

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Buschmann, Tilo; Cherubim, Carsten; Humbsch, Michael; Milke, Hubertus; Sahlbach, Tilo

Wiederherstellung der Hochwassersicherheit der Talsperre Lehmühle - physikalische und 3D-numerische Modellierung -

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/20.500.11970/107084>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Buschmann, Tilo; Cherubim, Carsten; Humbsch, Michael; Milke, Hubertus; Sahlbach, Tilo (2020): Wiederherstellung der Hochwassersicherheit der Talsperre Lehmühle - physikalische und 3D-numerische Modellierung -. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 63. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 403-412.

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.



Wiederherstellung der Hochwasser- sicherheit der Talsperre Lehmühle - physikalische und 3D-numerische Modellierung -

Tilo Buschmann
Carsten Cherubim
Michael Humbsch
Hubertus Milke
Tilo Sahlbach

Die Bemessungszuflüsse der sächsischen Talsperren (TS) haben sich aufgrund der letzten Hochwasserereignisse erheblich vergrößert. Dadurch konnte der Nachweis der Hochwassersicherheit einiger Talsperren nicht mehr erbracht werden.

Die Talsperre Lehmühle wies ein Abflussdefizit der Hochwasserentlastungsanlage (HWE) von 40 % auf. Zur Wiederherstellung der Überflutungssicherheit wurden 2015 die Entnahmeleitungen erweitert. 2017 folgte auf der Grundlage von physikalischen Modellversuchen die Leistungssteigerung des Wehrüberfalls.

Die Strömungsverhältnisse im Tosbecken wurden mittels dreidimensionaler numerischer Berechnungen verdeutlicht. Zusätzlich wurden Varianten zur Optimierung des Tosbeckens untersucht. In Form von kombinierten Leit- und Störkörpern ergab sich eine wirtschaftliche und bautechnisch einfach umzusetzende Maßnahme zur Beruhigung der Strömung. Mit der für 2020 geplanten baulichen Umsetzung werden die Anlagensicherheit und die Leistungsfähigkeit damit signifikant erhöht.

1 Einleitung

Die 1931 fertig gestellte Talsperre Lehmühle südlich von Dresden hat ein Einzugsgebiet von 60 km², einen Gesamtstauraum von 24 Mio. m³ und eine Höhe von 50 m. Sie wurde ursprünglich mit einer Abgabemöglichkeit von 100 m³/s durch die Grundablass- und Entnahmeleitungen mit Talsperrenschiebern und über 100 m³/s über den Kronenüberfall ausgestattet. In den

1980er Jahren wurden die GA- und Entnahmeleitungen im Durchmesser und durch Ringkolbenventile reduziert sowie der Kronenüberfall als Standardprofil ausgebildet. Die im 21. Jahrhundert beobachteten Hochwasserereignisse waren Anlass, die hydrologischen Grundlagen von Talsperren im Freistaat Sachsen zu überprüfen /Amani 2018/. Im Ergebnis dieser Prüfung ging für die Hochwasserentlastung ein Abflussdefizit von 40 % hervor.

Zur Erhöhung der Überflutungssicherheit wurden bis 2015 zunächst die Entnahmeleitungen erweitert. Ergänzend wurde 2017 die Ertüchtigung des Kronenüberfalls der HWE auf Basis physikalischer Modellversuche umgesetzt /IWS 2016/. 2019 wurden die Strömung im Tosbecken dreidimensional numerisch simuliert und Optimierungsmaßnahmen zur Erhöhung der Anlagensicherheit abgeleitet /IWS 2019/.

Im vorliegenden Beitrag werden das physikalische Modell des Kronenüberfalls und das 3D-numerische Tosbeckenmodell vorgestellt, der Optimierungsprozess erläutert und ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die Untersuchungen wurden für Vollstau, die Bemessungshochwasser 1 und 2 (BHQ1, BHQ2) und Kronenstau (HQmax) durchgeführt.

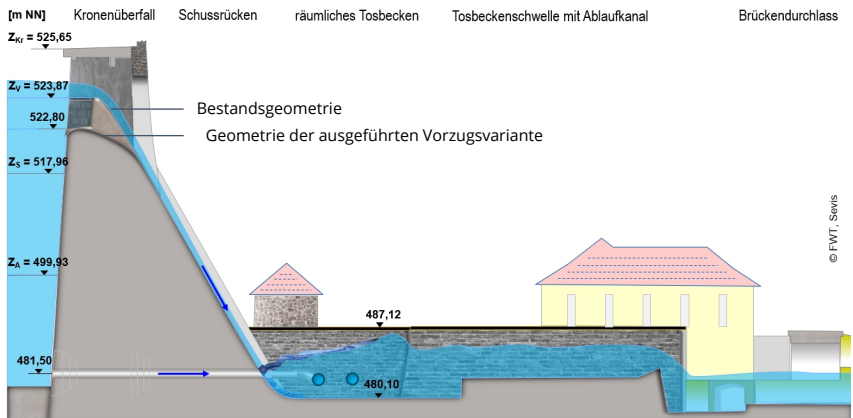


Abbildung 1: Schematischer Längsschnitt durch die HWE der TS Lehmühle

2 Physikalische Modelluntersuchung des Kronenüberfalls

Da insbesondere für Überfallhöhen $h_{\bar{u}}$ im Bereich des Brückenunterzugs keine theoretischen Erfahrungen vorlagen und einzelne Überfallfelder aus Bauaufwandsgründen unverändert bleiben sollten, war anfänglich die Überfallcharakteristik $Q = f(h_{\bar{u}})$ zu ermitteln. Im Anschluss wurden einfache

strömungsleitende Einbauten an den Pfeilern und dem Unterzug betrachtet, die jedoch nur geringe Abflusserhöhungen bewirkten. Folglich war zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Überfalls die Absenkung der Wehrröhre einzelner Felder in Kombination mit Anpassungen der Überfallgeometrie angedacht (Abbildung 3). Um Maßstabeffekte zu minimieren, wurden im physikalischen Modell angesichts vorhandener Symmetrieachsen und zur Berücksichtigung des Einflusses zwischen Feldern unterschiedlicher Geometrie 3 der 11 etwa 3 m breiten Felder im Maßstab 1 : 8 abgebildet (Abbildung 2). Das mittlere Feld wurde für Variantenuntersuchungen mit wechselbaren Modulen konzipiert. Bei der untersuchten Strömung mit freier Oberfläche gilt das Froude'sche Modellgesetz.

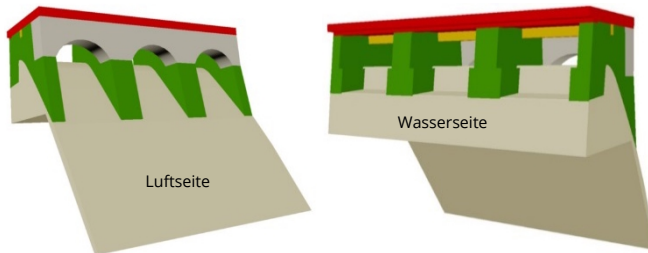


Abbildung 2: Zeichnung des physikalischen Modells im Istzustand

Ein Ziel der Optimierung war es, den Abfluss beim Bemessungshochwasserstauziel, welches sich aus dem erforderlichen Freibord f ableitet, von etwa 100 auf über 135 m^3/s zu erhöhen. Ebenfalls sollte der Abfluss durch die abgesenkten Wehrfelder beim bisherigen Vollstauziel (523,87 m NN) den schadlosen Abfluss im Unterlauf (18 m^3/s) nicht übersteigen. Damit können die abgesenkten Überfallkronen als oberer ungesteuerter Betriebsauslass definiert und das Vollstauziel beibehalten werden. Auf den Einsatz beweglicher Verschlüsse wurde aus betrieblichen Gründen verzichtet.

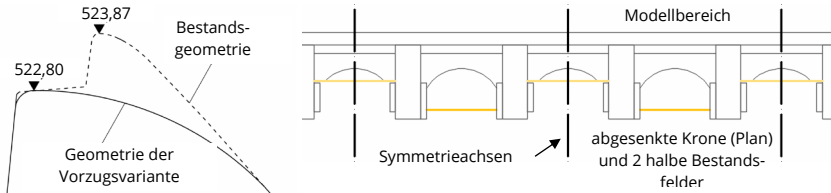


Abbildung 3: Überfallgeometrie (links) und Modellbereich für den Planzustand

Um den Untersuchungsaufwand zu begrenzen, wurde die Absenktiefe der Wehrkrone anhand der Ergebnisse des Istzustandes in Abhängigkeit der Anzahl der abzusenkenden Felder im Vorfeld rechnerisch abgeschätzt.

Die Vorzugsvariante sah für 4 der 11 Wehrfelder die Ausbildung eines nahezu breitkronigen Wehres bei gleichzeitiger Absenkung der Wehrkrone um 1,07 m vor (Abbildung 3). Die bauliche Umsetzung erfolgte 2017 (Abbildung 4) /Amani 2018/, wodurch die Überflutungssicherheit der Mauerkrone wiederhergestellt ist.

Obleich breitkronige Wehre gegenüber der Überfallgeometrie der bestehenden Wehrfelder (ausgerundeter Überfall mit lotrechter Oberwasserseite) geringere Überfallbeiwerte aufweisen, überwogen sowohl aus bautechnischer als auch aus hydraulischer Sicht die Vorteile des breitkronigen Überfalls. Zum einen ist der Abfluss bei Kronenstau am größten, da die Absenkung des Wasserspiegels gegenüber der bestehenden Wehrgeometrie Richtung Wasserseite verschoben und somit ein Zuschlagen des Gewölbes verhindert wird, wodurch wiederum dessen Beanspruchung am geringsten ausfällt. Zum anderen ist die Gefahr bauwerksschädigender Unterdrücke auf dem Wehrrücken geometriebedingt ausgeschlossen. Die erforderlichen Freibordhöhen für die Bemessungshochwasser 1 und 2 werden dabei gewährleistet.

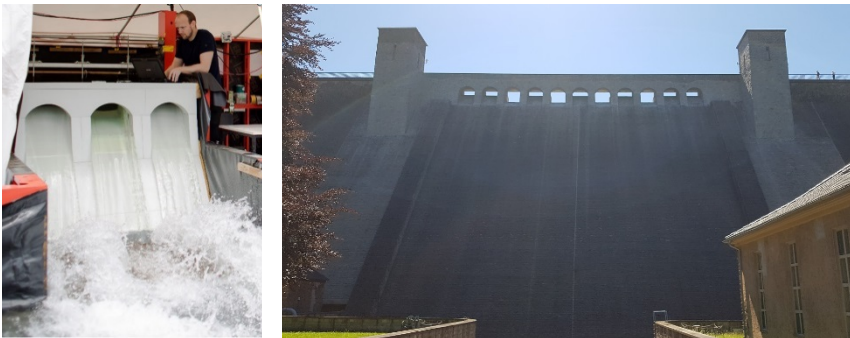


Abbildung 4: Vorzugsvariante im physikalischen Modell (links) und nach Umsetzung an der Talsperre Lehmühle im Jahr 2017 (rechts)

Die Überfallcharakteristik im Ist- und Planzustandes ist in Abbildung 5 dargestellt. Zu beachten ist der Hysteresebereich, der beim Einstau des Unterzugs der Brücke entsteht. Die beiden Wasserstände gelten für den freien bzw. eingestauten Unterzug.

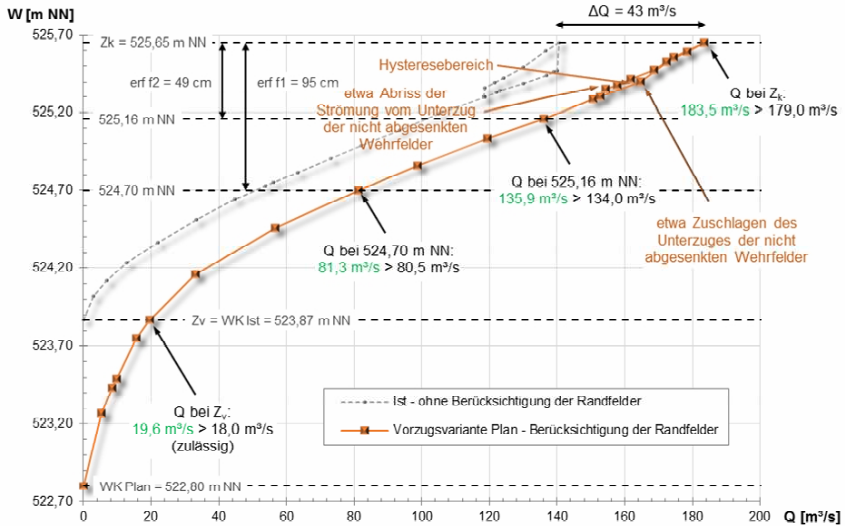


Abbildung 5: Charakteristik des Kronenüberfalls im Ist- und Planzustand

3 Numerische Tosbeckenoptimierung

Die Leistungsfähigkeit des bestehenden Tosbeckens für den Bemessungsfall BHQ1 konnte aus den Erfahrungen des Belastungsfalls Hochwasser 2002 als ausreichend eingeschätzt werden. Aufbauend auf der Masterarbeit /Buschmann 2017/ war die veränderte Aufteilung der Zuflüsse auf Grundlage dreidimensionaler numerischer Berechnungen zu überprüfen und die Strömung zu optimieren, da es bei einer Überströmung der Tosbeckenrandmauern zum Wassereinbruch in die Schieberkammern der Stauwehrmauer und des Wasserkraftwerkes kommt. Dies soll auch bei Überschreitung des BHQ1 möglichst lange verhindert werden, um den Betrieb zu gewährleisten.

Die Strömungsberechnungen wurden mit ANSYS CFX unter Verwendung des inhomogenen Free-Surface-Modells durchgeführt. Die Turbulenzmodellierung erfolgte mit dem Shear-Stress-Transport-Modell (SST), welches sowohl wandnah als auch im Inneren des Strömungsfeldes gute Ergebnisse liefert und sich deshalb mittlerweile als Standard für die Turbulenzmodellierung im Wasserbau etabliert hat.

Zur Ermittlung der Strömungsverhältnisse im Tosbecken war es unzureichend, lediglich das Tosbecken zu modellieren, da die Ergebnisse entscheidend von den bisher unbekanntenen Bedingungen an den Modellrändern abhängen. Dementsprechend wurde das Untersuchungsgebiet (Tosbecken) sowohl um den Wehrüberfall als auch partiell um das Flussbett der Wilden Weißeritz (Problem: Gewölbebrücke nach dem Tosbecken) erweitert. Aus Gründen der Auflösung des Berechnungsnetzes und der Berechnungszeit wurden 2 Teilmodelle (Überfall- und Tosbeckenmodell) aufgestellt (Abbildung 6).

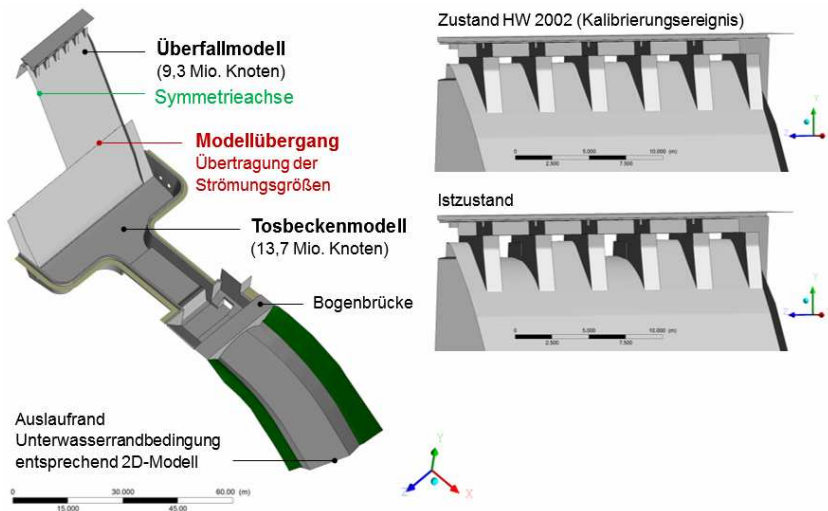


Abbildung 6: numerische Modelle im Überblick

Vor dem Hintergrund gesicherter Ergebnisse ist eine Kalibrierung/ Validierung der aufgestellten Modelle durch den Vergleich der Berechnungen mit Naturdaten oder Ergebnissen physikalischer Untersuchungen erforderlich. Die Modellkalibrierung erfolgte für das Augusthochwasser 2002 für unterschiedliche Rauheiten (10 bis 100 mm). Dabei wurde insbesondere auch der Abfluss auf dem Schussrücken mittels analytischer Verfahren verifiziert. Hierfür waren jedoch im Tosbecken lediglich geringe Unterschiede festzustellen. Sowohl für bekannte Wasserstände als auch visuell zeigten sich insgesamt gute Übereinstimmungen (Abbildung 7). Darüber hinaus veranschaulicht Abbildung 8 die Ähnlichkeit der Ergebnisse der physikalischen und numerischen Modellierung. Somit waren für die weiteren Berechnungen plausible Ergebnisse zu erwarten.

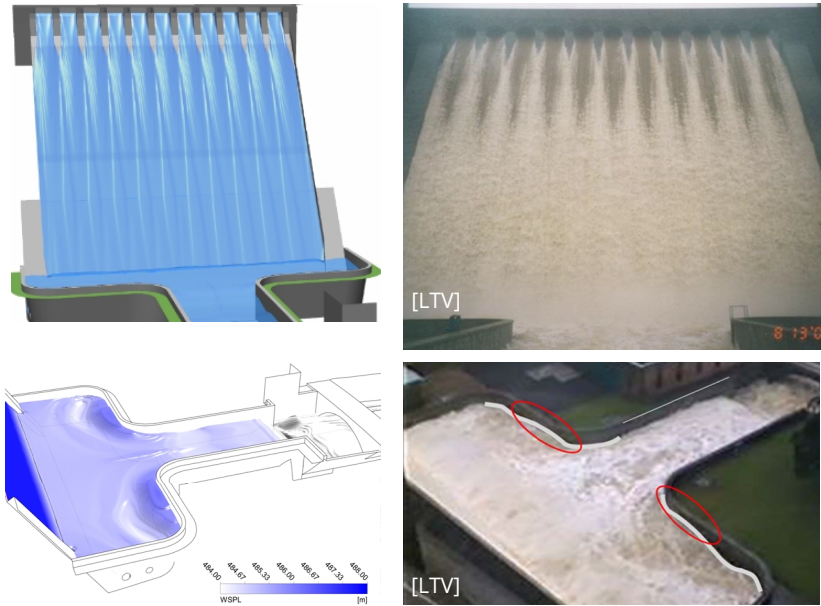


Abbildung 7: Simulationsergebnisse und Fotos für das Augusthochwasser 2022

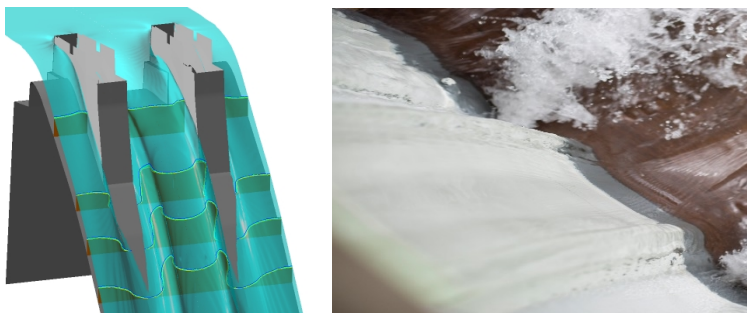


Abbildung 8: visueller Vergleich der Strömung im numerischen und physikalischen Modell für den Planzustand

Der Nachweis des bestehenden Tosbeckens wurde für BHQ1 erwartungsgemäß erbracht. Bei BHQ2 hingegen wird die Tosbeckenwand deutlich überströmt (Abbildung 10), da das vorhandene Wasserpolster den Schussstrahl nicht im erforderlichen Maß abbremsst, dieser bis zur Tosbeckenwand durchschlägt und nach oben abgelenkt wird. Als Optimierungsziel wurde daraufhin ein Mindestfreibord für die Tosbeckenwand von 20 cm bei BHQ2 formuliert.

Die Strömungsoptimierung wurde für BHQ₂ in 10 Varianten untersucht. Dabei wurden verschiedene Maßnahmen bzw. Kombinationen auf Grundlage stationärer Berechnungen bewertet (Abbildung 9).

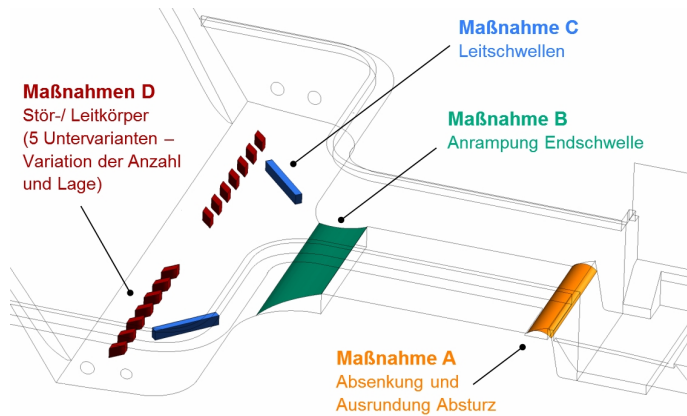


Abbildung 9: Varianten zur Tosbeckenoptimierung im Überblick

Die Vorzugsvariante D5 sieht die Anordnung von 2 x 5 Stör-/ Leitkörpern (Höhe 0,90 m) vor. Sie geht bei geringem baulichen Aufwand mit der größten Wirkung (Freibordgewinn > 1 m) einher. Der energiereiche Schussstrahl wird aufgerissen und zur Mitte und nach oben abgelenkt. Unmittelbar hinter den Störsteinen ist die Fließgeschwindigkeit stark verringert. Die Hauptströmung verläuft optimal in der Mitte des Tosbeckens (Abbildung 11). Ein Überströmen der Randmauern bleibt somit auch bei BHQ₂ mit ausreichender Sicherheit (minimaler Freibord $f_{\min} = 0,47$ m) aus (Abbildung 10). Bei HQ_{max} wird der Abfluss über die Tosbeckenwand (Q_{TBW}) um 93 % von 37,8 auf 2,4 m³/s reduziert, wodurch das Risiko einer Überflutung der luftseitigen unterirdischen Anlagen der LTV (Schieberkeller der Staumauer) und der Rohrkeller der benachbarten Wasserkraftanlage signifikant verringert wird.

Die Vorzugsvariante wurde aufgrund der starken Wellenbildung im Tosbecken zusätzlich durch instationäre Simulationen sowie für unterschiedliche GA-Zuflüsse überprüft. Als Bewertungskriterien dienten der Freibord f_{\min} und der Abfluss über die Tosbeckenwand Q_{TBW} .

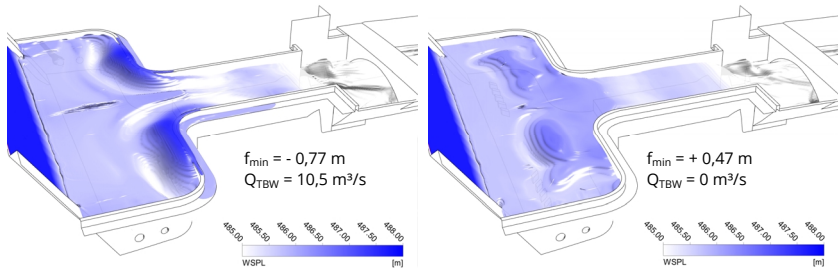


Abbildung 10: Wasserspiegellagen des Istzustandes (links) im Vergleich zur Vorzugsvariante D5 für BHQ₂

Gleichwohl numerische Modelle gewissen Unsicherheiten unterliegen, liefert der relative Vergleich zweier Berechnungen eine sehr gute Aussage über die Wirkung geometrischer Veränderungen, da alle Berechnungen auf den gleichen Ansätzen beruhen.

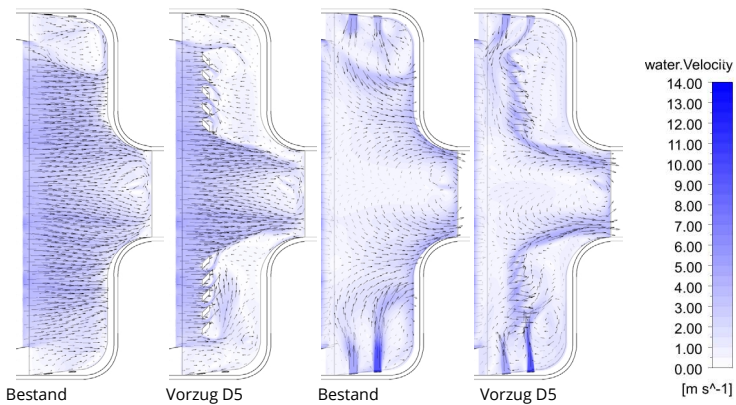


Abbildung 11: Vergleich der Horizontalgeschwindigkeiten im Tosbecken (Sohle 480,10 m NN) für die Schnittebenen 480,50 m NN (links) und 482,00 m NN (rechts)

4 Fazit

Für die Hochwasserentlastung der Talsperre Lehmühle wurden zur Wiederherstellung der Hochwassersicherheit physikalische und numerische Modellierungen durchgeführt. Durch detaillierte Variantenuntersuchungen konnten hydraulisch sowie betrieblich optimale und zugleich wirtschaftliche Lösungen entwickelt werden.

Das Projekt verdeutlicht das hohe Einsparpotential. Denn den Kosten für die Modellierung stehen erfahrungsgemäß ungleich höhere Baukosteneinsparungen gegenüber. Einfache analytische Berechnungen sind aufgrund der komplexen Strömungen meist nicht zielführend und ziehen bei hohen Sicherheiten in den Annahmen oft höhere bauliche Aufwendungen nach sich. Darüber hinaus bieten insbesondere physikalische, aber auch numerische Modelle eine hohe Verlässlichkeit der Ergebnisse. Letztere geben zudem detaillierte Einblicke in die Strömung.

Die bauliche Umsetzung des Überfalls erfolgte 2017. Die Realisierung der Anpassungen im Tosbecken ist 2020 vorgesehen, womit sich die Anlagensicherheit und die Leistungsfähigkeit signifikant erhöhen.

5 Literatur

- Amani, E.; Winkler, U.; Bielitz, E. (2018): Anpassung von Stauanlagen im Osterzgebirge an veränderte Bemessungshochwasserzuflüsse. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 2018, Heft 60: 287 - 296
- Buschmann, T. (2017): Dreidimensionale numerische Modellierung von Hochwasserentlastungsanlagen. Masterarbeit, Leipzig 2017
- IWS (2016): Talsperre Lehmühle, Hydraulische Modellversuche an den Anlagen der Hochwasserentlastung zur Wiederherstellung der Überflutungssicherheit (VÜ46), Leipzig 2016
- IWS (2019): Talsperre Lehmühle, Wiederherstellung der Überflutungssicherheit - Ermittlung der hydraulischen Verhältnisse in der Hochwasserentlastungsanlage, Leipzig 2019

Autoren:

M.Sc. Tilo Buschmann
Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke
M.Sc. Tilo Sahlbach

Institut für Wasserbau und
Siedlungswasserwirtschaft
Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig

buschmann@iws.htwk-leipzig.de
milke@iws.htwk-leipzig.de
sahlbach@iws.htwk-leipzig.de

Dipl.-Ing. Carsten Cherubim

Landestalsperrenverwaltung des Frei-
staates Sachsen, Pirna
Referat Technische Überwachung

Carsten.Cherubim@ltv.sachsen.de

Dipl.-Ing. Michael Humbsch

Landestalsperrenverwaltung des Frei-
staates Sachsen, Dresden
Betrieb Oberes Elbtal

Michael.Humbsch@ltv.sachsen.de