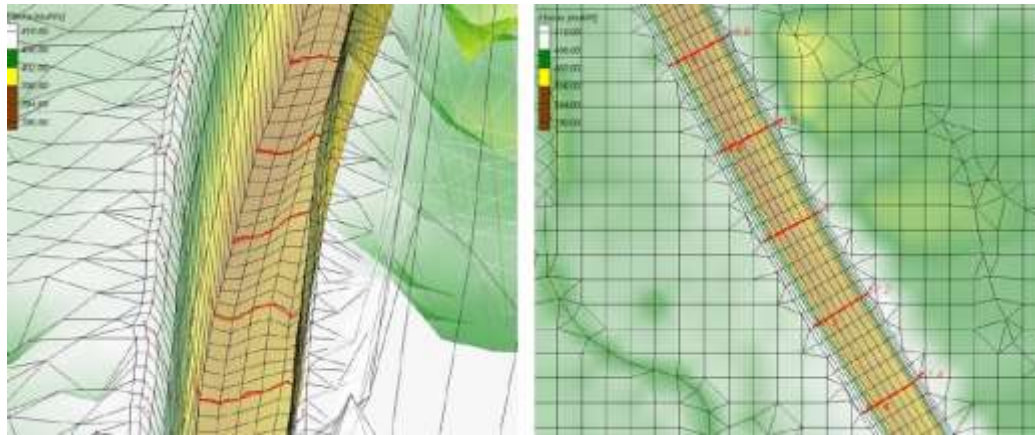


# Geschiebetransportmodellierung mit HYDRO\_FT-2D für langfristige Prognosen

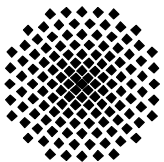
## Herausforderungen und Vorgehensweise am Beispiel der Salzach



Hydro\_AS-2D, Anwendertreffen und Workshop

05.10.2016

Markus Noack, Felix Beckers und Silke Wieprecht



Universität Stuttgart  
Institut für Wasser- und  
Umweltsystemmodellierung



Lehrstuhl für Wasserbau und  
Wassermengenwirtschaft  
Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

## Sediment-Transport



*„Morphodynamic processes are among the most complex and least understood phenomena in nature“ (Wu, 2007)*

→ langfristige Prognosen des Sediment-Transports

## Herausforderungen

→ Datengrundlage, Datenqualität

→ Rechenkapazitäten

→ Unsicherheiten durch modellhafte Abbildung von Sedimenttransportprozessen

## Vorgehensweisen

→ Generierung des Berechnungsnetzes

→ Reduktion der Abflussganglinie auf geschieberelevante Abflüsse

→ Kalibrierung und Validierung

→ Sensitivitätsanalyse

## Ergebnisse

→ Darstellung und Interpretation von Ergebnissen

## Beschreibung des Modellgebiets

### Modellgebiet:

- Salzach von Fkm 61,8 bis Sohlrampe bei Fkm 51,9
- Saalach von Fkm 2,2 bis Mündung in die Salzach  
→ Länge 13,2 km

### Zuflüsse:

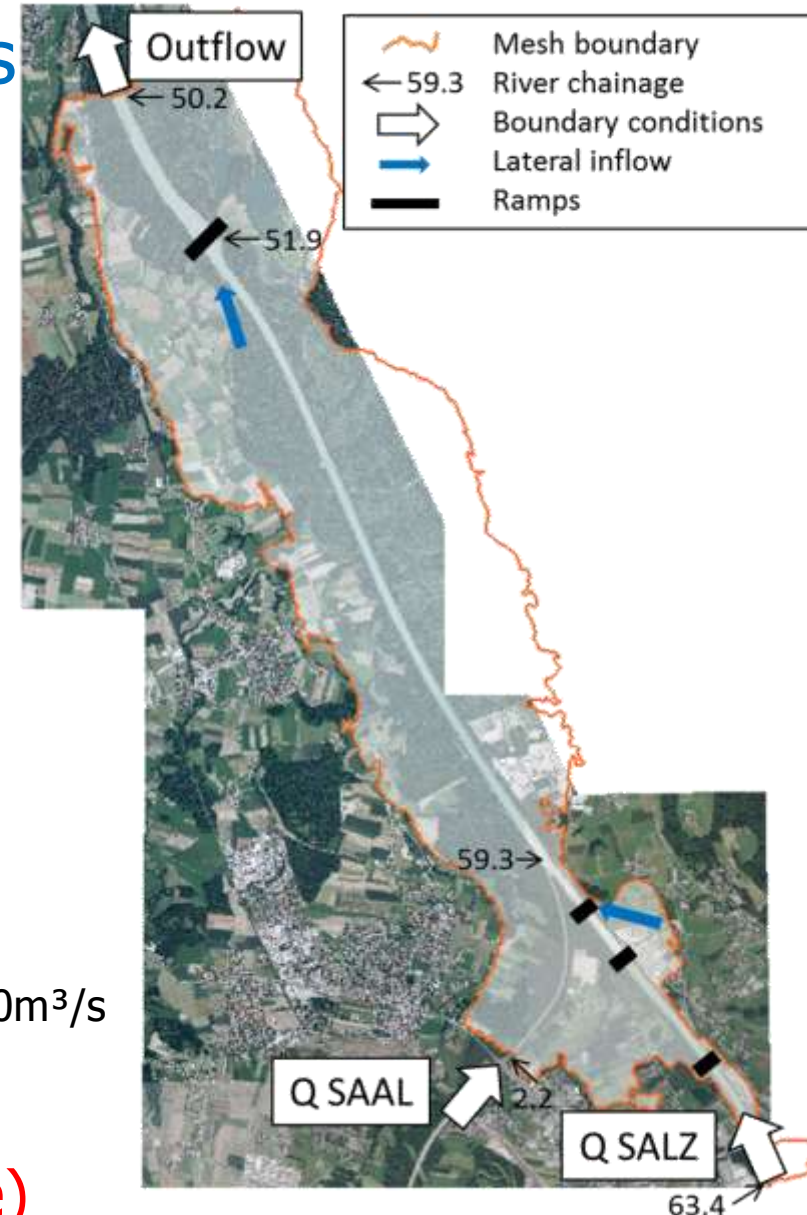
- Salzach, Saalach, Fischach, Sur

### Mehrere Querbauwerke

### Hydrologie:

- Alpines Fließregime (HW-Ereignisse im Sommer)
- $MQ = 240\text{m}^3/\text{s}$
- $HQ_{2013}: 3500\text{m}^3/\text{s}$ ,  $HQ_{2010}: 2580\text{m}^3/\text{s}$ ,  $HQ_{2002}: 3000\text{m}^3/\text{s}$

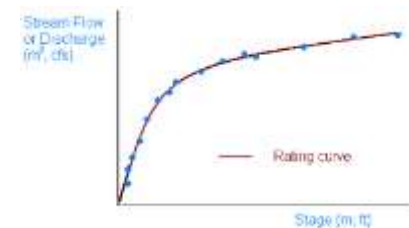
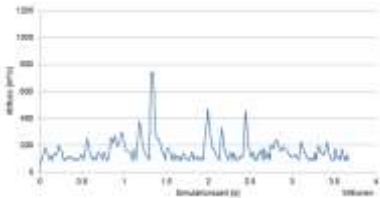
➔ **Prognose der langfristigen  
Sohlentwicklung (80-100 Jahre)**



## Benötigte Daten für eine Geschiebetransportmodellierung

### Modellspezifische Parameter (global):

- Sedimentdichte, Porosität, Sinkgeschwindigkeit
- Räumliche und zeitliche Diskretisierung
- Transportgleichung (inkl. empirische Parameter)
- Spezifische Module (Ufererosion, Hiding/Exposure etc.)



### Obere Randbedingungen:

- Abfluss  $Q(t)$
- Sedimenteintrag  $Q_s(t)$   
(für jede Korngröße)

### Untere Randbedingungen:

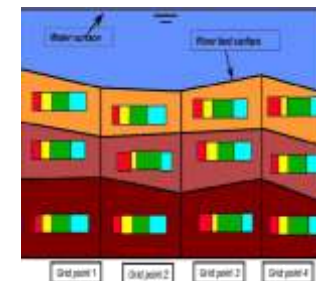
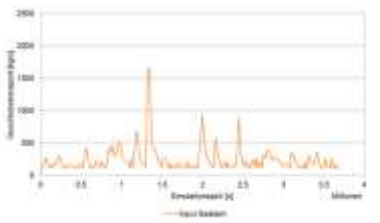
- WSP-Lage  $h(t)$ ,  $Q$ - $h$ -Beziehung  $h(Q)$
- Sedimentaustag  $Q_s(t)$   
(für jede Korngröße)
- Sohlhöhenänderung

Fließgewässer



### Anfangsbedingungen

- Topographie und Bathymetrie (Querprofile, DGM)
- Korngrößenverteilung  
(für jedes einzelne Berechnungselement)
- Anzahl und Dicke der Sedimentschichten
- Morphologisch aktive Bereiche



Source: DHI

## Datengrundlage für Modellerstellung und Kalibrierung

→ Kalibrier- und Validierzeiträume:

1985-1998, 1998-2001

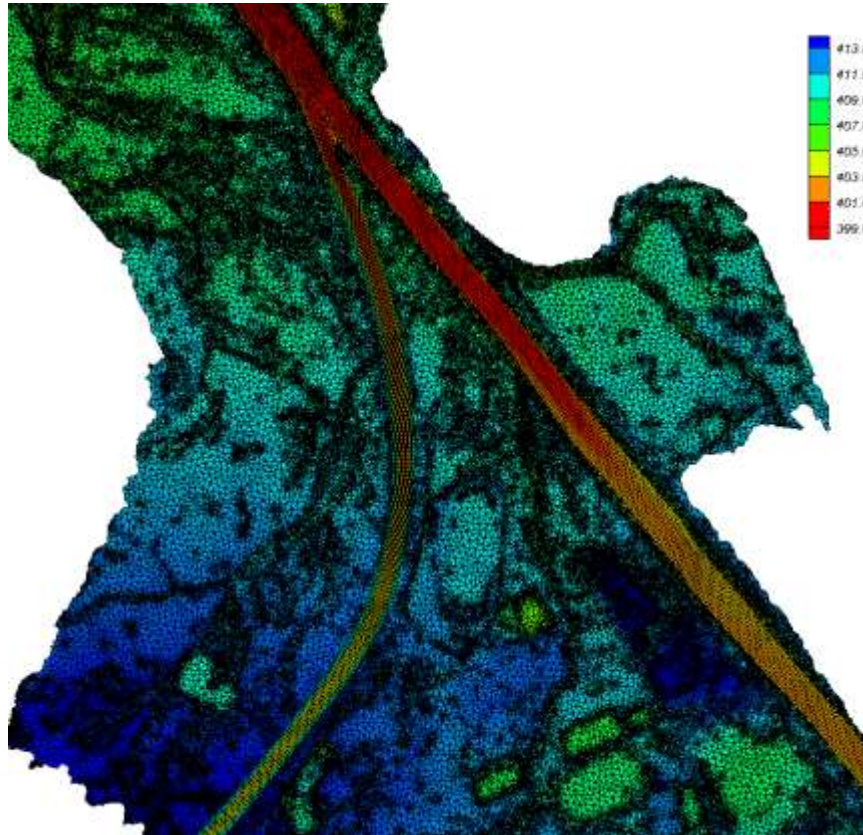
2002-2010, 2010-2013

- Hydrologie:
  - Pegelaufzeichnungen
- Geschiebeinput aus Saalach:
  - aus Teilmodell 2 – Saalach (relative weite Spannbreite)
- Geschiebeinput aus Salzach:
  - aus WRS Teilbericht 2 (relative weite Spannbreite, keine Informationen zur KGV)
- Profilaufnahmen (alle 200m):
  - 1985, 1998, 2001, 2002, 2009, 2010, 2013
- Korngrößenverteilung (Deck- und Unterschicht):
  - 1991-1997 (Distanz zwischen zwei Proben bis zu 5km)
- Topographie im Vorland
  - bestehende Berechnungsnetze (2005, 2006)



**Modellverifizierung nur über Sohlhöhen und Sedimentbilanzen möglich**

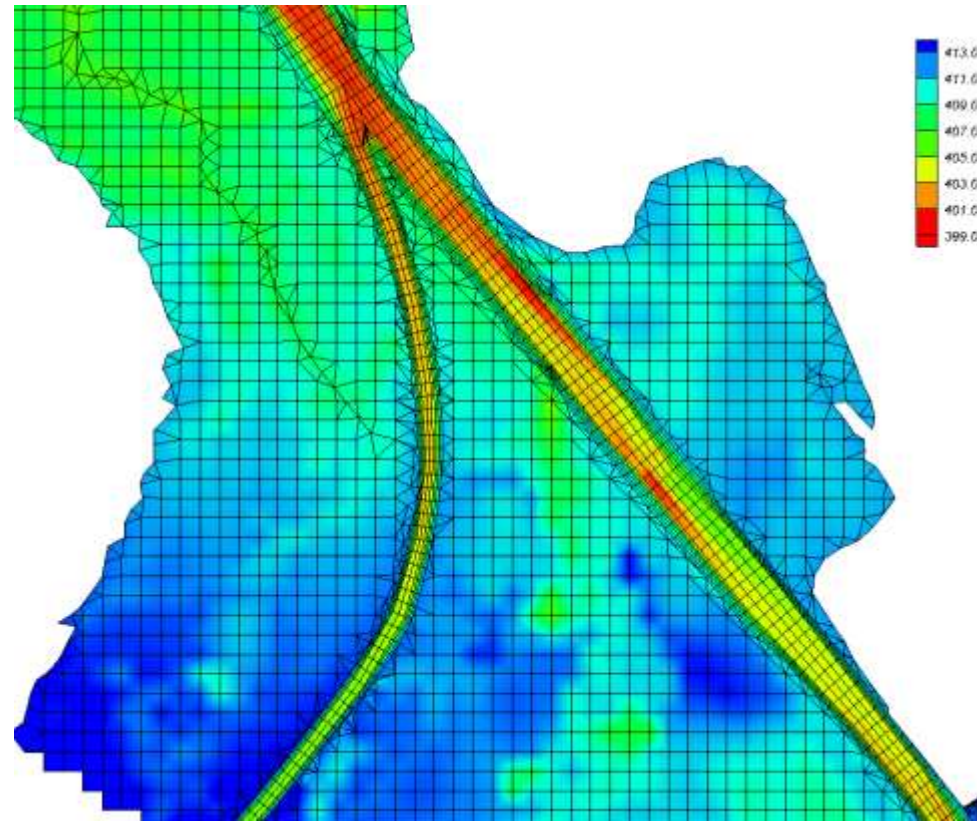
## Vergrößerung des Berechnungsnetzes



*Hydrodynamische Modellierung*

Elementanzahl: 942.812

Flussschlauch: 10m x 4m



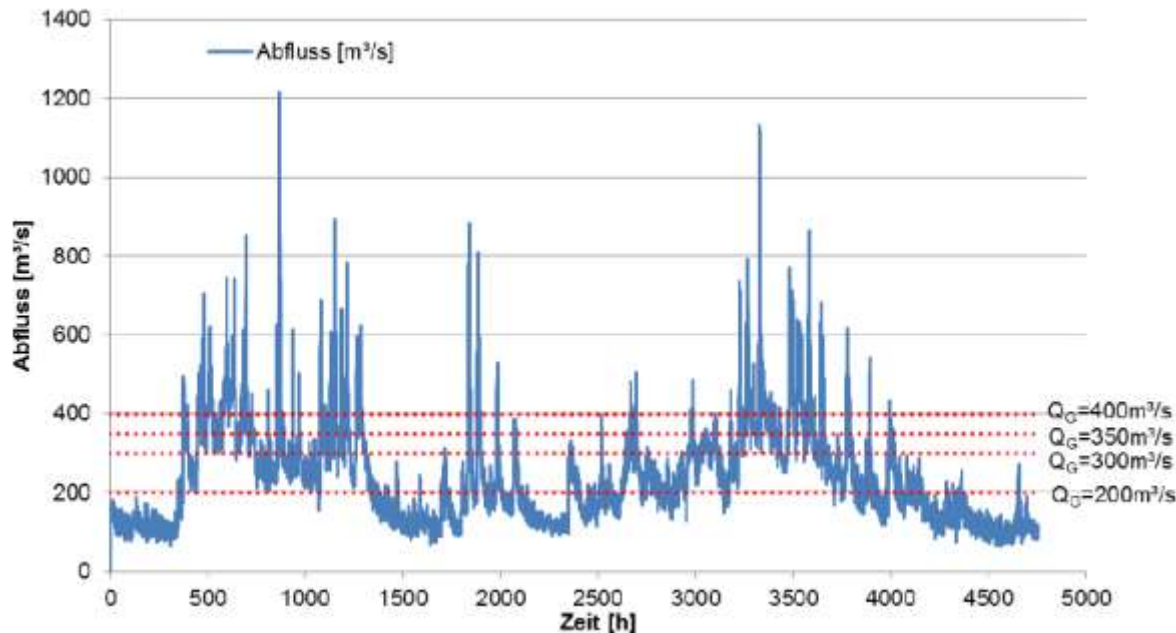
*Morphodynamische Modellierung*

Elementanzahl: 20.280

Flussschlauch: 35m x 15m

## Reduzierung der Abflussganglinie um $Q_G$

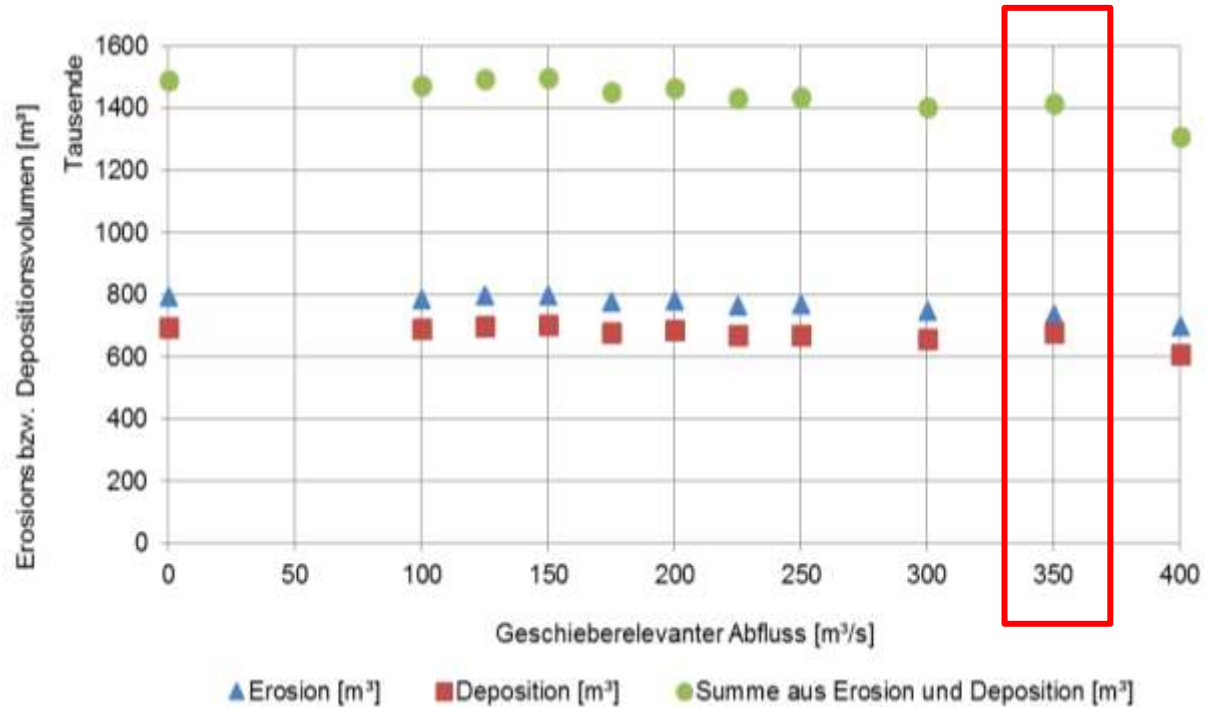
→ „schneiden und zusammenschieben“ der Abflussganglinie auf Abflüsse bei denen relevanter Geschiebetransport stattfindet



- Auswahl einer repräsentativen Abflussganglinie
- Auswertungen über Erosions- und Depositionsvolumina
- Überprüfung des Einflusses auf die Korngrößensortierung



## Vergleich der Erosions- und Depositionsvolumina



Geschieberelevanter Abfluss [m³/s]	0	200	300	350	400	500
Reduktion der Simulationsdauer [%]	-	45	73	83	89	96

## Unterscheidung in Grob- und Feinkalibrierung

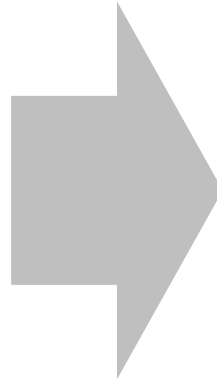
### Grobkalibrierung

#### Ziele:

- Anpassung der Simulationsgrößen im Gesamtmodell
- Tolerierung lokaler Abweichungen

#### Parameter:

- Vorfaktor für MPM-Formel
- Kritische Shields-Parameter
- Dicke der aktiven Transportschicht



### Feinkalibrierung

#### Ziele:

- Anpassung der Simulationsgrößen bei lokalen Abweichungen
- Keinen Einfluss auf Grobkalibrierung

#### Parameter:

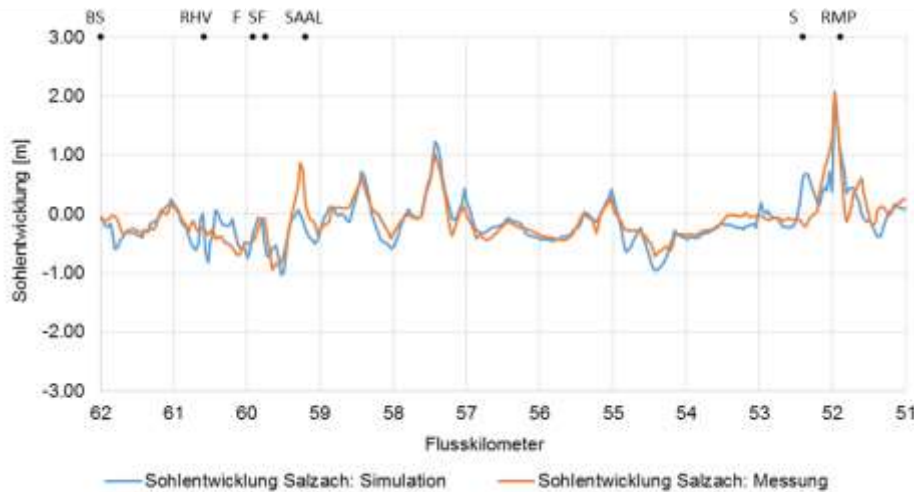
- Gesamtrauheit
- Kornrauheit
- verschiedene Koeffizienten

## Kalibrierung und Validierung (2002-2013)

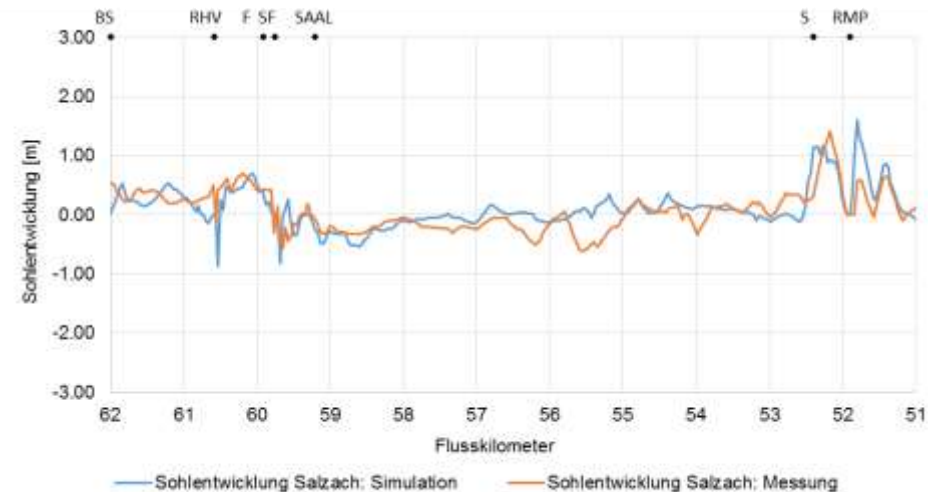
### Mittlere Sohlhöhenentwicklung

*Kalibrierung: 2002-2010*

*Validierung: 2010-2013*



Mittlere absolute Abweichung:  $\pm 17\text{cm}$



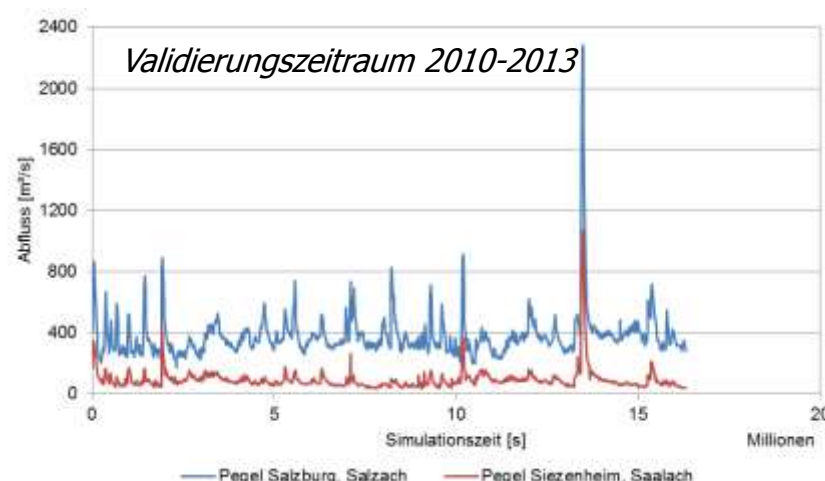
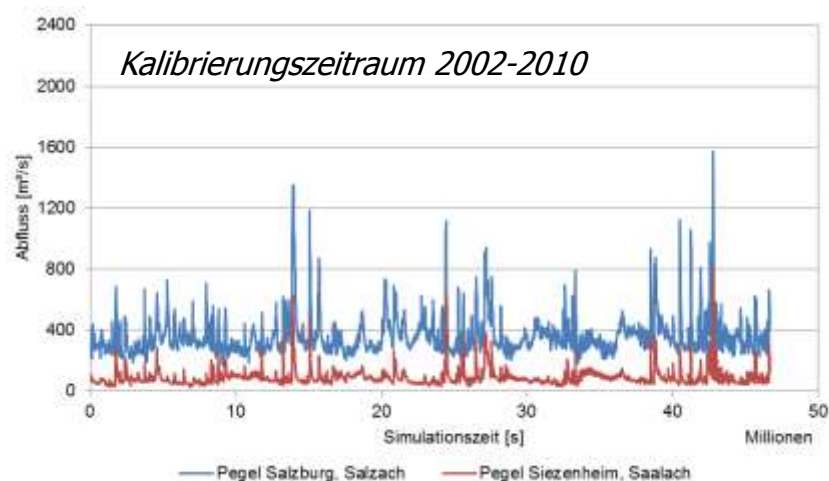
Mittlere absolute Abweichung:  $\pm 22\text{cm}$



Wie gut sind die Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse?

## Kalibrierung und Validierung (2002-2013)

### Abflussganglinien



- Unterschiedliche Abflusscharakteristik zwischen Kalibrierung und Validierung
- Bau einer Rampe zwischen 2008-2010
- Zum Teil fehlende Profildaten aus dem Jahr 2002 (Ergänzung mit Daten von 2003)
- Datum der Korngrößenaufnahme passt nicht zu den Kalibrier- und Validierzeiträumen
- Hohe Unsicherheit bezüglich der Geschiebeeintragsraten von Salzach und Saalach

## Sensitivitätsanalyse

→ Standardmethoden (z.B. Monte Carlo Analysen) aufgrund Rechenzeiten nicht möglich

First-order scatter analysis: *Kopmann & Schmidt (2010), Kopmann et al. (2012), Hieu et al. (2015)*

→ räumliche Auswertung der Simulationsergebnisse (Konfidenzintervalle)

→ Variation von vier modellspezifischen und vier gewässerspezifischen Parametern

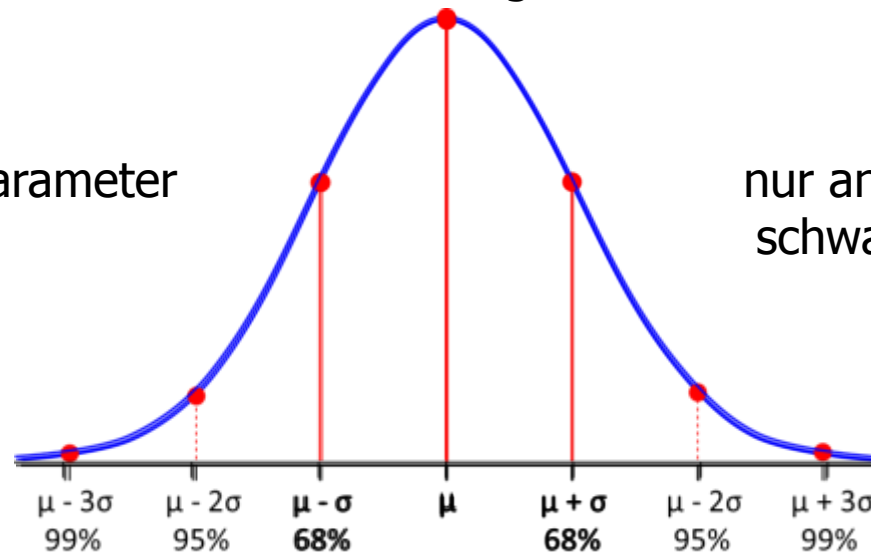
→ deutlich weniger Simulationen als im Vergleich zur Monte-Carlo-Analyse

### Bedingung:

zu untersuchende Parameter sind normalverteilt

### Limitierung:

nur anwendbar für lineare bzw. schwach nichtlineare Probleme

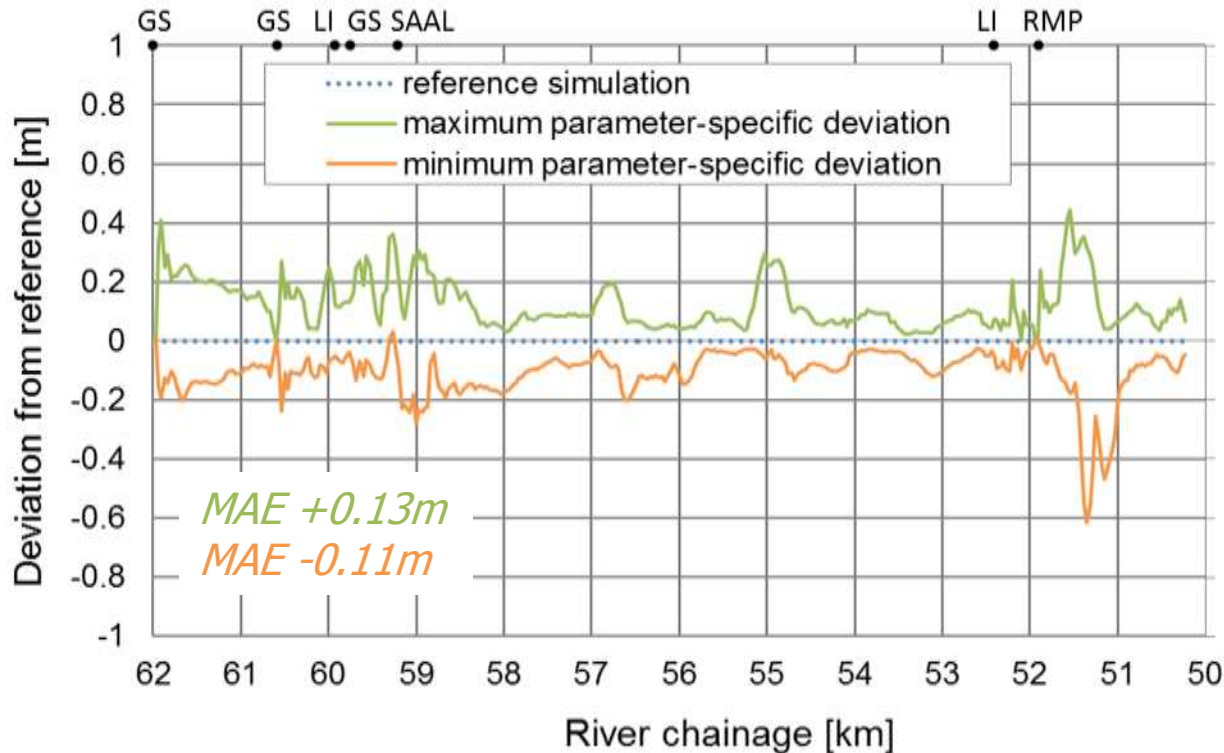


➔ drei Simulationen pro variierendem Parameter ( $\mu_0$ ,  $\mu_0 + \sigma$ ,  $\mu_0 - \sigma$ )

## Maximale Abweichungen von Referenzsimulation

→ räumliche Auswertung

- **Sohlhöhenänderung** • Mittlere Geschiebejahresfracht • Korngrößenverteilung



➔ Sensitive Bereiche in der Nähe von Bauwerken und Zuflüssen

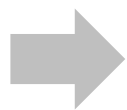
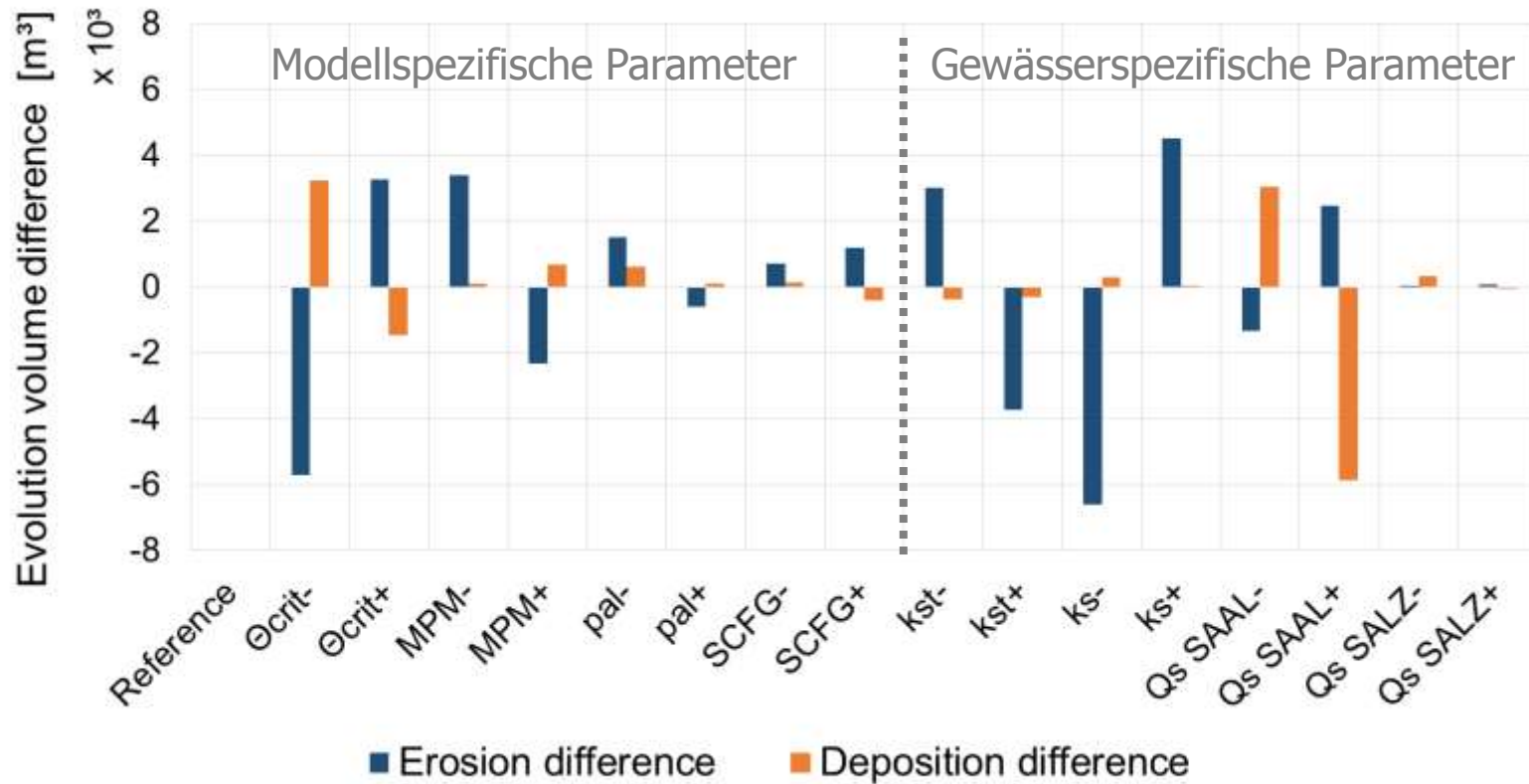
## Auswirkungen auf Sedimentbilanz

Erosionsvolumen der Referenzsimulation:

161.743 m<sup>3</sup>

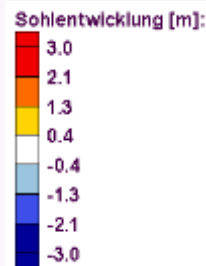
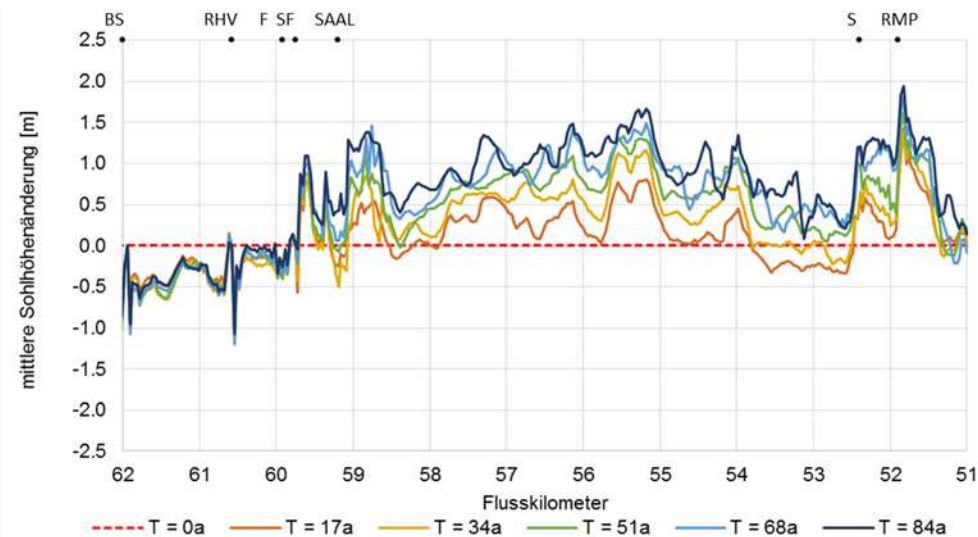
Depositionsvolumen der Referenzsimulation:

192.659 m<sup>3</sup>



hohe Auswirkung durch transportrelevante und gewässerspezifische Parameter

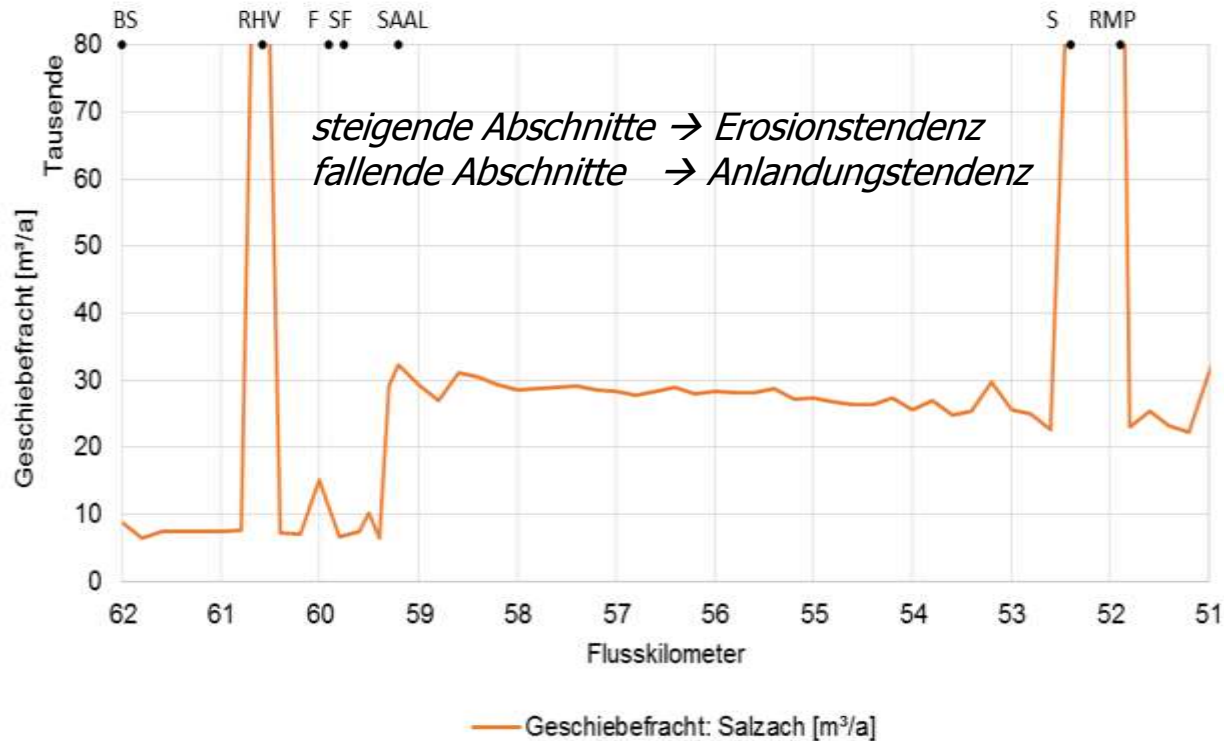
## Sohlentwicklung über 80 Jahre (IST-Zustand)



- Überwiegende Anlandungstendenz
- Entwicklung von wandernden alternierenden Kiesbänken
- Gleichgewichtszustand noch nicht im gesamten Modellgebiet erreicht

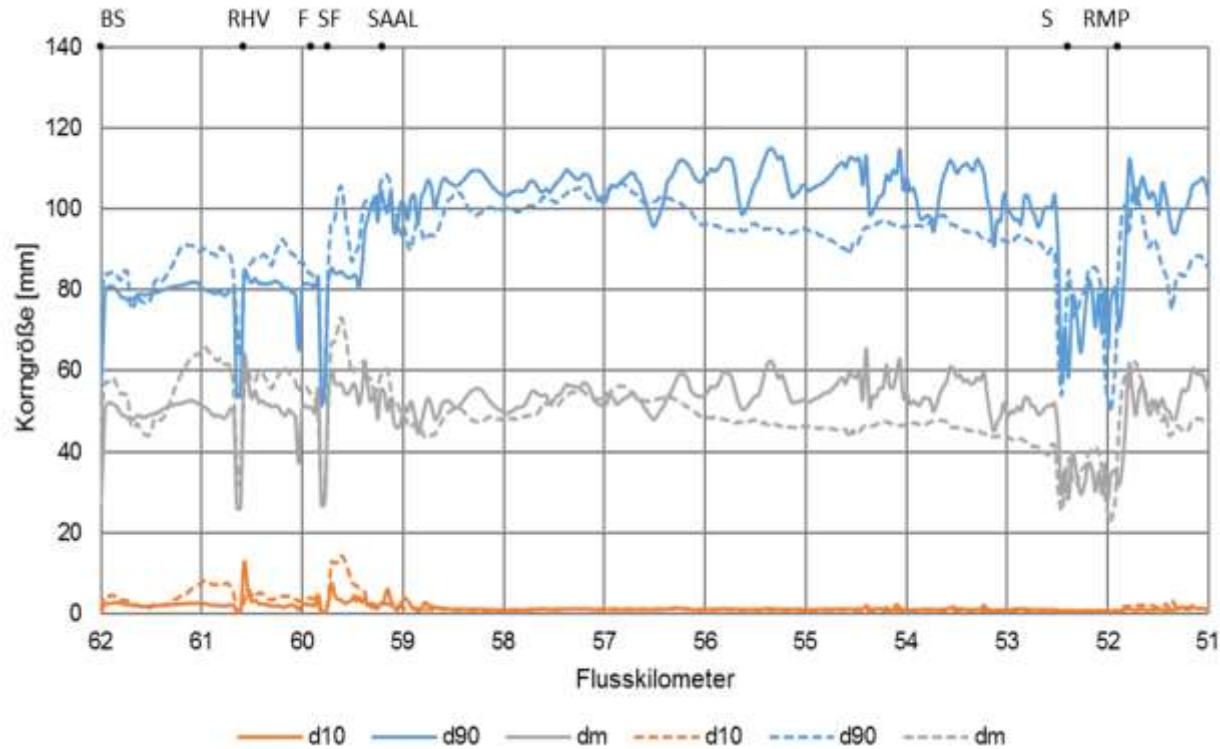


## Mittlere Jahresgeschiebefracht



- Extreme Spitzen zeigen Transportkapazität an den Bauwerken  
→ fixierte Sohle im Modell (keine Erosion)
- Zusätzlicher Geschiebeeintrag der Saalach
- Leichte Anlandungstendenz zwischen Saalachzufluss und Rampe

## Mittlere Korngrößenentwicklung in der Deckschicht



- Leichte Vergröberung der Deckschicht im Bereich unterstrom des Saalachzuflusses
- Ablagerung von Feinsedimenten vor Bauwerken

# Empfehlungen für langfristige Prognosen

- Überprüfung und Verifizierung der Datengrundlage, um Anfangs- und Randbedingungen für die Kalibrierung und Validierung korrekt definieren zu können
- Kalibrier- und Validierzeiträume müssen unterschiedliche aber ähnliche Randbedingungen aufweisen
- Für die Netzvergrößerung muss sichergestellt werden, dass sich das Abflussverhältnis zwischen Vorlandabfluss und Flussschlauchabfluss nicht ändert
- Bei der Reduzierung der Abflussganglinie muss nicht nur der Transport und die Sohlentwicklung sondern auch die Auswirkung auf die Korngrößen-sortierung berücksichtigt werden
- Unsicherheiten sind aufgrund der Datengrundlage und modelltechnischen Umsetzung des Sediment-Transport unvermeidbar und müssen zwingend über eine Sensitivitätsanalyse untersucht werden → robuste Prognosen über Konfidenzintervalle

- Hohe Benutzerfreundlichkeit und zahlreiche Auswertungsmöglichkeiten durch die Kombination mit SMS
- Vergleichsweise hohe Rechenstabilität

## „Wunschliste“:

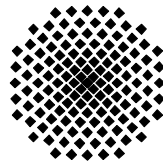
- Auswahlmöglichkeit abzuspeichernder Variablen  
→ Sicherung hat enormen Einfluss auf die Rechenzeit
- Implementierung von zusätzlichen Betriebssteuerungen von Kraftwerken (z.B. abflussabhängige WSP-Absenkung)
- Ausgabe von prozentualen Korngrößenanteilen und charakteristische Kenngrößen für die Korngrößenverteilung (z.B.  $d_{10}$ ,  $d_{90}$ )
- Implementierung von weiteren Sedimenttransportformeln, Hiding/Exposure-Funktionen

# Universität Stuttgart

Institut für Wasser- und  
Umweltsystemmodellierung

Dr.-Ing. Markus Noack  
Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

[markus.noack@iws.uni-stuttgart.de](mailto:markus.noack@iws.uni-stuttgart.de)  
[wieprecht@iws.uni-stuttgart.de](mailto:wieprecht@iws.uni-stuttgart.de)  
[www.iws.uni-stuttgart.de](http://www.iws.uni-stuttgart.de)



Universität Stuttgart  
Institut für Wasser- und  
Umweltsystemmodellierung

