Numerische Untersuchung zur Reduzierung der zunehmenden Stauraumverlandung im Stauraum KW Schönau

G. Harb[1], S. Haun[2] und J. Schneider[1]
[1]Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft,
Technische Universität Graz
Stremayrgasse 10, 8010 Graz
AUSTRIA
[2] Department of Hydraulic and Environmental Engineering
The Norwegian University of Science and Technology
S. P. Andersens veg 5, 7491 Trondheim
NORWAY
E-mail: gabriele.harb@tugraz.at

Kurzfassung
In diesem Beitrag wird die Problematik der Stauraumverlandung am Beispiel des an der Enns in Österreich gelegenen KW Schönau diskutiert. Der Stauraum des KW Schönau verlandet vor allem bei Hochwasserereignissen massiv. Um diese Verlandungen zu reduzieren wurde ein „Soft-flushing"-Konzept entwickelt und sowohl im physikalischen Modellversuch als auch in einer numerischen Modellierung untersucht.

EINLEITUNG

Der Bau von Staudämmen und Stauräumen beeinflusst das natürliche Gleichgewicht von Sedimentation und Erosion. In Stauräumen verringern sich die Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen, was zu einer Ablagerung von Feststoffen führt. Als Folge füllt sich der Stauraum mit Sediment und die ursprünglich geplante Nutzung des Stauraums wird beeinflusst bzw. eingeschränkt (Morris & Fan, 1998).
Stauraumspülungen sind eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems. In Bereichen, in denen eine Stauraumspülung aus verschiedenen Gründen untersagt ist, kann eine Absenkung des Wasserspiegels im Stauraum auf die minimale Betriebshöhe die Sedimentation reduzieren, da durch die erhöhte Sohlschubspannungen der Sedimenttransport verstärkt wird. Dieses „Soft Flushing" ist eine Art des „Pressure Flushings", das bei Stauräumen von Flusskraftwerken mit relativ großem Zufluss im Vergleich zum Stauraumvolumen und relativ geringen Wassertiefen im Stauraum durchgeführt werden kann. Dabei wird, wie schon oben beschrieben, der Wasserspiegel im Rahmen der Betriebsordnung bei höheren Durchflüssen abgesenkt und dadurch die Fließgeschwindigkeiten und die Turbulenzen erhöht.

HINTERGRUND DES PROJEKTS

Das Kraftwerk Schönau wurde zwischen 1969 und 1972 an der Enns in Oberösterreich errichtet. Das Kraftwerk besteht aus einer dreiteiligen Wehranlage mit Segmenten und aufgesetzter Klappe. Das Krafthaus mit den 2 Kaplanturbinen ist am Innenbogen der Flusskrümmung angeordnet (Abbildung 1.). Es ist nach einer kurzen freien Fließstrecke das erste Kraftwerk einer Kraftwerkskette von 10 Kraftwerken an der Enns in Oberösterreich. Aufgrund des Hochwasserrisikos in der flussabwärts gelegenen Stadt Steyr gibt es keine Spülgenehmigung für das Kraftwerk um zusätzlichen Sedimenteintrag in das Stadtgebiet zu vermeiden. Seit 1991 dürfen aber Stauraumspülungen in den Oberliegerkraftwerken, welche in der Steiermark liegen, durchgeführt werden. Seitdem hat sich die Verlandungssituation drastisch verschlechtert.
Im Falle von Hochwasserereignissen wird feines Sediment vermischt mit Totholz an den Turbineneinläufen am Innenbogen der Flusskrümmung abgelagert. Dadurch steigt der Rechendruck, was zu einer Abschaltung der Turbinen führt.

Abbildung 1 links: Orthofoto KW Schönau; rechts: Luftbild Kraftwerk

PHYSIKALISCHER MODELLVERSUCH

Der physikalische Modellversuch wurde von 2008 bis 2010 im Wasserbaulabor der TU Graz durchgeführt. Im Modell wurde das Kraftwerk mit einer ca. 570 m langen Oberwassertrecke und einer ca. 380 m langen Unterwasserstrecke im Maßstab 1:40 abgebildet. Abbildung 2 links zeigt eine Übersicht über den Modellversuch mit Blick Richtung Oberwasser. Abbildung 2 rechts zeigt eine typische Verlandungssituation nach einem einjährigen Hochwasser im Modellversuch.

Abbildung 2 links: Modellversuch Schönau, Blick gegen Fließrichtung ins Oberwasser
rechts: Abgelagertes Kunststoffgranulat vor dem Turbineneinlauf nach einem 1-jährigem Hochwasserereignis, Blick in Fließrichtung

Aufgrund der feinen Sieblinie des Sediments in der Natur (d_{90}=0.9 mm and d_{50}=0.25 mm) wurde im physikalischen Modellversuch Kunststoffganulat zur Modellierung der Verlandung verwendet.

NUMERISCHE MODELLIERUNG

Die 3D-numerische Modellierung wurde mit SSIIM 2 (Olsen, 2009) durchgeführt. SSIIM 2 verwendet ein nicht-orthogonales, adaptives und unstrukturiertes Grid. Dadurch ist eine Anpassung des Grids an die Wassertiefe und eine Veränderung der Form des Grids während der Berechnung möglich. In diesem Fall wurden am Beginn der Berechnung ca. 78.000 Zellen mit einer maximalen Zellgröße von ca. 5 x 5m verwendet, wobei max. 10 Zellen in der Vertikalen verwendet wurden. Am Ende der Berechnung wurde durch die Absenkung des Wasserspiegels im Stauraum die Anzahl der Zellen auf etwa 50.000 reduziert. SSIIM 2 verwendet die Kontinuität und die RANS-Gleichungen für die Berechnung der Fließgeschwindigkeiten in allen drei Richtungen. Bei den Berechnungen ist das k–ε Turbulenzmodel nach Rodi (1980) und die Wandrauhigkeit nach Schlichting (1979) verwendet worden. Für die Diskretisierung wird die Control-Volume-Method zusammen mit dem Power-Law-Scheme (Olsen, 2009) verwendet. Weiters wird die SIMPLE-Method von Patankar (1980) zur Berechnung des Druckfeldes verwendet. Der Geschiebe- und Schwebstofftransport wurde mit den empirischen Formeln von Van Rijn (1984a, b) berechnet.
Das numerische Modell wurde anschließend mit ADCP-Naturmessungen kalibriert. Für die Rauigkeiten im Stauraum wurde ein konstanter Wert verwendet.

ERGEBNISSE DER NUMERISCHEN MODELLIERUNG

Die Geschwindigkeitsprofile aus dem numerischen Modell wurden mit den gemessenen ADV-Geschwindigkeitsprofilen aus dem Modellversuch verglichen (Abbildung 3).

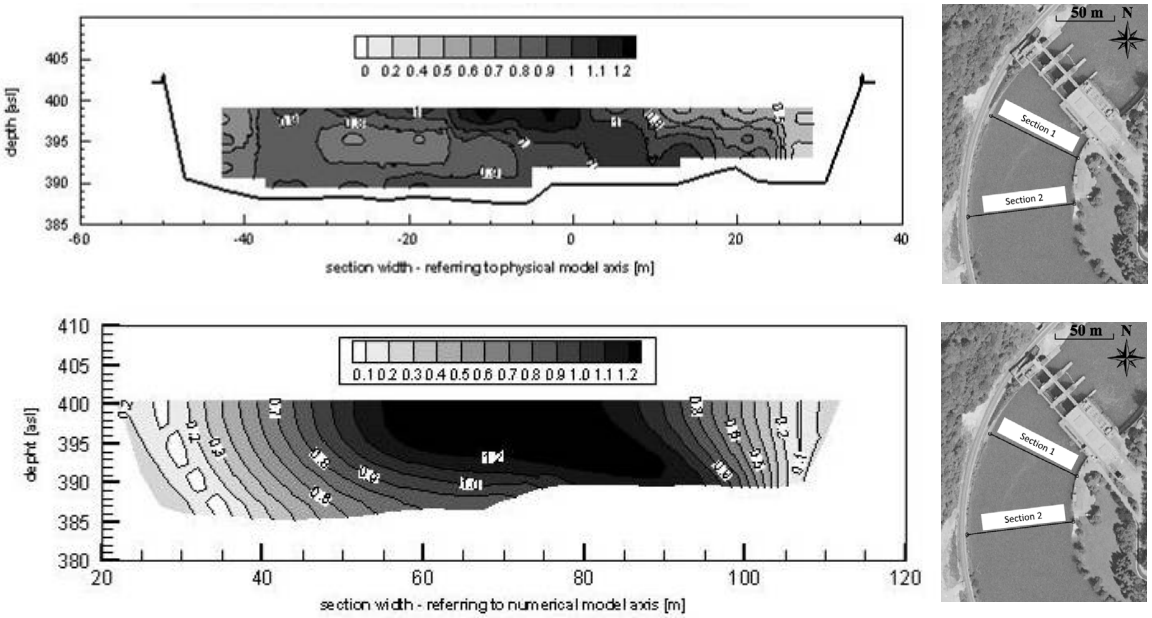

Abbildung 3 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile aus dem Modellversuch (oben) und dem numerischen Modell (unten) in [m/s]

Die Geschwindigkeitsverteilungen in den Profilen zeigen eine gute Übereinstimmung. In diesem Fall überschätzt das numerische Modell die höheren Geschwindigkeiten in der Mitte des Profils und unterschätzt die niedrigeren Geschwindigkeiten im Bereich der Ufer verglichen mit den gemessenen Geschwindigkeitsprofilen. Die Geschwindigkeitsverteilung über den Querschnitt gesehen wird aber gut wiedergegeben. Das numerische Modell reproduziert auch die Sekundärströmungen im Bereich der Flusskrümmung. Abbildung 4 zeigt die unterschiedlichen Fließrichtungen an der Oberfläche (dunkelgrau) und an der Flusssohle (hellgrau) bei einem 10-jährigen Hochwasserereignis.

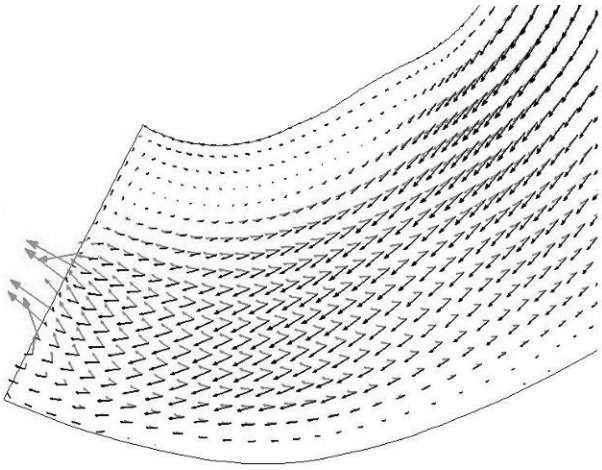

Abbildung 4 Sekundärströmungen im Bereich der Flusskrümmung – Oberflächenströmung (dunkelgrau) und Strömung an der Sohle (hellgrau)

Untersuchung der Sohlschubspannungen

Abbildung 5 zeigt auf der linken Seite die berechneten Sohlschubspannungen bei der „Soft-Flushing“ Variante mit einem Durchfluss von 1.000m^3/s und einer Absenkung des Wasserspiegels um 2,5 m. Auf der rechten Seite sind im Vergleich dazu die Sohlschubspannungen bei einem HQ_{10} (1.350m^3/s) und Stauziel dargestellt.

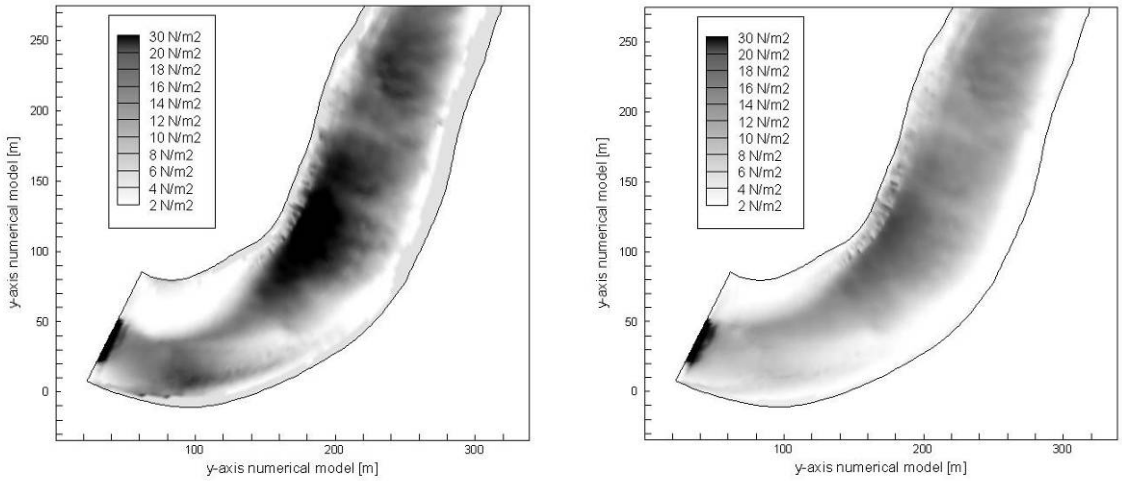

Abbildung 5 Sohlschubspannungen aus dem numerischen Modell [N/m^2]; links: „Soft-Flushing“ mit 1.000m^3/s und 2,5 m Abstau; rechts: HQ_{10} mit Stauziel (Naturmaßstab)

Aufgrund der relativ geringen Tiefe des Stauraums erhöhen sich durch die Absenkung des Wasserspiegels die Sohlschubspannungen im gesamten Stauraum.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die mittels 3D-numerischen Modell berechneten Geschwindigkeitsprofile stimmen mit den im physikalischen Modellversuch mittels ADV-Sonde gemessenen Geschwindigkeiten grundsätzlich gut überein. Das numerische Modell reproduziert auch die Sekundärströmungen, überschätzt allerdings die hohen Geschwindigkeiten und unterschätzt die niedrigen Geschwindigkeiten in einem geringen Ausmaß. Die Ursache für diesen Effekt könnten leichte Unterschiede in der Sohlgeometrie oder in der Wasserspiegellage zwischen numerischen Modell und Modellversuch sein. Eine andere Ursache könnte in der konstant gewählten Rauigkeit im numerischen Modell liegen. Auch das gewählte Turbulenzmodell (k–ε) könnte einen Einfluss haben.
Die Untersuchungen zeigen, dass eine Absenkung des Wasserspiegels bei höheren Durchflüssen die Sohlschubspannungen im Stauraum deutlich erhöht. Daher kann durch die „Soft-Flushing“ Variante die Sedimentation im Stauraum bei Hochwasserereignissen reduziert und zusätzlich durch die erhöhte Sohlschubspannung Sediment mobilisiert werden.

DANKSAGUNG

Die präsentierten Untersuchungen wurden mit Unterstützung von DI Lettner und DI Zarfl von der Ennskraft AG und des Forschungsprojektes SEE Hydropower aus dem SEE Programm der EU durchgeführt.
Der Zweitautor wurde vom Research Council of Norway durch das RENERGI Programm unterstützt.

LITERATUR

Morris, G. and Fan J. (1998), *Reservoir Sedimentation Handbook*, McGraw-Hill Publishing Company.

Olsen, N.R.B. (2009), *A Three-dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Multiblock Option*, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

Patankar, S.V. (1980), *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow,* McGraw-Hill Book Company, New York.

Rodi, W. (1980), *Turbulence Models and Their Application in Hydraulics*, A. A. Balkema, Rotterdam.

Schlichting, H. (1979), *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill.

Van Rijn, L.C. (1984a), *Part I: Bed load transport*, Journal of Hydraulic Engineering, 110(10), 1431-1456.

Van Rijn, L.C. (1984b), *Sediment Transport. Part II: Suspended load transport*, Journal of Hydraulic Engineering, 110(11), 1613-1641.