

BAW Brief 04/2013



Zum Einfluss unter- und überströmter Wehrverschlüsse auf den Sedimenttransport durch Stauhaltungen

1 Hintergrund

An staugeregelten Gewässern ist das natürliche dynamische Transportgleichgewicht in den meisten Fällen gestört: Bei geringen bis mittleren Abflüssen findet Sedimentation statt, während bei Hochwasser abgelagerte Sedimente (teilweise) erodiert und ausgespült werden (DVWK, 1993). Unterhaltungsbaggerungen sind erforderlich, um ausreichende Wassertiefen für die Schifffahrt und für den Hochwasserabfluss sicherzustellen, sodass sich in der Regel kein neuer Gleichgewichtszustand einstellen kann.

Nach § 34 des Wasserrechts (WHG) ist bei Errichtung, wesentlicher Änderung oder Betrieb einer Staustufe durch geeignete Einrichtungen und Betriebsweisen die Durchgängigkeit des Gewässers zu erhalten oder wiederherzustellen. Bestehende Anlagen sind dabei nachzurüsten. Die Durchgängigkeit stellt hierbei nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie eine „hydro-morphologische Qualitätskomponente“ dar, die sowohl eine ungestörte Migration aquatischer Organismen als auch den Transport von Sedimenten beinhaltet. Vor diesem Hintergrund wird bei aktuellen Planungen von Ersatzneubauten immer häufiger die Frage nach der Gestaltung der Wehranlage und der Wahl der Verschlüsse gestellt, um den Sedimenttransport nicht zu stören.

Da sich an den meisten Stauanlagen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) Laufwasserkraftwerke befinden, beschränkt sich der Einfluss des Wehrbetriebs bei einem normalen Ausbaugrad der Wasserkraftanlage allerdings auf den Mittel- bis Hochwasserbereich. Dabei wird die Ausbauwassermenge einer Wasserkraftanlage in Mitteleuropa im Schnitt an etwa 30 bis 60 Tagen im Jahr erreicht bzw. überschritten (Strobl und Zunic, 2006).

An den mehr als 330 Staustufen an Bundeswasserstraßen sind heute im Prinzip alle bekannten Verschlusstypen zu finden, wobei unterströmte Verschlüsse aufgrund der Anforderungen an die Feinregulierung immer mit überströmten Verschlüssen, wie z. B. Aufsatzklappen, kombiniert werden, wie beispielsweise bei der Staustufe Forchheim am Main-Donau-Kanal (Bild 1).

Der vorliegende BAW-Brief soll im Allgemeinen zum Verständnis des Sedimenttransports durch Stauhaltungen beitragen und im Speziellen den Einfluss über- und unterströmter Wehrverschlüsse auf den Sedimenttransport quantifizieren. Hierzu wurden mit Hilfe numerischer Simulationen Parameterstudien an über- und unterströmten Schützen durchgeführt und die sohlennahen Geschwindigkeiten im Oberwasser bestimmt. Die wesentlichen Ergebnisse werden vorgestellt, eine ausführliche Veröffentlichung erfolgt in der Zeitschrift Wasserwirtschaft im zweiten Quartal 2014 (Gebhardt et al., 2014).



Bild 1: Staustufe Forchheim am Main-Donau-Kanal, bei der der mittlere Verschluss (Zugsegment mit Aufsatzklappe) überströmt und der rechte Verschluss (Zugsegment) unterströmt wird.

2 Methodik

Die Berechnungen wurden mit Hilfe des „Open Source“ Programms OpenFOAM durchgeführt. Das numerische Modell umfasste ein 130,0 m langes, 1,0 m breites und 10,0 m hohes Rechteckgerinne, in dem sich 80,0 m nach dem Einlass ein Schütz in Form einer 0,2 m dicken Tafel befindet. Die vertikale Lage des Schützes wird an die zu simulierenden Öffnungsweiten respektive Überfallhöhen angepasst. Der linke und rechte Modellrand werden als reibungsfrei angenommen.

Beim Einfluss von unter- und überströmten Schützen auf die Geschwindigkeitsverteilung im Oberwasser sind insbesondere die sohlennahen Fließgeschwindigkeiten von Interesse, da diese ein Indikator für Sedimentation bzw. Erosion sind. Aus den Simulationsergebnissen wurden daher die Fließgeschwindigkeiten v im Abstand von 6,5 cm bestimmt und mit einer Referenzgeschwindigkeit v_{ref} in einem vom Wehr unbeeinflussten Strömungsbereich, etwa 60 m oberstrom, verglichen. Da sich die Fließgeschwindigkeit, ausgehend von

dem Wehr, asymptotisch der oberstromigen Referenzgeschwindigkeit annähert, wird die Einflusslänge des Wehres auf die Geschwindigkeitsverteilung über eine vorgegebene Abweichung v/v_{ref} bestimmt.

3 Ergebnisse

In Bild 2 sind die Isolinien der Fließgeschwindigkeiten bei einem unterströmten Schütz für drei exemplarische Zustände dargestellt. Bei konstantem Abfluss nimmt die Schützöffnungsweite s von oben nach unten zu und der entsprechende Abflussbeiwert c_q ab. Am Wasserstand unmittelbar unterhalb des Schützes ist zu erkennen, dass immer rückgestauter Abfluss vorliegt. Der Oberwasserstand h_1 verringert sich mit zunehmender Schützöffnungsweite und die Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser erhöhen sich, wie beispielsweise an der Isolinie für $v = 1,0$ m/s gut zu erkennen ist.

Demgegenüber sind in Bild 3 die Isolinien der Fließgeschwindigkeiten bei einem überströmten Schütz

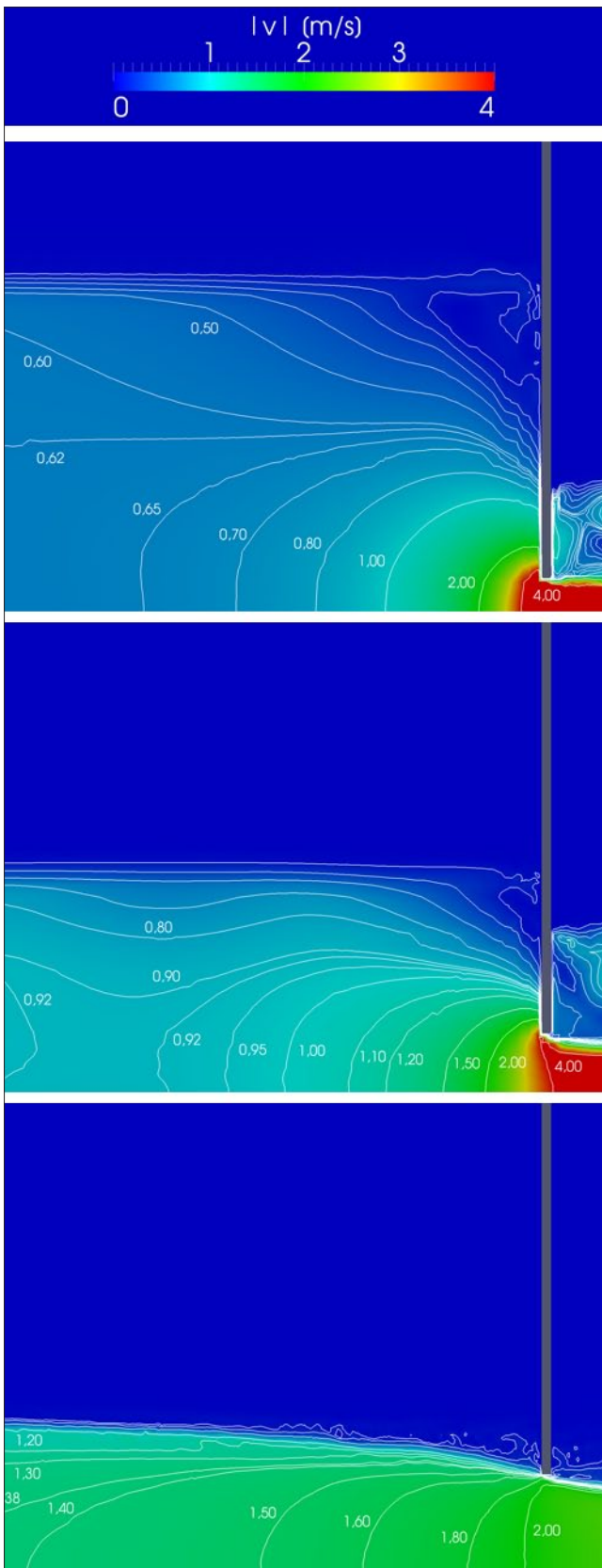


Bild 2: Isolinien der Fließgeschwindigkeit beim unterströmten Schütz für $Q = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$: (a) $s = 0,70 \text{ m}$, $c_q = 0,49$, (b) $s = 1,20 \text{ m}$, $c_q = 0,35$ und (c) $s = 2,00 \text{ m}$, $c_q = 0,26$

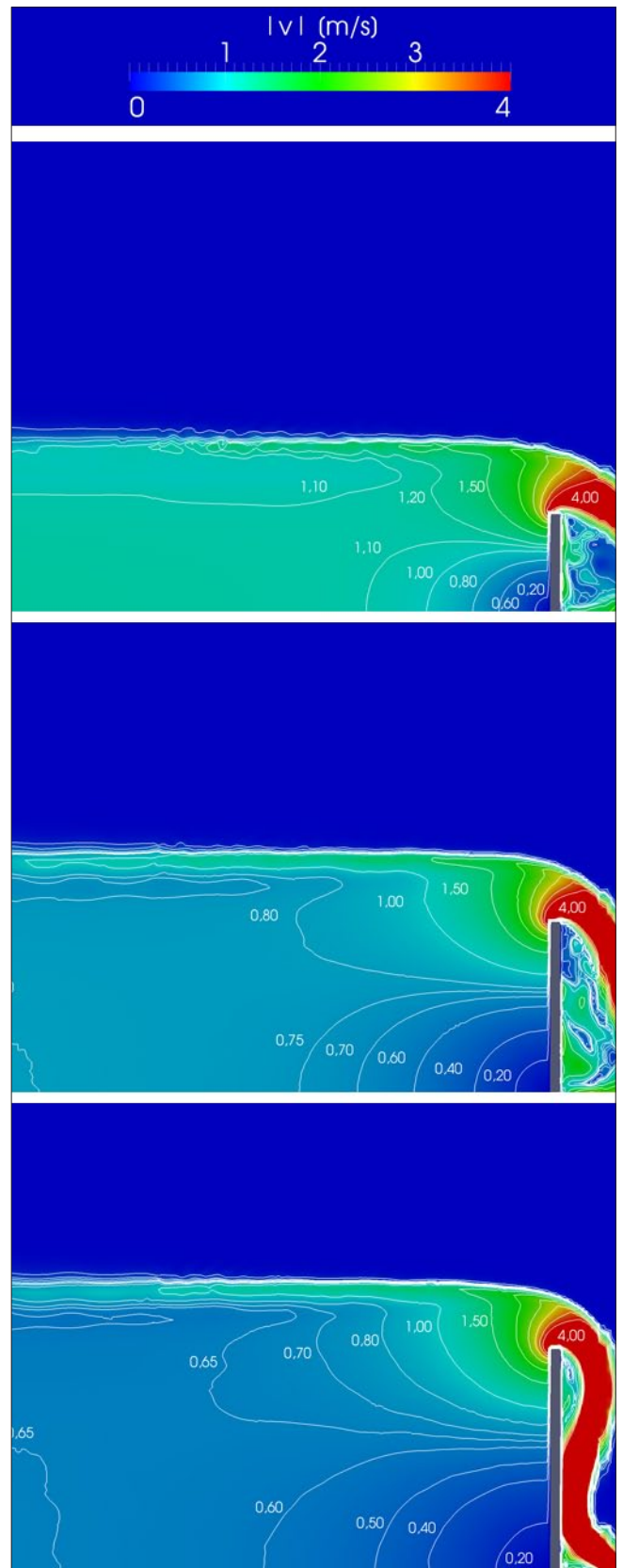


Bild 3: Isolinien der Fließgeschwindigkeit beim überströmten Schütz für $Q = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$: (a) $w = 2,00 \text{ m}$, $c_q = 0,75$, (b) $w = 3,50 \text{ m}$, $c_q = 0,83$ und (c) $w = 4,60 \text{ m}$, $c_q = 0,88$

ebenfalls für drei exemplarische Zustände dargestellt. Bei konstantem Abfluss und nahezu konstanter Überfallhöhe nimmt die Verschlusshöhe w und damit h_1 von oben nach unten ab. Da der Verschluss (numerisch) nicht belüftet ist, bildet sich zwischen Überfallstrahl und Schütz ein Unterdruck, wodurch der Überfallstrahl angesaugt wird. Der Oberwasserstand h_1 verringert sich mit abnehmender Verschlusshöhe, die sohlennahen Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser erhöhen sich, wie beispielsweise an der Isolinie für $v = 0,6$ m/s gut zu erkennen ist. Damit wird der Bereich potenzieller Anlandungen kleiner.

Insgesamt wurden für das überströmte Schütz 27 Zustände, mit Verschlusshöhen zwischen 2,0 m und 6,0 m, und für das unterströmte Schütz 19 Zustände, mit Schützöffnungsweiten zwischen 0,6 m und 2,0 m, simuliert. Diese Geometrien wurden mit Durchflüssen von $Q = 3,5$ m³/s, 4,0 m³/s und 4,5 m³/s und Unterwasserständen von $h_2 = 2,0$, 3,5 und 4,0 kombiniert und aus den Ergebnissen allgemeingültige dimensionslose Darstellungen für den Einflussbereich eines Verschlusses entwickelt.

Hierbei zeigte sich beispielsweise, dass bei einem unterströmten Verschluss mit rückgestautem Abfluss ($c_q = 0,50$) die sohlennahen Geschwindigkeiten in einem Abstand, der etwa der fünffachen Öffnungsweite entspricht, um 50 % über der Geschwindigkeit der ungestörten Anströmung liegt. Bei der zehnfachen Öffnungsweite liegen sie nur noch um 2 % darüber. Das heißt für die ingenieurpraktische Bedeutung, dass im Abstand von der zwei bis dreifachen Wassertiefe im Oberwasser praktisch kein Einfluss durch den Verschluss mehr feststellbar ist.

4 Schlussfolgerungen

Überträgt man die vorliegenden Ergebnisse auf typische Stauanlagen der WSV, wird schnell klar, dass der Einflussbereich unabhängig vom Verschlusstyp im Verhältnis zur Stauhaltungslänge äußerst klein ist und nur Sedimente durch die Wehranlage transportiert werden, die auch bis in den Nahbereich der Wehranlage gelangen konnten. Die Wahl der Verschlüsse hat damit einen vernachlässigbaren Einfluss auf die (zeitweise) Unterbrechung des Sedimenttransports an staugeregelten Gewässern. Maßgeblich ist nicht die Gestaltung der

Wehranlage, sondern die Stauregulierung an sich. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Sedimentdurchgängigkeit auch über eine Jambor-Schwelle für Sieblinien bis 110 mm nachgewiesen wurde. Dies zeigen Laboruntersuchungen, die in der BAW bereits in den 50er Jahren durchgeführt wurden (Jambor, 1959).

Es bleibt abschließend festzustellen, dass mit einem unterströmten Verschlusstyp im günstigsten Fall Ablagerungen im Nahbereich der Wehranlage remobilisiert werden können und ein Erosionstrichter entsteht. Untersuchungen zu Stauraumpülungen an Talsperren zeigen, dass die Wirkung einer Spülung umso wirksamer ist, je länger sie erfolgt und je tiefer der Oberwasserstand abgesenkt wird (Vischer, 1981). Dies wird aber an den staugeregelten Wasserstraßen aufgrund ihrer Mehrfachnutzung und der möglichen ökologischen Folgen nicht zu realisieren sein.

5 Literatur

DVWK (1993): Hrsg. Verlandung von Flusstauhaltungen – Morphologie, Umweltaspekte und Fallbeispiele. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. 105. Verlag Paul Parey, Hamburg.

Gebhardt, M., Gerstner, N., Thorenz, C. (2014): Der Einfluss über- und unterströmter Wehrverschlüsse auf den Sedimenttransport durch Stauhaltungen. In: Wasserwirtschaft, 2. Quartal 2014 (zur Veröffentlichung angenommen).

Jambor, F. (1959): Mögliche Erhöhung der festen Wehrschwelle sowie Gestaltung der damit verbundenen Wehrkonstruktionen, im Besonderen des Sektorwehrs. In: Die Bautechnik, Heft 6 und 8, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, S. 221-228 und S. 297-300.

Strobl T., Zunic F. (2006): Wasserbau, Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

Vischer, D. (1981): Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen. In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) Nr. 53, S. 9-26.

Dr.-Ing. Michael Gebhardt
Abteilung Wasserbau im Binnenbereich
Referat Wasserbauwerke (W3)
Telefon: 0721 9726-3410
Fax: 0721 9726-4540
E-Mail: michael.gebhardt@baw.de

Dipl.-Ing. Nico Gerstner
Abteilung Wasserbau im Binnenbereich
Referat Wasserbauwerke (W3)
Telefon: 0721 9726-3215
Fax: 0721 9726-4540
E-Mail: nico.gerstner@baw.de

Dr.-Ing. Carsten Thorenz
Abteilung Wasserbau im Binnenbereich
Referat Wasserbauwerke (W3)
Telefon: 0721 9726-3560
Fax: 0721 9726-4540
E-Mail: carsten.thorenz@baw.de



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

BAW Brief 04/2013

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 97 26-0
Telefax: +49 (0) 721 97 26-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de

Übersetzung, Nachdruck oder sonstige Vervielfältigung – auch auszugsweise –
ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

ISSN 2196-5900

© BAW 2013