

Untersuchung einer kompakten Energieumwandlungsanlage in einem Dammbauwerk

Sarah-Christin Mietz
Jürgen Stamm
Detlef Aigner
Eckehard Bielitz
Gesine Kubat

Im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen fanden am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik Untersuchungen zum geplanten Hochwasserrückhaltebecken Bärenstein statt. Die Realisierung der ökologischen Durchgängigkeit vollzieht sich hierbei durch ein kombiniertes Grundablass- und Ökostollenbauwerk mit integrierter, damminernen Gegenstromkammer, die sich im Nebenschluss zum Ökostollen befindet und den Hauptuntersuchungsgegenstand der Modellversuche darstellt.

Neben der Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit wesentlicher Betriebseinrichtungen mit Hilfe physikalischer und numerischer Modellierungen, stand die Machbarkeit der Anlagenteile zur Verbesserung der Energiedissipation und Sicherstellung der Funktionsfähigkeit im Fokus. Der vorliegende Beitrag stellt eine komprimierte Zusammenfassung der Ergebnisse dar.

Stichworte: Hochwasserrückhaltebecken, Gegenstromkammer, Gewässerdurchlass, ANSYS CFX, Physikalisches Modell, Numerische Modellierung

1 Einführung

Im Rahmen des Hochwasserschutzkonzeptes Nr. 5, welches die Verbesserung des Hochwasserschutzniveaus im Müglitztal priorisiert, beabsichtigt der Betrieb Oberes Elbtal der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen die Errichtung des ökologisch durchgängigen Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) Bärenstein.

Im Osterzgebirge, ungefähr 5,0 km südlich der Ortslage Glashütte wird dazu ein begrünter Steinschüttdamm mit Asphaltkerndichtung geplant, welcher die Biela

im Hochwasserfall noch oberhalb der Mündung in die Müglitz stauen soll. Mit einer Bauwerkshöhe von ca. 33 m über Geländeoberkante zählt das Absperrbauwerk in die Klasse der großen Becken nach *DIN 19700-12*.

Die Planung sieht ein sogenanntes Trockenbecken vor, das nur im Hochwasserfall eingestaut wird. Um den Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie hinsichtlich der Durchgängigkeit aquatischer als auch terrestrischer und amphibischer Lebewesen gerecht zu werden, wird zur Durchleitung der Bie-la durch das Dammbauwerk ein überdeckter Grundablass geplant, der gleichzeitig als Ökodurchlass fungieren soll. Im Gewässerdurchlass befindet sich in Fließrichtung gesehen linksseitig ein mit verankerten Rauheitselementen und natürlichem Sohlsubstrat aufgefülltes Trapezgerinne einer Tiefe von 0,4 m und Sohlbreite von 2,0 m. Parallel zum Trapezgerinne verläuft rechtsseitig eine 1,40 m breite Berme, die die Durchgängigkeit für Landtiere und die Begehrbarkeit durch Betriebspersonal gewährleistet.

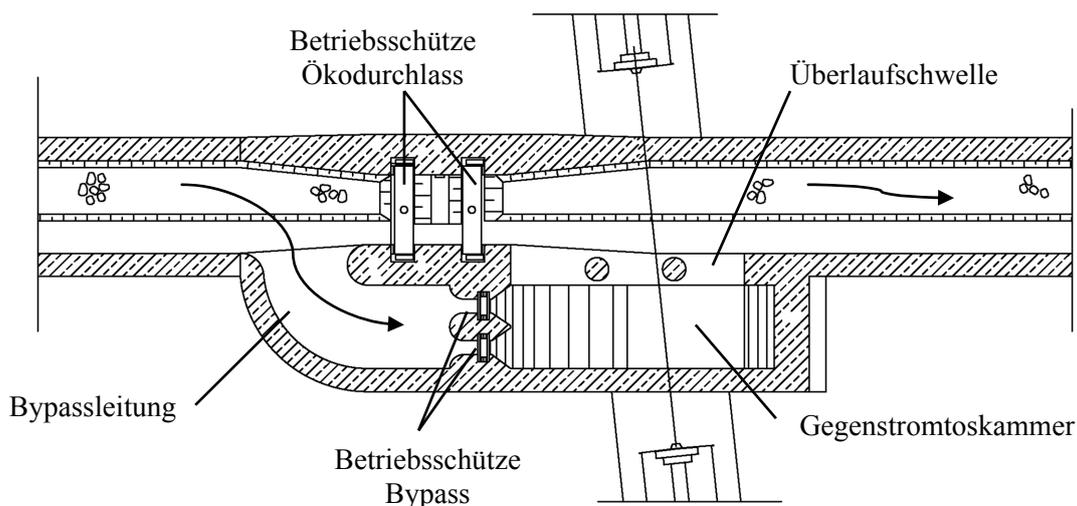


Abbildung 1: Grundriss des Gewässerdurchlasses mit der Bypassleitung mit der sich anschließenden Gegenstromtосkammer (BCE (2010), Modifikation IWD)

Der aus den ökologischen Belangen resultierende, im Vergleich zu rein technischen Grundablässen vergrößerte Abflussquerschnitt, besitzt eine ebenso erhöhte Abflussleistung. Um im Falle eines Hochwasserereignisses u. a. die Austragung des natürlichen Sohlsubstrates zu verhindern sowie eine vorzeitige Entleerung des Rückhalteraaumes zu vermeiden, werden die mittig im Gewässerdurchlass angeordneten Betriebsschütze ab einem Durchfluss von $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ geschlossen. Um dennoch eine Abgabe während des Hochwasserereignisses sowie die Entleerung des Hochwasserrückhaltebeckens realisieren zu können, wird in diesem Fall kein konventioneller parallel verlaufender Grundablass geplant. Statt-

dessen zweigt innerhalb des Gewässerdurchlasses oberwasserseitig der Betriebschütze eine Bypassleitung ab (Abbildung 1), die in eine damminterne Gegenstromkammer mündet (Abbildung 1 und 2).

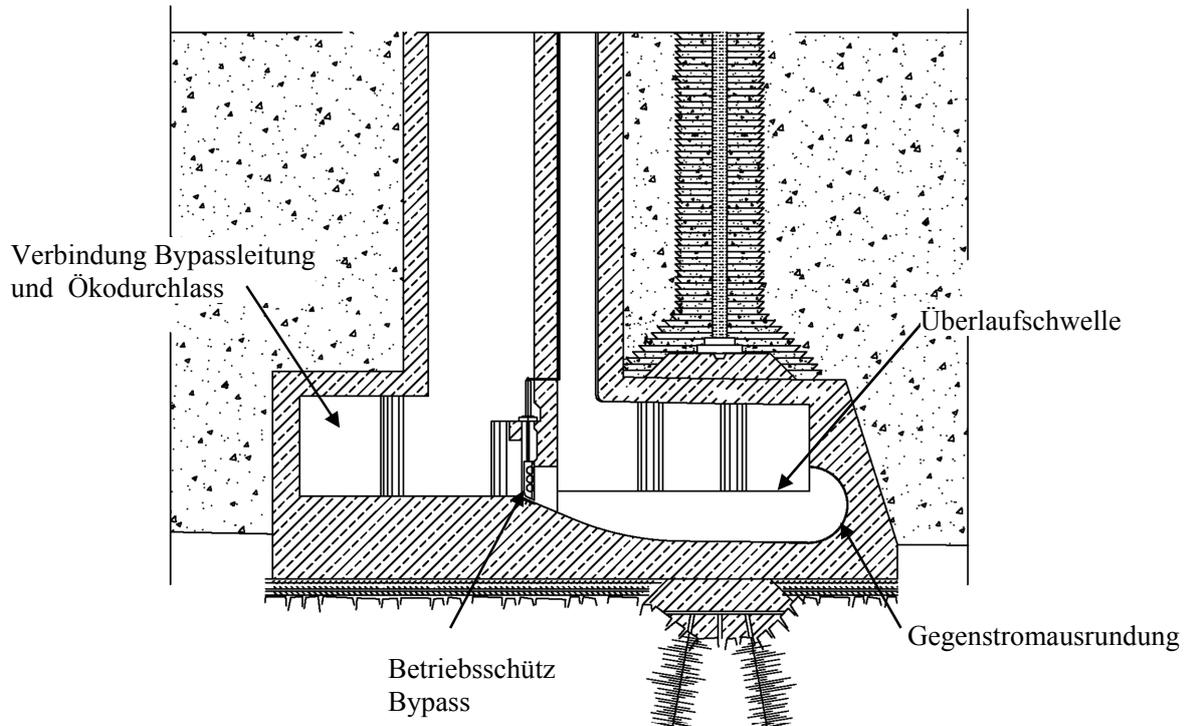


Abbildung 2: Längsschnitt der Gegenstromkammer (BCE (2010), Modifikation IWD)

Innerhalb der Bypassleitung wird über zwei parallel angeordnete Betriebsschütze die Beaufschlagung der Toskammer gesteuert. Im BHQ_1 -Fall wird der Abfluss nur über ein Schütz geregelt, wohingegen sich der Abfluss im BHQ_2 -Fall über beide Schützen vollzieht. P

Über eine Verbindungsschwelle ist die Toskammer mit dem unterwasserseitigen Gewässerdurchlass verbunden.

Diese Bauweise stellt eine kompakte Variante zur Verknüpfung technischer und ökologischer Belange innerhalb eines Grundablasses dar. Auf Grund der turbulenten und komplexen Strömungsvorgänge soll die Energieumwandlungsanlage im Zuge der Planung am Hubert-Engels-Labor des Instituts für Wasserbau und Technische Hydromechanik untersucht werden. Hierfür wurde der physikalische Modellversuch durch numerische Berechnungen mit der Software ANSYS CFX ergänzt.

2 Physikalisches Modell

Das Gewässerdurchlassbauwerk wurde als physikalisches Modell nach dem Froude'schen Modellgesetz im Maßstab 1:12 nachgebildet. Neben der Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit wesentlicher Betriebseinrichtungen, stand die Optimierung der Anlagenteile zur Verbesserung der Energiedissipation, auch im Hinblick auf die Rückströmung des Wassers aus der Gegenstromtoskammer über die Überlaufschwelle zurück in den Gewässerdurchlass, im Fokus. Um die Erosion des natürlichen Sohlssubstrates innerhalb des Ökodurchlasses zu verhindern, wurde eine beruhigte, gleichmäßige Strömung gefordert. Weiterhin stellte die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Betriebseinrichtungen eine wesentliche Komponente dar.

2.1 Methode

Für die Einschätzung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Anlagenteile wurden jeweils die Wasserstände durch Druckmessdosen und Messpegel, Geschwindigkeiten mit Hilfe von Flügelmessgeräten, der Durchfluss durch Magnetisch induktive Durchflussmesser und Strömungseffekte durch Photo- und Videodokumentation erfasst und bewertet. Dabei lag der Fokus auch auf der Beantwortung der Fragestellung, welches Schütz sich bei einseitiger Öffnung im Fall BHQ₁ besser eignet. Für die Erhebung der Kenndaten zur Leistungsfähigkeit der Schützöffnungen wurden zusätzlich zu den in Tabelle 1 genannten Lastfällen weitere Durchflussgrößen eingestellt.

Tabelle 1 Kennwerte der Lastfälle

Lastfall	Druckhöhe [m WS]	Q_{Toskammer} [m³/s]	Anzahl geöffneter Schütztafeln
BHQ ₁	31,15	8,00	1
BHQ ₂	31,48	28,63	2
PMF	32,60	28,82	2

Die Nachbildung des Reservoirs und der vorhandenen Druckhöhe vollzieht sich durch ein senkrecht aufgestelltes PE-HD-Rohr (D = 630 mm, L = 3.10 m), das durch eine KG-Rohrleitung DN 150 gespeist wird. Eine mittig vor dem Anschluss zum Gewässerdurchlass angebrachte vertikale Platte verhindert eine Kurzschlussströmung direkt in den Kanal. Die im Hochwasserfall geschlossenen Schütze des Gewässerdurchlasses werden nicht im Detail abgebildet, sondern als geschlossene Kastenkonstruktion eingefügt. Ihre Öffnung ist damit variabel. Die

beiden Schütztafeln des Bypassgerinnes bestehen aus stabilem Hartplastik und können mittels Elektrostellmotoren präzise reguliert werden.

Für eine bessere Einsicht in den unter Druck stehenden Modellabschnitt und die Gegenstromtoskammer sind diese Abschnitte aus transparentem Acrylglas gefertigt. Durch regelmäßig angeordnete Versteifungen konnten erhöhte Spannungen, die zu Rissbildungen und damit Undichtigkeiten im Acrylglas führen können, vermieden werden.

Vom sich anschließenden unterwasserseitigen Gerinne des Gewässerdurchlasses wurde eine Länge von ca. 40 m abgebildet. Am Ende wird das Gerinne durch ein vertikal verstellbares Auslaufschütz begrenzt.

2.2 Ergebnisse

Die Untersuchungen des Planungsausgangszustandes zeigten, dass im Belastungsfall BHQ_1 die Betriebsschütze permanent durch rückstauendes Wasser beaufschlagt werden (Abbildung 3), was zu der Überlegung führte, den Wasserstand in der Toskammer durch Tieferlegung der Überlaufschwelle zu verringern. Um weiterhin eine ausreichende Überdeckungshöhe des Schussstrahles zu gewährleisten, folgt zwangsläufig die gleichzeitige Tieferlegung der Toskammersohle. Weiterhin fand auf Grund der kompakten Verhältnisse ungleichmäßiges Überströmen, kombiniert mit sehr hohen Fließgeschwindigkeiten entlang der Wehrschwelle von der Toskammer in den Gewässerdurchlass statt. Eine Verlängerung der Toskammer sollte dieser Problematik in weiteren Umbauten Rechnung tragen.

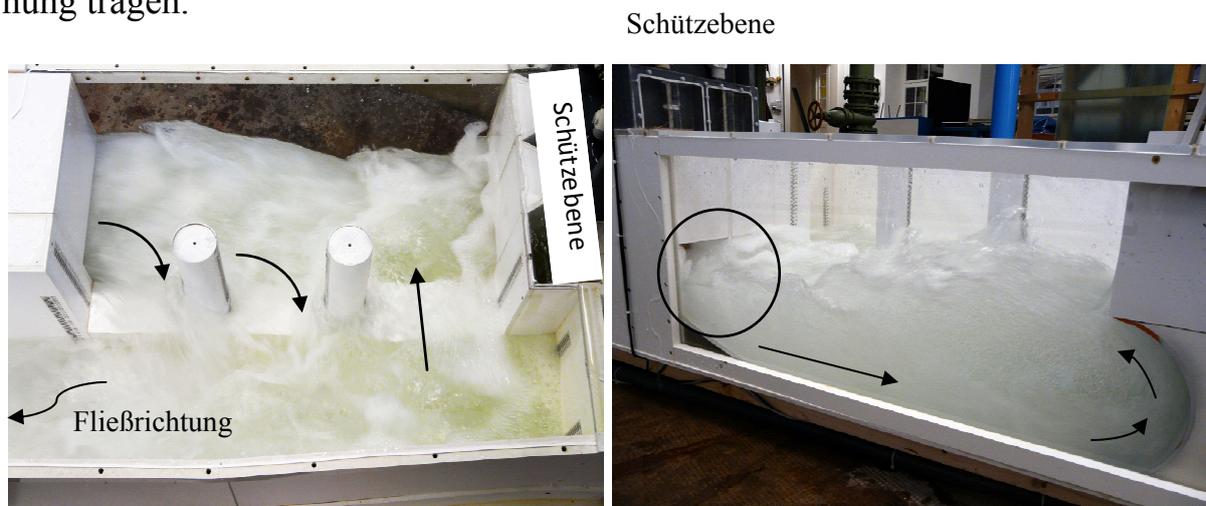


Abbildung 3: Strömungszustand im Fall BHQ_1 bei rechter Schützöffnung, Ursprungsvariante

Die Umsetzung der Parameteranpassung (Sohllage, Toskammerlänge) in einer modifizierten Variante 1 führte zu einer graduellen Verbesserung infolge einer geringeren Schützbeaufschlagung durch rückgestautes Wasser. Eine periodische Belastung durch schwallweise auftretendes Rückstauwasser ist aber noch immer vorhanden. Weiterhin fiel auf, dass sich der Schussstrahl direkt hinter der Schützkante von der Sohle abhebt und sich damit ein Unterdruck im Sohlbereich ausbildet.

Die Tieferlegung der Überlaufschwelle zwischen Toskammer und Gewässerdurchlass führte bei linker Schützöffnung dazu, dass der Schussstrahl teilweise direkt als Kurzschlussströmung in den Gewässerdurchlass (GD) eintritt und sich die Energieumwandlung auch innerhalb des Ökostollens vollzieht, weshalb die Öffnung des rechten Schützes im Fall BHQ_1 empfehlenswert ist.

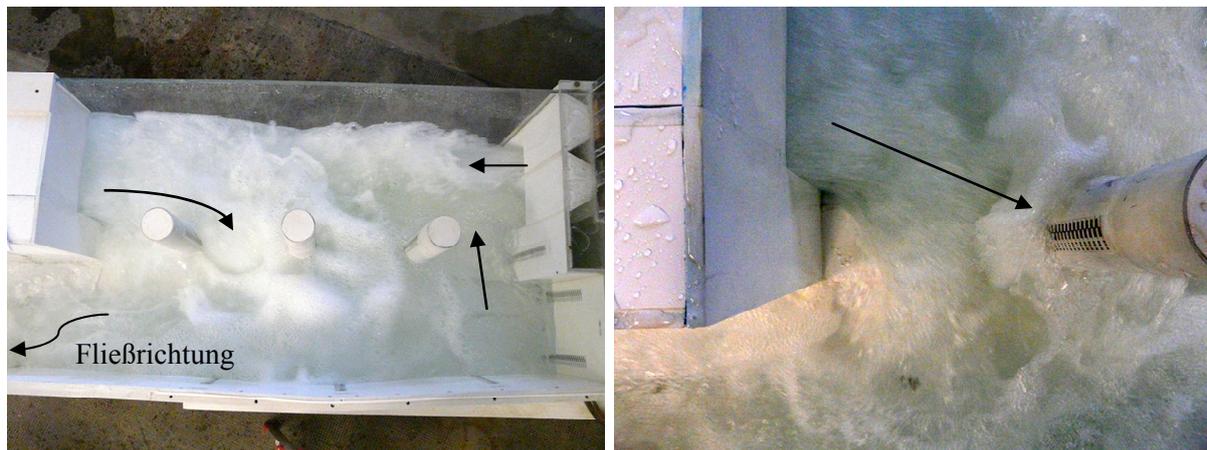


Abbildung 4: Strömungszustand im Fall BHQ_1 bei rechter Schützöffnung, modifizierte Variante 1

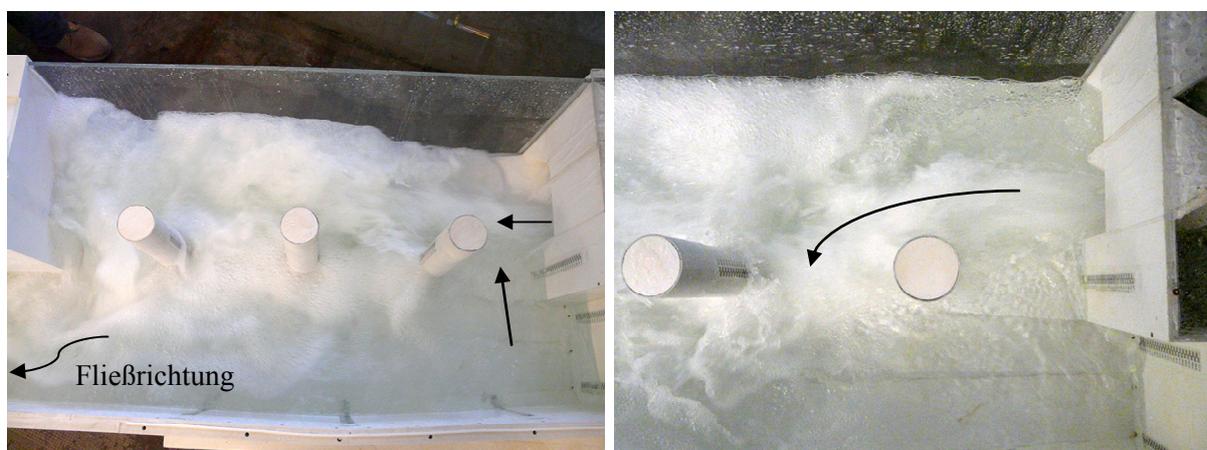


Abbildung 5: Strömungszustand im Fall BHQ_1 bei linker Schützöffnung, modifizierte Variante 1

In allen Varianten findet noch immer kein gleichmäßiges Ausströmen aus der Toskammer in den GD statt, teilweise kommt es im vordersten Wehrfeld (siehe Abbildung 4 und 5) zur einer umgekehrten, in die Toskammer gerichteten Bewegung. Der Verschluss eines der seitlichen Wehrfelder konnte diesen Zustand nicht beheben, verlagerte das Problem stattdessen weiter ins Unterwasser.

In allen Varianten zeigte sich, dass bei unterschiedlichen Schützöffnungshöhen des jeweils linken bzw. rechten Schützes das in Fließrichtung betrachtet rechte Schütz auf Grund der asymmetrischen Anströmung der Schützebene einen größeren Ausflussbeiwert besitzt.

Weiterhin ist die Gegenstromtoskammer im Lastfall BHQ_2 und PMF in allen Versuchsmodifikationen stark überlastet und stellt damit eine erhöhte Belastung des Bauwerkes und Gefährdung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Stauanlage dar.

Zusammenfassend lassen sich folgende Probleme feststellen:

- Beaufschlagung der Schütztafeln durch Rückstau,
- Unterdruck und Kavitationsgefahr im Bereich der Schütznischen und Schützunterkante,
- Strahlabhebung und Unterdruck an der Sohle im Nahbereich der Schütztafeln,
- ungleichmäßige Beaufschlagung der Wehrfelder, z. T. Kurzschlussströmungen,
- Fließwechsel im Gewässerdurchlass im Nahbereich der Überlaufschwelle,
- Überlastung im Lastfall BHQ_2 .

3 Numerisches Modell

Zur Unterstützung des physikalischen Modells wurden zusätzlich numerische Strömungssimulationen auf Basis von ANSYS CFX durchgeführt, mit denen innerhalb eines kurzen Zeitraumes die hydraulische Machbarkeit der Gegenstromtoskammer im Rahmen der existierenden Rahmenbedingungen eingeschätzt und eine voroptimierte Lösungsvariante erarbeitet werden sollte.

3.1 Methode

Um die Ergebnisse der numerischen Simulation hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu überprüfen bzw. anzupassen, fand zunächst eine Nachbildung des vorhandenen physikalischen Modells statt, auf dessen Grundlage weitere Optimierungsvarianten entwickelt werden konnten.

Im weiteren Verlauf der Bearbeitung deutete sich ein signifikanter Einfluss der Schützrisen auf den Strömungsverlauf an. Dieser wurde durch die Modellierung und den Vergleich unterschiedlicher Nischenausbildungen vertieft untersucht. Die in der Abbildung 6 dargestellten Varianten zeichnen sich durch folgende Merkmale aus:

- Variante 3.01: Planungsausgangszustand, Nischenabmessung 0,5 m x 0,3 m (Breite x Tiefe)
- Variante 3.02: ellipsenförmige Ausbildung der unterwasserseitigen Nischenkante nach *Rabben (1984)*
- Variante 3.03: Verzicht auf Nischenkante (rein theoretisch)
- Variante 3.04: Reduzierung der Nischenabmessung 0,05 m x 0,1 m (Breite x Tiefe)

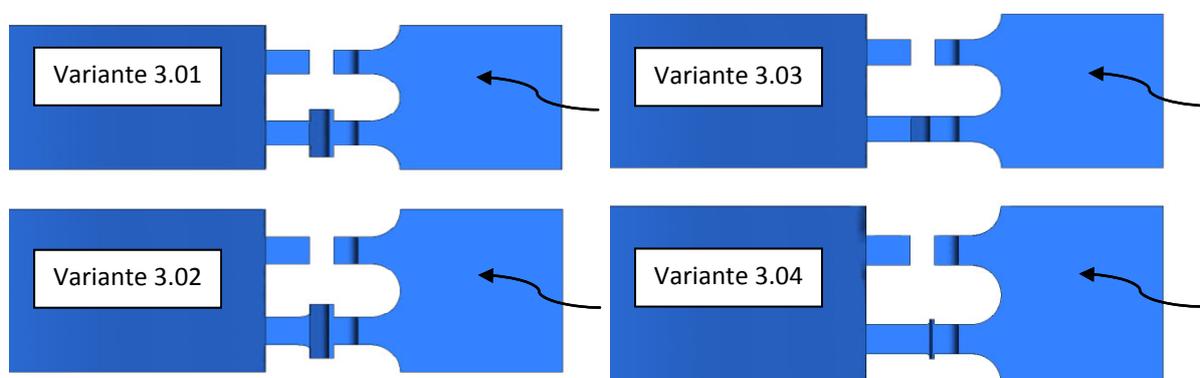


Abbildung 6: Varianten der Nischenausbildung, linkes Schütz geöffnet, rechtes Schütz geschlossen

3.2 Ergebnisse

Es zeigte sich deutlich, dass der Strahlverlauf direkt hinter den Schütztafeln durch eine Veränderung der Nischen, in denen die Betriebsschütze lagern, beeinflusst werden kann. Je strömungsgünstiger und schmaler die Nischen ausgebildet werden, desto stärker liegt der Schussstrahl an der Sohle an (Abbildung 7 und 8) und desto geringer wird der Unterdruck im Bereich der Schützrisen und entlang der Sohle. Die Geschwindigkeiten in den dargestellten Schnittebenen variieren auf Grund der voneinander abweichenden hydraulischen Bedin-

gungen, wegen denen unterschiedliche Schützöffnungshöhen zur Erreichung des geforderten Abflusses von $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ im Fall BHQ_1 notwendig werden.

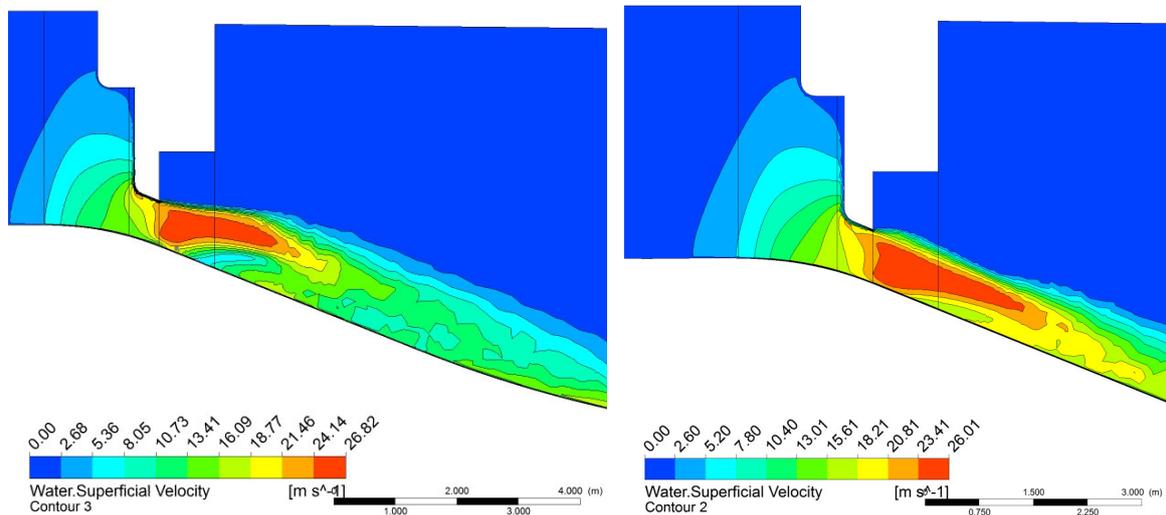


Abbildung 7: Geschwindigkeiten in der Mittelachse linkes Schütz im Fall BHQ_1 , Variante 3.01 (links) und Variante 3.02 (rechts)

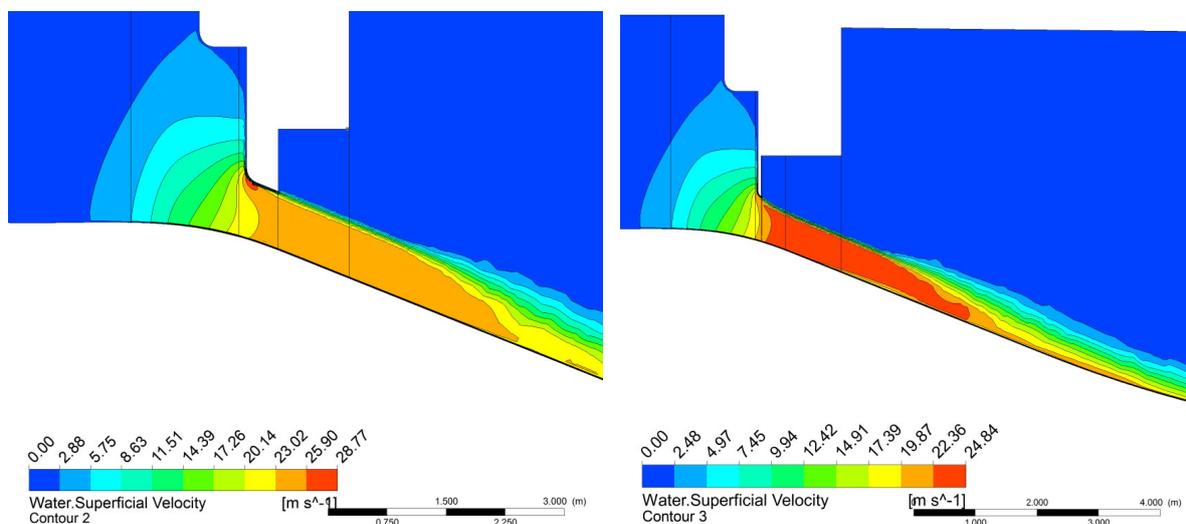


Abbildung 8: Geschwindigkeiten in der Mittelachse linkes Schütz im Fall BHQ_1 , Variante 3.03 (links) und Variante 3.04 (rechts)

4 Ausblick

Wegen der komplexen Turbulenzzustände innerhalb der Gegenstromtoskammer und angrenzendem Ökostollen gestaltet sich die Optimierung der hydraulischen Zustände als schwierig. Die Verbesserung eines unter Abschnitt 2.2 genannten

Problems zieht auf Grund der komplexen Zusammenhänge eine Benachteiligung eines anderen Untersuchungsgegenstandes nach sich. Weiterhin zeigt sich, dass sich die gewählte Konstruktion durchaus für die Abführung eines BHQ_1 anpassen lässt, eine Beaufschlagung mit dem erheblich größeren Abfluss BHQ_2 allerdings erfordert weitere Maßnahmen zur Realisierung eines beruhigten Abflusses im unterwasserseitigen Ökostollen.

5 Literatur

- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg:
Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern - Leitfaden Teil 3:
Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren, 2006
- Kornfeld, M.: Elastizität und Festigkeit von Flüssigkeiten - Grundlagen der Kavitationsvorgänge. Verlag Technik GmbH, Berlin 1952
- Rabben, S. L.: Hydraulische Probleme bei Betriebsauslässen - Erläutert am Beispiel des Tiefschützes. In: Prof. Rouve, G.: Erfahrungen mit Staubauewerken -Planung, Betrieb, Alterung und Ertüchtigung, S. 273-326, 1984
- DIN: 19700 Stauanlagen–Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken. Beuth-Verlag GmbH, Berlin 2004
- BCE: Wasserwirtschaftliche und hydraulische Berechnungen - Erläuterungsbericht. 2010 (unveröffentlicht)

Autoren:

Dipl.-Ing. Sarah-Christin Mietz
apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm

Dipl.-Ing. Eckehard Bielitz
Dipl.-Ing. Gesine Kubat

Institut für Wasserbau und THM
Technische Universität Dresden
George-Bähr-Straße 1
01069 Dresden

Landestalsperrenverwaltung Sachsen
Betrieb Oberes Elbtal
Bahnhofstraße 14
01976 Pirna

Tel.: +49 351 463 34397
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: Sarah-Christin.Mietz@tu-dresden.de
Detlef.Aigner@tu-dresden.de
Jürgen.Stamm@tu-dresden.de

Tel.: +49 3501 796 340
Fax: +49 3501 796 102
E-Mail: Eckehard.Bielitz@ltv.sachsen.de
Gesine.Kubat@ltv.sachsen.de