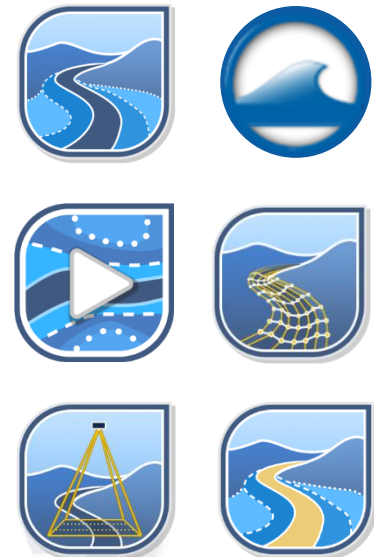


Methodenwissen – Modellierung von speziellen Abflusssituationen und Grenzen der 2D-Modellierung

Dr. rer. nat. Eva Loch



- ▶ Zeitschrittverfahren: 1step vs. 2step
- ▶ Flusskrümmung – Wasserspiegelquerneigung
- ▶ (Sohl-)Neigung - Deiche
- ▶ Steile und senkrechte Wände

1step

- ▶ Explizites Euler-Verfahren
- ▶ Genauigkeit erster Ordnung
 - ▶ Fehler $\sim \Delta t$
- ▶ Aufwand geringer
- ▶ Ergebnisse ungenauer
- ▶ **Für viele Anwendungen geeignet**
 - ▶ Stationäre Berechnung
 - ▶ Flacher Wellenverlauf
 - ▶ Großräumige Betrachtung/lokale Ungenauigkeiten vernachlässigbar
 - ▶ Flache Gewässer
 - ▶ Längere Simulationszeiträume
 - ▶ Große Fließtiefe
 - ▶ Gitter in Strömungsrichtung ausrichten

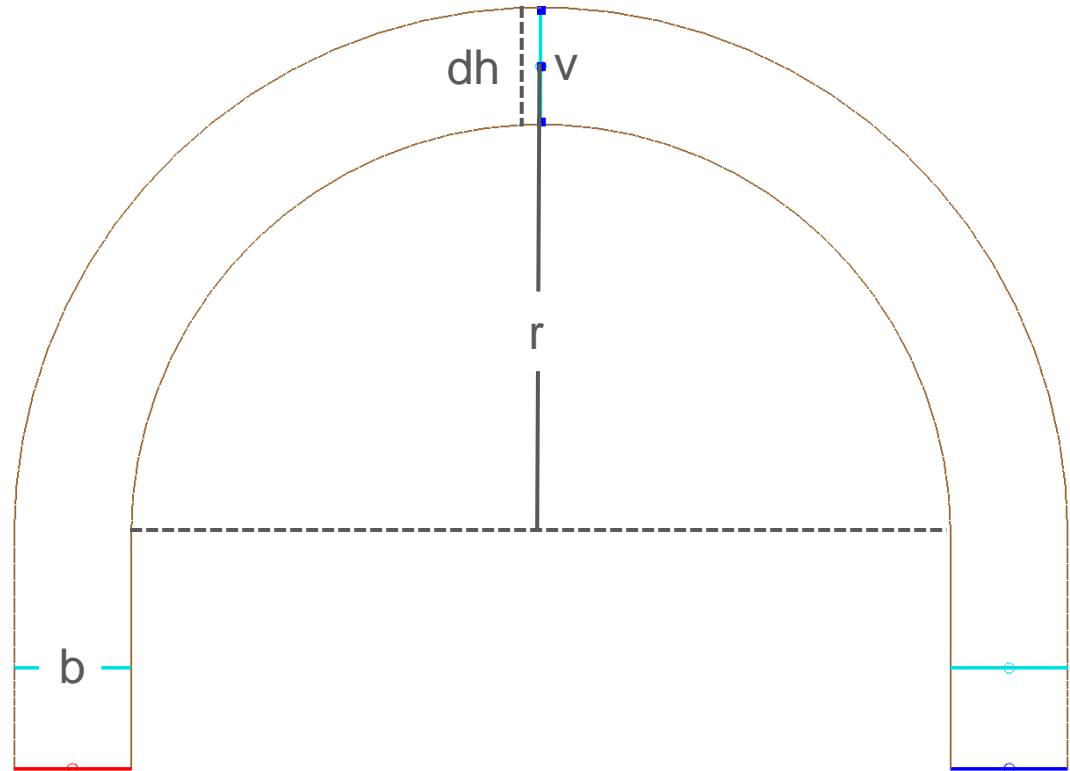
2step

- ▶ Methode von Heun
- ▶ Genauigkeit zweiter Ordnung
 - ▶ Fehler $\sim \Delta t^2$
- ▶ Aufwand höher
- ▶ Ergebnisse genauer
- ▶ **Für einige Anwendungen empfohlen**
 - ▶ Stark instationäre Vorgänge
 - ▶ Dammbbruch/steile Wellenfront
 - ▶ Lokale Betrachtung
 - ▶ Steiles Gelände
 - ▶ Kurze Simulationszeiträume
 - ▶ Kleine Fließtiefe
 - ▶ Gitter nicht in Strömungsrichtung ausgerichtet, Raster, Fließwege unbekannt

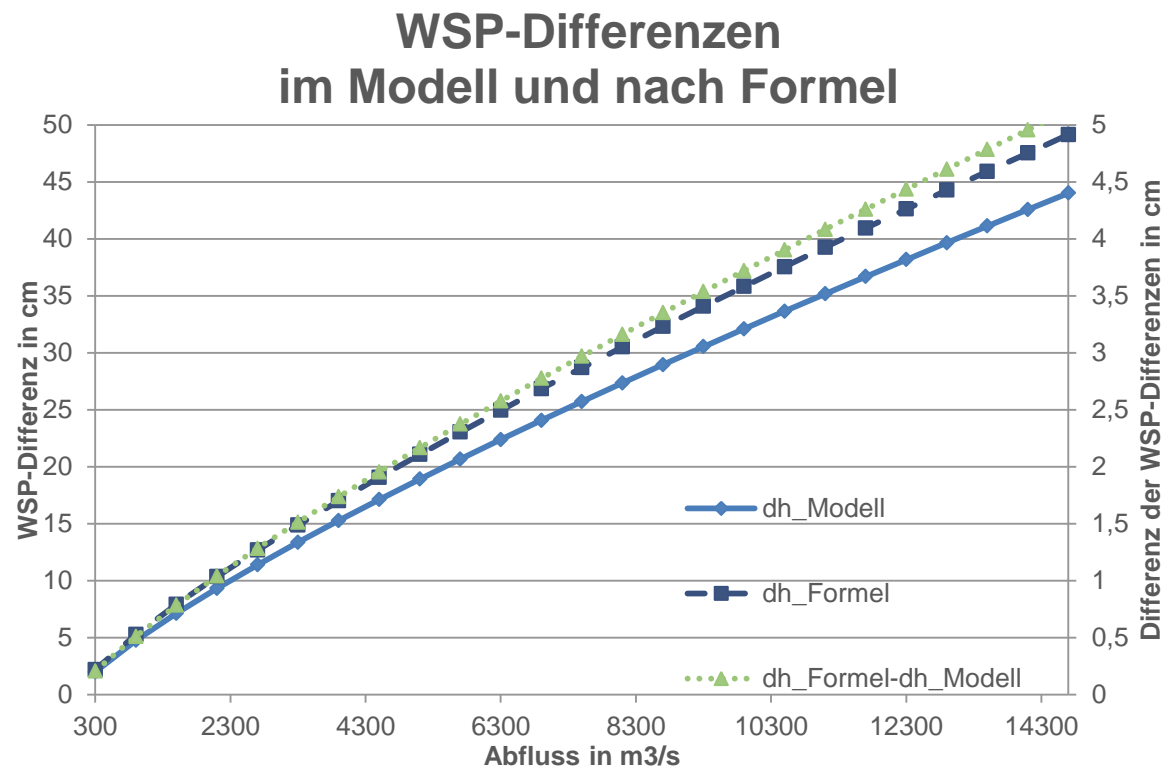
- ▶ HYDRO_AS-2D bildet Wasserspiegelquerneigung in Flusskrümmungen ab
- ▶ Formel zur Abschätzung der Wasserspiegeldifferenz (Jirka, 2009)

$$dh \approx \frac{v^2 \cdot b}{g \cdot r}$$

- ▶ dh: Wasserspiegeldifferenz
- ▶ v: Fließgeschwindigkeit
- ▶ b: Gerinnebreite,
- ▶ g: Gravitation
- ▶ r: Radius bis zur Gerinnemitte



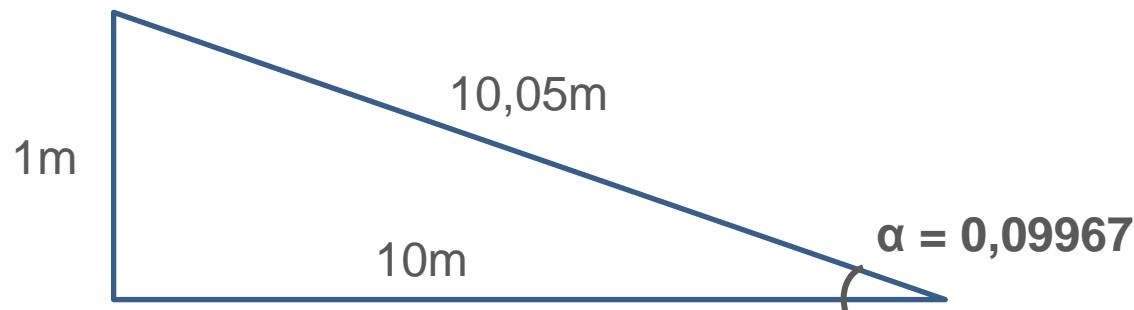
- ▶ Schematisches, konstruiertes Modell
- ▶ Variieren
 - ▶ Modelldimension, Skalierung
 - ▶ **Abfluss/Wassertiefe**
- ▶ Parameter
 - ▶ $b = 200 \text{ m}$
 - ▶ $R = 800 \text{ m}$
 - ▶ $S_f = 0,4 \text{ ‰}$
 - ▶ $k_{st} = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - ▶ Gesamtlänge $\approx 3.000 \text{ m}$
- ▶ Ergebnis
 - ▶ Wasserspiegeldifferenz im Modell und nach der Formel in der selben Größenordnung
 - ▶ Unterschiede nehmen mit Abfluss zu



- ▶ Tiefengemittelte Flachwassergleichungen (HYDRO_AS-2D Handbuch)

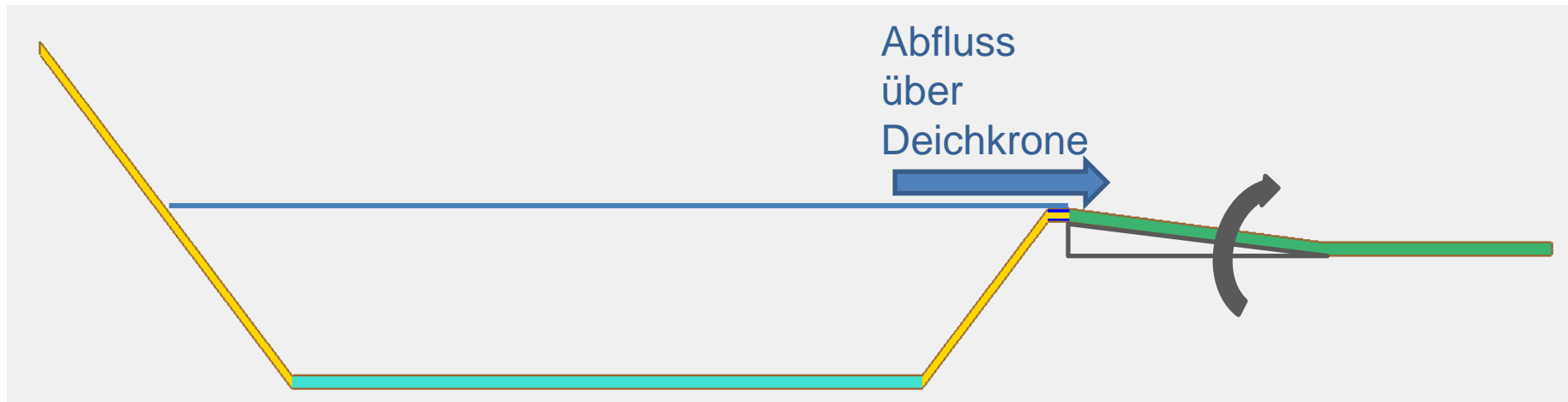
$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \mathbf{s} = 0, \quad \mathbf{s} = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{pmatrix}, \quad I_{Sx} = \frac{-\partial z}{\partial x}, \quad I_{Sy} = \frac{-\partial z}{\partial y},$$

- ▶ Annahme für Herleitung: $I_S \leq 10\%$; bzw. $I_S = \tan \alpha \approx \sin \alpha$ (Yörük 2009, Krebs 2009)



(Sohl-)Neigung - Beispiel Deich

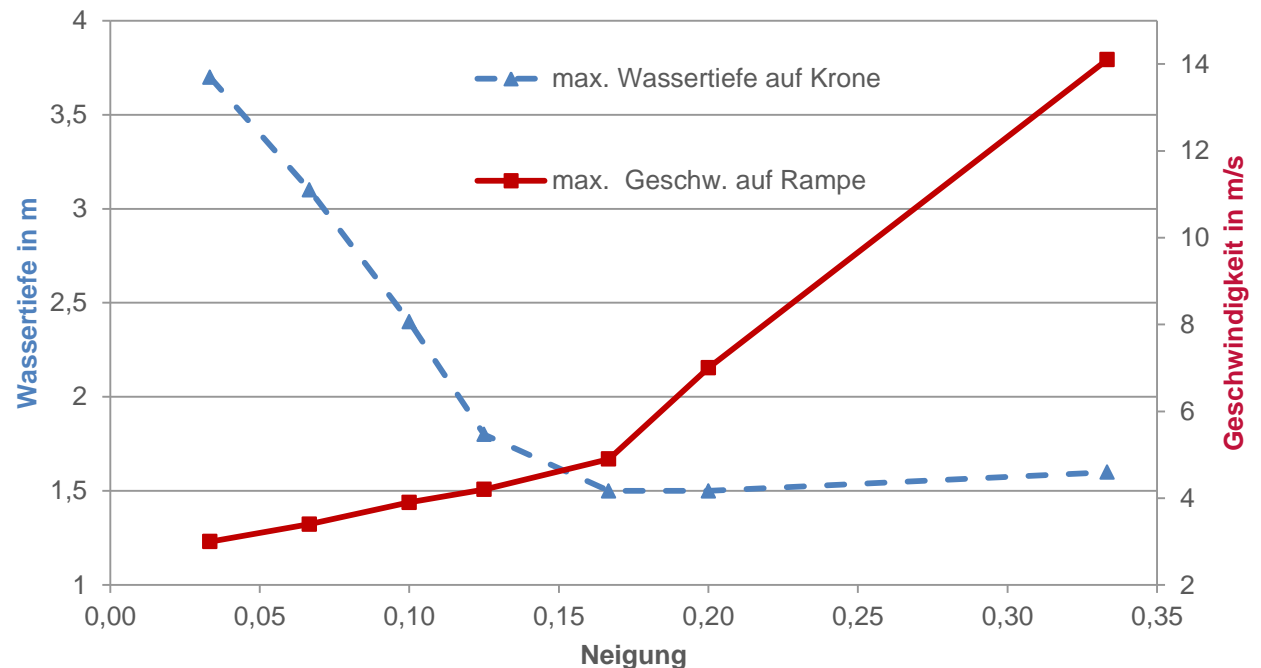
- ▶ Ab welcher Neigung sind die Ergebnisse nicht mehr plausibel?
- ▶ Schematisches, konstruiertes Modell
- ▶ Landseitige Neigung des Deiches variiert
- ▶ k_{st} Böschung = $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, k_{st} Wiese = $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- ▶ Neigung
 - ▶ 1:30, 1:15, 1:10, 1:8, 1:6, 1:5, 1:3



Ergebnisse

- ▶ Ab Neigung 1:6 lokal sehr unterschiedliche Geschwindigkeiten
- ▶ Bei Neigung 1:3 unplausibel hohe Geschwindigkeiten
- ▶ $1,5 \text{ m} \leq h < 4 \text{ m}$
- ▶ Evtl. andere Ergebnisse für geringere/höhere Wassertiefen

Geschwindigkeit und Wassertiefe abhängig von Neigung

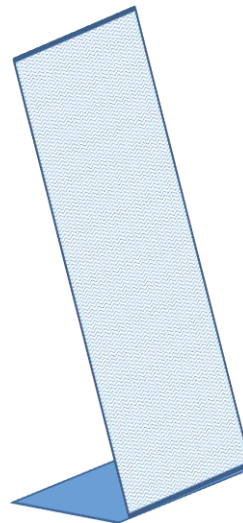


- ▶ Lokale Neigungen höher als 0,1 **kein** Problem
- ▶ Aber, bei unplausibel hohen Geschwindigkeiten lokale Ergebnisse evtl. nicht sehr genau
- ▶ Bei hohen Geschwindigkeiten werden auch daraus bestimmte Sohlschubspannungen überschätzt
- ▶ Modelle können für viele Fragestellungen trotzdem genutzt werden
 - ▶ Überschwemmungsflächen
 - ▶ Überströmung
 - ▶ ...
- ▶ Nicht geeignet
 - ▶ Kleinräumige, genaue Geschwindigkeitsverteilung/Sohlschubspannungen in sehr steilen Abschnitten
 - ▶ Allgemein: Wenn Geschwindigkeitsverteilung in Z-Richtung starken Einfluss auf das Fließverhalten hat – 3D-Modell

Wie wird Neigung berücksichtigt?

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + s = 0, \quad s = \begin{pmatrix} gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{pmatrix}$$

- ▶ Kontrollvolumen auf 2D-Fläche projiziert
- ▶ Zusätzlich wird 3D-Fläche bestimmt
- ▶ Quotient der 3D-Fläche und der 2D-Fläche geht in Berechnung von I_R ein
- ▶ Je Steiler das Element, desto größer der *Quotient* = größeres Reibungsgefälle



Worauf muss ich achten? Was macht Probleme bei der Modellierung?

▸ Auflösung der Wand

- zu „hohe“ Elemente können zu Fehlern in der Flächen-/Kontrollvolumenberechnung oder unplausiblen Ergebnissen führen, Volumenfehler
- zu „niedrige“ Elemente haben ein schlechtes Seitenverhältnis

▸ Wand ausschneiden

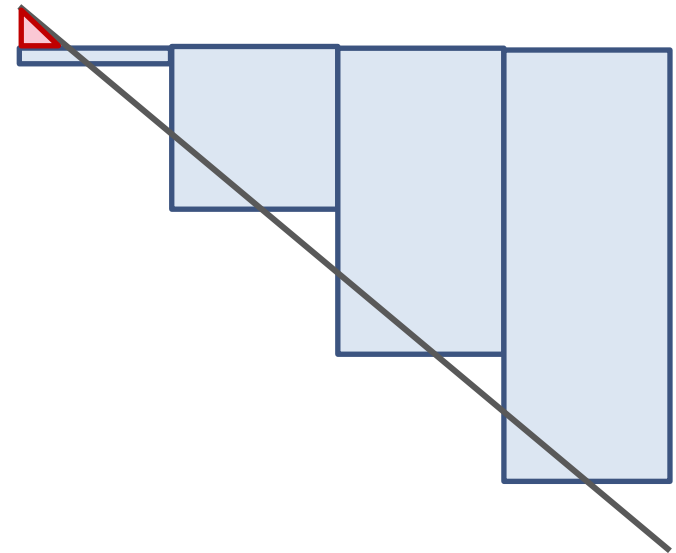
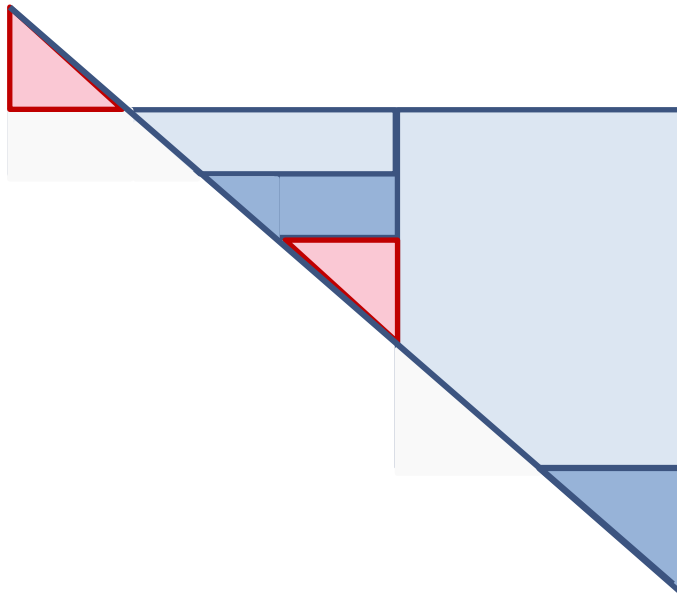
- Zeitschritte am Modellrand sind klein (halbiert), angrenzende Elemente sollten hinreichend groß sein
- Wandrauheit wird nicht berücksichtigt, weil Wand im Modell nicht vorhanden ist
- Evtl. für angrenzende Elemente Rauheitsbeiwerte verkleinern

▸ Wand flacher abbilden

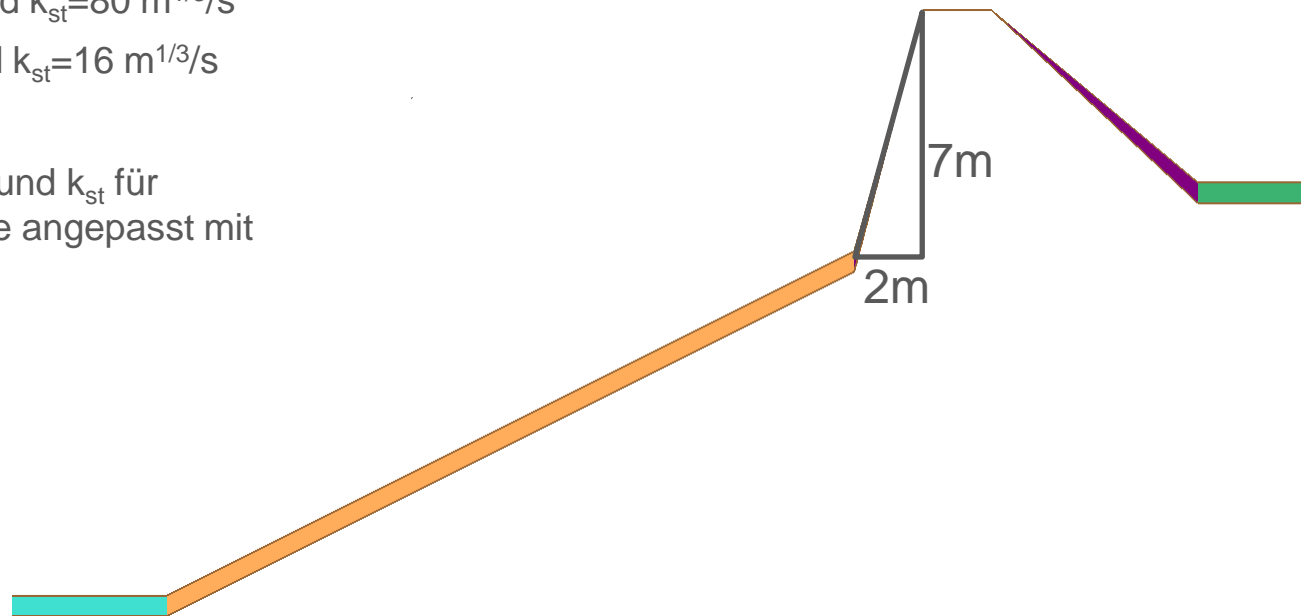
- Wie gehe ich mit nicht korrekt abgebildetem Volumen um?
- Evtl. für Wandelemente Rauheitsbeiwerte verkleinern, um „falsche“ Neigung auszugleichen

Warum ist Auflösung von Schrägen/steilen Wänden wichtig?

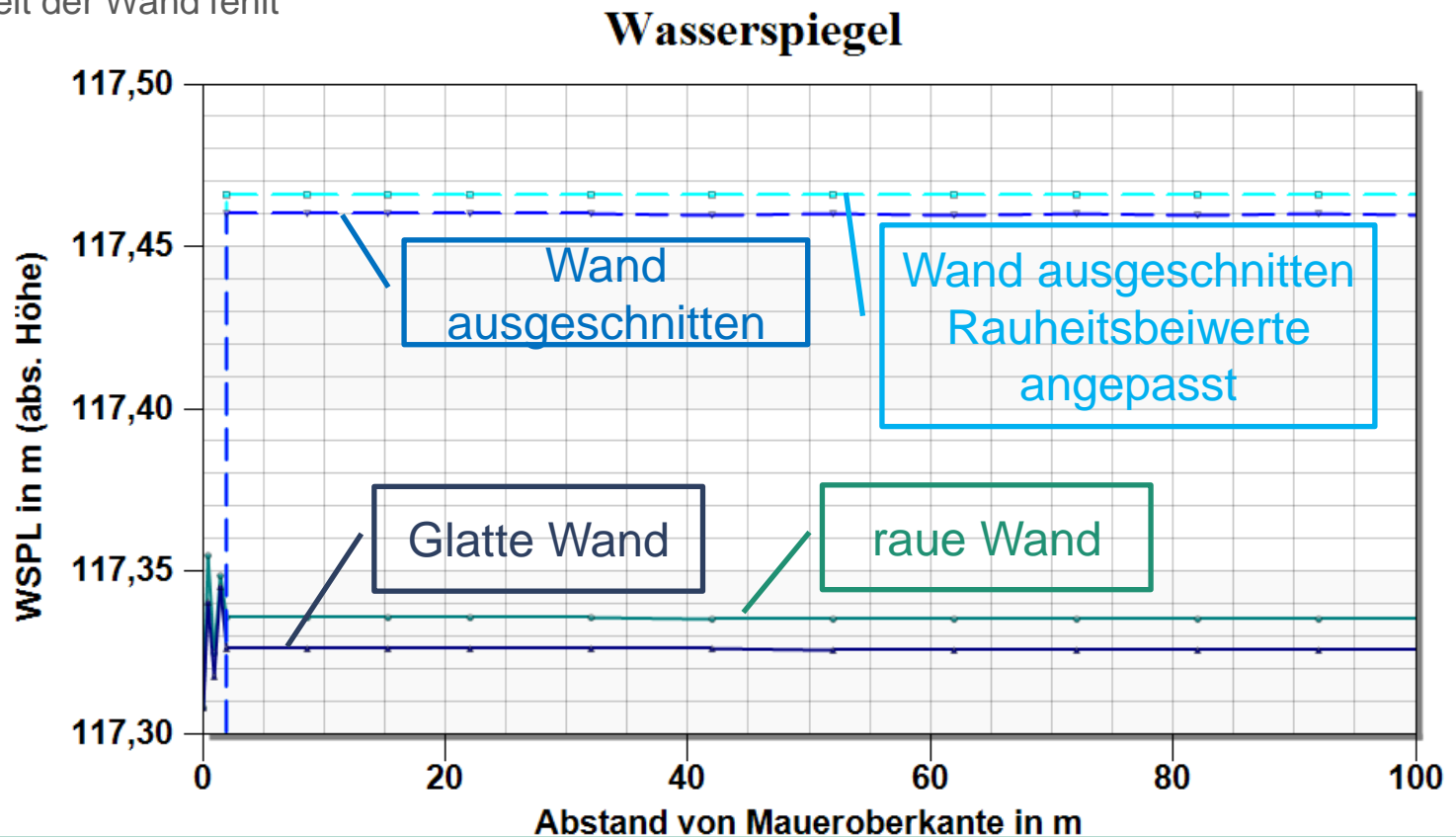
- Kontrollvolumen = projizierte Fläche
- Wassertiefe (Knotenwert) im gesamten Kontrollvolumen konstant
- Volumenfehler, wenn Wassertiefe kleiner als höchster Punkt der 3D-Fläche
- Geringere Höhendifferenz der 3D-Fläche pro Kontrollvolumen
- Fehler kleiner



- ▶ Schematisches Modell
- ▶ Stationäre Berechnung
- ▶ Wie ändern sich Wassertiefen und Geschwindigkeiten im Bereich der Wand?
- ▶ Wie wirkt sich die Rauheit der Wand aus?
 - ▶ Beispiel für glatte Wand $k_{st}=80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - ▶ Beispiel für raue Wand $k_{st}=16 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - ▶ Wand ausgeschnitten
 - ▶ Wand ausgeschnitten und k_{st} für angrenzende Elemente angepasst mit $k_{st}=14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

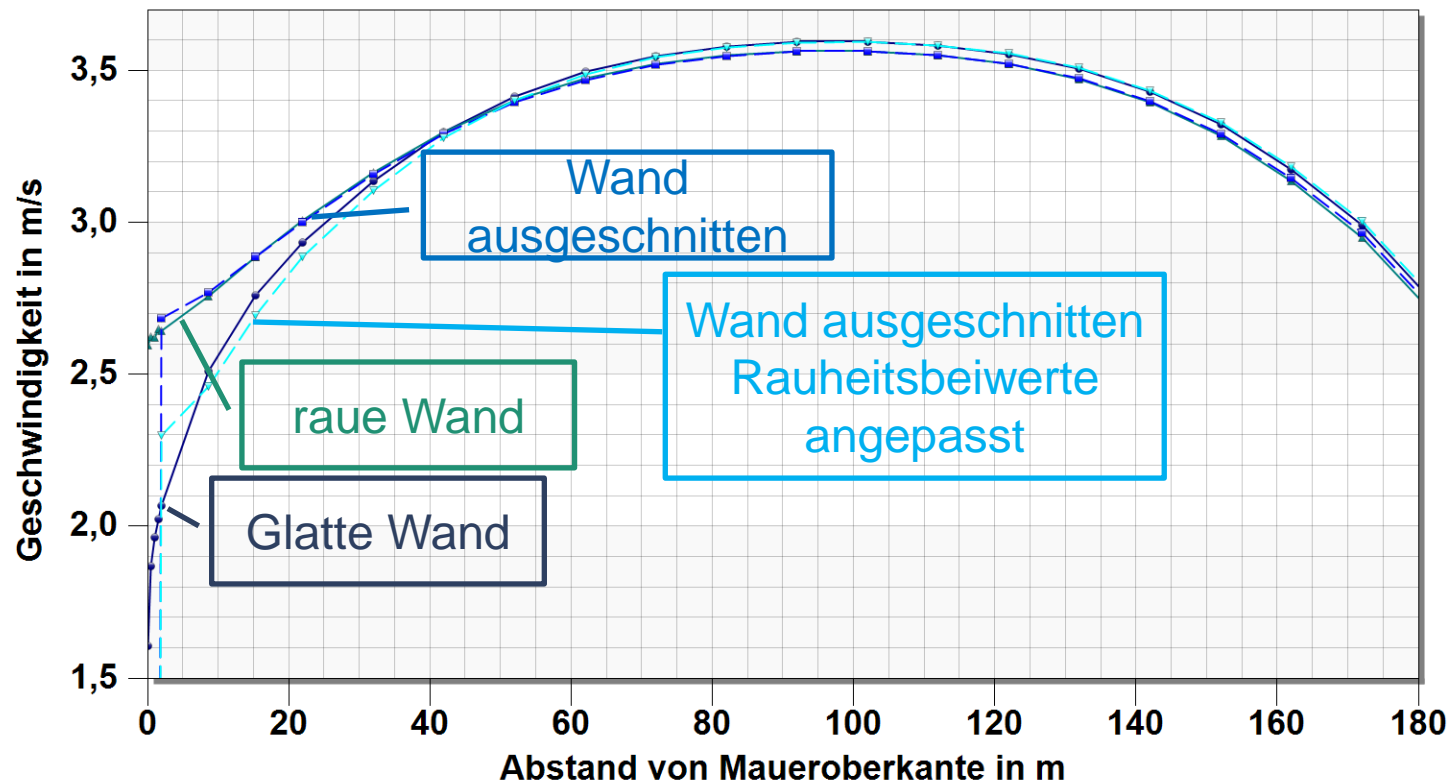


- ▶ Wie sind höhere Wasserspiegel für die Varianten mit ausgeschnittener Wand zu erklären?
 - ▶ Volumenänderung
 - ▶ Rauheit der Wand fehlt



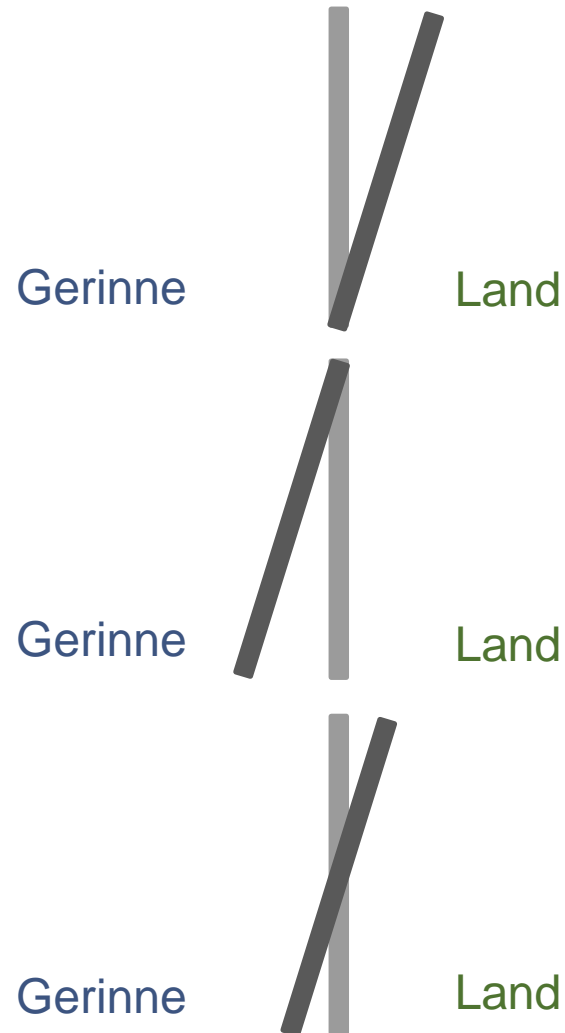
- ▶ Für glatte Wand ist Ansatz Mauer auszuschnneiden gut
- ▶ Für raue Wand passt Variante mit angepassten Rauheitsbeiwerten besser
- ▶ Randeffekte: Beobachtungsgröße nicht direkt an den Rand lokalisieren

Geschwindigkeiten



➤ Möglichkeiten

- Wand an Sohle fixieren
 - Volumen im Flussschlauch wird überschätzt
- Wand an Oberkante fixieren
 - Volumen im Flussschlauch wird unterschätzt
- Wand um Mittelachse drehen
 - Volumen bei **Füllung bis zur Oberkante** richtig abgebildet
 - Sohlpunkt und Oberkante verschoben



- ▶ Hydrotec (2020): *Benutzerhandbuch HYDRO_AS-2D 2D-Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis*, Version 5.2.2, Aachen, Deutschland.
- ▶ Jirka, G. H. (2009). *Einführung in die Gerinnehydraulik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- ▶ Krebs (2009): Skript zur Vorlesungsreihe *Abwasserentsorgung I*, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, Technische Universität Dresden
- ▶ Yörük, A. (2009): *Unsicherheiten bei der hydrodynamischen Modellierung von Überschwemmungsgebieten* (Dissertation), Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 99, München.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Methodenwissen – Modellierung von speziellen Abflusssituationen und Grenzen der 2D-Modellierung

Dr. rer. nat. Eva Loch

