

# 2D MODELLIERUNG DES GESCHIEBETRANSPORTS IM ZULGBODEN

BASEMENT-Anwendertreffen



INSTITUT FÜR  
BAU UND UMWELT

Prof. Dr. Jürg Speerli

Severin Lees

Daniel Ehrbar

25. Januar 2017



**HSR**

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK  
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

## ■ Einleitung

- Hybride Modellierung
- Projektperimeter
- Physikalisches Modell

## ■ Modellaufbau

- Topografie und Rechengitter
- Korngrößenverteilung
- Set-Up Numerisches Modell

## ■ Numerische Modellierung

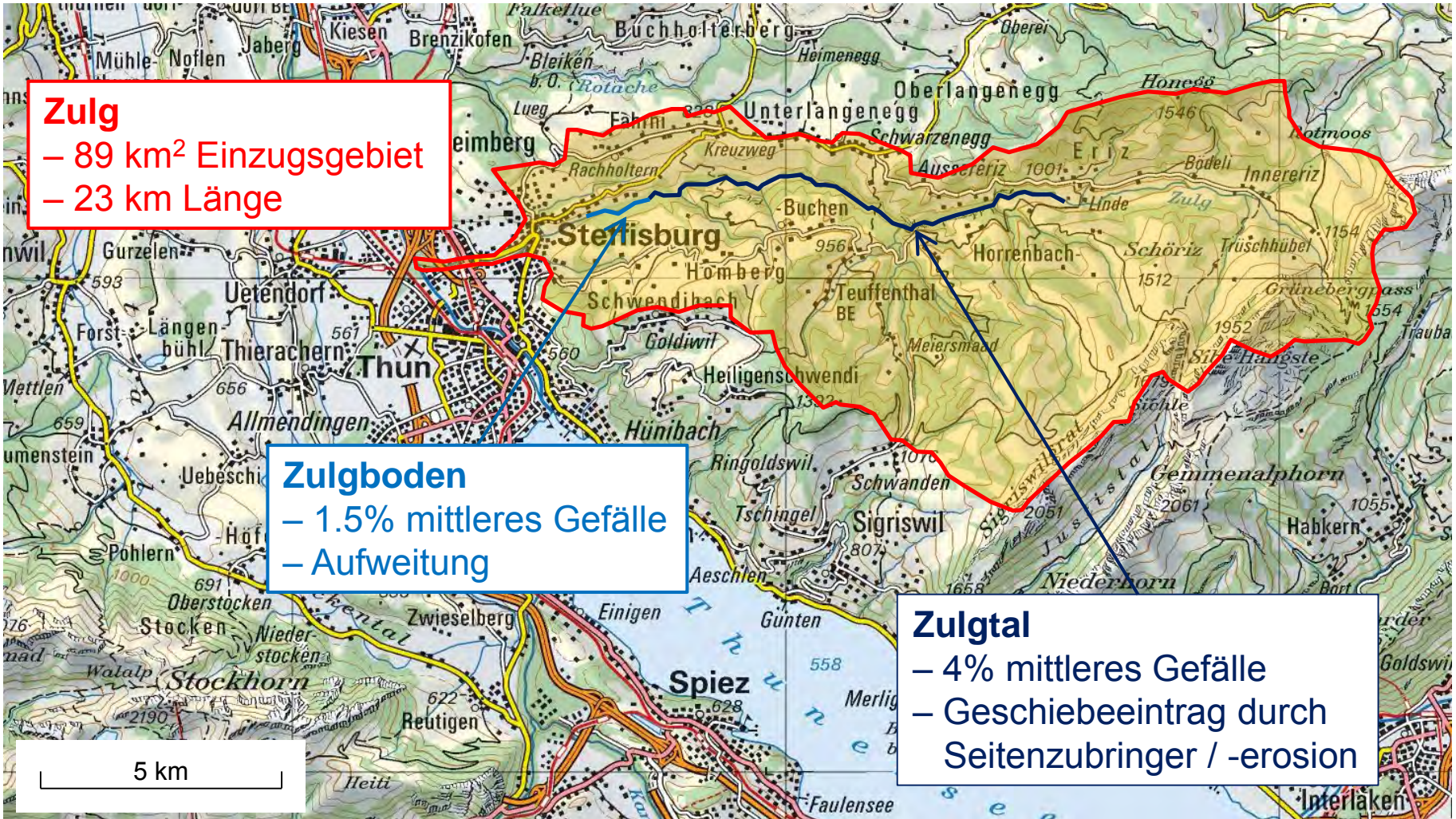
- Ereignisganglinien  $HQ_{100}$  Gewitter
- Sohlenveränderungen
- Einfluss von Schwemmholtzrechen

## ■ Zusammenfassung

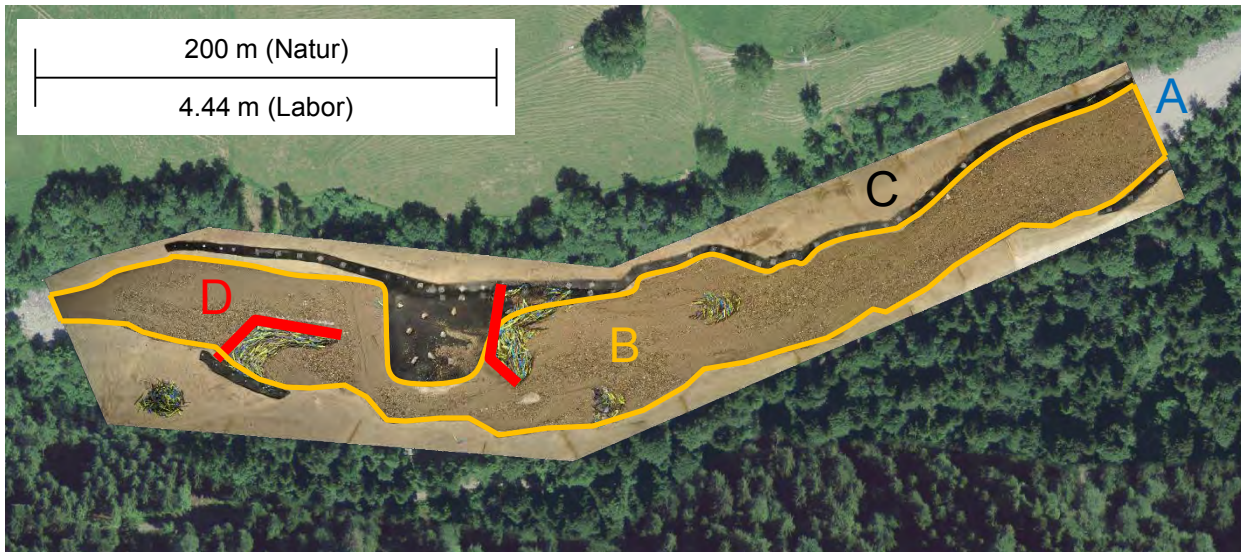
# Hybride Modellierung

Physikalische Modelle	Numerische Modelle
Prozesse	
– alle Prozesse integriert sofern skalierbar (z.B. Lufteintrag)	– mathematische Modelle für alle Prozesse
Massstabeffekte	
– Korngrößen und Abflusstiefen durch Massstab beschränkt (z.B. Kohäsion, Oberflächenspannung usw.) – nicht-skalierbare Effekte (z.B. Lufteintrag)	– keine Massstabeffekte, beliebig skalierbar (sofern Gitter-unabhängig)
Zeitfaktor	
– Beschleunigung vom Massstab definiert (z.B. Massstab <sup>0.5</sup> bei Froude-ähnlichen Modellen)	– abhängig von Fragestellung (u.a. Gitter-Auflösung, Geschwindigkeiten usw.)
Resultate	
– zeitliche und örtliche Punktmessungen (z.B. Abflusstiefen, Fließgeschwindigkeiten) – flächige Messungen nur bei trockenem Modell möglich (z.B. Sohlenlage)	– für jeden beliebigen Zeitschritt an jedem Knoten / in jedem Element – Profilmessungen möglich
Aufwand	
– in der Regel aufwändig und teuer (Messtechnik!) – Modifikationen nur beschränkt möglich	– oft günstiger – Anpassungen relativ einfach

# Projektperimeter



# Physikalisches Modell



## Legende:

- [A] Wasserzufuhr und Geschiebebeigabe
- [B] bewegliche Sohle
- [C] Kunststoffiltermatten («Auenwald»)
- [D] Schwemmholzrechen

## ■ Froude-ähnliches Modell

- Untersuchungen zum Schwemmholzrückhalt
- Massstab 1:45
- bewegliche Sohle

## ■ bekannte Randbedingungen aus Labor

- Zufluss-Hydrograph (Pumpenleistung)
- Geschiebe-Beigabe (Bandwaage)
- Korngrößenverteilung (Siebanalyse)
- Sohlenlage (Laserscan)

## ■ Topografie

- Querprofil-Aufnahmen in Natur → Modell-Topografie
- Flusslauf: Laserscan (Auflösung: 1 mm bis 70 cm, 885'207 Punkte)
- Umland: swissALTI3d (Auflösung 0.5 x 0.5 m, 550'969 Punkte)
- digitales Geländemodell mit Rasterdaten (Auflösung 0.5 x 0.5 m)
- BASEmesh: Höheninformation von Raster interpoliert

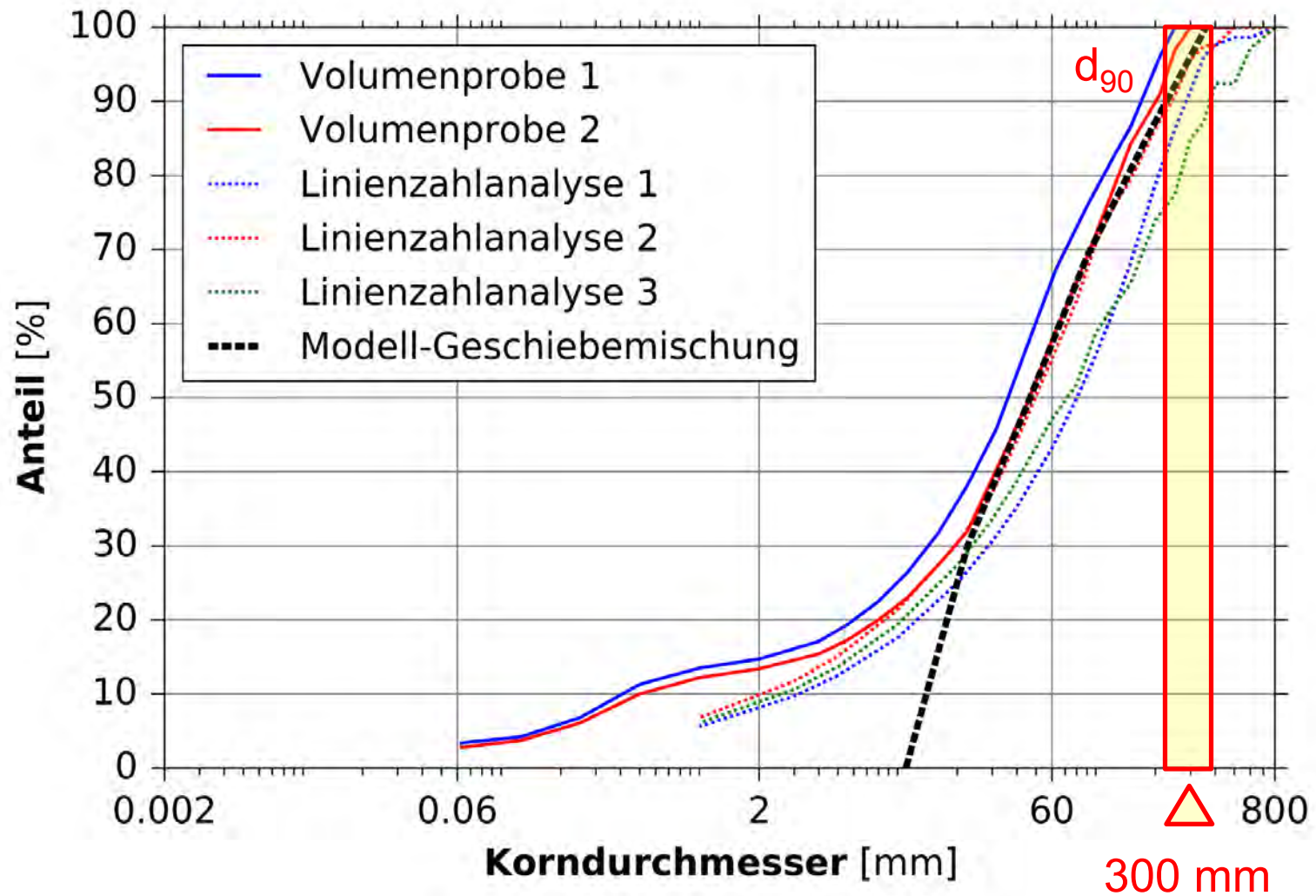
## ■ Rechengitter

- Fläche: 77'450 m<sup>2</sup>
  - 23'950 m<sup>2</sup> Flusslauf
  - 53'500 m<sup>2</sup> Umland
- Elemente: 7'409 Dreieckselemente
  - 2'635 Elemente im Flusslauf → durchschnittlich 9.1 m<sup>2</sup> pro Element
  - 4'774 Elemente im Umland → durchschnittlich 11.2 m<sup>2</sup> pro Element

# Topografie und Rechengitter



# Korngrößenverteilung





# Korngrößenverteilung «Modell»

## ■ Modellmischung

- nur eine Mischung für laufendes Geschiebe und Deckschicht
- Ansatz: mittlerer Durchmesser von je fünf Fraktionen
- Korndurchmesser von 17 bis 270 mm

Korngruppe	Durchmesser [mm]		Anteil [%] (ideal)
	Bereich	Mittelwert	
sehr fein	11.25 – 22.50	17	30
fein	22.50 – 45	34	19
mittel	45 – 90	68	20
grob	90 – 180	135	16
sehr grob	180 – 360	270	15
total	---	---	100

# Korngrößenverteilung «Natur»

## ■ Naturmischungen

- Volumenproben für laufendes Geschiebe
- Linienzahlanalyse für Deckschicht
- Korndurchmesser von 1 bis 500 mm

Korngruppe	Durchmesser [mm]		Anteil [%]	
	Bereich	Mittelwert	Volumenprobe	Linienzahlanalyse
Sand	0.06 – 2	1	14	8
Feinkies	2 – 6	4	5	7
Mittelkies	6 – 20	13	14	13
Grobkies	20 – 60	40	29	21
Steine	60 – 200	230	30	31
Blöcke	200 – 800	500	8	20
total	---	---	100	100

# Set-Up Numerisches Modell

## ■ Randbedingungen

- oberstrom: hydrograph (Wasser) und sediment\_discharge (Geschiebe)
- unterstrom: zero\_gradient (Wasser) und IODown (Geschiebe)

## ■ Rauigkeitsbeiwerte

- Flusslauf: aus Korngrößenverteilung (Deckschicht)

$$k = \frac{21}{\sqrt[6]{d_{90}}} = 26 \frac{m^{1/3}}{s} \quad \text{oder} \quad k_S = 2.5 \cdot d_{90} = 2.5 \cdot 0.3 \text{ m} = 0.75 \text{ m}$$

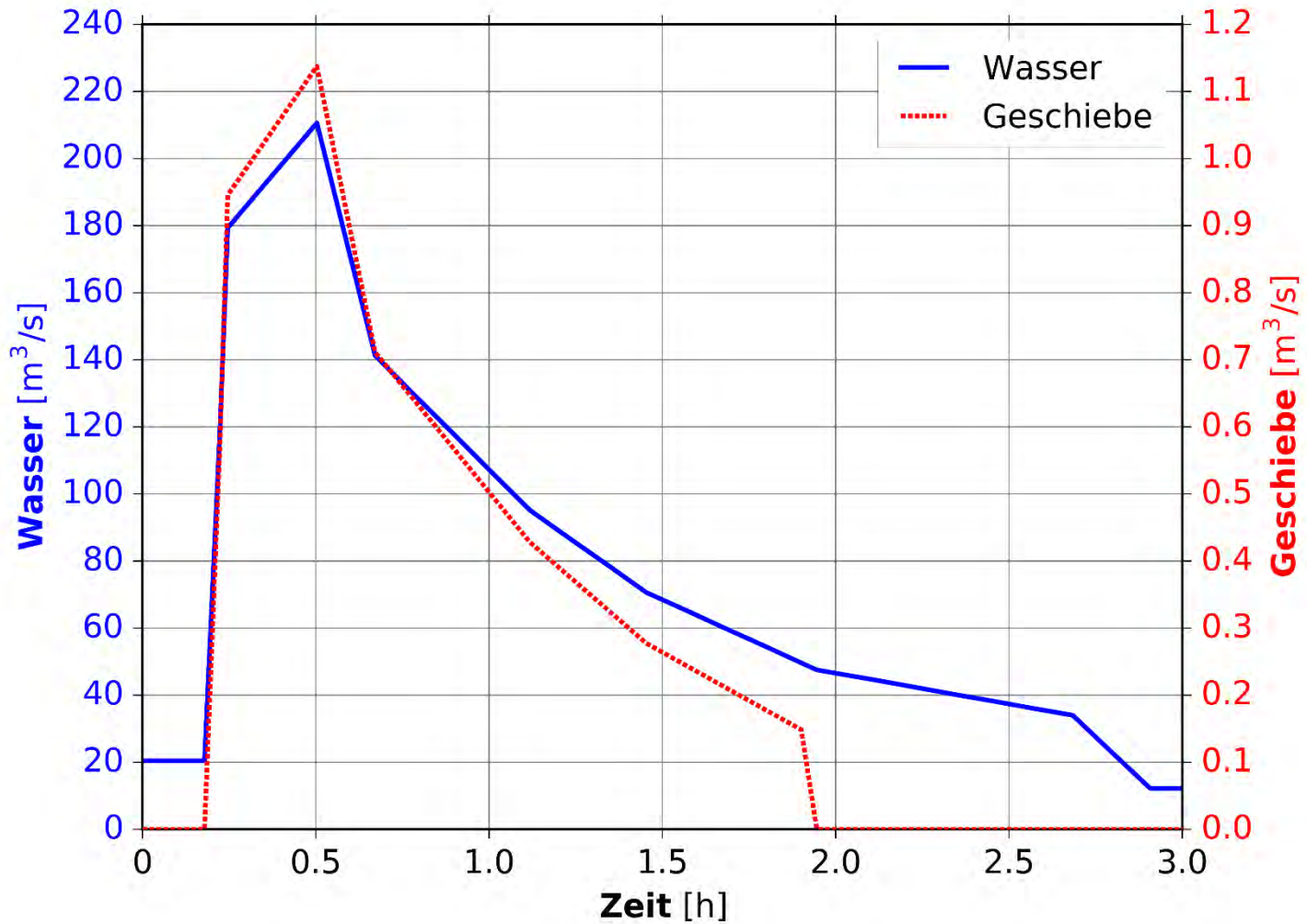
- Umland: Literaturwerte für «Waldboden»

$$k = 6 - 10 \frac{m^{1/3}}{s} \quad \text{oder} \quad k_S = 0.160 - 0.32 \text{ m}$$

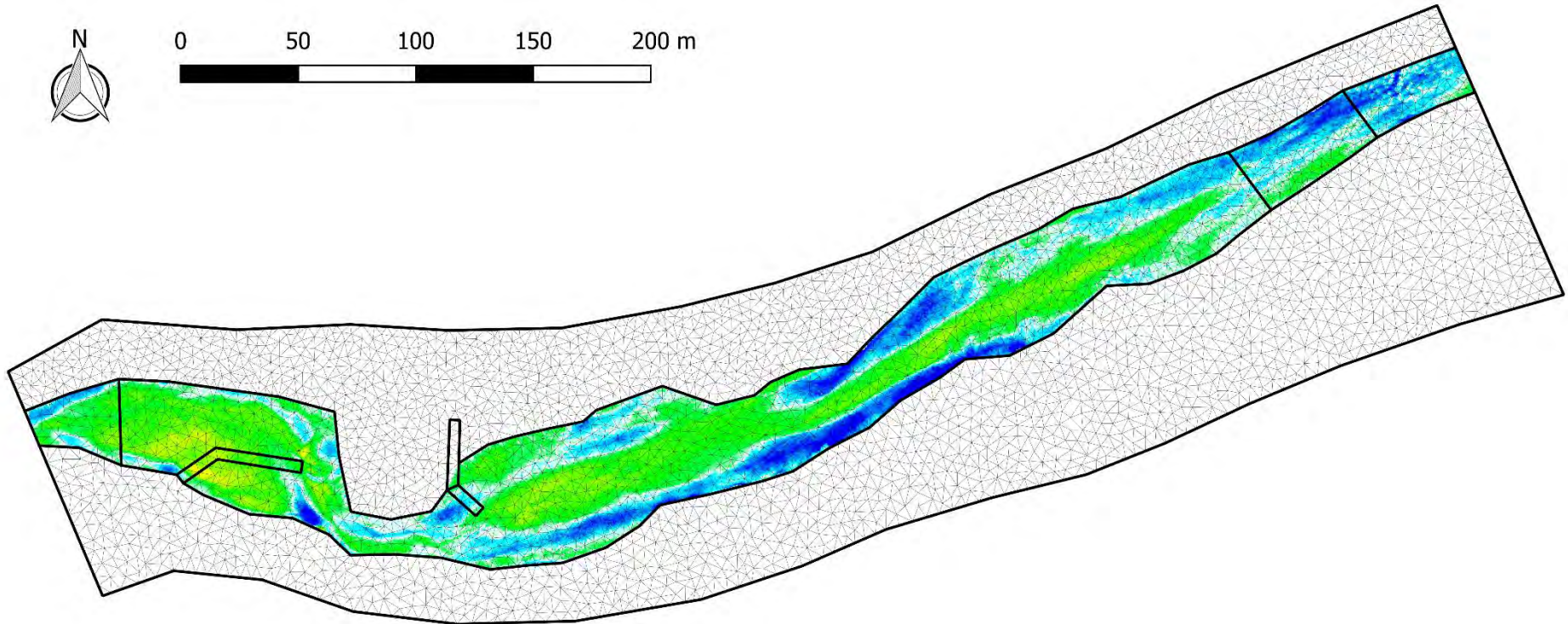
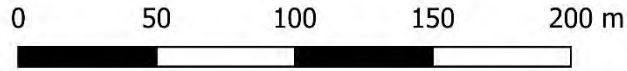
## ■ Korngrößenverteilungen

- Modellmischung: 5 Fraktionen, identisch für Sohle und laufendes Geschiebe
- Naturmischung: 6 Fraktionen, separate Mischungen für Sohle (Deckschicht) und laufendes Geschiebe

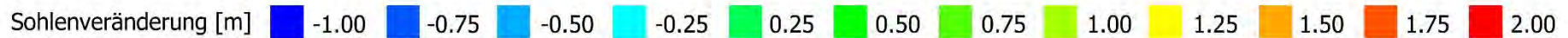
# Ereignisganglinien HQ<sub>100</sub> Gewitter



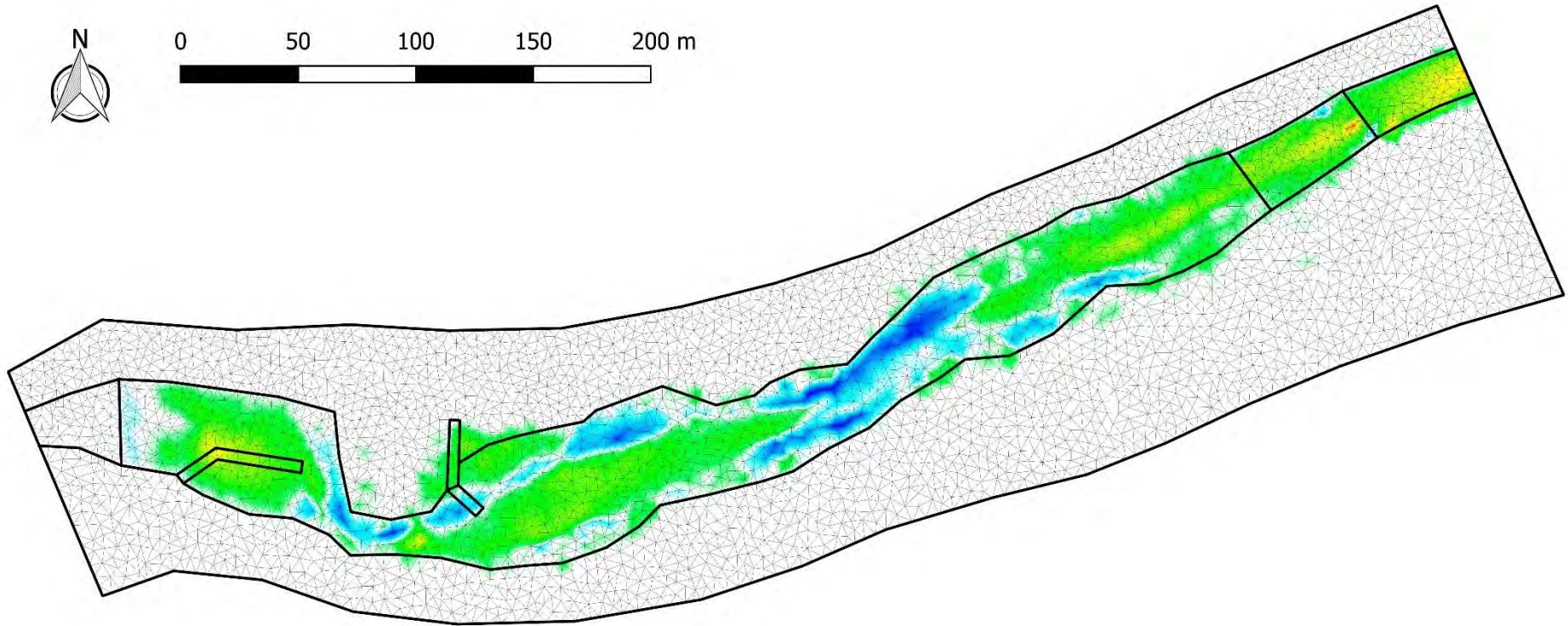
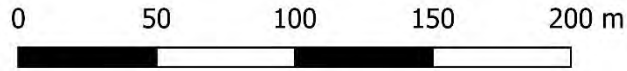
# Sohlenveränderung – physikalisches Modell



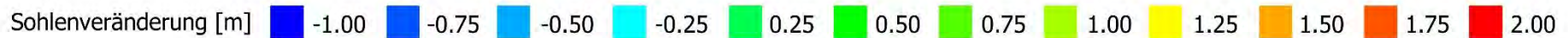
## Legende



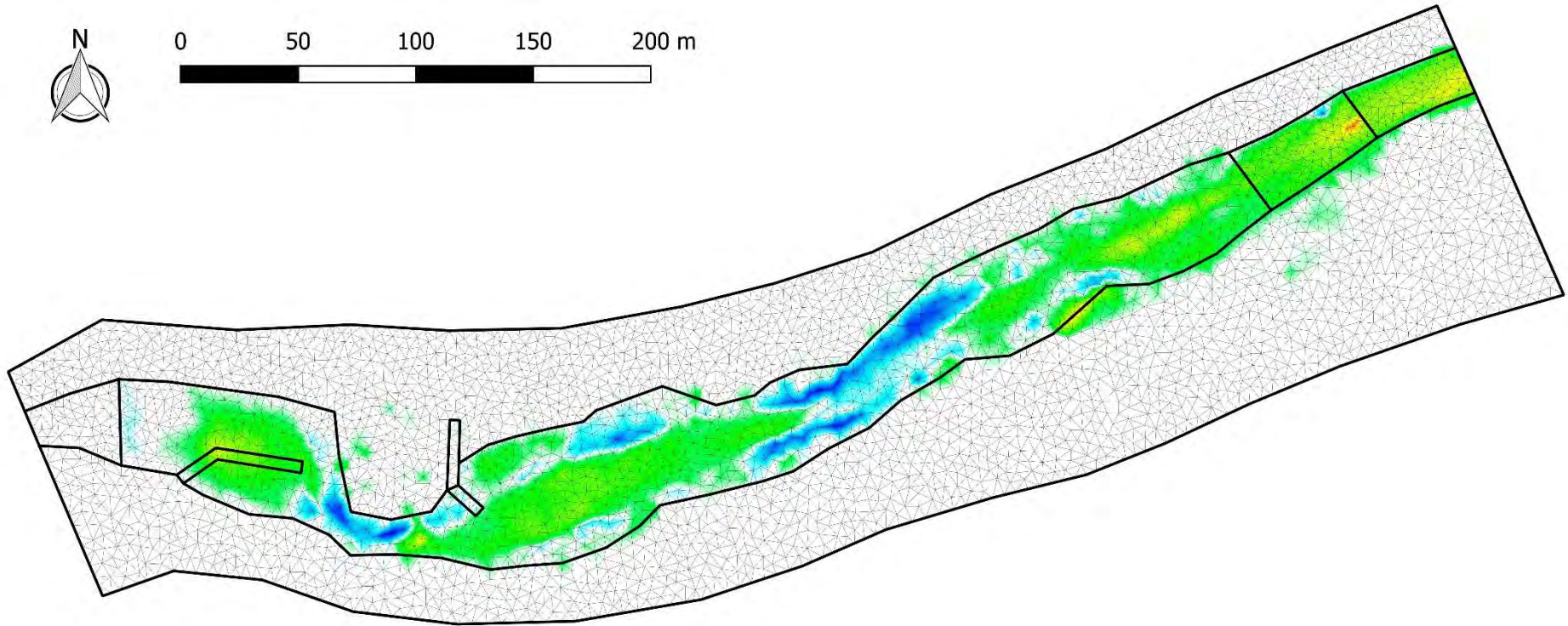
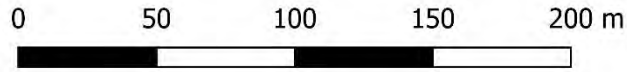
# Sohlenveränderung – Modellmischung, Ansatz «Chézy»



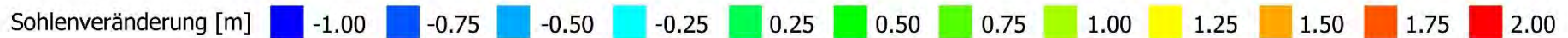
## Legende



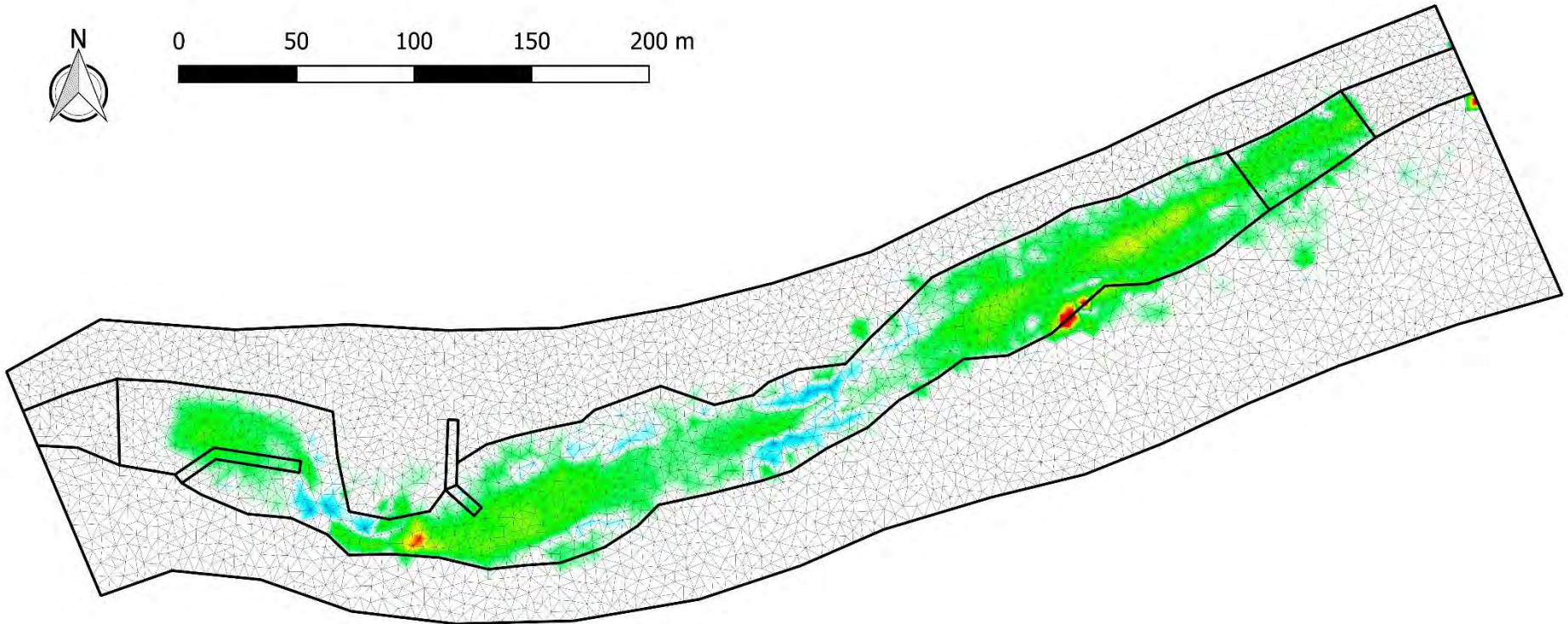
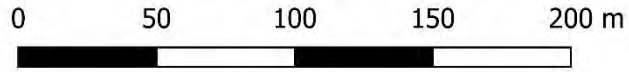
# Sohlenveränderung – Modellmischung, Ansatz «Strickler»



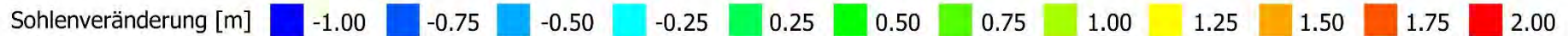
## Legende



# Sohlenveränderung – Naturmischungen

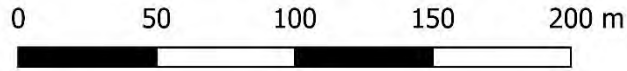


## Legende

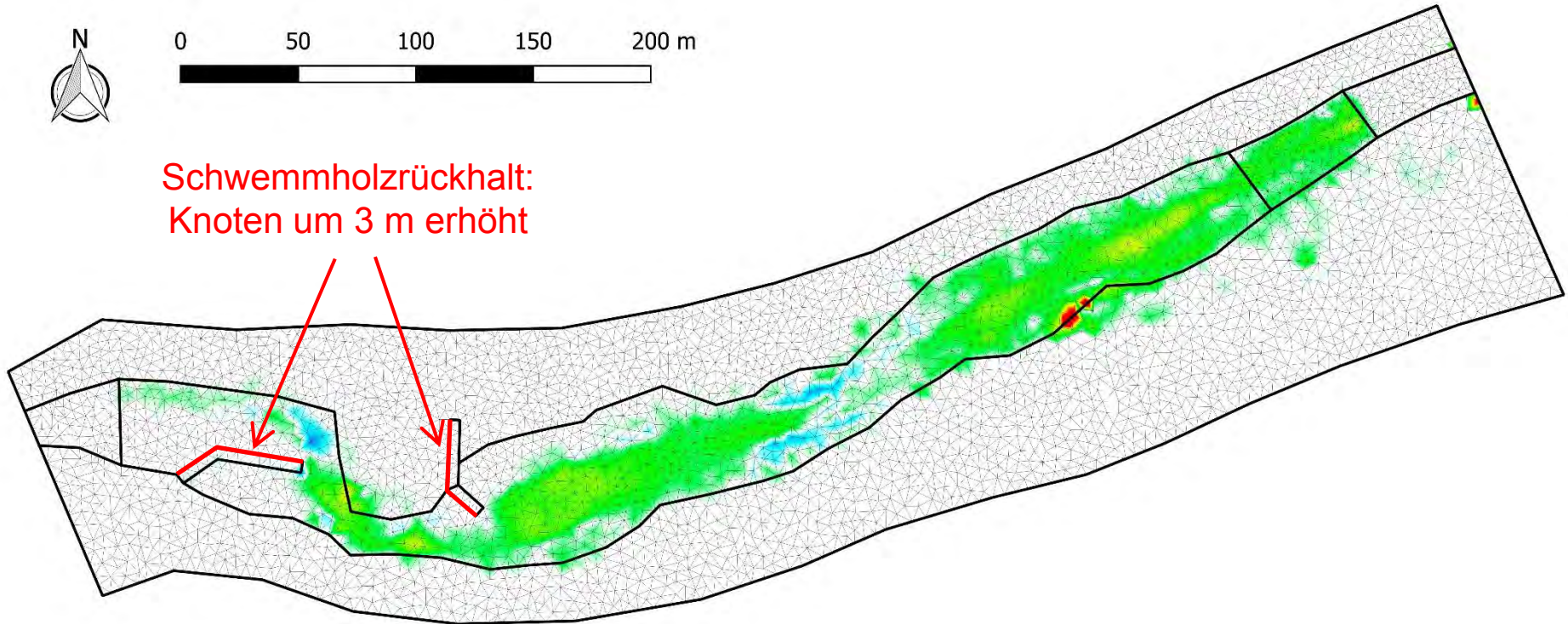




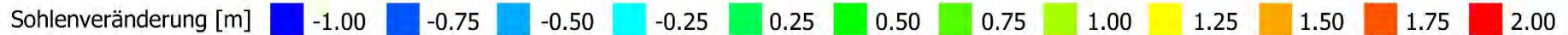
# Sohlenveränderung – Naturmischungen, mit Schwemmholzr.



Schwemmholzrückhalt:  
Knoten um 3 m erhöht



## Legende



## Physikalisches Modell

- hat trotz Einschränkungen grosse «Naturnähe»
- generiert Kalibrierungs- und Validierungsereignisse
- liefert messbare Randbedingungen (z.B. Geschiebebeigabe oder Korngrößenverteilungen)
- definiert Topografie, welche identisch im numerischen Modell angewendet werden kann
- aufwändig, deshalb limitierte Anwendung

## Numerisches Modell

- muss Prozesse beschreiben können
- ermöglicht Einblick während Ereignis
- zeigt, welche Prozesse und Parameter sensitiv sind
- fängt Schwächen des physikalischen Modells ab (z.B. limitierte Korndurchmesser)
- ermöglicht rasche Identifikation kritischer Systemzustände
- empfiehlt, welche Situationen (auch) im physikalischen Modell untersucht werden sollten

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit