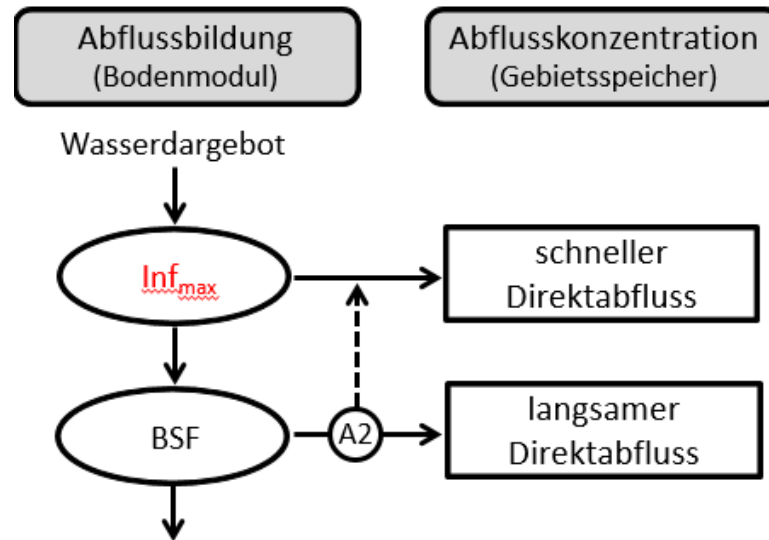
Zusammenfassung

Vergleich von statischem und dynamischem Ansatz

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

Einfacher statischer Inf.-Schwellenwert

- 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)

Zusammenfassung

Statischer Infiltrations-Schwellenwert:

- Klare Verbesserung gegenüber bisherigem Ansatz bei der Neubildung von Starkregen
→ siehe Folgevortrag von Ute Badde
- Geeignete Parametrisierung für „trockene Böden“ erforderlich
- Aber starke Vereinfachung bzgl. Anfangsbedingungen, zeitlichem Verlauf und Abhängigkeit von Rechenzeitschritt

Prozessorientierte dynamische Simulation:

- Weitere Verbesserungen hinsichtlich Berücksichtigung von Anfangsbedingungen, zeitlichem Verlauf und Zeitschrittunabhängig
- Dynamische Kopplung mit LARSIM-Bodenmodul (Anfangsbedingungen)
- Aufwändige Parametrisierung, aber auf Basis üblicher „Bodenkarten“ machbar
- Grundlage: Langjährige Entwicklung von RoGeR an Uni Freiburg und gute Ergebnisse für ereignisbasierte Simulation mit RoGeR

Statischer Infiltrations-Schwellenwert:

- In LARSIM bereits verfügbar
 - Parametrisierung für Baden-Württemberg liegt vor
 - Derzeit Testrechnungen und zukünftig Vergleich mit dynamischem Ansatz
- Folgevortrag von Ute Badde

Prozessorientierte dynamische Simulation:

- Stand-Alone-Version der zukünftigen LARSIM-Routinen wird derzeit getestet
- Derzeit standortbezogene Vergleichsrechnungen mit RoGeR und Stand-Alone-Version (Berechnungsexperimente) → Erste Ergebnisse Folgevortrag von Ute Badde
- Parametrisierung für Baden-Württemberg und Bayern geklärt
- Bis Juni 2018 Definition und Programmierung der Rückkopplungen mit LARSIM-Bodenmodul sowie Integration in LARSIM (TAPE12, Zustandsdatei etc.)
- Danach weitere Test- und Vergleichsrechnungen auf Einzugsgebietsebene

→ Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Zusatzfolien