

# Ermittlung von Hochwasserrückhaltepotentialen durch Staustufensteuerung mithilfe eines HYDRO\_AS-2D-Moduls zur optimierten Bauwerkssteuerung

Stefan Giehl

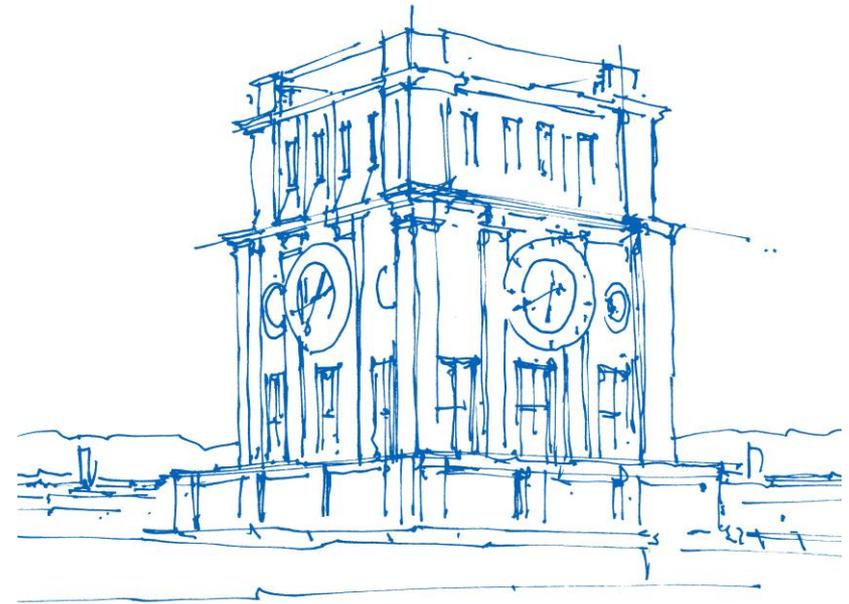
Technische Universität München

Fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Anwendertreffen HYDRO\_AS-2D 2016

München, 05. Oktober 2016



*Uhrenturm der TUM*

# Inhalt

Einführung

Erweiterung zur Bauwerkssteuerung in HYDRO\_AS-2D

Untersuchungen an akademischen Gerinnen

Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Erkenntnisse im Lauf des Modellierungsprozesses

# Einführung

## Hochwasserrückhalt durch Staustufen

Kernfrage:

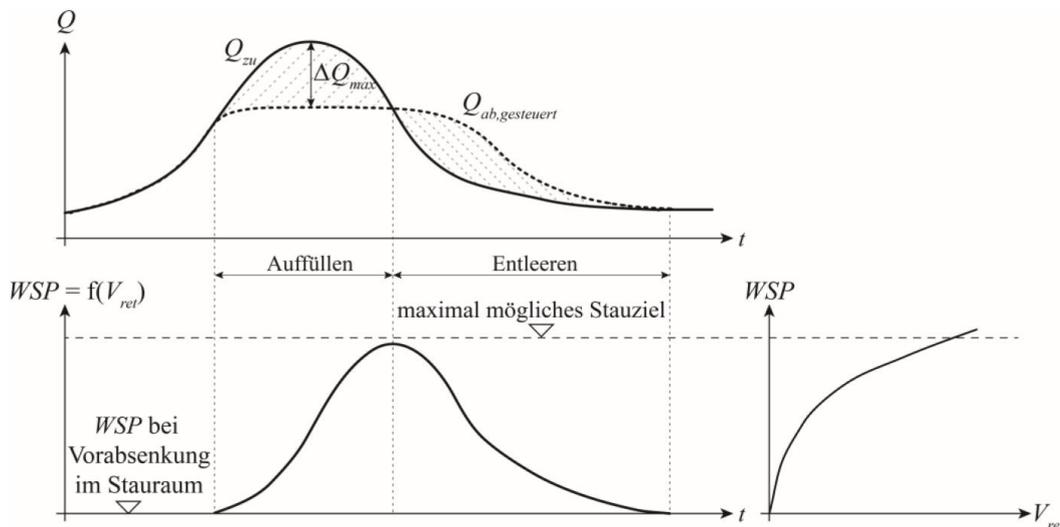
Welchen Beitrag kann eine (optimierte) Steuerung von Staustufen für den Hochwasserschutz leisten?

- Welches Rückhaltepotential ist in einem Stauraum aktivierbar?
  - Vorabsenkung und Höherstau
- Was ist das Rückhaltepotential von Staustufen bei Abflüssen im Bereich  $HQ_{100}$  und mehr?
- Wie groß ist das Potential einer Staustufenkette und wie können mehrere Staustufen in Reihe gesteuert werden?
- Welche Risiken können durch solche Betriebsweisen entstehen?

# Einführung

## Optimale Nutzung des Rückhalteraums einer Staustufe

- Vorabsenkung bei anlaufender Hochwasserwelle
- Halten des Absenkeziels
- Gezielter Wiederaufstau im Bereich des Hochwasserscheitels
- Entleeren bis auf Stauziel (bei Nutzung eines Höherstaus) nach Durchgang der HW-Welle



Lüke et al. (2016): Wehrregulierung zur Dämpfung des Hochwasserscheitels am Beispiel der Wehranlage Langkampfen am Inn. 18. Wasserbau Symposium Wallgau.

# Einführung

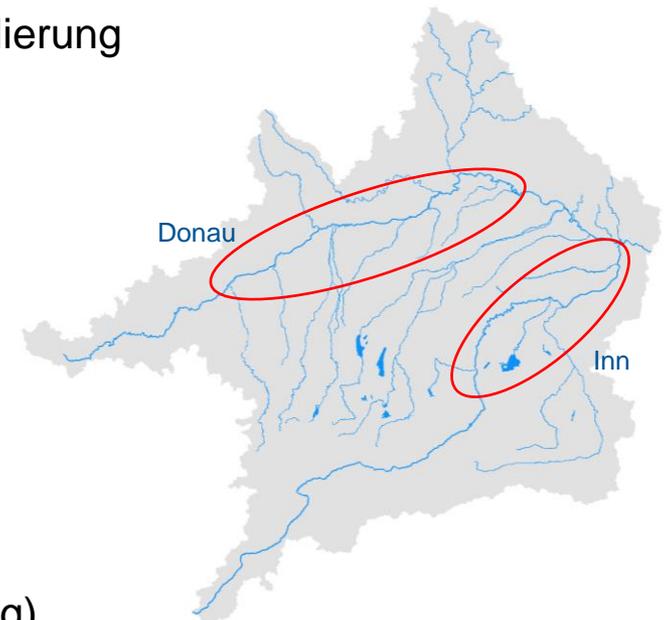
## Hintergrund

### Studien der TUM an Donau und Inn mit Hilfe von 2D-Modellierung

- Großräumige Analyse des Hochwassergeschehens
- Wirkungsanalyse von Flutpoldern
- Standortpriorisierung
- Rückhaltepotential der Staustufen (-kette)

### Wegen laufender Untersuchungen

- keine (Detail-) Ergebnisse
- Alle Ganglinien normiert
- Herausgreifen einzelner Aspekte
  - Simulationen mit H-Wehr (Zeit) und H-Wehr (Steuerung)
  - Vorabsenkungswelle
  - Wiederaufstau



# Erweiterung zur Bauwerkssteuerung

Möglichkeit der Wehrsteuerung in bisherigen HYDRO\_AS-2D-Versionen

Auslauf W-Q / Wehr

- Gesteuert auf Pegelpunkt
- Abflussintervall muss nicht konstant sein
- Aber: Werte für den Abfluss sowie für den Wasserstand müssen stetig ansteigend definiert werden

Problem: Modellierung von komplexen Betriebsweisen, z.B. Legen von Wehrverschlüssen (sinkende Wasserstände bei steigenden Abflüssen)

- Vereinfachung der Realität auf modellierbare W-Q-Beziehung oder
- Notwendigkeit von (aufwändigen) Hilfskonstruktionen

# Erweiterung zur Bauwerkssteuerung

Neue Randbedingung in HYDRO\_AS-2D: H-Wehr (Zeit)

→ Höhe der Wehrkrone als Zeitfunktion

The screenshot displays the 'Auslauf H-Wehr (Zeit)' dialog box in the HYDRO\_AS-2D software. The dialog box is titled 'Auslauf H-Wehr (Zeit)' and contains the following parameters:

Name	Value
Pegel: X-Koordinate [m]	295.0
Pegel: Y-Koordinate [m]	30.0
Abflusskoeffizient	0.55
WSPL-Zeitreihe	Define...
Wehrgeschwindigkeit [m/s]	0.0001
Wehrtyp	0 - ohne Abminderung

The 'XY Series Editor' window is also visible, showing a table of data points and a corresponding line graph. The table data is as follows:

Zeit [s]	Wasserstand [mNN]
1 0.0	10.0
2 10000.0	10.0
3 12000.0	8.0
4 14000.0	8.0
5 18000.0	11.0
6 20000.0	11.0

The graph shows the water level (Wasserstand [mNN]) on the y-axis (ranging from 8.0 to 11.0) against time (Zeit [s]) on the x-axis (ranging from 0 to 20000). The water level starts at 10.0 mNN, remains constant until 10000 s, then drops to 8.0 mNN, remains constant until 14000 s, then rises to 11.0 mNN, and remains constant until 20000 s.

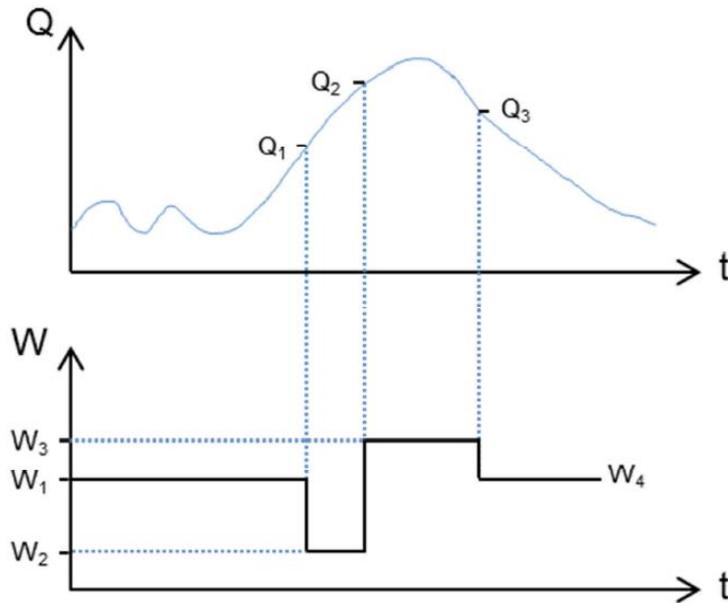
Aus Handbuch HYDRO\_AS-2D

# Erweiterung zur Bauwerkssteuerung

Neue Randbedingung in HYDRO\_AS-2D: H-Wehr (Steuerung)

→ Wehrsteuerung in Abhängigkeit von

- Abfluss (Kontrollquerschnitt im Oberwasser) und
- Wasserstand (Pegelpunkt im Oberwasser)



Aus Handbuch HYDRO\_AS-2D

# Erweiterung zur Bauwerkssteuerung

Neue Randbedingung in HYDRO\_AS-2D: H-Wehr (Steuerung)

HYDRO\_AS-2D V4.1.0 Nodestring Boundary Conditions

☐ HYDRO\_AS-2D
✕

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

### Auslauf H-Wehr (Steuerung)

Name	Value
Pegel: X-Koordinate [m]	295.0
Pegel: Y-Koordinate [m]	30.0
Abflusskoeffizient	0.55
Abfluss: X-Koordinate [m]	80.0
Abfluss: Y-Koordinate [m]	50.0
Q1 [m <sup>3</sup> /s]	4.0
Q2 [m <sup>3</sup> /s]	12.0
Q3 [m <sup>3</sup> /s]	9.0
WSPL1 [mNN]	10.0
WSPL2 [mNN]	9.0
WSPL3 [mNN]	11.0
WSPL4 [mNN]	10.0
Wehrgeschwindigkeit [m/s]	0.001
Wehrtyp	0 - ohne Abminderung
	0 - ohne Abminderung
	1 - breittkronig
	2 - Dachwehr
	3 - Standardprofil
	4 - scharfkantig

Help...
OK
Cancel

Aus Handbuch HYDRO\_AS-2D

# Untersuchungen an akademischen Gerinnen

Einfaches Testgerinne

Einfaches Trapezprofil

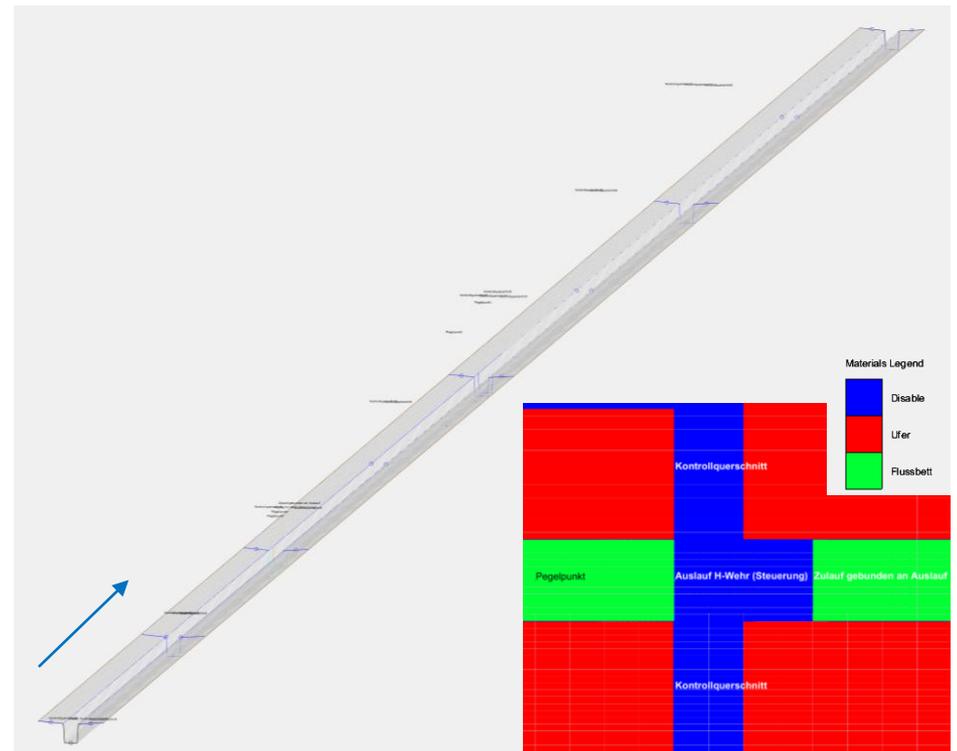
Konstantes Sohlgefälle

Gerinnelänge 40 km

Materialien: Flussschlauch und Vorland

Mittig angeordnete Staustufe

- *Auslauf, Zulauf gebunden an Auslauf*

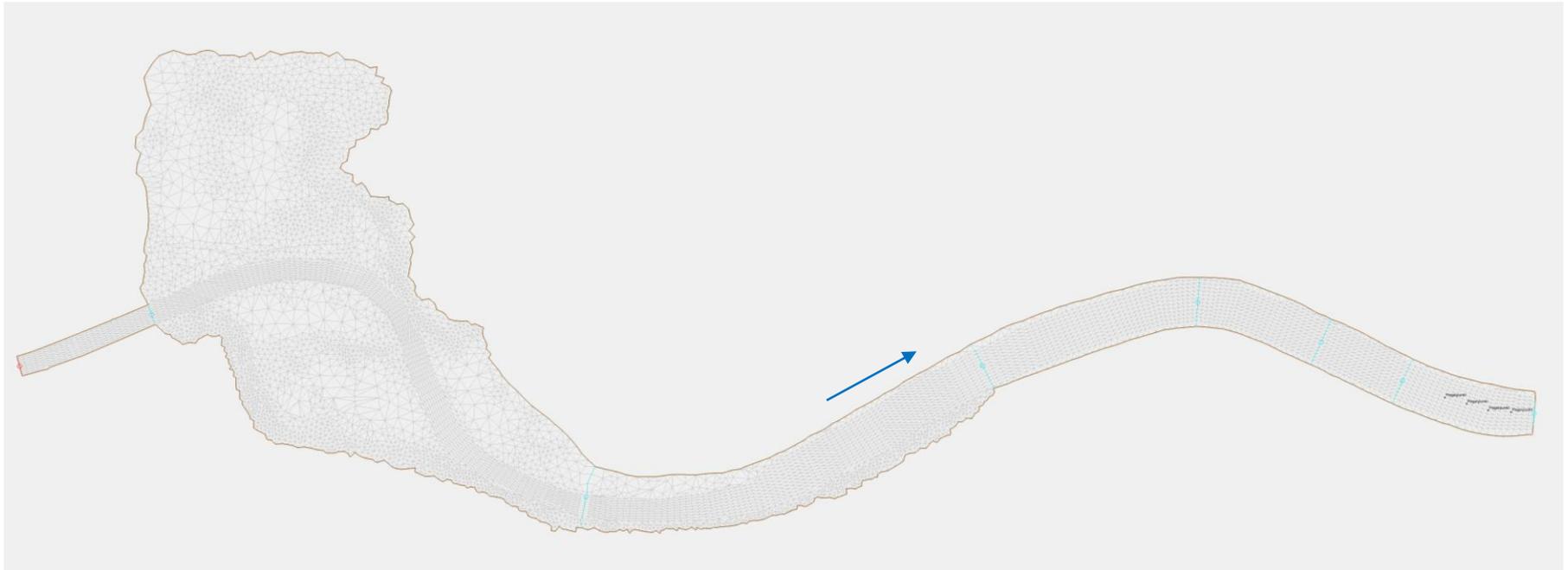


# Untersuchungen an akademischen Gerinnen

Realitätsnahes Testgerinne („Ausschnittmodell“)

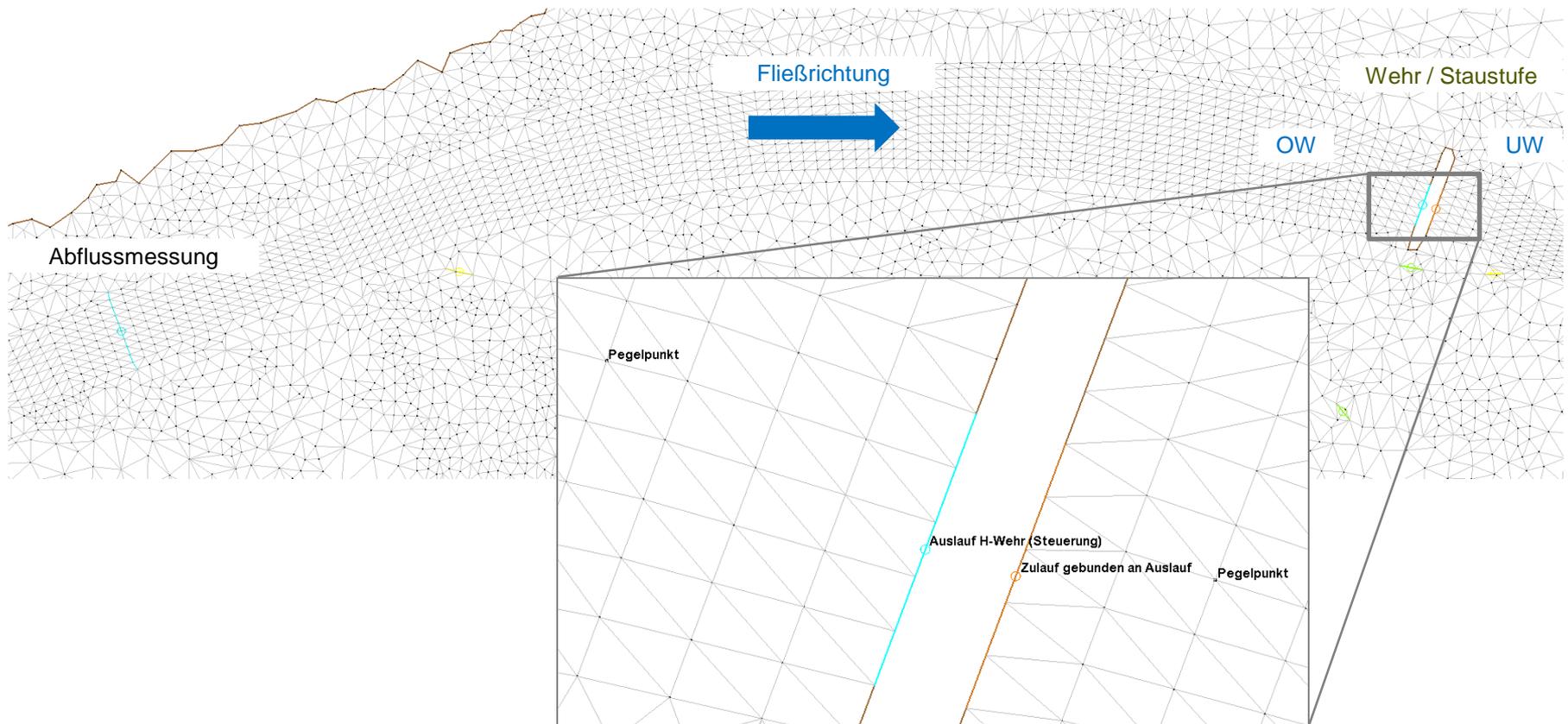
Stauraum mit größeren Vorländern

Reale Topographie



# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

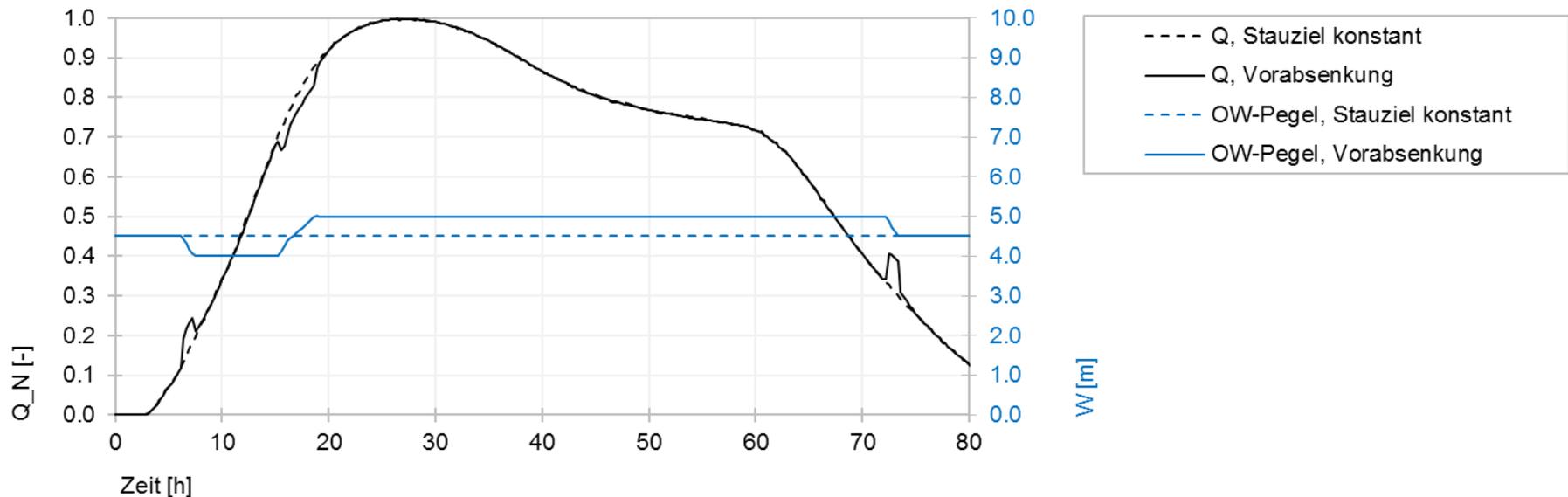
Staustufe im großräumigen Modell mit Darstellung der Auslauf- und Zulaufrandbedingung



# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Möglichkeiten der Steuerung: H-Wehr (Steuerung)

Wehr-/ Staustufensteuerung mit Halten eines Stauziels, Vorabsenkung und Wiederaufstau unter Nutzung eines Höherstaus (über Stauziel)

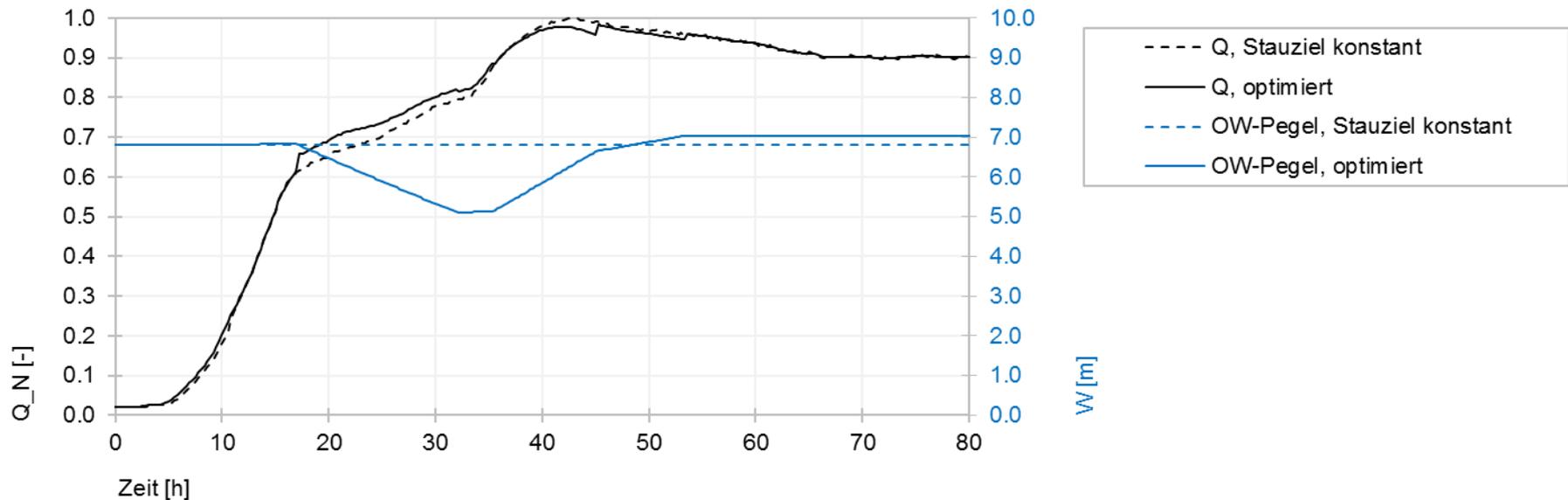


*Abfluss- und Oberwasserstand-Ganglinien für Berechnung mit konstantem Stauziel und Umsetzung einer Steuervorgabe mit Vorabsenkung und Wiederaufstau (mit H-Wehr (Steuerung)). Abflüsse  $Q$  wurden ohne Basisabfluss normiert auf den Spitzenabfluss.*

# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Möglichkeiten der Steuerung: H-Wehr (Zeit)

Wehr-/ Staustufensteuerung mit Halten eines Stauziels, Vorabsenkung und Wiederaufstau unter Nutzung eines Höherstaus (über Stauziel)

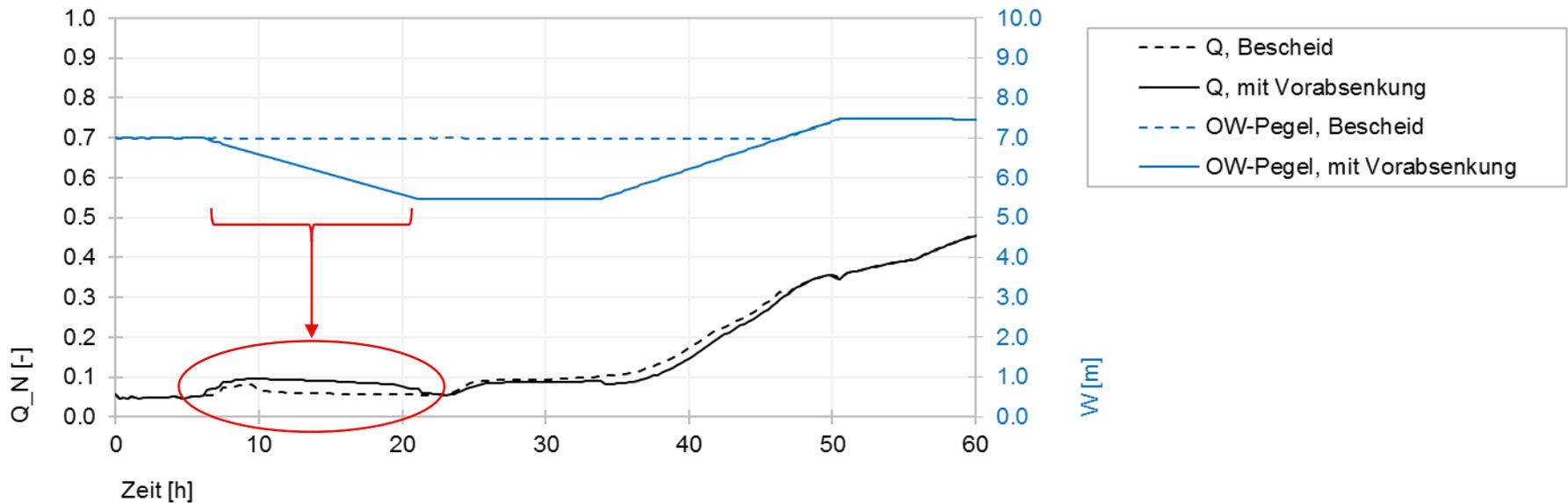


*Abfluss- und Oberwasserstand-Ganglinien für Berechnung mit konstantem Stauziel und Umsetzung einer Steuervorgabe mit Vorabsenkung und Wiederaufstau (mit H-Wehr (Zeit)). Abflüsse Q wurden ohne Basisabfluss normiert auf den Spitzenabfluss.*

# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Möglichkeiten der Steuerung: H-Wehr (Steuerung)

Detail Vorabsenkungswelle

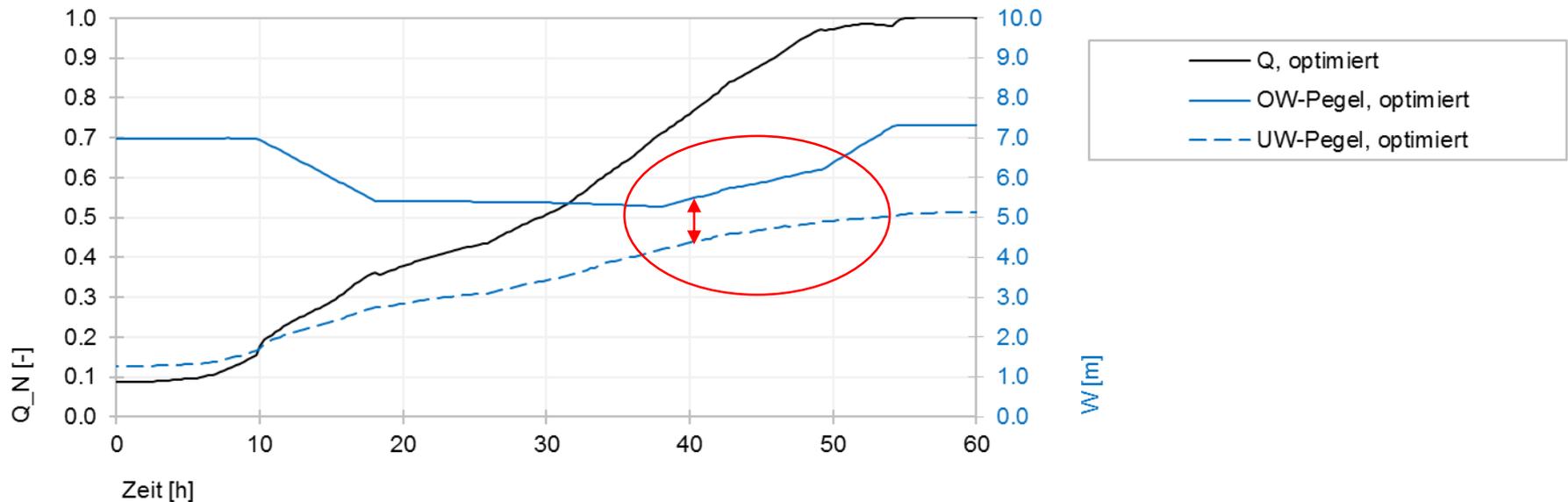


*Abfluss- und Oberwasserstand-Ganglinien für Berechnung mit bescheidsgemäßer Steuerung und Umsetzung einer Steuervorgabe mit Vorabsenkung und Wiederaufstau (mit H-Wehr (Steuerung)). Abflüsse  $Q$  wurden ohne Basisabfluss normiert auf den Spitzenabfluss.*

# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Möglichkeiten der Steuerung: Einfluss vom UW

Angabe von UW-Pegel und Abflussbeiwert führt zu Aufstau im OW

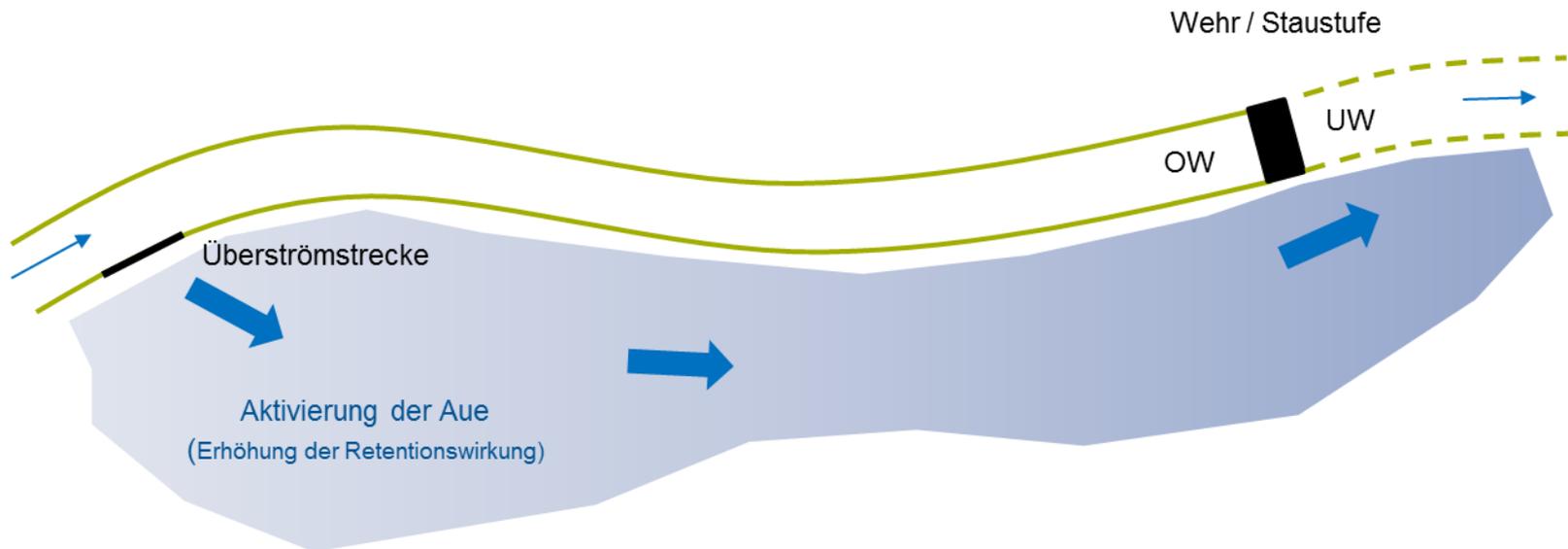


*Abfluss- und Wasserstand-Ganglinien für Berechnung mit optimierter Steuervorgabe (mit H-Wehr (Steuerung)). Abflüsse Q wurden ohne Basisabfluss normiert auf den Spitzenabfluss.*

# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Wechselwirkung mit Überströmstrecken

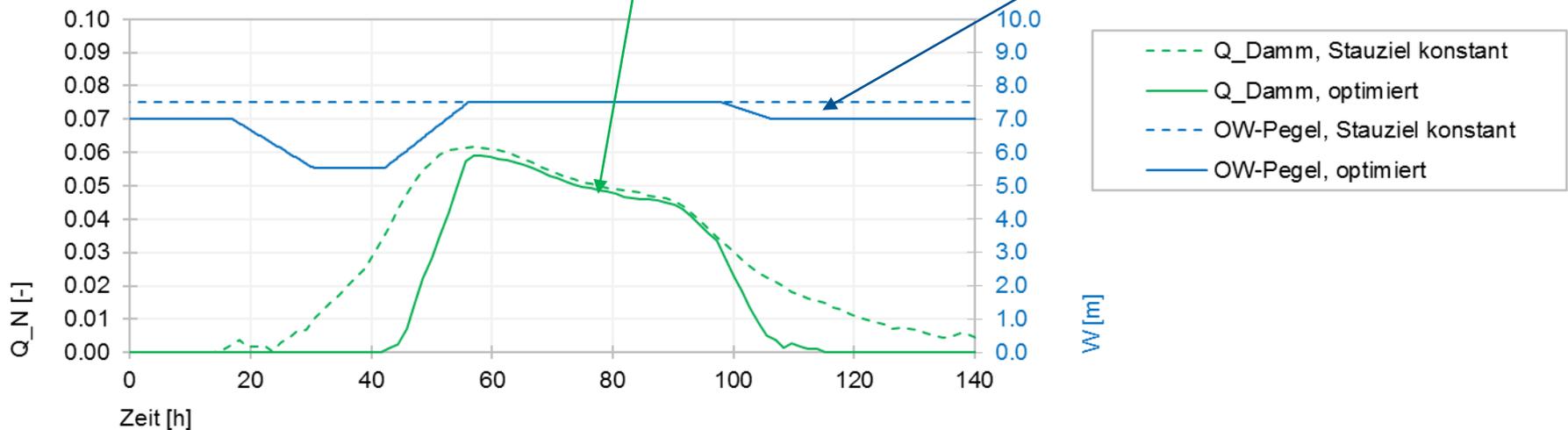
Skizze: geplante Aktivierung der Aue durch Überströmstrecke im Damm (z.B. festes Wehr)



# Untersuchungen an langen Flussabschnitten

Wechselwirkung mit Überströmstrecken

Abflussganglinie



Abflüsse über das feste Wehr (Überströmstrecke) und Oberwasserstand-Ganglinien für Berechnung mit konstantem Stauziel und Umsetzung einer Steuervorgabe mit Vorabsenkung und Wiederaufstau (mit H-Wehr (Zeit)). Abflüsse  $Q$  wurden normiert auf den Spitzenabfluss an der Staustufe.

# Erkenntnisse im Lauf des Modellierungsprozesses

## Allgemein

Für Untersuchungen mit einer optimierten Steuerung zur besseren Reduktion des Hochwasserscheitels:

- ... ist das Befolgen einer starren Steuervorgabe nicht zielführend.
- ... ist eine Ermittlung der verfügbaren Stauraumvolumina, Ab- und Aufstaugeschwindigkeit (Gradienten) notwendig.
- ... muss für eine optimale Scheitelkappung über mehrere Rechenläufe iteriert werden.  
→ deshalb lange Bearbeitungszeit je nach Anzahl der Wehre im Untersuchungsgebiet

# Erkenntnisse im Lauf des Modellierungsprozesses

## H-Wehr (Steuerung)

- 1:1 Umsetzung einer Wehrbetriebsordnung funktioniert gut  
→ selbsttätige Steuerung des Auslaufs
- auch Kette von Wehren kann simuliert werden
- Voraussetzungen
  - passende Einstellung der Randbedingungen (z.B. Wehrgeschwindigkeit, Relaxationskoeffizient)
  - sorgfältige Wahl der Lage der Steuerpegel und der Messquerschnitte
- Für eine effektive Wellenbeeinflussung bzw. Kappung müssen die Wehrgeschwindigkeiten, die zum besten Resultat hinsichtlich einer Scheitelkappung führen, iterativ ermittelt werden.

# Erkenntnisse im Lauf des Modellierungsprozesses

## H-Wehr (Zeit)

- Voraussetzungen wie bei H-Wehr (Steuerung)
- Durch fixe WSPL-Angabe sehr strenge Vorgabe
- Umsetzung einer Wehrbetriebsordnung mit etwas höherem Aufwand
- Kette von Wehren kann simuliert werden
- erhöhter Aufwand durch iterative Ermittlung der verfügbaren Stauraumvolumina, Ab- und Aufstaugeschwindigkeit (Gradienten)

## Optimierung der Scheitelkappung durch iteratives Vorgehen

- unterschiedliche Aufstauzeitpunkte und –geschwindigkeiten präzise einstellbar
- annähernd horizontale Kappungen der Hochwasserwelle

# Fazit

## Hochwasserrückhaltepotential durch Staustufensteuerung

- Erhöhung des im Stauraum vorhandenen Hochwasserrückhaltevolumens entweder durch Vorabsenkung und/oder Überstauregelungen
- Tatsächliche Wirkung dieser Staustufenbewirtschaftung ist v.a. abhängig von
  - der Vorhersage der Hochwasserwelle und
  - u.U. einer baulichen Anpassung der Wehranlagen und Dämmen (Standicherheit)
- Zusätzlich problematisch bei einem kombinierten Einsatz von mehreren Staustufen
  - Entstehen einer Vorabsenkungswelle oder
  - Erhöhung der Abflussspitze bei sub-optimaler Umsetzung.

→ Die Untersuchungsergebnisse repräsentieren daher ein theoretisches, maximales Potential für Hochwasserrückhalt durch angepasste Wehrsteuerung.

Die unterschiedlichen Betriebsweisen und deren Wirkung konnten mithilfe der Erweiterung zur Bauwerkssteuerung mit HYDRO\_AS-2D untersucht werden.

# Danke!

**Stefan Giehl**

Dorothea Pörtge, Riccardo Scandroglio

Prof. Dr.-Ing. Alpaslan Yörük

Prof. Dr.sc.tech. Peter Rutschmann

Technische Universität München

Fakultät Bau Geo Umwelt

Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft

[stefan.giehl@tum.de](mailto:stefan.giehl@tum.de)