

# Physikalische und numerische Optimierung des Einlaufbereiches beim neuen Krafthaus Töging

*Gabriele Harb, Josef Schneider und Bernhard Gerauer*

## Zusammenfassung

Die VERBUND Innkraftwerke GmbH hat im Rahmen des Projektes „Erneuerung Kraftwerk Töging“ u.a. ein neues Krafthaus errichtet. Da das alte Krafthaus unter Denkmalschutz steht, wurde daneben ein neues Krafthaus errichtet. Dazu wurde die Anströmung im Einlaufbereich untersucht und optimiert, um die Verluste und Strömungsablösungen zu minimieren.

Der Einlaufbereich wurde in unterschiedlichen Lastfällen (1-3 Maschinenbetrieb) in einem numerischen Modell optimiert (2D, 3D) und dann im physikalischen Modellversuch an der TU Graz validiert.

In der Ausführungsphase wurde aufgrund von Umplanungen eine Anpassung der im Zuge der Einreichungsplanung vom Wasserbauinstitut der TU Graz durchgeführten physikalischen und numerischen Untersuchungen für den Projektzustand notwendig.

Der vorliegende Beitrag zeigt die Variantenentwicklung in der numerischen Modellierung und im physikalischen Modellversuch sowie die umgesetzte Einlaufgeometrie.

## 1 Einleitung

Die VERBUND Innkraftwerke GmbH hat im Rahmen des Projektes der „Erneuerung Kraftwerk Töging“ den Neubau des Wehres Jettenbach und des Krafthauses Töging am Inn umgesetzt und die Anlage bereits im Jahr 2021 in Betrieb genommen.

Von der VERBUND Innkraftwerke GmbH wurden im Rahmen der Planungsphase u.a. ein hydraulisches Vollmodell für den Bereich des neuen Krafthauses Töging am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz beauftragt. In dem hydraulischen Vollmodell, in Kombination mit zwei- und dreidimensionalen numerischen Untersuchungen, wurden die Zuströmung zum Krafthaus und die Einlaufgeometrie sowie die Bauzustände untersucht und optimiert. Dieser Beitrag behandelt die Optimierung der Einlaufgeometrie des neuen Krafthauses.

## 2 Projektgebiet und Hintergrund

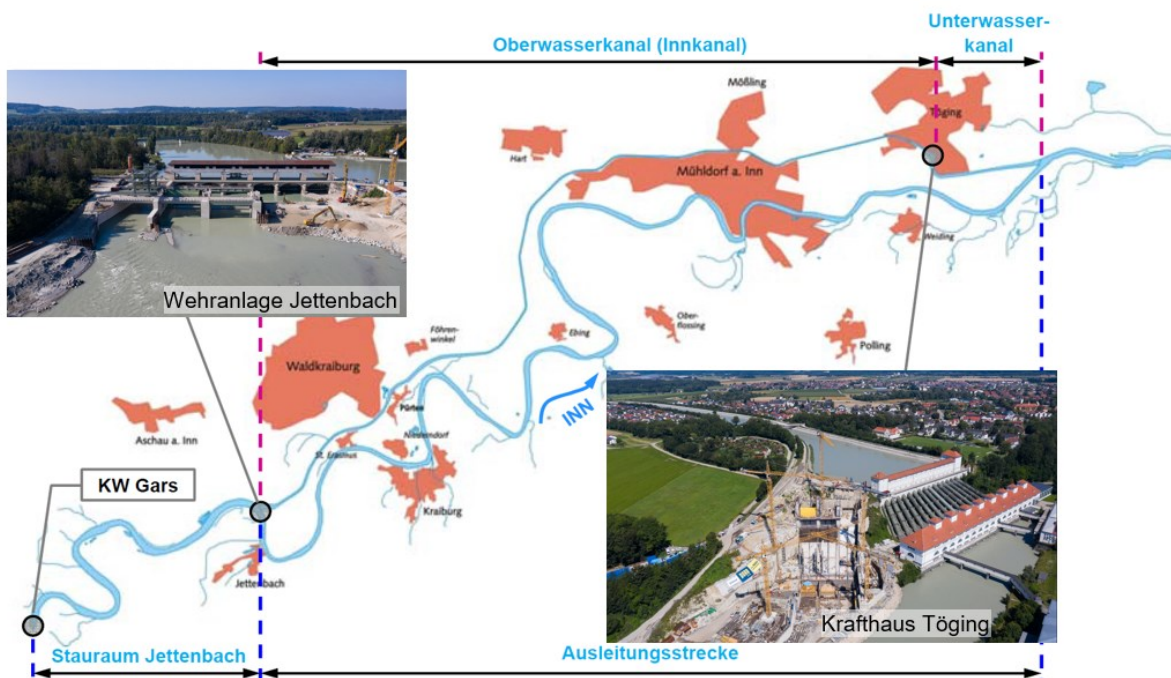
Das Kraftwerk Töging mit der zugehörigen Wehranlage Jettenbach befindet sich am unteren Inn in Bayern. Eine Übersichtskarte sowie Darstellungen der alten, inzwischen abgebrochenen Wehranlage und des alten, inzwischen außer Betrieb genommenen Kraftwerkes sind in Abb. 1 dargestellt.

Die Wehranlage Jettenbach mit dem Kraftwerk Töging ist seit 1924 in Betrieb. Die Wehranlage ist über einen ca. 25 km langen Triebwasserkanal mit dem Kraftwerk verbunden. Das alte Kraftwerk Töging hatte eine Engpassleistung (EPL) von 85,3 MW bei einem Ausbaudurchfluss von 340 m<sup>3</sup>/s und einer Ausbaufallhöhe von 30,5 m. Die Regelabgabe betrug hier 557,2 GWh (Gerauer, 2015).

Durch die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Ausleitungskanales im Rahmen einer Sanierung im Jahre 2003 wurden Überlegungen angestellt, die Effizienz zu steigern, indem das Stauziel erhöht sowie die Krafthausanlage erneuert wird. Das Alter und der schlechte technische Zustand der Wehranlage machten den Ersatz durch eine neue Wehranlage notwendig. Das Stauziel der alten Wehranlage betrug 403,35 mVS. Im Rahmen der Neukonzeptionierung wurden die hydraulischen Randbedingungen mit einem 0,70 m höheren Stauziel auf Kote 404,05 mVS optimiert und somit der bestehende Kanal hydraulisch bestmöglich ausgenutzt.

Das alte Krafthaus steht unter Denkmalschutz und wird daher nicht abgetragen, sondern als Bürogebäude weiterverwendet. Aus diesem Grunde musste das neue Krafthaus neben dem alten Gebäude rechtsufrig errichtet werden. Dabei handelt es sich um drei Kraftabstiege zu Kaplansturbinensätzen.

Durch die neue Anordnung der Turbineneinläufe an den bestehenden Triebwasserkanal ändert sich die Zuströmung zum Kraftwerk. Der entstandene Rechtsbogen lässt eine Spiralströmung erwarten.



**Abb. 1** Übersicht Kraftwerk Töging mit Wehranlage Jettenbach – Bilder jeweils im Bauzustand Sommer 2020

Die technischen Daten (Bestand sowie Änderungen) sind in Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt.

**Tab. 1** Technische Daten hinsichtlich Neubau Jettenbach und Töging (Gerauer, 2015)

	Bestand	Nach Umbau	$\Delta$
Ausbaudurchfluss	340 m <sup>3</sup> /s	410 m <sup>3</sup> /s	+ 70 m <sup>3</sup> /s
Fallhöhe	30,6 m	31,1 m	+0,5 m
EPL	85,3 MW	110 MW	+ 24,7 MW
RAV	557,2 GWh	677,2 GWh	+ 120 GWh
Investition		Rd. 270 Mio €	

### 3 Methodik und Untersuchungsablauf

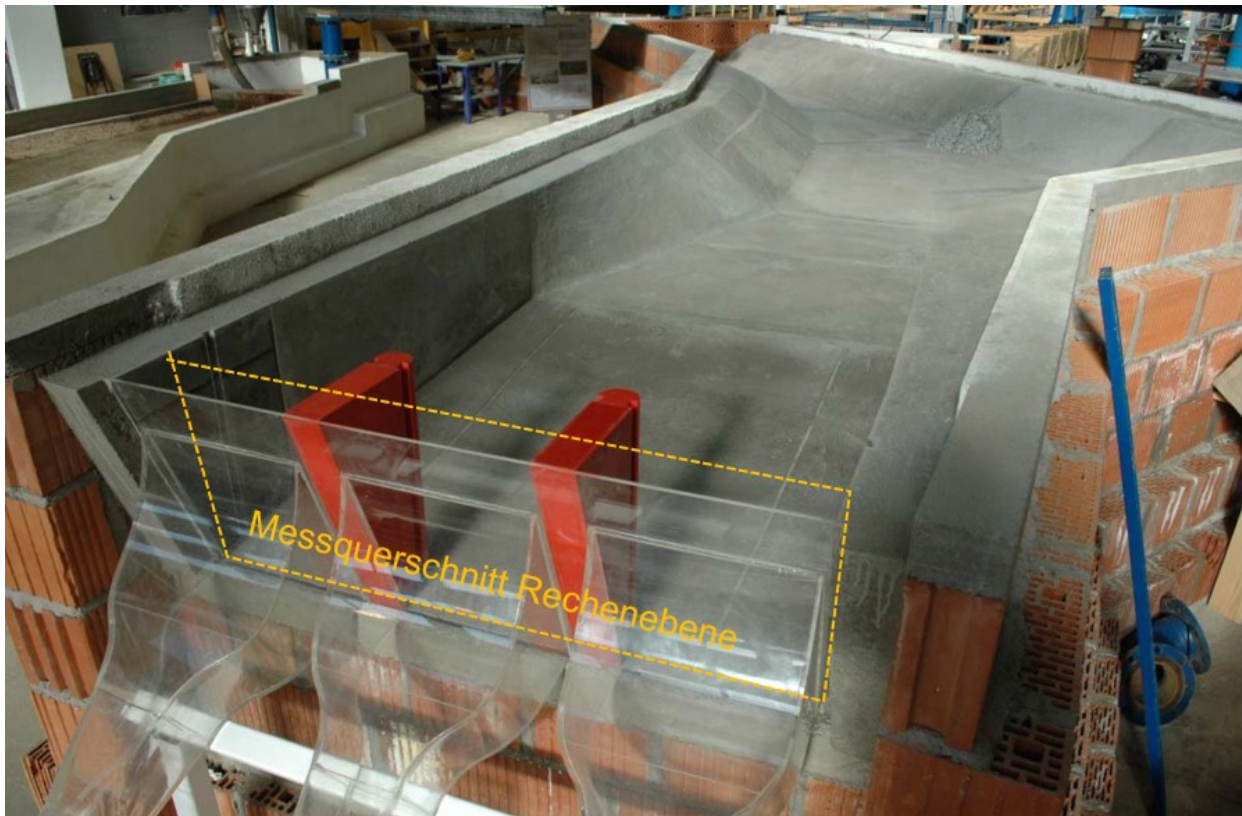
Für die Untersuchungen und Optimierungen beim Krafthaus Töging haben sich folgende zwei Phasen ergeben:

- In Phase 1 in den Jahren 2015 bis 2016 wurden die grundlegenden Untersuchungen der Funktionalität des Einlaufes und der Bauphasen durchgeführt. In den Bauphasen sollte der Betrieb des alten Krafthauses so lange wie möglich aufrechterhalten werden.
- In Phase 2 in den Jahren 2017 bis 2018 wurde die Einlaufgeometrie weiter optimiert, um Rückströmbereiche zu reduzieren und damit die Verluste zu verringern.

Beide Phasen wurden jeweils numerisch sowie im physikalischen Modellversuch untersucht.

#### 3.1 Physikalischer Modellversuch

Das Modell stellt den Zulaufbereich zur neuen Kraftwerksanlage dar und wurde im Maßstab 1:40 erstellt. Es entspricht einer Naturlänge von knapp 780 m mit einer Zulauflänge von 380 m und einer Unterwasserlänge von 200 m. Der Bereich vom Einlauf bis zum Saugrohrende ist in der Natur ca. 86 m lang. Im Labor hat das Modell eine Zulauflänge im Oberwasser von 9,8 m, der Unterwasserbereich ist etwa 5 m lang, dazwischen liegt der Bereich vom Einlauf bis zum Saugrohrende mit einer Länge von 2,15 m. Das Modell weist eine mittlere Breite von 2,25 m und eine Höhe im Oberwasser von 1,70 m und im Unterwasser von 0,80 m auf. Eine fotografische Darstellung ist in Abb. 2 ersichtlich. Das Modell wurde nach dem Froude'schen Modellgesetz betrieben. Dieses Modellgesetz beschreibt, dass das Verhältnis der Trägheits- und Schwerekräfte in der Natur und im Modell gleich groß ist, wodurch eine geometrisch ähnliche Nachbildung der Strömung ermöglicht wird.



**Abb. 2** Modell Kraftwerk Töging, Ausgangszustand Trockenfoto –Oberwasser, Blickrichtung flussauf

### 3.2 Numerische Modellierung

In Phase 1 wurde für die Optimierung des Zulaufes des neuen Kraftwerkes Töging die Software CFX (Ansys) eingesetzt. Die Geometrie im Oberwasser wurde aus den Plandaten entnommen. Das Berechnungsnetz wurde mit ANSYS ICEM erstellt. Es wurden 2,7 Mill. hexahedrale Elemente und 2,8 Mill. Berechnungsknoten verwendet. In Phase 1 wurde die numerische Modellierung an der TU Graz durchgeführt.

Der zweite Teil der numerischen Berechnungen in Phase 2 wurden mit dem Programm TELEMAC-3D durchgeführt. Das Programm wurde von der Électricité de France (EDF) als Teilmodule des TELEMAC-MASCARET Systems entwickelt und ist seit 2010 als Open-Source-Software verfügbar. In Phase 2 wurde die numerische Modellierung durch die VERBUND Hydro Power intern ausgeführt. Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen wurden schlussendlich im physikalischen Modell wiederum validiert.

Die mathematische Beschreibung von TELEMAC-3D ist in Hervouet (2007) bzw. auf <http://www.opentelemac.org> zu finden.

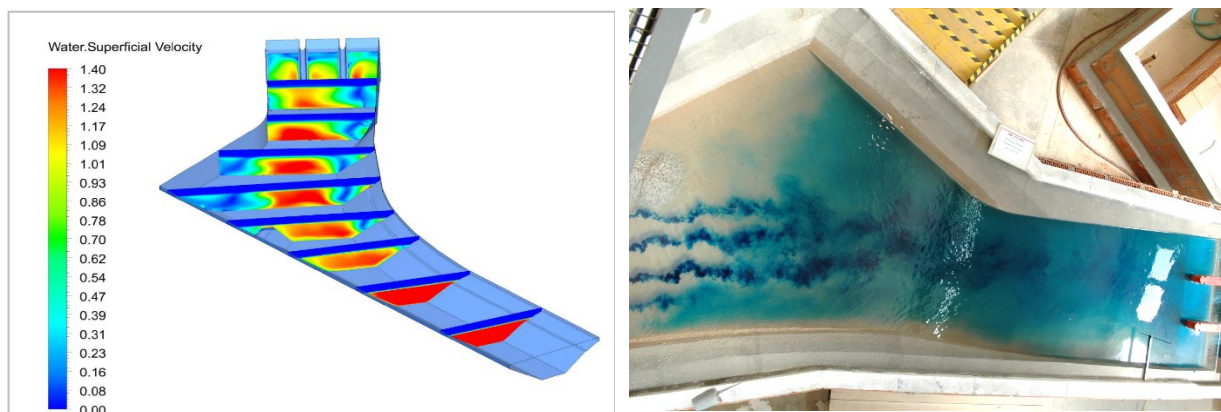
## 4 Variantenuntersuchung und Ergebnisse

Im Rahmen dieses Kapitels werden beispielhaft Ergebnisse aus der Vielzahl an Untersuchungen dargestellt. Ziel der Variantenuntersuchung war die Optimierung des Zulaufs des neuen Krafthauses.



#### 4.1 Ausgangszustand - Phase 1

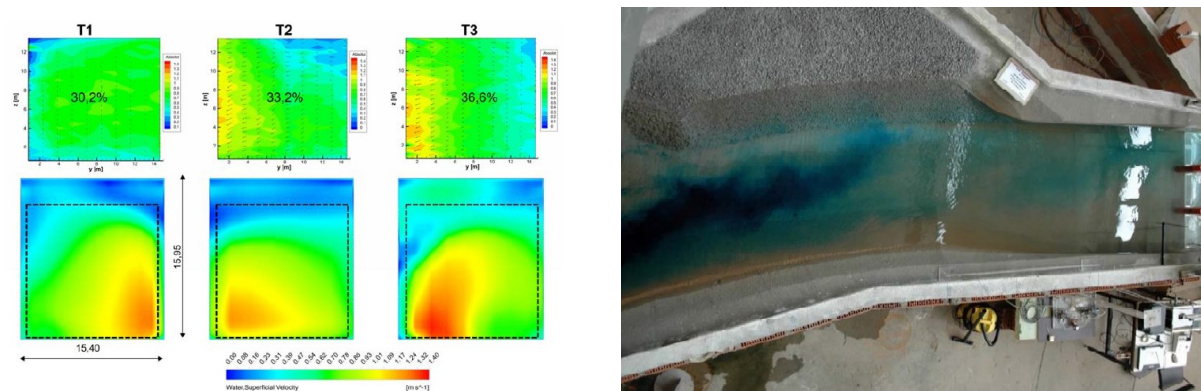
In Phase 1 fand aufgrund des knappen Zeitbudgets nur die Überprüfung der Funktionalität statt. Dem Auftraggeber wurden Vorschläge zur weiteren Optimierung übermittelt, welche in Phase 2 überprüft wurden. Der Ausgangszustand Phase 1 zeigt deutlich die Rückströmbereiche am linken und rechten Ufer im Bereich der Kanalaufweitung vor dem Kraftabstieg (Abb. 3). Diese Rückströmbereiche sollten zur Minimierung von Verlusten als auch zur Vermeidung von Verlandungen verringert werden.



**Abb. 3** Ausgangszustand - Numerische Untersuchung der Zuströmung zum neuen Kraftwerk, CFX (links) und Zuströmung Oberwasser, Modell (rechts)

#### 4.2 Variante 1 - Phase 1

Bei Variante 1 wurde der linksufrige Aufweitungsbereich (Zulaufbereich altes Krafthaus) aufgefüllt, um die Anströmung zum Einlauf zu verbessern und die im Aufweitungsbereich stattfindende Rückströmungszone zu eliminieren (Abb. 4). Diese Variante stellte den Ausführungsvorschlag in den Versuchen an der TU Graz dar, der in weiterer Folge in Phase 2 neuerlich überarbeitet wurde. Der Messquerschnitt bzw. der Auswertungsquerschnitt in Abb.4 (links) befindet sich in der Rechenebene.

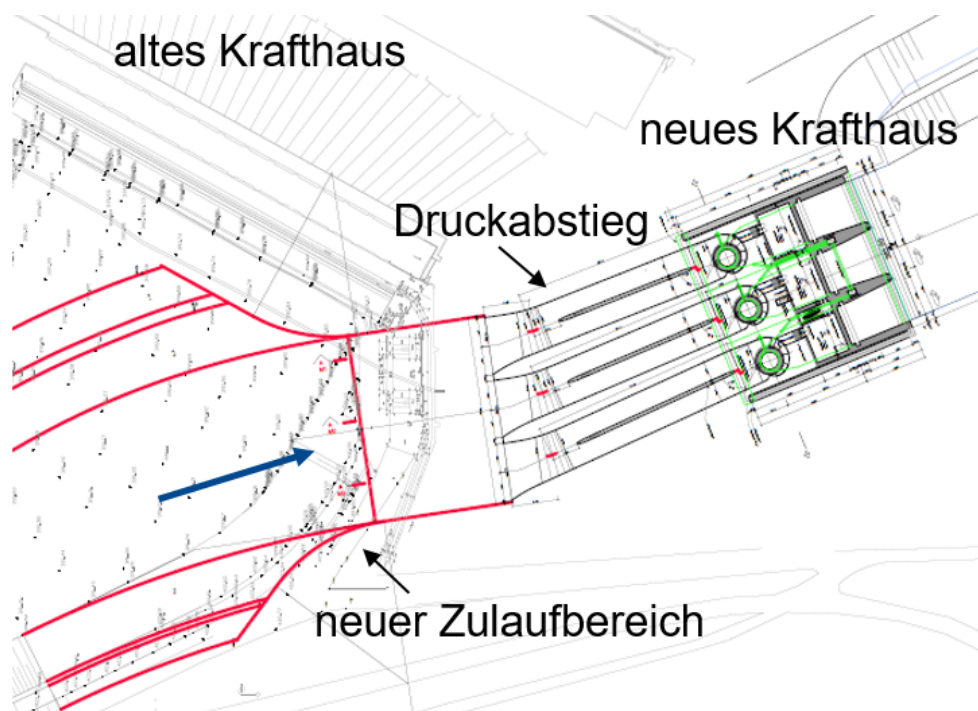


**Abb. 4** Variante 1 - Numerische Untersuchung der Zuströmung zum neuen Kraftwerk, Messungen im Modellversuch (oben links) im Vergleich zur CFX Modellierung (unten links) und Zuströmung Oberwasser, Modell (rechts)

### 4.3 Phase 2

Im Zuge der Ausführungsplanung wurde der Zulaufbereich sowie der Einlaufbereich um ca. 10% verschmälert und die Pfeilerlänge im Bereich des Einlaufs gekürzt, da eine durchgehende Rechenebene gewünscht war. Die folgenden numerischen Berechnungen zeigten jedoch, dass damit die Anströmung im Einlaufbereich, vor allem auf die rechte Maschine im Innenbogen, verschlechtert wurde.

Außerdem wurde aus statischen Gründen in den Druckabstiegen eine Mittelmauer eingezogen, um die vorhandene Überschüttung in Revisionsfällen (ohne Innendruck) besser abtragen zu können. Der Planungszustand als Ausgangsbasis der Optimierungen in Phase 2 ist in Abb. 5 dargestellt.



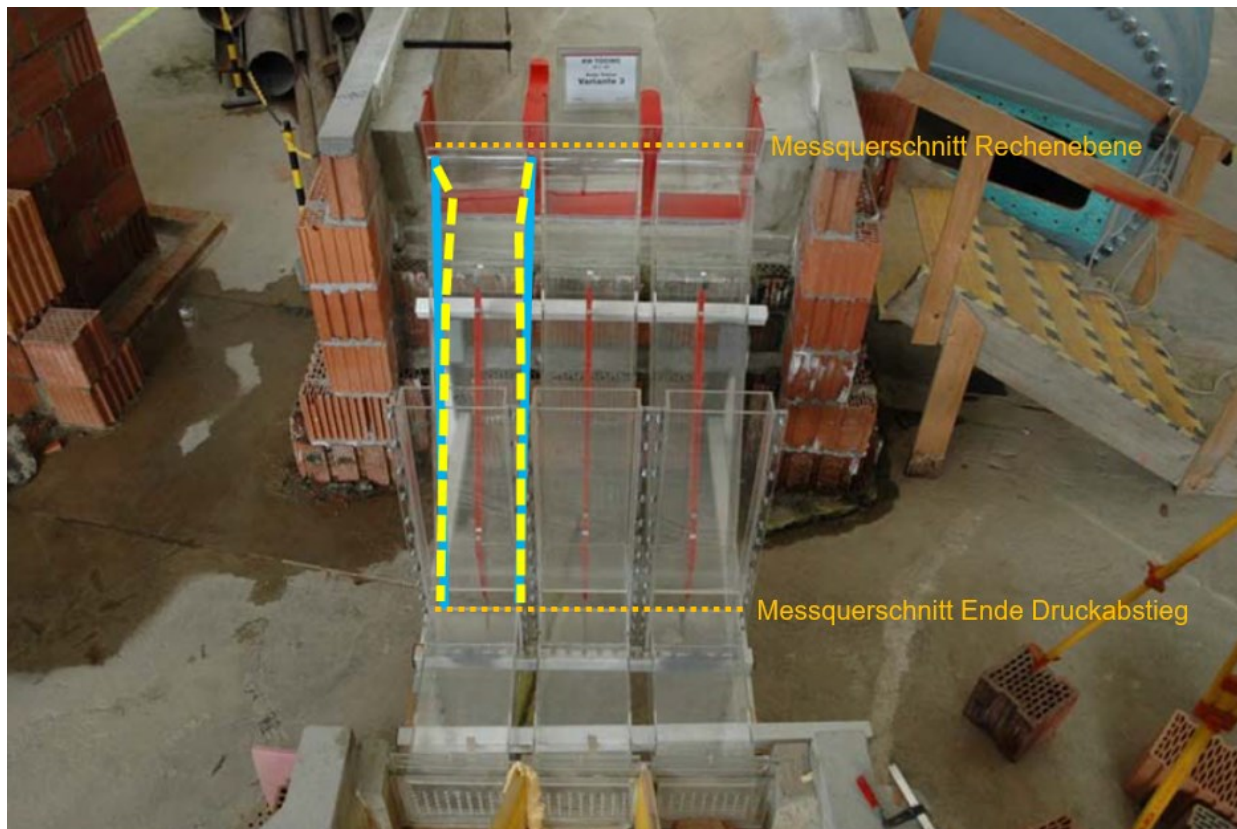
**Abb. 5** Übersichtsskizze – Planungszustand als Ausgangsbasis der Optimierungen in Phase 2

Um die Anströmung im Einlauf und zu den Maschinen wieder zu verbessern wurden folgende Punkte in überschneidenden Varianten im numerischen 3D-Modell weiter optimiert:

- Anpassung Böschungsanschlüsse zum Einlauf: eine lange senkrechte Ufermauer zeigte keine Vorteile in der Anströmung, daher wurde die Böschung mit der Berme weiter Richtung Einlauf gezogen, da dies wesentliche Vorteile im Bau hatte (kürzere Bauzeit, daher kürzere Stillstandsphase).
- Sohlneigung zum Einlauf: die Sohlneigung zum Einlauf wurde optimiert, der Sohlknick im Abb. 5 zeigte eine Verschlechterung der Sekundärströmungen und führte gemeinsam mit der Zulaufgeometrie zu hohen vertikalen Geschwindigkeiten am Rechen.
- Erhöhung der Sohlneigung in der Kurve: die Erhöhung der Querneigung der Sohle in der Kurve von ca. 5 % zeigte keinen wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung im Zulaufbereich.
- Einengung Zulauf: durch die Einengung des Zulaufes konnte die Rückströmzone im Innenbogen eliminiert werden, ohne den Wasserspiegel zusätzlich zu heben.

- Verlängerung der Pfeiler: für eine Verbesserung der Anströmung war die Verlängerung der Pfeiler erforderlich und eine durchgehende Rechenebene daher nicht möglich, ohne das gesamte Rechenpodium zu versetzen (im Modellversuch weiter optimiert).
- Druckabstieg: die Einschnürung nach dem Einlaufbereich lt. Planungsvorschlag wurde wieder entfernt, da die Strömung an der Kante teilweise abriss (im Modellversuch optimiert)

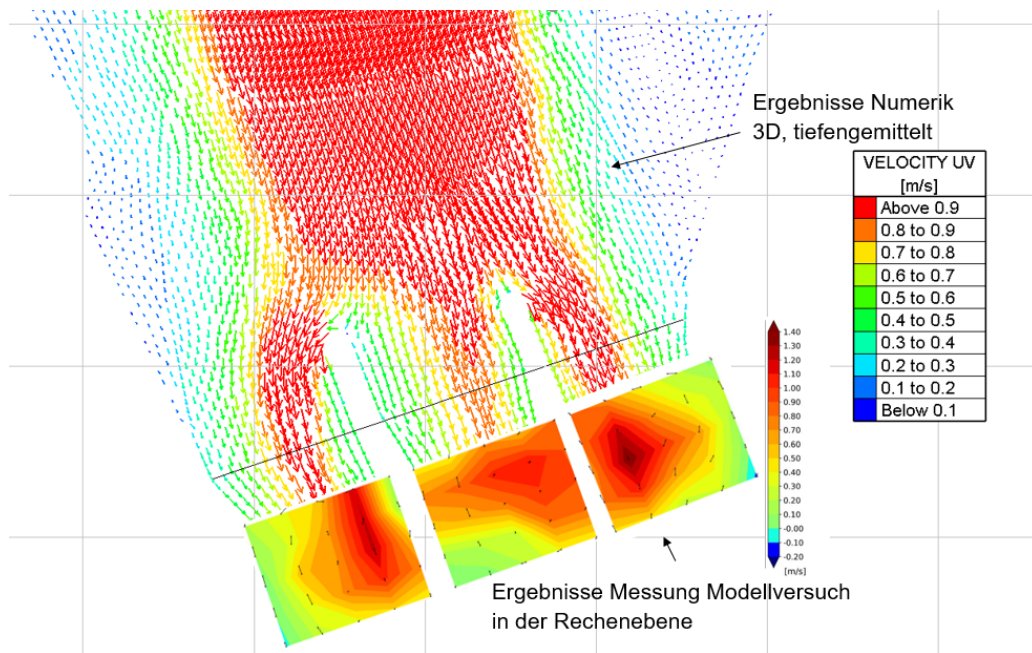
Die optimierte Variante aus der 3D-Numerik wurde an der TU Graz im hydraulischen Vollmodell eingebaut und weiter untersucht (siehe folgende Abbildung).



**Abb. 6** Phase 2 Ausgangszustand im Vollmodell an der TU Graz; gelbe Markierung – Druckabstieg lt. Planungsvorschlag, hellblau – Kontur Druckabstieg aufgrund Optimierung im Modellversuch

Die Ergebnisse in Abb. 7 zeigen, dass keine optimale Anströmung der rechten Maschine aufgrund der vorhandenen Spiralströmung stattfindet und hier nach dem Pfeilerkopf noch eine leichte Ablösung der Strömung vorhanden ist. Daher wurden weitere Optimierung hinsichtlich der Pfeilerlängen durchgeführt.



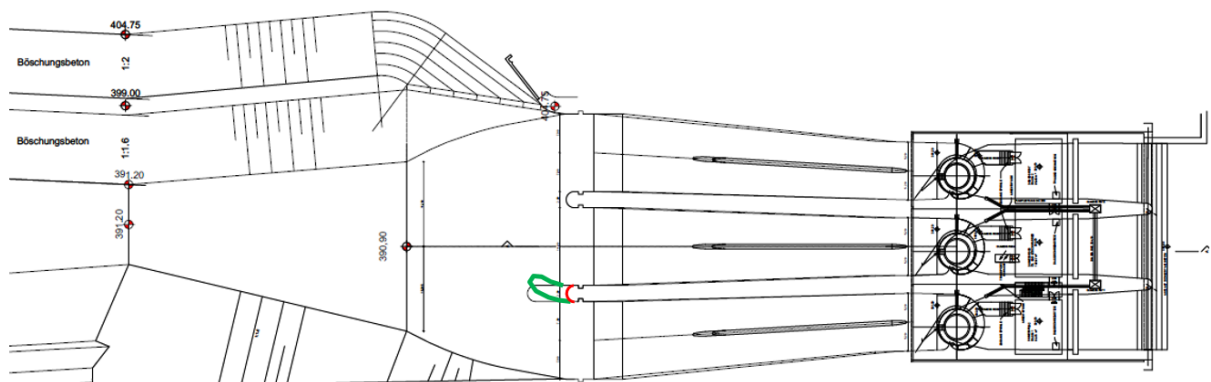


**Abb. 7** Phase 2 Ausgangszustand: Überlagerung der Ergebnisse in der Numerik (3D, Ergebnisse tiefengemittelt, Darstellung Anströmung Zulauf) mit den Messungen im Vollmodell in der Rechenebene

#### 4.3.1 Optimierung Pfeiler

Um die Anströmung auf den rechten Maschinensatz zu verbessern, wurden 3 Pfeilervarianten entwickelt (siehe Abb. 8).

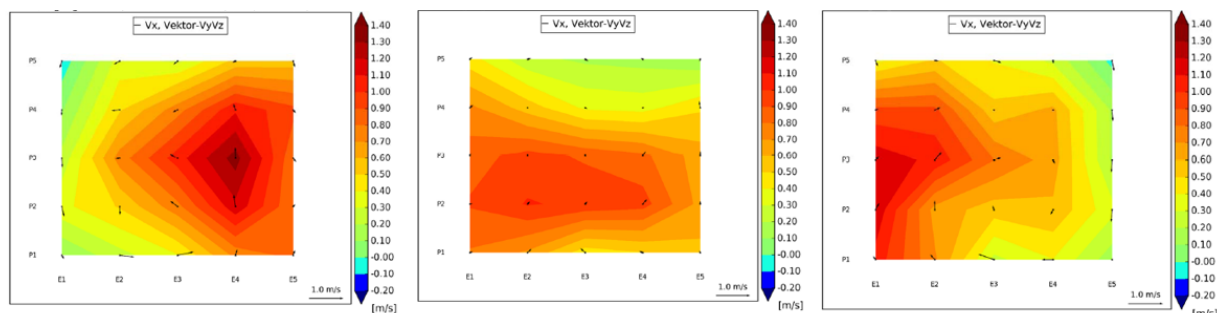
- Variante „kurzer Pfeiler“: Ausgangsvariante, in Rot dargestellt
- Variante „langer Pfeiler“: rechter Trennpfeiler ist um 8 m länger als die „kurze“ Pfeilervariante, in Schwarz dargestellt
- Variante „gekrümmter Pfeiler“: rechter Trennpfeiler ist um 8 m länger als die „kurze“ Pfeilervariante und gekrümmt, in Grün dargestellt



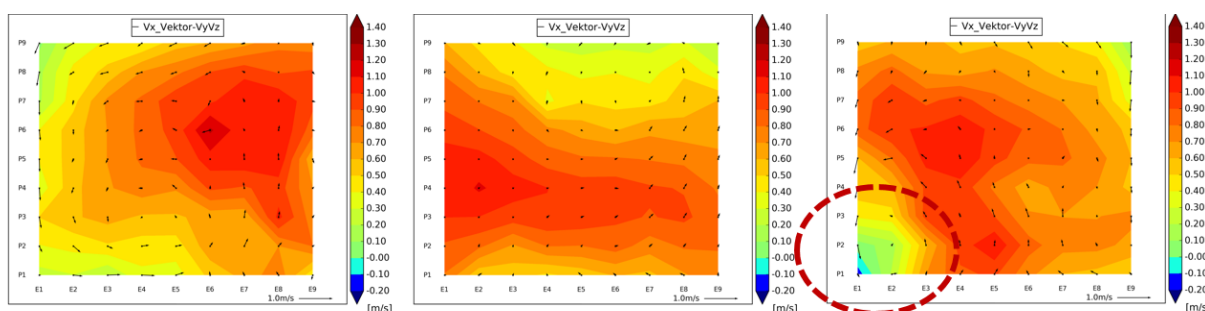
**Abb. 8** Finale Zulaufgeometrie Phase 2 mit Pfeilervarianten: kurzer Pfeiler (rot), langer Pfeiler (schwarz), gekrümmter Pfeiler (grün)



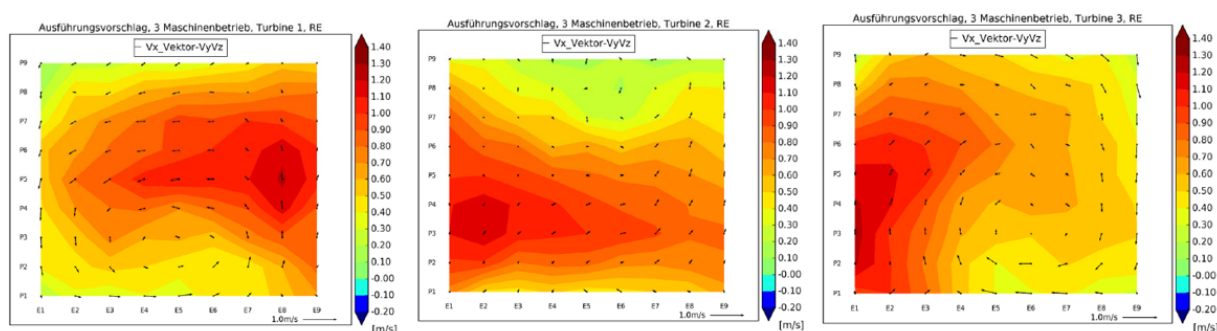
Die folgenden Abbildungen vergleichen die im Modellversuch gemessenen Geschwindigkeitsprofile in der Rechenebene für die einzelnen Varianten. In Abb. 9 sind im Bereich des rechten Einlaufs hohe Anströmgeschwindigkeiten sehr nah neben dem Pfeiler ersichtlich. Diese führen auch aufgrund der Mittelmauer im Druckrohr zu einer ungleichmäßigen Anströmung des rechten Maschinensatzes. Die Geschwindigkeitsprofile für die Varianten „langer Pfeiler“ und „gekrümmter Pfeiler“ wurden in einer höheren Auflösung gemessen. Der „lange Pfeiler“ zeigt eine Verbesserung der Geschwindigkeitsverteilung, führt aber zu einem Rückströmbereich in der linken unteren Ecke des rechten Einlaufs (rote Markierung, Abb. 10). Diese Rückströmzone ist in der finalen Variante „gekrümmter Pfeiler“ nicht mehr ersichtlich (Abb. 11).



**Abb. 9** Gemessenes Geschwindigkeitsprofil „kurzer Pfeiler“ (Messquerschnitt in der Rechenebene; Darstellung in Fließrichtung)

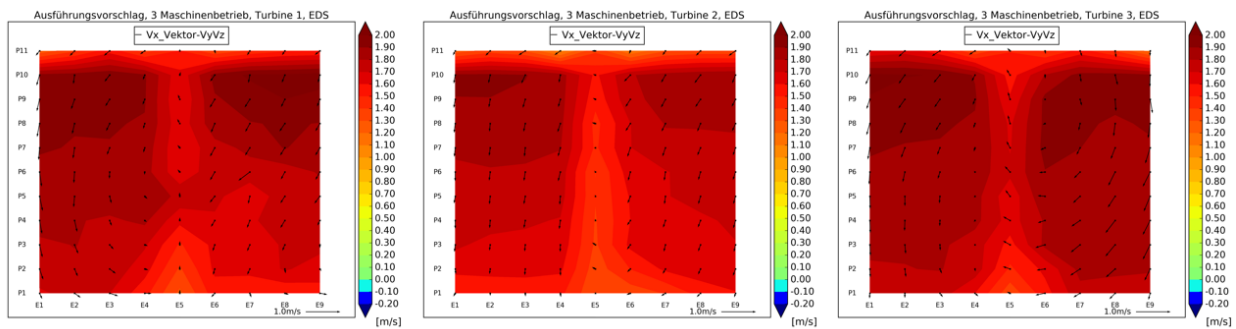


**Abb. 10** Gemessenes Geschwindigkeitsprofil „langer Pfeiler“ (Messquerschnitt in der Rechenebene; Darstellung in Fließrichtung)



**Abb. 11** Gemessenes Geschwindigkeitsprofil „gekrümmter Pfeiler“ (Messquerschnitt in der Rechenebene; Darstellung in Fließrichtung)

Die gemessenen Geschwindigkeitsprofile am Ende des Druckabstieges zeigen eine relativ gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung mit dem Strömungsschatten der Mittelwand (Abb. 12).



**Abb. 12** Gemessenes Geschwindigkeitsprofil für den Ausführungsvorschlag „gekrümmter Pfeiler“ am Ende des Druckabstiegs

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und der vorliegenden Randbedingungen (neues Krafthaus schon in Bau) wurden der gekrümmte Pfeiler als Ausführungsvorschlag festgelegt und gebaut. Das neue Krafthaus ist seit 2022 in Betrieb.

## 5 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die numerischen Modellierungen sowie den physikalischen Modellversuch die Anströmung zu den Maschinensätzen wesentlich optimiert werden konnte. Die Breite des Triebwasserkanals im Zulaufbereich sowie die Länge der Pfeiler beim Einlauf stellten sich als die wichtigsten Parameter heraus. Die numerische Modellierung zeigte sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen im Modellversuch.

## Literatur

- Gerauer B. (2015). Erneuerung KW Töging, Projektinformation, interne Präsentation.
- Hervouet, J.M. (2007). Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method. Chichester: Wiley.

## Anschrift der Verfasser

DI Dr. Gabriele Harb  
 VERBUND Hydro Power GmbH  
 Europaplatz 2, A-1150 Wien  
 gabriele.harb@verbund.com

DI Dr. Josef Schneider  
 Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz  
 Stremayrgasse 10/II, A-8010 Graz  
 schneider@tugraz.at

Dipl.-Ing.(FH) Bernhard Gerauer  
 Grenzkraftwerke GmbH  
 Münchner Straße 48, D-84359 Simbach am Inn  
 bernhard.gerauer@verbund.com