

# Hydrodynamische Berechnung von 1D-Durchlässen

Dr. Eva Loch und Prof. Dr. Alpaslan Yörük, HydroAS Anwendertreffen 2022

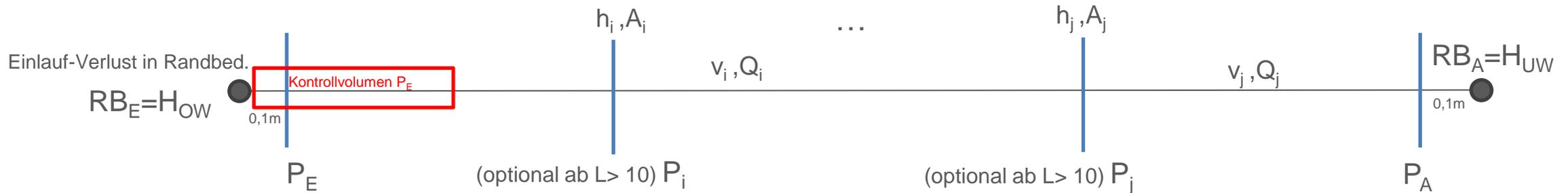
# Agenda

- ▶ Wie funktioniert der hydrodynamische Ansatz?
- ▶ Eingaben für die 1D-Durchlassberechnung
- ▶ Abbildung von großen 1D-Bauwerken
- ▶ Neue Ausgabedateien
- ▶ Unterschiede zum bisherigen Ansatz
- ▶ Konvertierung von alten Modellen
- ▶ Beispiele
- ▶ Zusammenfassung

# Wie funktioniert der hydrodynamische Ansatz?

## ▸ Örtliche Diskretisierung

- Setzen von Ein- und Auslaufprofil ( $P_E$  bzw.  $P_A$ ) und Auffüllen mit Zwischenprofilen ( $P_i, P_j$ )



## ▸ Randbedingungen mit lokalen Verlusten

▸  $H_{ow} = z_{ow} + h_{ow} + \frac{v_{ow}^2}{2g} - \xi \cdot \frac{v_D^2}{2g}$  → Energiehöhe im OW inklusive Einlaufverlust

▸  $H_{uw} = z_{uw} + h_{uw} + \frac{v_D^2}{2g}$  → Energiehöhe am BW-Auslauf

# Wie funktioniert der hydrodynamische Ansatz?



- ▶ Numerische Lösung der eindimensionalen Diffusiven Wellengleichung

- ▶ eindimensional
- ▶ hydrodynamisch
- ▶ instationär

$$\frac{\partial}{\partial t} A + \frac{\partial}{\partial x} Q(A) = 0 \text{ mit } Q(A) = v(A) \cdot A$$

- ▶ Fließgeschwindigkeit  $v(A)$  mit Darcy-Weisbach

$$v(A) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot r_{hy}(A) \cdot I(A)}$$

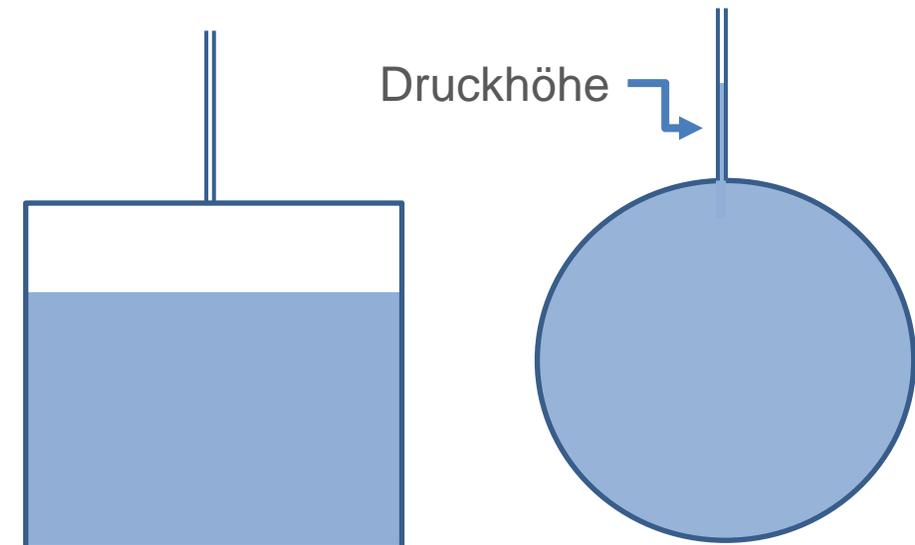
mit 
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{f_g \cdot v}{8 \cdot r_{hy}^{3/2} \cdot \sqrt{2g \cdot I_S}} + \frac{kb \cdot 10^{-3}}{f_r \cdot 4 \cdot r_{hy}} \right)$$

- ▶ Beschränkung der Fließgeschwindigkeit auf

$$v_{max}(A) = \sqrt{2gH} \text{ mit } H = \text{Energiehöhe}$$

- ▶ Diffusive Wellengleichung gilt für offene Profile

→ Preissmann Slot



# Eingaben für die 1D-Durchlassberechnung



- ▶ Höhe, Breite, Durchmesser
- ▶ Rauheitsbeiwert kb
- ▶ Formbeiwert fr
- ▶ Formbeiwert fg
- ▶ Länge: Länge des Nodestings oder Nutzereingabe
- ▶ Sohlhöhen z1 und z2: aus Modell übernehmen oder Nutzereingabe
- ▶ Geschwindigkeit im Oberwasser berücksichtigen: Ja =  $v_{ow}^2/2g$  wird zu Energiehöhe addiert, Nein = ... wird nicht addiert (vergl. Du Buat vs. Poleni)
- ▶ Einlaufverlust: nur bei Berücksichtigung der OW-Geschwindigkeit
- ▶ Qmax
- ▶ Siel mit Richtungsangabe, wenn Siel auf Ja gestellt ist

HydroAS

- Zulauf
- Zulauf gebunden an Auslauf
- Auslauf /le
- Auslauf W/Q-Strickler
- Auslauf W/Q-Wehr
- Auslauf H-Wehr (Zeit)
- Auslauf H-Wehr (Steuerung)
- Auslauf Abflussganglinie
- H-Randbedingung
- 1D-Durchlass/Rechteck
- 1D-Durchlass/kreisförmig
- 1D-Wehrüberfall
- 1D/2D-Übergang
- Kontrollquerschnitt

1D-Durchlass/Rechteck

Name	Value
Name	Rechteck
Breite [m]	2.0
Höhe [m]	3.0
Rauheitsbeiwert kb [mm]	75.0
Fombeiwert fr	3.45
Fombeiwert fg	0.0
Länge	0 - aus Modell übernehmen
Sohlhöhen z1 und z2	0 - aus Modell übernehmen
Geschwindigkeit im Oberwasser ...	1 - Ja
Einlaufverlust	0.5
Qmax [m <sup>3</sup> /s]	10000.0
Siel	0 - Nein

HydroAS

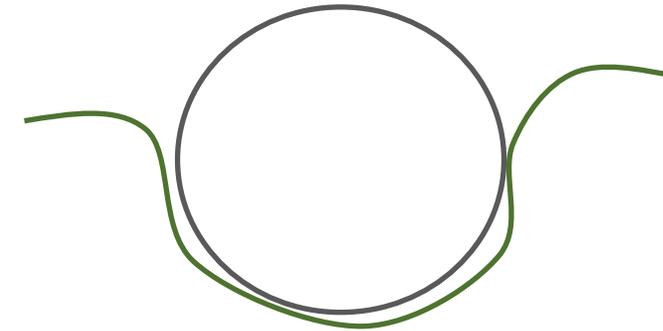
- Zulauf
- Zulauf gebunden an Auslauf
- Auslauf /le
- Auslauf W/Q-Strickler
- Auslauf W/Q-Wehr
- Auslauf H-Wehr (Zeit)
- Auslauf H-Wehr (Steuerung)
- Auslauf Abflussganglinie
- H-Randbedingung
- 1D-Durchlass/Rechteck
- 1D-Durchlass/kreisförmig
- 1D-Wehrüberfall
- 1D/2D-Übergang
- Kontrollquerschnitt

1D-Durchlass/kreisförmig

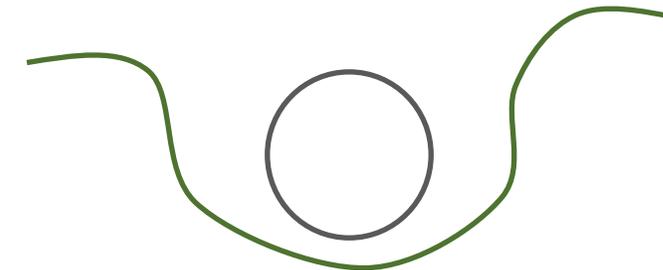
Name	Value
Name	DN1000
Durchmesser [m]	1.0
Rauheitsbeiwert kb [mm]	1.5
Fombeiwert fr	3.71
Fombeiwert fg	2.51
Länge	1 - vorgeben
Länge [m]	200.0
Sohlhöhen z1 und z2	1 - vorgeben
Sohlhöhe z1 [abs. Höhe]	100.1
Sohlhöhe z2 [abs. Höhe]	99.8
Geschwindigkeit im Oberwasser ...	0 - Nein
Qmax [m <sup>3</sup> /s]	50.0
Siel	1 - Ja
Richtung	z1 -> z2



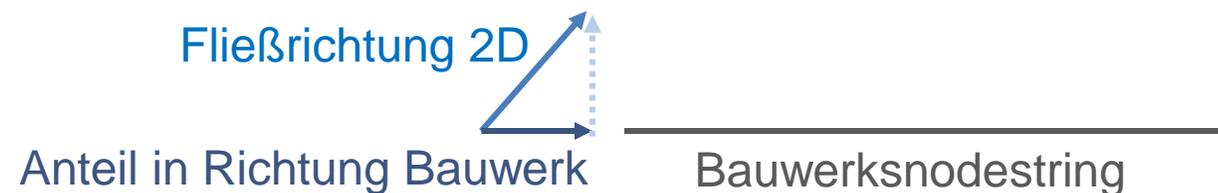
- ▶ Digitalisierungsrichtung
  - ▶ egal
- ▶ Auflösung 2D-Netz im Einlauf- und Auslaufbereich
  - ▶ Gleichmäßige Struktur
  - ▶ Vergleichbare Elementgrößen
  - ▶ Wenn möglich Kanten in Fließrichtung des Durchlasses ausrichten
- ▶ kb-Standardwert
  - ▶ Anpassen
  - ▶ Nur beibehalten, wenn keine weiteren Informationen über Beschaffenheit vorhanden
- ▶ Einlauf-Verlust
  - ▶ An Geometriewechsel am Einlauf anpassen
- ▶ Impulsrichtung aus 2D-Strömung
  - ▶ Geschwindigkeit im OW: Es wird nur Anteil in Richtung des Durchlasses berücksichtigt



Einlaufverlust klein

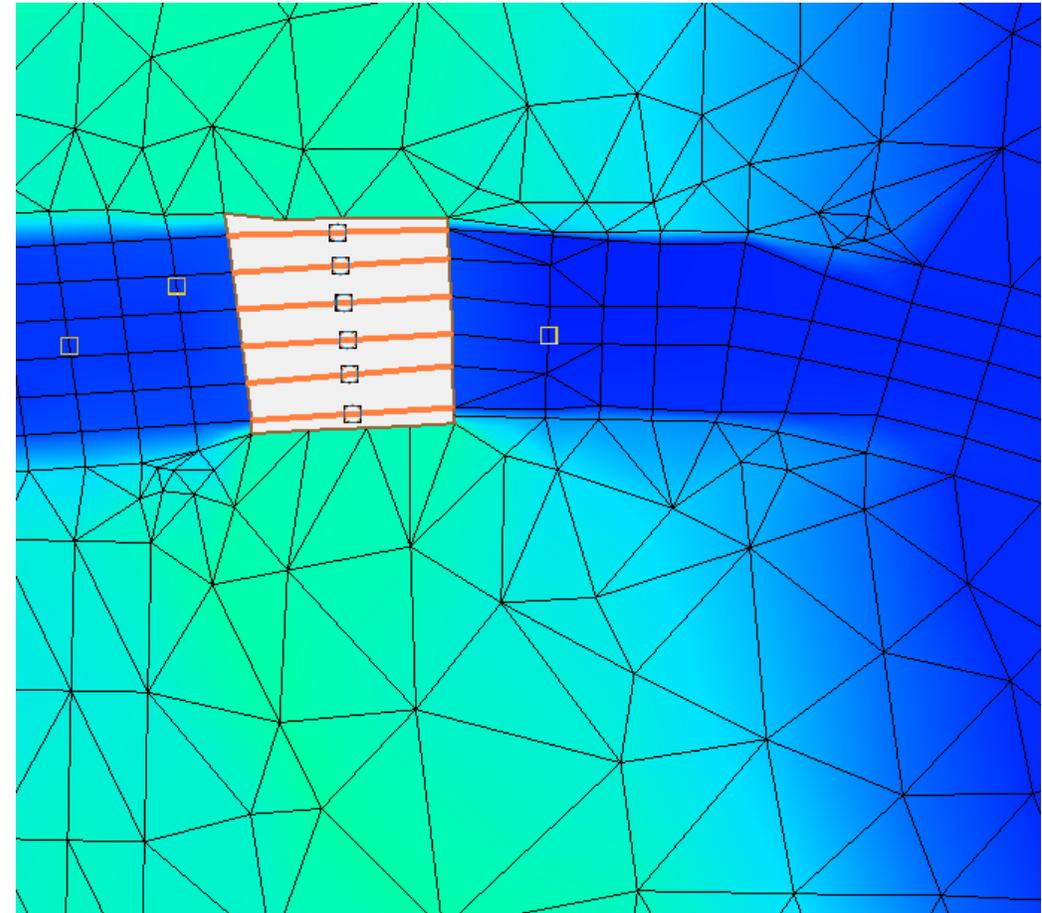


Einlaufverlust groß



# Vor Version 5.5.0: Abbildung von großen 1D-Bauwerken

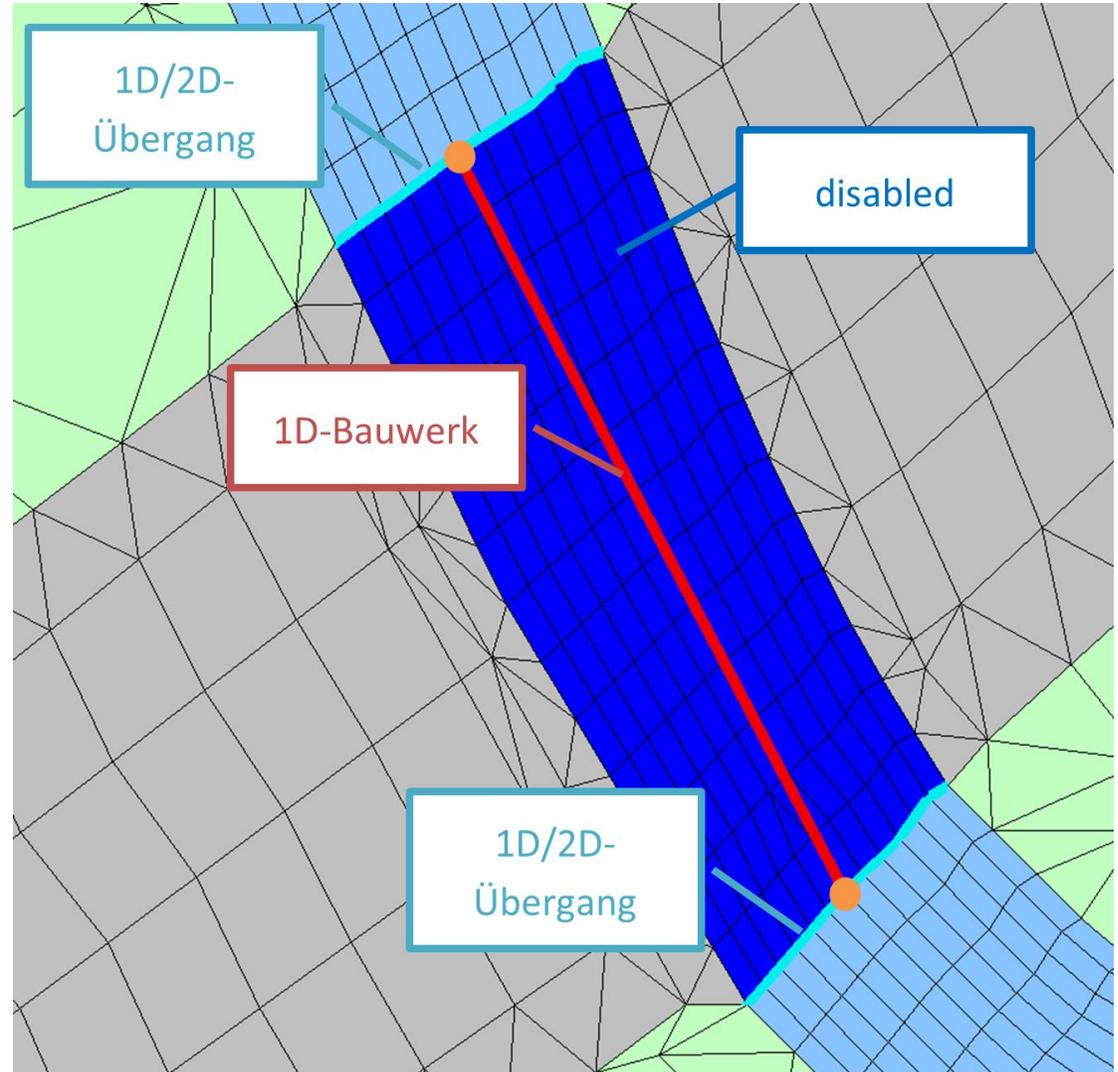
- Grundsätzlich 2D-Abbildung großer Bauwerke bevorzugt
- Wann gilt ein Bauwerk als groß?
  - Bauwerksgeometrie größer als Netzauflösung
  - Präprozessor liefert Warnungen
- Ausnahmefälle: Aufteilung in mehrere Nodestings
  - Breite/Durchmesser aufteilen
- Ansatz
  - Arbeitsintensiv
  - Fehleranfällig
  - Was passiert, wenn Anzahl der Netzknoten im Einlauf- und Auslaufbereich nicht übereinstimmen?
  - Probleme, wenn mehrere Bauwerke einen gemeinsamen Knoten haben?
  - ...



# Ab Version 5.5.0: Abbildung von großen 1D-Bauwerken



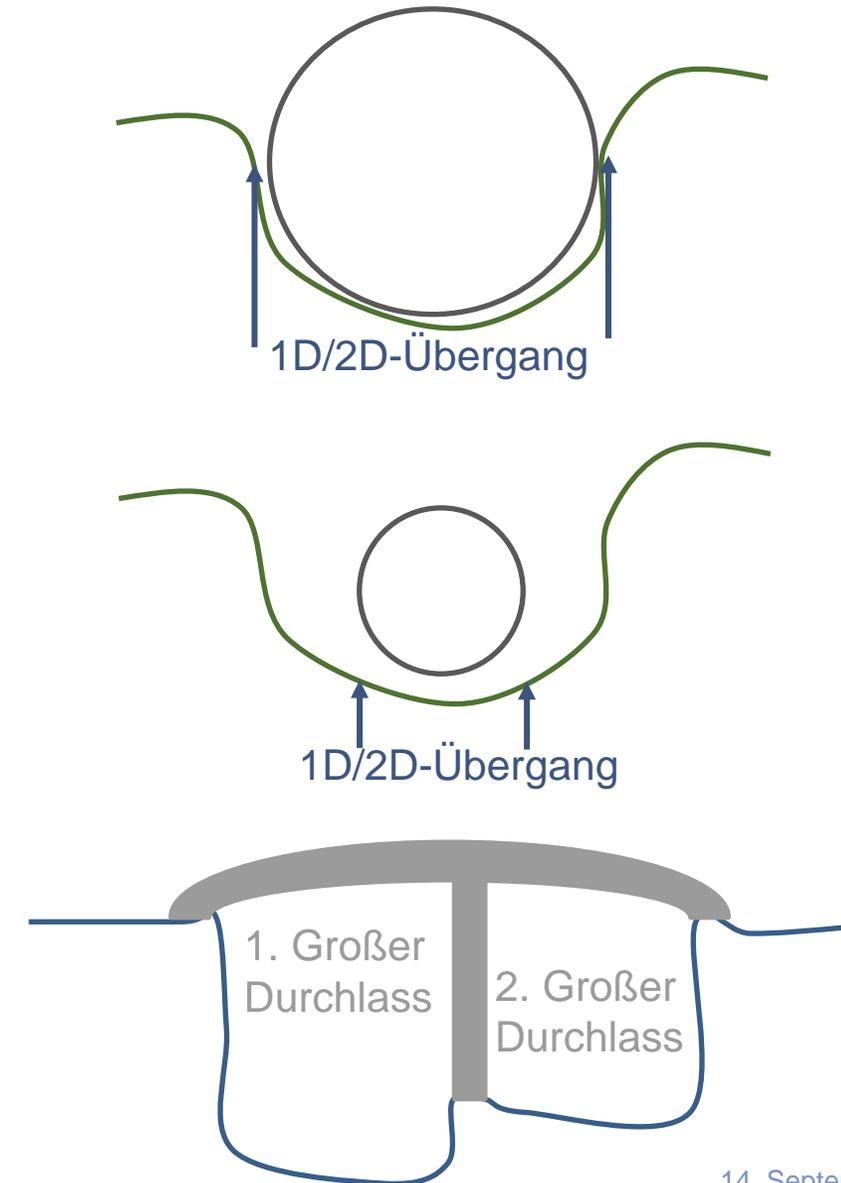
- ▶ 1D-Durchlässe und 1D-Wehre
- ▶ Drei Nodestrings pro Bauwerk
- ▶ Querschnitt am Einlauf und Auslauf als 1D/2D-Übergang
  - ▶ Fließrichtung ist nicht fest
  - ▶ Über Querschnitte gemittelte WSP und Geschwindigkeiten als Randbedingungen für Bauwerksberechnung
  - ▶ Entnahme/Zugabe in 2D-Modell wie Auslauf/Zulauf
- ▶ Genau ein Bauwerk-Nodestring
  - ▶ Verbindet die Querschnitte über gemeinsame Knoten
  - ▶ Parametrisierung des Bauwerks
  - ▶ Achtung: Knoten des Bauwerk-Nodestrings ggf. wichtig
    - ▶ Sohlhöhe aus Modell übernehmen = Z-Werte der Knoten



# Hinweise zur Abbildung von großen 1D-Bauwerken ab 5.5.0



- ▶ Digitalisierungsrichtung
  - ▶ egal
  - ▶ Einfluss auf Vorzeichen in q\_strg.dat
- ▶ Ausdehnung 1D/2D-Übergang-Nodestings
  - ▶ Mind. Bauwerksbreite abdecken
  - ▶ Nicht viel länger als Bauwerksbreite, nur Einflussbereich des Bauwerks abdecken
  - ▶ Mittelung für WSPL und Geschwindigkeit muss repräsentative Werte liefern können
- ▶ Möglichkeiten
  - ▶ Ein- und Auslaufbereiche 2D mit KUKs, dann 1D-Bauwerk → Einlaufverluste müssen hier 0 sein
  - ▶ Mehrere große 1D-Bauwerke mit jeweils 3 Nodestings
    - ▶ Aufteilung in mehrere Abschnitte bei nicht gleichförmiger Durchströmung erforderlich



## ▶ **durchlassQ.dat**

- ▶ Abfluss als Zeitreihe wie in q\_strg.dat
- ▶ Eine Abfluss-Zeitreihe pro Durchlassende, d.h. zwei Spalten pro Durchlass
- ▶ Vorzeichen
  - ▶ positiv: Bauwerksauslauf, Zugabe in 2D-Modell
  - ▶ negativ: Bauwerkseinlauf, Entnahme aus 2D-Modell

## ▶ **wehrQ.dat**

- ▶ Abfluss als Zeitreihe wie in q\_strg.dat
- ▶ Eine Abfluss-Zeitreihe pro Wehr
- ▶ Vorzeichen
  - ▶ abhängig von Fließrichtung und Digitalisierungsrichtung des Wehr-Nodestrings
  - ▶ positiv: Fließrichtung von z1 zu z2
  - ▶ negativ: Fließrichtung von z2 zu z1

## ▶ **durchlassW.dat**

- ▶ WSP als Zeitreihe wie in pegel.dat
- ▶ Eine WSP-Zeitreihe pro Durchlassende, d.h. zwei Spalten pro Durchlass
- ▶ WSP
  - ▶ Wasserspiegel am Durchlasskonten oder
  - ▶ Mittelwert über Querschnitt (1D/2D-Übergang)

## ▶ **wehrW.dat**

- ▶ WSP als Zeitreihe wie in pegel.dat
- ▶ Eine WSP-Zeitreihe pro Wehrende, d.h. zwei Spalten pro Wehr
- ▶ WSP
  - ▶ Wasserspiegel am Wehrkonten oder
  - ▶ Mittelwert über Querschnitt (1D/2D-Übergang)

# Unterschiede zum bisherigen Ansatz

## Bis Version 5.3

- ▶ Stationärer Ansatz
- ▶ Abfluss am Einlauf = - Abfluss am Auslauf
- ▶ Keine Translation
- ▶ Keine Retention
- ▶ Länge des Durchlasses in Abflusskoeffizient berücksichtigt
- ▶ Abflusskoeffizient für Vollfüllung bildet gesammelt sämtliche Verluste ab.
- ▶ Geschwindigkeit im Durchlass in Bestimmung der Energiehöhe. Daher darf Einlaufbereich nicht mit einer signifikanten Beschleunigungsstrecke zusammenfallen.
  
- ▶ Große Bauwerke in mehrere Nodestings aufteilen

## Ab Version 5.4

- ▶ Instationärer, hydrodynamischer Ansatz
- ▶ Abflüsse an BW-Enden können unterschiedlich sein
- ▶ Translation bei längeren Durchlässen
- ▶ Retention: Durchlass hat Volumen, bei langen Durchlässen Profile innerhalb Durchlass
- ▶ Länge des Durchlasses hat Einfluss auf Wellenablauf
- ▶ Länge des Durchlasses Eingabeparameter
- ▶ Bauwerksparameter  $k_b$ ,  $f_r$ ,  $f_g$  gültig für alle Füllzustände
- ▶ Berücksichtigung der Geschwindigkeit im Oberwasser

## Ab Version 5.5

- ▶ Große Bauwerke durch drei Nodestings abbilden
  - ▶ Aufteilung in mehrere Nodestings nicht nötig/empfohlen

# Konvertierung von alten Modellen

- ▶ Standardwerte für neue Parameter
- ▶ Nur kb-Wert wird bei Konvertierung aus dem Abflusskoeffizienten c berechnet
  - ▶  $0 < c < 1$
  - ▶  $r_{hy}$ : hydraulischer Radius bei Vollfüllung
  - ▶  $f_r$ : Standardwert
  - ▶  $f_g$ : Standardwert = 0
  - ▶  $L$ : Länge des Nodestrings
- ▶ Falls  $kb < 1,5 \text{ mm} \rightarrow kb=1,5 \text{ mm}$
- ▶ Falls  $kb > 75 \text{ mm} \rightarrow$  Warnung
- ▶ Einfluss auf konvertierten kb-Wert
  - ▶ Wahl/Korrektheit des Abflussbeiwerts
  - ▶ Länge des Nodestrings

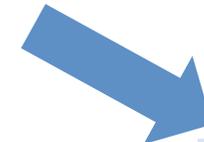
- ▶ In Formeln...

- ▶ 
$$c = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda \cdot L}{4 \cdot r_{hy}}}} \Leftrightarrow \lambda = \left( \frac{1}{c^2} - 1 \right) \cdot \frac{4 \cdot r_{hy}}{L}$$

- ▶ 
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{kb \cdot 10^{-3}}{f_r \cdot 4 \cdot r_{hy}} \right)$$

- ▶ 
$$\Leftrightarrow kb = f_r \cdot 4 \cdot r_{hy} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-1/2\sqrt{\lambda}}$$

Abflusskoeffizient c



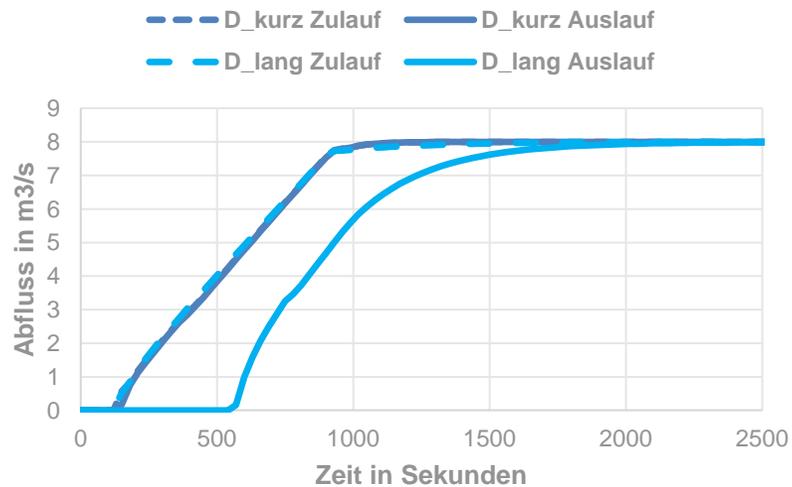
Rauheit kb

## ➤ Rohrgeometrie

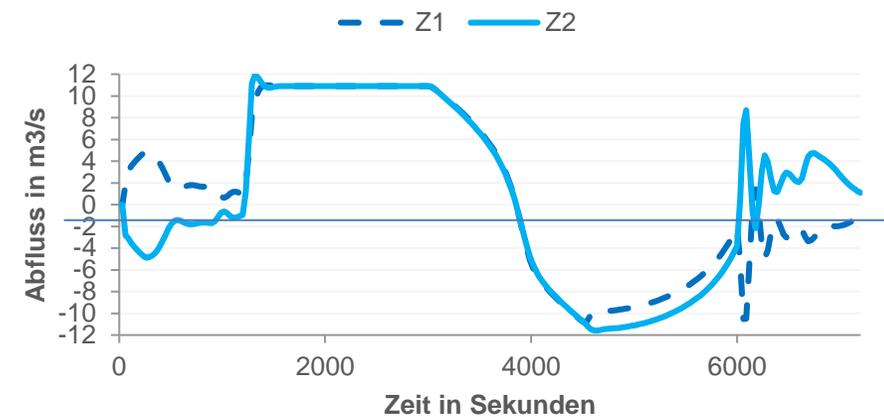
- Breite x Höhe: 4m x 2m
- Gefälle: 1‰
- kb: 30 mm

## ➤ Beispiel 1: Translation - kurz vs. lang

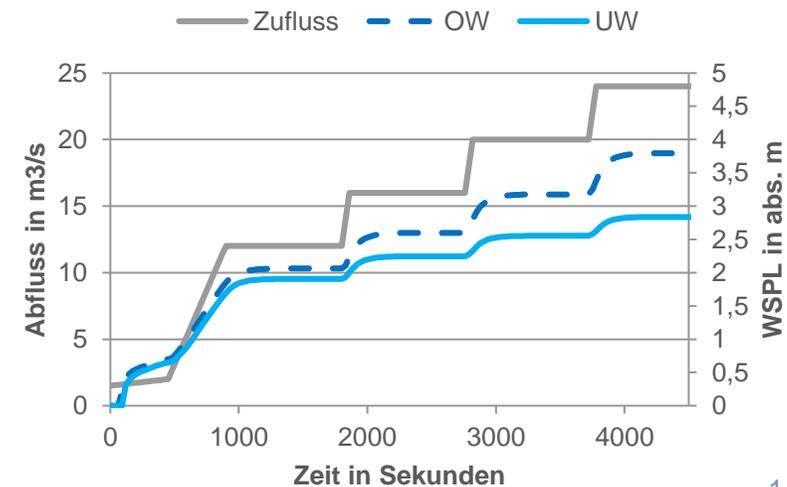
- 5 m
- 505 m



## ➤ Beispiel 2: Fließrichtung



## ➤ Beispiel 3: Druckabfluss



- ▶ Hydrodynamische Berechnung der 1D-Durchlässe
  - ▶ Instationär
  - ▶ Retention
  - ▶ Translation
  - ▶ Veränderte Eingabeparameter
- ▶ Große 1D-Bauwerke (Durchlässe und Wehre) durch drei Nodestings abbilden
- ▶ Konvertierung von alten Modellen
  - ▶ Umrechnung des Abflusskoeffizienten in Rauheitswert  $k_b$  automatisch