

# Numerisches 2d-Schwall/Sunk-Model GR

Michel Cuska, Axpo Power AG

## Inhalt

### Aufgabenstellung und Modellerstellung

#### 1. Veranlassung und Genauigkeitsanforderungen

- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Anforderungen an das Modell

#### 2. Datenbeschaffung

- Laserscanning, Echolot, Dopplerradar

#### 3. Kontrolle der Rohdaten

- Ausdünnung
- Bereiche ohne Informationen («Datenlöcher»)
- Bereiche mit fehlerhaften Höheninformationen («Einschusslöcher»)
- Plausibilitätskontrollen anhand bestehender Flussquerprofile (GEWISS)
- Einfügen der Echolotdaten des Stausees Reichenau

#### 4. Vergleich und Testen verschiedener Berechnungsnetze

- diverse hydraulische Kriterien

## Inhalt

### Aufgabenstellung und Modellerstellung

#### 5. Validierung des Modells

- Feineinstellung des numerischen Modells

#### 6. Fazit

- Wahl des Rechnernetzes

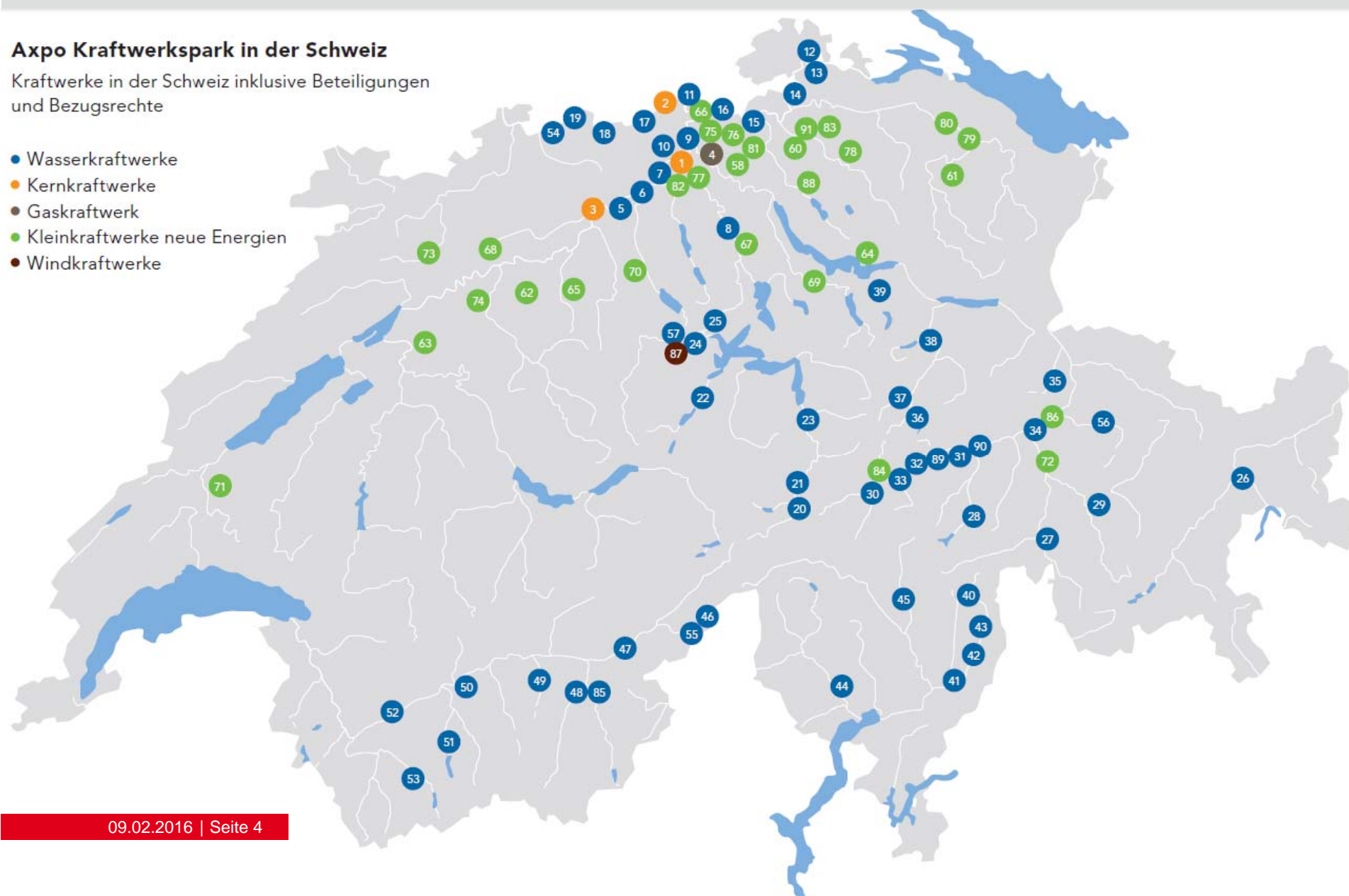
#### 7. Testen der für Windows adaptierten Software

- Probleme Systemwechsel Linux/Windows

## Axpo Kraftwerkspark in der Schweiz

Kraftwerke in der Schweiz inklusive Beteiligungen  
und Bezugsrechte

- Wasserkraftwerke
- Kernkraftwerke
- Gaskraftwerk
- Kleinkraftwerke neue Energien
- Windkraftwerke





## 1. Aufgabenstellung

### Veranlassung

- **CH; Revidiertes Gewässerschutzgesetz, in Kraft getreten am 01.01.2011 (ähnlich der Wasserrahmenrichtlinie der EU)**
  - Umfassende Sanierung der negativen Auswirkungen der Wasserkraft
- **Kantone bis 2014 zuständig für strategische Planung der Umsetzung**
  - Definition von wesentlichen Beeinträchtigungen
    - Schwall/Sunk
    - Fischwanderung
    - Geschiebehaushalt
- **Planung und Umsetzung der Sanierung Sache der KW**
  - Sanierungspflicht ist verfügt worden!
  - > **gesetzliche Pflicht zur Massnahmenprüfung, Dimensionierung und Umsetzung**
  - > Durchführung von ökologischen Untersuchungen

## 1. Aufgabenstellung

### Veranlassung

- **Aufwendungen für Planung wie auch Realisierung der Massnahmen werden grösstenteils zurückerstattet**
- **Menetekel:**
  - bestehende Forderung der Umwelt- und Fischereiverbände nach punktgenauer Umsetzung des Gesetzes
- **Frist für Umsetzung der Massnahmen bis 2030**
  - Nur noch 14 Jahre Zeit für Planung, Genehmigungsverfahren, Einsprachen, etc. für z.B. den Bau von Ausgleichsbecken, Ausleitkraftwerken o.Ä.

## 1. Aufgabenstellung

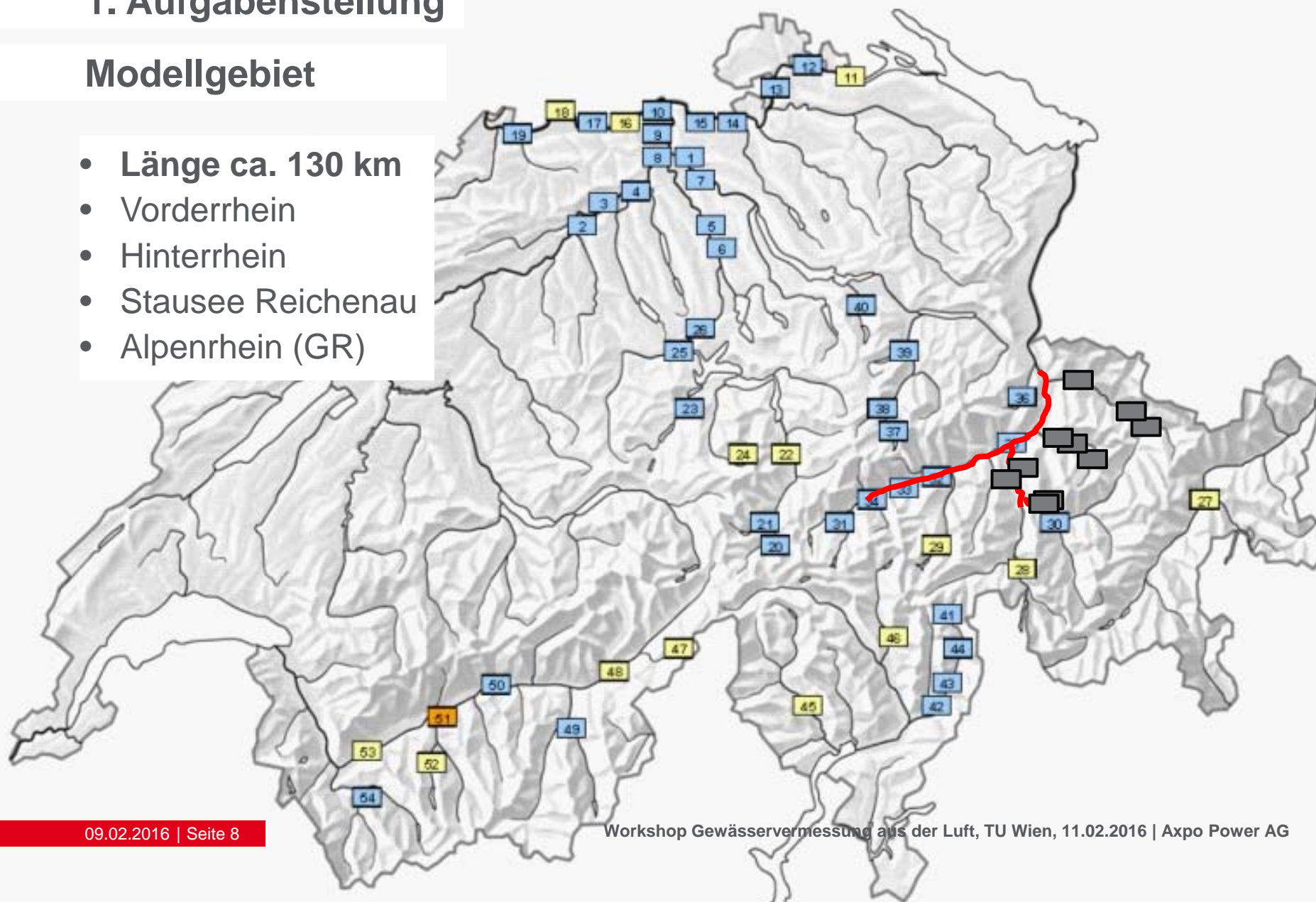
### Genauigkeitsanforderungen

- **Grenzwerte vom BAFU mittels Richtlinie «empfohlen»**
- Abflusszustände bei Stellen mit potenziellen oder bekannten **Laichgruben für Forellen** müssen **cm genau** modelliert werden.
- Pegelanstiegs- und Rückgangsrate **Grenzwert 1[mm/min]**
- Benetzung; Problem Stranden von Fischen
  
- **Sehr hohe Prognoseanforderungen an das Modell**
- Modellierung des heutigen Zustands
- Prognose der Zustände nach den Sanierungen

# 1. Aufgabenstellung

## Modellgebiet

- Länge ca. 130 km
- Vorderrhein
- Hinterrhein
- Stausee Reichenau
- Alpenrhein (GR)

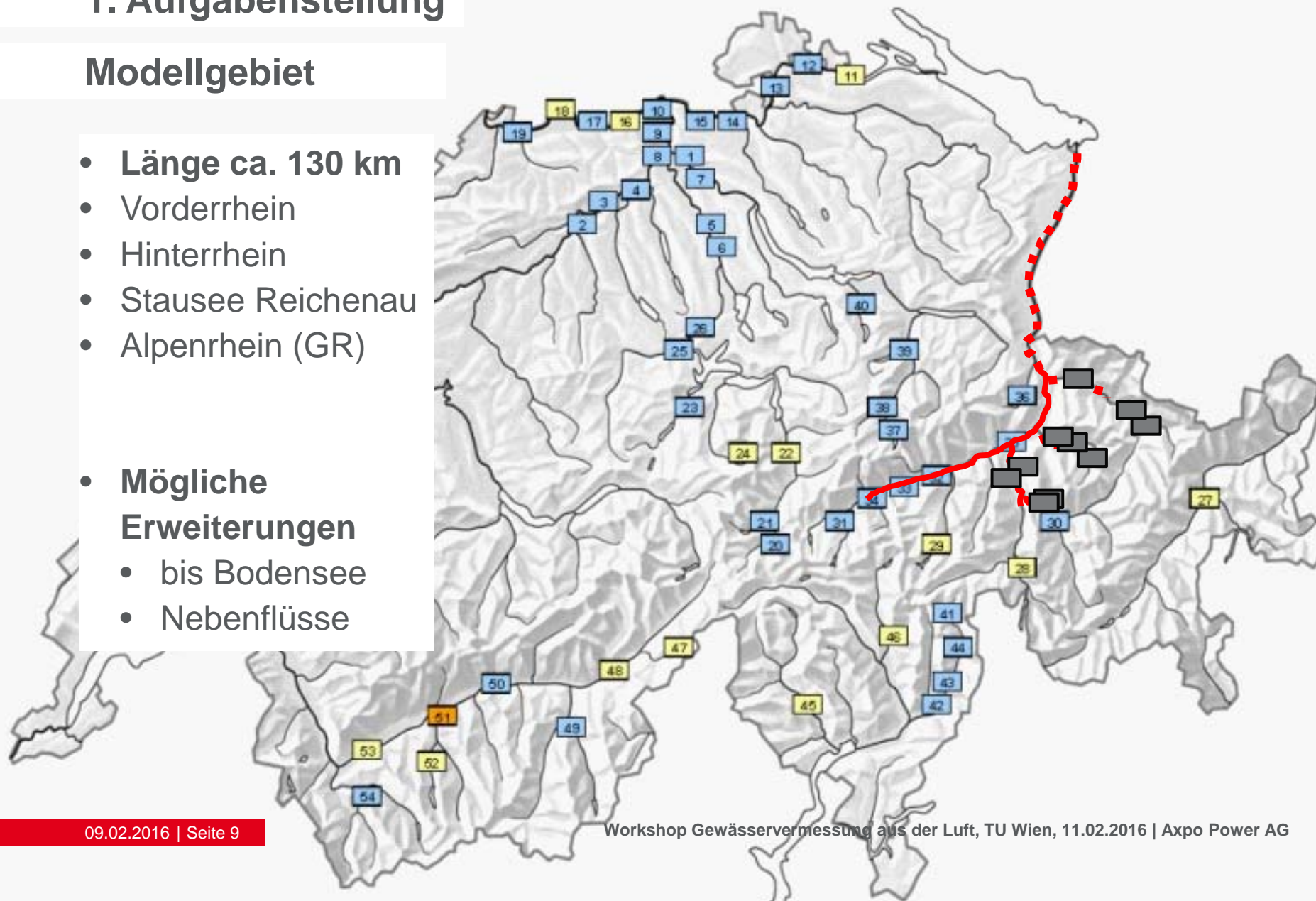




# 1. Aufgabenstellung

## Modellgebiet

- Länge ca. 130 km
- Vorderrhein
- Hinterrhein
- Stausee Reichenau
- Alpenrhein (GR)
- Mögliche Erweiterungen
  - bis Bodensee
  - Nebenflüsse



## 2. Datenbeschaffung

### **Unterschiedliche Gewässerabschnitte im Modellgebiet des Rheins**

- Kanalisierte Flussabschnitte mit Querwerken, Kolken, Buhnen, etc.
- Ökologisch wertvolle Aufweitungen mit Bänken, Mäander und Auen
- Stausee Reichenau

## 2. Datenbeschaffung

### Unterschiedliche Gewässerabschnitte im Modellgebiet des Rheins

- Kanalisiert Flussabschnitte mit Querwerken, Kolken, Buhnen, etc.
- Ökologisch wertvolle Aufweitungen mit Bänken und Mäander
- Stausee Reichenau

### → Unterschiede in Datenbeschaffung

- Airborne Laserscanning; AHM Airborne Hydro Mapping, Innsbruck
- Echolotvermessung Stausee; Axpo Power AG
- ADCP Radar; Fa. Monitron, Uri

### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Ausdünnung der AHM Punktwolke

Bearbeitungsschritte; Ausdünnung mittels SIMP (*fluvial.ch*):

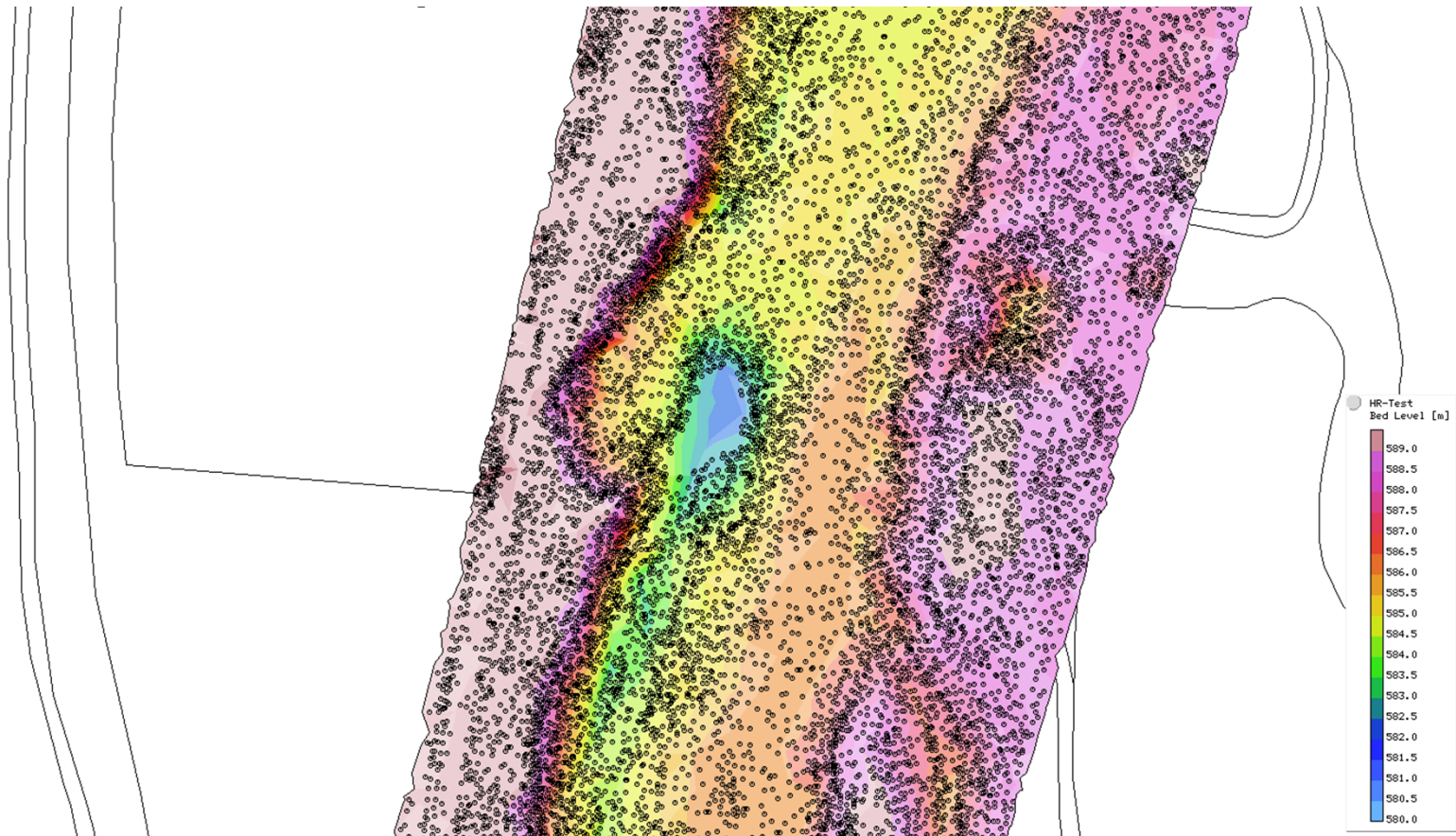
1. Aufteilung in Kacheln (*computational units*): 200 m x 200 m
2. Rasterung: Grösse 0.30 m; tiefste Punkt bleibt/0.1 m<sup>2</sup> → 10 Pkte/m<sup>2</sup>
3. Morphologischer Filter (Erosion, Dilation)
4. Ausdünnung mit *Greedy-Insertion*: Toleranz (m.F.) 0.04 m (in der Höhe)

Übliches Vorgehen mittels «intelligenter Ausdünnung»; hier jedoch aufgrund extremer Datenmengen (für hydr. Modellierer) sehr grosse Herausforderung.

- Intelligente Ausdünnung von ca. 12 Pkte/m<sup>2</sup> auf 10 Pkte/m<sup>2</sup> - 0.4 Pkte/m<sup>2</sup>
- **556 [Mio] Punkte → 19.9 [Mio] Punkte (= 3.6%)**

### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Ausdünnung der AHM Punktwolke





### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Import in Preprocessor FLUVIZ (*fluvial.ch*)

Ausschnitt  
Landquart



### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Import in Preprocessor FLUVIZ (*fluvial.ch*)

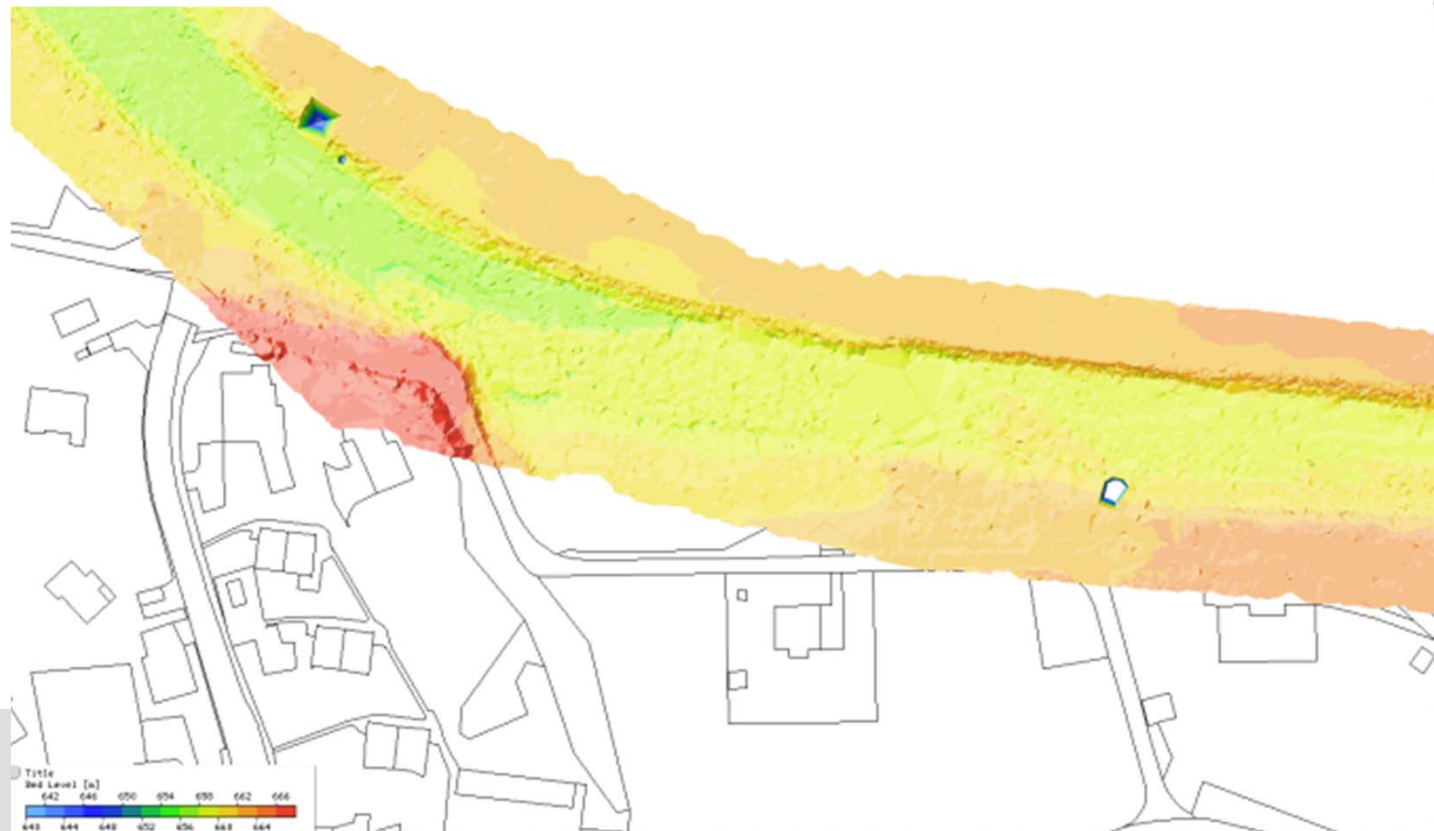
- Im Ausmass unvorhergesehene grossflächige Bereiche mit «Datenlöchern»; Probleme an tiefen Stellen ( $> 5$  m), Stellen mit Trübungen und mit turbulentem Abfluss («Weisswasser»)



### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Import in Preprocessor FLUVIZ (*fluvial.ch*)

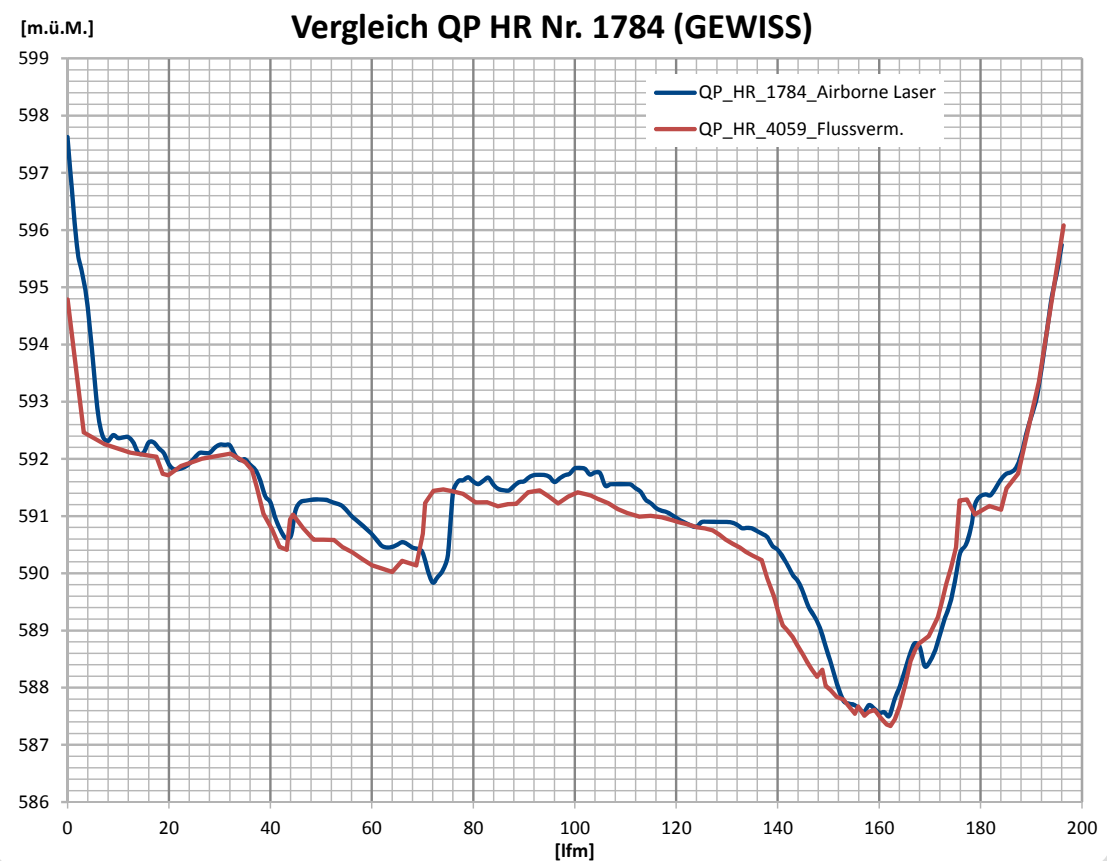
- Bereiche mit fehlerhaften Höheninformationen («Einschusslöcher»);  
Kontrolle des Roh-DTM mittels 1. Triangulation (an 130 km Modelllänge)



### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Plausibilitätskontrolle anhand bestehender BAFU Querprofile

- An allen Gewässerabschnitten Kontrollen des Roh-DTM anhand offizieller Fluss-QP





### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Einfügen der Echolotdaten des Stausees Reichenau

##### Herausforderungen

- Aus mit dem Boot gefahrenen «Querprofilen» ein (sinnvoll) trianguliertes DTM des Stauseegrunds zu erstellen
- Sinnvolles Zusammenfügen der Teilabschnitt-DTM in Überlappungsbereichen (z.B. Stauwurzel)
- Danach erfolgte erst die Rechennetz-Triangulation mit den gemäss den jeweiligen Anforderungen angepassten Netzflächen.

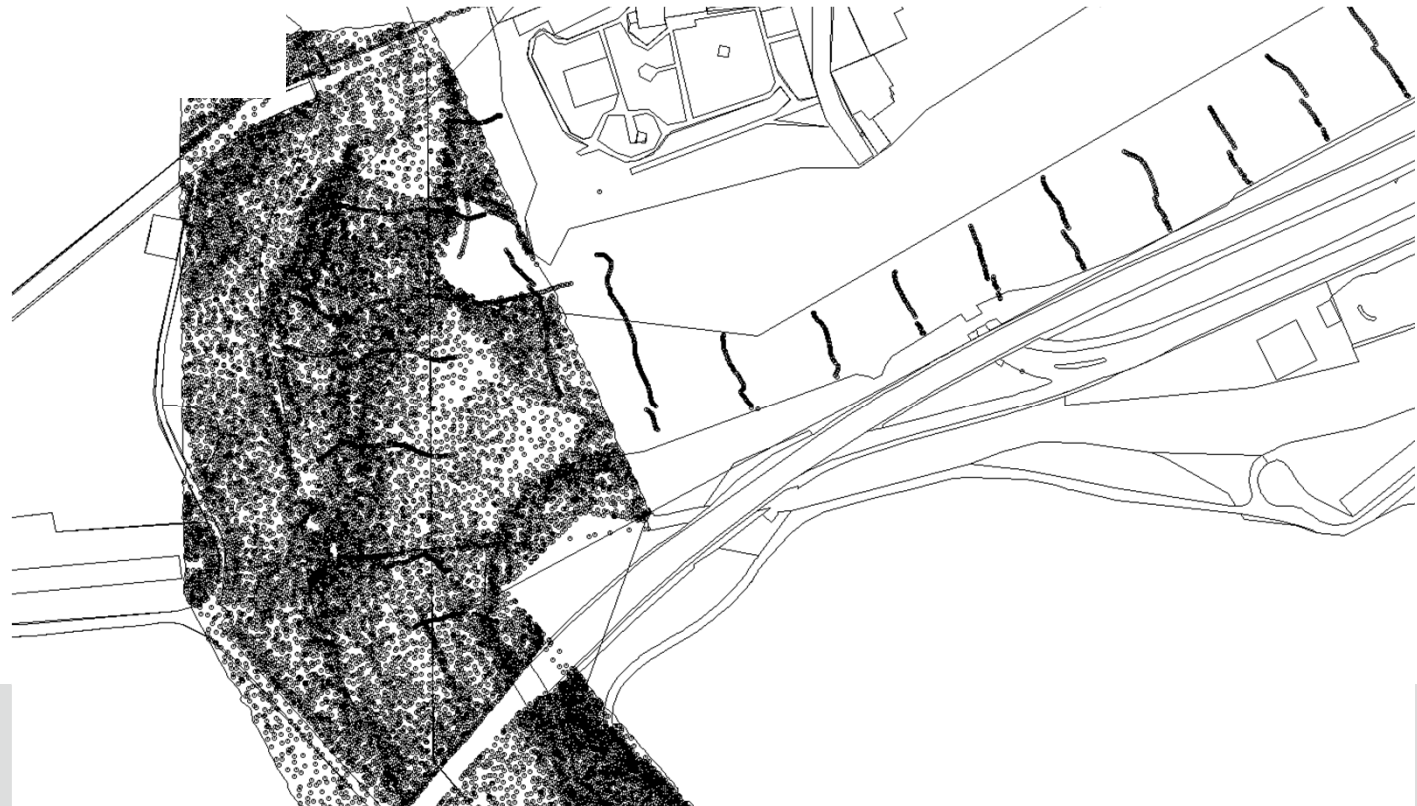


### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Einfügen der Echolotdaten des Stausees Reichenau

##### Detailansicht:

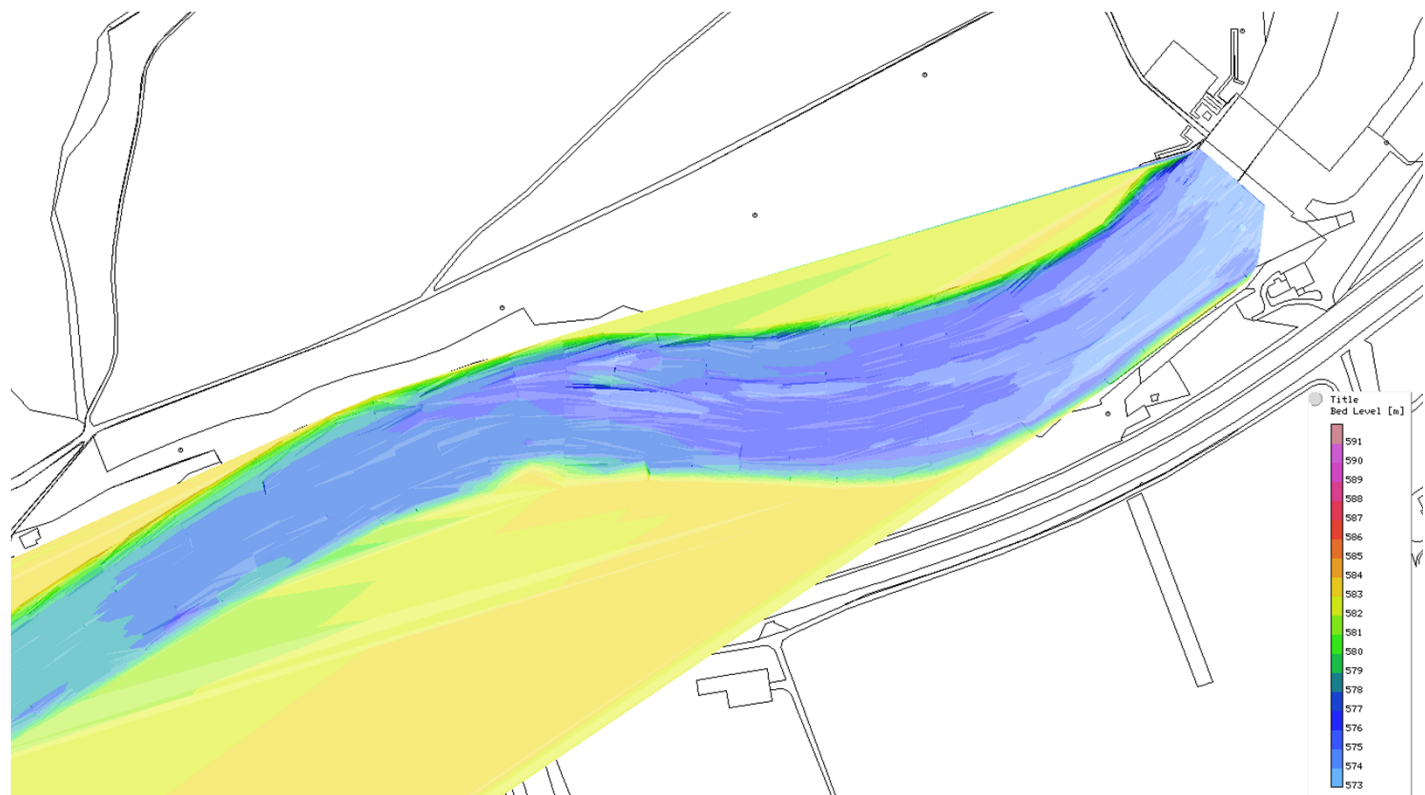
Überlappungsbereich an  
der Stauwurzel mit Nodes  
vom HR



### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Einfügen der Echolotdaten des Stausees Reichenau

#### Trianguliertes Roh-DTM des Stauseeegrunds



### 3. Kontrolle der Rohdaten

#### Einfügen der ADCP Dopplerradar Ergänzungen

#### ADCP Dopplerradar

Firma Monitron; typische Messanordnung

Technische Probleme wegen ungenügender Wasserdichtigkeit der Geräte!

derzeit Stillstand in der Messetappe am Alpenrhein:  
→ weitere Verzögerungen



Workshop Gewässervermessung aus der Luft, TU Wien, 11.02.2016 | Axpo Power AG

## 4. Vergleiche/Tests verschiedener Berechnungsnetze

### Ausschluss der Netzsensitivität

**Am unteren Hinterrhein wurden 4 Netze mit unterschiedlichen Elementgrößen im Testgebiet «67» miteinander verglichen:**

- 0.5 m<sup>2</sup>                      4'235'439 Rechenzellen
- 1.0 m<sup>2</sup>                      2'119'341 Rechenzellen
- 3.0 m<sup>2</sup>                      710'512 Rechenzellen
- 50.0 m<sup>2</sup>                     58'369 Rechenzellen

**Folgende Eigenschaften wurden dabei untersucht:**

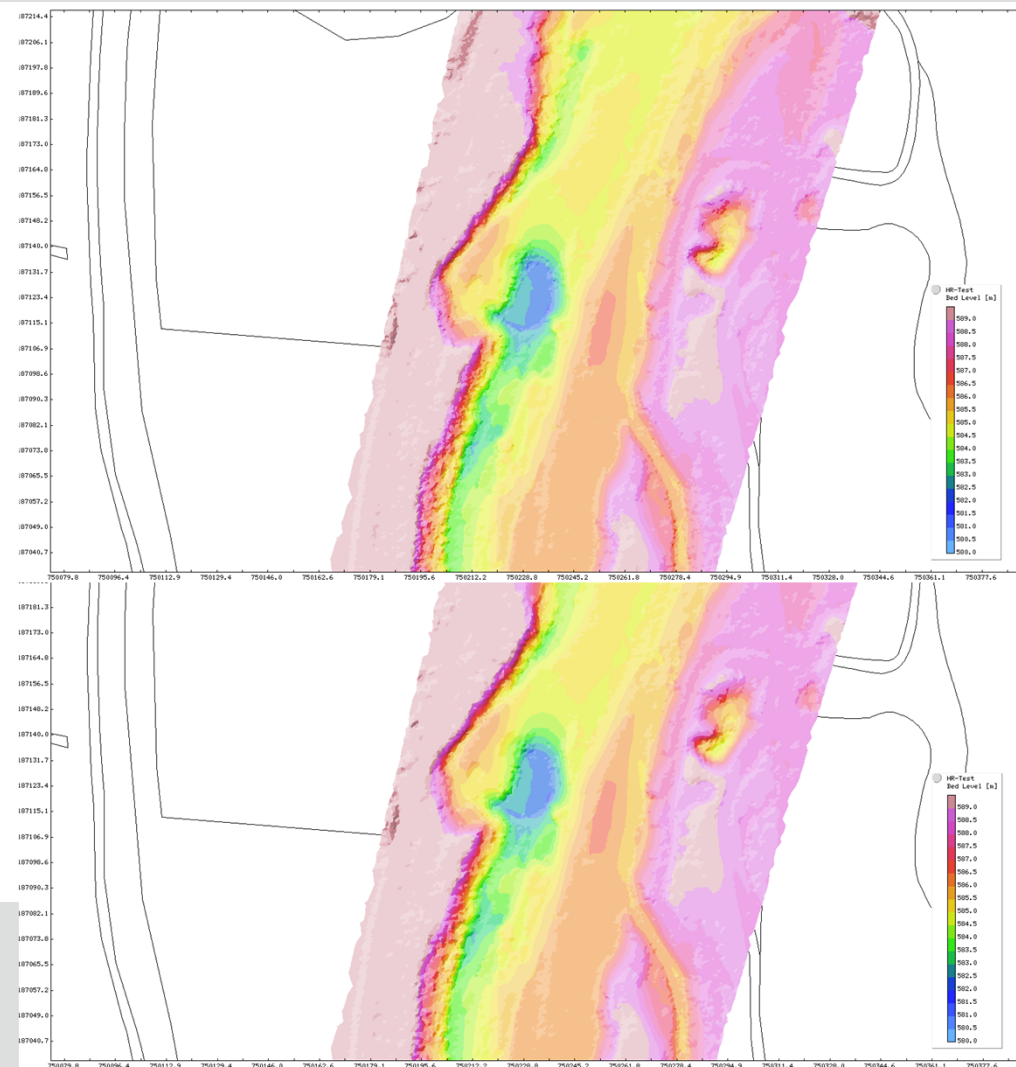
- Schwallwellengeschwindigkeit [m/s] der Fronten als Funktion des Netzes
- Der Abfluss [m<sup>3</sup>/s] an definierten QP und als zusätzliche Vergleiche an Stellen mit Hauptarm/Nebenarm
- Pegeländerungen [m ü. M.] an Stellen der durchgeführten In-situ Pegelmessungen und somit auch die Benetzung des Modells
- Schwall-/Sunkraten [mm/min]

## 4. Vergleiche/Tests verschiedener Berechnungsnetze

### Visualisierung der Netzunterschiede

- Netz mit 0.5 m<sup>2</sup>

- Netz mit 1.0 m<sup>2</sup>

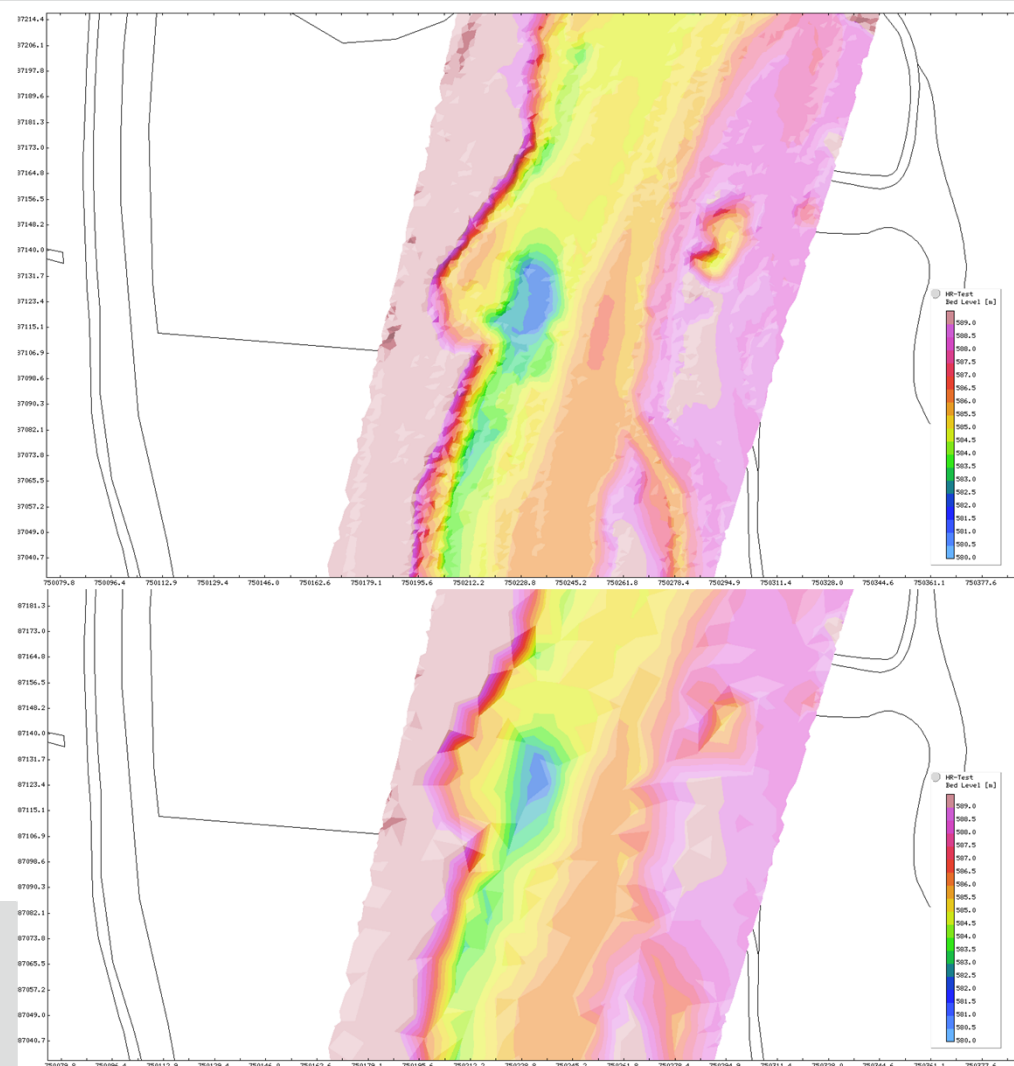




## 4. Vergleiche/Tests verschiedener Berechnungsnetze

### Visualisierung der Netzunterschiede

- Netz mit 3.0 m<sup>2</sup>
- Netz mit 50.0 m<sup>2</sup>

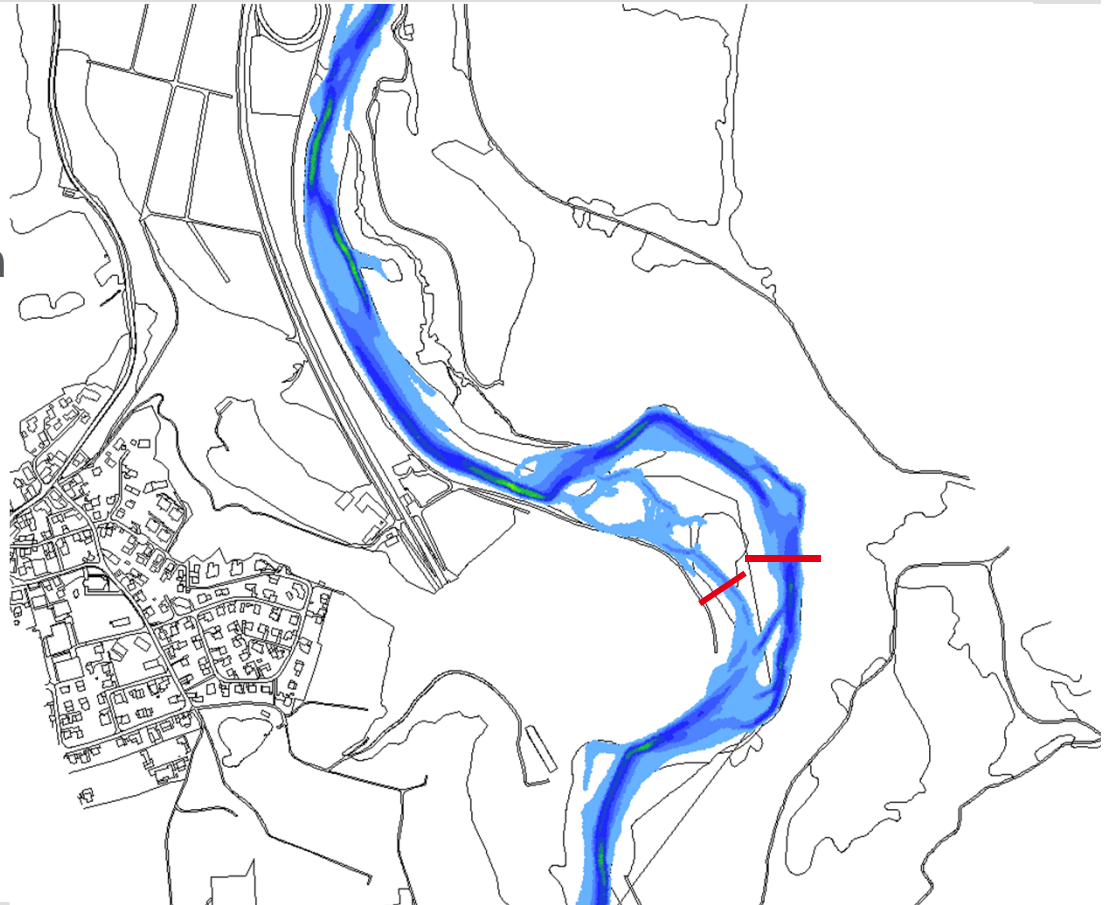


## 4. Vergleiche/Tests verschiedener Berechnungsnetze

### Schwallwellengeschwindigkeit und Abfluss

Vergleich:

- Q Hauptarm
- Q Nebenarm
- Benetzung der Randzellen
- Schwall- und Sunkraten  
[mm/min]



## 5. Validierung des Modells

### Feineinstellung des numerischen Modells; Parameterschätzung

**Geodäsie:** Genauigkeit in [mm] gegeben

Jedoch existiert in der Natur eine grosse Variation der Korngrößen, etc. !

**Herausforderung für hydraulische Modellierung:**

- Geländemodell: ist nur **eine** Eingangsgrösse
  - Hydrologie
  - Rauigkeiten
- } **grosse Variabilität der Modellparameter!**

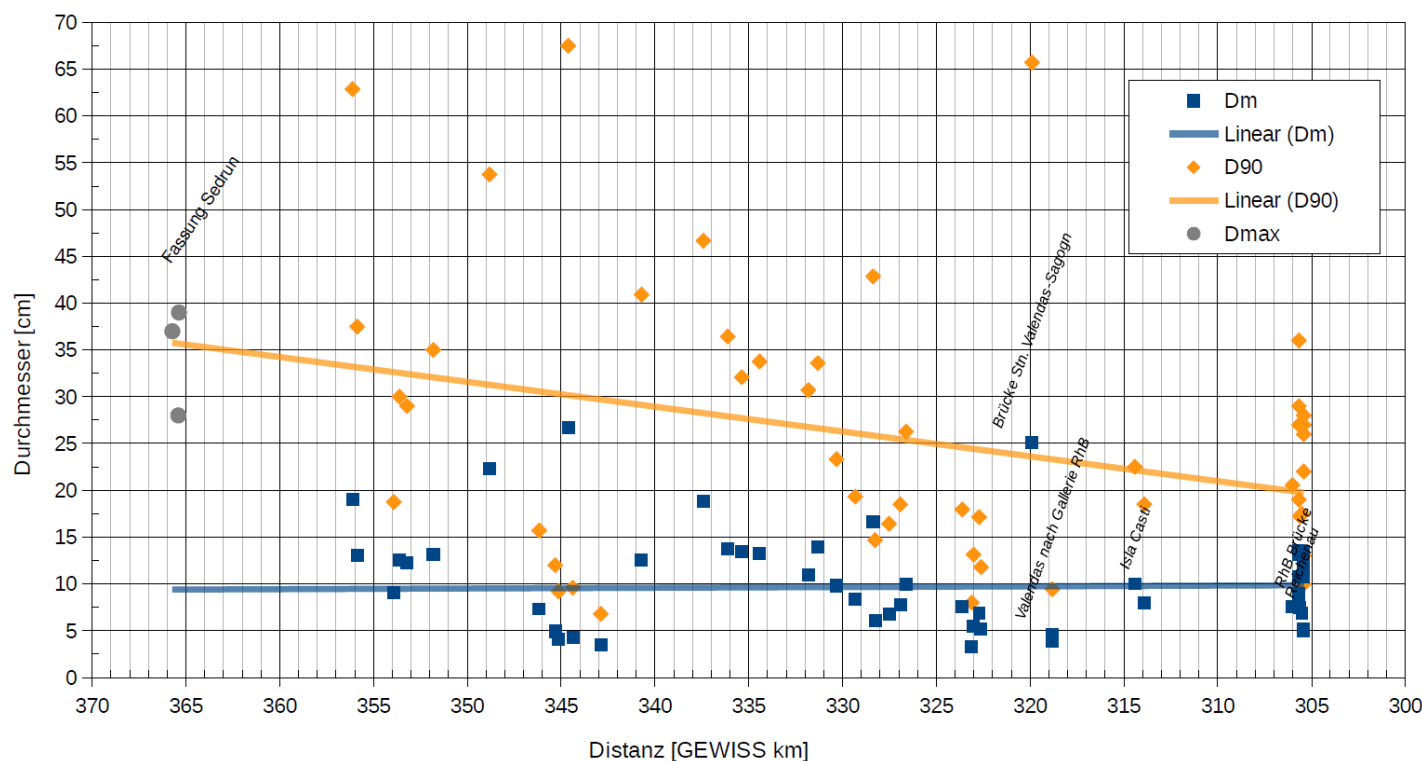
**Gesucht:**

**Nachweis der Prognosefähigkeit**

## 5. Validierung des Modells

### Feineinstellung des numerischen Modells; Parameterschätzung

Bestmögliche Validierung anhand von grosser Anzahl von Linienzahlanalysen  
(Definition abschnittsweiser Rauigkeiten)



## 6. Fazit

### Wahl des Rechennetzes

- 0.5/1.0/3.0 m<sup>2</sup> Netz liegen bei Abflüssen, Frontgeschwindigkeiten und Pegelhöhen quasi übereinander. Das grobe 50 m<sup>2</sup> Netz (= ca. 4 Rechenzellen pro QP der kanalisierten Flussstrecke) zeigt deutliche Defizite, vor allem im Vergleich von Abflüssen in Haupt- und Nebenarmen.
- Das 50 m<sup>2</sup> Netz bildet Uferpartien schlecht ab, z.B. werden Buchten z.T. gar nicht benetzt.
- Unterschiede bei den feinen Netzen bestehen jedoch an den Rändern der jeweils benetzten Oberfläche.
- Schwallgeschwindigkeit wird jedoch auch mit grobem Netz genügend gut abgebildet.
- Bei Variation verschiedener Rechenparametern ergeben sich auch am ADINA-Server mit kleinen Netzen lange Rechenzeiten und sehr grosse Resultat-Files. Grössenordnung für das ganze Rechennetz: ca. 36 Mio. Rechenzellen



## 6. Fazit

### Wahl des Rechnernetzes

- **Stausee Reichenau:**
  - grosse Fliesstiefen
  - Anforderung nur Weitergabe des Schwall
  - grobes dtm aus Echolotmessungen  
→ **> 50 m<sup>2</sup> Netz**

**Notwendige Optimierung des Verhältnisses**

**Zellengrösse/Zeitschrittgrösse → keine numerischen Instabilitäten!**

**Wahl fällt voraussichtlich auf eine optimierte Netzkombination mit Zellengrössen von 0.5 m<sup>2</sup> (1.0 m<sup>2</sup>) bis ca. 60 m<sup>2</sup> (z.B. im Stauration).**

## 7. Testen Berechnungen mittels ADINA Server

### Probleme Systemwechsel Linux/Windows

- **Vorteil ADINA-Server**
  - Enorme Rechenleistung: mögliche Verwendung von gleichzeitig 32 Kernen; 64 GB RAM, Cache 20MB
  - Herkömmliche LINUX-Workstation (4 Kerne) bereits in Testphase mit kleinem Testgebiet an Kapazitätsgrenze (sehr lange Rechenzeiten)
  - Voraussichtliche Rechenzeit mit heutiger Rechenleistung (1 Kern für ca. 130 km Modelllänge = ca. 36 Mio. Rechenzellen): ca. 32 Tage für 1 Run
- **Systemwechsel**
  - Adaptierung FLUMEN für Windows; spezielle Parallelisierungsarchitektur
  - Testen Übergang Preprocessing/Berechnung und Berechnung/Postprocessing

**Testen der neuesten FLUMEN-Version für Windows findet gerade statt.**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Axpo Power AG | Hydroenergie**

Parkstrasse 23 | CH-5401 Baden

T +41 56 200 31 11 | F +41 56 200 37 55 | [www.axpo.com](http://www.axpo.com)