

Modellierung des hortonischen Oberflächenabflusses und dessen Aufteilung in Schicht- und Rillenabfluss: Eine energetische Perspektive

Doğa Yahşi, Erwin Zehe, Christophe Hissler

Motivation

- Die entscheidende Rolle der Oberflächenabflussprozesse bei der Entstehung von Hochwasser und Bodenerosion
- Häufiges Auftreten des hortonischen Abflusses bei Sturzfluten in subhumiden und semiariden Regionen infolge hochintensiver konvektiver Niederschläge
- Verstärkter Einfluss solcher Ereignisse durch den Klimawandel und die zunehmende Versiegelung
- Notwendigkeit eines besseren Verständnisses der Massen-, Impuls- und Energiebilanzen des Oberflächenabflusses

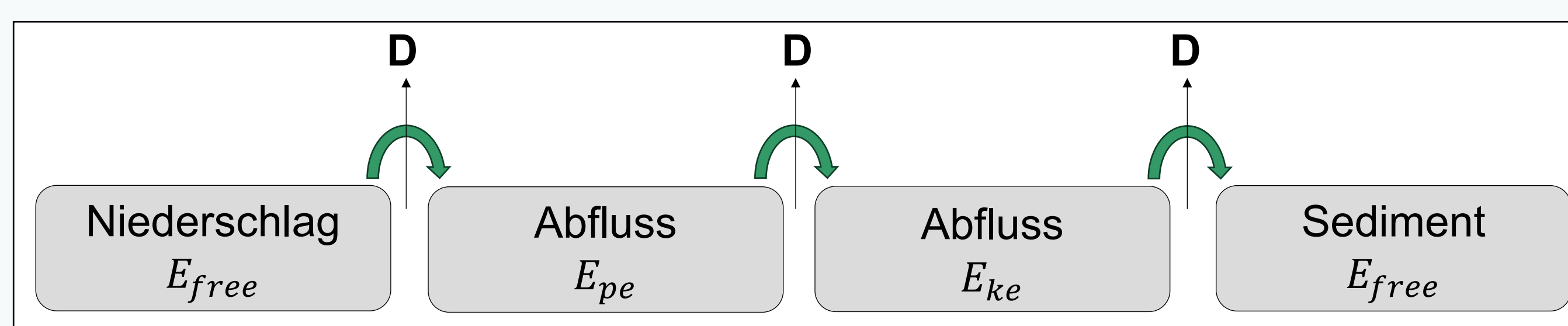
Hypothese

Die Aufteilung des Oberflächenabflusses in Schicht- und Rillenkomponenten führt zu einer gleichmäßigen Aufteilung der kinetischen Energie zwischen Schicht- und Rillenabfluss.

Ziele

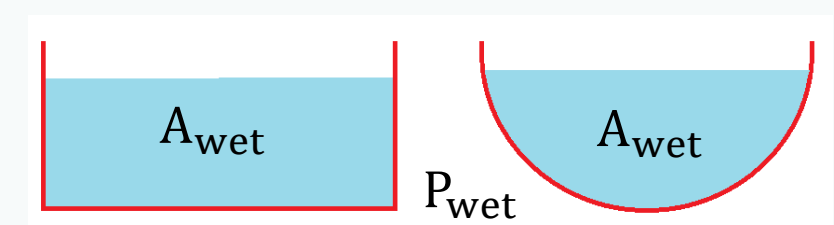
- Untersuchung der Bildung des hortonischen Oberflächenabflusses
- Analyse der stationären Energiebilanz des Oberflächenabflusses mit besonderem Fokus auf die Aufteilung von Masse und Energie zwischen Schicht- und Rillenbereichen
- Überprüfung, ob der „Open-Book“-Ansatz die Reproduktion des Oberflächenabflusses in beiden Bereichen ermöglicht

Energiebilanz des Oberflächenabflusses



(nach Schroers, 2022)

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}, \quad R_h = \frac{A_{wet}}{P_{wet}}$$



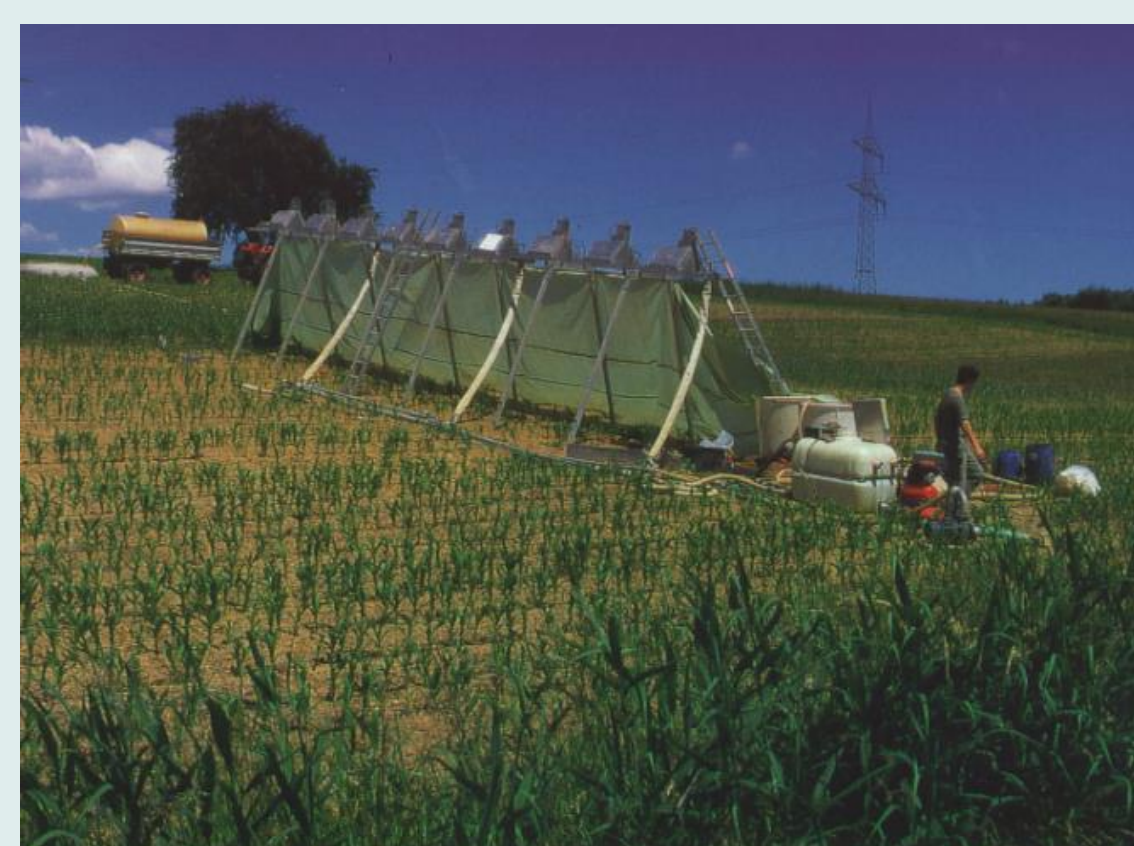
Höhere
Energieeffizienz
durch einen
größeren
hydraulischen
Radius

$$\begin{cases} W = F \cdot x, \\ P = \frac{W}{t} \end{cases} \quad \begin{cases} F = \dot{m}v, \quad \dot{m} = \rho Av \\ F = \rho Av^2 \\ P = Fv = \rho Av^3 \end{cases}$$

$$P = \rho Av^3$$

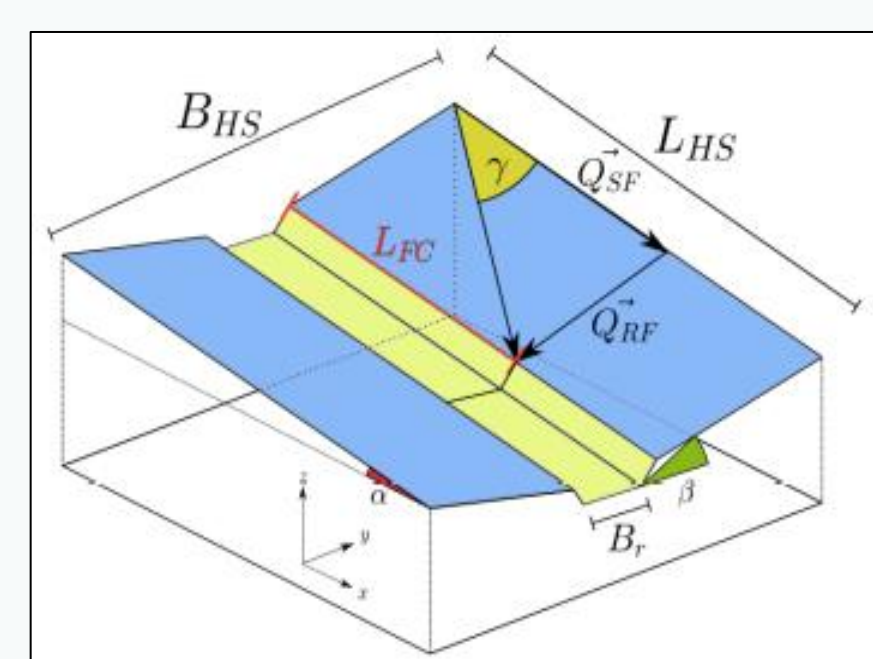
Die Beregnungsversuche im Einzugsgebiet Weiherbach

- 60 Experimente mit einem Düsenregner
- Zwei Hauptniederschlagsintensitäten: $\sim 35 \text{ mm h}^{-1}$ und $\sim 65 \text{ mm h}^{-1}$
- Gemessene Abflussraten und Rillengeschwindigkeiten, rückberechnete Schichtabflussgeschwindigkeiten
- Abschätzung der Oberflächenrauheit aus dem abfallenden Ast der Abflussganglinie



(Scherer et al., 2012; nach Gerlinger, 1997)

Das Modell CATFLOW-SED und der „Open-Book“-Ansatz



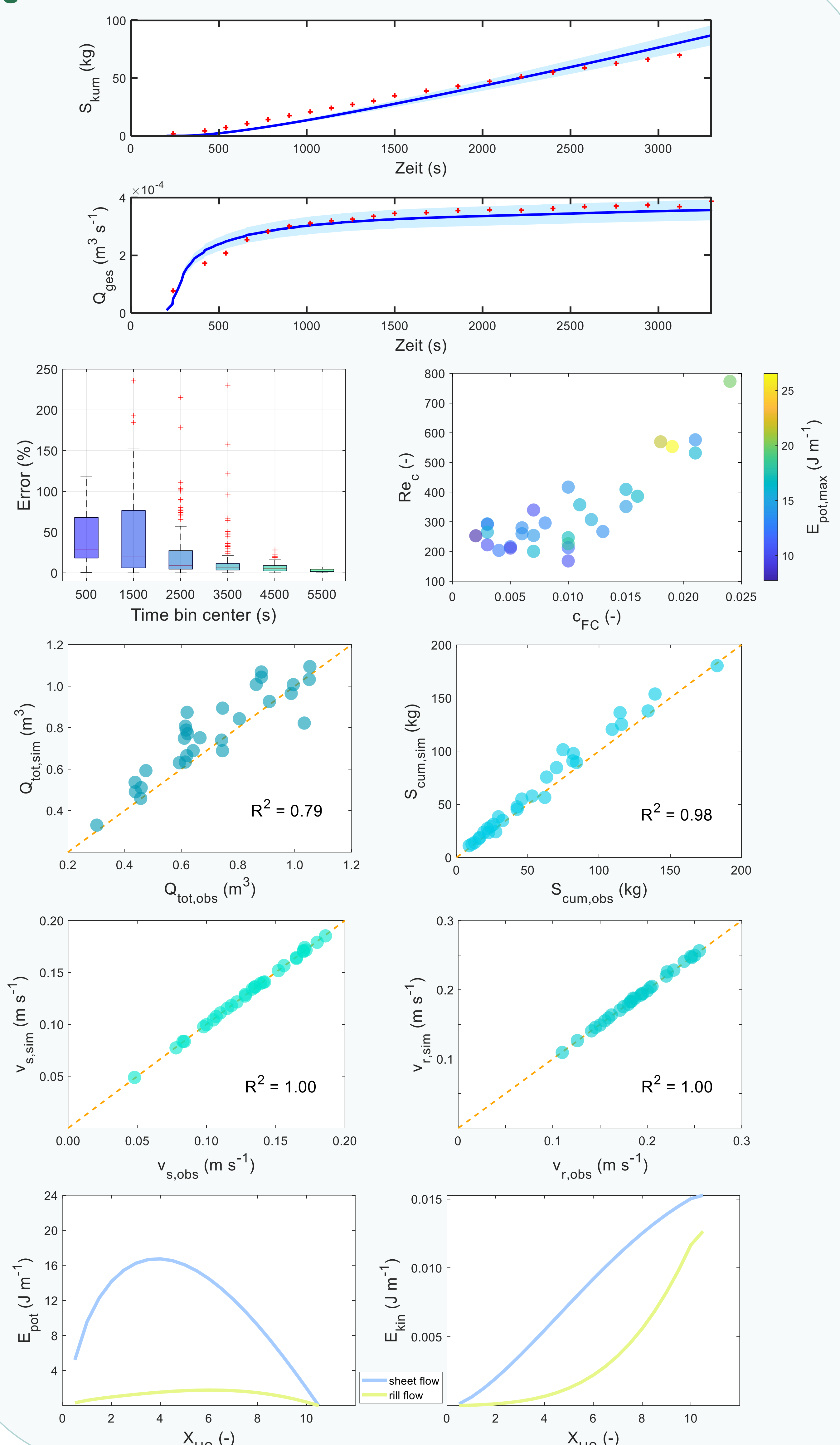
(Schroers et al., 2022)



- CATFLOW-SED ist ein physikalisch basiertes numerisches Modell.
- 2D-Hangelemente basierend auf einem digitalen Höhenmodell mithilfe gekrümmter orthogonaler Koordinaten diskretisiert.
- Die Diffusionswellen-Gleichung (vereinfachte Saint-Venant-Gleichung) wurde numerisch mit einem expliziten Upstreaming-Schema gelöst.
- Die Verbindung zwischen den Schicht- und Rillkomponenten wurde durch den Fließakkumulationskoeffizienten c_{FC} hergestellt.
- Das Modell wurde für den Abfluss mit c_{FC} und unterschiedlichen Rauheitswerten für Rillen- und Schichtabfluss sowie für die Erosion mit dem Erosionswiderstand f_{crit} kalibriert.

$$e_{pot} = p_1 \cdot (\tau + P_2 \cdot m_r - f_{crit})^{p_4}$$

Ergebnisse



Fazit

- Bodenfeuchte und Oberflächenrauheit sind gute Prädiktoren für die Niederschlags-Abfluss-Dynamik des hortonischen Oberflächenabflusses.
- Höhere Rauheit begünstigt eine größere Fließakkumulation im Rillenbereich.
- Das Modell CATFLOW-SED bildet die Verteilung des Oberflächenabflusses in Schicht- und Rillenabfluss unter Verwendung des „Open-Book“-Ansatzes gut ab.

- Lokales Maximum der Potenzialenergie wird durch den Trade-off-Prozess verursacht.
- Größere c_{FC} steht in Beziehung zu einem höheren lokalen Maximum der Potenzialenergie, das mit einem höheren Re_c und einem größeren Freiheitsgrad morphologischer Veränderungen korreliert.
- Bei hohen Fließakkumulationskoeffizienten erfolgt eine nahezu gleichmäßige Aufteilung der kinetischen Energie in Schicht- und Rillenabfluss.