

## **Untersuchungen zum Grundablassbetrieb der Talsperre Leibis/Lichte**

Dominique Benning  
Sarah-Christin Mietz  
Detlef Aigner  
Jürgen Stamm  
Quent Mehlhorn

In einem dreidimensionalen hydronumerischen Modell wird derzeit die Energieumwandlungsanlage der Talsperre Leibis/Lichte untersucht. Das Modell dient der systematischen Erarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung der Energieumwandlung bei Grundablassbetrieb. Zur Validierung des Modells wurde eine Feldmessung an der Talsperre durchgeführt, in der die Energieumwandlung im Tosbecken in Abhängigkeit von den prozentualen Öffnungsgraden der Ringkolbenventile dokumentiert wurde.

### **1 Einleitung**

Die Staumauer der Talsperre Leibis/Lichte in Thüringen ist mit einer Höhe von 103,0 m über Gründungssohle das zweithöchste Absperrbauwerk Deutschlands. Im Zuge des langjährigen Probestaus ergab sich auf Grundlage der dabei gewonnenen Erfahrungen die Notwendigkeit von Nachbesserungs- und Optimierungsarbeiten an der Energieumwandlung im Tosbecken bei Grundablassbetrieb. In das ca. 25 x 53 m große Tosbecken münden drei Grundablässe DN 1200, die durch VAG Ringkolbenventile DN 1000 mit anschließendem Belüftungsring und Diffusor gesteuert werden. Durch nachträglich verbindlich festgesetzte ökologische Steuerungsgrundsätze kommt es bei hohen Grundablassabgaben zur Ausbildung eines ausgeprägten Wasser-Luft-Gemisches, das periodisch über die Randmauern und Geländer des Tosbeckens auf das umliegende Gelände sowie die Verkehrswege schwappt. Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Gesamtanlage soll die Funktionsbeeinträchtigung durch baulich-konstruktive Veränderungen minimiert werden.

Hierzu wird in einem ersten Schritt derzeit am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden im Auftrag der Thüringer Fernwasserversorgung die Energieumwandlungsanlage in einem dreidimensionalen hydro-numerischen Modell untersucht. Zur Validierung desgleichen ist eine Feldmessung an der Talsperre Leibis/Lichte durchgeführt worden, deren Ergebnisse hier vorgestellt werden.

## 2 3D-hydrnumerisches Modell

Die Verteilung der Energieumwandlung im Tosbecken wird neben der Bauwerksgeometrie maßgeblich durch den im Ringkolbenventil (RKV) gebildeten Wurfstrahl bestimmt. Ohne Kenntnis über seine Eigenschaften, wie Form, Geschwindigkeitsverteilung und Luftanteil kann sein Verlauf im Tosbecken bis hin zur Energieumwandlung nicht hinreichend genau nachgebildet werden. Deshalb wurde entschieden, das Ringkolbenventil sowie den sich anschließenden Belüftungsring in der hydrnumerischen Simulation zu berücksichtigen.

Im Sinne einer wirtschaftlichen Rechenzeit wurde für das Modell des Tosbeckens eine Elementgröße im unteren Dezimeterbereich veranschlagt. Zur hinreichend genauen Simulation des Ringkolbenventils ist hingegen eine Elementgröße im unteren Zentimeterbereich erforderlich. In einem gemeinsamen Modell würde sich durch den Dimensionsunterschied die Anzahl der Elemente schlagartig verdoppeln. Daher wurde die Implementierung des Ringkolbenventils in das Modell der Energieumwandlungsanlage als ungünstig bewertet und folgend in einem separaten Teilmodell simuliert. Hinzu kommt, dass für alle drei RKVs nur eine Simulation des gewünschten Öffnungsgrades notwendig ist, so dass durch die Separation zusätzlich Rechenzeit eingespart werden kann.

Mit Ansys<sup>®</sup> CFX<sup>®</sup> wurden somit zwei Teilmodelle erstellt: Zum einen das Ringkolbenventil einschließlich des zugehörigen Belüftungsrings samt Belüftungsrrohr und zum anderen das Modell des Tosbeckens mit einem Teil des sich anschließenden Ablaufgerinnes. Die Ergebnisse der RKV-Simulationen werden als Eingangsrandbedingung für das Tosbeckenmodell angesetzt.

Grundlage für die Erstellung der Geometrie bildeten die vorhandenen Bestandspläne und Werkszeichnungen. Zur Untersuchung etwaiger baulicher Veränderungen an den Gesimsplatten wurde die hintere Kante derselben als Modellgrenze gewählt. Im Feldversuch konnte beobachtet werden, dass bei größeren Öffnungsgraden die Turbulenz auf der Tosbeckenendschwelle sehr stark ist. An die-

ser Stelle wäre ein Modellrand mit einer strikten Randbedingung aufgrund der Rückströmungen und der ausgeprägten instationären Fließtiefe sehr ungeeignet. Daher wurde zur Simulation einer „sanften“ Randbedingung ein Teil des Ablaufgerinnes abgebildet. Dort sind die Strömungsverhältnisse soweit homogenisiert, dass eine strikte Randbedingung keine numerischen Nachteile mit sich bringt.

### 3 Feldmessung

Im Zuge der regelmäßigen Funktionsüberprüfungen der Grundablässe der Talsperre Leibis/Lichte im Rahmen des Probestaus zeigte sich, dass aufgrund der hochturbulenten Eigenschaften des Wurfstrahls keine Messung seiner Wurfweite, des Luftanteils und des Auftreffpunkts möglich ist. Auch konnte aufgrund der starken Zerstäubung nicht abschließend beurteilt werden, inwieweit sich der Strahl aufweitert und in das Wasserpelster eintaucht (*Hydroprojekt 2010*).

Die Validierung des hydronumerischen Tosbecken-Modells kann demzufolge nicht durch eine reine Vor-Ort-Messung dieser klassischen Parameter erfolgen, so dass auf eine fotografische Dokumentation der Energieumwandlungszustände zurückgegriffen wurde. Dafür waren Aufnahmen sowohl in als auch senkrecht zur Tosbeckenlängsachse vonnöten. Anhand von Fixpunkten in der Umgebung, deren Abstände durch Bestandspläne bekannt sind (z. B. Feldfugen im Mauerwerk, Geländer, etc.) sowie eines zusätzlich ausgelegten Maßbandes, konnten die zur Validierung erforderlichen Maße hinreichend genau ermittelt werden.

Neben dieser Dokumentation wurden direkt am Grundablass (GA) durch eine aufgeschnallte Ultraschallmessung der Durchfluss und die Fließgeschwindigkeit sowie die anstehende Druckhöhe erfasst. An den Ringkolbenventilen selbst wurden die Öffnungsweiten vorgegeben. Außerdem wurde vor dem Belüftungsrrohr die Luftgeschwindigkeit gemessen, um einen Anhaltswert für die Belüftung des Wurfstrahls zu ermitteln. Zusätzlich erfolgte im Nachgang eine Auslesung der Pegelmessdaten zum Vergleich mit den durch die Ultraschallmessung generierten Durchflusswerten.

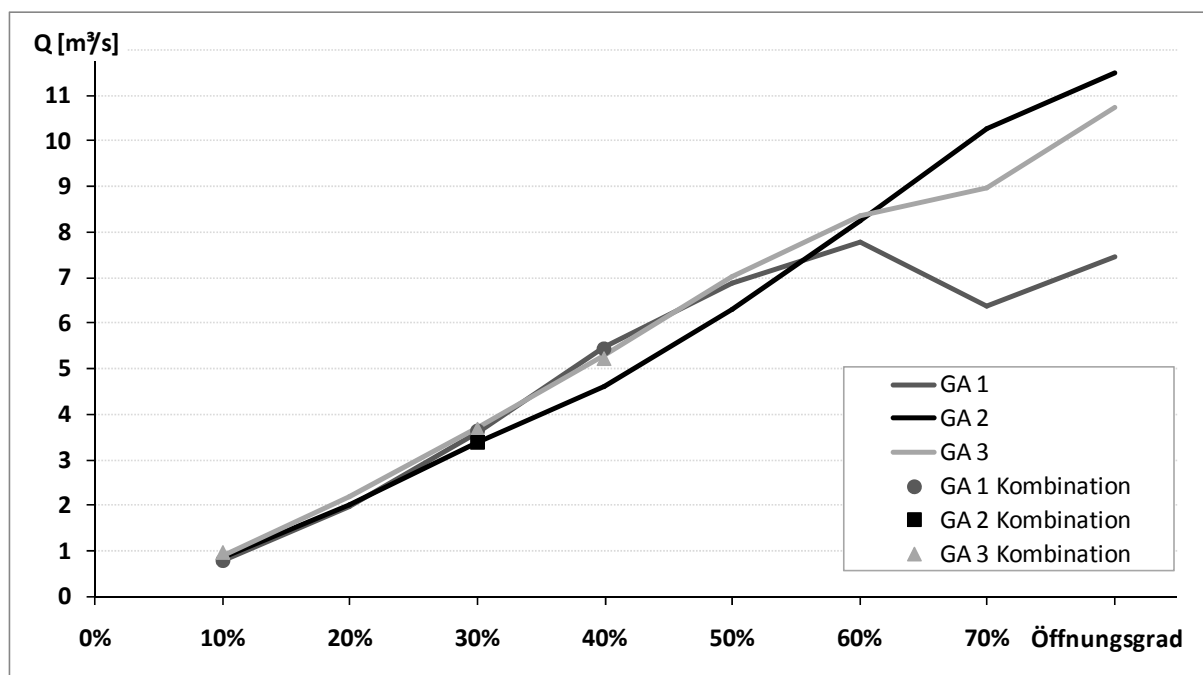
Insgesamt wurden während der Feldmessung vier Versuchsreihen durchgeführt. Während der ersten drei Versuchsreihen sind die Grundablässe in 10 %-Schritten bis zu einem maximalen prozentualen Öffnungsgrad von 80 % nacheinander geöffnet worden. In der letzten Versuchsreihe wurden beispielhafte Kombinationen zwischen den Grundablässen gefahren. Dazu blieb der mittlere

Grundablass konstant bei 30 % geöffnet, wobei die anderen beiden nacheinander mit 10 %, 30 % und 40 % Öffnungsgrad hinzu geschaltet wurden.

Der Wasserspiegel der Talsperre lag zu Versuchsbeginn bei 433,26 m NHN. Bezogen auf die Rohrachse des Ringkolbenventils bedeutet das einen statischen Vordruck von 82,62 m Wassersäule.

### 3.1 Messungen an den Ringkolbenventilen

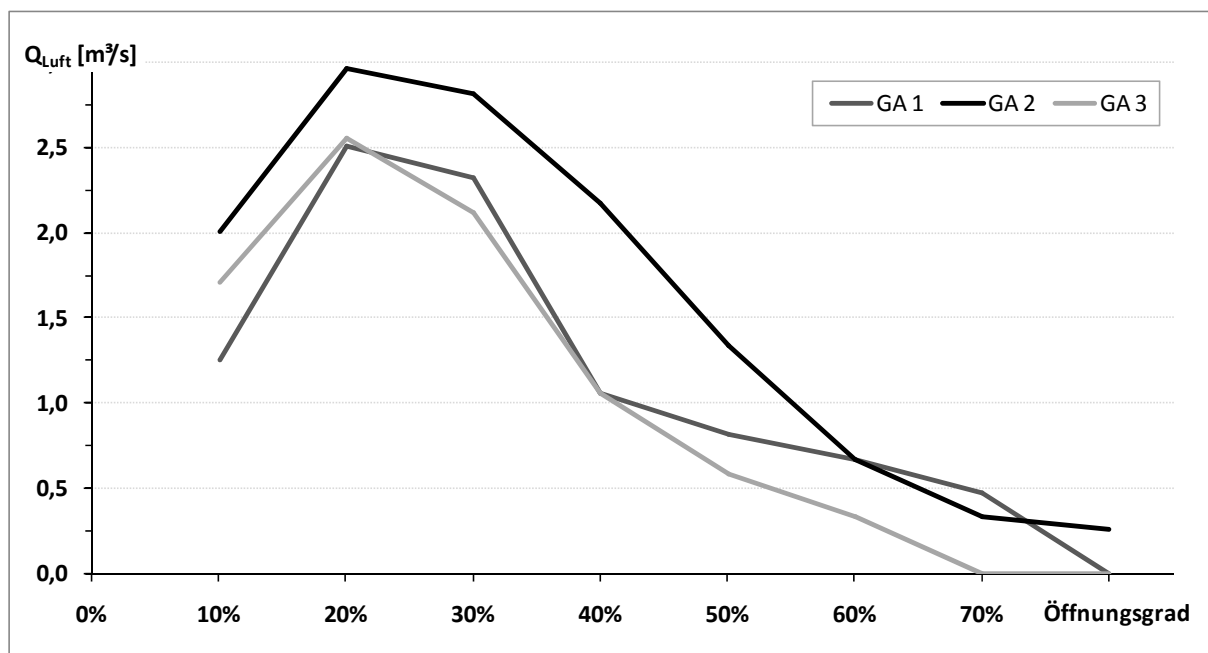
In Abbildung 1 sind die Mittelwerte je Öffnungsstellung der von Hand protokollierten Messwerte für den Durchfluss grafisch zusammengefasst. Allgemein ist ersichtlich, dass bis zu einem Öffnungsgrad von 50 % alle Messwerte der drei Grundablässe in etwa einem gleichen Trend folgen und verhältnismäßig eng beieinander liegen, wobei Differenzen bis zu  $0,84 \text{ m}^3/\text{s}$  (40 % Öffnungsgrad von GA 1 verglichen mit GA 2) auftreten. Die in Versuchsreihe 4 gewonnenen punktuellen Messwerte bestätigen die Ergebnisse der ersten drei Versuchsreihen.



**Abbildung 1:** Zeitliche Mittelwerte der Ultraschallmessung für den Durchfluss der drei Grundablässe in Abhängigkeit der Öffnungsweite der Ringkolbenventile

Im Gegensatz dazu ist ab einem Öffnungsgrad von 50 % keine gemeinsame Charakteristik der Messwerte zu erkennen. Bei dem linken GA 1 kommt es ab 60 % Öffnungsgrad zu einem Ausfall des Messsystems. Ein Durchflussrückgang ist physikalisch nicht erklärbar, so dass es sich hier um einen gerätetechnischen Messfehler handelt. Die Ursache der zunehmenden Divergenz der Messwerte

über 50 % Öffnungsgrad kann in dem verwendeten Messprinzip und in den unterschiedlichen Einbaubedingungen der drei Grundablässe gesucht werden. Bei der Ultraschallmessung wird die Fließgeschwindigkeit durch die Laufzeitverschiebung bzw. die Frequenzverschiebung von Schallwellen ermittelt. Die starke Turbulenz bei höheren Fließgeschwindigkeiten im Grundablass wirkt sich auch auf die Ausbreitung der Schallwellen aus, so dass offensichtlich bei 50-60 % Öffnungsgrad die Toleranzgrenze der Turbulenz überschritten wird und der Durchfluss nicht mehr zuverlässig gemessen werden kann.



**Abbildung 2:** Mittlere Luftgeschwindigkeit am Eingang des Belüftungsrohres

Ein direkter Vergleich zwischen den Ultraschallmesswerten und den Pegelaufzeichnungen war im Rahmen dieses Feldversuchs nicht möglich, da die Einzelversuche dafür zu kurz gefahren wurden. Die Öffnungsstellungen wurden 3-5 min gehalten, was aber für die Ausbildung eines mittleren stationären Zustands am Pegel nicht ausreicht. Vor allem die periodische Abgabe von Schwallwellen unterschiedlicher Intensität aus dem Tosbecken (vgl. Kap. 3.2) erfordert eine längere Zeitspanne, um zuverlässige Mittelwerte generieren zu können. Allerdings liegen beide Aufzeichnungen in der gleichen Größenordnung.

Interessant ist die Entwicklung des Luftzustromes durch das Belüftungsrohr während der Versuchsreihen. Abbildung 2 veranschaulicht die gemeinsame Charakteristik und zeigt, dass die gemessenen Geschwindigkeiten zwischen den Grundablässen stark streuen. Es ist zu erkennen, dass bis zur 20 %-igen Öff-

nungsweite zunehmend Luft durch das Belüftungsrohr angesaugt wird. Danach fällt der Unterdruck im Belüftungsrohr und der Luftvolumenstrom nimmt ab, um bei 80 % fast Normaldruck zu erreichen. Die Strahlform wird von den Druckverhältnissen im Belüftungsring bestimmt. Liegt der Wurfstrahl in Folge einer starken Zerstäubung am Leitblech des Belüftungsringes an (geringe Öffnungsgrade), wird zunehmend durch das Belüftungsrohr der Unterdruck ausgeglichen. Ist der Wurfstrahl kompakt (höhere Öffnungsgrade), erfolgt der Druckausgleich hauptsächlich durch den Ringspalt zwischen Wurfstrahl und Leitblech, vgl. Abbildung 3.



**Abbildung 3:** Vergleich des Wurfstrahls bei 20 % (links) und 80 % (rechts) Öffnungsgrad am Beispiel der mittleren Grundablass (GA 2)

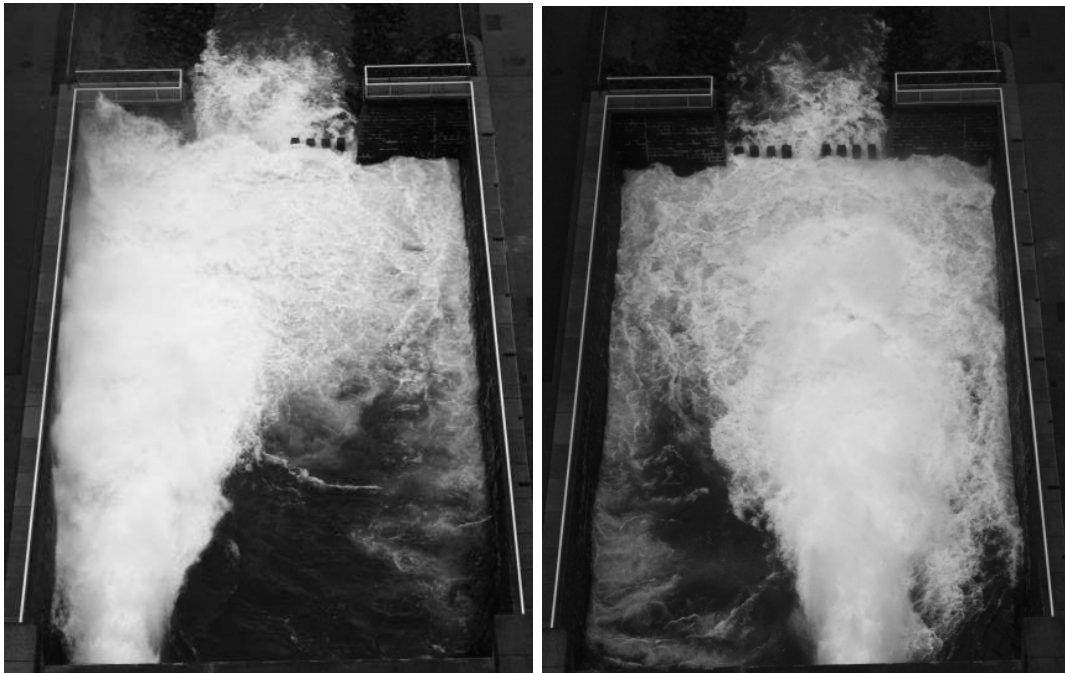
### 3.2 Zustandsbeschreibung der Energieumwandlung im Tosbecken

GA 1 (links außen) und GA 3 (rechts außen) sind symmetrisch zur Tosbeckenlängsachse angeordnet, so dass sich ihr Bild der Energieumwandlung im Wesentlichen gleicht, untereinander jedoch gespiegelt ist. GA 2 hingegen sitzt etwas nach rechts versetzt neben der Tosbeckenlängsachse. Dadurch bläst er nicht wie die anderen beiden Grundablässe den Wurfstrahl auf die Flügelmauern zu, sondern direkt zum Ablaufgerinne, was einen wesentlichen Unterschied für den Ablauf der Energieumwandlung bedeutet. Im Folgenden werden die grundlegenden Erkenntnisse aus den Versuchsreihen 1 bis 3, bei denen die Grundablässe einzeln geöffnet wurden, dargestellt.

Für die prozentualen Öffnungsgrade von 10 % und 20 % funktioniert die Energieumwandlung im Tosbecken für alle Grundablässe, ohne dass nennenswerte Schwallwellen gebildet werden. Der Abfluss über die Tosbeckenendschwelle

erfolgt beruhigt. Die Zahnschwelle wird zum Vergleichmäßigen des Abfluss nicht benötigt.

Ab 30 % Öffnungsgrad bilden sich bei den äußeren beiden Grundablässen nach dem Auftreffen des Wurfstrahls zunehmend Schwallwellen, die an der Flügelmauer aufschwingen und reflektiert werden. Im Tosbecken bildet sich ein großräumig horizontal drehender Wirbel aus. Vom Auftreffbereich des Wurfstrahls lösen sich aus dem turbulenten Wasser-Luft-Gemisch Nebelschwaden, die aus dem Tosbecken in die nahe Umgebung eingetragen werden und diese deutlich vernässen. Der Abfluss über die Tosbeckenendschwelle wird von der Zahnschwelle beruhigt und vergleichmäßigt, während sich die vollständige Entlüftung des Wassers erst ca. 10 m hinter der Endschwelle einstellt.

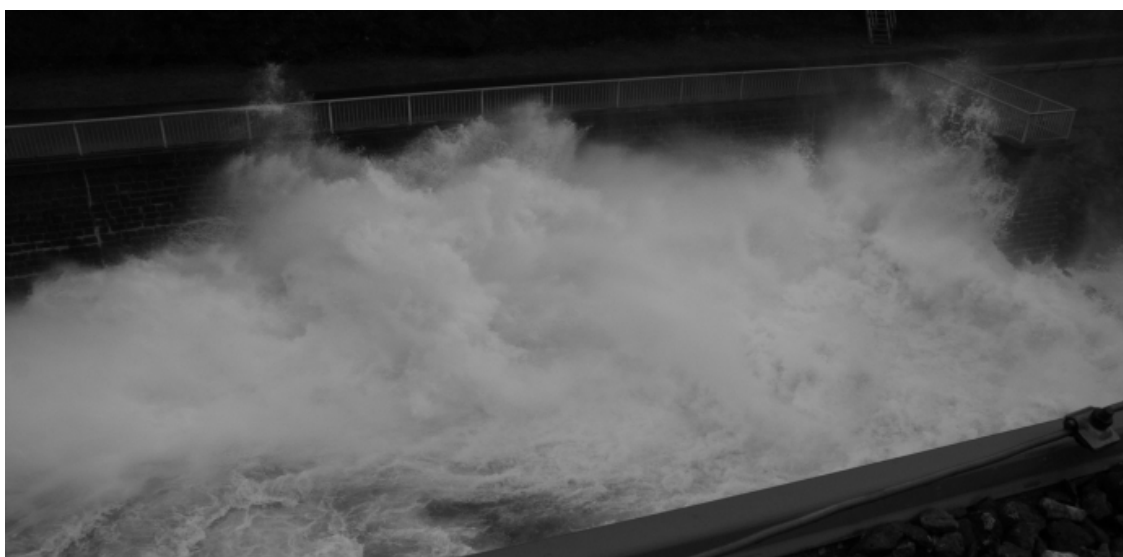


**Abbildung 4:** Vergleich der Energieumwandlung zwischen GA 1 (links) und GA 2 (rechts) bei 40 % Öffnungsgrad

Die genannten Effekte intensivieren sich mit steigendem Öffnungsgrad, wodurch ab 40 % erste Spritzer über das Geländer nach außen reichen. Die 30 cm auskragenden Gesimsplatten können sowohl den seitlichen Wasseraustritt als auch denjenigen über die Flügelmauer nur bis 50 % Öffnungsgrad einigermaßen abhalten. Darüber hinaus kommt es zum periodischen Überschwappen von Schwallwellen durch und über die Brüstung. Diese haben eine solche Energie, dass selbst lose liegende Betonpflastersteine um einen halben Meter verschoben werden (vgl. Abbildung 6). Die Zahnwelle wird durch das hochturbulente Wasser-Luft-Gemisch fast permanent eingestaut, wobei auch Schwallwellen über sie

hinweg schwappen. Bei ca. 70 % Öffnungsgrad ist die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit erreicht, wobei der Abfluss nicht ausreichend beruhigt werden kann und das Nachbett starken Beanspruchungen unterzogen wird.

Auch bei dem mittleren Grundablass kommt es ab 30 % Öffnungsgrad zur deutlichen Ausbildung einer großräumig horizontal drehenden Strömung. Aufgrund der nach rechts verschobenen außermittigen Anordnung des Grundablass, bildet sich auf der linken Seite eine Rückströmung, die die turbulenten oberflächennahen Wirbel an die rechte Seite drückt (vgl. Abbildung 4). Durch den Wurfstrahl induzierte Schwallwellen kleiner Höhe werden infolge der nahezu mittigen Anordnung des GA 2 hauptsächlich über die Tosbeckenendschwelle in das Ablaufgerinne abgegeben. Dadurch kommt es nicht zu so großen Auslenkungen der Schwallwellen an den Flügelmauern wie es bei gleicher Öffnungsweite des GA 1 bzw. GA 3 der Fall ist. Auch wird die Endschwelle infolge dessen gleichmäßiger beaufschlagt. Die Zahnschwelle trägt hier deutlich zur Beruhigung des Abflusses bei.



**Abbildung 5:** Energieumwandlung im Tosbecken bei 70 %-iger Öffnung des GA 1

Bei weiterer Öffnung des GA 2 nimmt die Intensität der genannten Prozesse deutlich zu. Der Energieeintrag ist so hoch, dass oberflächennahe Wassermassen im Auftreffbereich sehr stark ausgelenkt werden. Aus ihnen lösen sich abziehende Nebelschwaden. Insbesondere in der rechten Ecke zwischen Flügelmauer und Tosbeckenberandung schwingen die Schwallwellen stark, vereinzelt spritzt es nach außen. Die Zahnschwelle wird dabei wesentlich stärker beaufschlagt als bei dem Betrieb der äußeren beiden Grundablässe und gerät so schon bei 60 % Öffnungsgrad an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Horizontal dreht weiterhin ein Wirbel, dessen Einfluss auf die strahlinduzierte seitliche Ausbreitung anhält.





**Abbildung 6:** Übertretende Schwallwellen bei 70 %-iger Öffnung des GA 3

Ein ganz anderes Bild stellt sich dagegen bei 80 % Öffnungsgrad ein. Die Energiedichte des Wurfstrahls ist so groß, dass das Wasser sprichwörtlich aus dem Tosbecken heraus geblasen wird. Der sich bei geringeren prozentualen Öffnungsgraden einstellende horizontale Wirbel verliert sich hier. Die vorderen 20 m des Tosbeckens sind von der Energieumwandlung nicht beeinflusst. Dafür findet der Energieabbau umso mehr in der hinteren Hälfte des Tosbeckens und im Ablaufgerinne statt. Die Schwallwellen werden bis zu ca. 10 m förmlich über die Zahnschwelle hinausgetrieben. Ihre Leistungsfähigkeit ist deutlich überschritten. Zur Beruhigung des Abflusses ist im Ablaufgerinne eine Fließstrecke von ca. 25 m notwendig. Vor allem an der rechten Flügelmauer kommt es durch die hohen Schwallwellen zum Wasserübertritt.

Während der Kombinationsversuche erfolgte die Energieumwandlung vollständig im Tosbecken mit beruhigtem Abfluss. Infolge der Aufteilung auf zwei Grundablässe waren die Zustände im Tosbecken bei ähnlicher Abgabe deutlich beruhigter. Allerdings verstärkte sich die Nebelbildung.

## 4 Ausblick und Zusammenfassung

Mit Hilfe des hydropnumerischen Modells sollen Vorschläge für bauliche Änderungen an dem Tosbecken untersucht und deren prinzipielle Eignung zur Verbesserung der Energieumwandlung bewertet werden.

Folgende Änderungen werden dafür in Betracht gezogen:

- Neigung der RKV-Achse unter Berücksichtigung der Anströmung
- Änderungen an der Diffusorgeometrie
- Modifikation der Gesimsplatten und Geländer
- Einbau von Störkörpern und Leitwänden
- Einbau von Strahlab- bzw. Umlenkern
- Geometrische Modifikation der Flügelmauern
- Variation des Unterwasserstands

Hydronumerische Modelle entwickeln sich immer mehr zu modernen und kostengünstigen Werkzeugen für Planungsaufgaben im Wasserbau. Um die natürlichen Vorgänge richtig abzubilden und die Auswirkung baulicher Veränderungen bewerten zu können, ist eine Kalibrierung der Modelle in jedem Fall erforderlich, sofern dies möglich ist. Bei komplexen Fragestellungen empfiehlt es sich die damit herausgearbeiteten Vorzugslösungen durch physikalische Modellversuche zu bestätigen, bzw. weitergehend zu untersuchen.

## 5 Literatur

Hydroprojekt Ingeniurgesellschaft (2010): Talsperre Leibis/Lichte – Bericht zur Auswertung der Funktionsüberprüfungen der Hochwasserentlastung und der Grundablässe am 8. und 22. April 2010 (unveröffentlicht)

Autoren:

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

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

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

Dipl. Ing. Quent Mehlhorn

Thüringer Fernwasserversorgung  
Betrieb Ost, Zeigerheim  
Am Wasserwerk  
07422 Bad Blankenburg

Tel.: +49 36628 492-10  
Fax: +49 36628 492-50  
E-Mail: quent.mehlhorn@thueringer-fernwasser.de