

# Grundsätze zum Bau von Blockrampen

Autor(en): **Jäggi, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **96 (2004)**

Heft 5-6

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939572>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Grundsätze zum Bau von Blockrampen

■ Martin Jäggi

## Zusammenfassung

Blockrampen werden seit etwa 1950 als ökologisch annehmbare Variante von Fixpunkten zur Begrenzung von Sohleneintiefung in Flüssen eingebaut. Schadenfälle führten von Anfang an zu einer gewissen Skepsis bezüglich Stabilität. Die Geschichte der Blockrampe Lodrino illustriert die Schwierigkeiten, welche beim Bau solcher Rampen auftreten können. Umfangreiche Laborversuche haben die Herleitung von Dimensionierungsgleichungen bezüglich direkter und indirekter Erosion sowie Kolkssicherheit erlaubt, die auch breit angewandt werden. Trotzdem können sich Schwierigkeiten bei der Übertragung der Versuchsergebnisse ergeben, etwa bei der Definition der charakteristischen Blockabmessungen. Beim einlagigen Einbau auf einer groben Filterschicht besteht die Gefahr des Abgleitens der Blöcke, falls der Verbund und die Einbaudichte ungenügend sind. Oft geht aber die Gefahr von einer zu hohen Lage des Rampenfusses aus; Kolkssicherungsmaßnahmen sind häufig zu wenig massiv. Schliesslich kann in Rampensystemen die Belastung des jeweiligen Rampenfusses grösser sein als erwartet, wobei das absolute Gefälle, die Geschiefbeführung und die Ungleichförmigkeit des Abflusses eine Rolle spielen.

## Einleitung

Seit ca. 1950 werden Blockrampen in Bächen und Flüssen gebaut, wobei es auch ältere Vorläufer gibt. Sie gelten als ökologischere Alternative zu festen Wehren oder Sperrern. Sie haben wie diese die Funktion, Fixpunkte für das Sohlenlängenprofil zu schaffen und dadurch die Sohlenerosion zu begrenzen. Am Alpenrhein wurden um 1970 die Schwellen Felsberg, Buchs und Ellhorn realisiert. An andern Flüssen waren die ersten Einbauten weniger erfolgreich. So wurden Rampen an der Landquart zerstört.

Der Autor war 1973 an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) mit Modellversuchen für die Sanierung von bis zu 3 m hohen Absturzbauwerken (Bild 1a) in der Kander betraut. Als Lösung wurden Sperrentreppen (Bild 1b) entwickelt. Bei den Versu-

chen wurden auch Blockrampen (Bild 1c) untersucht. Obwohl sich diese im Versuch bewährt hatten, begegneten damals die Verantwortlichen den Blockrampen mit grosser Skepsis. Die Rampenlösung wurde vor allem deshalb nicht gewählt, weil man annahm, dass der Verbund der Blöcke im Modell wegen des einfacheren Einbaus stärker und so die Stabilität der Rampen im Modell zu hoch sei. Über 20 Jahre später wurden, vor allem aus Gründen des Fischaufstiegs, wieder Rampen evaluiert, und kürzlich wurde bei Mülönen die erste Rampe eingebaut (Bild 1d).

Im Auftrag des damaligen Bundesamts für Wasserwirtschaft (BWW) wurden an der VAW systematische Laborversuche zur Stabilität von Blockrampen durchgeführt (siehe Whittaker und Jäggi, 1986). Die wichtigsten Resultate wurden durch Chervet und Weiss (1990) zusammengefasst und gewissermassen popularisiert.

Die Tagung des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbands vom 16. Januar 2004 in Biel befasste sich schwerpunktmässig mit Schadenfällen, u.a. von Blockrampen. Daraus ergab sich die Motivation für diesen Artikel. Aufgrund der Versuche von 1986 und der in der Publikation bereits deklarierten Anwendungsgrenzen sollen die massgebenden Mechanismen und mögliche Erklärungen für das Versagen von Blockrampen aufgezeigt werden.

Üblicherweise nimmt man auf der Rampe Normalabfluss an. In Einzelfällen kann die für die Dimensionierung massgebende Belastung reduziert werden, wenn wegen Einstaus vom Unterwasser der Normalabfluss auf der Rampe gar nicht erreicht wird. Dieser Fall wird hier nicht mehr weiter behandelt.

## Die Schwelle Lodrino

Die Geschichte der Schwelle Lodrino am Ticino illustriert einige der Probleme, die mit solchen Rampen auftreten können. 1973 wurde notfallmässig eine erste Schwelle eingebaut, um eine Brücke zu sichern. Die Pfeilerfundamente waren durch Rückwärtserosion gefährdet, welche ihrerseits durch eine massive Kiesentnahme ausgelöst worden war. Die Absturzhöhe nahm als Folge der Eintiefung laufend zu, wodurch die Blöcke am Rampenfuss flussabwärts auf eine grössere Fläche verteilt wurden. Dadurch erreichte die Rückwärtserosion auch die Schwellenkronen (Bild 2a). Der Fuss wurde regelmässig unter-

fangen, trotzdem konnte während Jahren kein stabiler Zustand erreicht werden.

Aufgrund von Modellversuchen wurde 1984 eine massive Rampe (Bild 2b) eingebaut. Sie wurde auf eine Absturzhöhe von 6 m ausgelegt und mit Blöcken von ca. 3 t dreilagig ausgeführt. Im Juli 1987 führte der Ticino ein Hochwasser, das etwa 10% über dem nominellen  $HQ_{100}$  und damit dem Dimensionierungsereignis für die Rampe lag. Einzelne Blöcke wurden trotz ihres Gewichts herausgerissen und ins Unterwasser abtransportiert (Bild 2c). Es zeigte sich, dass die Zone, in welcher die neue Schwelle über der alten Schwelle angeordnet war, zur Schwachstelle wurde. Die alte Schwelle war an der Oberfläche relativ glatt ausgeführt worden, und sie wurde so zur Gleitfläche für den Überbau.

## Dimensionierungsgleichungen

Die folgenden drei Dimensionierungsgleichungen wurden aufgrund der Grundsatzversuche von 1986 definiert:

- betreffend direkte Erosion der Blöcke aus der Rampe

$$\frac{q}{\sqrt{g(s-1)D_{65}^3}} = \frac{0.257}{J^{7/6}} \quad (1)$$

- betreffend Interaktion mit dem Untergrund (indirekte Erosion)

$$q = 14.47 \sqrt{g} \left( \frac{s-1}{\rho_s} \right)^{2.35} D^{-0.85} \beta^{2.35} \left( \frac{d_{65}}{D} \right)^2 J^{-1.9} \quad (2)$$

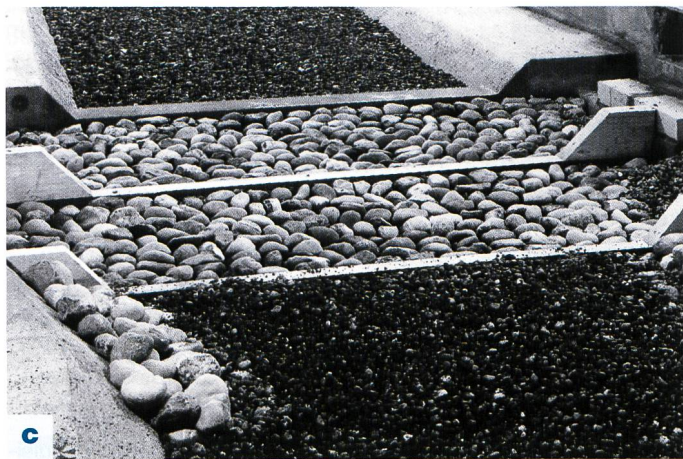
- und betreffend Kolk am Rampenfuss (Gleichung von Tschopp/Bisaz, 1972)

$$S = 0.85 \sqrt{q v_E} - 7.125 d_{90} \quad (3)$$

Dabei bedeuten  $q$  den spezifischen Abfluss über der Rampe [ $m^3/m \text{ s}$ ],  $g$  die Erdbeschleunigung [ $m/s^2$ ],  $\rho_s$  die Dichte der Blöcke und der Sedimente [ $kg/m^3$ ],  $s$  die relative Dichte der Blöcke bzw. der Sedimente zum Wasser [-] (meist 2,65),  $J$  das Rampengefälle [-],  $D_{65}$  den nominellen Siebdurchmesser der Blöcke [ $m$ ],  $D$  den äquivalenten Kugeldurchmesser derselben [ $m$ ],  $d_{65}$  (resp.  $d_{90}$ ) den charakteristischen Siebdurchmesser des Sohlenmaterials [ $m$ ],  $\beta$  das Belegungsge-  
wicht der eingebrachten Blöcke [ $t/m^2$ ],  $S$  die Kolktiefe [ $m$ ] (gemessen ab Unterwasserstand) und  $v_E$  die Fliessgeschwindigkeit auf der Rampe [ $m/s$ ].

Die Rampe muss auf alle drei Bedingungen ausgelegt werden. Insbesondere





**Bild 1. a) Sanierungsbedürftige Absturzbauwerke in der Kander 1973; b) damaliger Lösungsvorschlag mit Sperrentreppen im Modell; c) im Modell 1973 untersuchte Blockrampe; d) kürzlich erbaute Rampe bei Mülenen.**

reicht die Erfüllung der Stabilitätsbedingung gegen direkte Erosion allein nicht aus.

### Direkte Erosion

Die Dimensionierungsgleichung wurde für mehrlagig gebaute Rampen entwickelt. Die Blöcke der Oberfläche liegen dann auf Ihesgleichen, und die Grenzbedingungen für die Stabilität entsprechen jenen für den Transportbeginn von Geschiebe in einer Flusssohle. Die Gleichung stellt eine untere Grenze für die Bedingungen dar, bei welchen im Versuch Blöcke abtransportiert wurden. Im Versuch blieben aber auch Rampen unter höherer Belastung stabil.

Es wurde auch ein zweiter Rampentyp mit so genannter dichter Bauweise untersucht. Dabei wurde beim Einbau auf ein gutes Einpassen der Blöcke und so der Herstellung eines strukturierten Verbands geachtet. Dazu mussten die Blöcke in der Regel so aufgestellt werden, dass ihre längste Abmessung in die Vertikale zu liegen kam. Im Mittel konnten solche Rampen höheren Belastungen ausgesetzt werden, doch lagen die Minimalwerte für die Belastungen im gleichen Bereich wie für die Rampen in lockerer Bauweise. Konsequenterweise gilt deshalb die Dimensionierungsgleichung für beide Fälle. Es muss angenommen werden, dass die schwächsten Stellen bei Rampen in dichter Bauweise eine

Struktur aufweisen, die jenen in lockerer Bauweise entspricht.

Trotz des Umstands, dass im Versuch zum Teil viel höhere Grenzbedingungen erreicht wurden, als es der Dimensionierungsgleichung entspricht, sollte ein Sicherheitsfaktor gegenüber dem Grenzabfluss nach obiger Gleichung eingeführt werden. Aufgrund der Versuche wurde empfohlen, den zulässigen Abfluss gegenüber dem möglichen Maximalabfluss gemäss Gleichung (1) um 20% zu reduzieren. Der Sicherheitsfaktor muss im Fall einer ebenen Referenzfläche, auf welche die Blöcke verlegt werden, noch grösser sein. So empfiehlt Platzer (1997), bei einem einlagigen Einbau den zulässigen Maximalabfluss ebenfalls um etwa 20% abzumindern. Zu einem ähnlichen Resultat führten eigene Zusatzversuche, bei welchen die Blöcke auf einem Geotextil verlegt worden waren. Berücksichtigt man beide Sicherheitsfaktoren, müsste der zulässige Abfluss also um 40% abgemindert werden. Diese Notwendigkeit illustriert auch die Erosion von Blöcken aus der Schwelle Lodrino von 1987 mit der alten Schwelle als Gleitfläche.

Eine gewisse Schwierigkeit bei der Anwendung obiger Gleichung mag aus der Verwendung des nominellen Siebdurchmessers  $D_{65}$  resultieren. In der Praxis ist die Bestimmung der repräsentativen Blockdurch-

messer alles andere als eindeutig. Mit Hilfe der bei den damaligen Versuchen für die Blöcke bestimmten Kennwerte kann die notwendige minimale Blockgrösse als Masse eines Einzelblocks definiert werden:

$$M \geq 9.44 \left( \frac{\rho_s}{g(s-1)} \right) q^2 J^{2.33} \quad (4)$$

Auffallend ist die quadratische Abhängigkeit der Blockmasse vom spezifischen Abfluss. Wird also ein gewisser Sicherheitsfaktor bezüglich Abfluss verlangt, muss die Masse um das Quadrat dieses Faktors vergrössert werden (also z. B. um 44% bei einer Erhöhung des Sicherheitsfaktors um 20% oder praktisch 100% bei einem Sicherheitsfaktor von 40% für den Abfluss).

Es ist möglich, dass zum Beispiel bei plattigen Blöcken die Gleichung in der ursprünglichen Form (1) zu ungenügenden Resultaten führen kann. Es sei deshalb die modifizierte Form (4) für die Praxis empfohlen.

Schliesslich muss die verbreitete Praxis, nur eine Lage von Blöcken zu verwenden, hinterfragt werden. Ein Ausführungsfehler, wenn eben örtlich die Blöcke nicht ganz dicht verlegt sind, führt rasch zu einem grösseren Schaden. Bei einer Ausführung in zwei oder drei Lagen ist nicht nur eine bessere Einbettung des einzelnen Blocks unter Seinesgleichen gewährleistet, sondern es steht im Fall

der Erosion einzelner Blöcke noch eine Blockreserve zur Verfügung. Durch flexible Anpassung der Struktur kann die Lücke eher geschlossen werden, als wenn nur eine Lage von Blöcken vorhanden ist.

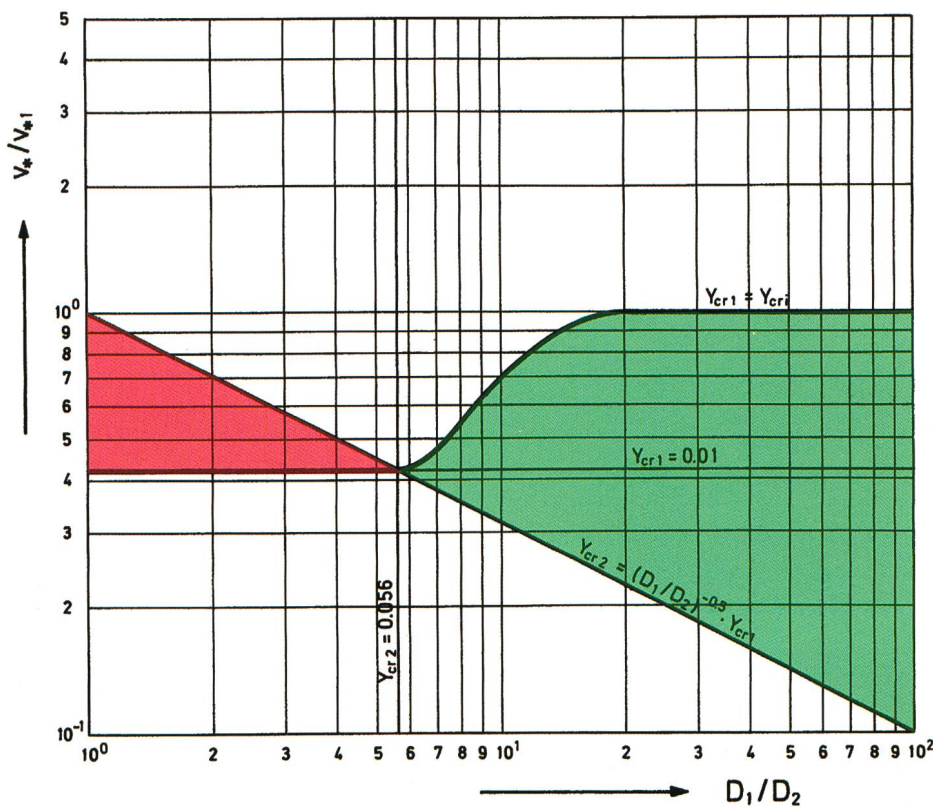
### Indirekte Erosion

Bezüglich Interaktion der Blöcke mit dem Untergrund ist fundamental, dass je nach Verhältnis der Korngrößen der Blöcke zum Unterschichtmaterial zwei völlig verschiedene Prozesse auftreten können, nämlich das Abgleiten der Blöcke auf dem Untergrund oder das Einsinken der Blöcke in den Untergrund (Raudkivi und Ettema, 1982). Dies hat damit zu tun, dass die Exposition für den Transportbeginn von Geschiebe und auch von Blöcken eine Rolle spielt. Liegt ein Korn auf gleichartigen Körnern auf, so ist es bis zu einem gewissen Grad von seinen Nachbarn gegen die Strömung geschützt. Bei starker Exposition kann ein Korn (bzw. ein Block), das auf einer ebenen Referenzebene liegt, schon durch eine etwa sechsmal kleinere Schubspannung transportiert werden, als wenn das Element von Seinesgleichen umgeben ist. Ist das Verhältnis der Korngrößen kleiner als sechs, so wird das grössere Korn, das auf einer Oberfläche von kleineren aufliegt, bei steigendem Abfluss früher transportiert als die kleineren. Die Korngrösse kann also die stärkere Exposition nicht kompensieren. Dazu muss das Verhältnis auf über 10 ansteigen ( $6 < D_1/D_2 < 10$  muss als Übergangsbereich betrachtet werden). In diesem Fall setzt der Transport des feineren Unterschichtmaterials früher ein. Um einen Einzelblock herum wird das Material ausgekolkt, wodurch dieser teilweise in die Umgebung einsinkt. Dadurch nimmt auch dessen Exposition in die Strömung ab. Die Einzelblöcke wirken als Energievernichter.

In Bild 3 sind diese Zusammenhänge für ein grösseres Korn  $D_1$  dargestellt, das auf einem feineren Korn  $D_2$  aufliegt. In der Abszisse ist das Korngrößenverhältnis aufgetragen, in der Ordinate das Verhältnis der Strömungsintensität (Schubspannungsgeschwindigkeit  $v_*$ ) zur Strömungsintensität bei Transportbeginn des Korns  $D_1$  in einem Verband von  $D_1$ -Körnern ( $v_{*1}$ ). Im Diagramm wird der Transportbeginn von  $D_2$ -Körnern als Gerade mit negativer Steigung dargestellt. Ferner entsprechen den Bedingungen für den Transportbeginn für die  $D_1$ -Körner bei unterschiedlicher Exposition horizontale Linien. Im Bild ist der Normalfall ( $Y_{cr} = Y_{cr1} \approx 0,056$ ) und der Fall hoher Exposition ( $Y_{cr} \approx 0,01$ ) dargestellt. Das Abgleiten wird aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge durch die rote Fläche, der Fall des Einsinkens durch die grüne Fläche illustriert.



**Bild 2.** Schwelle bei Lodrino am Ticino: a) beschädigte Rampe, ca. 1983; b) aufgrund von Modellversuchen neu gebaute massive Rampe, ca. 1986; c) im Hochwasser von Juli 1987 teilweise beschädigte Rampe.



**Bild 3.** In Funktion der Strömungsverhältnisse und der Korndurchmesser definierte Bedingungen für Abgleiten der Blöcke auf dem Untergrund (rot) bzw. für das Einsinken der Blöcke in den Untergrund (grün). Nach Raudkivi und Ettema, 1982, s.a. Text.

In den Versuchen zur Ableitung von Gleichung (2) wurde eine Rampe eines bestimmten Gefälles eingebaut. Durch Erosion des Untergrundmaterials nahm das Rampengefälle ab, bis ein stabiler Zustand erreicht wurde. Es handelt sich also klar um den Fall des Einsinkens. Im Bereich des Abgleitens mit Korngrößenverhältnissen unter 6 bis 10 darf also die Gleichung (2) nicht angewandt werden.

Diese Gleichung (2) kann dazu benutzt werden, um durch Anordnung einer Filterschicht die notwendige Belegungsichte zu reduzieren. Dabei muss aber das Verhältnis der Korngrößen höher als 10 bleiben, weil eben sonst der Mechanismus des Abgleitens massgebend werden könnte. Die Anordnung der Filterschicht könnte dann kontraproduktiv werden und die Zerstörung der Rampe fördern.

Zusatzversuche haben gezeigt, dass bei kleinen Korngrößenverhältnissen, bei welchen das Abgleiten dominiert, eine Rampe zerstört werden kann, auch wenn die Grenzbedingungen gemäss den Dimensionierungsgleichungen (1: direkte Erosion) und (2: Auswaschen des Untergrunds) noch lange nicht erreicht sind (siehe Bild 4, ebenfalls aus Whittaker und Jäggi, 1986). Stabile Verhältnisse ergaben sich erst bei einer extrem dichten Bauweise (in Bild 4 nicht dargestellt).

Diese kann durch die Minimalbedingung

$$\beta \geq \frac{\rho_s}{s-1} D \cong 1.6D \left[ \frac{t}{m^2} \right] \quad (5)$$

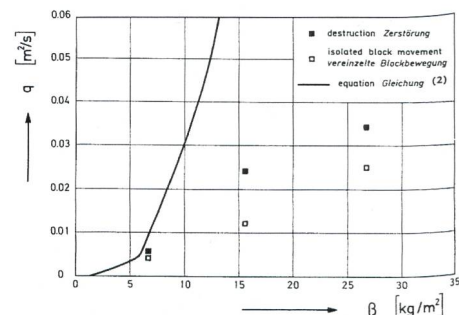
beschrieben werden. Die Blöcke müssen dann in einen kompakten Verband eingebunden sein, wozu in der Regel die Blöcke aufgestellt werden müssen. Der einzelne Block darf dann nur noch eine minimale Exposition in die Strömung aufweisen. Ob ein solcher Verband in der Natur auch wirklich realisiert werden kann, kann je nach den Umständen bezweifelt werden. So gesehen war die Skepsis gegenüber den Versuchsergebnissen im Kander-Modell nicht ganz unbegründet.

Es stellt sich somit die Frage, ob ein Verhältnis des Blockdurchmessers zu Untergrundmaterial von weniger als sechs nicht möglichst vermieden werden sollte. Bei Gebirgsflüssen kann diese Bedingung sehr einschränkend wirken, da der mittlere Korndurchmesser der Deckschicht ohne weiteres 25 bis 40 cm aufweisen kann, was also streng genommen Blöcke von 2,5 bis 4 m Abmessung erfordern würde. Zumindest muss man sich bewusst sein, dass eine Schwachstelle im Verband die Zerstörung der Rampe nach sich ziehen kann. Werden also für die Ausführung schwierige Bedingungen angetroffen, sodass Schwachstellen fast programmiert sind, so muss wahrscheinlich auf eine andere Baumethode ausgewichen werden.

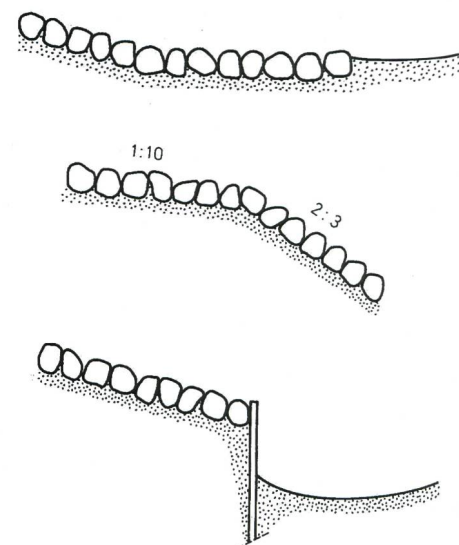
## Kolk

Die Kolkentiefe ist vom Einstaugrad der Rampe durch den Unterwasserstand abhängig. Bei hohem Einstau ist die Kolkung gering. Obige Gleichung nach Tschopp und Bisaz (1972) gilt für den Fall, wenn der Abfluss auf der Rampe noch geführt ist, aber der Fließwechsel im Bereich des Rampenendes liegt. Wird dort der Abfluss wegen tief liegenden Unterwasserstands noch beschleunigt, so kann die Kolkung stärker werden. Vor allem kann aber ohne besondere Sicherungsmassnahme die letzte Blockreihe destabilisiert und dadurch das Rampengefüge aufgelockert werden, wobei auch die Niederwasserbedingungen beachtet werden müssen. So muss man sich etwa die ständigen Schäden an der ursprünglichen Rampe von Lodrino vorstellen.

Eine ungenügende Fundation des Rampenendes dürfte vermutlich der häufigste Grund für das Versagen von Blockrampen sein. Erschwerend kommt dazu, dass verschiedene Sicherungsmassnahmen nur



**Bild 4.** Zusatzversuche (Whittaker und Jäggi, 1986) zeigen, dass bei kleinen Korngrößenverhältnissen die obige Gleichung 2 (Gleichung 38 in der Originalpublikation) den Fall des Abgleitens nicht beschreibt und so die Resultate zu optimistisch werden.



**Bild 5.** Vorschläge für die Sicherung des Rampenfusses, aus Whittaker und Jäggi, 1986.

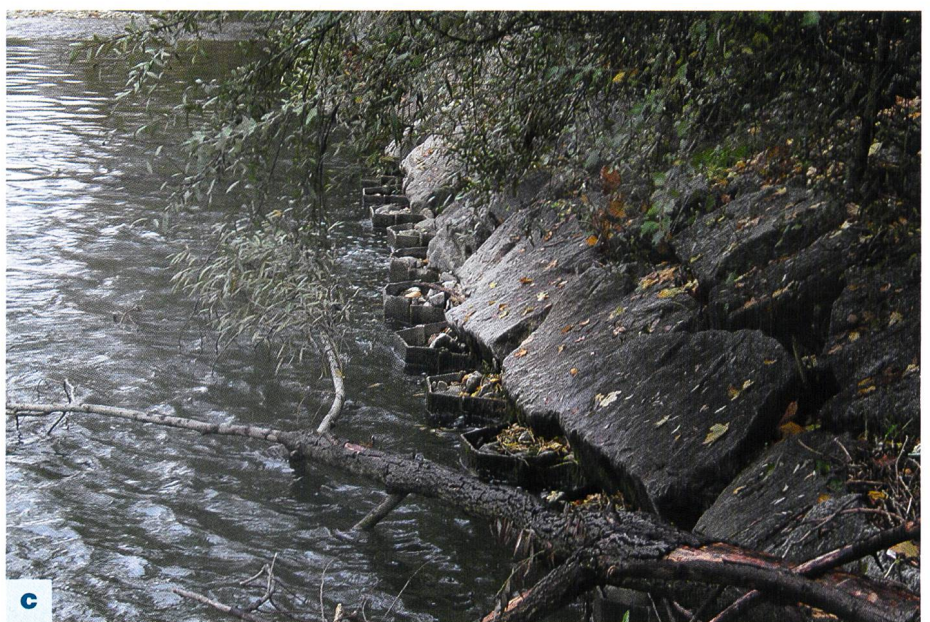
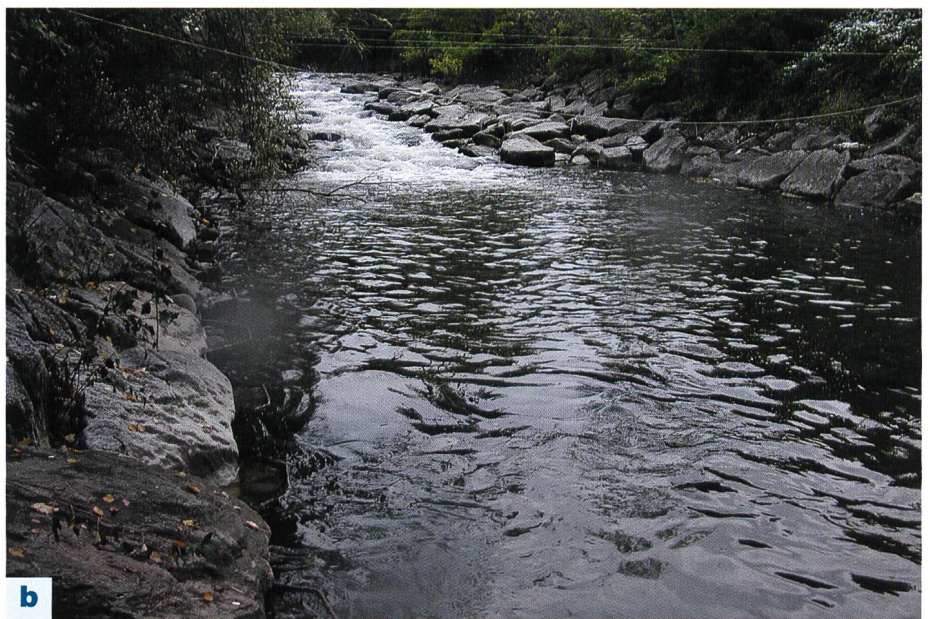
funktionieren, wenn im Fall von leichten Bewegungen der Blöcke das Einsinken dominiert. Die Bewegung ist dann vorwiegend vertikal, und die Belegungsdichte bleibt trotz allem erhalten. Gleiten hingegen die Blöcke teilweise ab, so wird das Gefüge aufgelockert und die Belegungsdichte wird verkleinert. Es können dann alle Zerstörungsmechanismen miteinander wirken. Die von Whittaker und Jäggi (1986) vorgeschlagenen Sicherungsmassnahmen (Bild 5) setzen somit die Möglichkeit des Einsinkens voraus.

Oft sind die Platzverhältnisse stark eingeengt, sodass massive Sicherungsmassnahmen notwendig werden können. Die Bilder 6a–c illustrieren eine Blockrampe an der Wigger, welche in der unmittelbaren Nachbarschaft zur Autobahn A1 gebaut wurde. Modellversuche hatten gezeigt, dass mit den gegebenen räumlichen Vorgaben die Stabilität des Rampenfusses nur durch eine vollständige Umspundung des Unterwasserbereichs erreicht werden konnte.

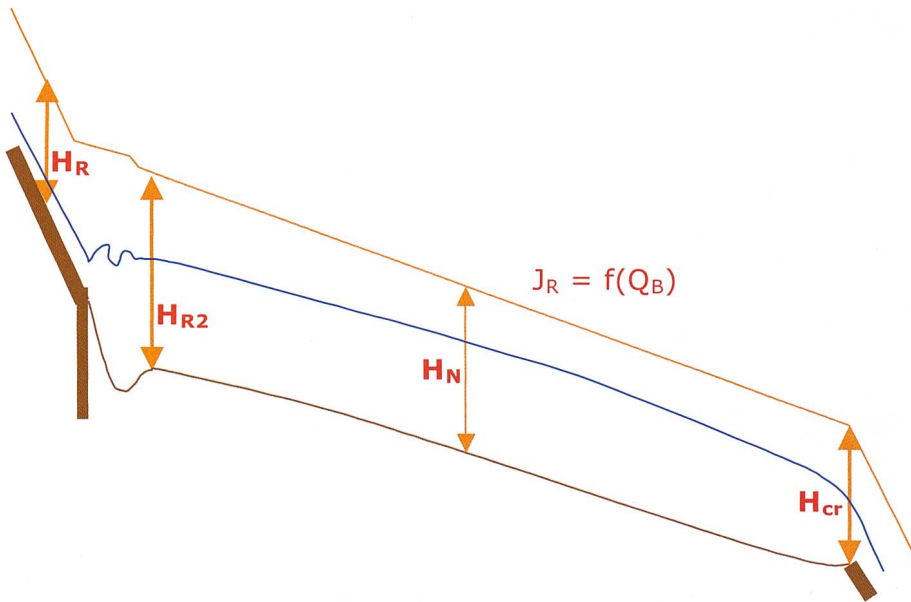
### Rampensysteme

In Rampensystemen hängt die Stabilität einer Rampe auch von den Verhältnissen in der nachfolgenden Fließstrecke bis zum nächsten Fixpunkt ab. Grundsätzlich bestimmt die Energielinie die Abflussverhältnisse in der Zwischenstrecke. Das dortige Reibungsgefälle ist Funktion der Geschiebeführung, Wasserspiegelverlauf und Sohlenlängenprofil sind von der Ungleichförmigkeit des Abflusses geprägt. Oberhalb der Rampe bewirkt die Beschleunigung auf die Schwellenkronen hin (kritischer Abfluss, minimale spezifische Energie) ein gewisses Absinken der Sohle gegenüber der Schwellenkote. Am Fuss der Rampe direkt nach dem Kolk stellt sich die zur Normalabflusstiefe auf der Rampe konjugierte Abflusstiefe ein (bei hydraulisch voll wirksamen Rampen). Trotz einer gewissen Energieumwandlung ist diese örtliche spezifische Energiehöhe meist grösser als jene für Normalabfluss im folgenden Feld. Solche Ungleichförmigkeiten können dazu führen, dass die Sohlenlage tiefer liegt, als es einer reinen Normalabflussbetrachtung entsprechen würde. Ist dies bei steilem Gefälle der Fall, so kann bei Niederwasser der Unterwasserspiegel wieder unter das Rampenende absinken.

Schliesslich kann auch eine Reduktion der Geschiebeführung zu einem flacheren Zwischengefälle und so zu einer höheren Belastung des Rampenfusses führen. Die Reduktion kann Zeichen eines generellen Trends zur Sohleneintiefung sein. Das Geschiebedefizit kann aber auch temporärer Natur sein, wenn etwa die Schwellenkronen deutlich über der aktuellen Sohlenlage ange-



**Bild 6.** Blockrampe an der Wigger zwischen Rothrist und Oftringen; a) Übersicht, b) umspundetes Tosbecken; c) Detail der Spundwand.



**Bild 7. Variation der spezifischen Energie  $H$  in einem Rampensystem. Die Ungleichförmigkeit des Abflusses führt zu tieferen Sohlenlagen, als es strikten Normalabflussverhältnissen entsprechen würde.**



**Bild 8. Raugerinne, neuer Dorfbach Sachseln.**

ordnet wurden. Oft ist es nämlich so, dass mit den Schwellen versucht wird, die Sohle wieder auf ein früheres Niveau anzuheben. Dies kann zu einem bedeutenden Geschieberückhalt führen, wodurch die Belastung in den nachfolgenden Strecken zunimmt und das massgebende Gefälle abnimmt.

In Gebirgsflüssen herrscht oft ein pseudostatisches Gleichgewicht. Grobe Komponenten pflastern die Sohle so ab, dass sie nur bei ganz seltenen Ereignissen in Bewegung gerät. Wird in einem solchen Fall versucht, durch Querwerke wie Blockrampen die Sohle anzuheben, so ergibt sich das Zwischengefälle als Funktion der regelmässigen Zufuhr an laufendem, eher feinem Geschiebe. Dieses Zwischengefälle ist bedeutend flacher als das Gefälle der abgepflasterten

ten Sohle. Wurde dieses herangezogen, um den Unterwasserstand der Rampen zu bestimmen, so wurde somit die Sicherheit des Bauwerks überschätzt.

### Raugerinne

In Gebirgsflüssen ist das Gefälle hoch und das Sohlenmaterial ist grob. Sowohl punkto Unterwasserstand in Rampensystemen wie auch bezüglich der Gefahr des Abgleitens nähert man sich einer Grenzsituation. Oft ist es sinnvoll, statt einer Serie von Rampen ein durchgehendes Raugerinne vorzusehen. Damit entfallen die Kolkprobleme im Unterwasser.

Ein Beispiel einer solchen Anwendung ist der neu angelegte Dorfbach von Sachseln (Bild 8).

### Schlussfolgerungen

Die Dimensionierungsregeln für den Bau von Blockrampen sind seit einiger Zeit bekannt. Trotzdem kommt es immer wieder zu Schadenfällen. Vermutlich ist meist die Sicherheit gegen Unterkolken des Rampenfusses zu wenig gross, die oft recht aufwändige bauliche Massnahmen erfordert. Auch wird möglicherweise die Gefahr des Abgleitens der Blöcke auf eher grobem Untergrund zu wenig beachtet. Die starke Verbreiterung einer Ausführung in nur einer Lage mag die Empfindlichkeit auf Ausführungsfehler erhöhen. Rampen mit einer gewissen Bedeutung sollten wieder vermehrt in zwei bis drei Lagen ausgeführt werden. Auch wird vielleicht nicht immer erkannt, wann in Rampensystemen die Grenzen erreicht sind und eher ein Raugerinne angeordnet werden sollte. In Gebirgsflüssen mit grober natürlicher Deckschicht und hohem Längsgefälle wird die Anordnung von Blockrampen fraglich.

### Literaturhinweise

- Bisaz, E., Tschopp, J., 1972: Profundidad de Erosion al Pie de un Vertedero para la application de correccion de arroyos en quebradas empinadas, IAHR Konf., Lima.
- Chervet, A., Weiss, H. W., 1990: Sohlenstabilisierung mit Blockrampen, SIA Heft 42.
- Platzer G., 1997: Zur Steinstabilität in Raugerinnen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 142. Jg. Heft 11–12, 775–782.
- Raudkivi, A., and Ettema, R., 1982: Stability of Armour Layers in Rivers, Proc. ASCE, J. of Hydr. Div., Sept.
- Schauberger W., 1953: Naturgemässe Arbeitsmethoden im Flussbau, Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 1+2.
- Whittaker, J., Jäggi, M.: Blockschwellen, Mitteilungen der VAW Nr. 91, ETH Zürich, 1986.

### Anschrift des Verfassers

PD Dr. Martin Jäggi, Jäggi – Flussbau und Flussmorphologie, Zürichstrasse 108, CH-8123 Ebmatingen, www.rivers.ch