

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

**Thonhauser, Stefan; Riedl, Martin; Feurich, Robert; Reindl, Robert;
Janisch, Tanja**

Planung einer aufgelösten, unstrukturierten Blockrampe am Wehr Brunau an der Öztaler Ache

VAW Mitteilungen

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

ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108447>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Thonhauser, Stefan; Riedl, Martin; Feurich, Robert; Reindl, Robert; Janisch, Tanja (2021):
Planung einer aufgelösten, unstrukturierten Blockrampe am Wehr Brunau an der Öztaler
Ache. In: Boes, Robert (Hg.): Wasserbau-Symposium 2021. Wasserbau in Zeiten von
Energiewende, Gewässerschutz und Klimawandel. Band 2. VAW Mitteilungen 263. Zürich:
ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. S. 551-560.

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.

Verwertungsrechte: CC BY 4.0



Planung einer aufgelösten, unstrukturierten Blockrampe am Wehr Brunau an der Öztaler Ache

Design of an unstructured block ramp at Brunau, Öztaler Ache

**Stefan Thonhauser, Martin Riedl, Robert Feurich,
Robert Reindl, Tanja Janisch**

Kurzfassung

Mit der Umsetzung des Projektes Speicherkraftwerk Kühtai sind ökologische Ausgleichsmaßnahmen verbunden. Eine wesentliche Maßnahme ist die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit am Wehr Brunau an der Öztaler Ache. Vorgesehen ist eine Rampe auf der gesamten Flussbettbreite, die als aufgelöste unstrukturierte Blockrampe (UBR) ausgelegt wird. Neben einem hohen spezifischen Bemessungsabfluss weist der Standort eine Kurve auf und erfordert den sicheren Betrieb einer bestehenden Seitenentnahme mit Spüleinrichtungen und Entsan-der. Zur hydraulischen Berechnung kommen 1D, 2D und 3D numerische Modelle zur Anwendung. Die vorhandenen Sekundärströmungen im Bereich der Seitenentnahme und im Bogen werden auf Basis der Grundlagenforschungen an physikalischen und numerischen Modellen der klassischen alpinen Bogenfolge (Institut für Wasserbau Innsbruck (IWI) 1986 - 2002) beurteilt. In der Zusammenschau ergeben die numerischen Untersuchungen ein mit den Erkenntnissen zur alpinen Bogenfolge übereinstimmendes Ergebnis, das die Funktion der Seitenentnahme und die Standsicherheit der UBR bestätigt. Trotz hydrologisch und morphologisch schwierigen Bedingungen kann von einer dauerhaften Fischdurchgängigkeit ausgegangen werden, da der Bautyp aufgelöste unstrukturierte Blockrampe dem natürlichen Gewässerzustand bestmöglich entspricht.

Abstract

Within the development of TIWAG "Speicherkraftwerk Kühtai" HPP the ecological restoration at weir Brunau is a main compensation measure. At the existing weir, fish migration will be made possible by constructing an unstructured block ramp (UBR). In addition to the high specific design flow, the river bend as well as the existing diversion facilities are challenging issues in the design stage. Hydraulic investigations were conducted using 1D, 2D and 3D numerical models. Regarding secondary flow patterns in river bends, numerical results were evaluated according to the findings of research-projects on typical flow situations in river bends

(University of Innsbruck, IWI, 1986 – 2002). Results of several different investigation methods agree, this proves the reliability of the hydraulic simulations. Because an UBR matches the natural river morphology of the Öztaler Ache in Brunau best, high durability concerning fish migration, a safe operation of the diversion facilities and ramp stability will be achieved.

1 Projekt Speicherkraftwerk Kühtai

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG erweitert mit der Umsetzung des Speicherkraftwerks Kühtai die bestehende Kraftwerksgruppe Sellrain Silz um ein Pumpspeicherkraftwerk mit neuem Ganzjahresspeicher und Beileitung eines hochalpinen Einzugsgebietes. Im Rahmen des Umweltverträglichkeitsprüfverfahrens (UVP) (2009-2019) wurden mehrere Ausgleichsmaßnahmen in das Projekt integriert. Eine der wesentlichen Maßnahmen ist die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit der Öztaler Ache an der Wehranlage Brunau.

Nach Vorliegen aller behördlichen Bewilligungen des Projektes SKW Kühtai wurde mit der Umsetzung der ersten Maßnahmen im Oktober 2019 gestartet. Die Baumaßnahmen in Brunau wurden in der NW Periode 2020/2021 umgesetzt.

2 Bestehende Wehranlage Brunau

Die Ausleitung an der seit den 1950ern bestehenden Wehranlage Brunau, siehe Abb. 1 und Abb. 2, befindet sich in der Nähe zur Mündung in den Inn und dient bis heute Bewässerungszwecken.



Abb. 1: Öztaler Ache vor Baudurchführung am bestehendem Wehr Brunau bei Niederwasser

Die Wiederherstellung der Durchgängigkeit an diesem Standort soll im Sinn einer bestmöglichen Verbesserung auf gesamter Flussbettbreite erfolgen.

Der gegenständliche Detailwasserkörper der Öztaler Ache ist der Fischregion Metarhithral zugeordnet. Das Fischleitbild ist durch die Leitart Bachforelle, die typische Begleitart Koppe sowie die seltenen Begleitarten Elritze und Äsche typisiert. Extreme Hochwasserereignisse traten in den vergangenen Jahrzehnten auf und wurden dokumentiert. Die Hochwassersituation wurde für die gesamte Öztaler Ache in Terneak (2011) mit einem kalibrierten 2 dimensional Abflussmodell untersucht.

Tab. 1: Kennzahlen der Öztaler Ache, Wehr Brunau

Kennzahl	Wert
HQ100	415 m ³ /s
MQ	32.1 m ³ /s
MJNQ _t (mittlerer Jahresniederstwert des Tagesmittels)	4.17 m ³ /s
Wirksame Einzugsgebietsgröße	836.7 km ²

3 Entscheidung der Bautypenvariante

Ausgehend von einer aufgelösten Riegelrampe, die 2009 der Einreichplanung zu Grunde lag, wurde nun elf Jahre später eine aufgelöste, unstrukturierte Blockrampe umgesetzt. Wesentliche Voraussetzung für die Wahl dieses Bautyps waren die zwischenzeitlichen Erfahrungen und zugehörigen Veröffentlichungen zu diesem Bautyp in Janisch (2007), Hunziker, Zarn und Partner (2008) und Boes *et al.* (2017).

3.1 Spezielle Planungsanforderungen an diesem Standort

Der gegenständliche Projektstandort ist hinsichtlich der hydrologischen Kennzahlen gemäß Tab. 1 und der Bettbreite mit dem in Boes *et al.* (2017) beschriebenen Bemessungsbeispiel für eine UBR an der Landquart in der Schweiz vergleichbar. Gegenüber der Landquart weist dieser Standort folgende Besonderheiten auf. Die Rampe liegt in einem Bogen, siehe Abb. 2, die Sohlbelastung muss im Detail erfasst und in der Planung berücksichtigt werden. Der bestehende Wehrabsturz ist Teil einer Seitenentnahme und dient der Spülung des sohlnahen Einlaufbereichs. Die Funktion der Seitenentnahme muss auch nach Errichtung der Rampe mit geänderten Gefälleverhältnissen gegeben sein. Die Interessen des Wildwassersports (Kajak und Rafting) an der Öztaler Ache sind zu berücksichtigen.

3.2 Vorteile des Bautyps UBR

Der Bautyp UBR wurde aufgrund des gutmütigen Versagensverhaltens und der zu erwartenden Dauerhaftigkeit hinsichtlich der Fischdurchgängigkeit gewählt. Die Fischdurchgängigkeit kann aufgrund zulässiger Energiedichten und ausreichender Mindestwassertiefen positiv beurteilt werden. Auch in Hinblick auf den Wildwassersport ergeben sich für die relevante Abflussbandbreite zur Befahrbarkeit ausreichende Wassertiefen.

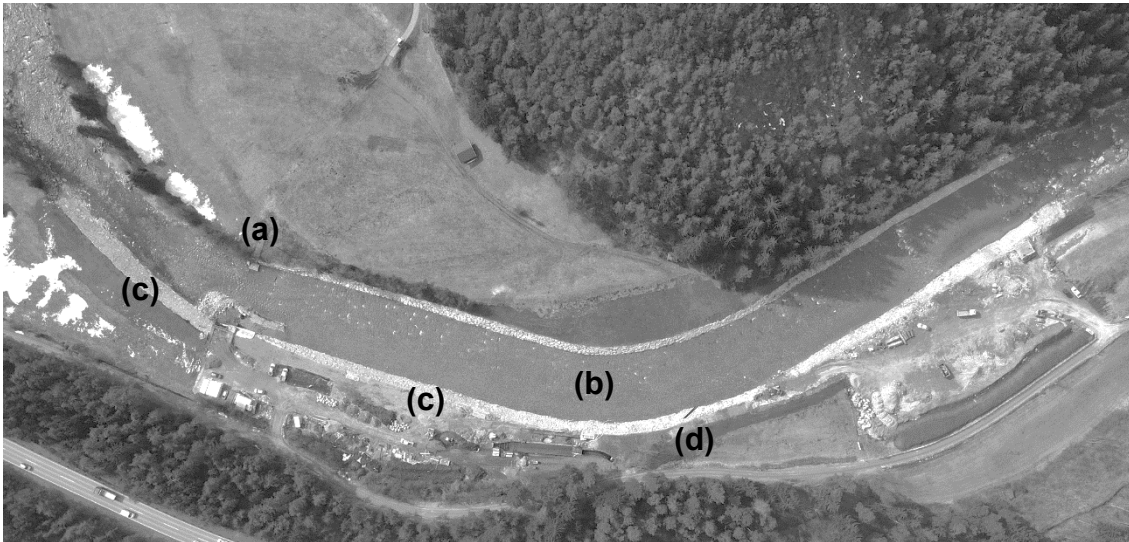


Abb. 2: Ötztaler Ache mit (a) dem bestehenden Wehr, (b) UBR, (c) Uferbegleitdämmen, (d) neuem Auslass des verlängerten Spülkanals, Aufnahme nach Baudurchführung

4 Hydraulische Untersuchungen

Die Hydraulische Simulation wurde mit 1D, 2D und 3D numerischen Modellen durchgeführt. Die 1D Simulation der UBR entsprach methodisch dem der Bewilligung zugrundeliegenden 1D Nachweis der Riegelrampe und diente primär dem direkten Vergleich beider Bauweisen. Mit dieser einfachen Methode wurden im Zuge vertieften Planung auch Parameterstudien durchgeführt.

Für die Berechnung der Strömungssituation im Bogen wurden numerische 2D und 3D Modelle verwendet. Um diese numerischen Modelle mit Erkenntnissen zur Bogenströmung an physikalischen Modellversuchen vergleichen zu können, wurde das Untersuchungsgebiet in Richtung oberstrom erweitert. Dieser Bezug zu physikalischen Untersuchungen erfolgt anhand der Erkenntnisse aus dem Bogenströmungsmodell des Institutes für Wasserbau der Universität Innsbruck (Abb. 3). Über einen Zeitraum von 15 Jahren wurden um die 90er Jahre Sohlverformung und Geschwindigkeitsverteilung in alpinen Doppelbogenfolgen untersucht.

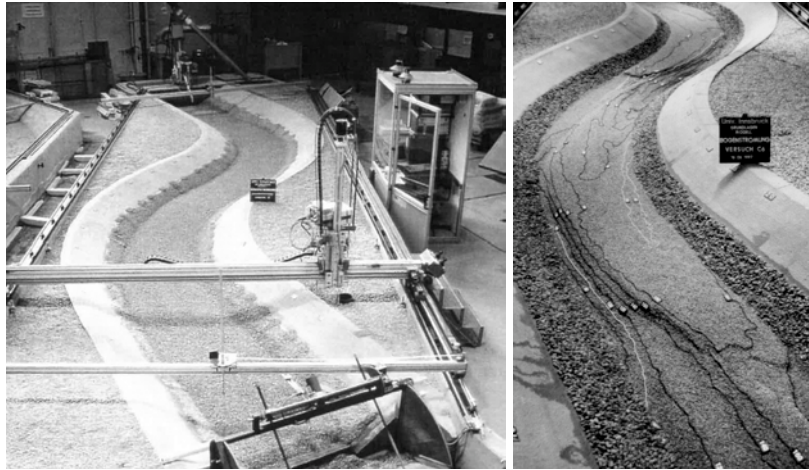


Abb. 3: Bogenströmungsmodell: links Modellaufbau Doppelbogenfolge (Vigl, 1990), rechts verformte Sohle im Bogenmodell (Feurich, 1998)

Unmittelbar oberstrom des Wehres Brunau stimmt die Gerinnegeometrie der Öztaler Ache gut mit den geometrischen Randbedingungen des Bogenströmungsmodells überein.

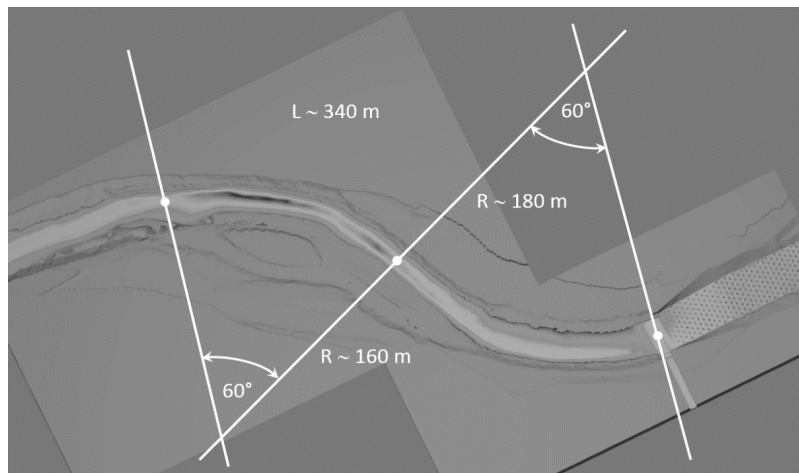


Abb. 4: Alpine Bogenfolge an der Öztaler Ache in Brunau, Erweiterung des 3D Modells oberstrom der Rampe

Die Bogenfolge (Abb. 4) mit einer Länge von 340 m weist einen Kurvenradius von 160 m im ersten Bogen, 180 m im zweiten Bogen sowie Bogenwinkel von jeweils 60° auf. Im numerischen Modell für die ca. 300 m langen Rampe wurde daher der Untersuchungsraum in Richtung oberstrom der Wehranlage um ca. 400m erweitert. Unterstrom der Wehranlage wurde im anschließenden Rampenbereich in der Netzgeometrie jeder Block der UBR im Detail aufgelöst.

Anhand der aus den physikalischen Modellversuchen bekannten typischen Sohlverformungen und Geschwindigkeitsprofile wurden sowohl Grundlagen als auch Resultate der 3D- und 2D Modelle verifiziert. Anhand des plausibilisierten Modells

konnte zunächst gezeigt werden, dass nach Errichtung der UBR die Seitenentnahme durch die sich ausbildende Sekundärströmung sehr günstig angeströmt wird, siehe nachfolgende Abb. 5.

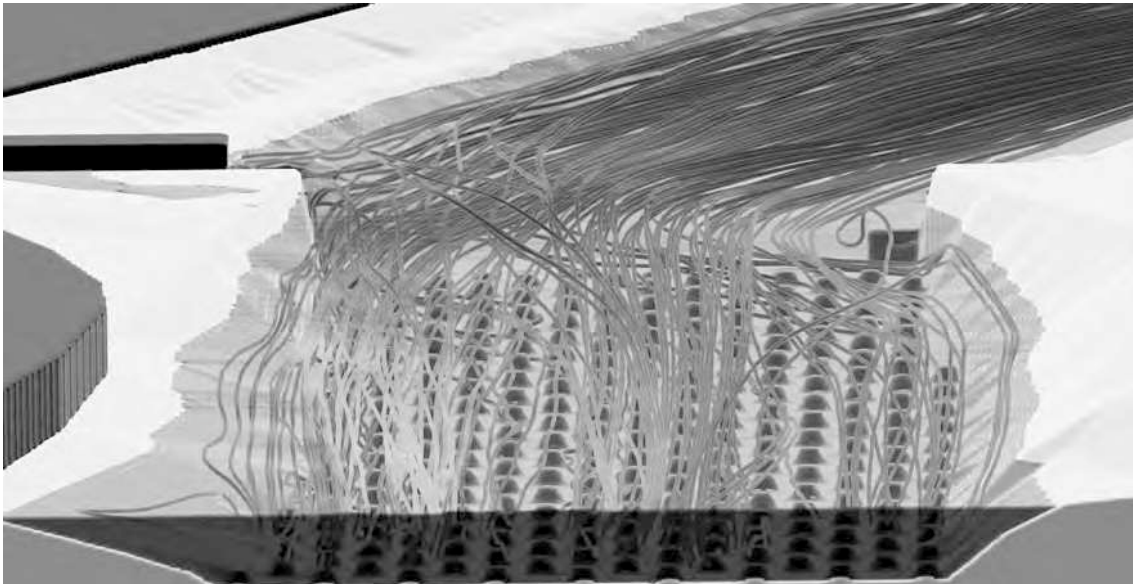


Abb. 5: Wehr Brunau nach Errichtung der Rampe als UBR bei HQ100, Stromlinien aus 3D numerischer Simulation mit Blick gegen die Fließrichtung (Flow3D)

Anhand des Strömungsbildes kann davon ausgegangen werden, dass der Wassereinzug zukünftig keiner Verlandung ausgesetzt sein wird und damit die Funktion dauerhaft erhalten bleibt.

Zum Nachweis der Rampenstabilität wurden die Verteilungen der spezifischen Abflüsse untersucht. Ausgehend von einer im Bestand zwischen 21 m und 29 m variierenden Sohlbreite und wechselnden Böschungsneigungen wurde die UBR mit einer nunmehr konstanten Sohlbreite und Böschungsneigung geplant. Die größte Abflusskonzentration wurde im unmittelbaren Nahbereich der orographisch rechten Wehrwange zu lokal $q_{100,max}=20 \text{ m}^3/\text{s,m}$ ermittelt. Das Maximum des spezifischen Abflusses in der Kurve der UBR beträgt $q_{100,max}\leq 18 \text{ m}^3/\text{s,m}$. Dieses geringere Ergebnis für den Außenbogenbereich ist auf die im Modell enthaltene hohe Makrorauigkeit der UBR zurückzuführen. In der Umsetzung wird darauf geachtet, diese hohe Formrauigkeit zu erhalten.

Dazu wurden die Ergebnisse der 3D-Numerik an der Sohle der UBR im Detail untersucht. Die Netzgeometrie basiert auf einem digitalen Geländemodell, in das ca. 800 Einzelblöcke manuell eingearbeitet wurden. Die Blockgrößen entsprechen dem äquivalenten Kugeldurchmesser und sind gemäß der tatsächlichen Belegungsdichte angeordnet, eine zufällige Blockverteilung wurde nicht auskonstruiert. Durch diese Vereinfachung ist jedoch die mögliche Auswirkung längerer

durchgehender Strömungsgassen entlang der sohlnahen Geschwindigkeitsrichtung erkennbar.

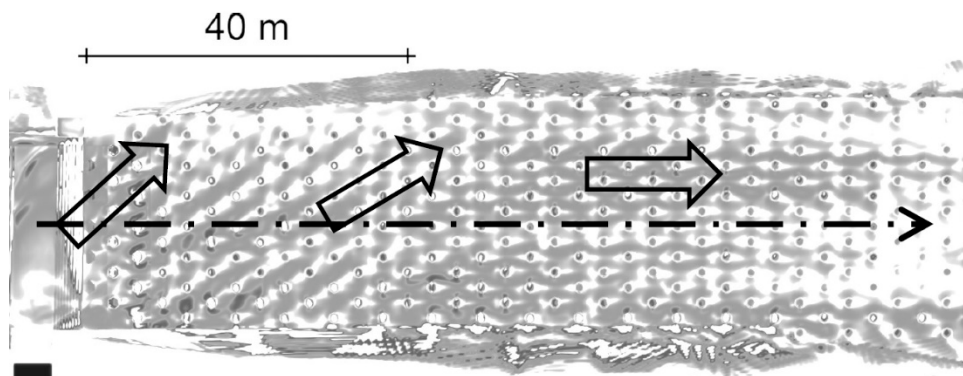


Abb. 6: Ergebnis der 3D Simulation: Verteilung der Sohlschubspannungen exemplarisch im ersten Abschnitt der Rampe mit Abweichung der Richtung der Sohlschubspannung relativ zur Fließrichtung um bis zu 45° zur Bogeninnenseite hin.

Im Bereich der Wehranlage weichen gemäß Abb. 6 die Richtungen der Sohlschubspannungsminima (hellere Bereiche hinter den Blöcken) um bis zu 45° relativ zur Fließrichtung ab und weisen auf die Orientierung der maximalen Erosionsbelastung hin. In der Planung ist zu berücksichtigen, dass die Länge von Erosionswegen in Richtung der sohlnahen Strömung möglichst begrenzt wird.

Die Simulation der für den Wildwassersport relevanten Abflüsse lieferte eine anschauliche Diskussionsgrundlage und damit einen ersten wichtigen Beitrag für die Zusammenarbeit mit Vertretern dieser bedeutenden Interessensgruppe.

5 Planung

An das vorhandene Querbauwerk schließt eine 308 m lange UBR an. Die Einzelblockmasse beträgt 6 t und die Sohlbreite konstant 27 m. Auf dem ersten, 40 m langen Rampenabschnitt wird eine Pufferstrecke angeordnet, das Gefälle beträgt hier dem Oberlauf entsprechend 0.8%. Im weiteren Verlauf der Rampe beträgt das Einbaugefälle 1.9%. Die erforderliche Blockbelegungsichte ρ wurde in Abhängigkeit der Krümmung zwischen $\lambda = 0.23$ und $\lambda = 0.26$ bestimmt. Die Belegungsichte liegt damit im maximal zulässigen Bereich, der zulässige spezifische Abfluss bei $q_{zul}=19,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der Rampenfuß ist mit einem Sohlgurt gesichert. Als Überlastreserve ist eine Reduktion des Rampengefälles auf bis zu 1.7% möglich, die zu keinem Sohlversatz am Querbauwerk führt.

Die Kurvensituation wird mit sorgfältiger Materialprüfung und einer gezielten Verwendung jedes einzelnen Blocks berücksichtigt (Abb. 7 und Abb. 8). Die Blöcke

werden grundsätzlich mit einer unregelmäßigen Verteilung in den Rampenschüttkörper eingebaut. Diejenigen Blöcke, die innerhalb der zugelassenen Abmessungstoleranzen eine lange Seite aufweisen, werden jeweils normal zur sohlnahe Fließrichtung eingebaut.

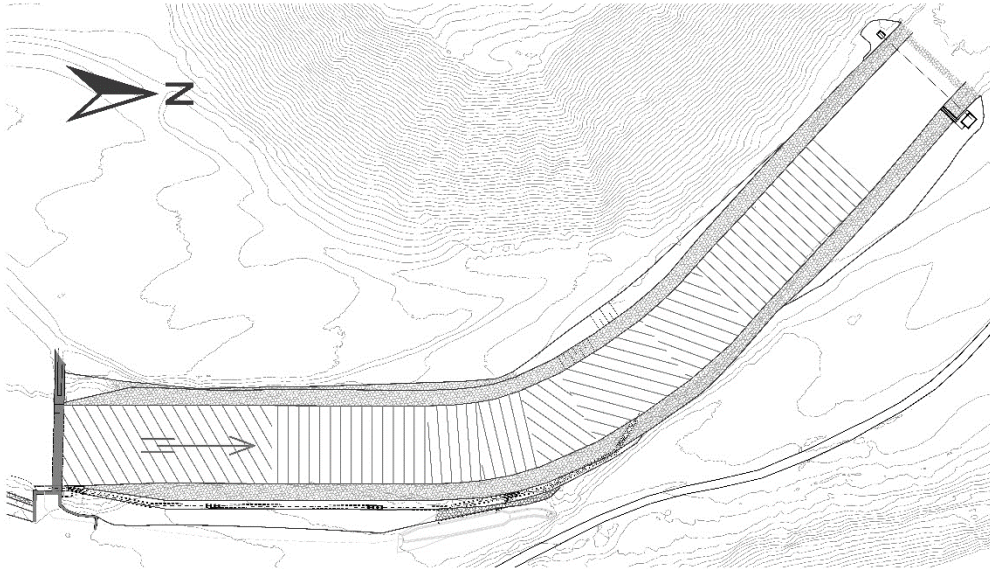


Abb. 7: UBR Brunau, Ausführungsplan, Darstellung reduziert auf die Angabe der Blockausrichtung normal auf die sohlnahe Fließrichtung, Übersichtslageplan

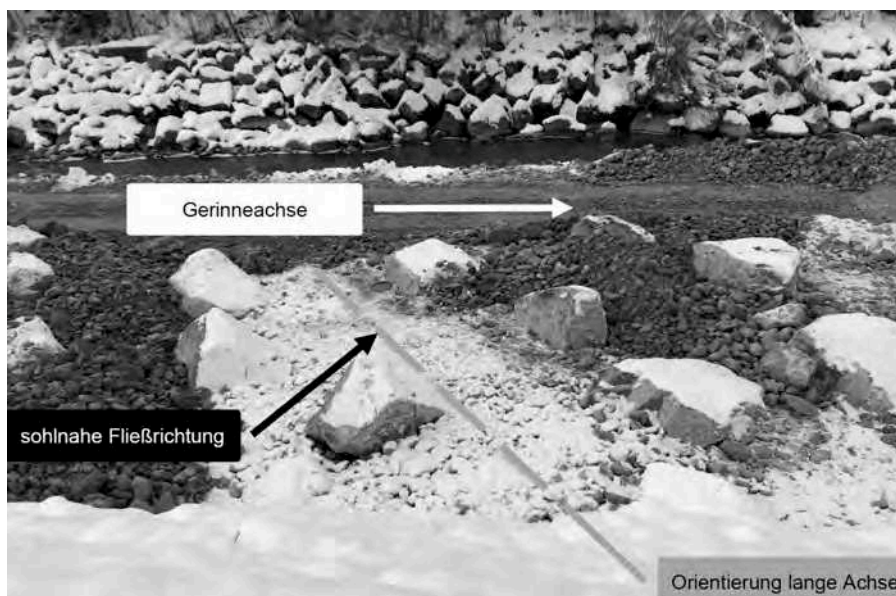


Abb. 8: Verwendung der Blöcke mit langer Achse für den Einbau normal auf die sohlnahe Fließrichtung, Einbauzustand in Bauphase 1: Errichtung der rechtsufrigen Rampenhälfte vor Überschüttung der Einzelblöcke

Damit bleibt die Makrorauigkeit erhalten, die wiederum eine verhältnismäßig gleichförmige Verteilung des Abflusses über der Bettbreite im Kurvenbereich bewirkt und damit die Stabilität und Eignungstauglichkeit des Bauwerks sichert.

Die Mündung des bestehenden Spülauslass der Seitenentnahme wird durch einen rund 200 m langen Spülkanal in Richtung flussabwärts verlegt. Sämtliche Bestandseinrichtungen der Bewässerungsanlage bleiben unverändert erhalten. Die Uferböschungen werden auf ein HW100 sicheres Niveau erhöht, siehe dazu auch Abb. 2.

6 Schlussfolgerungen

Am Wehr Brunau an der Öztaler Ache entspricht der Bautyp aufgelöste, unstrukturierte Blockrampe bestmöglich der natürlichen Gewässermorphologie. Grundsätzlich kann dieser Bautyp bei einem Gefälle von 2% angewendet werden.

Angesichts der hohen spezifischen hydraulischen Belastung und zur Sicherstellung der Funktion der bestehenden Seitenentnahme wurde die Kurvensituation genau untersucht. Die numerischen Ergebnisse wurden anhand vorliegender Ergebnisse der Grundlagenforschung zur Bogenströmung plausibilisiert.

Im Zuge der Untersuchung des Projektzustandes stellte sich heraus, dass die vorhandenen Kurvenradien ausreichend groß sind: Durch die Makrorauigkeit der UBR wird die Querverteilung der Durchflüsse im Kurvenbereich begrenzt. Aufgrund der detaillierten Ergebnisse zur sohnaher Geschwindigkeitsrichtung können über den gesamten Rampenverlauf durchgehende Strömungsgassen zwischen den Einzelblöcken durch eine entsprechende Verlegung vermieden werden. Der Kurvenbereich wird zusätzlich durch eine erhöhte Belegungsdichte gesichert.

Es konnte gezeigt werden, dass an der bestehenden Seitenentnahme günstige Strömungsbedingungen und eine uneingeschränkte Funktion zu erwarten sind.

Die Errichtung der UBR erfolgte in der Niederwasserperiode 2020/2021 und ist im Einbauzustand ab März 2021 dem natürlichen Abfluss ausgesetzt. Die weitere Entwicklung der Sohle wird mit Spannung erwartet.

Referenzen

- Boes, R. M. *et al.* (2017). Aufgelöste unstrukturierte Blockrampen - Eine Praxisanleitung. VAW-Mitteilungen 240, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, Schweiz.
- Feurich, R. (1998), Der Einfluss der Wandrauigkeit auf den Bogenkolk, Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, Institut für Wasserbau.

- Feurich, R. (2002), Untersuchung der Strömungsverhältnisse in einem doppelt gekrümmten Gerinne, Dissertation an der Universität Innsbruck, Institut für Wasserbau.
- Hunziker, Zarn & Partner (2008). Blockrampen Normalien: Manual zur Sanierung von Abstürzen. Projekt Nr. A-300. HZP: Aarau.
- Janisch, T. (2007). Aufgelöste Blockrampen im Modellversuch – Untersuchungen an der VAW. In VAW-Mitteilung 201, Minor, H.-E., ed., ETH Zürich, 63-79.
- Reindl, R. (1994), Sohl und Strömungsbildung in einer Bogenfolge mit und ohne Rückstau-einfluss, Dissertation an der Universität Innsbruck, Institut für Wasserbau.
- Terneak, J. (2011), ABU Tirol 1Los B2 – Ötztaler Ache, im Zuständigkeitsbereich der Bundeswasserbauverwaltung ABU Tirol, Gössendorf.
- Vigl, A. (1990), Typische Bogenfolgen alpiner Flüsse, Dissertation an der Universität Innsbruck, Institut für Wasserbau.

Adressen der AutorInnen

Dipl. Ing. Stefan Thonhauser (korrespondierender Autor)
Dipl. Ing. Martin Riedl, Dipl. Ing. Dr. techn. Robert Reindl

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG

A-6020 Innsbruck, Eduard Wallnöfer Platz 2

stefan.thonhauser@tiwag.at

Dipl. Ing. Dr. techn. Robert Feurich

Flow Science Deutschland GmbH,

D-72108 Rottenburg, Sprollstraße 10/1

Dipl. Ing. Tanja Janisch

ILF Consulting Engineers Austria GmbH

A-6063 Rum bei Innsbruck, Feldkreuzstraße 3