



# *Numerische Modellierung grosser Geschiebeeinstösse*

BASEMENT Anwendertreffen 2020

Matthias Bürgler, VAW ETH Zürich

# Ausgangslage

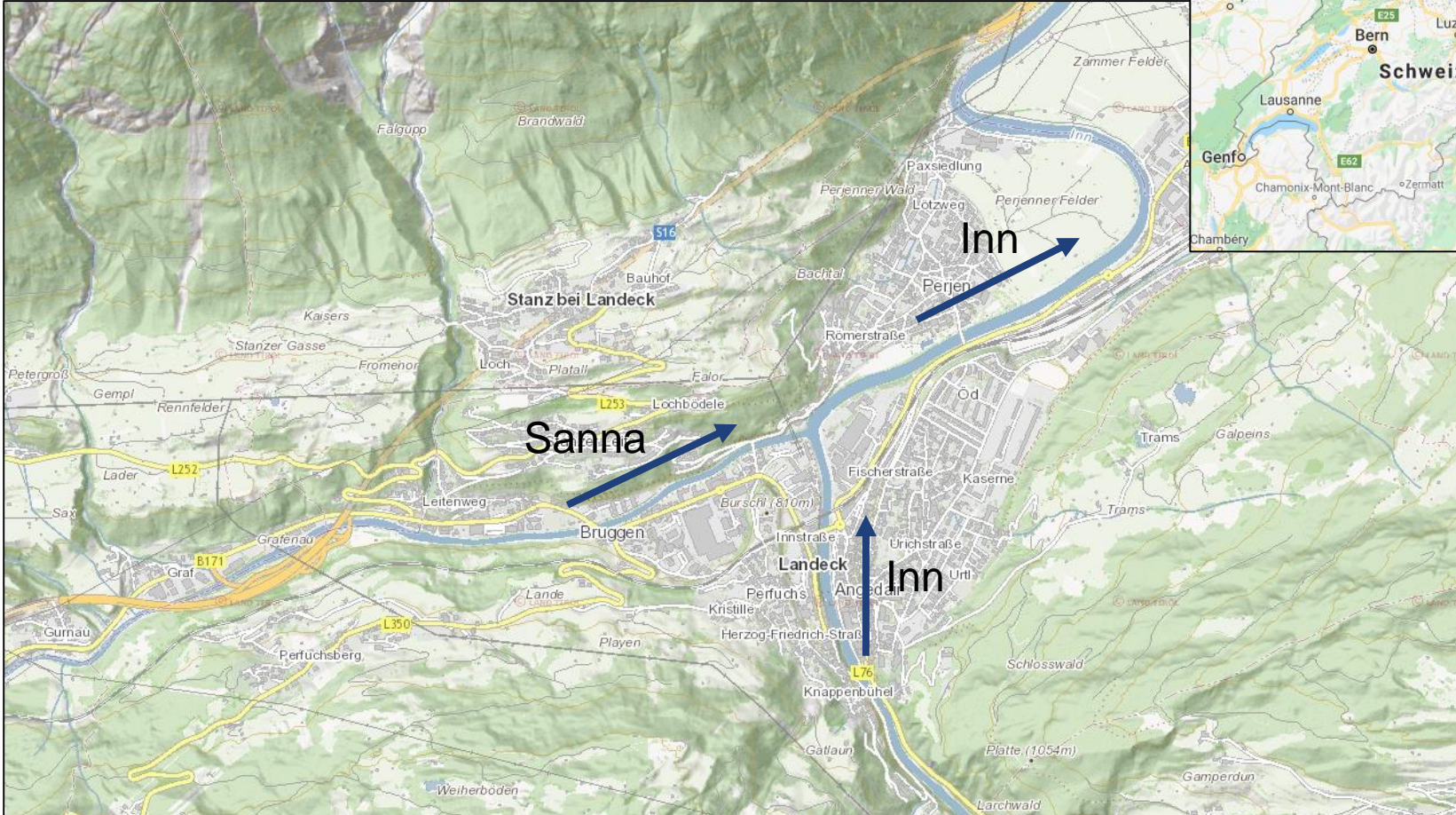
Durch das Hochwasserereignis vom August 2005 kam es im zahlreichen alpinen Flüssen zum **Eintrag von grossen Geschiebemengen** durch seitliche Zubringer.

## Beispiel: Einmündung der Sanna in den Inn (Landeck, AU)

- Aug. 2005: Grösstes beobachtetes Hochwasserereignis der Sanna
- Geschätzter Geschiebeeintrag in den Inn: 300'000 m<sup>3</sup>
- Keine grösseren Ausuferungen zur Folge



# Ausgangslage



Quelle: Amt der Tiroler Landesregierung (2020), <https://maps.tirol.gv.at/>



Quelle: Google Maps (2020)



# Ausgangslage

Sanna während HW 2005



Quelle: Hydrographischer Dienst Tirol (2012)

Inn bei Sanna-Einmündung nach HW 2005



Quelle: zur Verfügung gestellt von DonauConsult GmbH

Inn bei Sanna-Einmündung bei Räumungsarbeiten nach HW 2005



Quelle: zur Verfügung gestellt von DonauConsult GmbH

# Ausgangslage

## Ziel

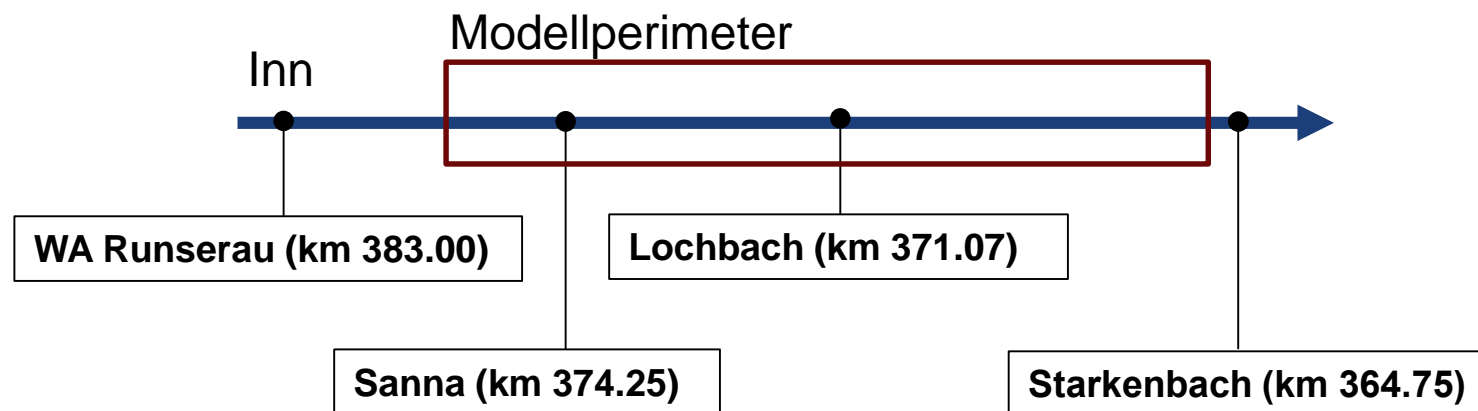
«Aufzeigen, ob und wie die am Inn aufgrund des Sanna-Einstosses erfolgten morphologischen Prozesse mit der Software BASEMENT nachgebildet werden können.» (Machbarkeitsstudie)

## Herausforderungen:

- Genaues Eintragsvolumen unbekannt (Schätzung  $\sim 300'000 \text{ m}^3$ )
- Korngrößenverteilung des Geschiebeeintrags unbekannt (Schätzung  $d_m \sim 2 \text{ cm}$ )
- Numerische Stabilität bei der Modellierung des Geschiebeeinstosses

# Vorgehen

1. Validierung des Eintragsvolumens
2. Modellierung des Geschiebeeintrags für Hochwasserganglinie 2005
3. Modellierung der Auflandungs- und Erosionssprozesse zwischen 2005 bis 2009



# 1. Validierung des Eintragsvolumens

# Validierung des Eintragsvolumens

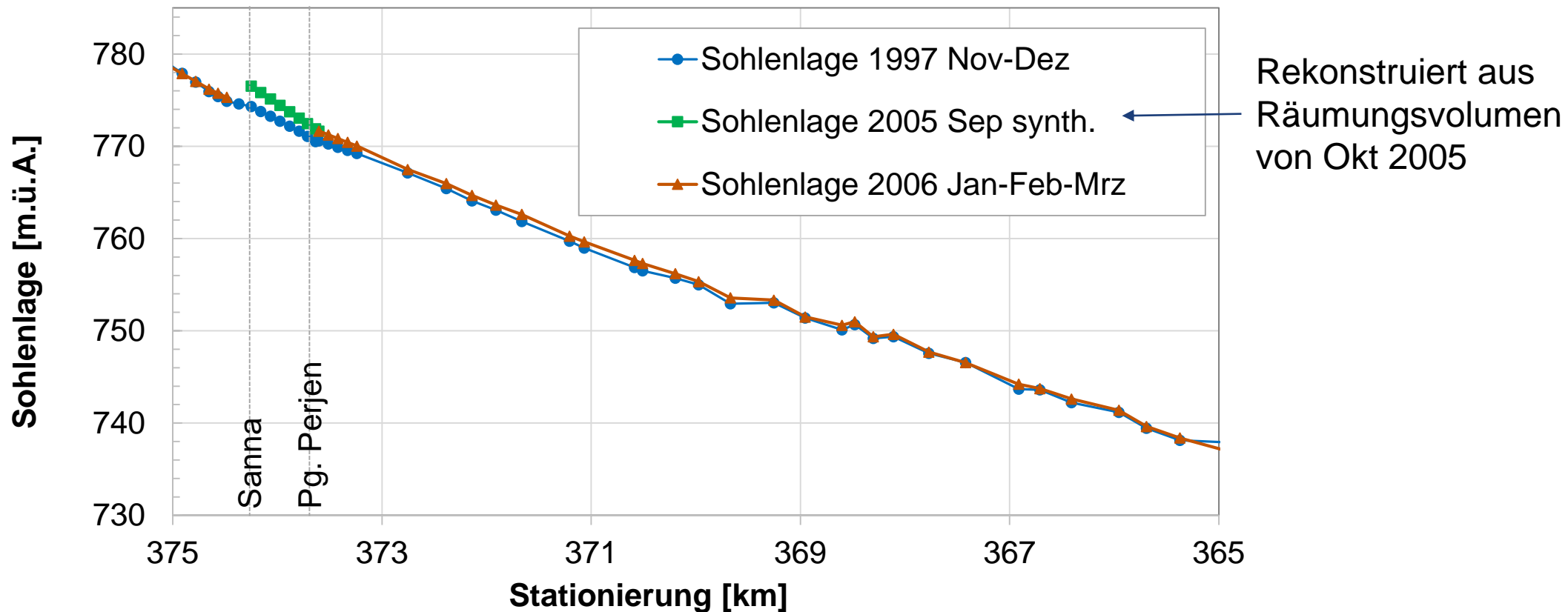
Mit zwei unterschiedlichen Methoden:

1. Abschätzung der Auflandungen aus gemessenen Sohlenlagen des Inns vor und nach dem Hochwasser
2. Abschätzung des Geschiebefracht anhand der Transportkapazität der Sanna



# Validierung des Eintragsvolumens

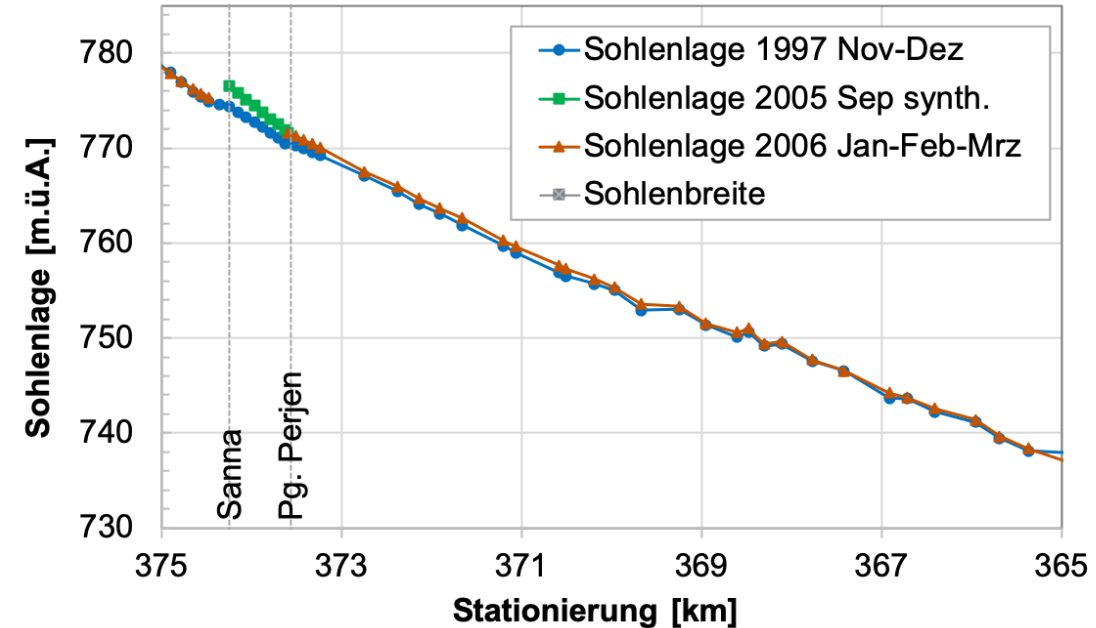
## 1. Abschätzung der Auflandungen aus gemessenen Sohlenlagen



# Validierung des Eintragsvolumens

## 1. Abschätzung der Auflandungen aus gemessenen Sohlenlagen

Auflandungsvolumen	175'000 m <sup>3</sup>
+ Räumungsvolumen	45'000 m <sup>3</sup>
≈ <b>Eintragsvolumen</b>	<b>220'000 m<sup>3</sup></b>



# Validierung des Eintragsvolumens

2. Abschätzung der Geschiebefracht anhand der Transportkapazität der Sanna

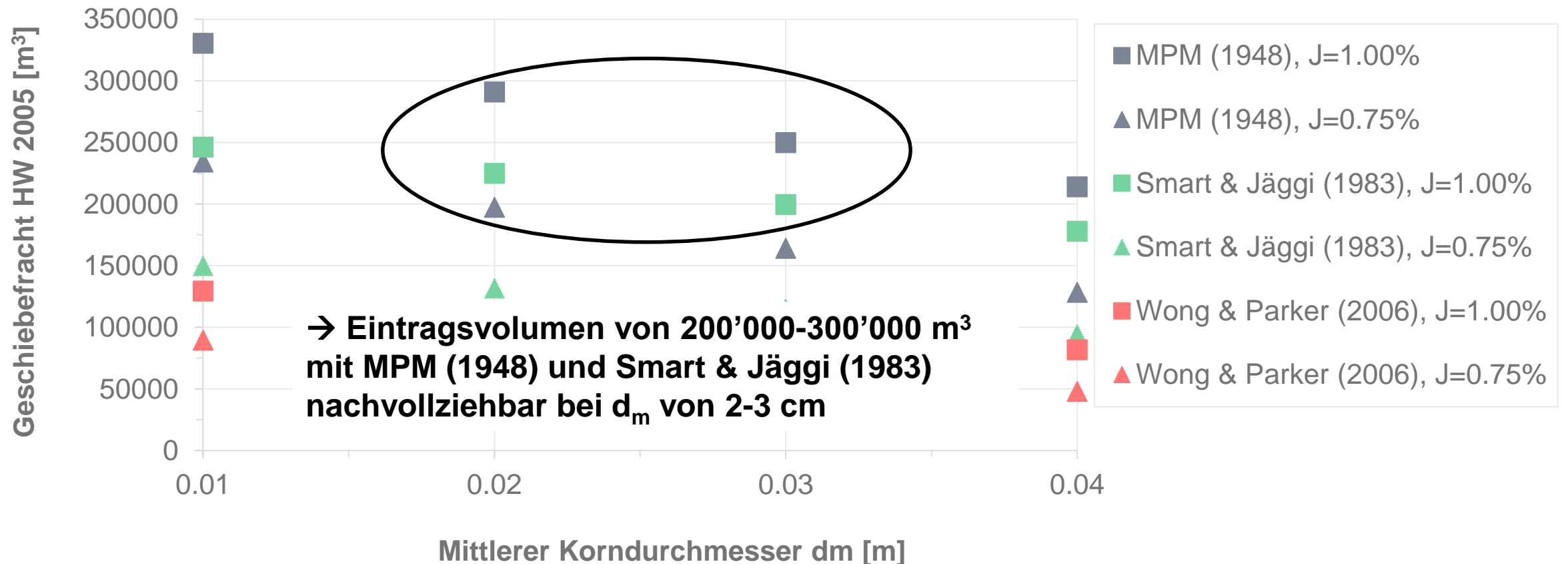
## Annahmen:

- Vereinfachtes Trapezprofil
- Mittleres Sohlengefälle von 0.75% bis 1.00% im flachsten Abschnitt
- Einkornmaterial

→ Berechnung der Geschiebefracht mittels Trapezprofilmethode (keine BASEMENT Simulation) von verschiedenen Transportansätzen und mittleren Korndurchmessern

# Validierung des Eintragsvolumens

## 2. Abschätzung der Geschiebefracht anhand der Transportkapazität der Sanna





# Validierung des Eintragsvolumens

## Schlussfolgerungen

1. Aus Sohlendifferenzen **ca. 220'000 m<sup>3</sup>**
2. Anhand der Transportkapazität der Sanna **ca. 200'000 m<sup>3</sup> bis 300'000 m<sup>3</sup>**

- Verschiedene Transportansätze variieren relativ stark
- Grosse Unsicherheit bezüglich des mittleren Korndurchmesser
- Geschiebeeintrag zwischen 200'000 und 300'000 m<sup>3</sup>

## 2. Modellierung des Geschiebeeintrags

# Modellaufbau (I)

- Modell:** 1D Modell von BASEMENT v.2.8
- Zeitraum:** Hochwasserereignis Aug. 2005 (18.08.2005 bis 28.08.2005)
- Geometrie:** verkürzt auf 5 Kilometern um Sanna-Einmündung
- stark vereinfacht
- Trapezprofil
  - Sohlgefälle von Messung 1997
  - Sohlbreite aus Querprofildaten

# Modellaufbau (II)

**Sanna-Einstoss:** Als laterale Quellen über mehrere Querprofile

Abfluss ein QP vor Geschiebe

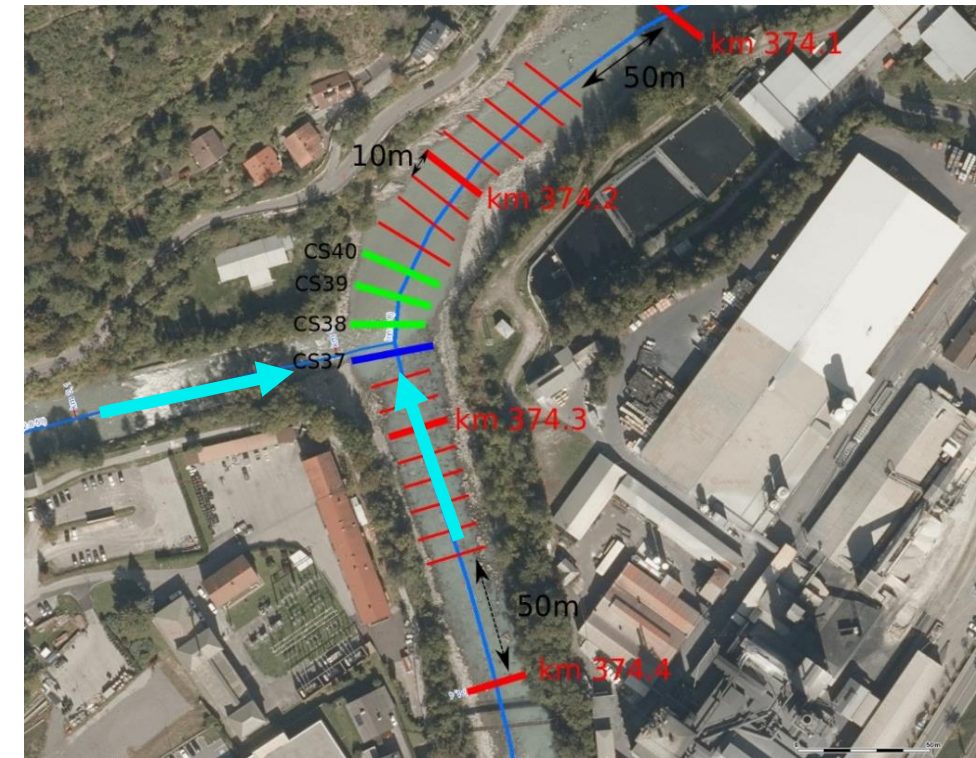
Geschiebe über 3 QP

**Geschiebeeintrag:**  $V_G = 300'000 \text{ m}^3$

**Einkornmaterial:**  $d_m = \{1, 2, 3, 4\} \text{ cm}$

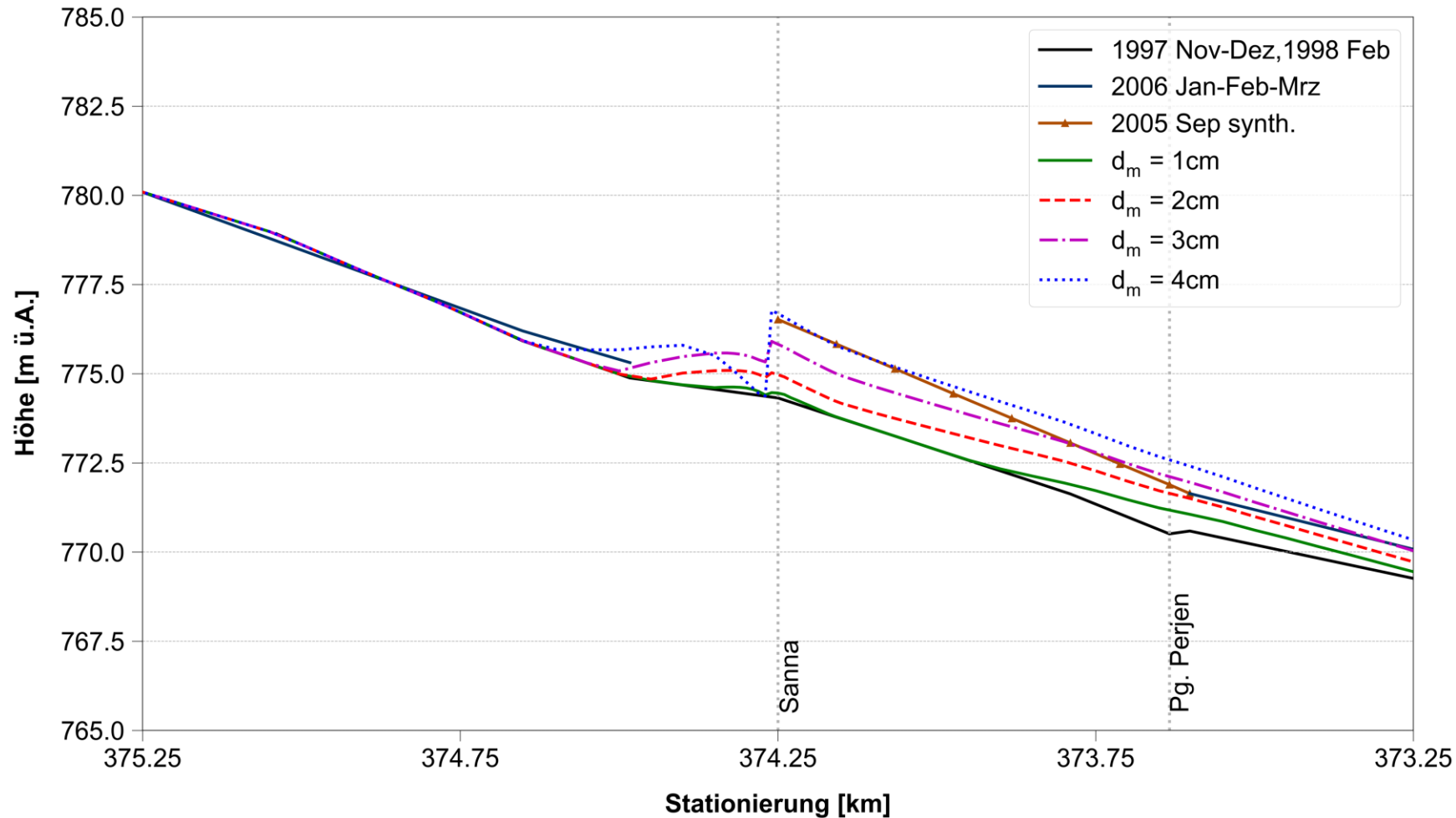
**Transportansatz:** MPM (1948)

- Stationierung Inn
- Abflusszugabe Sanna
- Geschiebezugabe Sanna





# Einfluss Korndurchmesser auf Sohlenlage nach HW 2005



$d_m = 1-2\text{ cm}$

→ Auflandungen unterschätzt

$d_m = 3-4\text{ cm}$

→ Auflandungen in richtiger Grössenordnung

# Modellierung Geschiebeeintrag

## Schlussfolgerungen

- Modellierung des Geschiebeeintrags durch Sanna als laterale Quellen machbar
  - Aufteilung der Geschiebezugabe auf 3 Querprofile (QP)
  - Abflusszugabe vor Geschiebezugabe
- Modellierung als Einkornmaterial führt zu mit  $d_m \sim 2 \text{ cm}$  zu Unterschätzung der Auflandungen

### **3. Modellierung der Auflandungs- und Erosionsprozesse zwischen 2005 bis 2009**

# Modellaufbau (III)

<b>Modell:</b>	<b>Grundsätzlich gleiches Modell wie vorher</b>	
<b>Zeitraum:</b>	5 Jahre (01.01.2005 bis 31.12.2009)	
<b>Geometrie:</b>	bis 9 Kilometer nach Sanna-Einmündung	
	iim noch <u>stark vereinfacht</u>	→ Trapezprofil
		→ Sohlgefälle von Messung 1997
		→ Sohlbreite aus Querprofildaten



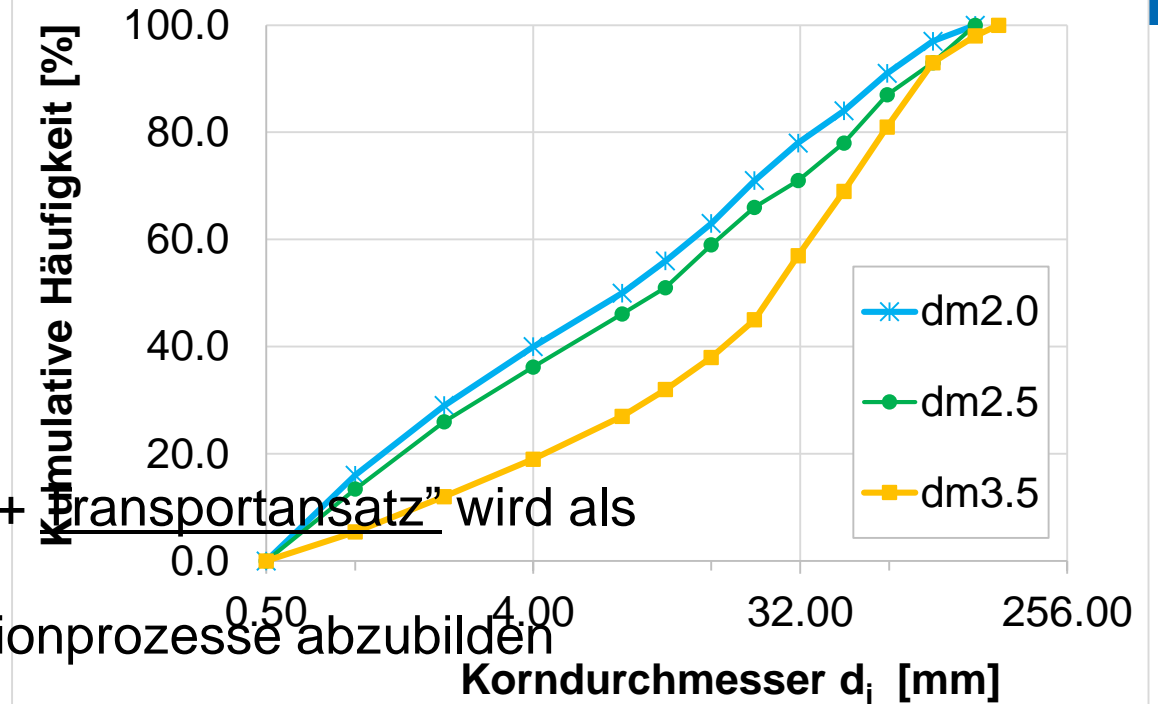
## Modellaufbau (IV)

**Geschiebeeintrag:**  $V_G = 250'000 \text{ m}^3$

**Mehrkornmaterial:**  $d_m = \{2.0, 2.5, 3.5\} \text{ cm}$

→ Kombination "Korngrösse des Geschiebeeintrags + Transportansatz" wird als

Stellschraube verwendet, um Auflandungs- und Erosionprozesse abzubilden



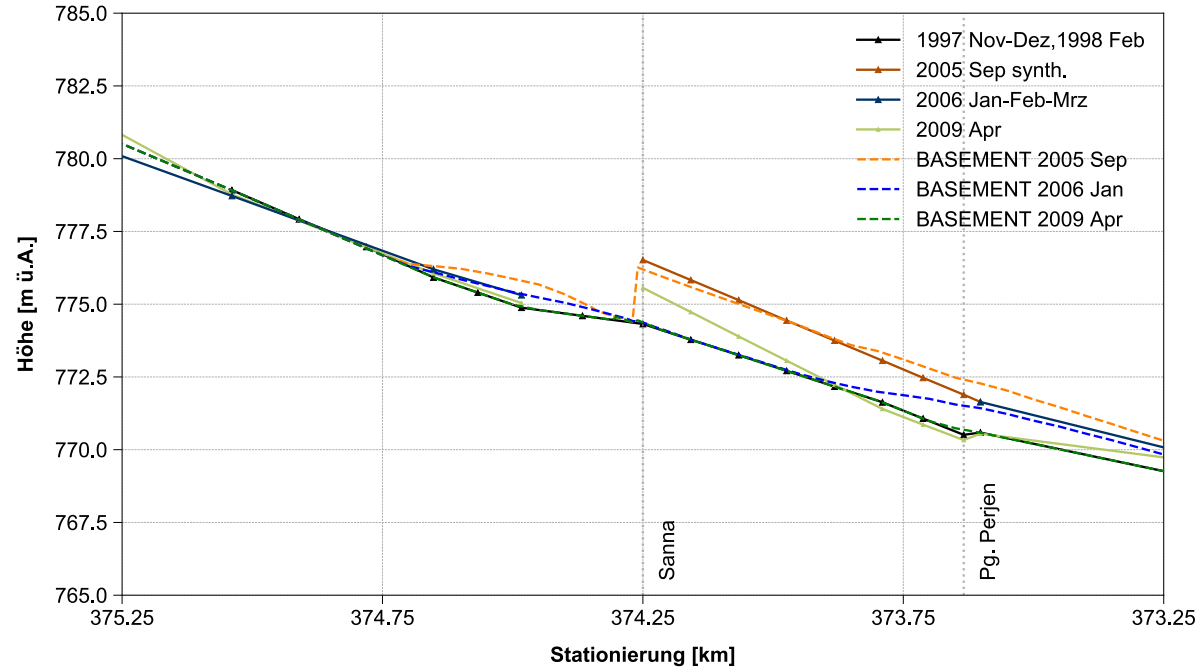
# Simulationsübersicht

Simulations Nr.	Korngrößen- verteilung Inn /Lochbach	Korngrößen- verteilung Sanna	Transport-formel [-]
1	dm25	dm2.0	mpm_multi
2		dm2.0	mpmh
3		dm2.0	wu
4		dm2.5	mpm_multi
5		dm2.5	mpmh
6		dm2.5	wu
7		dm3.5	mpm_multi
8		dm3.5	mpmh
9		dm3.5	wu

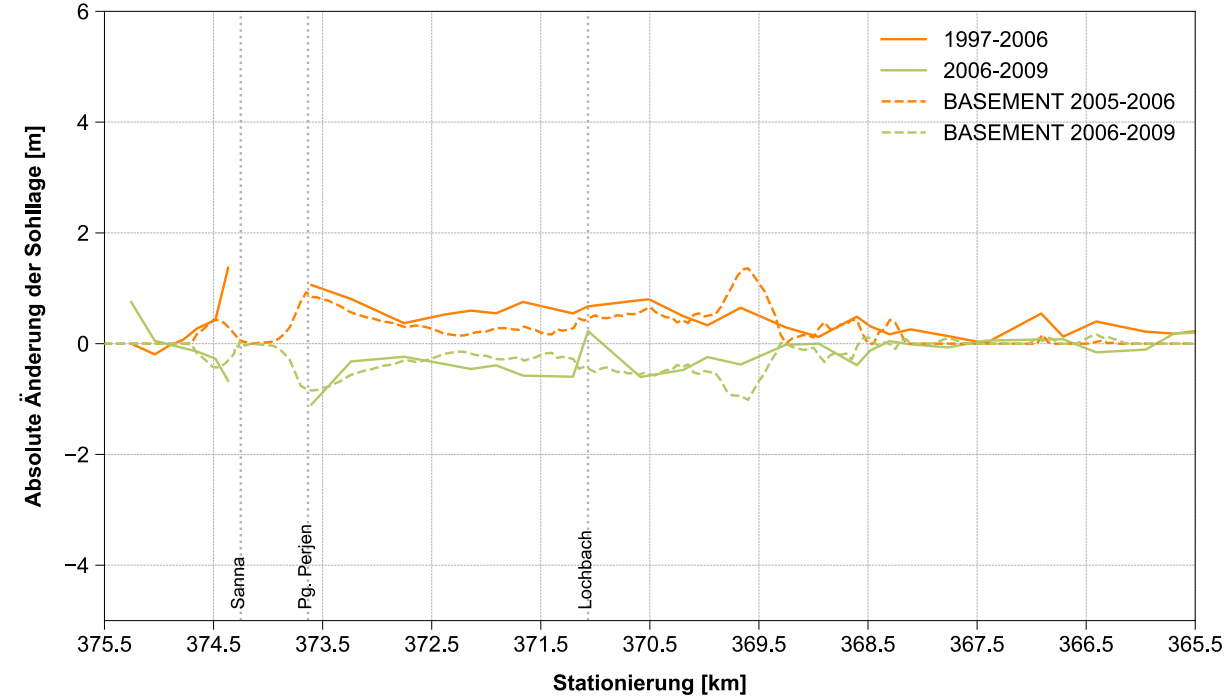
Bilden Erosions- und Auflandungsprozesse zwischen 2005 und 2009 am besten ab

# Simulation 5: dm2.5 + mpmh

## Einmündungsbereich Sanna



## Auflandungen und Abtrag

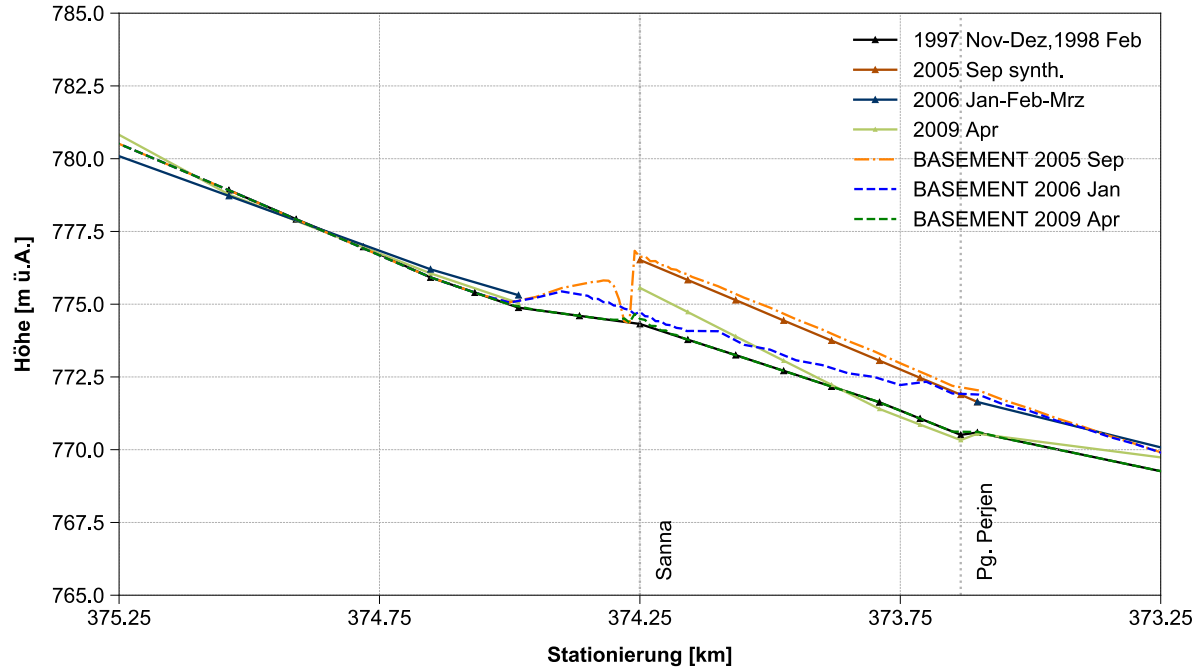


→ Auflandungen bis Sep 2005 zwischen Sanna-Einmündung und Pegel Perjen gut abgebildet

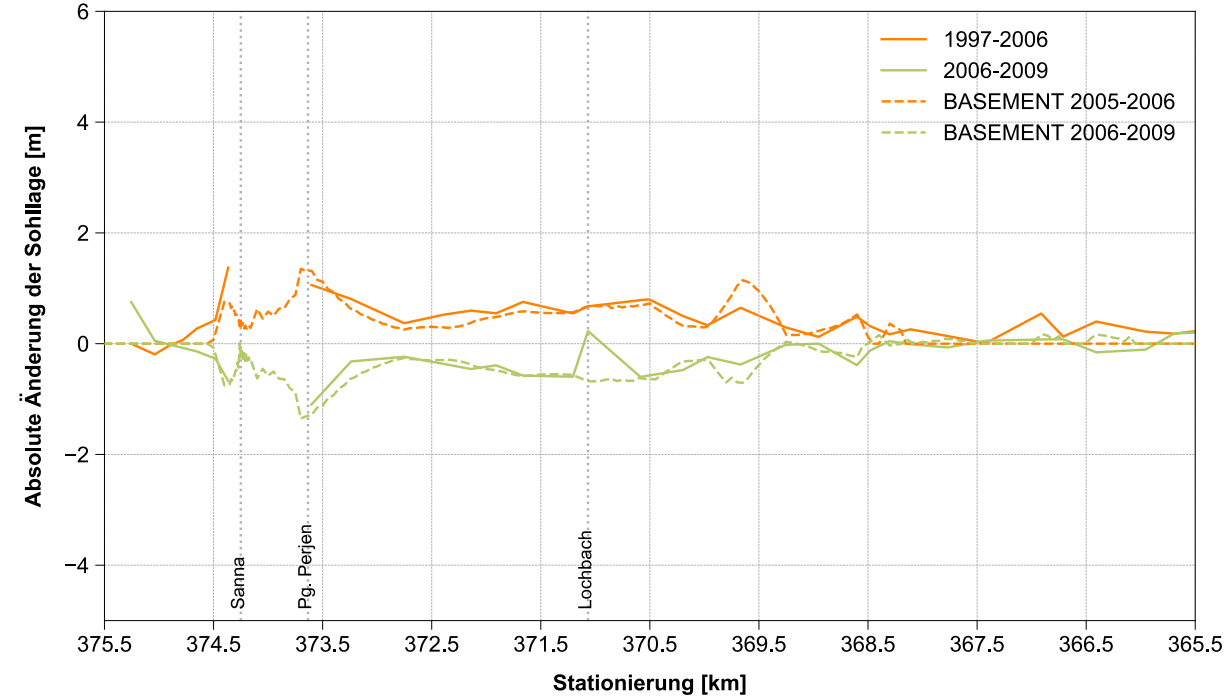
→ Leichte Unterschätzung der Auflandungs- und somit auch der Erosionsprozesse im übrigen Modellbereich

# Simulation 9: dm3.5 + wu

## Einmündungsbereich Sanna



## Auflandungen und Abtrag

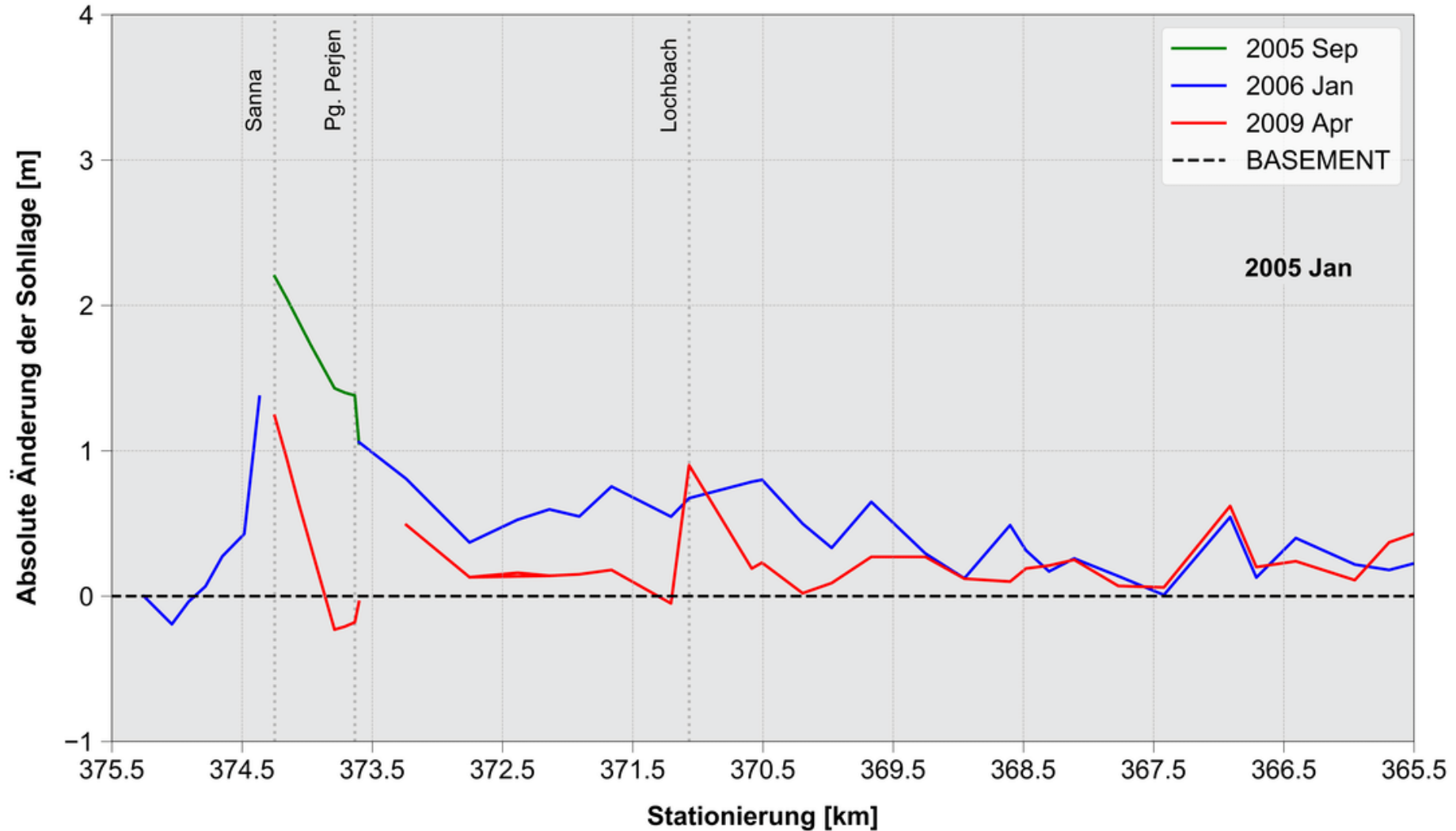


→ Auflandungen zwischen Sanna-Einmündung und Pegel Perjen gut abgebildet

→ Gute Übereinstimmung der Auflandungs- und Erosionsprozesse im übrigen Modellbereich



# Simulation 9: dm3.5 + wu



# Schlussfolgerungen (I)

- Numerische Modellierung grosser Geschiebeeinträge mit Software BASEMENT machbar, wenn
    - a) Geschiebeeintrag über mehrere Querprofile verteilt wird und
    - b) Abflusszugabe vor Geschiebezugabe erfolgt, um die Impulsübertragung auf das Geschiebe zu modellieren
- Vermeidet das «Auffüllen» von Querprofilen mit Geschiebe und daraus resultierende numerische Probleme.

## Schlussfolgerungen (II)

- Gemessene Auflandungs- und Erosionsprozesse können mit dem Mehrkornmodell mit KGV «dm3.5» in Kombination mit Geschiebetransportansatz nach Wu et al. (2000) trotz den Modellvereinfachungen gut abgebildet werden
- Mittlerer Korndurchmesser von 3.5 cm eher grob im Vergleich zur ursprünglichen Abschätzung (2 cm), allerdings ist diese auch mit Unsicherheit behaftet da das Eintragsmaterial nie beprobt wurde

# Persönliches Fazit

- Modellierung der Auflandungs- und Erosionsprozessen ist massgeblich von der Geschiebe-transportformel und Korngrössenverteilung des Geschiebeeintrags abhängig
- Eine Allgemeine Aussage zu einem «am besten» geeigneten Geschiebetransportansatz lässt sich nicht machen, da diese jeweils unterschiedlich auf eine Korngrössenverteilung «reagieren»
- Die Form der Korngrössenverteilung hat beispielsweise bei Wu *et al.* (2000) einen wesentlichen Einfluss auf den Geschiebetransport
- Mit einfachem Modell beginnen und Modellkomplexität wenn nötig steigern

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Matthias Bürgler

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie  
Hönggerberggring 26  
8093 Zürich

[buergler@vaw.baug.ethz.ch](mailto:buergler@vaw.baug.ethz.ch)

# Literatur

Amt der Tiroler Landesregierung. Pegel der Sanna. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie. Innsbruck, Österreich.

Ashida, K. and Michiue, M. (1971). *An investigation over riverbed degradation downstream of a dam*. Proceedings of the 14th congress of IAHR, No. 3: 247–256. Paris, France.

BASEMENT – Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation. Version 2.8. © ETH Zurich, VAW, 2006-2018.

DonauConsult (2018a). *Geschiebmodellierung – Abtrag/Einstoss Geschiebe Sanna mit dem Modell BASEMENT, Version 03.12.2018*, DonauConsult Ingenieurbüro GmbH, im Auftrag der TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG.

Hunziker, R.P. (1995). *Fraktionsweiser Geschiebetransport* [PhD thesis]: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

Land Tirol und DVT (2019). *tirisMaps*. 2 Juli 2019. [Online]. Verfügbar: <https://maps.tirol.gv.at/tirisMaps/> (Aufrufdatum 2.7.2019).

Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). *Formulas for bed-load transport*. In IAHSR 2nd meeting, Stockholm, appendix 2. IAHR.

Wong, M., & Parker, G. (2006). *Reanalysis and correction of bed-load relation of Meyer-Peter and Müller using their own database*. Journal of Hydraulic Engineering, 132(11), 1159-1168.

Wu, W., Wang, S. S., & Jia, Y. (2000). *Nonuniform sediment transport in alluvial rivers*. Journal of hydraulic research, 38(6), 427-434.