

## 2D-BASEplane

**Davood FARSHI**





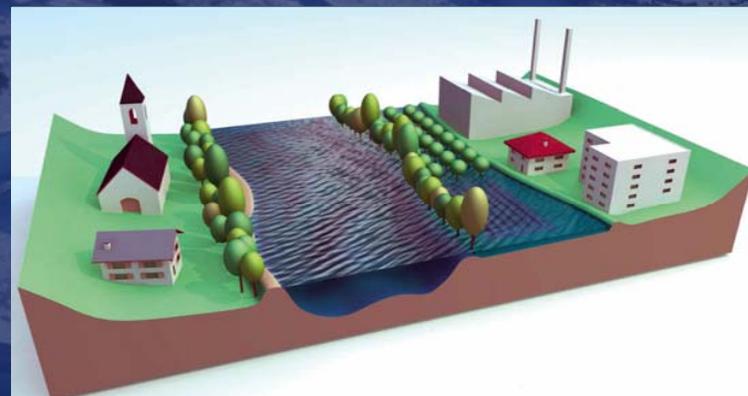
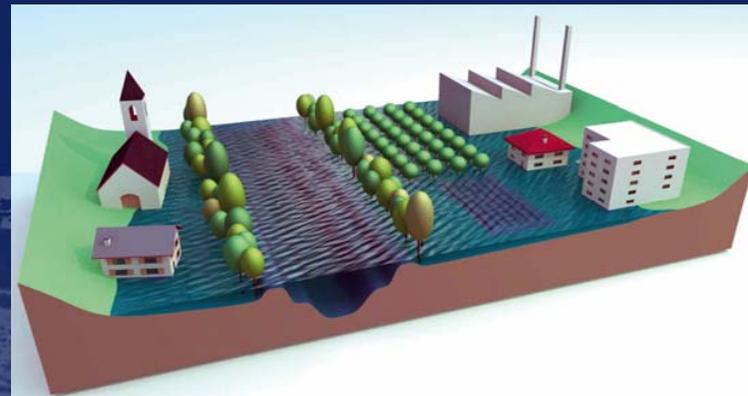
## ***Inhalt***

---

- **Einführung**
- **Mathematische Beschreibung**
- **Programmfunktionen**
- **Zusammenfassung**
- **Fragen**



# *Einführung*



**Schematischer Prozess einer Überflutung**



## ***Mathematische Beschreibung***

---

- **FWG**
- **Geschiebetransport**
- **Numerisches Modell**



## ***Flachwassergleichungen - FWG***

3D Navier-Stokes bzw. Reynold's Gleichungen

tiefengemittelt



Flachwassergleichungen

**Annahmen:**

- 1) Vertikale Beschleunigung ist gleich null.
- 2) Hydrostatische Druckverteilung
- 3) Kleines Gefälle



## Flachwassergleichungen - FWG

$$\mathbf{U}_t + \nabla \cdot (\mathbf{F}, \mathbf{G}) + \mathbf{S} = 0$$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \zeta \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + 1/2 gh^2 - vh \partial u / \partial x \\ uvh - vh \partial v / \partial x \end{pmatrix} \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} vh \\ uvh - vh \partial u / \partial y \\ v^2h + 1/2 gh^2 - vh \partial v / \partial y \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{fx} - S_{Bx}) \\ gh(S_{fy} - S_{By}) \end{pmatrix}$$

$$S_f = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

$$S_{Bx} = \frac{\partial z_B}{\partial x}$$



# Geschiebetransport

## Globale Massenerhaltung

$$(1 - p_B) \partial Z_B / \partial t + \sum_{g=1}^{ng} \left( \nabla \cdot (q_{B_g, x}, q_{B_g, y}) - S l_g \right) = 0$$

## Sortierungsgleichung

$$(1 - p_B) \partial (h_m \beta_g)_B / \partial t + \nabla \cdot (q_{B_g, x}, q_{B_g, y}) + S f_g - S l_g = 0$$

## Schliessbedingungen

$$q_B = f(\tau_B, d_g)$$

$$s f_g = -(1 - p_B) \partial (\beta(z_B - h_m)) / \partial t$$



## ***Numerisches Modell***

---

- **FVM**
- **Diskretisierung**
- **Fluxberechnung**
- **Trocken & Benetzt**
- **Quellterm**
- **Mehrschichtenmodell**
- **Randbedingung**



# Finite-Volumen-Methode (FVM)



Cell Centred

Cell Vertex



# Diskretisierung

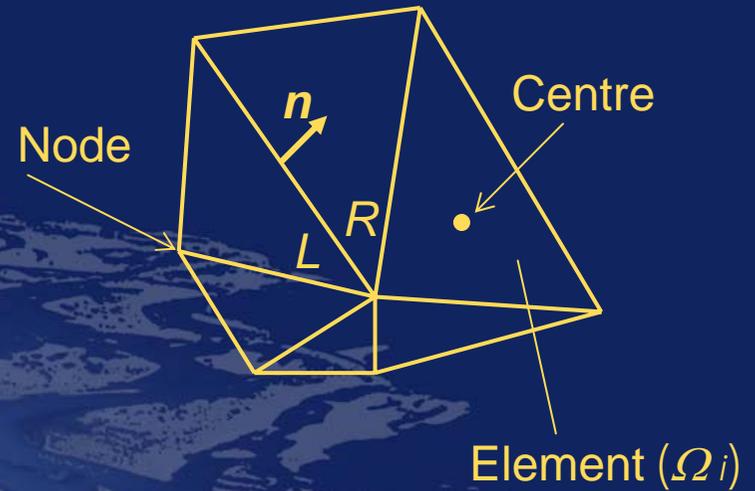
$$\mathbf{U}_t + \nabla \cdot (\mathbf{F}, \mathbf{G}) + \mathbf{S} = 0$$

↓ FVM

$$\Omega \mathbf{U}_t + \oint_{\partial \Omega} (\mathbf{F}, \mathbf{G}) \cdot \mathbf{n} dl + \Omega \mathbf{S}_f + \int_{\Omega} \mathbf{S}_B d\Omega = 0$$

↓ Explizit

$$\Omega_i \frac{\mathbf{U}_i^{n+1} - \mathbf{U}_i^n}{\Delta t} + \sum_{m=1}^{N_i} (\mathbf{F}, \mathbf{G})_m^n \cdot \mathbf{n}_m = \mathbf{R}_l$$



$$\text{CFL} = \frac{\left( |u_n| + \sqrt{gh} \right)_{\max} \Delta t}{L_{chr.}}$$



# Fluxberechnung

## Riemann Problem

$$\mathbf{U}_t + f(\mathbf{U})_x = 0$$

$$\mathbf{U}(x, 0) \equiv \begin{cases} \mathbf{U}_L & \text{if } x < 0 \\ \mathbf{U}_R & \text{if } x > 0 \end{cases}$$

Lösung



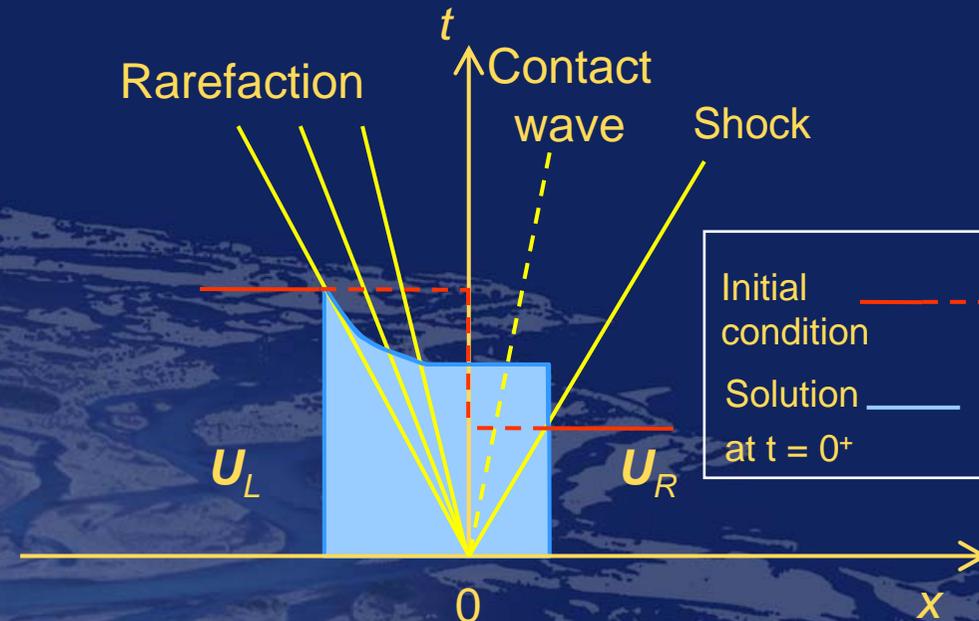
Riemannlöser :

genaue Lösung (Exact):

annähernde Lösung (HLL):

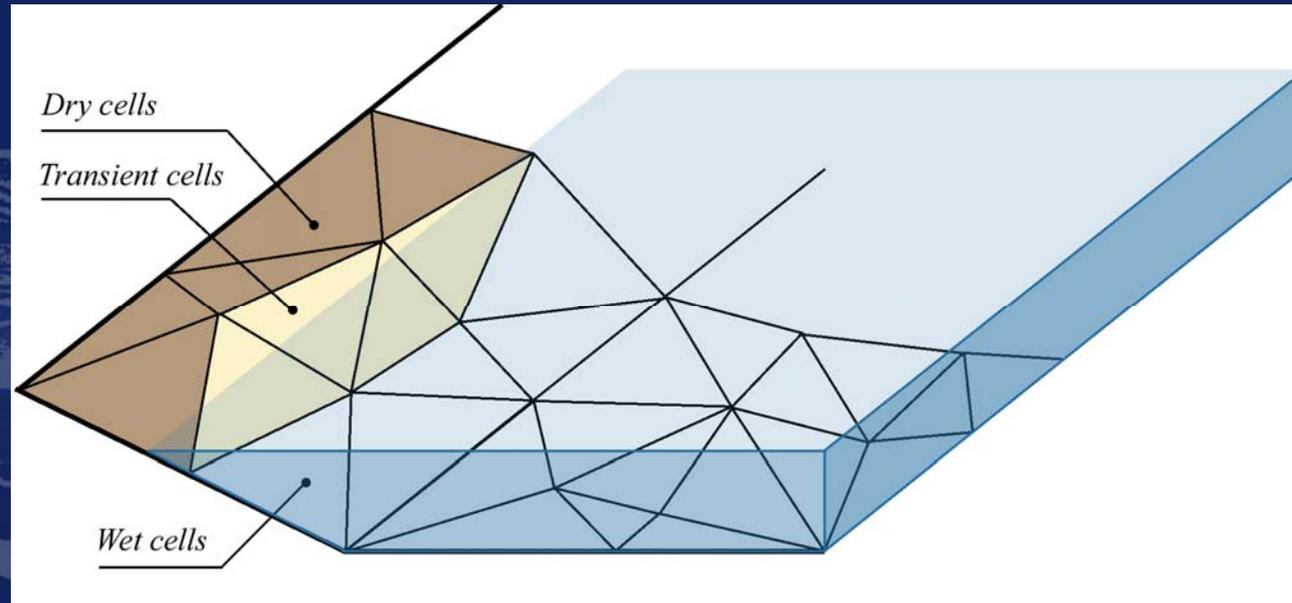
Iterative Methode

Explizite Methode





## Trocken & Benetzt



Trocken

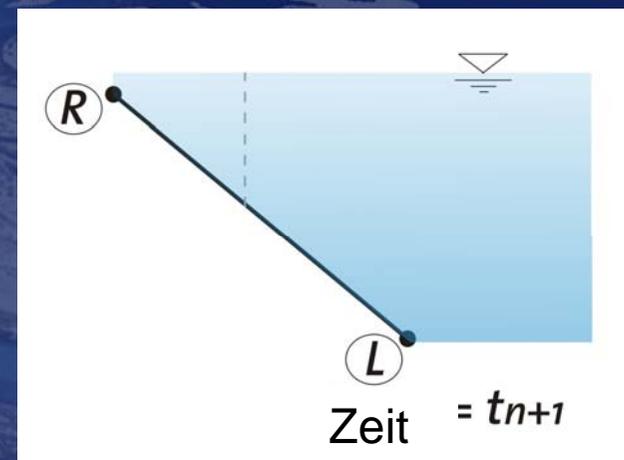
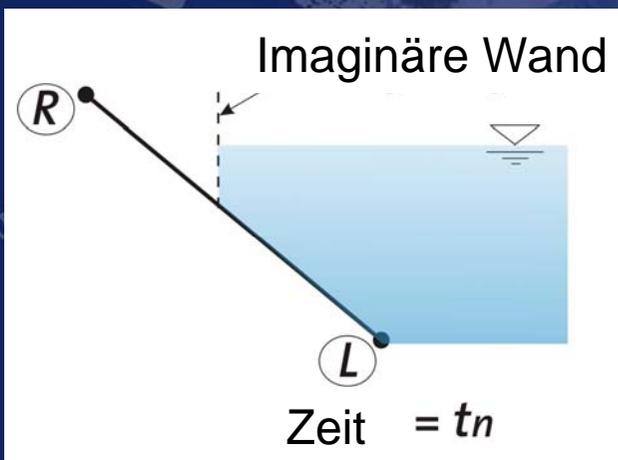
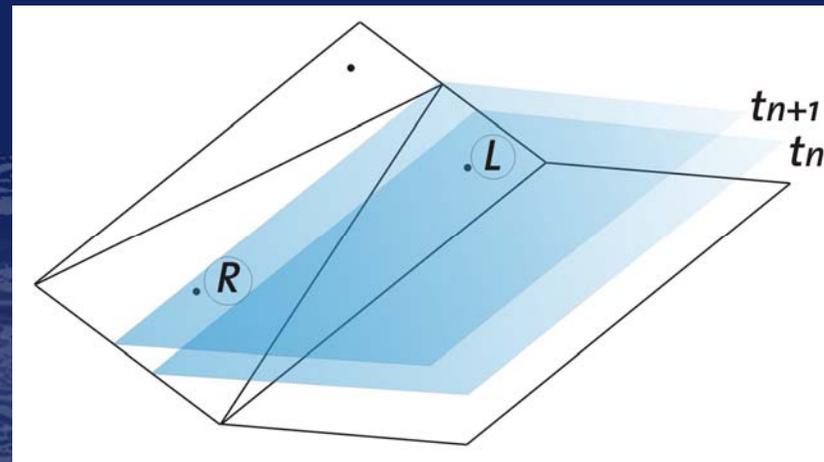
$$\zeta \leq z_B + h_{\min}$$

Benetzt

$$\zeta > z_B + h_{\min}$$



# Trocken & Benetzt

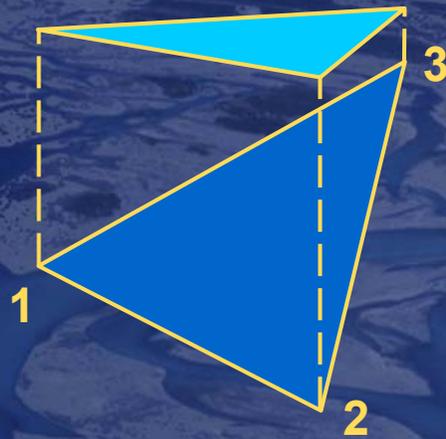




# Quellterm

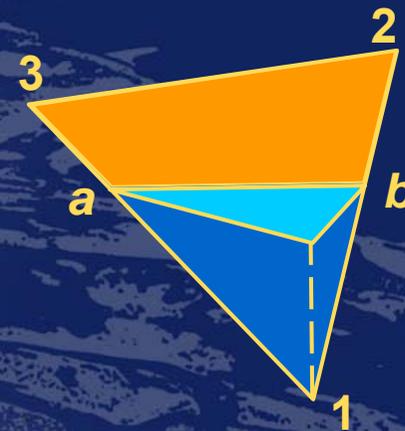
$$\int_{\Omega} S_{Bx} d\Omega = -g \int_{\Omega} h \frac{\partial z(x, y)}{\partial x} d\Omega = -g \frac{\partial z(x, y)}{\partial x} \int_{\Omega} h d\Omega = -g \frac{\partial z(x, y)}{\partial x} Vol_{water}$$

Fall 1:



$$Vol_{water} = \left( \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \right) \cdot \Omega$$

Fall 2:



$$Vol_{water} = \frac{\Omega_{ab1} \cdot h_1}{3}$$



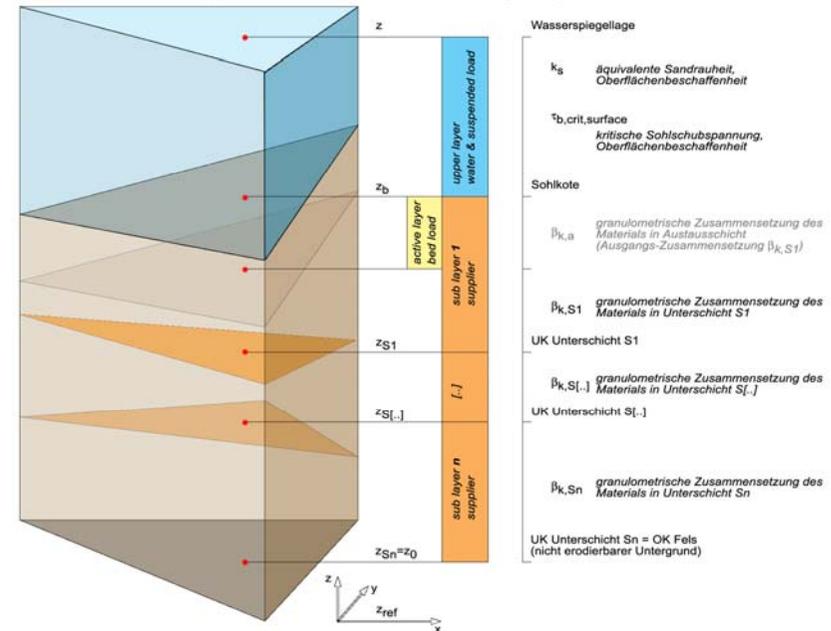
## Mehrschichtenmodell

$$(1 - p_B) \partial Z_B / \partial t + \sum_{g=1}^{n_g} \left( \nabla \cdot (q_{B_g, x}, q_{B_g, y}) - S l_g \right) = 0$$

$$(1 - p_B) \partial (h_m \beta_g)_B / \partial t + \nabla \cdot (q_{B_g, x}, q_{B_g, y}) + S f_g - S l_g = 0$$

$$S f_g = -(1 - p_B) \partial (\beta (z_B - h_m)) / \partial t$$

Vertikaler Aufbau einer Berechnungszelle      Idealisierung anhand gemittelter Kennwerte



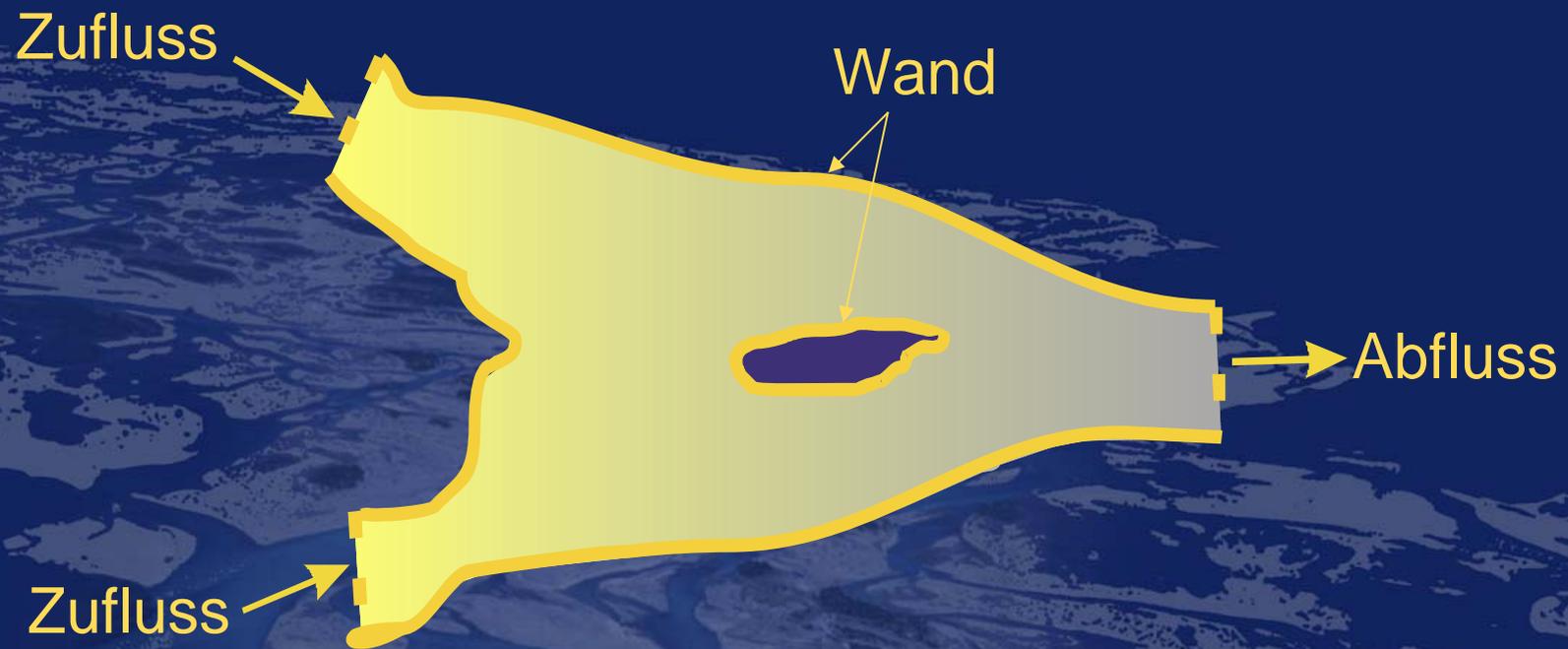
$$q_{B,i+1/2} = (\varphi_{up}) q_{B,L} + (1 - \varphi_{up}) q_{B,R} - 0.5 \alpha_s (\Delta z_{B,R} - \Delta z_{B,L})$$

$$\alpha_s = \alpha_c \cdot \max(V_{B,L}, V_{B,R})$$

$$V_B = 7.5 \left( \sqrt{\theta_g} - C_0 \sqrt{\theta_{cr,g}} \right) \sqrt{(s-1) g d_g}$$



## Randbedingung



Strömungstyp	Zufluss	Abfluss
Strömend ( $Fr < 1$ )	2	1
Schiessend ( $Fr > 1$ )	3	0



# *Programmfunktionen*

---

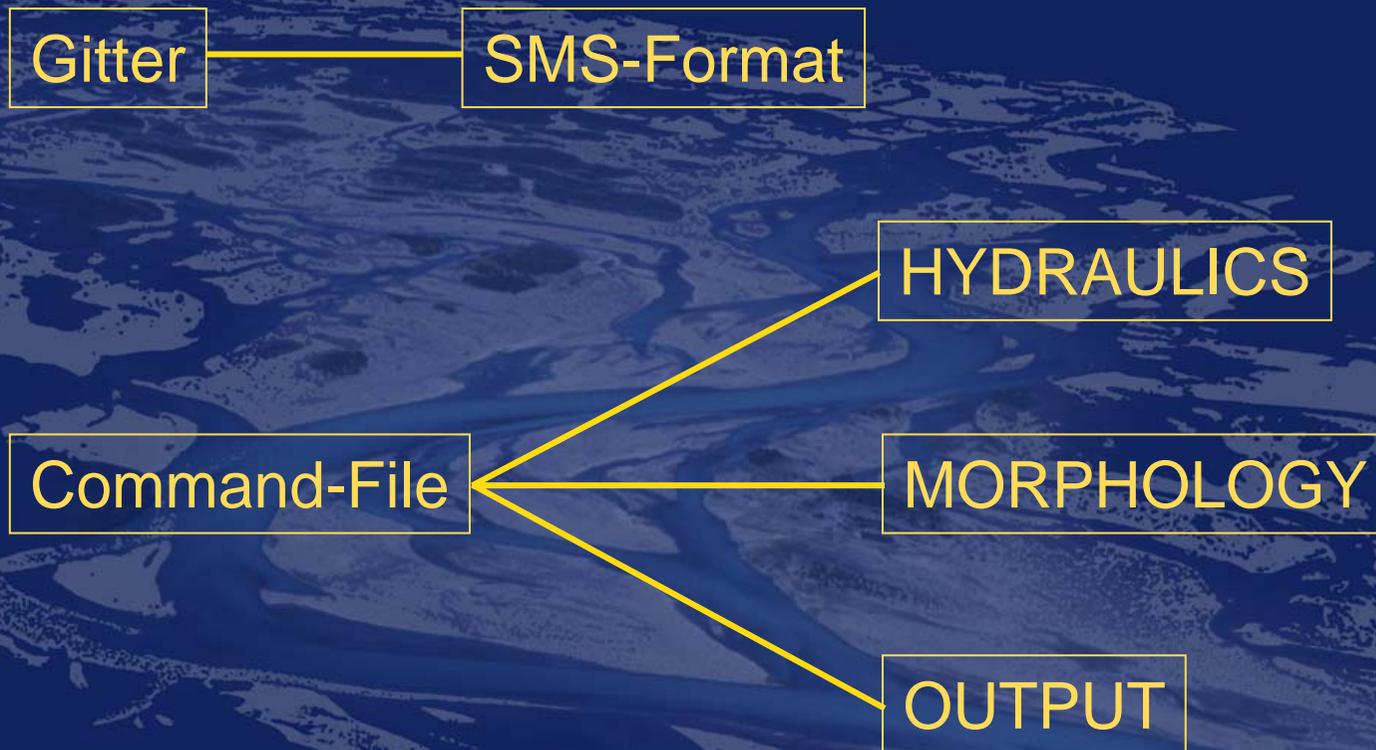
## Programmfunktionen

Hydraulische Berechnung

Morphologische Berechnung



# Input Datei





# *Input Datei*

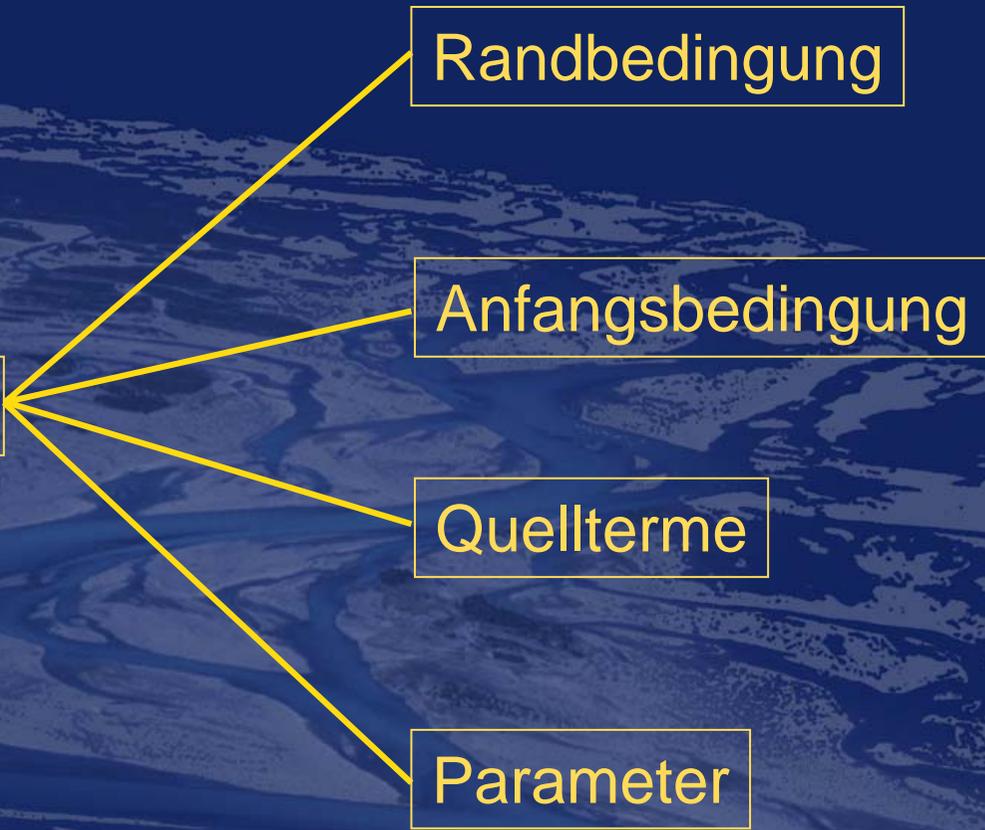
HYDRAULICS

Randbedingung

Anfangsbedingung

Quellterme

Parameter





# *Input Datei*

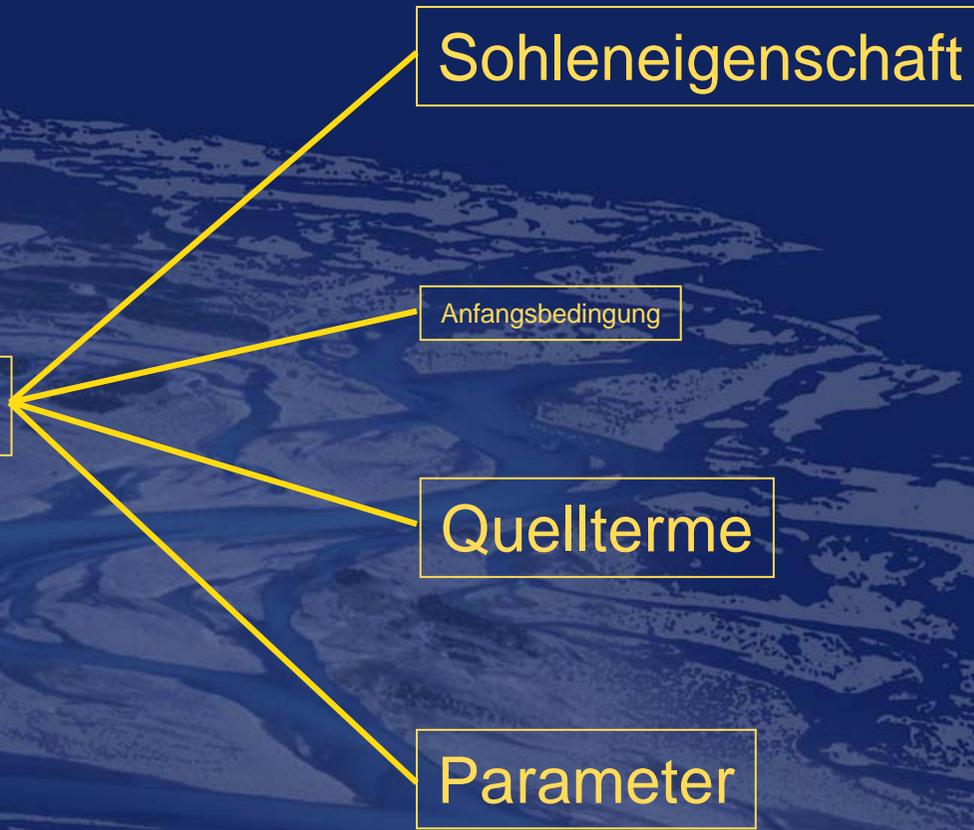
MORPHOLOGY

Sohleneigenschaft

Anfangsbedingung

Quellterme

Parameter





## ***Ausgabe Daten***

---

### **Allgemeine Ausgaben:**

**Wassertiefe**

▶ **scenario\_dpt.sol**

**Wasserspiegellage**

▶ **scenario\_wse.sol**

**Geschwindigkeiten**

▶ **scenario\_vel.sol**

**Sohlschubspannung**

▶ **scenario\_tao.sol**

**Sohlenlage**

▶ **scenario\_Zel.sol**



## ***Ausgabe Daten***

---

### **Spezifische Ausgaben:**

#### **Zeitlicher Verlauf von ausgewählten Elementen**

- ▶ **Scenario\_ElemNum\_thnd.out**

#### **Abfluss durch ausgewählten Abschnitt**

- ▶ **scenario\_Cross.out**

#### **Kontrollausgabe von ausgewählten Elementen**

- ▶ **scenario\_ElemNum\_HydControl.out**

#### **Kornverteilung von ausgewählten Elementen**

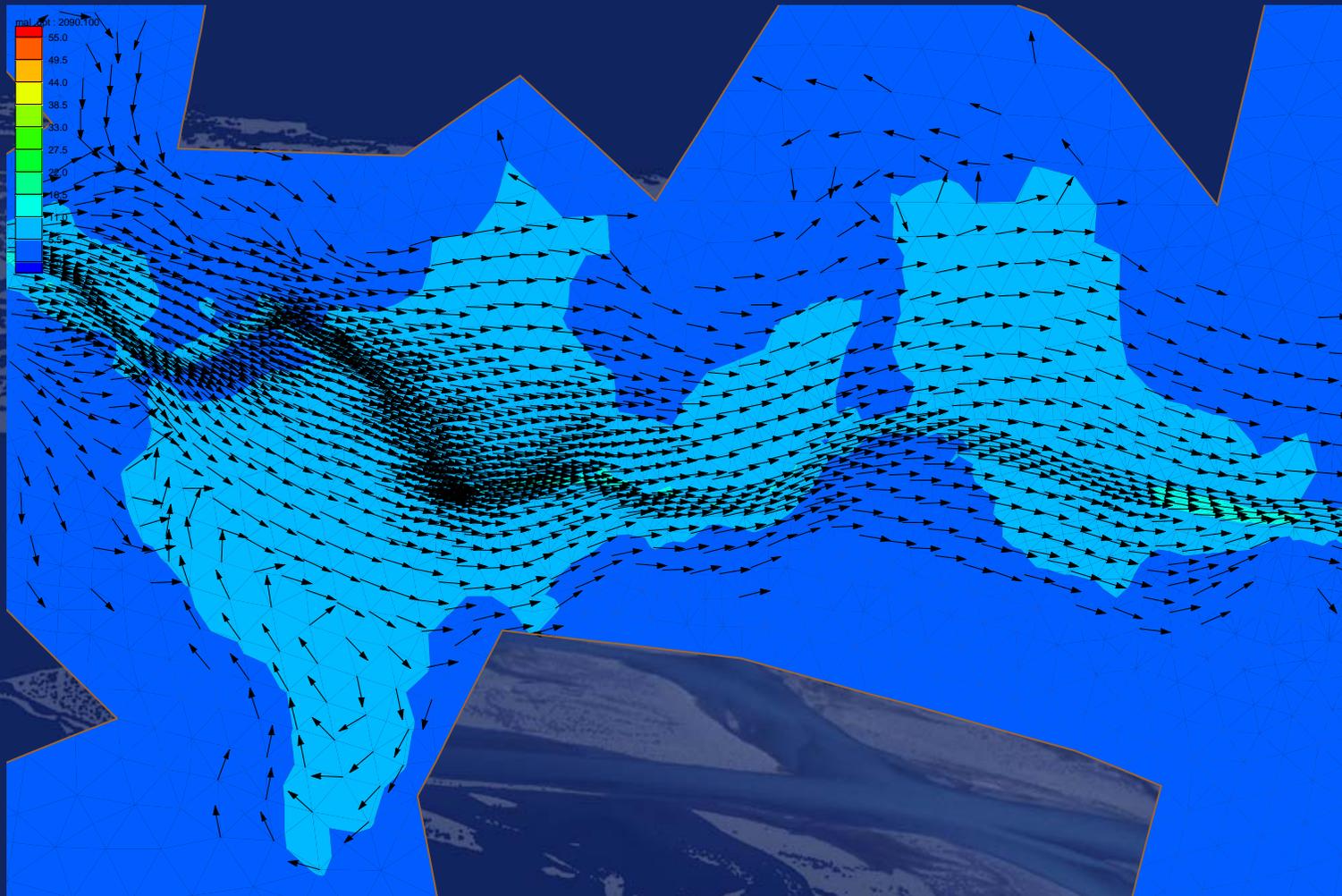
- ▶ **scenario\_ElemNum\_Sed\_GrSize.out**

#### **Geschiebetransport von ausgewählten Elementen**

- ▶ **scenario\_ElemNum\_Sed\_GrBedLoad.out**

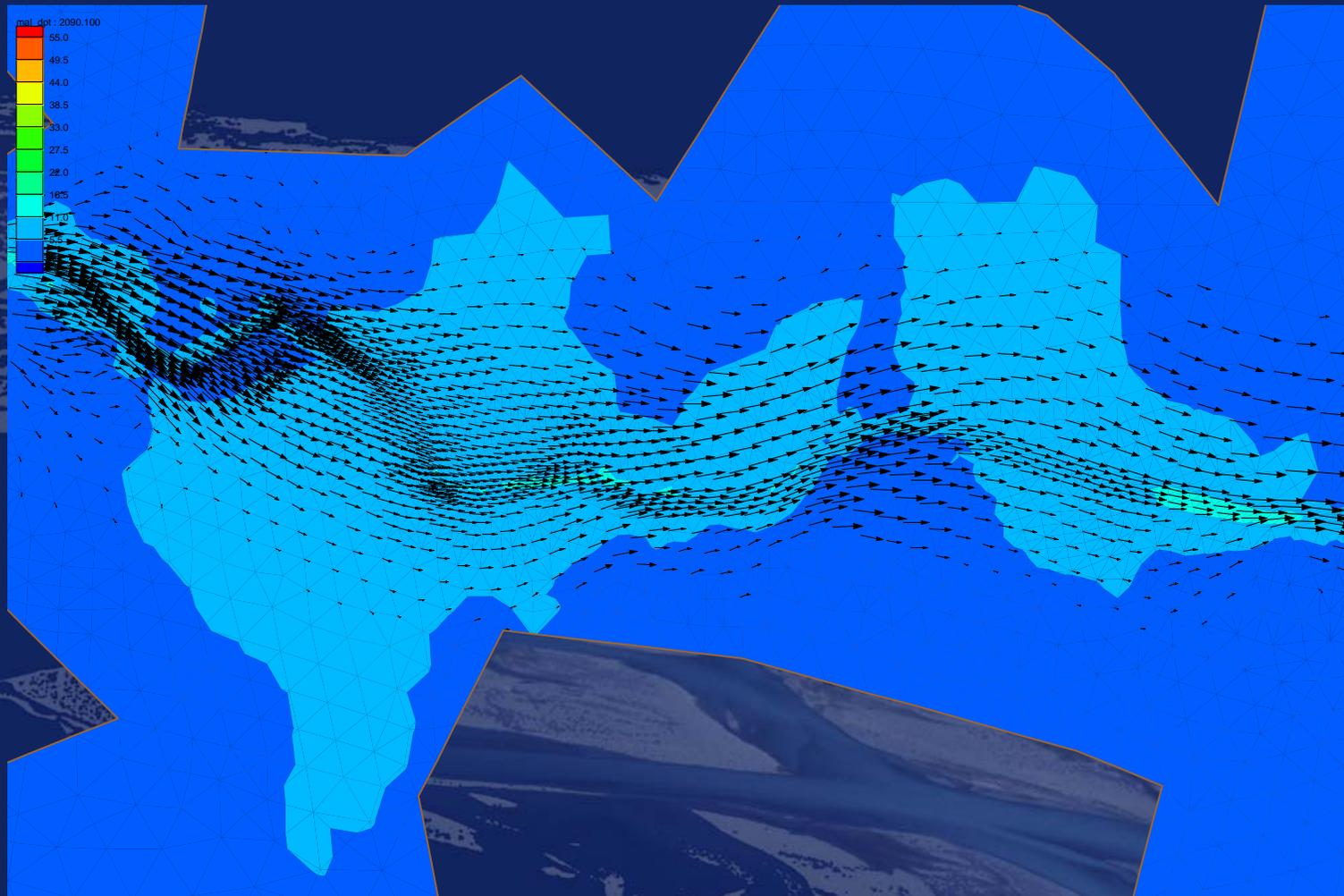


# Ausgabe Daten





# Ausgabe Daten





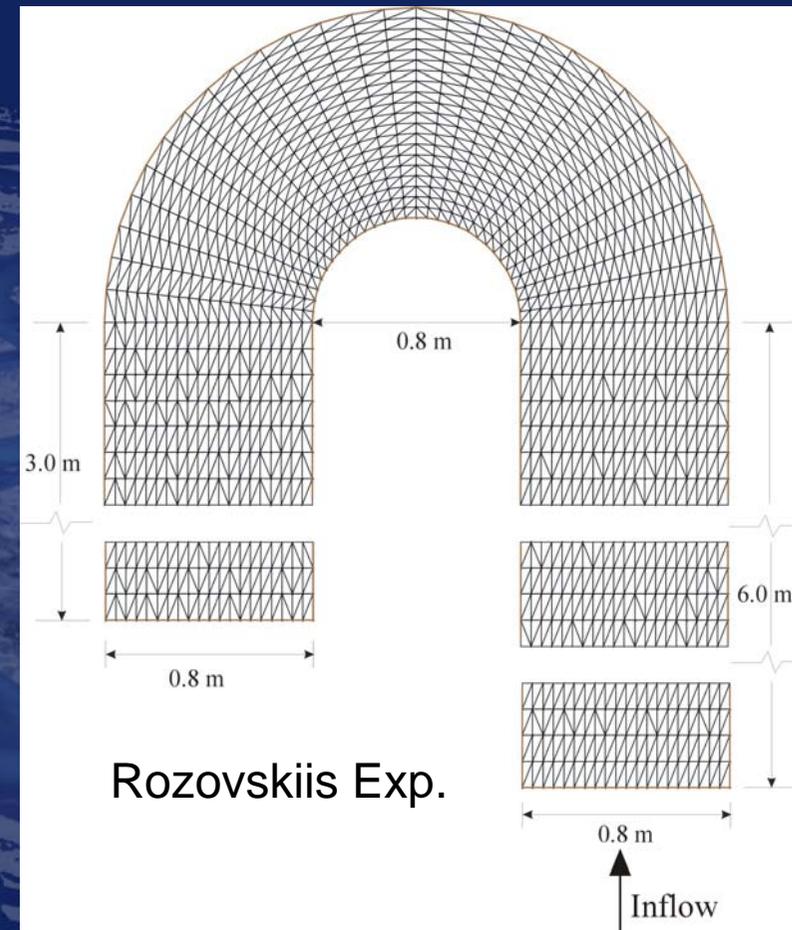
## Hydraulische Berechnung

2D instationäre Strömungen

Annahmen der FWG

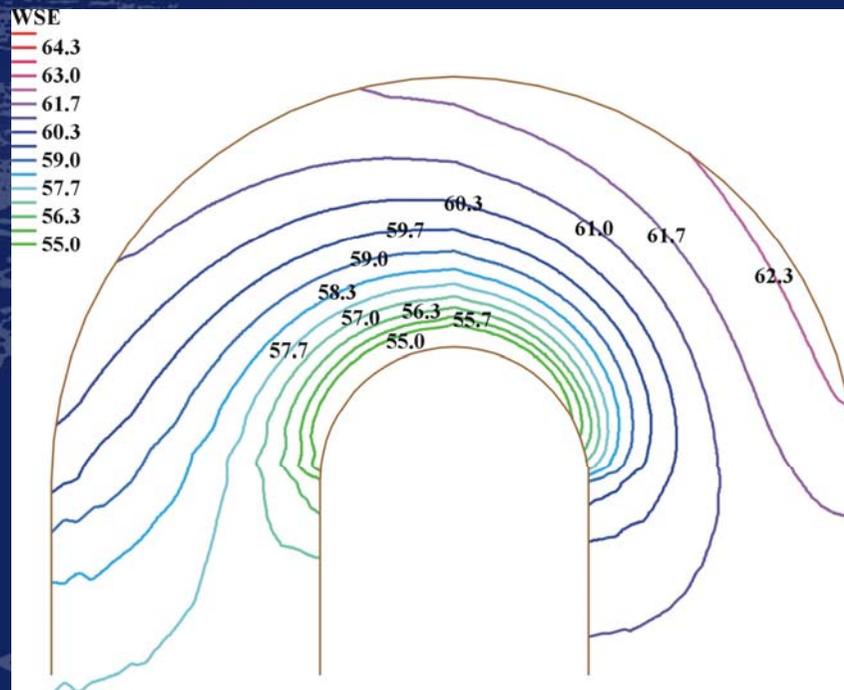
Vernachlässigung der vertikalen Beschleunigung

Sekundärströmungen sind grundsätzlich nicht berücksichtigt.

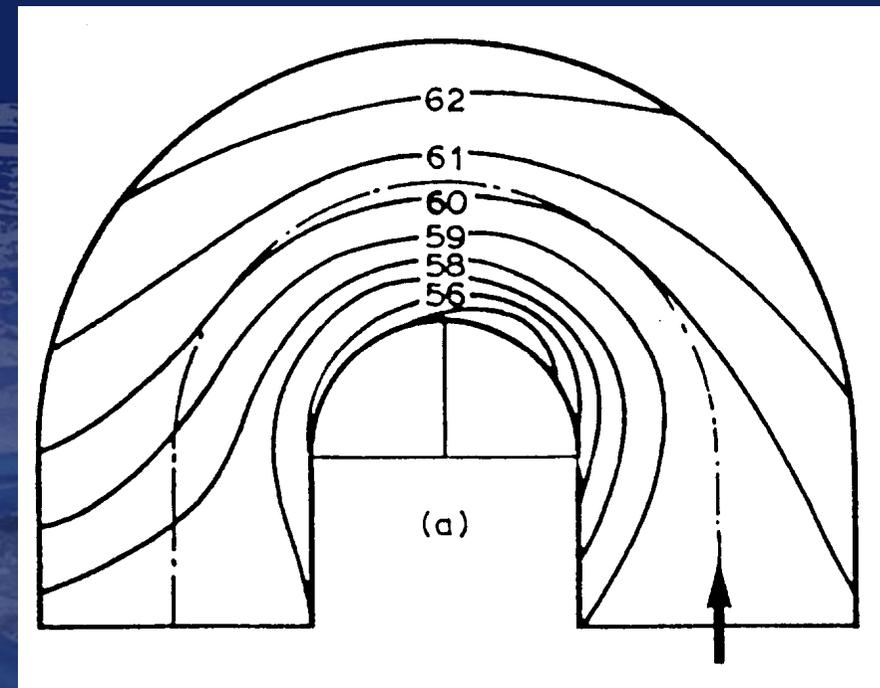




# Hydraulische Berechnung



2D-Berechnung mit dem Modell



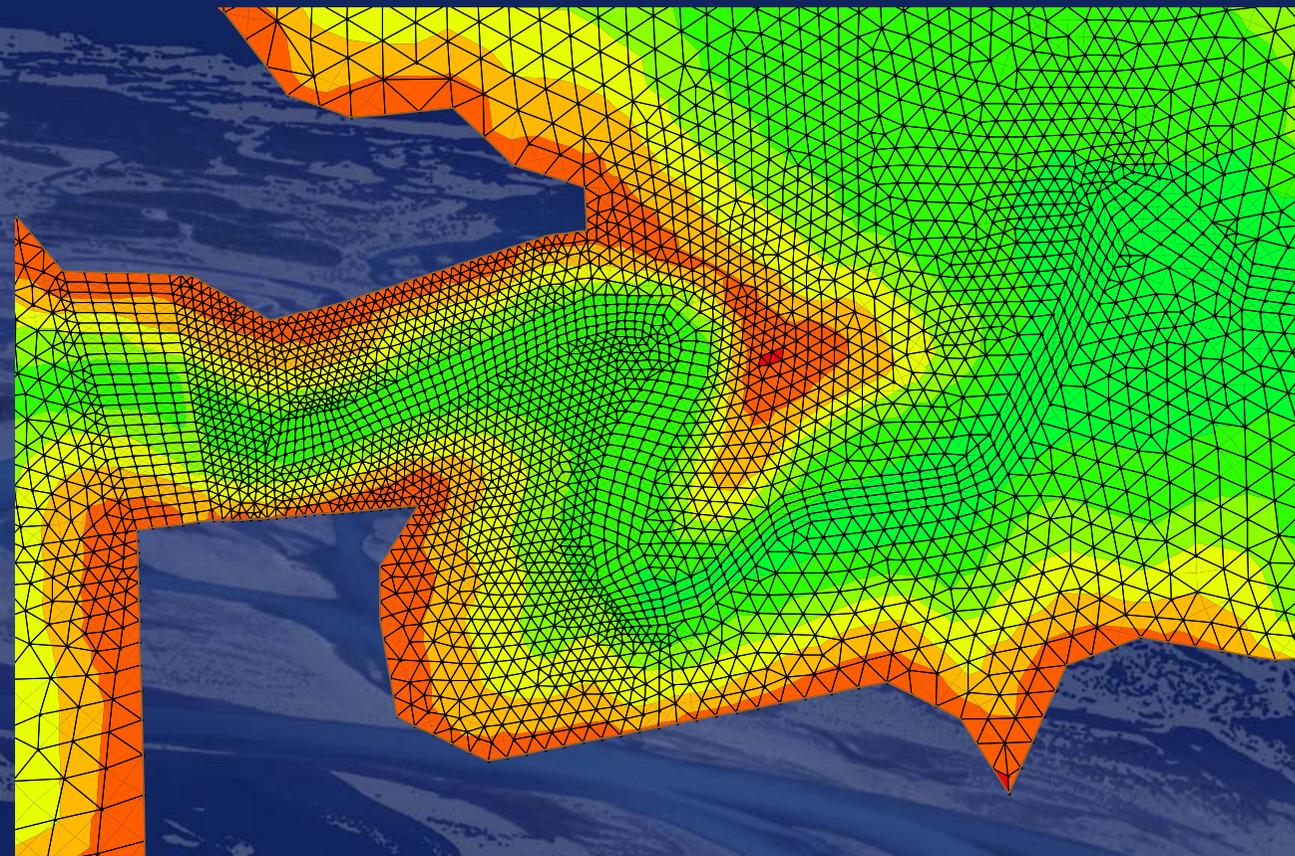
Messung (Rozovskii, 1957)



# Hydraulische Berechnung

## Unstrukturiertes Gitter

Hybrides Gitter  
(Drei- und  
Viereckzellen)





## Hydraulische Berechnung

### Unstrukturiertes Gitter

„Nicht jedes Gitter ist ein gutes Gitter!“

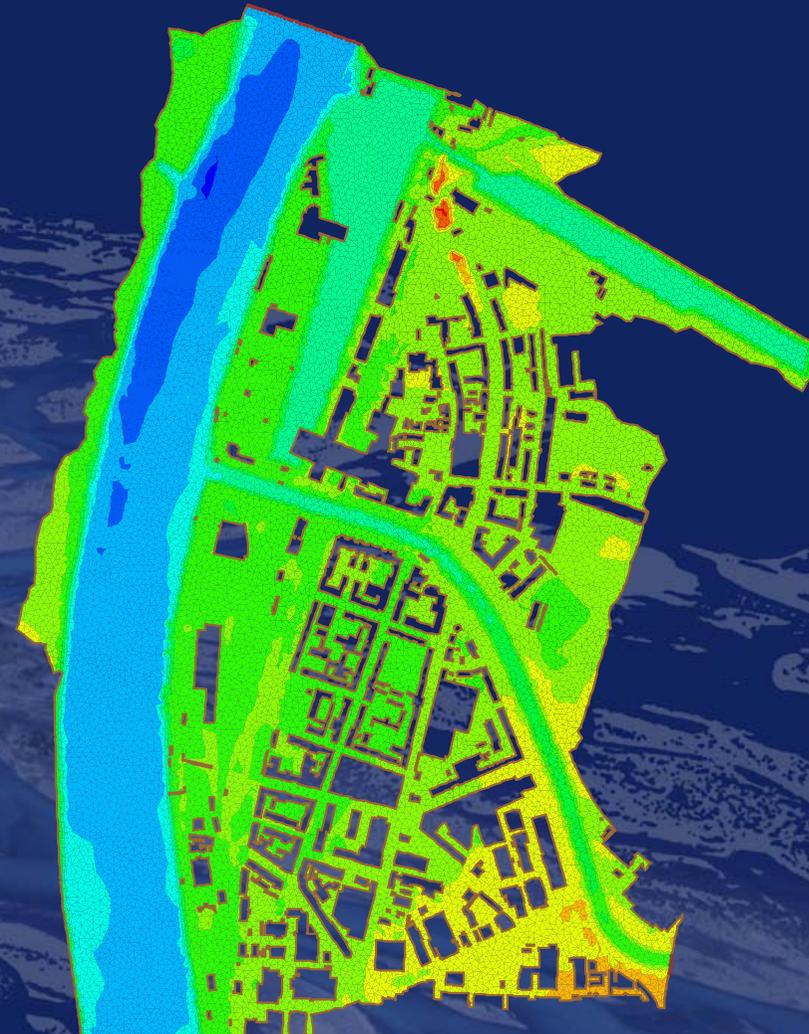
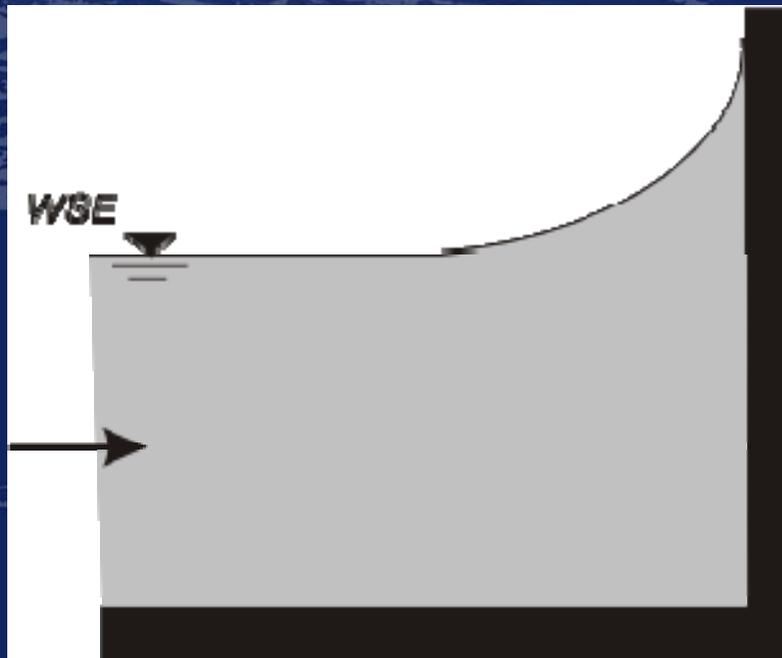




# Hydraulische Berechnung

Randbedingungen:

Wand

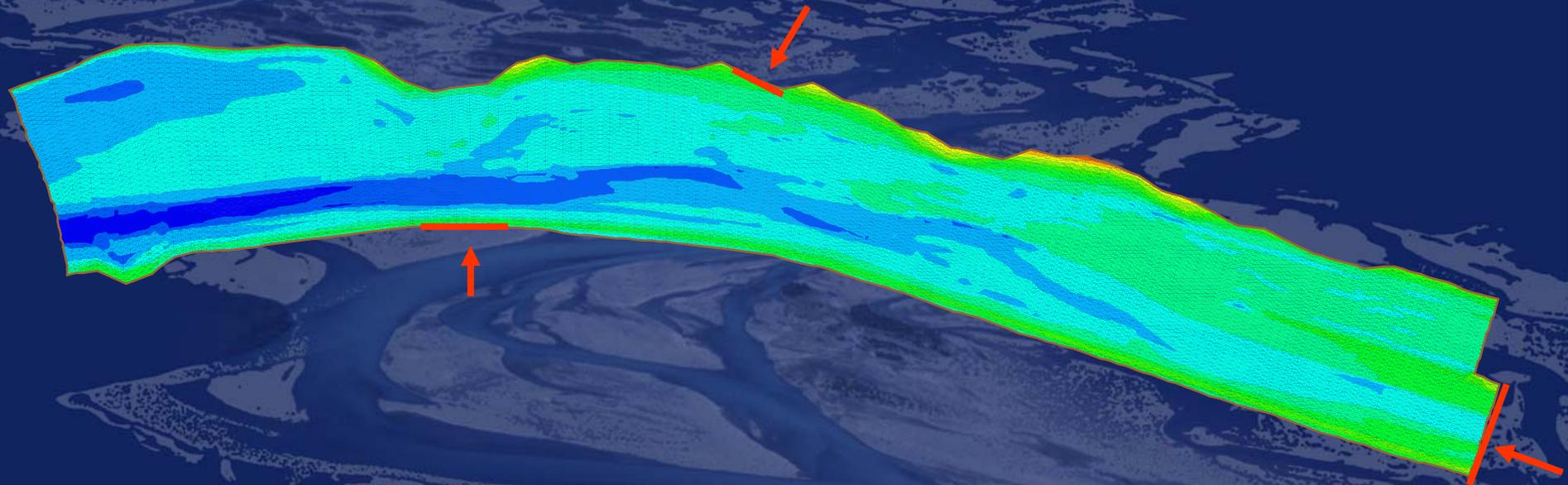




# Hydraulische Berechnung

Randbedingungen:

Zufluss

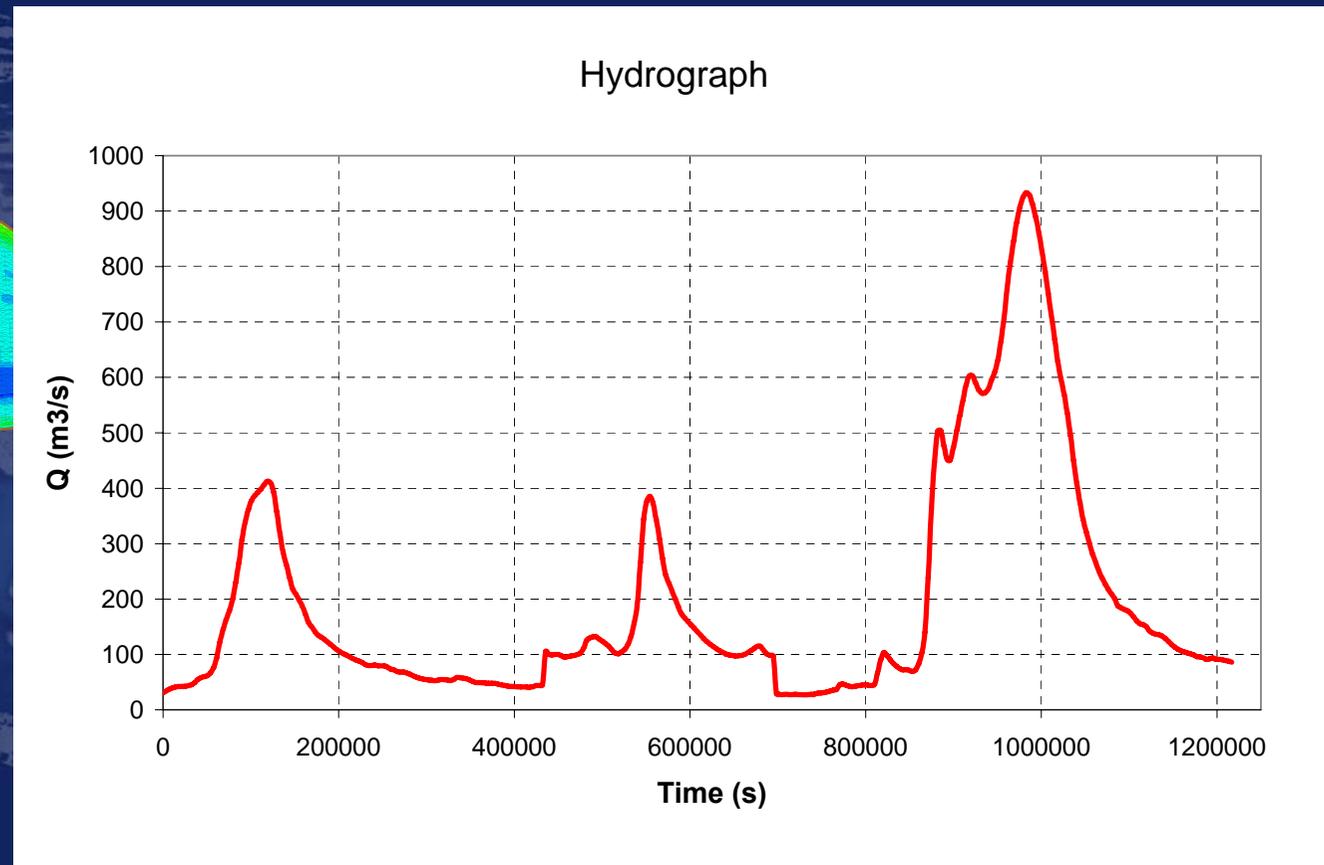
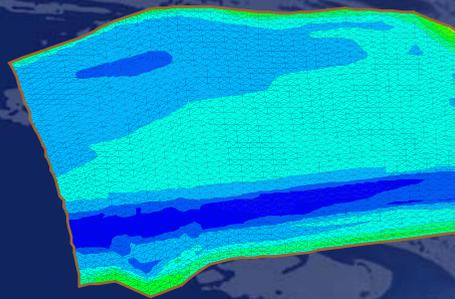




# Hydraulische Berechnung

## Randbedingungen:

### Zufluss

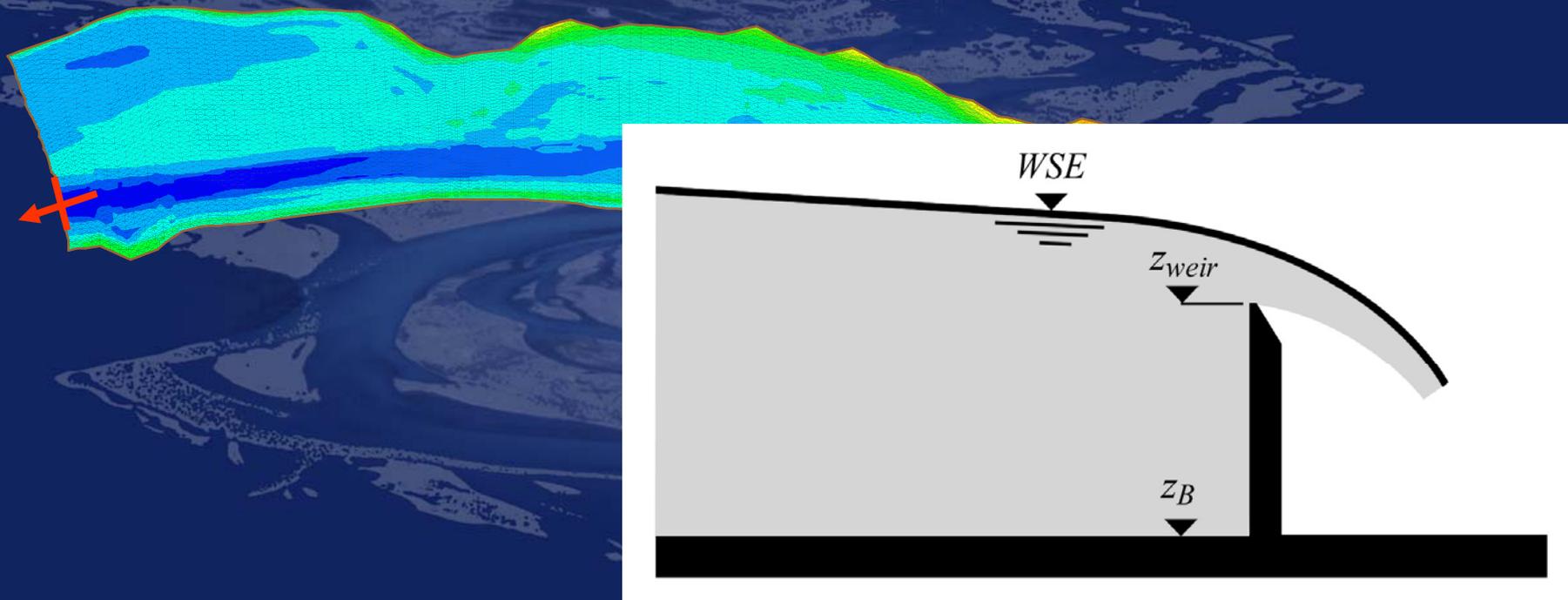




# Hydraulische Berechnung

Randbedingungen:

Abfluss 1) Überfall – Wehr

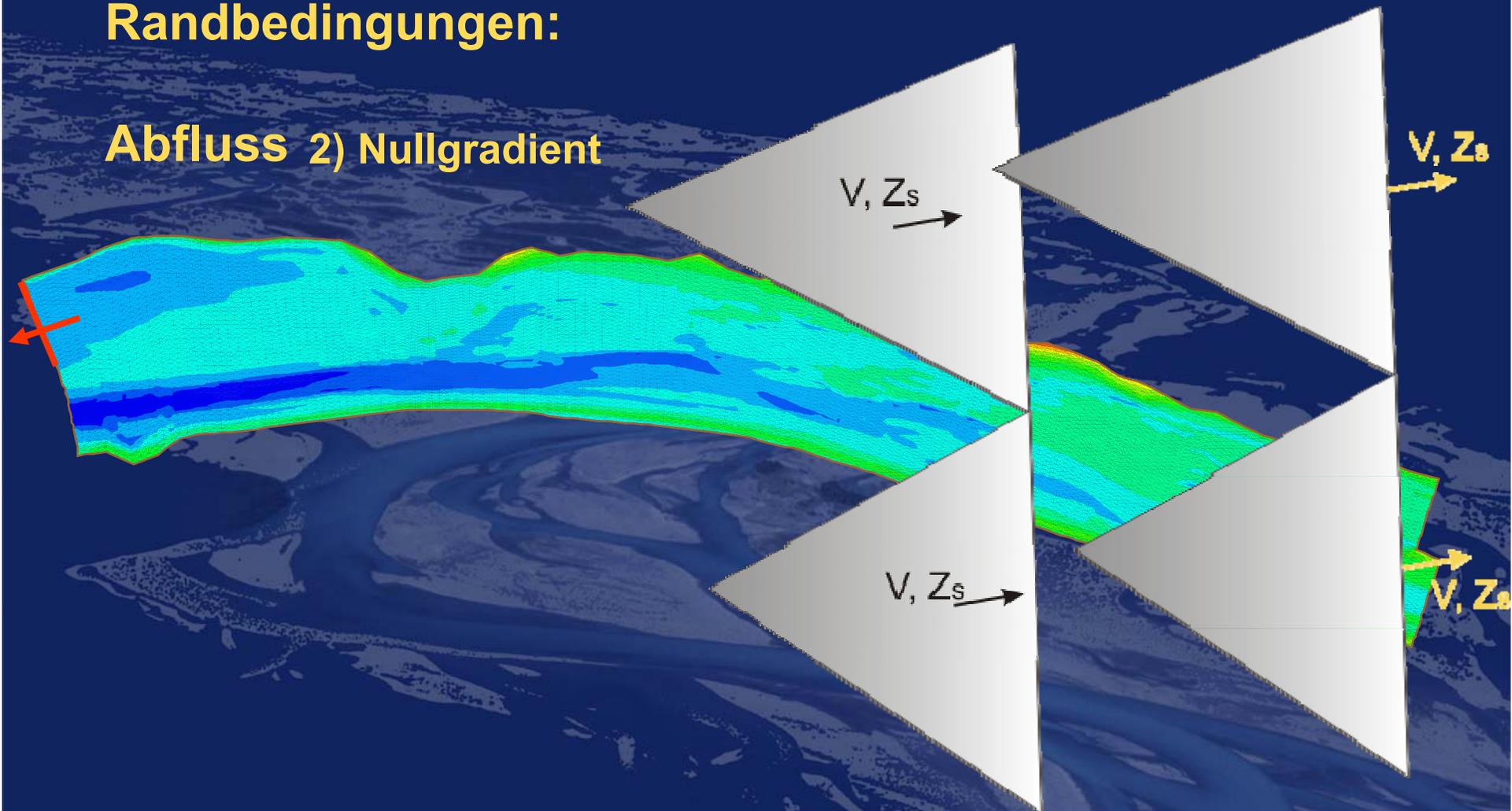




## Hydraulische Berechnung

Randbedingungen:

Abfluss 2) Nullgradient





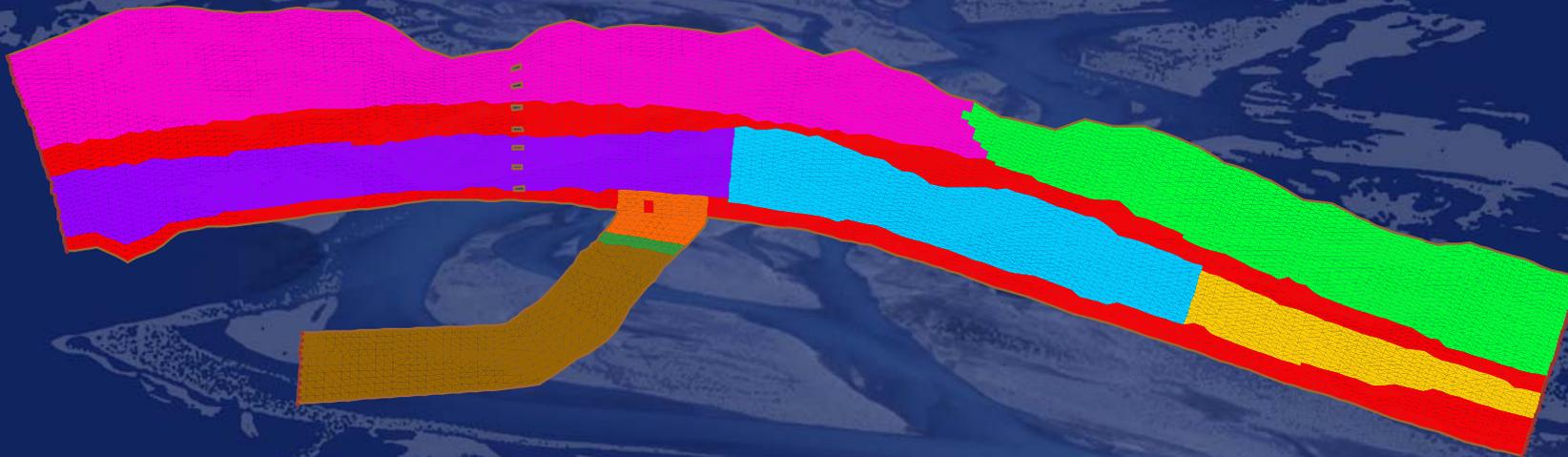
# Hydraulische Berechnung

## Sohlenbeschaffenheit

## Rauheit – Mannings Formel

$$S_f = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

material 01  
material 02  
material 03  
material 04  
material 05  
material 06  
material 07  
material 08  
material 09





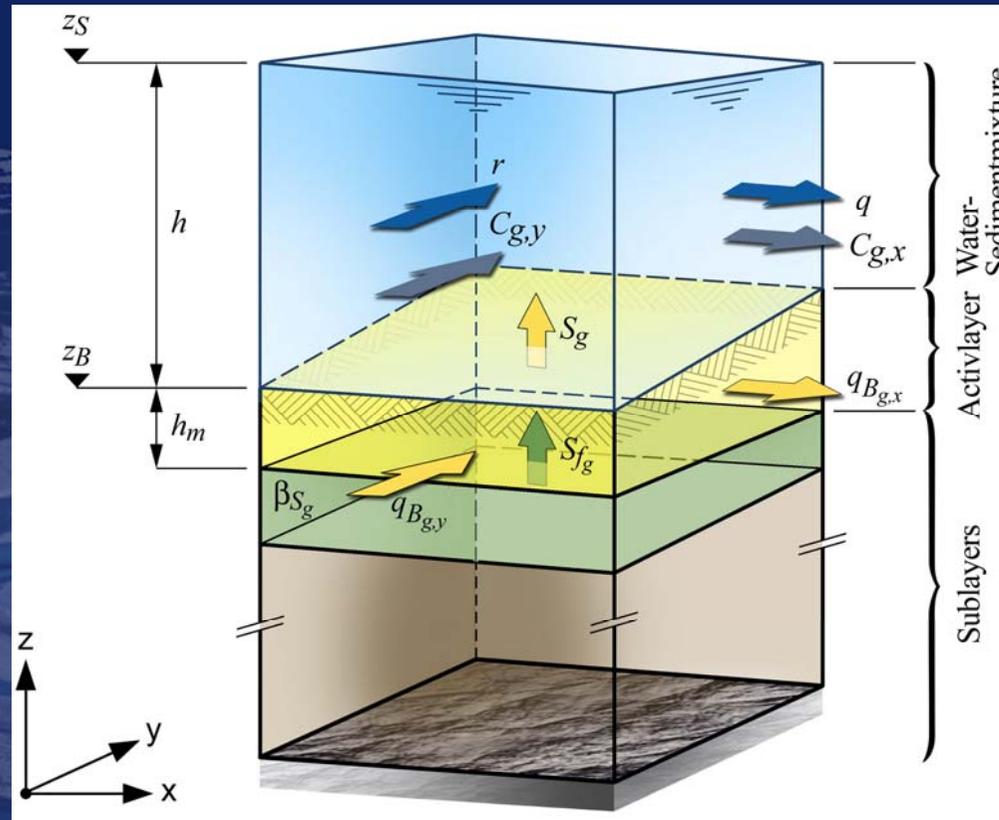
# Morphologische Berechnung

**Geschiebetransport**

**Mehrschichtmodell mit  
einem Aktivschicht**

**Ein- und  
Mehrkornmodell**

**Deckschicht und  
Sortierungsprozess**



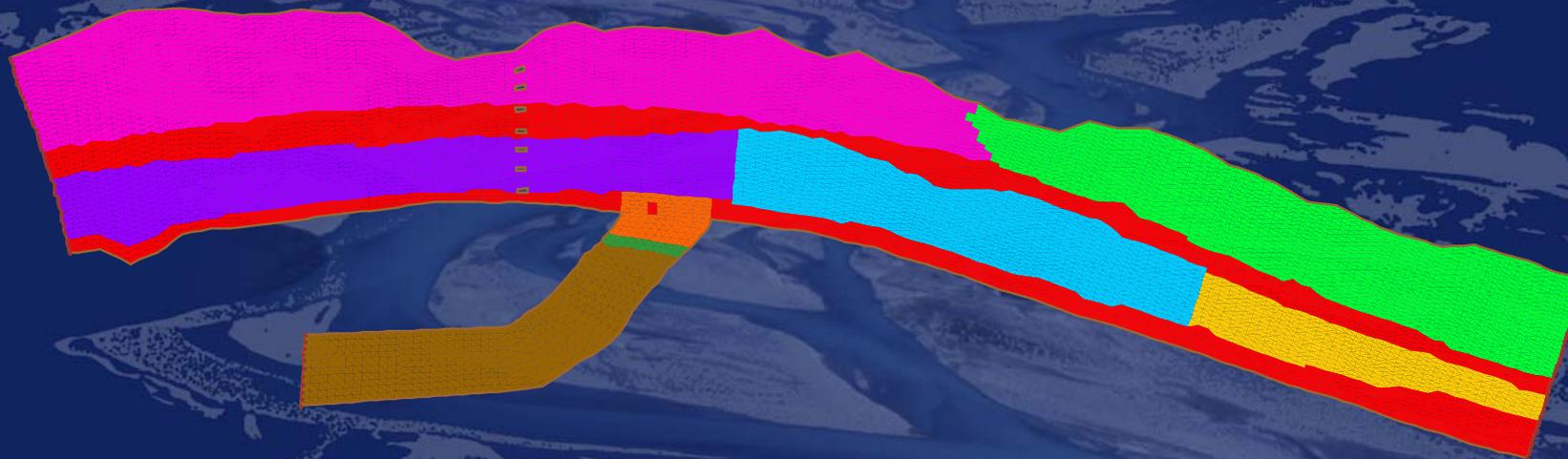


# *Morphologische Berechnung*

**Sohlenbeschaffenheit**

**Sedimenteigenschaft**

material 01  
material 02  
material 03  
material 04  
material 05  
material 06  
material 07  
material 08  
material 09

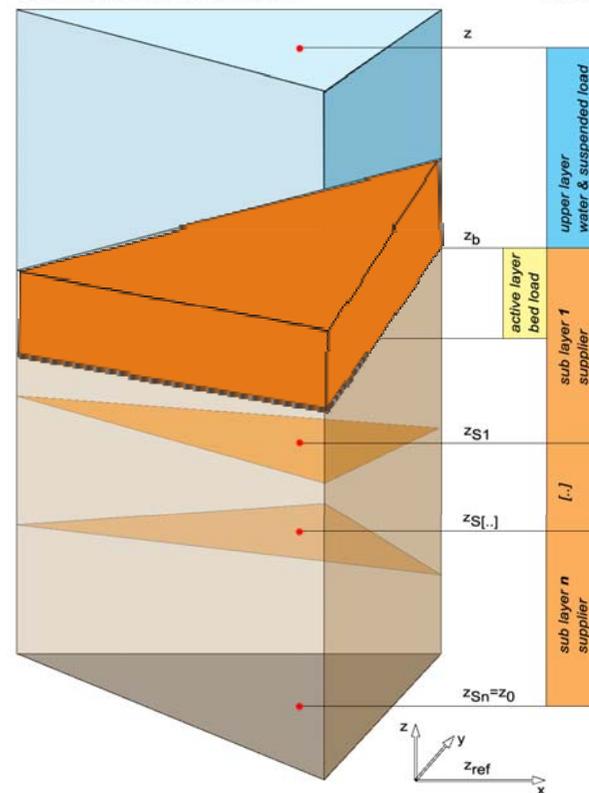




## Morphologische Berechnung

### Mehrkorn- und Mehrschichtmodell

Vertikaler Aufbau einer Berechnungszelle



Idealisierung anhand gemittelter Kennwerte

Wasserspiegellage

$k_s$  äquivalente Sandrauheit, Oberflächenbeschaffenheit

$\tau_{b,crit,surface}$  kritische Sohlschubspannung, Oberflächenbeschaffenheit

Sohlkote

$\beta_{k,a}$  granulometrische Zusammensetzung des Materials in Austauschschicht (Ausgangs-Zusammensetzung  $\beta_{k,S1}$ )

$\beta_{k,S1}$  granulometrische Zusammensetzung des Materials in Unterschicht S1

UK Unterschicht S1

$\beta_{k,S[.]}$  granulometrische Zusammensetzung des Materials in Unterschicht S[.]

UK Unterschicht S[.]

$\beta_{k,Sn}$  granulometrische Zusammensetzung des Materials in Unterschicht Sn

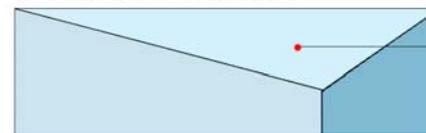
UK Unterschicht Sn = OK Fels (nicht erodierbarer Untergrund)



# Morphologische Berechnung

## Mehrkorn- und Mehrschichtmodell

Vertikaler Aufbau einer Berechnungszelle



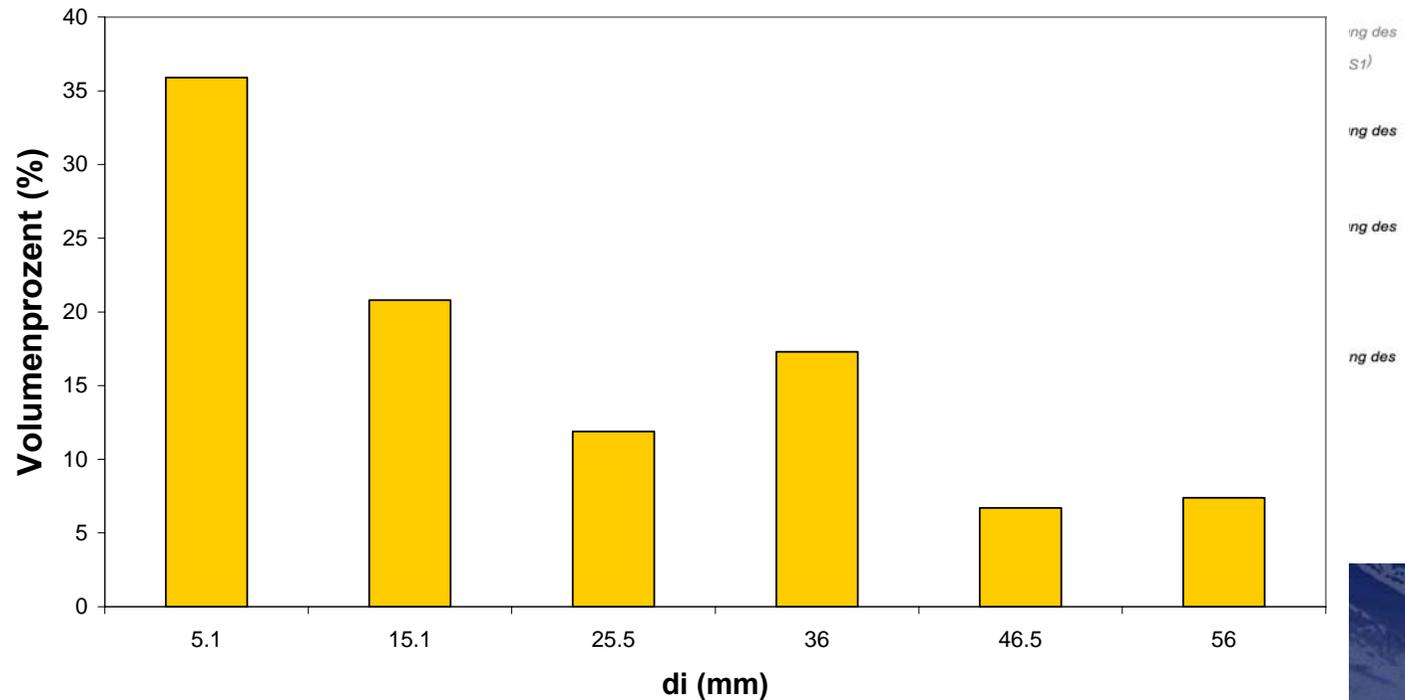
Idealisierung anhand gemittelter Kennwerte



Wasserspiegellage

$k_s$  äquivalente Sandrauheit, Oberflächenbeschaffenheit

**Kornverteilung**





# Morphologische Berechnung

Zwei-Korn-modell (im Falle Ein-Korn-Berechnung)

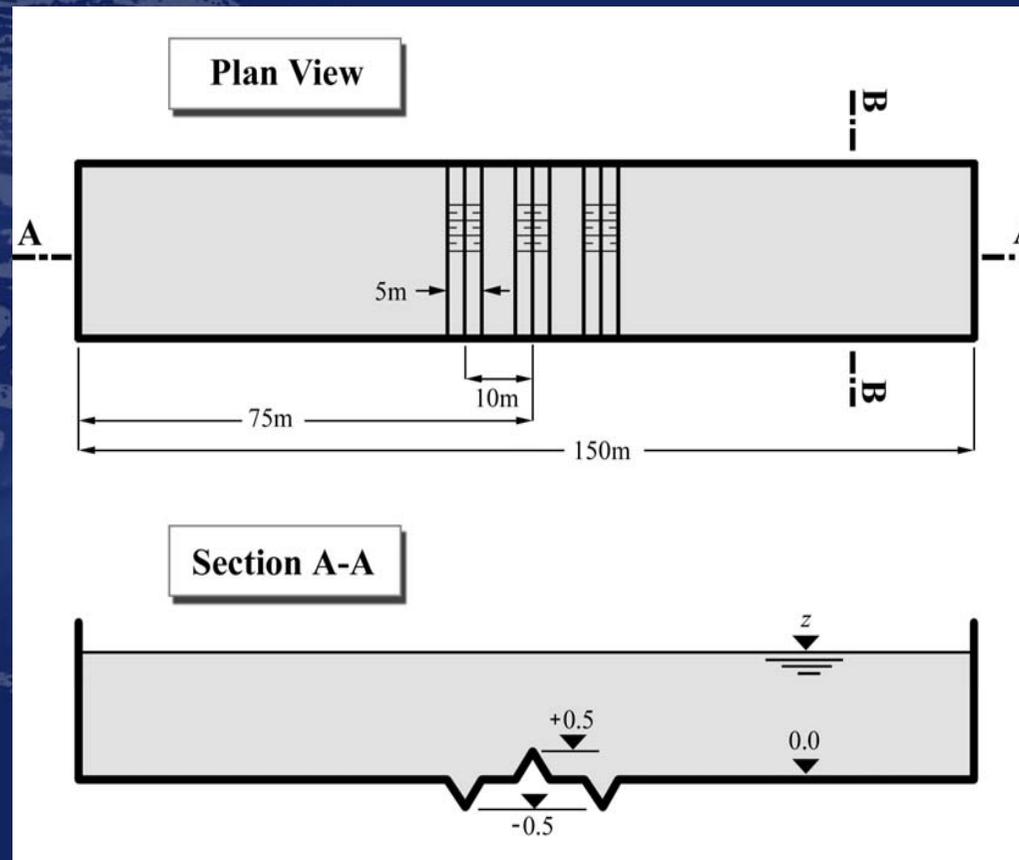
$d_{\text{armoured}}$

$d_m$



# Hydraulische Berechnung

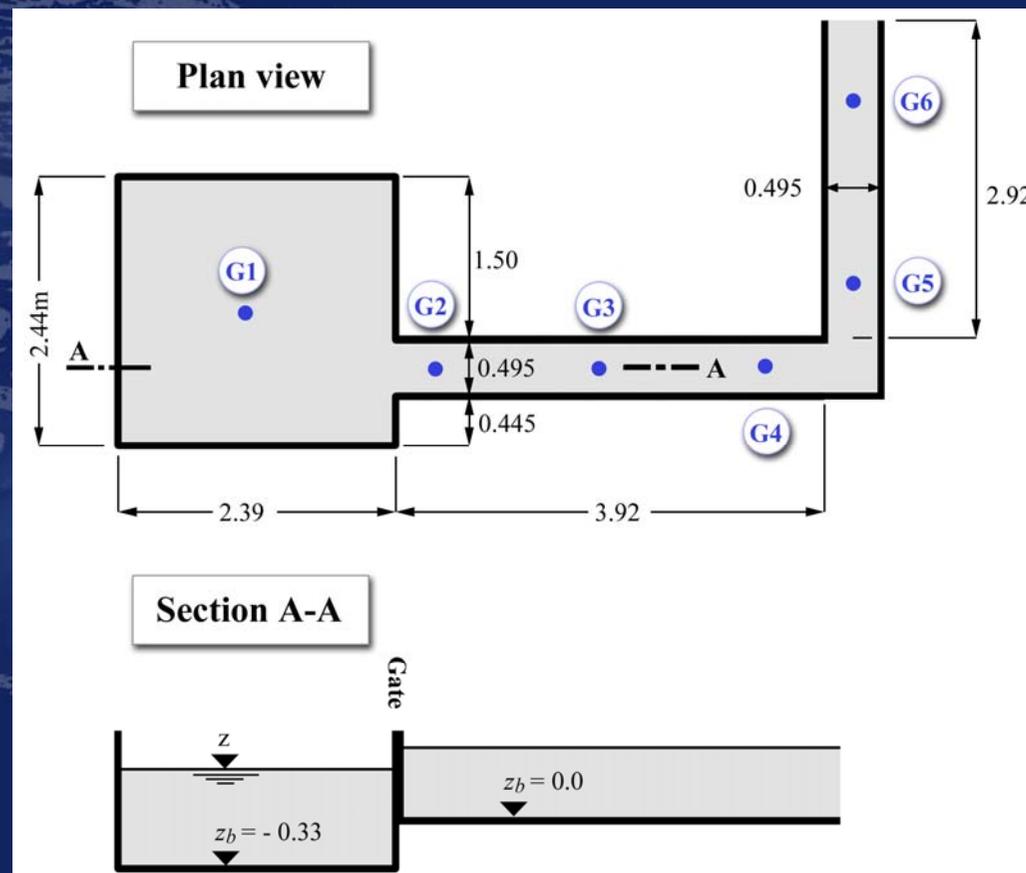
## Testfall 1 – Becken mit unebener Sohle





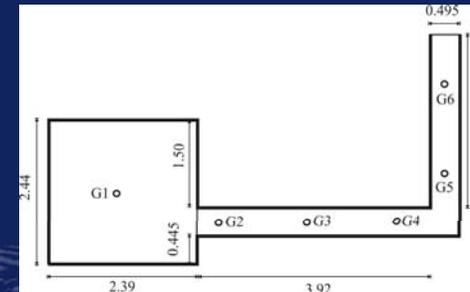
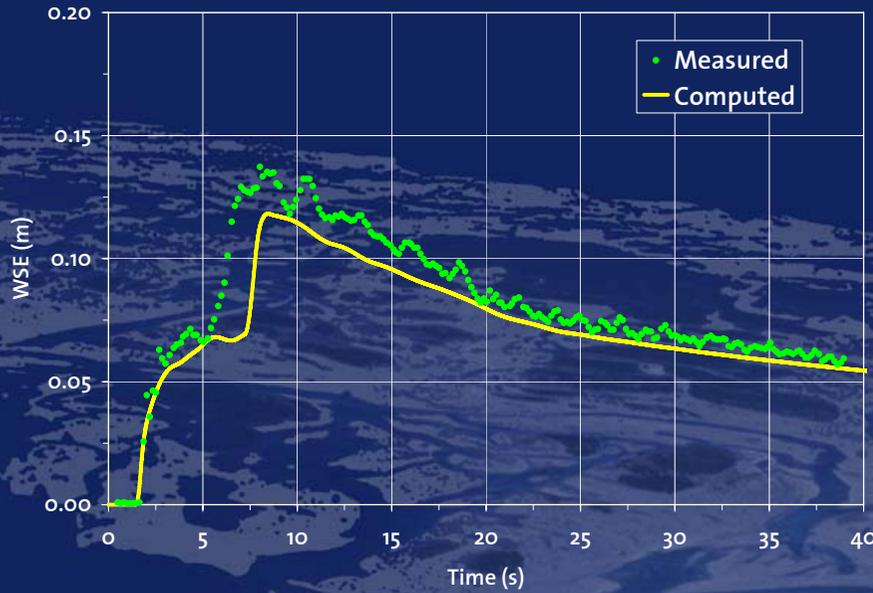
# Hydraulische Berechnung

**Testfall 2 – Dambruch in einer 90° Rinne**  
 (Soares et al., UCL, Belgium - 1999)

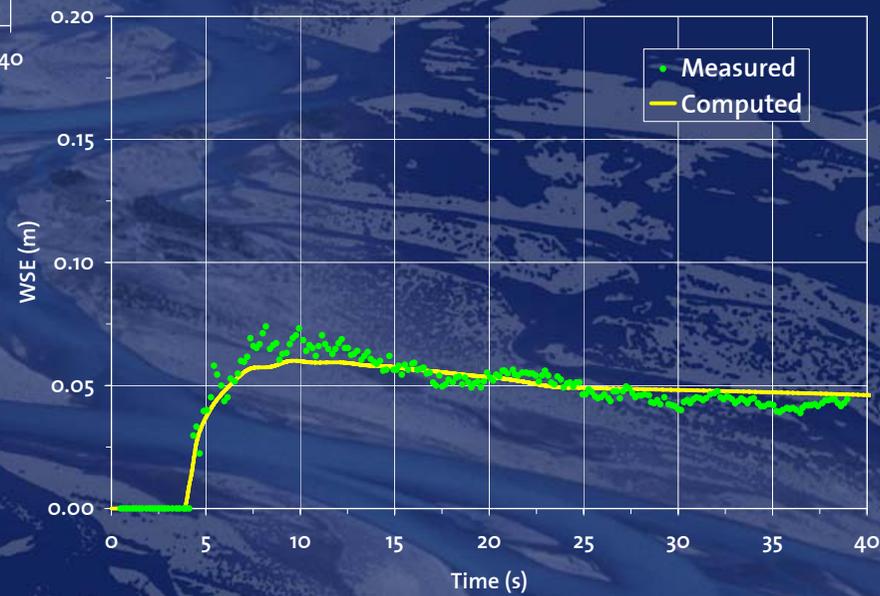




# Hydraulische Berechnung



**G6**

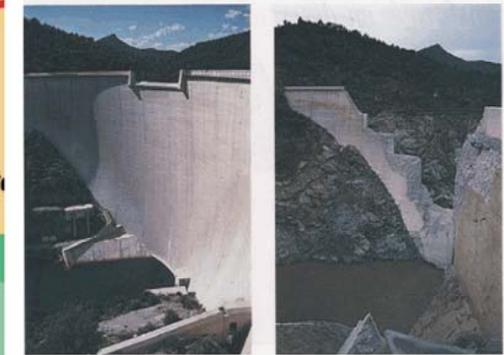




## Hydraulische Berechnung

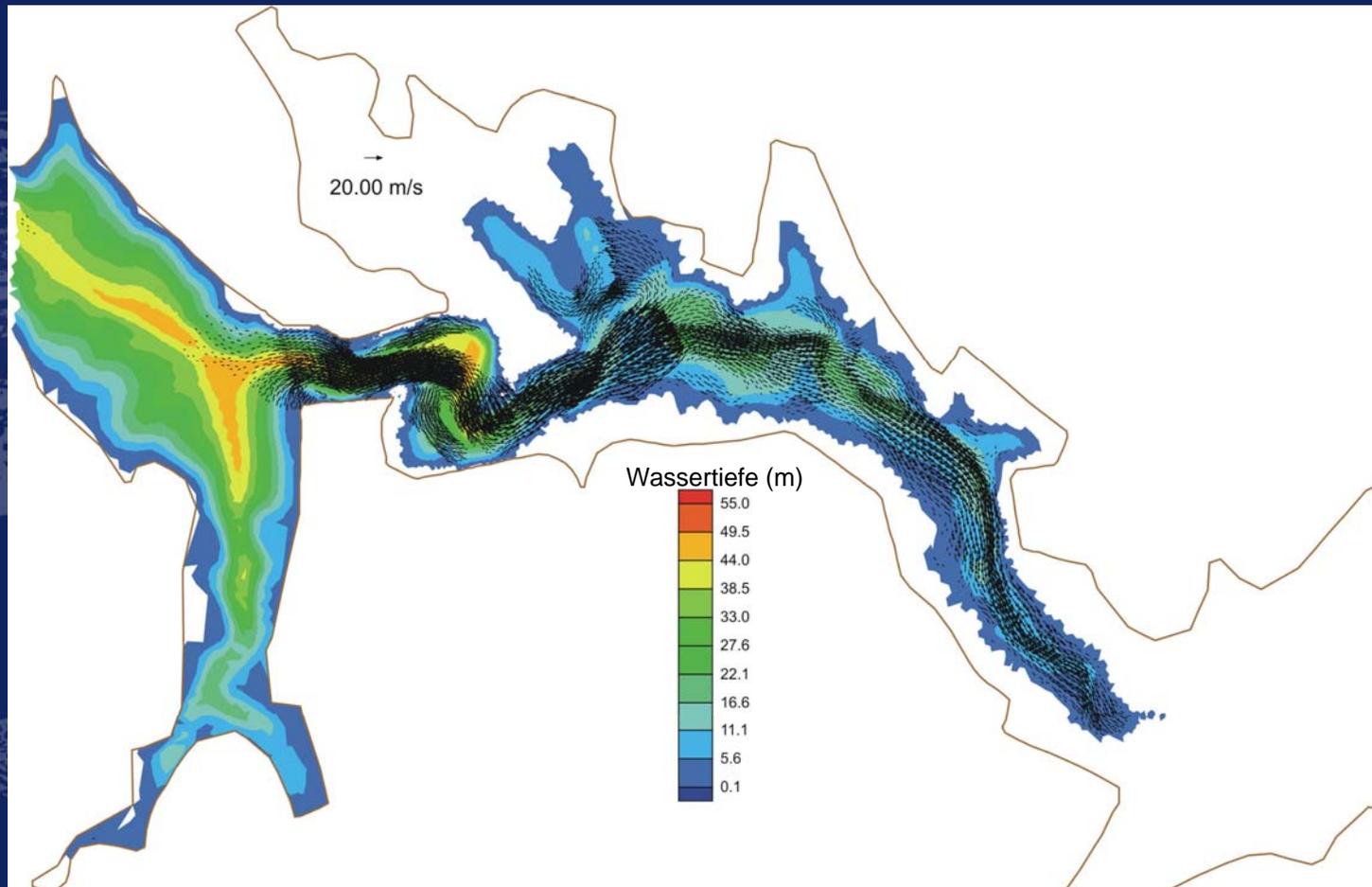
### Testfall 3 – Malpasset Dambruch

- . Frankreich, 12 km flussaufwärts von Frejus
- . Doppelbogenmauer mit der Höhe von 66.5 meter
- . Plötzlicher Bruch um 21:14 am 02.12.1959
- . 443 Tote





# Hydraulische Berechnung



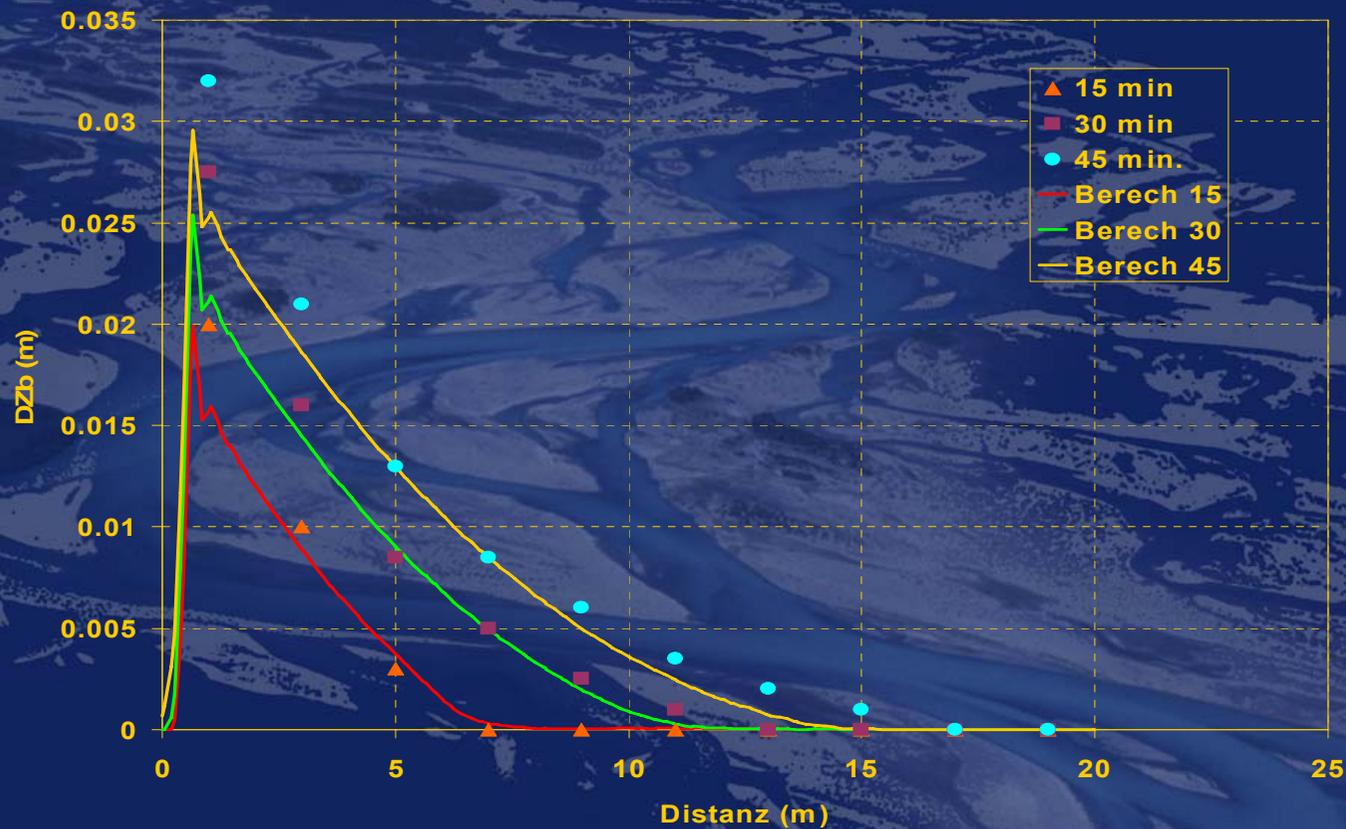
Wassertiefekonturen und Geschwindigkeitsvektoren nach 300 s



# Morphologische Berechnung

## Testfall 1 – Sonis Experiment

Sedimentzugabe führt zur Auflandung

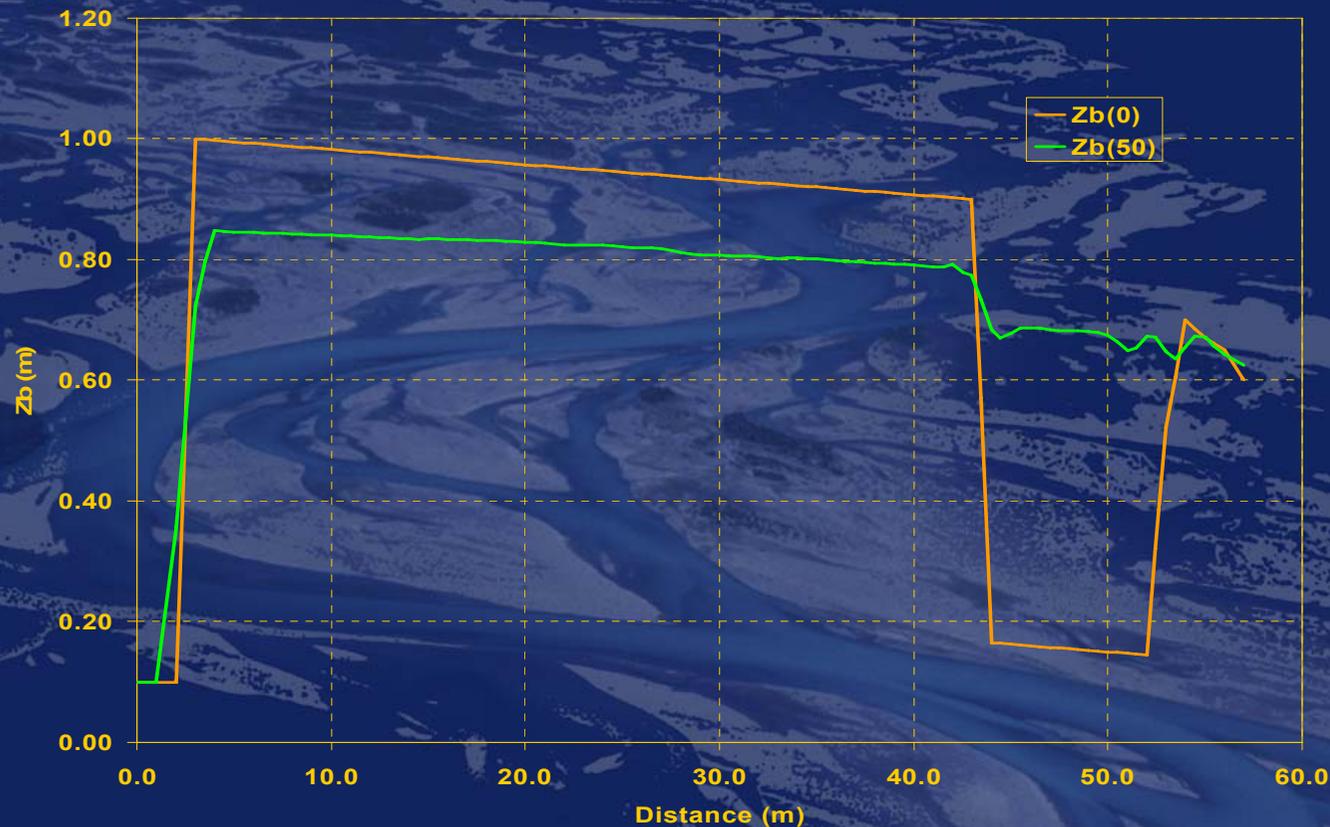




# Morphologische Berechnung

## Testfall 2 – Guenters Experiment

### Deckschichtbildung in einer Rinne





## ***Zusammenfassung***

---

**Mathematische und numerische Grundlagen des SUB-SYSTEMs BASEplane**

**Systemfunktionen und Berechnungsmöglichkeiten**

**Einige Ergebnisse der Funktionen**



***Danke Für Ihre Aufmerksamkeit!***

---

***Davood Farshi***  
***farshi@vaw.baug.ethz.ch***

