

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 92 (2000)
Heft: 9-10

Artikel: Uferschutz an Gebirgsflüssen
Autor: Schleiss, Anton
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940292>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Uferschutz an Gebirgsflüssen

■ Anton Schleiss

Zusammenfassung

Die Seitenerosion ist in Gebirgsflüssen oft der massgebende Prozess, welcher zu katastrophalen Schäden bei anliegenden Siedlungsgebieten und Infrastrukturanlagen führen kann. Den Uferschutzmassnahmen an Gebirgsflüssen kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Falls sich ihre Ausbildung an natürlichen Elementen wie Felsrippen und -wänden sowie grossen Residualblöcken anlehnt, ist der erforderliche Hochwasserwiderstand leichter erzielbar. Insbesondere die Rauigkeit des Uferschutzes hat einen wesentlichen Einfluss auf dessen Kolk-sicherheit. Die konstruktiven und ökologischen Besonderheiten von möglichen Uferschutzmassnahmen an Gebirgsflüssen wie Ufermauern, Blockwürfe, künstliche Residualblöcke, Buhnen und künstliche Felssporne werden vorgestellt und diskutiert.

Résumé: Protection des rives de rivières en montagne

Pour les rivières en montagne, l'érosion latérale des rives est souvent le processus à l'origine des dégâts catastrophiques aux habitations et infrastructures le long des cours d'eau. Les mesures de protection des rives pour les rivières de montagnes ont alors une grande importance. Si leur conception prend en considération les éléments naturels tels que pans et parois de rocher, ainsi que gros blocs erratiques, la sécurité lors de crues est plus facilement garantie. La rugosité de la mesure de protection a une influence essentielle sur sa résistance aux affouillements. Les particularités constructives et écologiques des mesures de protection des rives de rivières en montagne tels que murs de protection, enrochements, blocs résiduels artificiels, épis et pans de rocher artificiels sont présentés et discutés.

Summary: River bank protection at mountain rivers

Lateral bank erosion is often the governing hazard in mountain rivers, which can cause catastrophic damages at housings and infrastructures situated near the banks. Therefore, bank protection measures at mountain rivers are of special importance. If their design is taking patterns from natural elements as rock rips and walls as well as large rock boulders, the required resistance against floods can be achieved much easier. Especially the roughness of the bank protection has an essential influence on its security against scouring. The structural and ecological particularities of bank protection measures at mountain rivers as protection walls, rip-raps, artificial blocs, groynes and artificial rock rip are presented and discussed.

1. Einleitung

Die Gefahrenanalyse an Gebirgsflüssen führt normalerweise zum Ergebnis, dass Erosions- und Ablagerungsprozesse die Sicherheit der Anlieger weit mehr gefährden als reine Überschwemmungen (Bild 1). Erosionen und Ablagerungen können die Morphologie von Gebirgsflüssen während Hochwasserabflüssen grundlegend ändern. Durch grosse Blöcke natürlich stabilisierte Flusssohlen werden bei extremen Ereignissen aufgerissen, und Mäander verlagern sich als Folge von Seitenerosionen [1]. Uferinstabilitäten haben lokal grosse Geschiebeeinträge zur Folge, welche in flacheren Strecken und vor Engnissen erneut abgelagert werden und dort das seitliche Ausbrechen des Gebirgsflusses noch verstärken können. Dem Uferschutz an Gebirgsflüssen in dicht besiedelten Gebieten kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Seine Aufgabe besteht in erster Linie darin, katastrophale Seitenerosion und die damit verbundenen morphologischen Gerinneveränderungen zu verhindern. Der Uferschutz muss dabei gleichzeitig allfälligen Tiefenerosionen der Flusssohle widerstehen können. In der Folge werden einige grundsätzliche Möglichkeiten von Uferschutzmassnahmen an Gebirgsflüssen vorgestellt und diskutiert. Als Gebirgsflüsse werden Flüsse verstanden, welche Gerinnebreiten über 20 m aufweisen und durch relativ hohe Sohlengefälle (bis 10%), grosse Hochwasserabflüsse (> 200

m³/s) und eine hohe Geschiebetransportkapazität gekennzeichnet sind. Bei Hochwasser können nicht selten Blöcke von mehr als 1 Tonne Gewicht transportiert werden.

2. Möglichkeiten von Uferschutzmassnahmen

Grundsätzlich sollte sich jede Uferschutzmassnahme an den Kräften und dem natürlichen Verhalten eines Flusses orientieren.

Nur Uferschutzbauten, welche den Charakter eines Gebirgsflusses nicht unnatürlich eingengen, bieten eine verlässliche Sicherheit bei Hochwasserabflüssen [1]. Uferschutzelemente sollten deshalb wenn immer möglich die selben Eigenschaften aufweisen und Wirkungen erzeugen wie natürliche Elemente, welche unkorrigierte Flussabschnitte stabilisieren. Sohle und Ufer in natürlichen Gebirgsflüssen werden durch Felsrippen in der Sohle,

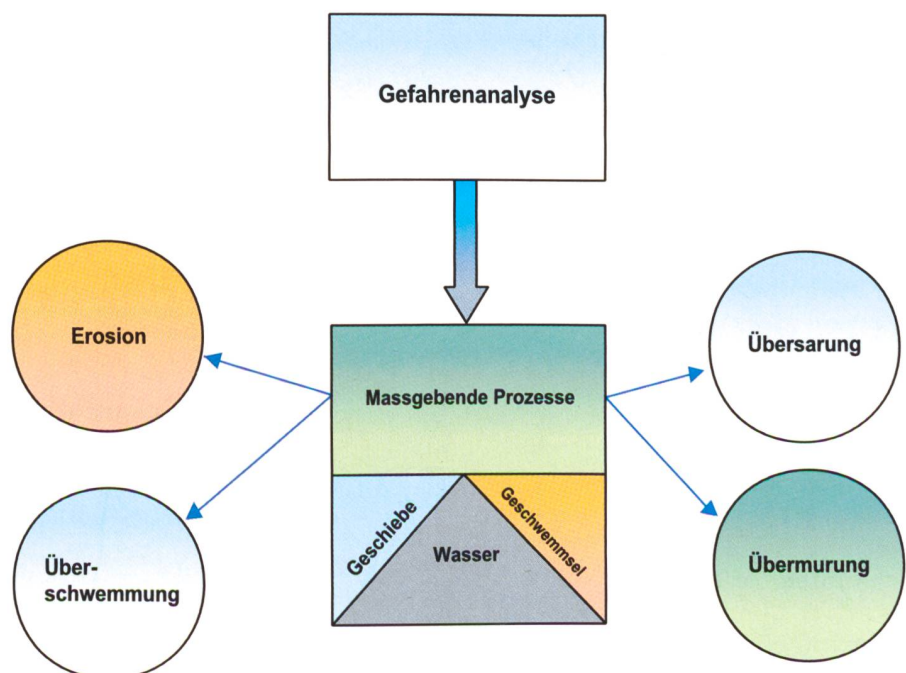


Bild 1. Massgebende Prozesse bei der Gefahrenanalyse (gemäss [2]).



Bild 2. Residualblöcke, Felsrippen und Felswände an der Reuss (oberhalb Einmündung Fellital, Kanton Uri).

seitlich in den Querschnitt hereinragende Felsnasen, geneigte und vertikale Felsufer, grosse Bergsturzböcke in der Sohle und in den Uferböschungen – und dies in Kombination mit der Ufervegetation – vor Erosionen geschützt. Diese natürlichen Elemente sind also häufig rau und aufgelöst und nur im Fall von Felswänden eher glatt und kontinuierlich.

Wie bereits angedeutet, besteht die Funktion eines Uferschutzes in erster Linie darin, gefährliche Seitenerosionen zu verhindern sowie allfälligen Tiefenerosionen schadlos widerstehen zu können. Die Oberfläche des Uferschutzes sollte zudem eher bremsend als beschleunigend auf den Abfluss wirken.

Die verschiedenen Möglichkeiten von baulichen Uferschutzmassnahmen können gemäss ihrer Anordnung in linienförmige und aufgelöste Elemente eingeteilt werden (Bild 3).

Diese Uferschutzelemente sollten wenn immer möglich mit sekundären Massnahmen (Überschüttungen, Bermen als Vorschüttungen usw.) kombiniert werden, welche das Nachwachsen der Ufervegetation erleichtern.

3. Ufermauern

3.1 Naturparallelen und gewünschte Wirkung

Mauerartige Flussufer sind in der Natur nur in Abschnitten mit anstehendem Fels in der Sohle und am Ufer zu finden. Die Felswände entlang von Ufern sind im Fussbereich oftmals durch Abrasion überhängend ausgewaschen, falls die Stabilität dies zulässt (keine ungünstig verlaufende Klüftung). An Prall-

ufern entstehen zudem sehr tiefe Kolke, falls die Sohle erodierbar ist. Diese Beobachtungen an natürlichen Felsuferräumen von Gebirgsflüssen weisen auf die wesentlichen Probleme bei der Bemessung von Ufermauern hin, nämlich Stabilität, Abrasions- und Kolk-sicherheit. Die Ufermauer soll selbst extremen Hochwasserabflüssen widerstehen können und so Ufererosion verhindern. Ufermauern werden etwa dort erforderlich, wo enge Platzverhältnisse andere Massnahmen (z.B. Blockwürfe) nicht erlauben, also wenn ein Gebirgsfluss eine bestehende Siedlung durchquert.

3.2 Winkelstützmauer

Die meisten Uferschutzmauern sind als Winkelstützmauer ausgebildet (Bild 4). Das Eigengewicht und der winkelförmige Fuss garantieren die Stabilität für aktiven Erd- und Wasserdruck von der Uferseite. Die relativ schlanke Ausbildung erfordert normalerweise eine Armierung, insbesondere zur Aufnahme des Fussmomentes. Die Wasserseite ist entsprechend der Mauerverjüngung nach oben leicht geneigt (1:8 bis 1:10), was sich günstig auf die Gesamtstabilität auswirkt.

Die Kalksicherheit der Winkelstützmauer muss mit einer entsprechend tiefen Fundation des Winkelfusses gewährleistet werden. Eine Unterkolkung des Fusses führt zwangsläufig zum Kippen der Mauer. Die Kolkgefahr ist umso grösser, je glatter die Maueroberfläche ist. Mit Makrorauigkeiten, wie beispielsweise vertikalen Rippen, können die Kolke am Mauerfuss erheblich reduziert werden (Bilder 5 und 6). Forschungsarbeiten zur Quantifizierung des Einflusses solcher Makrorauigkeiten sind zurzeit am Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) der EPFL im Gange.

Grosse Fundationstiefen für Ufermauern in Siedlungsgebieten erfordern eine provisorische Sicherung der Baugrube, beispielsweise mit rückverankerten Elementwänden (Bild 4). Der Abrasionswiderstand der Mauer muss normalerweise durch eine Verkleidung der Oberfläche mit Bruchsteinen (Granit, Gneiss) garantiert werden.

Winkelstützmauern haben den grossen Nachteil, dass ihre Kippsicherheit in erster Linie für Lasten ausgerichtet ist, welche

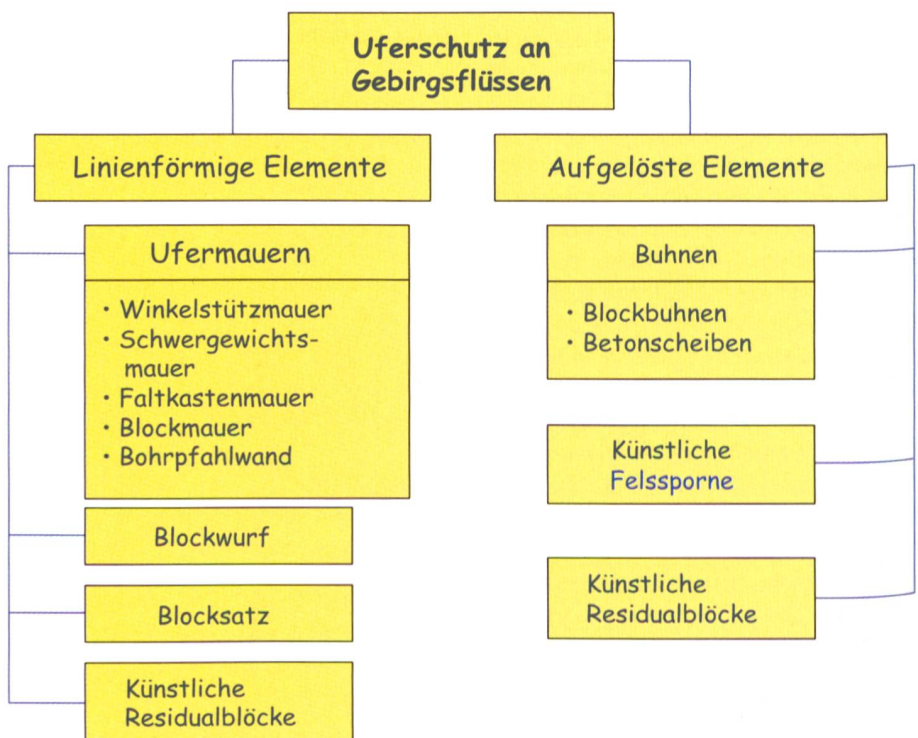


Bild 3. Möglichkeiten für bauliche Uferschutzmassnahmen an Gebirgsflüssen.

von der Uferseite her wirken. Solange sich die Mauer gegen das Erdreich abstützen kann, ist der Wasser- und Strömungsdruck von der Flussseite her nicht der massgebende Lastfall. Die Situation wird aber gefährlich, wenn die Mauer überströmt und die Hinterschüttung ausgespült wird. Da die Kippsicherheit für flussseitige Lasten zwangsläufig geringer ist, kann die hinterspülte Mauer infolge des Strömungsdruckes umkippen. Falls das Restrisiko einer Hinterspülung nicht ausgeschlossen werden kann, muss die Stabilität der Mauer für Drücke von der Wasserseite her erhöht werden. Dies kann beispielsweise durch an der Rückseite der Mauer angeordnete Stabilisierungskörper oder -scheiben geschehen, welche in bestimmten Abständen angeordnet werden (Bild 7). In diese Stabilisierungskörper können allenfalls auch Kontrollschächte für Kanalisationsleitungen integriert werden.

Um zu verhindern, dass die Niederwasserrinne sich entlang der Ufermauer eingräbt, sollten die Ufermauern am Fuss mit Lockermaterial bis auf die Höhe eines mittleren Hochwassers angeschüttet werden (HQ₅ bis HQ₂₀). Dadurch ergibt sich entlang der Ufermauer eine Berme, welche allenfalls begehbar und bepflanzbar ist. Die Vorschüttung ist mit einem leichten Blockwurf zu sichern, welcher bis zu den erwähnten, mittleren Hochwasser standhält. Dieser garantiert auch, dass am Mauerfuss ein Ufergehölz aufkommen kann. Zusätzlich sollten entlang von Ufermauern in unregelmässigen Abständen Blockgruppen angeordnet werden, welche bis zu mittleren Hochwasser als Fischrefugien dienen können. Bei grösseren Hochwasser werden diese sowie die Vorschüttungen durch Erosion zerstört.

3.3 Schwergewichtsmauer

Die Schwergewichtsmauer besteht aus unarmiertem Beton und widersteht alleine mit ihrem Gewicht den ufer- und wasserseitig wirkenden Drücken. Gegenüber der Winkelstützmauer hat die Schwergewichtsmauer den Vorteil, dass sie selbst bei einer Hinterspülung noch stabil bleiben kann. Wegen der breiteren Bauweise benötigt sie hingegen mehr Platz.

Die Schwergewichtsmauer kann ohne Schalung direkt gegen das Erdreich in Schichten betoniert werden (Bild 8). Gegen die Wasserseite werden die Betonieretappen mit Steinblöcken abgeschalt, die gleichzeitig gegen Abrasionen schützen. Es kann ein relativ magerer Beton verwendet werden, der mit einer Walze verdichtet wird (Walzbeton). Die Foundation der Schwergewichtsmauer kann leicht den Untergrundverhältnissen angepasst werden, so können beispielsweise

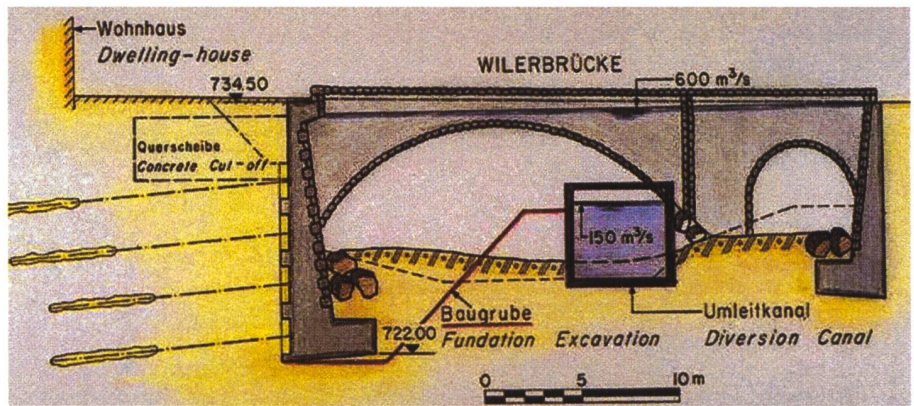


Bild 4. Winkelstützmauern als Uferschutz in Gurtellen-Wiler. Baugrube mit Elementwand gesichert. Baumleitung für die tiefe Foundation der Mauer an der Kurvenausenseite (links) (gemäss [1] und [3]).



Bild 5. Winkelstützmauer mit vertikalen Rauigkeitsrippen aus trapezförmig gebrochenen Steinblöcken (Gurtellen, Kanton Uri).



Bild 6. Winkelstützmauer mit vertikalen Rauigkeitsrippen aus unregelmässigen Blöcken (Saas-Almagell, Kanton Wallis).

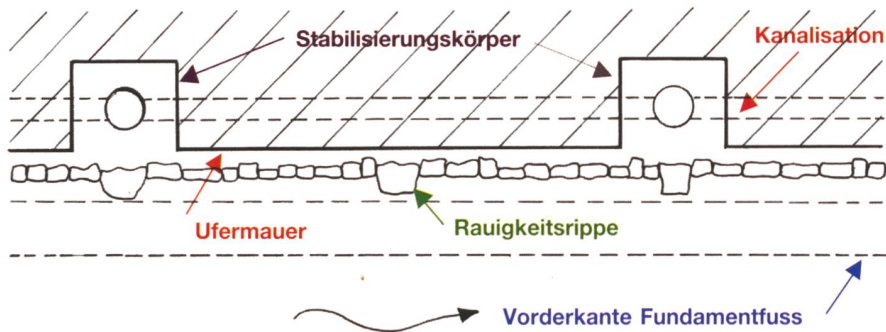


Bild 7. Steinverkleidete Winkelstützmauer verstärkt mit quaderförmigen Stabilisierungskörpern aus Beton, in welche die Kanalisationsschächte integriert sind.

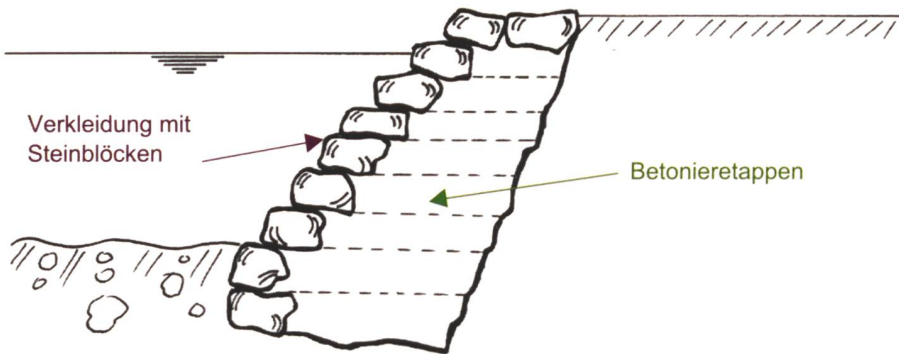


Bild 8. Mit Steinblöcken abgeschaltete Schwergewichtsmauer. Schichtweises Betonieren direkt gegen die Aushubböschung (evtl. Verwendung von Walzbeton).

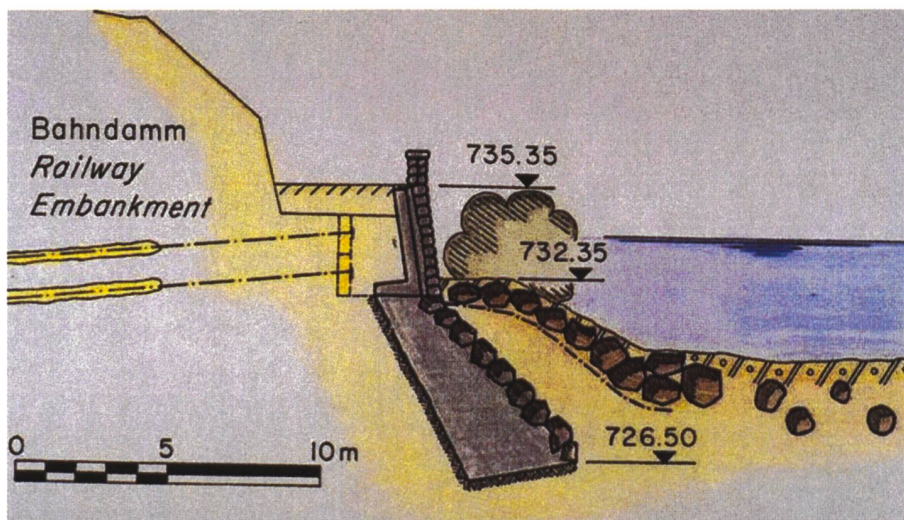


Bild 9. Gewichtsmauer mit aufgesetzter Winkelstützmauer (Gurtellen-Wiler, Kanton Uri). Vorschüttung und sekundärer Blockwurf zur Schaffung einer bestockten Uferberme.

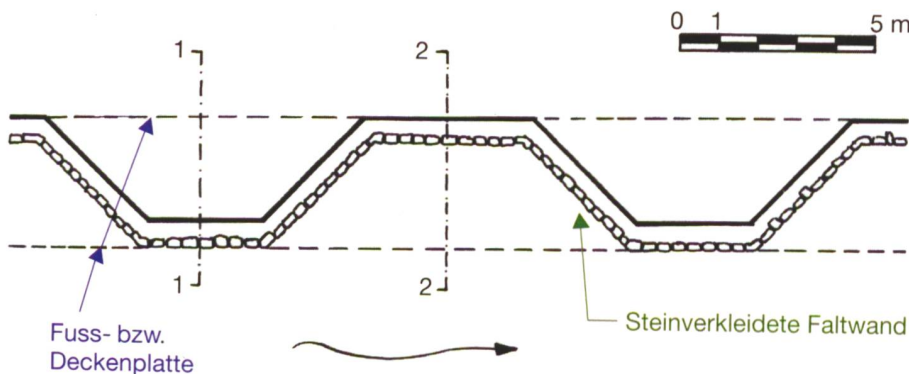


Bild 10. Situation einer trapezförmigen Faltkastenmauer (Neigung 45°, Baubreite 3,25 m, Wandstärke 0,6 m).

durch den Aushub freigelegte, grosse Felsblöcke in diese integriert werden. Ein Bau in relativ kurzen Etappen in Fliessrichtung ist möglich (z.B. 5 m), sodass auf aufwendige Baugrubensicherungen und Wasserhaltungen verzichtet werden kann. Das Fehlen von Armierungen und Schalungen erlaubt gegenüber der Winkelstützmauer einen wesentlich schnelleren Baufortschritt.

3.4 Kombination Winkelstützmauer – Schwergewichtsmauer

Falls der Untergrund mit grossen Residualblöcken (mehrere Tonnen Gewicht) durchsetzt ist, gestaltet sich der Aushub für eine armierte Winkelstützmauer wie erwähnt als schwierig und aufwendig. In diesem Falle erweist sich eine Schwergewichtsmauer im Fundamentbereich als vorteilhaft, deren Fundation sich flexibel an den Untergrund anpassen lässt. Auf diesen Schwergewichtskörper kann dann eine konventionelle Winkelstützmauer aufgesetzt werden. Eine solche Kombination wurde in Gurtellen-Wiler zum Schutz des Ufers entlang der Gotthardbahnlinie gewählt (Bild 9). Um auf eine aufwendige Baugrubensicherung zu verzichten, wurde der Schwergewichtsmauerteil mit einer relativ starken Neigung gegen die Reuss ausgeführt. Mit Gneissblöcken von 0,5 bis 1,0 t Gewicht wurden Etappen von rund 5 m reussseitig geschalt und anschliessend sofort schichtweise betoniert [4]. Der Aushub für die aufgesetzte, steinverkleidete Winkelstützmauer sowie die Gewichtsmauer musste mit einer rückverankerten Elementwand gesichert werden, um keine unzulässigen Setzungen des Bahndammes zu verursachen.

3.5 Vorschlag eines neuen Mauertyps: die Faltkastenmauer

Auf der Suche nach einer Ufermauer, welche eine grosse Stabilität sowohl für ufer- wie auch wasserseitige Belastungen sowie eine grosse Makrorauigkeit aufweist, stösst man konsequenterweise auf eine gefaltete Ausbildung gemäss Bild 10 und Bild 11. Die vertikale Wand dieser Mauer ist in Fliessrichtung gewellt oder gefaltet, beispielsweise trapezförmig (Bild 10). Stabilität und Widerstand dieser relativ dünnen Vertikalwand werden durch eine Fuss- und eine Deckenplatte gewährleistet (Bild 11). Dadurch entsteht ein Mauertyp, im Folgenden Faltkastenmauer genannt, welcher eine grosse, beidseitige Kippstabilität aufweist und wegen seiner Makrorauigkeit und der Fussplatte kaum über längere Abschnitte unterkolkelt werden kann.

Die abgewinkelte Länge dieser Faltkastenmauer ist selbstverständlich länger als eine gerade Winkelstützmauer. Die Wandstärke kann aber bei gleicher Kippsicherheit

wesentlich dünner gewählt werden. Dies zeigt ein konkreter Vergleich mit einer Winkelstützmauer von 8,8 m Höhe und einer Fundamentfussbreite von 3,6 m (Betonvolumen 12,72 m³/m) (Bild 12). Diese Mauer weist für einen dreiecksförmigen Erddruck (2,6 t/m am Fuss) und vollen Auftrieb (Hinterfüllung mit Wasser gesättigt) eine Kippsicherheit bezüglich des Fusspunktes A von $S = 1,50$ auf.

Die gleiche Sicherheit wird mit einer Faltkastenmauer gleicher Höhe von 3,25 m Baubreite und einer Wandstärke von 0,60 m erhalten, wobei die Bodenauflast in der trapezförmigen Ausbuchtung berücksichtigt wurde (Dichte des Bodens unter Auftrieb 1 t/m³). Das Betonvolumen dieser Faltkastenmauer beträgt aber nur rund 80% desjenigen der Winkelstützmauer. Wird die Deckenplatte über den trapezförmigen Buchten weggelassen, muss die Wandstärke auf 0,65 m erhöht werden, um die Kippsicherheit von $S = 1,50$ beizubehalten. Das Betonvolumen erreicht dann 90% der Winkelstützmauer. Dieser Vergleich zeigt, dass die Faltkastenmauer gegenüber der Winkelstützmauer durchwegs wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Je nach Wandstärke ergeben sich auch keine grösseren Aushubbreiten. Für die gleiche lichte Gerinnebreite reicht der Aushub allerdings tiefer in die Uferböschung. Wegen der relativ geringen Wandstärke ist ein Bau mit vorfabrizierten Elementen denkbar.

Mit einer durchgehenden Deckenplatte kann der Bereich über den Einbuchtungen allenfalls auch genutzt werden (z.B. Uferpromenade). Neben den statischen und flussbaulichen Vorteilen weist die Faltkastenmauer auch landschaftsplanerische und ökologische Vorteile auf. Die gefaltete oder geschlängelte Form wirkt nicht monoton und kann sich architektonisch gut in Ortsbilder eingliedern. Die Sicht von den Ausbuchtungen macht das Gewässer besser erlebbar. In den Einbuchtungen entstehen Widerwasser mit Kolken und Geschiebeanlagerungen. Dadurch entstehen sowohl bei Nieder- und Mittelwasser wie auch bei Hochwasser wertvolle Fischrefugien.

Neben trapezförmigen Ein- bzw. Ausbuchtungen sind auch geschwungene (z.B. kreisförmige) Ausbildungen denkbar.

3.6 Blockmauer

Die Blockmauer wird mit in Beton oder Mörtel verlegten Steinblöcken gebaut. Sie wirken statisch als Gewichtsmauern. Für kleinere Bauhöhen sind mit Ausnahme des Fundamentbereiches Trockenmauern denkbar. Auch bei Mörtelbauweisen sollten die Fugen bis zu einer Tiefe von ca. 20 cm frei sein, damit sich nachträglich ein Bewuchs festsetzen kann. Falls keine Felsblöcke zur Erstellung

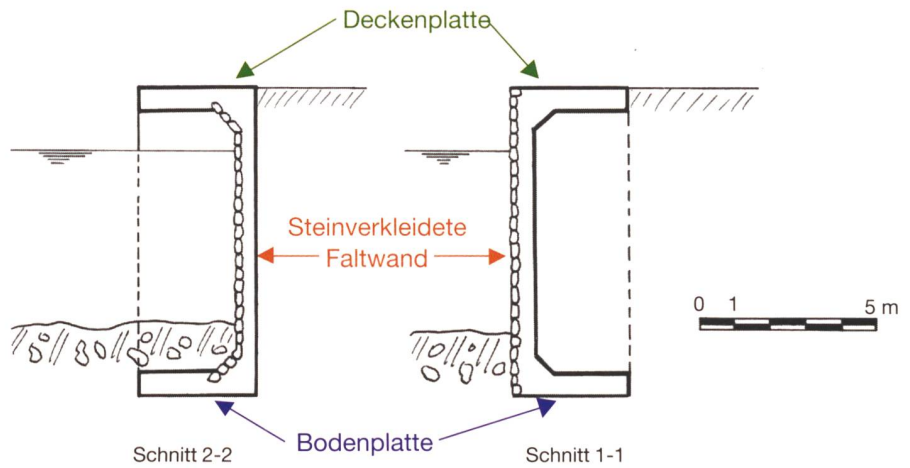


Bild 11. Querschnitte durch steinverkleidete Faltkastenmauer (gemäss Bild 10).

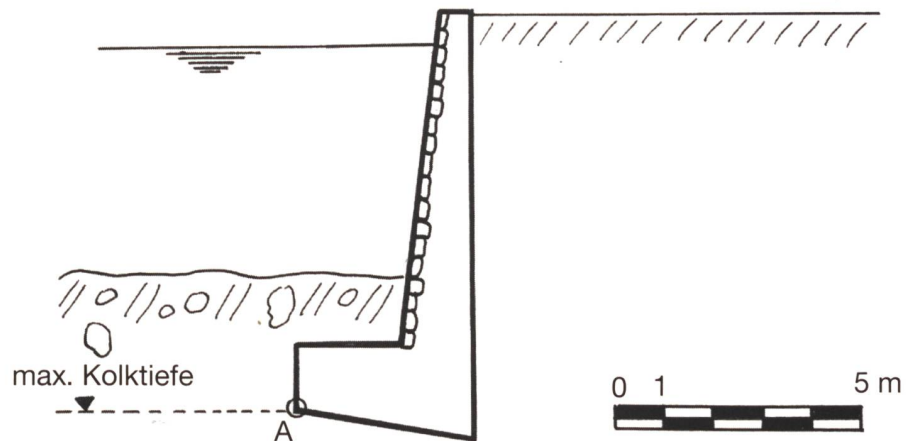


Bild 12. Querschnitt durch steinverkleidete Winkelstützmauer für Stabilitätsvergleich mit Faltkastenmauer gemäss Bilder 9 und 10 (Höhe 8,6 m, Breite Winkelfundament 3,6 m, Wandstärke von unten nach oben von 1,4 m auf 0,6 m abnehmend).

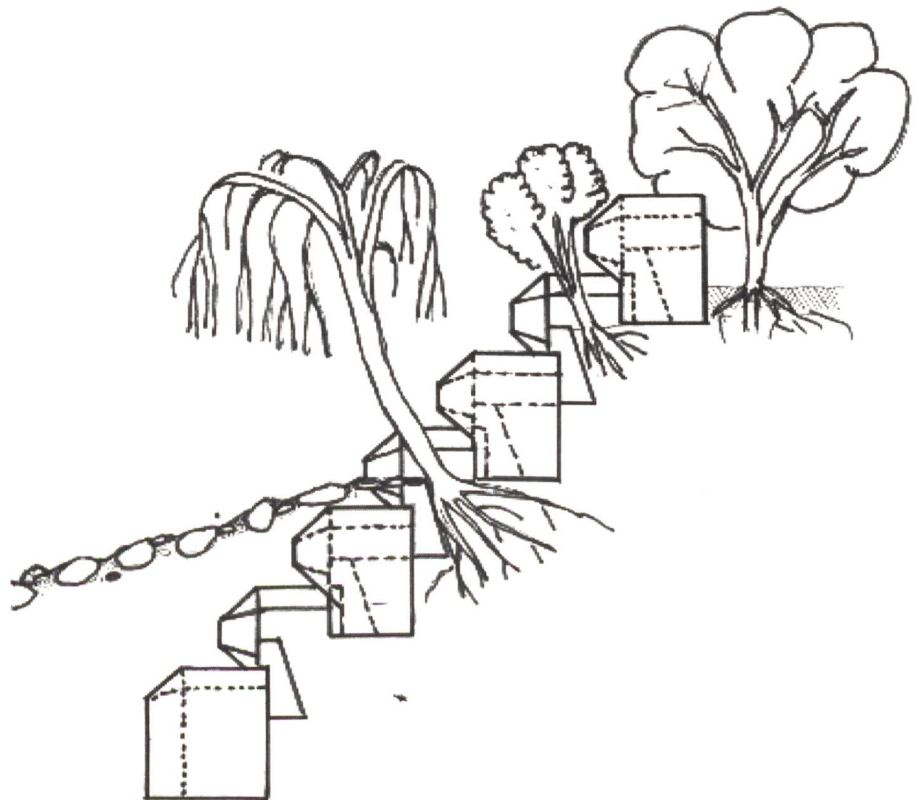


Bild 13. Blockmauer aus an Ort erstellten, unarmierten Betonblöcken (1 m³) mit Lücken für Bewuchs (gemäss Dénes [5]).

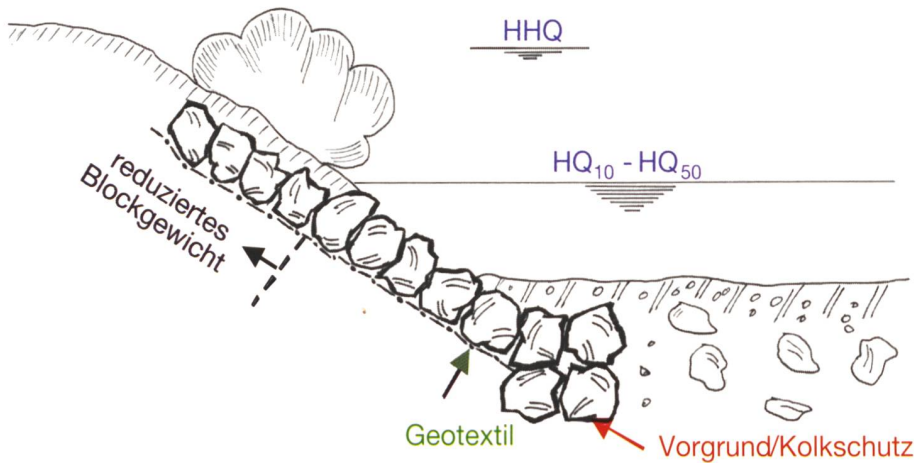


Bild 14. Einlagig verlegter Blockwurf mit Vorgrund als Kolkenschutz [6].

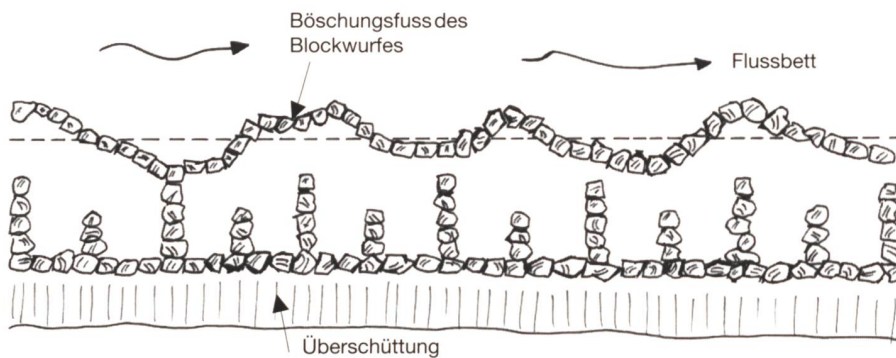


Bild 15. Geschlängelte Fusslinie eines Blockwurfs in einem geraden Flussabschnitt.

einer Blockmauer zur Verfügung stehen, werden im Ausland etwa auch aus Beton gegossene Blöcke verwendet. Eine besondere Art einer in Bolivien realisierten Uferschutzmauer wurde von Dénes [5] beschrieben (Bild 13), von ihm auch als «synthetischer Blockwurf» bezeichnet.

Dabei wurden gleichförmige Betonblöcke mit Hilfe einer Metallschalung vor Ort so gegossen, dass eine treppenartig verzahnte Blockmauer (51° Neigung) entstand (Bild 13). Jeder Block hat einen gegen die Flussseite vorspringenden Kopf. Diese besondere Form erhöht die Oberflächenrauigkeit der Blockmauer und reduziert somit die Kolkgefahr an dessen Fuss. Im Weiteren erleichtert sich dadurch die Verzahnung der einzelnen Betonblöcke zu einem widerstandsfähigen Mauerwerksverband.

3.7 Bohrpfahlwand

Die Bohrpfahlwand besteht aus Bohrpfählen, die direkt entlang des Ufers in einem gewissen Abstand von einer Uferberme aus erstellt werden. Eine Wasserhaltung ist deshalb nicht erforderlich. Aus landschaftsplanerischen Gründen ist eine wasserseitige Anschüttung der Pfahlwand wünschenswert. Diese Anschüttung muss mit einem sekundären Blockwurf gesichert werden, soll sie nicht schon bei häufig auftretenden Hochwasser weggespült werden (Schutz z.B. bis HQ₁₀ –

HQ₂₀, um auch ein Aufkommen einer Ufervegetation zu ermöglichen). Bohrpfahlwände sind sehr teuer, insbesondere bei Untergrund mit grossem Blockanteil. Je nach Meisselaufwand liegen die Kosten der Bohrpfahlwand im Bereich von 1000 bis 2000 Fr./m². Die Stabilität der Bohrpfahlwand muss mit einer entsprechenden Einbindetiefe unterhalb der ma-

ximal erwarteten Kolkentiefe garantiert werden. Die Einbindetiefe entspricht in der Regel etwa der freien Traghöhe.

4. Blockwürfe und Blocksätze

4.1 Blockwurf

Natürliche Ufer von Gebirgsflüssen sind oftmals durch eine Anhäufung von grossen Felsblöcken gesichert, welche durch Hanginstabilitäten und Bergstürze an die Ufer gelangt sind. Allenfalls kann es sich auch um von Gletschern abgelagerte Blöcke handeln (Findlinge). Blockwürfe an Gebirgsflüssen wirken also weit natürlicher als solche an Flachlandflüssen. Um mit künstlichen Blockwürfen in Gebirgsflüssen einen ausreichenden Erosionswiderstand zu erreichen, müssen Blöcke verwendet werden, die Gewichte von mehreren Tonnen aufweisen. Blockwürfe mit solchen Blockgrössen lassen sich aus bautechnischen Gründen nicht mehr schütten; die Blöcke müssen einzeln verlegt werden. Es entsteht dadurch ein Blockverband mit relativ kleinen Fugen zwischen den Blöcken, sodass man eher von einer Kombination Blockwurf/Blocksatz sprechen müsste. Die Bemessung von solchen verlegten Blockwürfen mit grossen Blockgrössen weist gegenüber an Mittellandflüssen geschütteten einige Besonderheiten auf, für welche auf Schleiss [6] verwiesen wird.

Die KolkSicherheit des Fusses des Blockwurfes muss mit einer entsprechenden Fundamenttiefe und einem Vorgrund (Blockteppich) gewährleistet werden (Bild 14).

Was die Wahl der Linienführung und die Böschungsneigungen anbetrifft, so sollte



Bild 16. Doppellagig auf Geotextil verlegter Blockwurf im Bau. Fussblöcke sind zum gegenseitigen Verbinden mit Stahlseilen mit Schlaudern versehen (Blockgewicht 4,0 bis 4,5 t). Links Schutzdamm für die Wasserhaltung.

auch in geraden Flussstrecken der Fuss des Blockwurfes nicht geometrisch gerade, sondern geschlängelt verlegt werden (Bild 15). Die Fusslinie und die Oberkante des Blockwurfes sollten nach Möglichkeit in einem Band variiert werden, welches etwa der ein- bis zweifachen Blockwurfhöhe entspricht [6]. Gleichzeitig sollten die Böschungsneigungen unregelmässig zwischen steileren (max. 4:5) und flacheren Abschnitten (bis 1:2) abgewechselt werden. Diese abwechslungsreiche Wahl der Linienführung und Böschungsneigung hat folgende Vorteile:

- Der Eindruck einer geometrischen, monotonen Uferschutzmassnahme wird zu Gunsten eines naturnahen Ufers verbessert.
- Die Uferrauigkeit wird durch die unregelmässige Form vergrössert, was die Kolkgefahr reduziert.
- Die kleinen Buchten können bei Hochwasserabflüssen als Fischrefugien dienen.

Die einzelnen Blöcke sollten keineswegs so verlegt werden, dass sich eine relativ glatte Oberfläche ergibt. Vielmehr sollte nach einer möglichst grossen Oberflächenrauigkeit getrachtet werden, ohne aber die Blöcke mit dem längsten Durchmesser vertikal zur Böschung zu verlegen.

Mit den praktisch im Steinbruch gewinn- und auf der Baustelle noch verlegbaren Blockgrössen von 6 bis 7 t ist der technisch erzielbare Widerstand von Blockwürfen in Gebirgsflüssen bei grossen Gefällen und Abflusstiefen begrenzt. Um eine zusätzliche Sicherheitsreserve zu erhalten, kann der Blockwurf doppellagig verlegt werden (Bild 16). Modellversuche deuten darauf hin, dass sich dadurch die Sicherheit um etwa 30 bis 50% erhöhen lässt [6]. Um den Widerstand der Fundation des Blockwurfes zu erhöhen, ist eine gegenseitige Verbindung der Fussblöcke mit Stahlseilen denkbar (Bild 15). Die Blockgrössen können im oberen Böschungsbereich reduziert oder einlagig verlegt werden. Dies erleichtert eine Überschüttung mit Lockergestein, eine wichtige Voraussetzung für die Bepflanzung des Blockwurfes bzw. für die natürliche Sukzession des Uferbewuchses (Bilder 14 und 17). Für weitere konstruktive Einzelheiten sowie ökologische und landschaftsplanerische Aspekte von Blockwürfen an Gebirgsflüssen sei auf Schleiss [6] verwiesen.

4.2 Blocksatz

Um auch mit kleinen Blockgewichten einen ausreichenden Widerstand zu erhalten, werden etwa die Blöcke in Beton verlegt und die Fugen ausgegossen. Man spricht dann von einem Blocksatz, dessen Oberfläche sehr glatt ist und geometrisch wirkt (Bild 18).

Blocksätze sind an Gebirgsflüssen grundsätzlich nicht zu empfehlen, sofern ihr

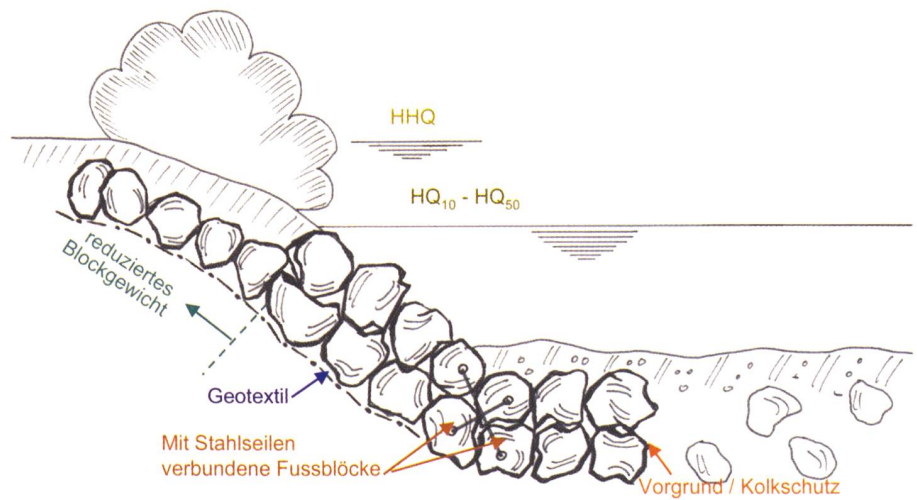


Bild 17. Doppellagig auf Geotextil verlegter Blockwurf. Fussblöcke sind zur Erhöhung des Erosionswiderstandes gegenseitig mit Stahlseilen verbunden.

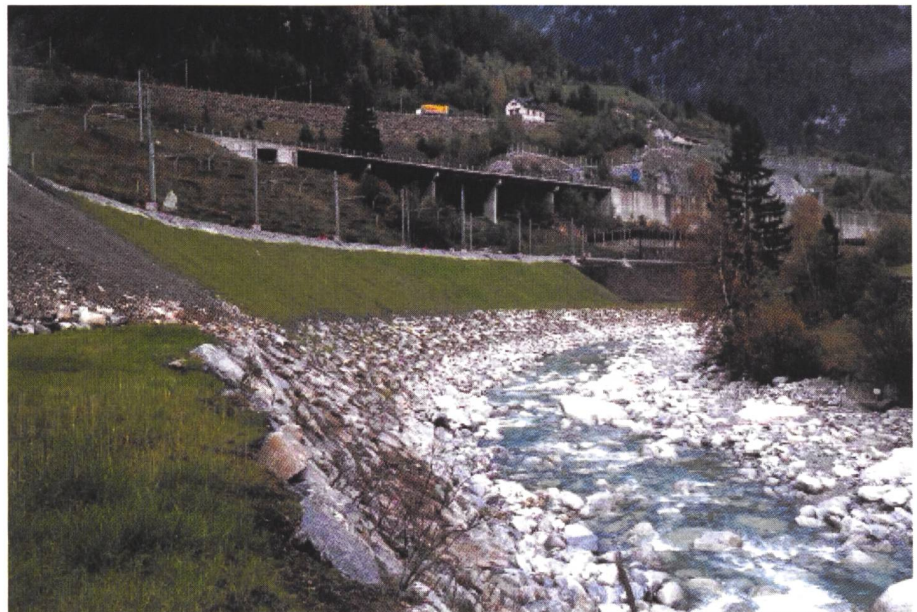


Bild 18. Blocksatz an der Reuss zum Schutz der Gotthardbahnlinie (unterhalb von Göschenen, Kanton Uri).



Bild 19. Eingegrabene, diagonal getrennte Betonwürfel als linienförmiger Uferschutz an der Reuss (Gurtellen – Gütli, Kanton Uri).

Fuss nicht auf Fels fundiert werden kann. Durch die mit Mörtel oder Beton verbundenen Blöcke entsteht ein plattenförmiges Schutzelement, welches – einmal von der Unterseite dem dynamischen Wasserdruck ausgesetzt – sehr leicht von der Strömung mitgerissen werden kann. Der Blocksatz ist im Falle einer erodierbaren Flusssohle auch stärker durch Unterkolkung gefährdet, da die starr mit Beton verbundenen Blöcke nicht ins Kolkloch nachrutschen und so den Kolkprozess verzögern können [6]. Zudem verhindern die verfüllten Fugen eine Begrünung mit Sträuchern und eine ökologische Funktion der Uferböschung.

5. Künstliche Residualblöcke als linienförmige Elemente

Grosse Bergsturzböcke oder Findlinge stabilisieren auf natürliche Weise die Ufer eines Gebirgsflusses. Dieser Wirkungsweise nachempfunden sind künstliche, aus Beton hergestellte Residualblöcke. Natürliche Felsblöcke in der erforderlichen Grösse können nämlich infolge des bedeutenden Gewichtes (>10 t) einerseits kaum gewonnen, andererseits auch nicht transportiert und eingebaut werden [7].

Mit dem Ziel das Elementgewicht zu verringern und gleichzeitig die gegenseitige Verzahnung zu verbessern, werden im Küs-

tenschutz spezielle Formen wie Akmons, Tetrapoden, Tribars usw. verwendet [8]. Diese wären auch grundsätzlich als Uferschutz an Gebirgsflüssen denkbar. Wegen ihrer komplizierten Form dürften sie aber wirtschaftlich nur konkurrenzfähig sein, falls sie industriell vorfabriziert und anschliessend mit einer Hebemaschine am Ufer versetzt werden können. Sobald sie an Ort und Stelle betoniert werden müssen, sind einfachere Formen wie Betonprismen trotz dem höheren Elementgewicht wirtschaftlicher. Für den Uferschutz an der Reuss beim Teufelstein erwiesen sich beispielsweise diagonal halbierte Betonwürfel von 3,0 m Kantenlänge um 10% billiger als Akmons; zudem ergaben sie eine um zwei Jahre kürzere Bauzeit, was zusätzlich die Gesamtkosten wegen der kürzeren Wasserhaltung stark reduzierte [7]. Betonprismen in der Form von diagonal getrennten Betonwürfeln kamen am Oberlauf der Reuss im Kanton Uri an verschiedenen Orten erfolgreich zur Anwendung, für einen detaillierten Beschrieb sei auf Schleiss et al. [7] verwiesen. Zitiert werden soll hier der Uferschutz mit Betonprismen am Böschungsfuss der 20 m hohen Stützmauer der Nationalstrasse A2 bei Gütli reussabwärts von Gurtellen-Wiler (Bilder 19 und 20). Die Betonprismen gewährleisteten die Stabilität der Autobahnstützmauer selbst bis zu extremen Hochwasser (ca. $1,5 \times HQ_{100}$).

An der kritischen Stelle wurden 26 diagonal getrennte Betonwürfel von 3 m Kantenlänge zweireihig angeordnet (Bild 20). Die Halbwürfel bzw. Betonprismen haben ein Gewicht von 34 t. Der Abstand der einzelnen Würfel beträgt ca. 2 m. Die Würfelreihen wurden überschüttet und mit einem sekundären Blockwurf abgedeckt, der ein Freilegen der Betonprismen erst ab grösseren Hochwasser (zwischen HQ_{50} und HQ_{100}) zulässt. Diese sekundäre Massnahme erlaubt die landschaftliche Integration des Uferschutzes und das Aufkommen eines bedeutenden Ufergehölzes.

6. Buhnen

Buhnen an Gebirgsflüssen orientieren sich an seitlich in den Fluss hereinragenden Felsrippen, welche die Strömung ablenken und so die Ufer bereichsweise vor Erosionen schützen.

6.1 Blockbuhnen

Blockbuhnen werden aus einzelnen Blöcken aufgebaut. Um den Strömungskräften widerstehen zu können, ergeben sich für Gebirgsflüsse sehr grosse Blockgewichte, welche wie in Abschnitt 5 erwähnt weder gewinn- noch transportierbar sind. Es muss also auch hier auf künstliche, aus Beton hergestellte Blöcke zurückgegriffen werden.



Bild 20. Erstellung der diagonal getrennten Betonwürfel (Gurtellen – Gütli, Kanton Uri).

Wiederum gute Erfahrungen wurde mit aus diagonal getrennten Betonwürfeln aufgebauten Bühnen an der Reuss bei Göschenen (Kanton Uri) gemacht [7]. Beim Teufelstein in Göschenen werden Kantonsstrasse und Autobahn mit zehn Blockbühnen, welche etwa 45° in Fließrichtung geneigt sind, vor extremem Hochwasser bzw. Seitenerosion der Reuss geschützt (Bild 21).

Die 18 bis 24 m langen Bühnen bestehen aus 13 bis 10 diagonal halbierten Betonwürfeln von 3 m Kantenlänge (Bilder 22 und 23). Die so entstandenen Prismen haben ein Gewicht von rund 35 t. Die Bühnen wurden mit Aushubmaterial überschüttet und anschliessend mit einem Blockwurf abgedeckt (Bild 21). Dasselbe gilt für die Uferbuchten zwischen den Bühnen. Dieser bepflanzte Blockwurf erfüllt neben der landschaftlichen Integration der Blockbühnen auch einen flussbaulichen Zweck, indem die Erosion der Uferabschnitte zwischen den Bühnen und eine vorzeitige Hinterspülung derselben verhindert wird. Sorgfältig in die Landschaft integrierte Bühnen geben eine abwechslungsreiche, naturnahe Uferlinie. Die im Strömungsschatten liegenden Uferbuchten dienen während Hochwasserabflüssen als Fischrefugien; der angeschwemmte Feinkies kann zudem als Laichgrund dienen.

6.2 Betonscheiben

Grundsätzlich könnten Ablenk Bühnen auch aus massiven Betonscheiben erstellt werden. Neben landschaftlichen und ökologischen Nachteilen können diese starren Fremdkörper eine Unterkolkung durch Nachrutschen in die Erosionsgrube nicht hinauszögern. Wegen ihrer grosse Angriffsfläche besteht bei extremen Hochwasser zudem die Gefahr, dass die Scheiben verschoben werden und diese die Strömung ungünstig beeinflussen können.

7. Künstliche Felssporne

Grosse seitliche Felssporne an Gebirgsflüssen zwingen diesen eine Mäanderbewegung auf. Wo nötig, können solche Sporne zur grossräumigen Umlenkung der Strömung künstlich mit Beton und Steinblöcken erstellt werden. Als Beispiel sei der Umlenksporn in Gurtellen-Wiler an der Reuss erwähnt [1, 3, 4]. Ein natürlicher Felssporn lenkte bis Ende des 19. Jahrhunderts die Reuss in die drei Mäander durch den Dorfbereich von Gurtellen-Wiler. Dieser Felssporn wurde mit dem Gotthardbahnbau Ende des 19. Jahrhunderts teilweise abgetragen, sodass sich beim Hochwasser 1987 wegen der geänderten Umlenkbedingungen die Mäander verschoben, was katastrophale Seitenerosionen in Gurtellen-Wiler zur Folge hatte. Mit dem



Bild 21. Überschüttete Blockbühnen an der Reuss (Göschenen – Teufelstein, Kanton Uri).

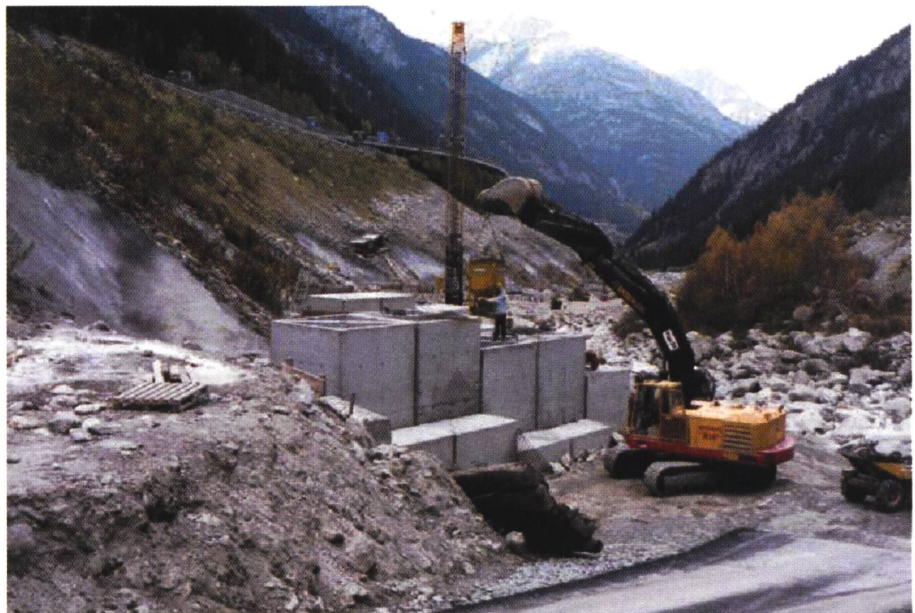


Bild 22. Umlenk Bühnen aus diagonal getrennten Betonwürfeln an der Reuss (Göschenen – Teufelstein, Kanton Uri) [7].

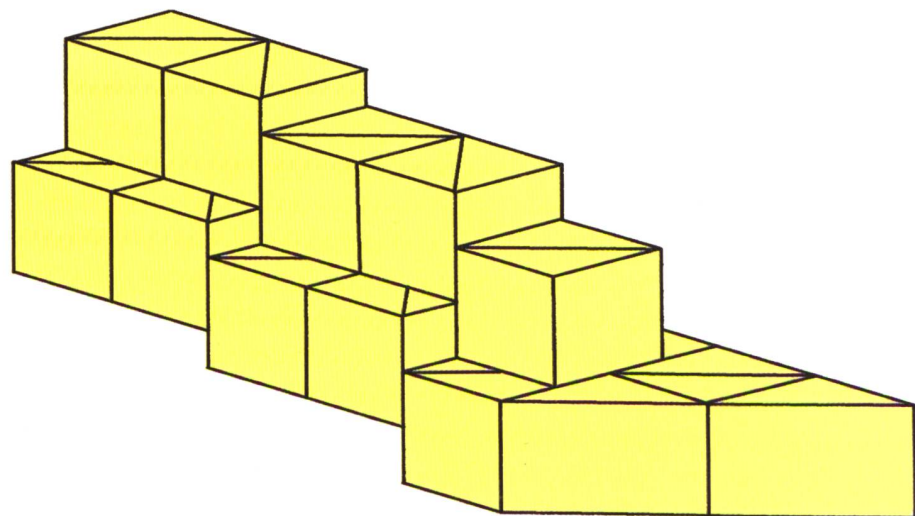


Bild 23. Perspektivische Ansicht einer Würfelbühne (Göschenen – Teufelstein, Kanton Uri) [7].

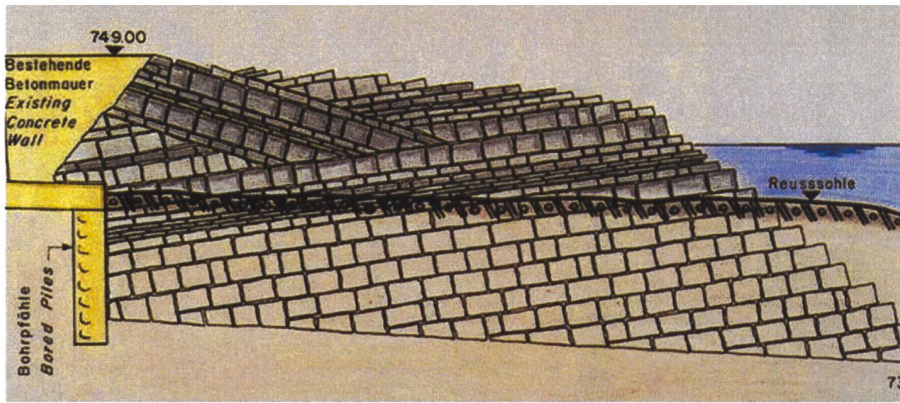


Bild 24. Mit Granitquadern verkleideter Umlenksporn aus Beton an der Reuss (Gurtellen-Wiler, Kanton Uri).



Bild 25. Künstlicher Umlenksporn ein Jahr nach der Erstellung (Gurtellen-Wiler, Kanton Uri).

Hochwasserschutzprojekt wurde dieser Felssporn reaktiviert, indem reussseitig des Bahngleises ein künstlicher Sporn in Beton erstellt wurde (Bilder 24 und 25). Die Oberfläche des Spornes wurde durch eine Verkleidung mit bruchrohen Granitquadern felsähnlich gestaltet, indem die Fugen wie Kluftscharen ausgebildet wurden. Die Fugen sind bis in eine Tiefe von 20 bis 30 cm frei, sodass der Sporn kurz nach der Erstellung schon von relativ seltenen Nischenpflanzen bevölkert wurde.

8. Künstliche Residualblöcke als aufgelöste Elemente

Künstliche Residualblöcke können in Gruppen flächenhaft angeordnet auch als aufgelöster Ufer- bzw. Erosionsschutz für Einzelobjekte wie Brückenpfeiler und Mauerfundationen dienen. Für entsprechende Ausführungsbeispiele sei auf Schleiss et al. [7] verwiesen.

9. Schlussfolgerungen

Uferschutzmassnahmen an Gebirgsflüssen sind besonders widerstandsfähig, wenn sie sich an den Kräften und dem natürlichen Verhalten des Gewässers orientieren und den in der Natur vorkommenden Elementen wie Felswände, Felssporne und grosse Bergsturzböcke nachempfunden sind. Alle Uferschutzmassnahmen, auch Ufermauern, sollten eine möglichst grosse Oberflächen- und Makrorauigkeit aufweisen. Flussbaulich gesehen hat der Uferschutz dadurch eine erhöhte Sicherheit gegen Unterkolkung. Aus Sicht des Landschaftschutzes ergibt sich ein abwechslungsreicheres Ufer, das seine ökologische Funktion besser erfüllt. Sekundäre Massnahmen, wie erosionsresistente Überschüttungen der Schutzelemente, erlauben auch deren Überwachsen mit wertvollen Ufervegetationen.

Literatur

- [1] Schleiss, A.: Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtellen. «wasser, energie, luft», Heft 5/6, 1996, S. 93–98.
- [2] Schleiss, A.: Bedeutung des Geschiebes beim Hochwasserschutz. «wasser, energie, luft», Heft 3/4, 1999, S. 71–76.
- [3] Schleiss, A.; Bär, H.; Gmür, A.: Projektierung und Bau von Hochwasserschutzmassnahmen an der Reuss in Gurtellen-Wiler. Internationales Symposium Interpraevent, Bern 1992, Tagungsband 5, S. 43–54.
- [4] Bär, H.: Bautechnische Besonderheiten bei der Projektierung und Bauausführung (der Hochwasserschutzmassnahmen in Gurtellen-Wiler). «wasser, energie, luft», Heft 5/6, 1996, S. 107–109.
- [5] Dénes, R.: Uferschutzmauern mit hoher hydraulischer Rauigkeit. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 4, 1994, S. 45–52.
- [6] Schleiss, A.: Bemessung und Gestaltung von Blockwürfen an Gebirgsflüssen. Internationales Symposium Interpraevent, Graz 2000, erscheint in den Tagungsbanden.
- [7] Schleiss, A.; Aemmer, M.; Philipp, E.; Weber, H.: Erosionsschutz an Gebirgsflüssen mit eingegrabenen Betonprismen. «wasser, energie, luft», Heft 3/4, 1999, S. 45–52.
- [8] Vischer, D.; Bezzola, G. R.: Wasserbausteine aus Beton – einige neuere Entwicklungen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1/2, 1999.

Adresse des Verfassers

Prof. Dr. Anton Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, CH-1015 Lausanne, E-Mail: anton.schleiss@epfl.ch oder über Internet: <http://lchwww.epfl.ch/>