

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

## **Marlow, Felix; Buschmann, Tilo; Milke, Hubertus; Sahlbach, Tilo Tosbeckenoptimierung mithilfe eines hybriden Modells**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103508>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Marlow, Felix; Buschmann, Tilo; Milke, Hubertus; Sahlbach, Tilo (2013):  
Tosbeckenoptimierung mithilfe eines hybriden Modells. In: Technische Universität Dresden,  
Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Technischer und  
organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle. Dresdner  
Wasserbauliche Mitteilungen 48. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für  
Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 269-277.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Tosbeckenoptimierung mithilfe eines hybriden Modells**

Felix Marlow  
Tilo Buschmann  
Hubertus Milke  
Tilo Sahlbach

Im Zuge der Planung eines Hochwasserrückhaltebeckens wurde die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage in einem physikalischen Modell im Maßstab 1 : 20 untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Ausgangsplanung des Tosbeckens unterdimensioniert und nicht überlastbar war.

Zur Optimierung der Tosbeckengestaltung wurde daher ein dreidimensionales numerisches Modell erstellt. Nach dessen Kalibrierung und Validierung anhand von Messungen am physikalischen Modell erfolgte der Optimierungsprozess ausschließlich auf numerischem Wege. Durch eine grundlegende Umgestaltung der Tosbeckengeometrie und die Untersuchung einer Vielzahl von Varianten konnte eine erhebliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit erreicht werden. Die Vorzugsvariante sieht ein räumliches Tosbecken mit einer Prallwand vor - ein Konzept, das mit analytischen Methoden nicht bemessen werden kann. Durch eine gleichmäßige Abströmung aus dem Tosbecken konnten die Sohlschubspannungen im Nachbett gegenüber der Ausgangsplanung um bis zu 64 % reduziert werden und auch bei Überlastung bleibt die Funktionsfähigkeit des Tosbeckens erhalten.

Schließlich wurde die Vorzugsvariante im physikalischen Modell umgesetzt, um die Ergebnisse der numerischen Optimierung abzusichern. Der Vergleich der Ergebnisse zeigte sehr gute Übereinstimmungen, wodurch die Zuverlässigkeit der Numerik nachgewiesen werden konnte.

### **1 Einleitung**

Hybride Modelle vereinen die Vorteile von physikalischen und numerischen Modellen und kompensieren deren Nachteile. Die Vorteile sind unter anderem eine effiziente Optimierung im numerischen Modell und die Gewährleistung zuverlässiger Ergebnisse durch die Absicherung mit physikalischen Versuchen. Hybride Modelle eröffnen damit neue Möglichkeiten zur Bemessung wasserbau-licher Anlagen.

Anhand eines aktuellen Projektbeispiels soll die Optimierung eines Tosbeckens mithilfe eines hybriden Modells dargestellt werden. In dem Beitrag werden das Ausgangsproblem sowie das physikalische und das dreidimensionale numerische Modell vorgestellt. Der Optimierungsprozess wird aufgezeigt und die Ergebnisse aus beiden Modellen werden einander gegenübergestellt.

## **2 Problemstellung**

Etwa 30 km südwestlich von Dresden befindet sich der Standort für die Neuerichtung des Hochwasserrückhaltebeckens Oberbobritzsch. Die Hochwasserentlastung (HWE) soll als Schachtüberfall in Form eines Trichters mit Ablaufstollen und anschließendem Tosbecken mit Beruhigungsstrecke erfolgen.

Da die hydraulischen Verhältnisse im Bereich der geplanten Bauwerke aufgrund der Komplexität rechnerisch nur näherungsweise zu bestimmen sind, wurden Versuche zum Nachweis der Wirksamkeit anhand eines physikalischen Modells beauftragt. Ziel der Untersuchung war es, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Gesamtanlage und speziell der HWE zu bewerten, bestehende Probleme aufzuzeigen und ggf. Vorschläge zur Optimierung abzuleiten.

In den Versuchen zeigte sich, dass die Leistungsfähigkeit der HWE bis zum Anschluss an das Tosbecken ausreichend ist und keine Änderungen an Trichter oder Ablaufstollen erforderlich sind. Allerdings wurde festgestellt, dass durch die Gestaltung des Tosbeckens der HWE die Standsicherheit des Absperrdammes nicht in ausreichendem Maße gewährleistet war. Daraufhin wurde ein numerisches 3D-Modell der Energieumwandlungsanlage mit Beruhigungsstrecke und anschließendem Flusslauf erstellt. Mithilfe dieses hybriden Modells sollten Lösungen zur Bauwerksoptimierung effizienter erarbeitet werden.

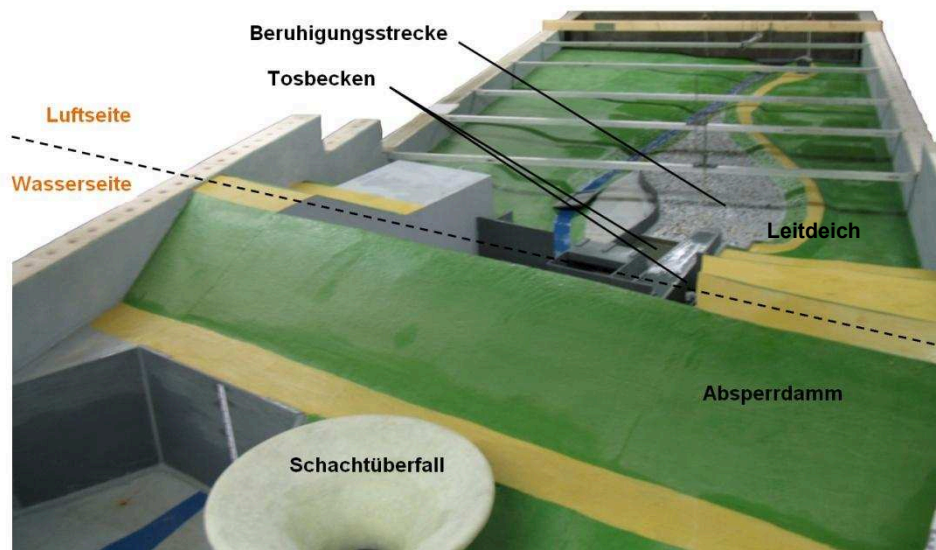
## **3 Das hybride Modell**

Während ein physikalisches Modell zuverlässige Ergebnisse mit hoher Anschaulichkeit liefert, erfordern dessen Erstellung und Umbaumaßnahmen einen hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand. Weitere Nachteile sind Maßstabeffekte und die teilweise schwierige Messung absoluter Größen. Im Gegensatz dazu bieten numerische Simulationen die Möglichkeit detaillierte Einblicke in die Strömungsvorgänge zu gewinnen und Variantenuntersuchungen können effizient und im Maßstab 1 : 1 durchgeführt werden. Allerdings ist eine Absicherung der numerischen Modelle durch eine Kalibrierung und Validierung anhand zuverlässiger Vergleichsdaten zwingend erforderlich.

Bei der hybriden Modellierung werden die Vorteile beider Modellierungsarten vereint und deren Nachteile kompensiert. Besonders bei aufwändigen Optimierungen mit einer Vielzahl von Varianten rechnet sich der Aufwand für die zusätzliche Erstellung des numerischen Modells.

### 3.1 Physikalisches Modell

Das physikalische Modell wurde mit den Abmessungen von etwa 10 x 3,40 m im Maßstab 1 : 20 errichtet. Neben dem Absperrdamm und den Betriebseinrichtungen sind etwa 120 m der Bobritzsch als Nachlaufstrecke im Unterstrom abgebildet (siehe Abbildung 1). Das Hauptaugenmerk der physikalischen Versuche lag auf der Bewertung der Hochwasserentlastungsanlage. Die Untersuchungen erfolgten dabei für die Abflusszustände  $BHQ_1$  (34,5 m<sup>3</sup>/s),  $BHQ_2$  (94,0 m<sup>3</sup>/s) und PMF (119,0 m<sup>3</sup>/s).



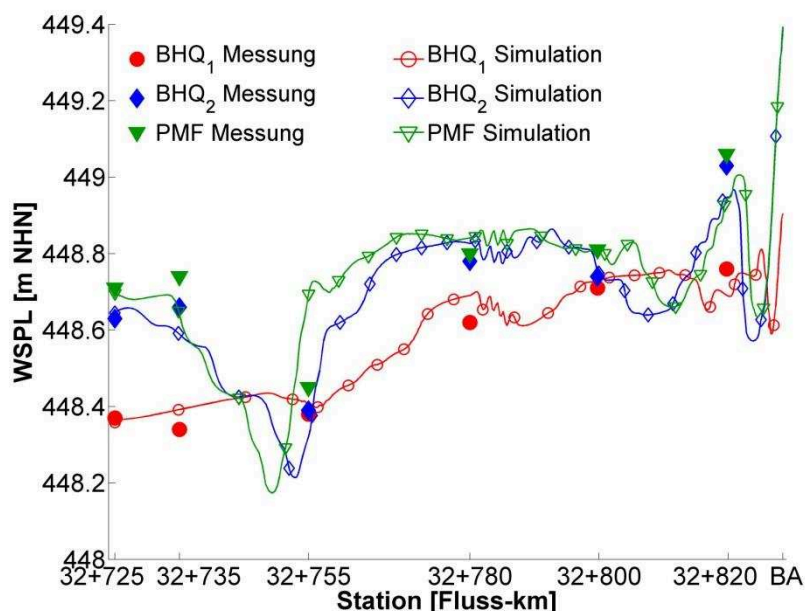
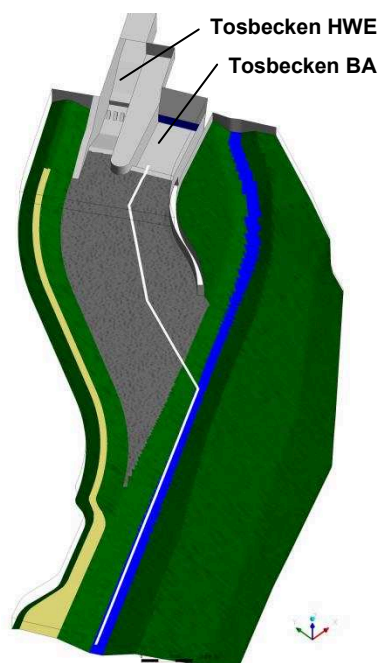
**Abbildung 1:** Physikalisches Modell im Maßstab 1 : 20

Bei den durchgeführten Versuchen handelt es sich weitestgehend um Strömungen mit freier Oberfläche, weshalb die Umrechnung aller relevanten Parameter auf dem Froude'schen Modellgesetz beruht. Die Kalibrierung des physikalischen Modells unterhalb der HWE erfolgte anhand von 1D-Simulationen. Dafür wurde im Modell Kies der Körnung 8/16 aufgeklebt, bis die Wasserspiegellagen auf der Beruhigungsstrecke und im Gewässerlauf mit denen der Simulation übereinstimmten.

### 3.2 Numerisches Modell

Das numerische Modell wurde im Maßstab 1 : 1 erstellt und besteht ausschließlich aus hexaedrischen Elementen mit ca. 1,5 Mio. Knoten. Es bildet die Tosbe-

cken der HWE und des Betriebsauslasses (BA), die Beruhigungsstrecke sowie etwa 100 m des Gewässerlaufes der Bobritzsch ab (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Numerisches Modell

**Abbildung 3:** Wasserspiegellagenvergleich auf der Beruhigungsstrecke und im Gewässerlauf (entlang der weißen Linie im linken Bild)

Die stationäre Simulation erfolgte mit ANSYS-CFX 14 mit dem inhomogenen Multiphase-Modell und dem Free-Surface-Transfermodell. Aufgrund der hohen Rauigkeiten ( $k_s = 330$  mm) auf der Beruhigungsstrecke und im Gewässerlauf wurde das Shear Stress Transport Turbulenzmodell verwendet.

Die Einlauftrandbedingung in das Tosbecken der HWE wurde aus einem numerischen Modell der HWE übernommen. In das Tosbecken des BA wurde ein konstanter Zufluss entsprechend des Betriebsregimes für die einzelnen Lastfälle vorgegeben. Hinter dem Leitdeich wurde ein ungehinderter Abfluss definiert. Für den Auslauftrand wurden die Wasserspiegellagen der einzelnen Abflussereignisse, die während der physikalischen Untersuchungen ermittelt wurden, vorgegeben.

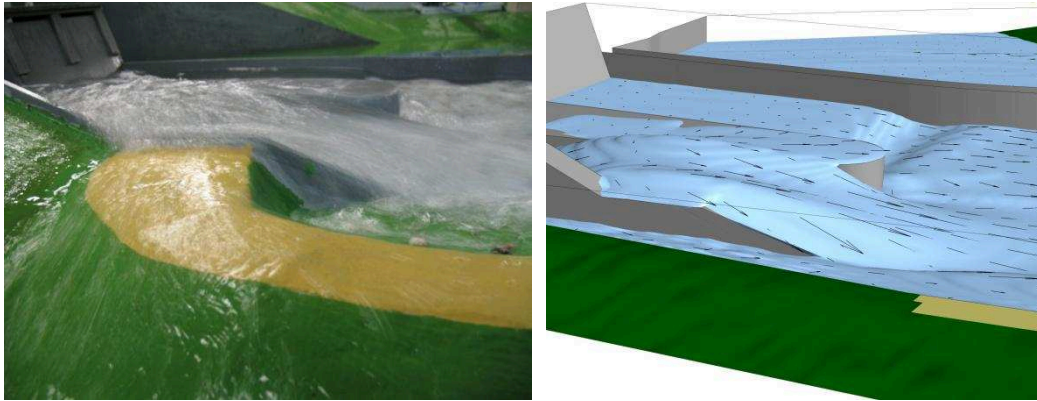
Die Kalibrierung und Validierung erfolgte anhand von Wasserspiegellagen (siehe Abbildung 3) und einem visuellem Vergleich (Abbildungen 4 und 5) mit dem Strömungsbild aus den physikalischen Versuchen.

### 3.3 Ergebnisse

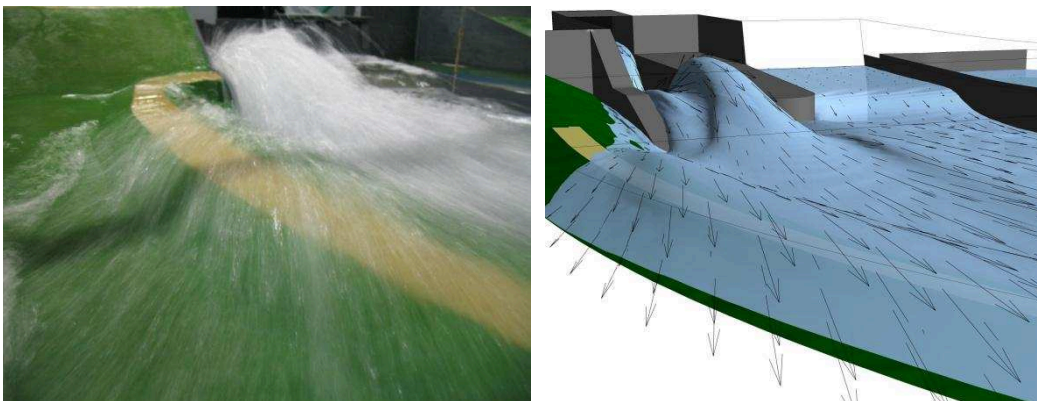
In den Untersuchungen zeigte sich, dass eine ausreichende Leistungsfähigkeit des Tosbeckens der HWE in der Ausgangsplanung nicht gegeben ist. Schon bei



BHQ<sub>1</sub> kommt es zu einem seitlichen Überquellen aus dem Tosbecken (siehe Abbildung 4). Ab BHQ<sub>2</sub> bildet sich aufgrund der rampenförmig ausgebildeten Endschwelle und unzureichender Energieumwandlung ein parabelförmiger Schussstrahl aus dem Tosbecken. Dieser stürzt mit hoher Energie auf das Nachbett (Strömungsgeschwindigkeiten bis 15 m/s) und schießt kaum umgelenkt über den Leitdeich (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 4:** Überquellen aus dem Tosbecken der HWE bei BHQ<sub>1</sub>



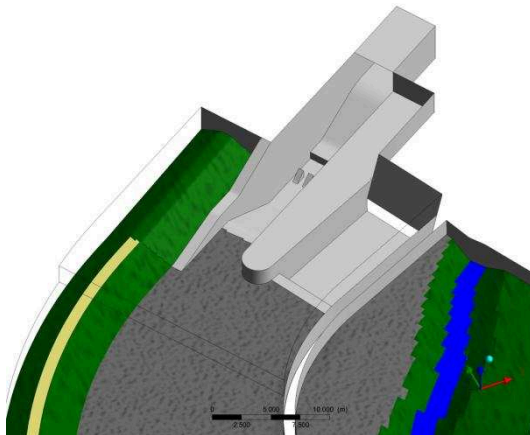
**Abbildung 5:** Parabelförmiger Schussstrahl aus dem Tosbecken der HWE und Überströmen des Leitdeiches bei BHQ<sub>2</sub>

Außerdem war bei allen Lastfällen ein Fließwechsel auf der Beruhigungsstrecke zu beobachten, obwohl dieser im Tosbecken stattfinden sollte. Aufgrund der hohen Belastungen wären im Anschluss an das Tosbecken starke Schäden zu erwarten gewesen und rückschreitende Erosion würde die Standsicherheit der Anlage gefährden.

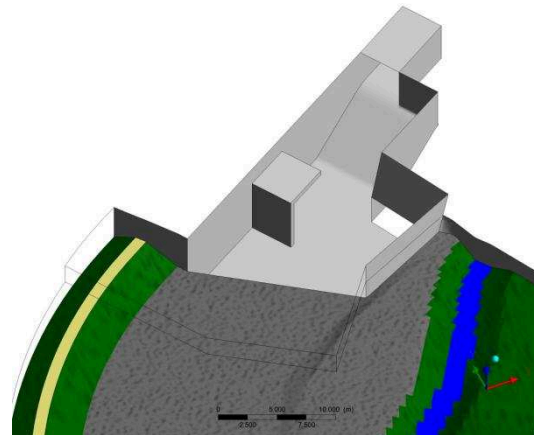
#### 4 Optimierung der Energieumwandlungsanlage

Die Variantenuntersuchung zur Optimierung der Tosbeckengestaltung wurde ausschließlich im numerischen Modell durchgeführt. Aufgrund der enormen

Überlastung des HWE-Tosbeckens und der großen Reserven des BA-Tosbeckens fiel die Wahl auf ein räumliches, verbundenes Tosbecken mit einer Prallwand zum Aufbrechen des Schussstrahls aus dem Ablaufstollen der HWE. In den Abbildungen 6 und 7 sind die Tosbeckengestaltungen der Ausgangsplanung und der Entwurfsvariante einander gegenübergestellt.

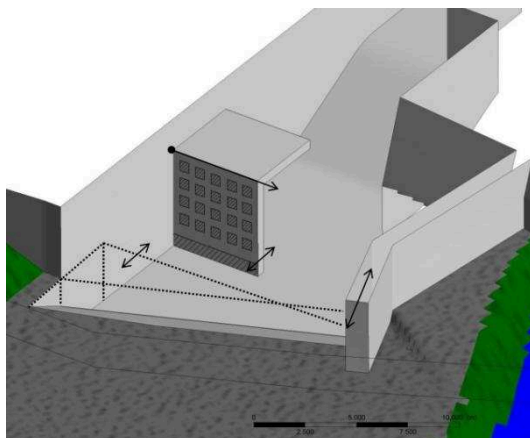


**Abbildung 6:** Ausgangsplanung

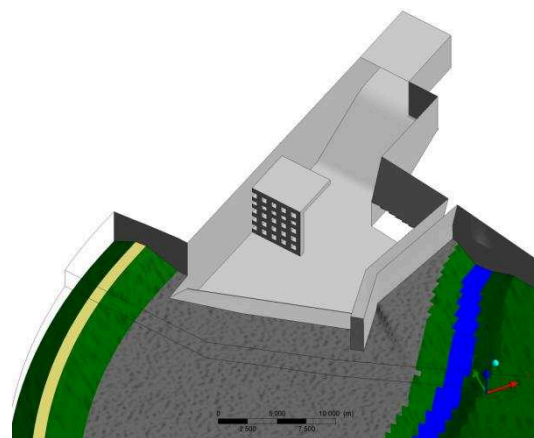


**Abbildung 7:** Entwurfsvariante

Bereits mit der Entwurfsvariante konnte eine signifikante Verbesserung des Abströmverhaltens aus dem Tosbecken gegenüber der Ausgangsplanung erreicht werden. Zur weiteren Optimierung des Entwurfs wurde eine Vielzahl von Parametern variiert (siehe Abbildung 8): Position und Breite der Prallwand, Durchlässigkeit der Prallwand durch Fenster oder einen bodennahen Schlitz, Position und Winkel der Endschwelle, Länge einer linksseitigen Leitwand im Tosbeckenanschluss, eine rampenförmig ausgeführte Endschwelle sowie Kombinationen der Einzelvarianten.



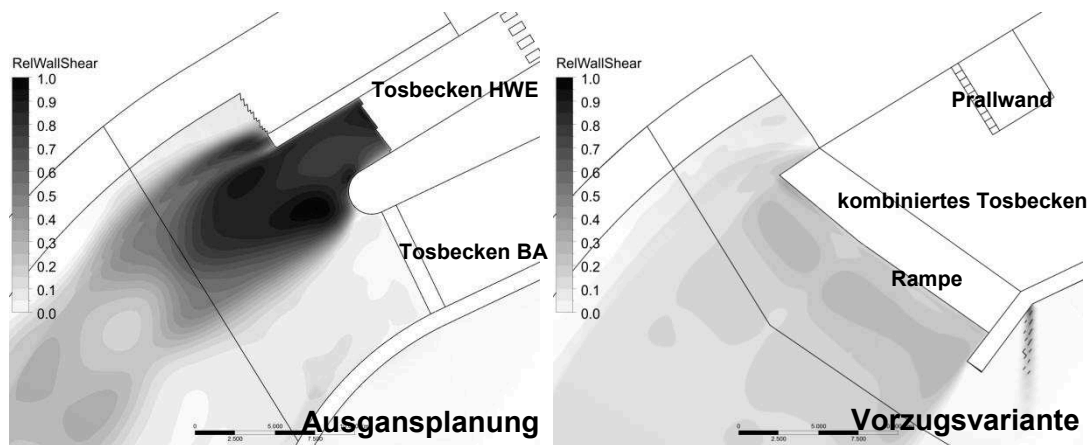
**Abbildung 8:** Parametervariation



**Abbildung 9:** Vorzugsvariante

Die Bewertung der insgesamt 23 untersuchten Varianten erfolgte anhand der maximalen Sohlschubspannung auf der Beruhigungsstrecke, die für die nötige

Befestigung ausschlaggebend ist. Als Vorzugsvariante mit den geringsten Sohlschubspannungen stellte sich die in Abbildung 9 gezeigte Tosbeckengestaltung heraus. Die gefensterte Prallwand in dem kombinierten Tosbecken bricht den Schussstrahl aus der HWE auf und bewirkt eine über der Breite gleichmäßige An- und Abströmung der Endschwelle. Eine Leitwand im Anschluss an die linke Seitenwand des Tosbeckens verhindert einen plötzlichen Abriss der Strömung. Durch die Auslauframpe unterhalb der Endschwelle wird eine sukzessive Beschleunigung des Volumenstromes beim Übergang vom Tosbecken auf die Beruhigungsstrecke erzielt, wodurch ein Fließwechsel im Nachbett ausbleibt und die maximalen Schubspannungen erheblich gesenkt werden. Außerdem ist die Funktionsfähigkeit der Anlage bei allen Lastfällen gewährleistet.

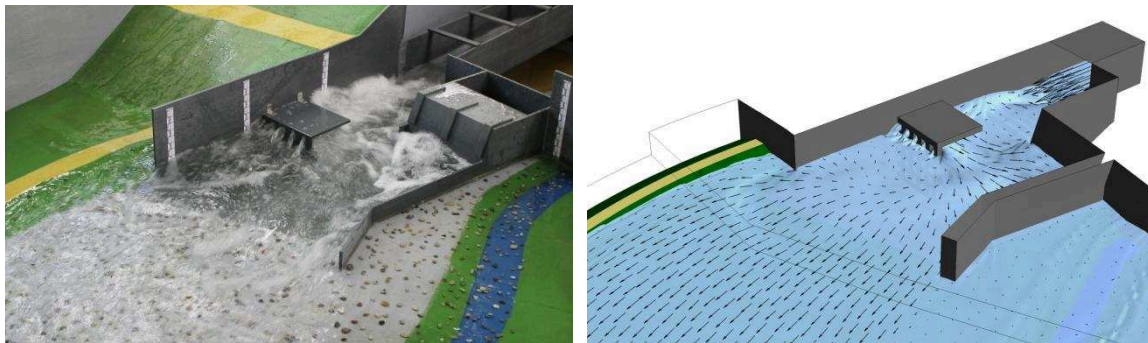


**Abbildung 10:** Relative Sohlschubspannungen im Nachbett bei  $BHQ_1$

Gegenüber der Ausgangsplanung konnten die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten auf der Beruhigungsstrecke etwa halbiert und die maximale Sohlschubspannung bei  $BHQ_1$  um 64 % gesenkt werden. In Abbildung 10 sind die Sohlschubspannungen bezogen auf den Maximalwert der Ausgangsplanung im Nachbett für beide Varianten gegenübergestellt.

Die in der numerischen Variantenuntersuchung gefundene Vorzugsvariante wurde schließlich im physikalischen Modell umgesetzt. Die Versuche zeigten wiederum sehr gute Übereinstimmungen (siehe Abbildung 11), womit die numerische Vorzugsvariante bestätigt werden konnte.





**Abbildung 11:** Strömungsverhalten der Vorzugsvariante bei  $BHQ_1$

## 5 Zusammenfassung

Bei physikalischen Versuchen zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage eines Hochwasserrückhaltebeckens zeigten sich erhebliche Defizite bei der Tosbeckengestaltung der HWE. Daraufhin wurde ein numerisches Modell erstellt und anhand der physikalischen Ergebnisse kalibriert und validiert. Auf numerischem Wege erfolgte eine Optimierung der Tosbeckengestaltung, wobei 23 Einzelvarianten untersucht und bewertet wurden.

Die durch eine grundlegende Umgestaltung der Energieumwandlungsanlage gefundene Vorzugsvariante stellte eine erhebliche Verbesserung gegenüber der Ausgangsplanung dar. Eine ausreichende Energiedissipation im Tosbecken wird gewährleistet und durch eine Reduzierung der maximalen Sohlschubspannungen im Nachlauf werden eine rückschreitende Erosion und damit eine Beschädigung des Absperrdammes verhindert. Damit konnten die Vorteile einer zeit- und kosteneffizienten Optimierung im numerischen Modell und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse von physikalischen Versuchen mithilfe des hybriden Modells ziel führend vereint werden.

**Unser Dank** gilt dem Betrieb Freiburger Mulde/Zschopau der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen für die Möglichkeit der Durchführung der Untersuchungen und die Freigabe für die Verwendung der Daten.

## 6 Literatur

- Aigner, D. (1999): Das Regenüberlaufbauwerk Dresden-Johannstadt, numerische und physikalische Modellversuche. Wasserbauliche Mitteilungen der Universität Dresden, Heft 17, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Dresden 1999.
- Buschmann, T.; Marlow, F.; Milke, H.; Sahlbach, T. (2012): Hybride Modellierung von Wasserbaulichen Anlagen. Tagungsband Wasserbau Symposium 2012, pp. 337-334, Verlag der TU Graz, Graz 2012.
- Speerli, J.; Stucki, A.; Herzog, B.; Bettler, M.; Semler, F. (2010): Vergleich von hydraulischen und numerischen Modellierungen am Beispiel des Hochwasserschutzprojektes Nidlaubach. Wasserbau in Bewegung ... von der Statik zur Dynamik, Technische Universität München, Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 124, München 2010.

Autoren:

Dipl.-Ing. Felix Marlow  
Dipl.-Ing. (FH) Tilo Buschmann  
Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke  
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Tilo Sahlbach

Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft (IWS)  
an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig  
Karl-Liebknecht-Str. 132  
04277 Leipzig

Tel.: +49 341 3076 7083  
Fax: +49 341 3076 6201  
E-Mail: marlow@iws.htwk-leipzig.de  
buschmann@iws.htwk-leipzig.de  
milke@iws.htwk-leipzig.de  
sahlbach@iws.htwk-leipzig.de