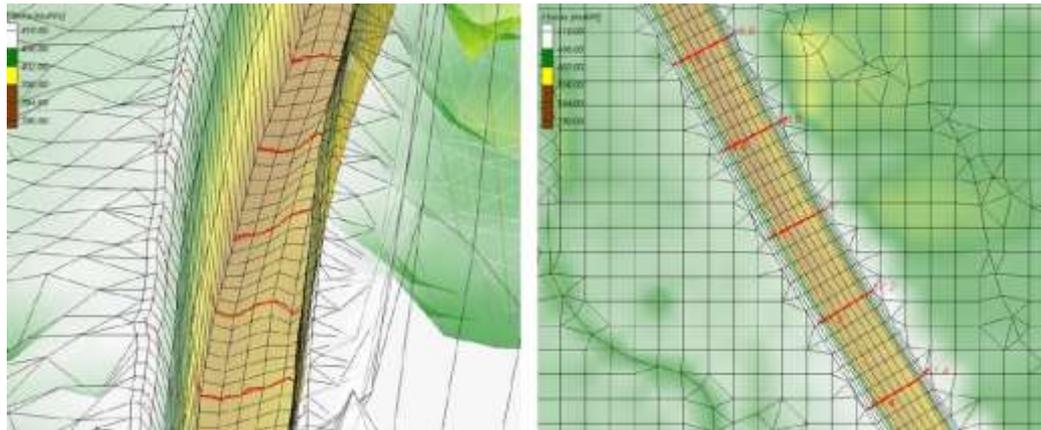


Geschiebetransportmodellierung mit HYDRO_FT-2D für langfristige Prognosen

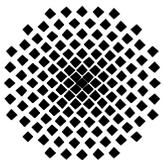
Herausforderungen und Vorgehensweise am Beispiel der Salzach



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:

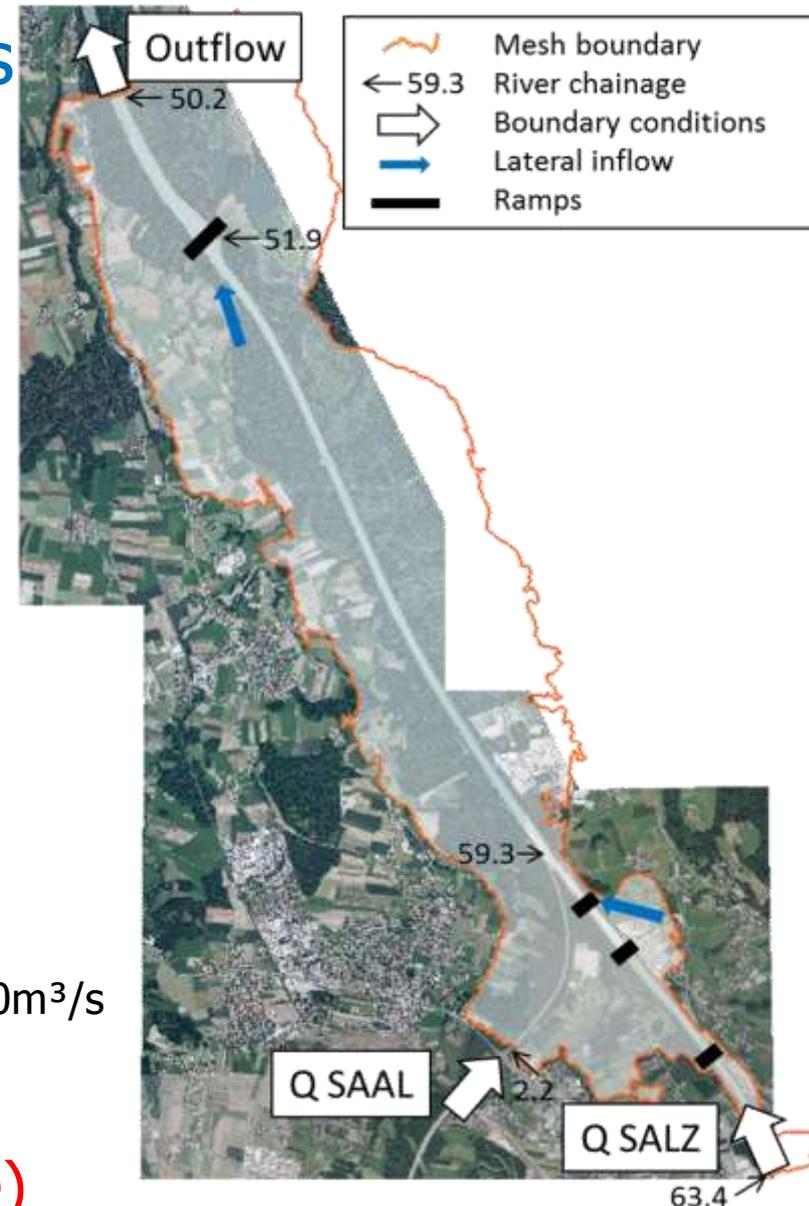
- Salzach, Saalach, Fischach, Sur

Mehrere Querbauwerke

Hydrologie:

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

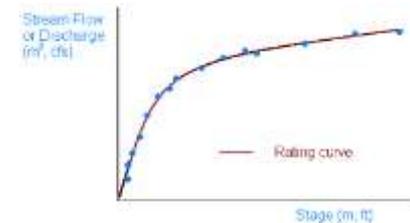
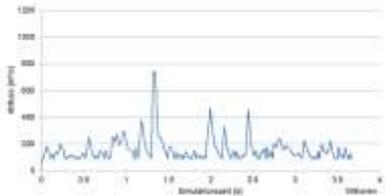
➔ **Prognose der langfristigen
Sohlentwicklung (80-100 Jahre)**



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:

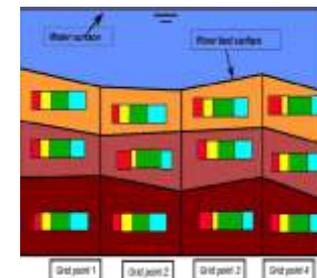
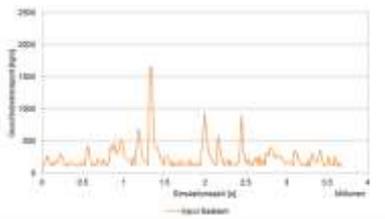
- WSP-Lage $h(t)$, Q - h -Beziehung $h(Q)$
- Sedimentaustrag $Q_s(t)$ (für jede Korngröße)
- Sohlhöhenänderung

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

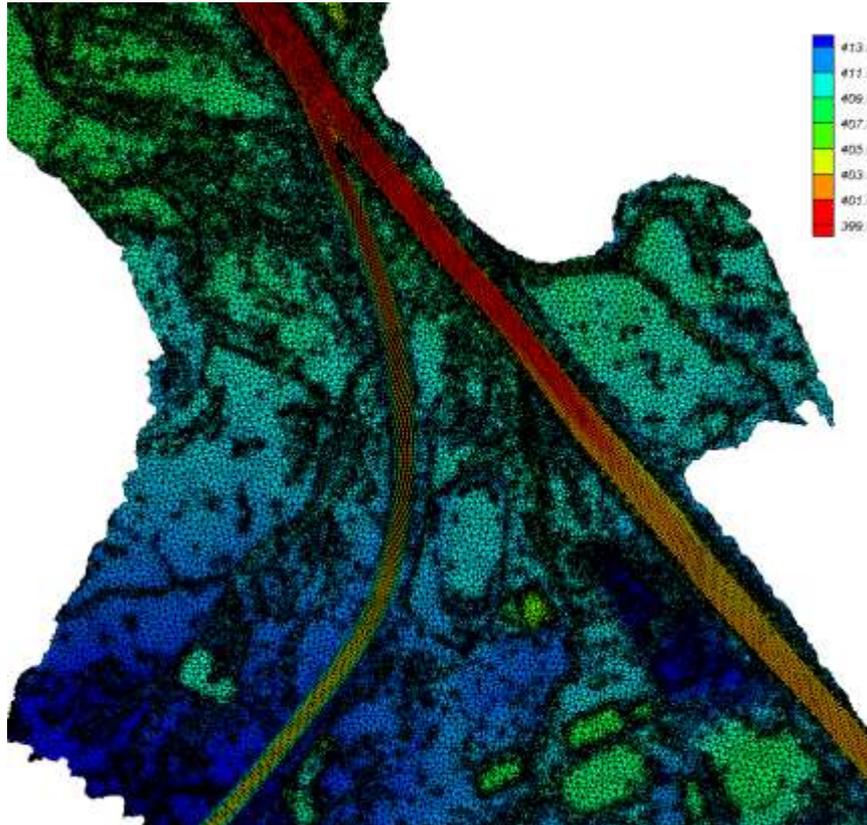
2002-2010, 2010-2013

- 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

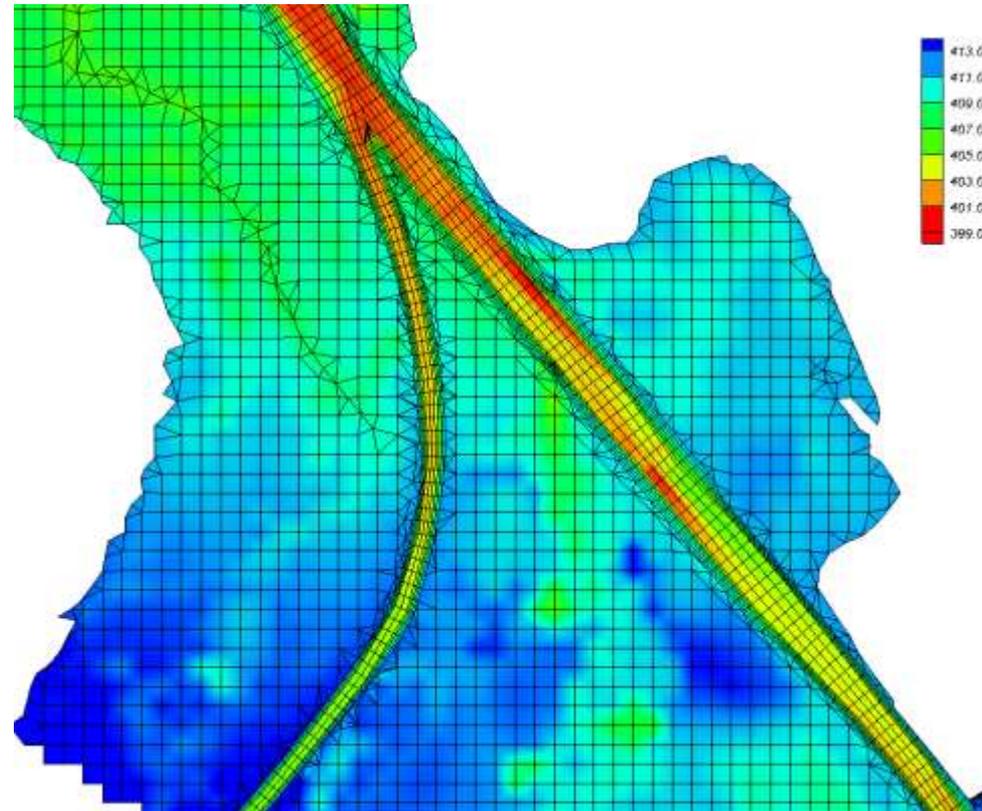
Vergrößerung des Berechnungsnetzes



Hydrodynamische Modellierung

Elementanzahl: 942.812

Flussschlauch: 10m x 4m



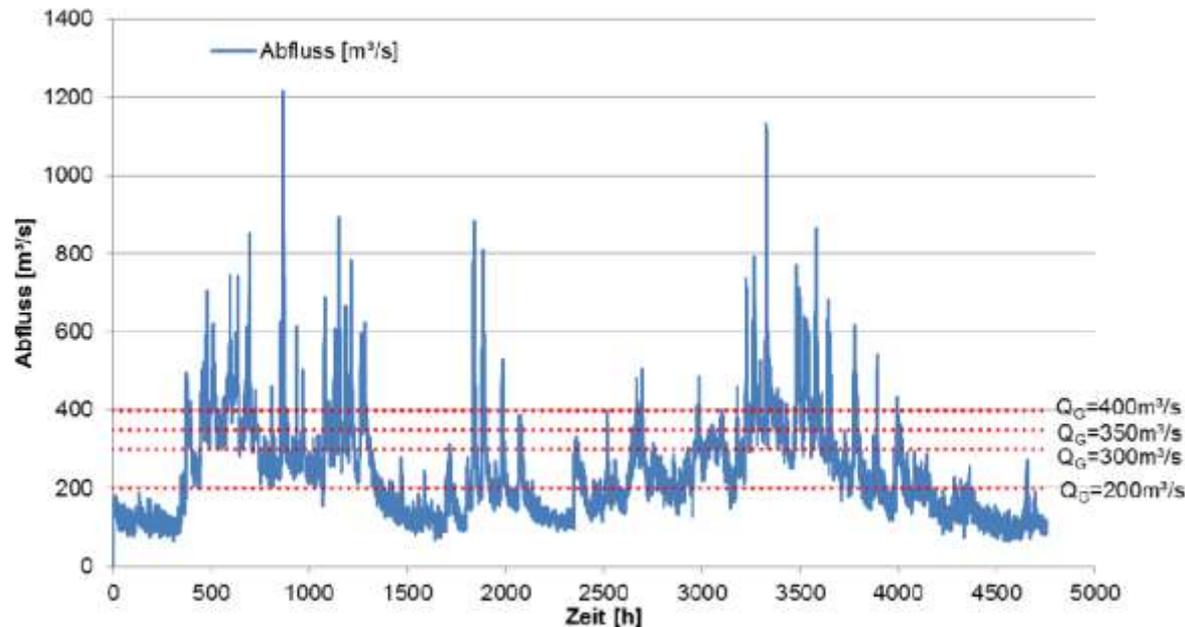
Morphodynamische Modellierung

Elementanzahl: 20.280

Flussschlauch: 35m x 15m

Reduzierung der Abflussganglinie um Q_G

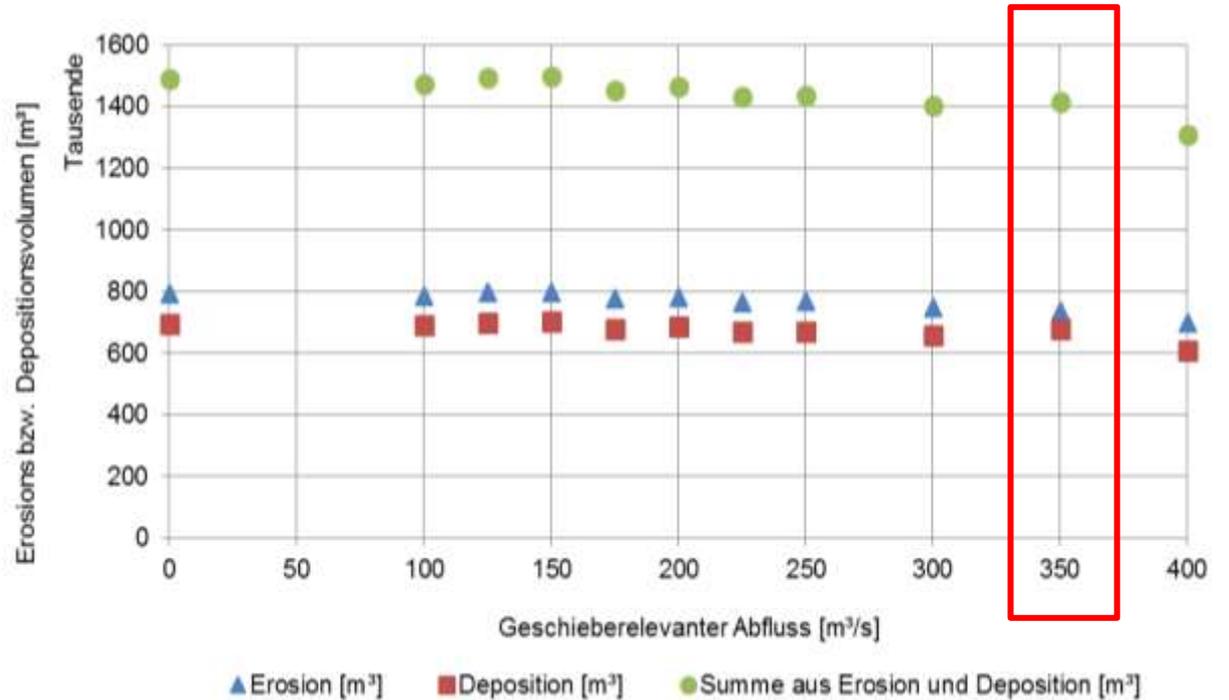
→ „schneiden und zusammenschieben“ der Abflussganglinie auf Abflüsse bei denen relevanter Geschiebetransport stattfindet



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

Ergebnisse – geschieberelev. Abfluss

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

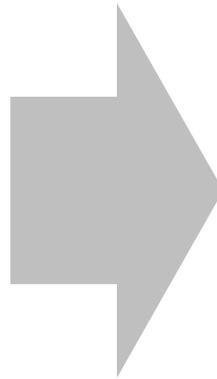
Grobkalibrierung

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:

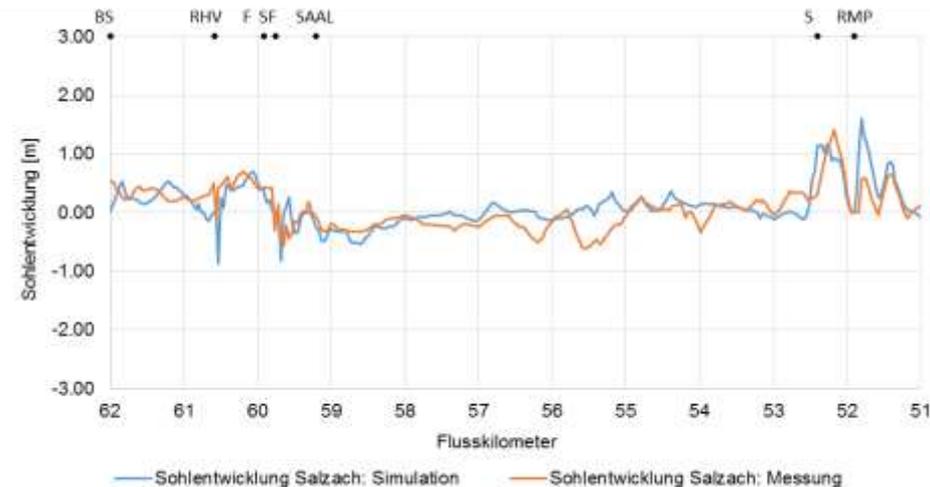
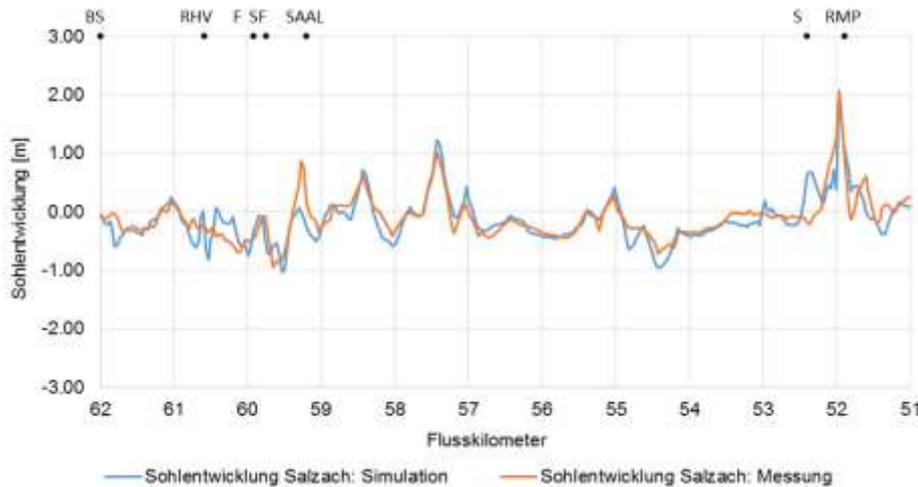
- Gesamtrauheit
- Kornrauheit
- verschiedene Koeffizienten

Kalibrierung und Validierung (2002-2013)

Mittlere Sohlhöhenentwicklung

Kalibrierung: 2002-2010

Validierung: 2010-2013



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

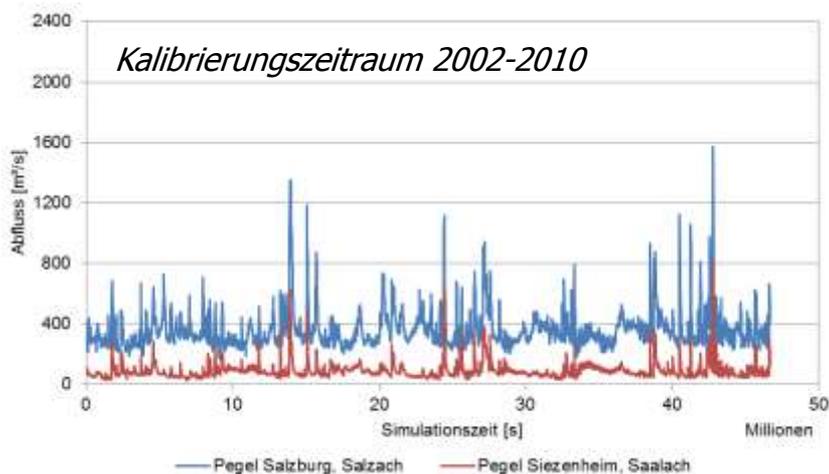
Mittlere absolute Abweichung: $\pm 22\text{cm}$



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

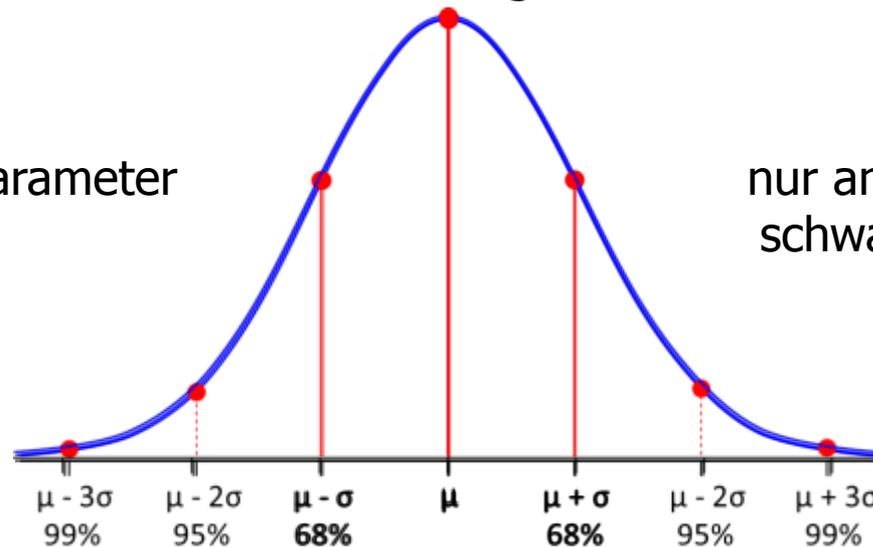
→ deutlich weniger Simulationen als im Vergleich zur Monte-Carlo-Analyse

Bedingung:

zu untersuchende Parameter sind normalverteilt

Limitierung:

nur anwendbar für lineare bzw. schwach nichtlineare Probleme

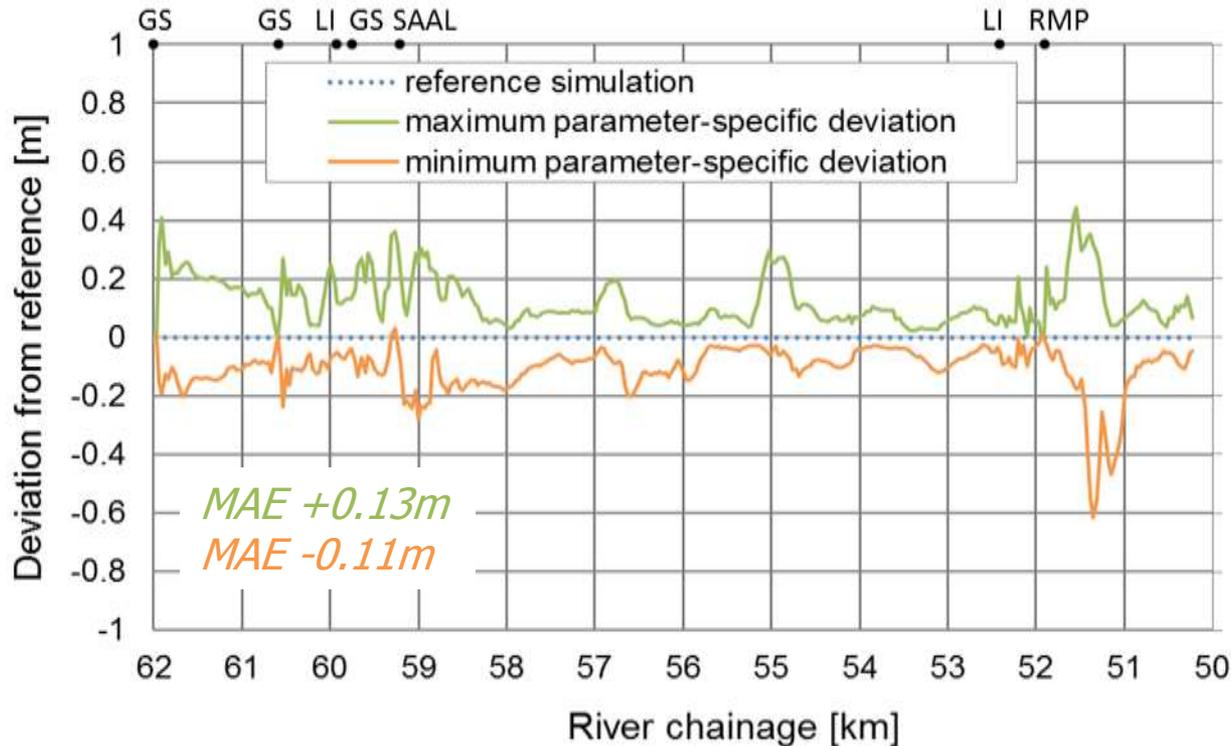


drei Simulationen pro variierendem Parameter (μ_0 , $\mu_0 + \sigma$, $\mu_0 - \sigma$)

Maximale Abweichungen von Referenzsimulation

→ räumliche Auswertung

- Sohlhöhenänderung
- Mittlere Geschiebejahresfracht
- Korngrößenverteilung



➔ Sensitive Bereiche in der Nähe von Bauwerken und Zuflüssen

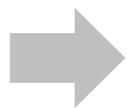
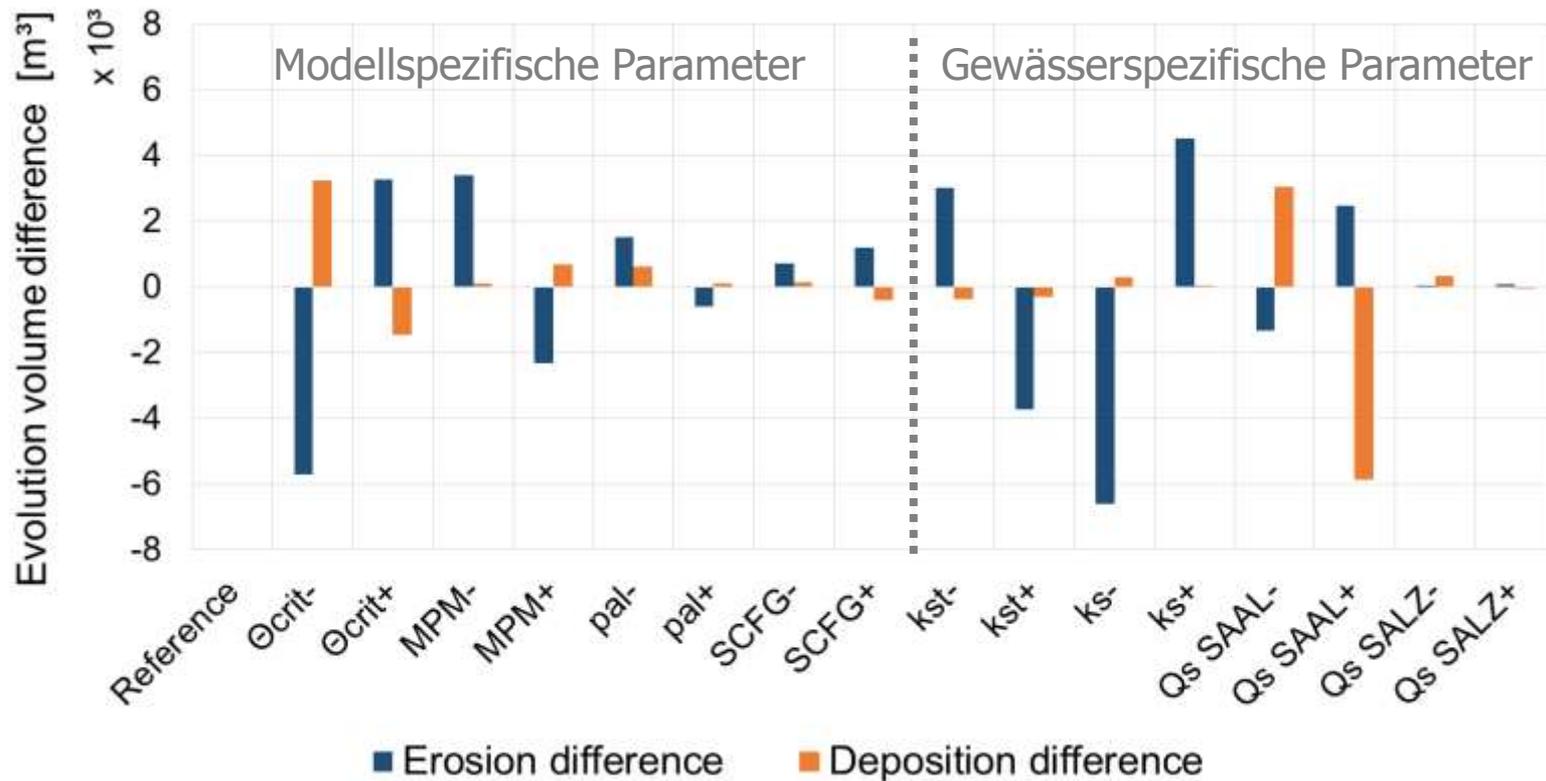
Auswirkungen auf Sedimentbilanz

Erosionsvolumen der Referenzsimulation:

161.743 m³

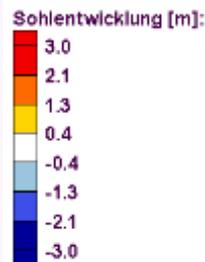
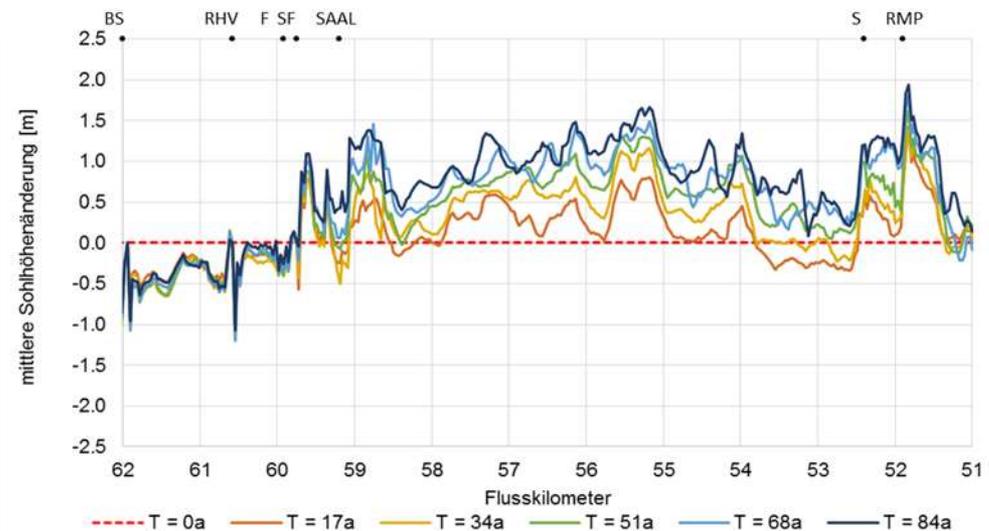
Depositionsvolumen der Referenzsimulation:

192.659 m³



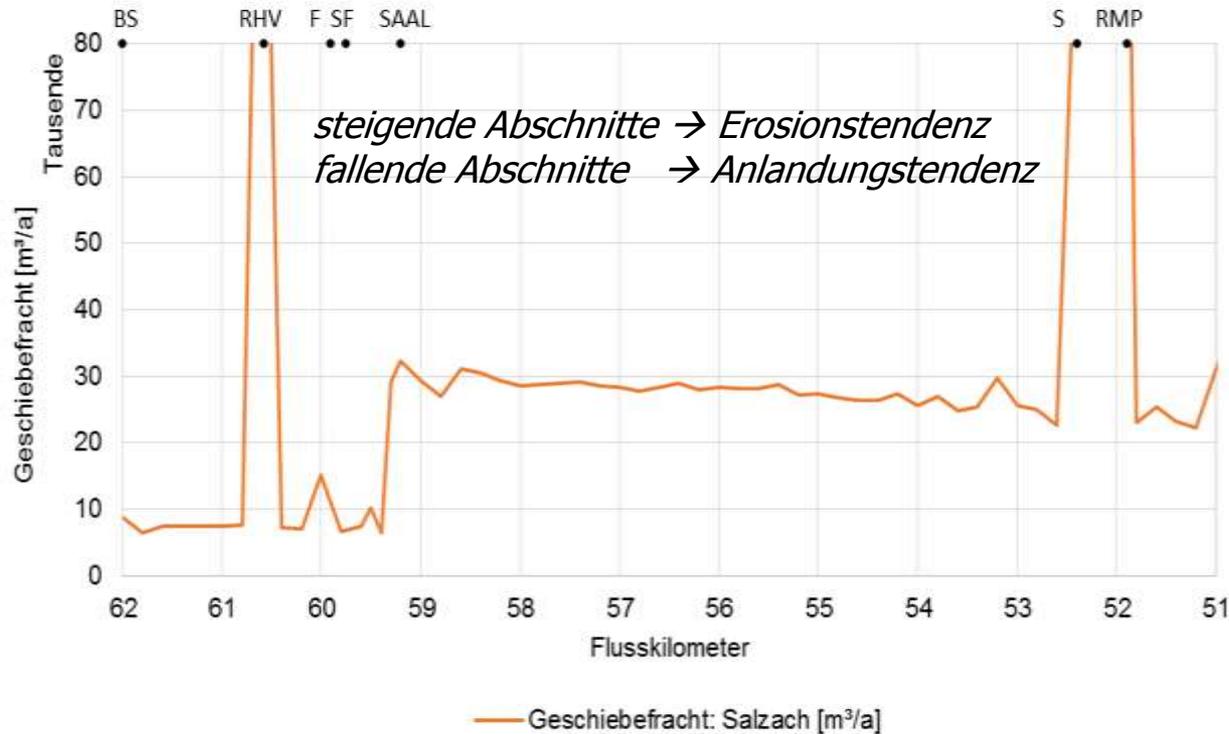
hohe Auswirkung durch transportrelevante und gewässerspezifische Parameter

Sohlentwicklung über 80 Jahre (IST-Zustand)



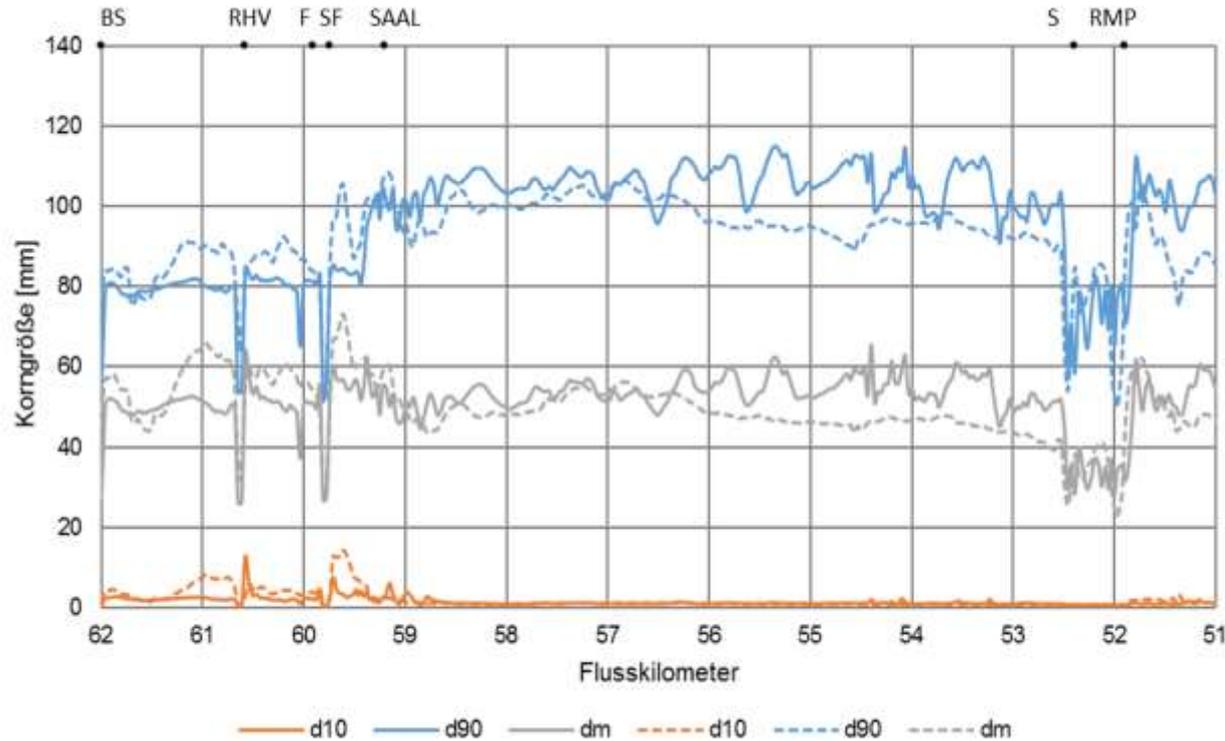
- Überwiegende Anlandungstendenz
- Entwicklung von wandernden alternierenden Kiesbänken
- Gleichgewichtszustand noch nicht im gesamten Modellgebiet erreicht

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 Vergrößerung 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 Korngrößensortierung 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“:

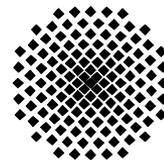
- Auswahlmöglichkeit abzuspeichernder Variablen
→ Sicherung hat enormen Einfluss auf die Rechenzeit
- Implementierung von zusätzlichen Betriebssteuerungen von Kraftwerken (z.B. abflussabhängige WSP-Absenkung)
- Ausgabe von prozentualen Korngrößenanteilen und charakteristische Kenngrößen für die Korngrößenverteilung (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
wieprecht@iws.uni-stuttgart.de
www.iws.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart
Institut für Wasser- und
Umweltsystemmodellierung

