

# Optimierung der Einlaufsituation zum Entlastungsstollen Altbach, Kloten (CH) – Entwicklung einer geschiebedurchgängigen Tosbeckengeometrie

*Barbara Stocker, Gabriel Zehnder und Volker Weitbrecht*

## Zusammenfassung

Am Altbach in Kloten (CH) soll ein Hochwasserentlastungsstollen gebaut werden, wobei der im Altbach verbleibende Abfluss durch ein Drosselbauwerk mit einem nicht gesteuerten Schütz und anschließendem Tosbecken kontrolliert wird. Bis zum Einstau der Drossel bei kleineren Hochwasserereignissen soll das Bauwerk geschiebedurchgängig ausgebildet werden. Zur Überprüfung und Optimierung des Systems wurde der betreffende Flussabschnitt des Altbachs in einem gegenständlichen Modell im Maßstab 1:20 nachgebaut. Die Versuche haben gezeigt, dass das Tosbecken im ursprünglichen Projektentwurf mit abgesenkten Banketten und Endschwelle nicht geschiebedurchgängig ist. Es konnte eine neuartige Tosbeckengeometrie erarbeitet werden, welche die unterschiedlichen Anforderungen optimal erfüllt. Anstelle der abgesenkten Bankette wurden durchgehende Bankette im Tosbecken gewählt. Dadurch wird die Strömung in das Niedermittelwassergerinne (NMW) konzentriert, sodass die Geschiebedurchgängigkeit im Tosbecken gewährleistet bleibt. An den Außenwänden angeordnete zweireihige Störsteine erhöhen die untere Stützkraft und stabilisieren den Wechselsprung bei großen Hochwasserabflüssen im Tosbecken.

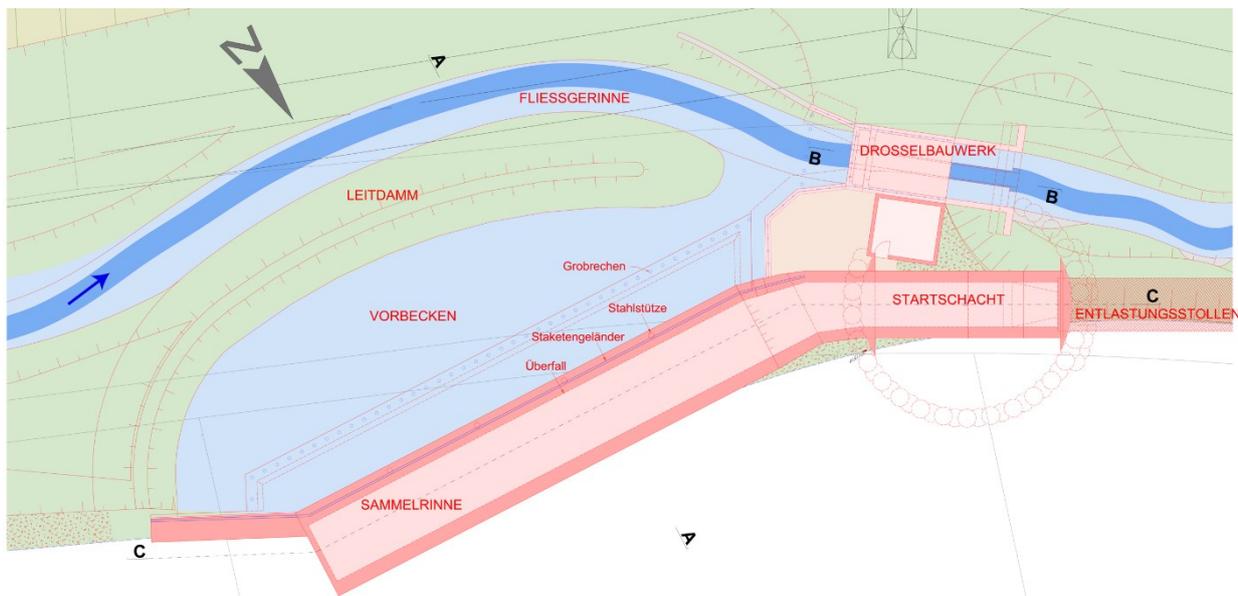
## 1 Einleitung

Der Altbach in Kloten weist mit einer aktuellen maximalen Abflusskapazität von ca.  $HQ_{50}$  ein deutliches Hochwasserschutzdefizit auf. Aufgrund des enormen Schadenpotentials in der Stadt Kloten sowie am Flughafen Zürich wird das Schutzziel  $HQ_{300}$  angestrebt. Die Realisierung eines Entlastungsstollens zum Erreichen des Schutzziels soll im Rahmen des Projektes «Glattalbahn-Verlängerung Kloten» erfolgen, welches sich aus den drei Teilprojekten Verlängerung der Glattalbahn, Hochwasserschutz Altbach und Velohauptverbindung zusammensetzt. Neben dem Entlastungsstollen ist die generelle Aufweitung des Gerinnes in Kombination mit einer Revitalisierung des Altbachs Bestandteil des Teilprojektes Hochwasserschutz.

Im Stadtbereich von Kloten ist ein Ausbau des Gerinnes aufgrund der engen Platzverhältnisse nicht möglich. Um die Anforderungen an den Hochwasserschutz gleichwohl zu erfüllen, ist der Bau eines Entlastungsstollens geplant, der die Stadt Kloten in Form eines Dükers unterquert und im Bereich des Flughafens zurück in die bereits bestehende Eindolung des Altbachs führt. Mittlere Abflüsse und kleinere Hochwasserereignisse bis ca.  $HQ_{2-5}$  fließen im Altbachgerinne ungehindert durch das Drosselbauwerk ab. Größere Abflüsse werden hingegen am Drosselbauwerk rückgestaut. Die Hauptströmung wird über den Leitdamm sowie das Vorbecken umgelenkt und schliesslich über einen 35 m langen Wehrüberfall in die Sammelrinne entlastet. Das in der Sammelrinne gefasste Wasser wird über den Startschacht in die Tiefe geführt und in den Entlastungsstollen geleitet (siehe Abb. 1).

Die 4 m breite Gerinnesohle des Altbachs wird mit einer 1 m breiten, 0.5 m tiefen Niedermittelwasserrinne (NMW) ausgebildet. Sie gewährleistet bei Niedrigwasser eine ökologisch minimal

erforderliche Wassertiefe, sowie bei kleinen Hochwasserabflüssen eine Konzentration der Strömung und somit Maximierung des Geschiebetransports in der NMW-Rinne.



**Abb. 1** Grundriss des geplanten Entlastungsbauwerks mit dem Drosselbauwerk zur Abflusssteuerung (Quelle: IUB Engineering AG)

Das Drosselbauwerk besteht aus einem nicht regulierbaren Schütz und einem anschließenden, 10.5 m langen Tosbecken zur Energieumwandlung bei großen Hochwasserabflüssen. Die Geschiebedurchgängigkeit des Altbachs soll durch das Drosselbauwerk aus ökologischen Gründen möglichst nicht beeinträchtigt werden. Da die Unterbindung des Geschiebetransports bei einem Einstau an der Drossel nicht verhindert werden kann, ist die Gewährleistung des Transports bei kleineren, nicht eingestauten Abflüssen umso wichtiger.

Der Altbach weist in Kloten ein mittleres Sohlgefälle von 0.4% auf, der mittlere Korndurchmesser beträgt 12 mm. Das Geschiebeaufkommen ist mit ca. 17 m<sup>3</sup>/a gering. In Tab. 1 sind die charakteristischen Abflüsse aufgelistet, wobei der Zufluss an der Drossel auf den Drosselabfluss reduziert wird. Die Differenz wird über den Entlastungsstollen abgeführt. Das Tosbecken, welches sich unterstrom der Drossel befindet, wird mit dem Drosselabfluss beaufschlagt.

**Tab. 1** Charakteristische Abflüsse am Altbach in Kloten

	$Q_m$	HQ <sub>2-5</sub>	HQ <sub>30</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>300</sub>	EHQ
Zufluss [m <sup>3</sup> /s]	0.2	6	16	31	45	62
Drosselabfluss [m <sup>3</sup> /s]	0.2	6	9.2	9.9	10.4	10.8

Die durch die IUB Engineering AG geplanten wasser- und flussbaulichen Maßnahmen wurden im Auftrag der VBG Verkehrsbetriebe Glattal AG (VBG) von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) mittels gegenständlicher Modellversuche im Maßstab 1:20 geprüft und optimiert. Die Trenncharakteristik, das Verhalten von Schwemmholz und Geschiebe im Überlastfall, sowie der Lufteintrag in den Umleitstollen wurden dabei im Detail untersucht (s. VAW-Bericht Nr. 4414). Im vorliegenden Bericht liegt der Fokus auf der geometrischen Optimierung des Tosbeckens zur Gewährleistung des Geschiebetransports bei kleinen Hochwasserabflüssen, wobei die Energieumwandlung bei großen Hochwasserabflüssen bestehen bleiben soll.

## 2 Physikalisches Modell & Grundlagen

### 2.1 Modell

Abb. 2 zeigt das gegenständliche Modell, welches im Maßstab 1:20 erstellt wurde. Es umfasst rund 240 m Fließstrecke des Altbachs, das Drosselbauwerk (3), das geplante Einlaufbauwerk (8) und den Beginn des Entlastungsstollens (9). Die Drosselöffnung ist 3 m breit, 0.82 m hoch und weist zusätzlich eine trapezförmige NMW-Rinne von 1 m Breite und 0.5 m Höhe auf. Sämtliche Versuche wurden mit einer fixierten Sohle durchgeführt, welche Geschiebeablagerungen des zugegebenen Sediments zulässt, Erosionen jedoch nicht abbilden kann. Allfällige in Natur auftretende Erosionen können im Modell somit nicht nachgebildet werden. Das zugegebene bewegliche Geschiebe wurde durch Einkornmaterial mit Korndurchmesser 0.71 – 1 mm abgebildet.

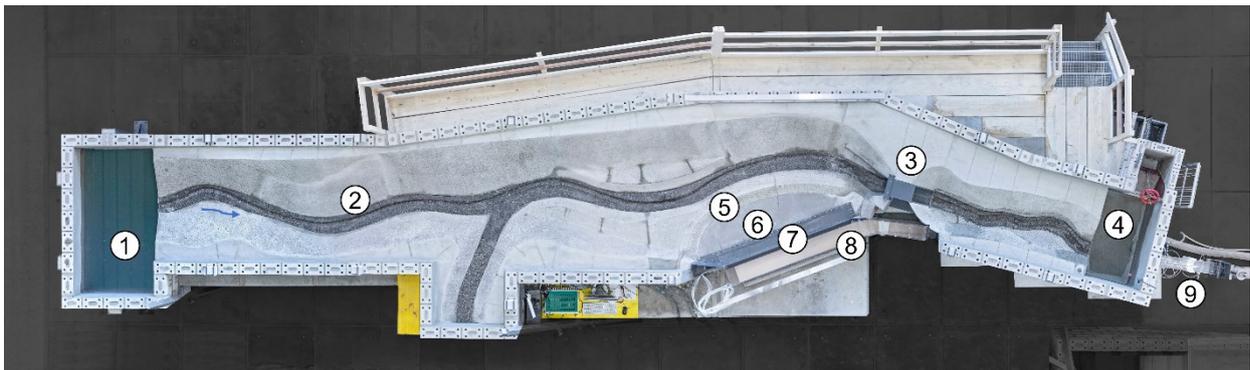


Abb. 2 Gegenständliches Modell im Maßstab 1:20 mit 1) Einlaufbecken, 2) Altbachgerinne mit NMW-Rinne, 3) Drosselbauwerk, 4) Auslaufbecken, 5) Leitdamm, 6) Vorbecken, 7) Wehrüberfall mit vorgelagertem Schwemmholzrechen, 8) Sammelrinne und Startschacht und 9) Entlastungsstollen

### 2.2 Lastfälle

Für die Versuche zur Geschiebedurchgängigkeit wurden Lastfälle mit einem Abfluss von  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$  definiert. Dabei entspricht  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  ungefähr dem Transportbeginn mit durchgehendem leichtem Transport im gesamten Modell. Ein Einstau an der Drossel wird ab einem Abfluss von  $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht. Für die Versuche zur Energieumwandlung im Tosbecken wurden die drei Lastfälle  $HQ_{100}$ ,  $HQ_{300}$  und  $EHQ$  definiert. Die Drosselabflüsse betragen dabei  $9.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $10.4 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

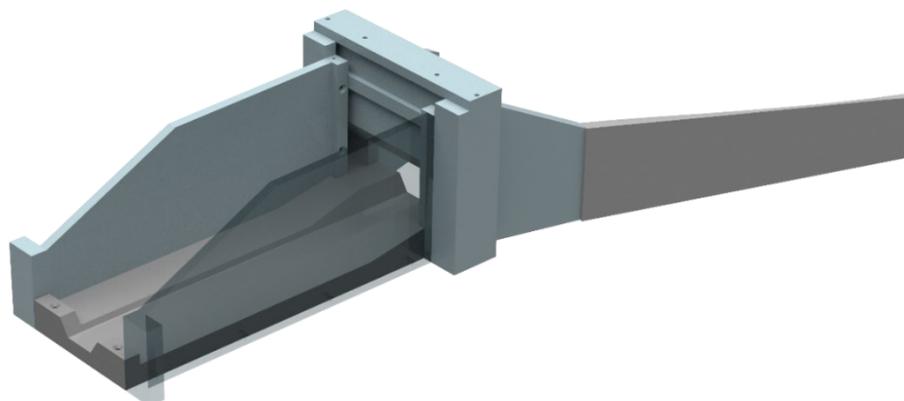
### 2.3 Energieumwandlung

Beim Übergang von schießendem zu strömendem Abfluss bildet sich im Allgemeinen ein Wechselsprung aus. Um einen stabilen Wechselsprung mit maximaler Energieumwandlung zu erreichen, wird eine Zufluss-Froudezahl von  $4.5 < F_1 < 9$  benötigt. Bei kleineren Zufluss-Froudezahlen bilden sich ondulierende ( $1 < F_1 < 1.7$ ), schwache ( $1.7 < F_1 < 2.5$ ) oder oszillierende ( $2.5 < F_1 < 4.5$ ) Wechselsprünge mit schwacher Energieumwandlung aus, wobei jeweils die Länge des Wechselsprungs deutlich zunimmt (Chow, 1959). Hunt & Kadavy (2021) haben gezeigt, dass durch die Verwendung von Störsteinen und Gegenschwelen die Oszillation und Wellenbildung bei kleinen Zufluss-Froudezahlen reduziert werden kann. Dadurch lässt sich ein stabiler Wechselsprung auch bei kleineren Zufluss-Froudezahlen von  $F_1 < 4.5$  erreichen, was für den Schutz der Sohle unterhalb des Tosbeckens wichtig ist.

### 3 Ergebnisse

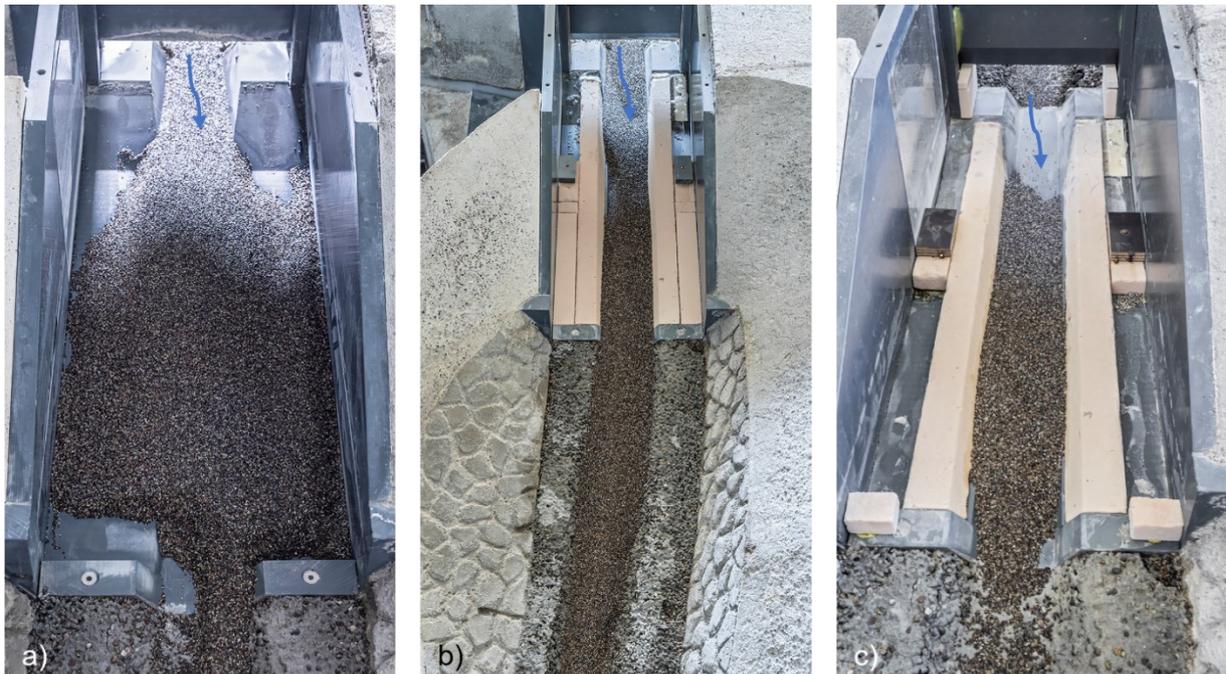
#### 3.1 Tosbecken Projektvariante

Im Tosbecken der ursprünglichen Projektvariante wurden die 0.5 m hohen seitlichen Bankette der NMW-Rinne um 0.35 m abgesenkt, um am Tosbeckenende eine Gegenschwelle von 0.35 m Höhe zur Stabilisierung des Wechselsprungs zu erhalten. Eine Visualisierung dieses Tosbeckens ist in Abb. 3 ersichtlich.



**Abb. 3** Visualisierung des Tosbeckens im Projektzustand mit abgesenkten Banketten und einer Gegenschwelle am Tosbeckenende

Das vorliegende Tosbecken wurde hinsichtlich der Geschiebedurchgängigkeit im Modell untersucht. Über jeweils 24 h (Zeit im Prototyp) wurden die drei Abflüsse  $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  nacheinander eingestellt, wobei jeweils Geschiebe oberstrom des Drosselbauwerks zugeführt wurde. Abb. 4 a) zeigt die im Tosbecken abgelagerte Geschiebemenge nach dem insgesamt 72 h dauernden Versuch. Es wurde nahezu das gesamte Tosbecken mit einer Geschiebemächtigkeit von bis zu 0.5 m bedeckt. Über den gesamten Versuch hat sich ein Geschiebevolumen von rund  $18 \text{ m}^3$  im Tosbecken abgelagert, was einer Jahresfracht von ca.  $17 \text{ m}^3$  entspricht. Obwohl auch ein Teil des zugegebenen Geschiebes nach unterstrom des Tosbeckens transportiert wurde, kann das Tosbecken somit nicht als geschiebedurchgängig betrachtet werden.

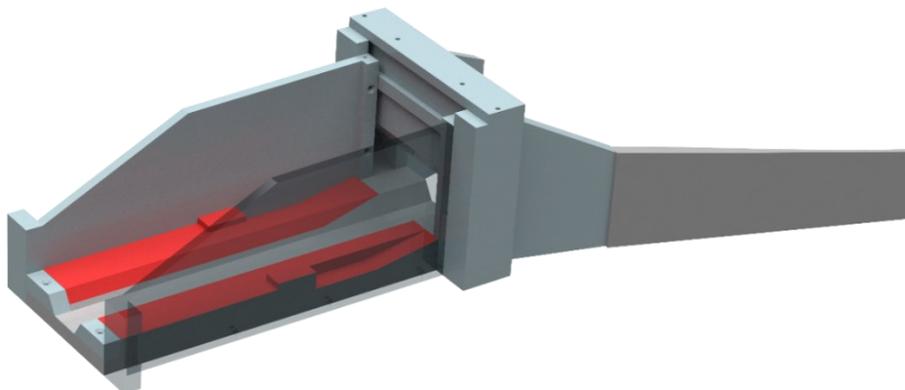


**Abb. 4** Geschiebeablagerungen im Tosbecken der Projektvariante (a) und mit Einbauten zur Optimierung der Geschiebedurchgängigkeit: Variante A (b) und Variante B (c).

Zur Optimierung der Geschiebedurchgängigkeit wurde die Tosbeckenvariante A (s. Kapitel 3.2) und Variante B (s. Kapitel 3.3) entwickelt und bezüglich Geschiebedurchgängigkeit und Energieumwandlung untersucht.

### 3.2 Tosbecken Variante A:

Das Bankett wurde zur Konzentration der Strömung im NMW-Gerinne durchgehend ausgeführt. Im oberen Teil des Tosbeckens wurde an den beiden Außenwänden die halbe Bankettbreite für rund 4 m abgesenkt. Anschließend wurden Störsteinen eingesetzt, welche um 0.2 m über das Bankett erhöht wurden und als vorgesetzte Gegenschwellen wirken. Abb. 5 zeigt den Tosbeckeneinbau in der Variante A, wobei die Anpassungen gegenüber der Projektgeometrie in rot dargestellt sind.

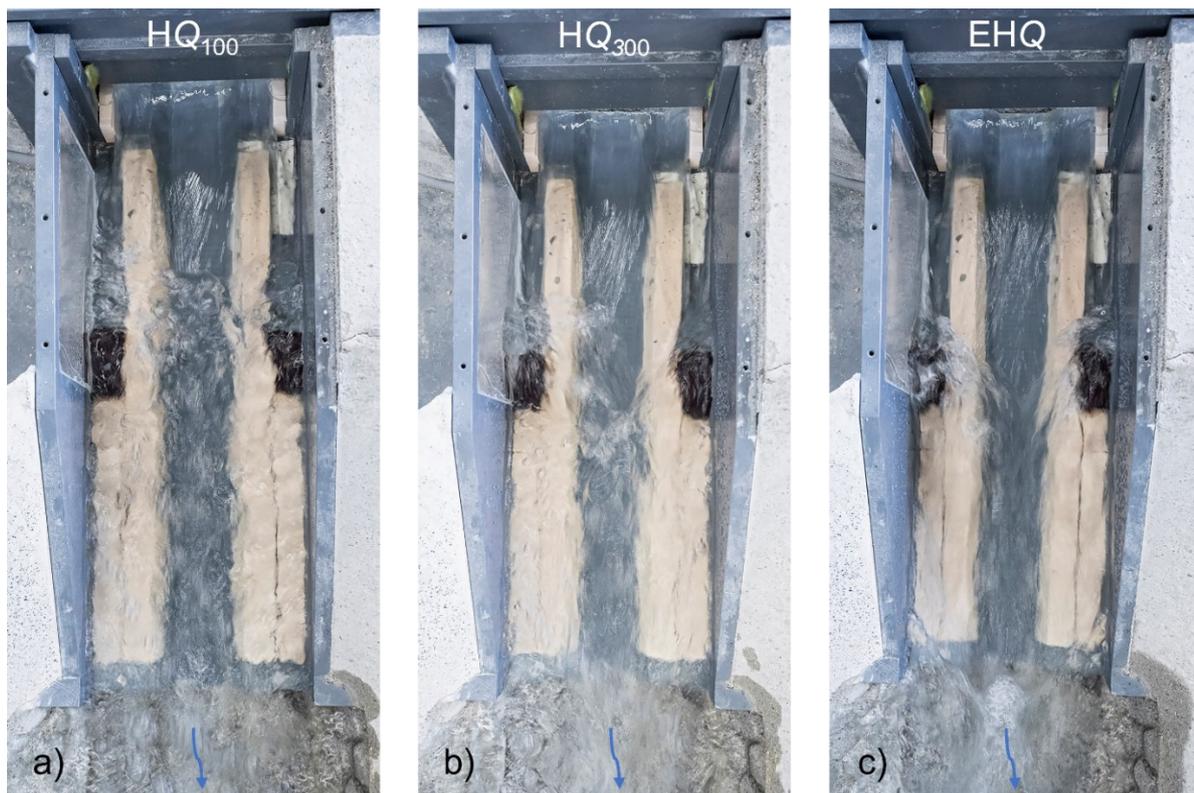


**Abb. 5** Tosbeckeneinbau der Variante A mit angepasstem Bankett und mittigen Störsteinen. Rot: Variation der Bankettgeometrie gegenüber der Projektvariante

Variante A wurde analog zur ursprünglichen Projektvariante auf Geschiebedurchgängigkeit überprüft. Es wurden erneut für jeweils 24 h (Zeit im Prototyp) die drei Abflüsse  $4.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  nacheinander eingestellt, wobei jeweils Geschiebe oberstrom des Drosselbauwerks zu-

geführt wurde. Abb. 4 b) zeigt die im Tosbecken abgelagerte Geschiebemenge nach der gesamten Versuchsdauer von 72 h. Es wurde die gesamte NMW-Rinne mit Geschiebe bis zu 0.25 m Mächtigkeit bedeckt. Über den gesamten Versuch hat sich ein Geschiebevolumen von rund  $2.5 \text{ m}^3$  im Tosbecken abgelagert, was einer Reduktion gegenüber der Projektvariante von rund 85% entspricht. Das Ablagerungsverhalten im Tosbecken unterscheidet sich nicht grundlegend vom Ablagerungsverhalten in der NMW-Rinne im restlichen Modellabschnitt. Das Tosbecken der Variante A kann somit als geschiebedurchgängig eingestuft werden.

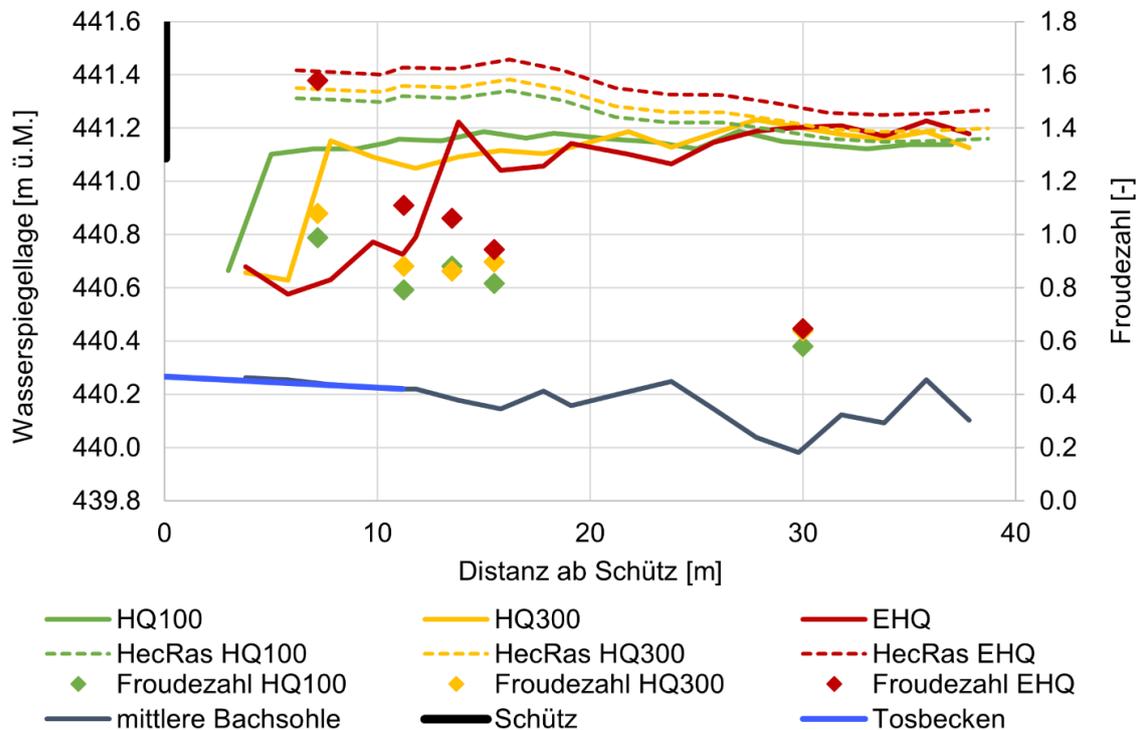
Mit der Anpassung des Tosbeckeneinbaus zur Variante A wurde der Geschiebetransport optimiert, jedoch wurde durch die Reduktion der Endschwelle auch die untere Stützkraft, welche den Wechselsprung bei hohen Abflüssen im Tosbecken stabilisiert, reduziert. Aus diesem Grund wurde in der Variante A die Ausbildung des Wechselsprungs, die Wasserspiegellagen und die auftretenden Froudezahlen für die Abflüsse  $HQ_{100}$ ,  $HQ_{300}$  und  $EHQ$  analysiert. In Abb. 6 sind Aufnahmen der sich einstellenden Wechselsprünge im Tosbecken der Variante A abgebildet. Bei  $HQ_{100}$  bildet sich der Beginn des Wechselsprungs, der sogenannte Sprungfuss, vor den Störsteinen aus. Bei  $HQ_{300}$  ist ersichtlich, dass sich der Sprungfuss in der NMW-Rinne unterstrom der Störsteine einstellt, während der Wechselsprung an den Aussenseiten an den Störsteinen induziert wird. Bei  $EHQ$  wird der Wechselsprung ebenfalls an den Störsteinen induziert, in der NMW-Rinne jedoch so weit ausgetragen, dass sich eine stehende Welle direkt unterstrom des Tosbeckens ausbildet.



**Abb. 6** Wechselsprung beim Tosbecken Variante A bei a)  $HQ_{100}$ , b)  $HQ_{300}$  und c)  $EHQ$

Die Wasserspiegellagen sowie Fließgeschwindigkeiten wurden in der NMW-Rinne im und unterstrom des Tosbeckens für die drei Abflusszustände  $HQ_{100}$ ,  $HQ_{300}$  und  $EHQ$  gemessen und daraus die Froudezahl berechnet. In Abb. 7 beschreibt die durchgezogene Linie die gemessene Wasserspiegellage und zeigt die Lage des sich ausbildenden Wechselsprungs. Die gestrichelte Linie entspricht der Normalabflusstiefe, welche mit einer 1D-HEC-RAS Simulation berechnet wurde. Die Distanz bis zur Annäherung der gemessenen Wasserspiegellage an die Normalab-

flusstiefe beschreibt die Länge des sich einstellenden Wechselsprungs. Infolge des Fließwechsels sinkt die Froudezahl (Punkte auf der Sekundärachse) kontinuierlich ab, bis sie 30 m unterhalb des Schützes  $F \approx 0.6$  erreicht. Ab diesem Punkt ist im Modell bei allen Lastfällen ein von oberstrom unbeeinflusster Abflusszustand erreicht. Dies wird durch die Übereinstimmung der Wasserspiegel im Modell mit den Normalabflussberechnungen aus HEC-RAS bestätigt.



**Abb. 7** Wasserspiegellagen im und unterstrom des Tosbeckens mit Tosbeckeneinbau Variante A für grosse Abflüsse, im Model gemessen (—) sowie Normalabflusstiefen aus der HEC-RAS 1D-Simulation (- - -). Punktuell sind Froudezahlen dargestellt, welche anhand in der NMW-Rinne gemessenen Werten berechnet wurden.

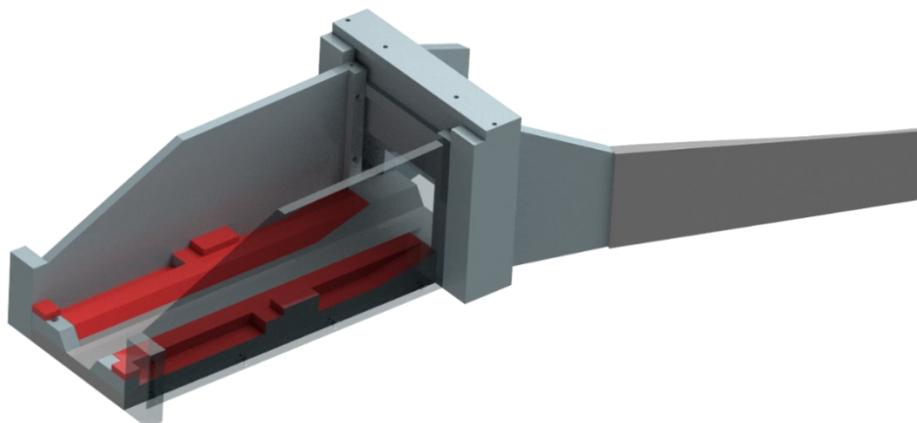
Die maximale Zufluss-Froudezahl, welche im Modell ermittelt wurde, beträgt  $F_1 = 1.6$  im EHQ und befindet sich somit im Bereich für ondulierende Wechselsprünge mit schwacher Energiedissipation, wobei stehende Wellen entstehen und sich der Wechselsprung weiter ins Unterwasser ausbildet (vgl. Abschnitt 2.3). Generell bildet sich aufgrund der sehr tiefen Zufluss-Froudezahlen  $F_1 < 4.5$  kein stabiler Wechselsprung aus.

Die Störelemente mittig des Tosbeckens führen gemäss Hunt & Kadavy (2021) zu einer Stabilisierung des Wechselsprungs und induzieren einen schwachen Wechselsprung. Der schwache Wechselsprung weist, wie der ondulierende Wechselsprung, eine geringe Energiedissipation auf, weswegen er sich über eine längere Fließstrecke ausbildet, bis die Wasserspiegellage sich der Normalabflusstiefe annähert (siehe Abb. 7).

Bei optimaler Energieumwandlung und Stabilisierung des Wechselsprungs im Tosbecken sollte bereits am Ende des Tosbeckens Normalabfluss erreicht werden. In diesem Fall wird erst ab ca. 27 m nach dem Schütz, respektive ca. 16 m nach dem Tosbecken Normalabfluss erreicht. Wie Abb. 6 c) zeigt, bildet sich bei EHQ direkt am Tosbeckenende eine stehende, gebrochene Welle mit grossem Erosionspotential aus. Um die Stabilisierung des Wechselsprungs im Tosbecken durch eine erhöhte Energiedissipation zu gewährleisten, wird in der Variante B eine weitere Reihe Störsteine untersucht.

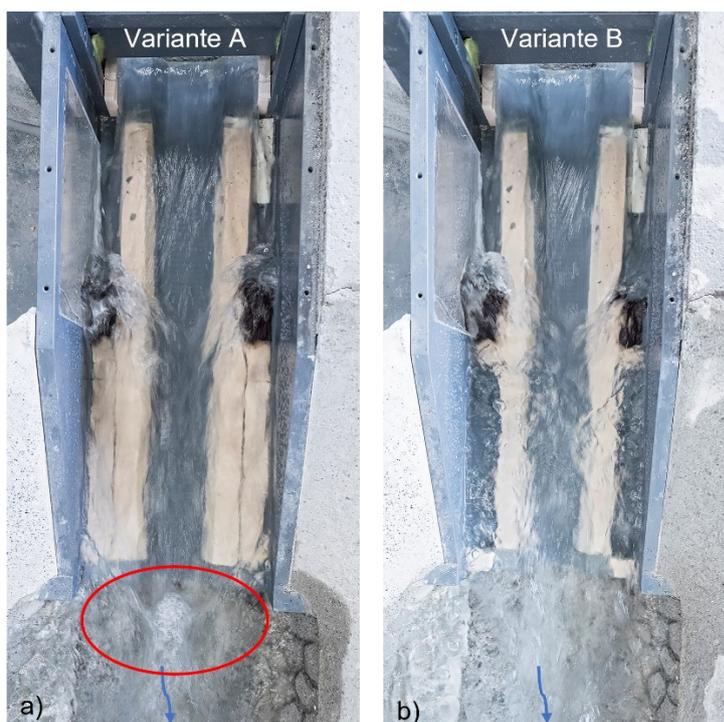
### 3.3 Tosbecken Variante B

In Variante B werden die aussenseitig liegenden halben Bankettbreiten unterstromig der mittigen Störsteine ebenfalls abgesenkt und am Tosbeckenende eine zweite Reihe Störsteine mit zusätzlicher Erhöhung gegenüber dem Bankett von 0.35 m aufgesetzt. Dadurch wird eine zweite Reihe von Gegenswellen erstellt, welche den Wechselsprung stärker stabilisieren soll. Abb. 8 zeigt den Tosbeckeneinbau der Variante B, wobei die Variation gegenüber der Projektgeometrie in Rot dargestellt ist.



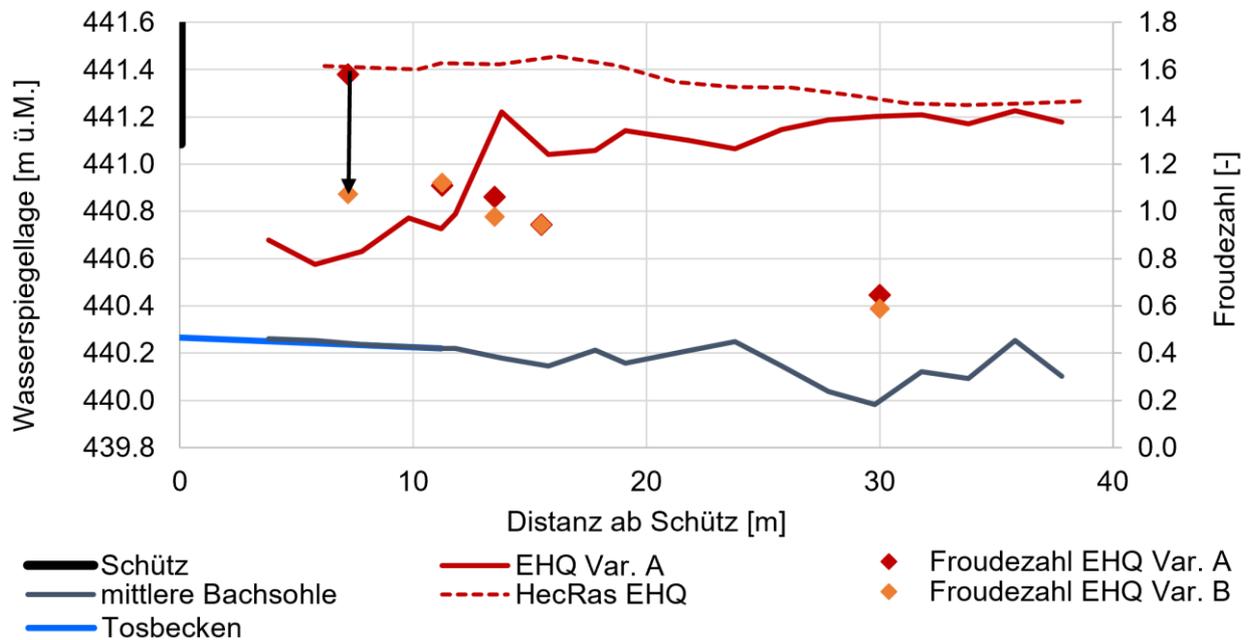
**Abb. 8** Tosbeckeneinbau der Variante B mit halbem Bankett, mittigen Störsteinen und Gegenschwelle am Tosbeckenende. Rot: Variation der Bankettgeometrie gegenüber der Projektvariante

Abb. 9 zeigt dabei den sich ausbildenden Wechselsprung bei EQH für die beiden Varianten A und B. Es ist ersichtlich, dass die in Variante A ausgebildete, stehende Welle unterhalb des Tosbeckens (rot markiert) in Variante B nicht mehr vorhanden ist. Eine optische Beurteilung lässt darauf schließen, dass der Wechselsprung in Variante B stärker stabilisiert wird und ein größerer Teil der Energiedissipation im Tosbecken stattfindet.



**Abb. 9** Wechselsprung bei EQH mit Tosbeckeneinbau nach a) Variante A und b) Variante B

Abb. 10 zeigt die Veränderung in den Froudezahlen zwischen Variante A und B bei EQH. Im Tosbecken, 7 m unterhalb des Schützes ist die Froudezahl nun deutlich kleiner, da durch die zusätzliche Endschwelle der Wechselsprung näher am Schütz stabilisiert wird. Unterstrom des Tosbeckens konnte allerdings kaum ein Einfluss auf die sich ausbildende Froudezahl erkannt werden. Die Normalabflusstiefe wird folglich bei EQH nach wie vor erst nach rund 30 m unterstrom des Schützes erreicht.



**Abb. 10** Einfluss der zusätzlichen Endschwelle der Variante B auf die Froudezahl im EQH. Wasserspiegellagen wurden an Variante A gemessen.

Nachfolgend wird der Einfluss der Variante B auf den Geschiebetransport erläutert. Die Geschiebedurchgängigkeit der Variante B wurde bei einem Abfluss von  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  und oberstromiger Geschiebeverfügbarkeit über einen Zeitraum von 11 h (Prototypgröße) untersucht und das Ablagerungsbild (Abb. 4 c)) mit dem Ablagerungsbild der Variante A (Abb. 4 b)) verglichen. Die NMW-Rinne wurde zu einem grossen Teil mit Geschiebe von bis zu 0.25 m Mächtigkeit bedeckt, lediglich der Bereich um die Drossel blieb frei von Geschiebe. In der Variante B hat sich somit weniger Geschiebe abgelagert als in der Variante A, es kann somit kein negativer Einfluss der zusätzlichen Endschwelle auf den Geschiebetransport festgestellt werden. Allerdings können die beiden Versuche nicht 1:1 miteinander verglichen werden. Die Versuchsreihe zur Variante A dauerte rund 72 h, während der Versuch zur Variante B lediglich 11 h dauerte. Die Ablagerung in der Variante B blieb jedoch über einen langen Zeitraum in dieser Form stabil, ohne weiter an Mächtigkeit oder Ausdehnung zuzunehmen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass eine längere Versuchsdauer zu keiner Vergrößerung der Ablagerung führen würde. Ebenfalls wurde die Variante B mit einer um 0.5 m verminderten Drosselbreite von 3 m untersucht, was aufgrund der lokalen Geschwindigkeitserhöhung zu einer Verhinderung der Geschiebeablagerung im direkten Drosselbereich führte. Die Verbesserung im Geschiebedurchgang der Variante B ist somit wohl eher auf die reduzierte Drosselbreite zurückzuführen als auf den Tosbeckeneinbau. Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Variante B zu keiner feststellbaren Verminderung des Geschiebetransports führt und im Hinblick auf die bessere Wechselsprungstabilisierung zur Ausführung empfohlen werden kann.

## 4 Schlussfolgerung

Die Anforderungen an Energieumwandlung und Geschiebedurchgängigkeit in einem Tosbecken entsprechen einem Zielkonflikt. Mit der Ausbildung innenliegender, durchgehender Bankette und außenliegend angeordneter zweireihiger Störsteine konnte ein Kompromiss gefunden werden, der beiden Fragestellungen gerecht wird. Da die Zuflussfroudezahl mit  $F_1 \leq 1.6$  relativ klein ist, kommt es unweigerlich zu einem ondulierenden Wechselsprung mit schwacher Energieumwandlung. Eine Sohlsicherung am Ende des Tosbeckens ist deswegen in jedem Fall zu überprüfen. Generell ist die Frage der Geschiebedurchgängigkeit in Zukunft bei vielen Gewässern von größerem Interesse, da deren Auswirkung auf die Ökologie mehr Gewicht gegeben wird. Lösungen wie sie im vorliegenden Projekt entwickelt wurden, werden in Zukunft zur Gewährleistung der Geschiebedurchgängigkeit voraussichtlich vermehrt zum Einsatz kommen. Eine systematische Untersuchung der verschiedenen Parameter zur Verallgemeinerung der Ergebnisse, um sie auf andere Projekte übertragen zu können, steht noch aus.

## Literatur

- Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Hunt, S. L., & Kadavy, K. C. (2021). Types I, II, III, and IV stilling basin performance for stepped chutes applied to embankment dams, *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(6), 06021004.

## Anschrift der Verfasser

Barbara Stocker

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich  
Hönggerbergring 26, CH-8093 Zürich  
stocker@vaw.baug.ethz.ch

Gabriel Zehnder

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich  
Hönggerbergring 26, CH-8093 Zürich  
zehnder@vaw.baug.ethz.ch

Dr. Volker Weitbrecht

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich  
Hönggerbergring 26, CH-8093 Zürich  
weitbrecht@vaw.baug.ethz.ch