Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 11-12

Artikel: Eine neuartige Verbauungsmethode in Gebirgsflüssen
Autor: Bezzola, Gian Reto
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940600

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: 23.08.2025

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

Literaturverzeichnis

Bezzola, G. R., Hunziker, R., und *Jäggi, M.,* (1991): Flussmorphologie und Geschiebehaushalt im Reusstal während des Ereignisses vom 24./25. August 1987. Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie Nr. 14. Eidg. Druck- und Materialzentrale, Bern.

Buck, W. (1976): Die Auswahl des Bemessungshochwassers als ein Entscheidungsproblem unter Risiko und Ungewissheit. Mitteilungen des Theodor-Rehbock-Flussbaulaboratoriums Nr. 165, Universität Fridericiana, Karlsruhe.

Dracos, Th. (1980): Hydrologie. Eine Einführung für Ingenieure. Springer Verlag Wien/New York. 194 S.

Epprecht, M., und *Tschopp, J.* (1992): Konzept für den Hochwasserschutz des Reusstales vom Urnersee bis Amsteg. Internationales Symposion Interpraevent, Bern. Bd. 5, 55–66.

Jäggi, M., and *Zarn, B.* (1990): A New Design Policy in Flood Protection Schemes as a Result of the 1987 Flood in Switzerland. Proc. International Conference on River Floods Hydraulics, Wallingford, UK, Sept. 17–20, 1990, paper C2, 75–84.

Jäggi, M. N. R. (1988): Sicherheitsüberlegungen im Flussbau, «wasser, energie, luft», 80. Jahrgang, 1988 Heft 9, 193–197.

Katz, W. (1992): Schutzziel – Richtlinie für ein alpines Flussgebiet. Internationales Symposion Interpraevent, Bern. Bd. 4, 27–38.

Naef, F., und *Jäggi, M.,* (1990): Das Hochwasser vom 24./25. August 1987 im Urner Reusstal. «wasser, energie, luft». 82. Jahrgang, 1990, Heft 9, 43–54.

Schleiss, A., Bär, H., und *Gmür, A.* (1992): Projektierung und Bau von Hochwasserschutzmassnahmen an der Reuss in Gurtnellen-Wiler. Internat. Symposion Interpraevent, Bern. Bd. 5, 43–54.

Stevens, M. A., Simons, D. B., Lewis, G. L. (1976): Safety Factors for Riprap Protection, Proc. ASCE, J. of Hydr. Div., vol. 102, HY5, 637–655.

Vischer, D. (1977): Wie lassen sich Hochwasserschutzmassnahmen rechtfertigen? «Schweizerische Bauzeitung», Heft 29, 21. Juli 1977, 503–508.

Vischer, D. (1980): Das grösstmögliche Hochwasser und der empirische Grenzabfluss, «Schweiz. Ingenieur und Architekt», H. 40.

Vischer, D. (1986): Die schweizerischen Gewässerkorrektionen des 19. Jahrhunderts. Zeugen einer friedlichen Eroberung. «Neue Zürcher Zeitung», Nr. 2, S. 39.

Eine neuartige Verbauungsmethode in Gebirgsflüssen

oder

Was haben Meeresküsten und nepalesische Gebirgsflüsse gemeinsam?

Gian Reto Bezzola

Zusammenfassung

Die Antwort auf die im Titel aufgeworfene Frage sei gleich vorweggenommen: Sowohl im Küstenschutz als auch bei der Verbauung nepalesischer Gebirgsflüsse gelangen ähnliche Elemente zum Einsatz. Anhand eines Fallbeispiels wird im folgenden Artikel eine neuartige Verbauungsmethode im Gebirgswasserbau vorgestellt.

Résumé: Une nouvelle technique d'aménagement d'un cours alpin

Qu'est-ce qu'un torrent népalais et un littoral maritime ont-ils en commun? Dans les deux cas, des éléments de protection semblables sont utilisés pour combattre l'érosion. Sur la base d'un exemple, une nouvelle technique d'aménagement d'un cours d'eau alpin est présentée dans cet article.

Abstract: A new river training technique for alpine rivers

What do shore lines and Nepalese mountain streams have in common? In both cases similar structural elements are used to prevent erosion. In the following article a new river training technique for alpine rivers is presented by means of an example.

1. Einleitung

Der Charnawati Khola (Khola = Fluss) entspringt in der Hügelregion, welche dem Himalaya südlich vorgelagert ist. Seine Quelle befindet sich rund 60 km nordöstlich von Kathmandu. Der Charnawati entwässert Richtung Südosten und ist einer der vielen Flüsse im Einzugsgebiet des Ganges. Im Sommer 1987 unterbrach ein Monsunhochwasser des Charnawati die Gebirgsstrasse, die vom Arniko-Highway (welcher Kathmandu mit dem Tibet verbin-

Bild 1. Situation am Charnawati im Frühling 1990. Unterhalb der Strassenquerung (am linken oberen Bildrand) ist der Fluss mit Steinkorbsperren verbaut. Im anschliessenden Steilbereich erreichen die ausgedehnten Hangrutsche die Strasse.

det) abzweigt und über Charikot durch das Projektgebiet der Schweizer Entwicklungshilfe nach Jiri führt. Die Brükke über den Charnawati wurde zerstört, und der Fluss schnitt sich tief in sein enges Tal ein. Die Abtiefung und die Unterschneidung der Ufer löste ausgedehnte Hangrutsche aus, welchen auch ein Teil der Strasse zum Opfer fiel (Bild 1). Neben der raschen Instandstellung der Strasse und der Stabilisierung der Rutschungsgebiete wurde auch die Notwendigkeit einer umfassenden Verbauung des Charnawati erkannt. Nur durch eine im Flussbett beginnende Verbauung der Talflanken ist eine dauerhafte Stabilisierung der Hangrutsche möglich.

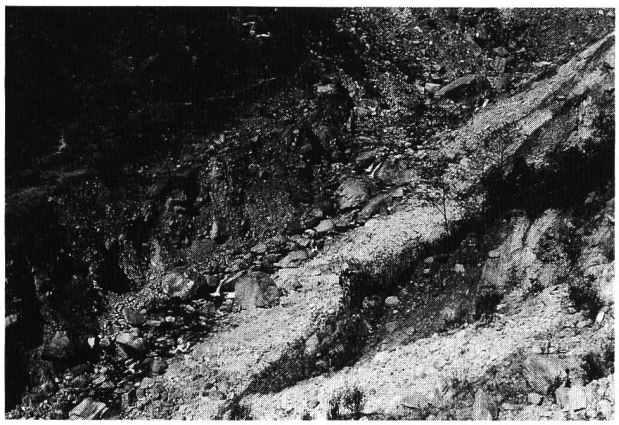

Bild 2. Mittlerer Abschnitt der zu verbauenden Flussstrecke mit markanten Blockstufen und einer natürlichen Blockrampe in Bildmitte.

Bild 3. Blockrampe aus künstlichen Betonelementen als Kolkschutz im Anschluss an den Fallboden der untersten Sperre.

Bild 4. Kleineres Monsunhochwasser mit einem Abfluss von 40 bis 50 m^3/s. Das Bild zeigt die Rampe aus Bild 2, diesmal vom rechten Ufer aus gesehen. Erkennbar sind von links oben nach rechts unten eine «Buhne», ein CAB-Depot sowie ein «Blockwurf» (Foto: ITECO).

2. Der Charnawati Khola

Der höchste Punkt des bei der Brücke rund 14 km^2 grossen Einzugsgebiets liegt auf rund 3350 m ü.M. Die Strassenquerung befindet sich auf einer Kote von 1890 m ü.M. Praktisch das gesamte Einzugsgebiet ist bewaldet. Während des Monsuns sind Regenereignisse mit maximal 80 bis 120 mm Niederschlag während 24 Stunden keine Seltenheit. Anhand von Hochwasserspuren wurde der Spitzenabfluss von 1987 auf mindestens 150 m^3/s geschätzt.

Oberhalb der Brücke weist der Fluss ein mittleres Längsgefälle zwischen 10 und 15% auf. Unterhalb der Brücke folgt ein flacherer Abschnitt von rund 400 m Länge mit einem Gefälle von etwa 10%. Anschliessend nimmt das Längsgefälle wieder zu und beträgt im Bereich der grössten Hangrutsche über 20%. Die Sohlbreiten liegen zwischen 15 und 20 m.

Charakteristisch für den Charnawati sind die ausgesprochen groben Blöcke im Flussbett und in den Talflanken. Ihre natürliche Gruppierung zu Stufen oder natürlichen Blockrampen (Bild 2) verleiht der Flusssohle einen hohen Erosionswiderstand und bewirkt eine markante Abtreppung des Längenprofils. Ein weiteres typisches Element sind die in den Steilbereichen zu beobachtenden Diagonalstrukturen. Im groben Flussgeschiebe bilden sich Sohlenformen, welche stark an die sonst von kleineren Gefällen her bekannten Schrägbänke erinnern. Dadurch entsteht ein zickzackförmiger Talweg, und bei grösseren Abflüssen schiesst die Strömung in die übersteilen Uferböschungen. Die Diagonalstrukturen weisen im Vergleich zu den Blockstufen eine deutlich kleinere Stabilität auf. Bereits mittlere Hochwasser können zur Verlagerung der Bänke führen. Die Folge davon sind relativ zufällige Uferangriffe auf der gesamten Flusslänge. Der Charakter des Einzugsgebiets sowie die Bachstruktur lassen Murgänge im Hauptgerinne als recht unwahrscheinlich erscheinen.

Nach dem Hochwasser von 1987 wurden die Flussabschnitte unmittelbar ober- und unterhalb der Brücke durch eine Serie von Sperren verbaut. Diese Sperren entsprechen in ihrer äusseren Form den aus dem alpinen Raum bekannten Wildbachsperren aus Beton, bestehen aber aus Steinkörben (Gabionen). Da die vorhandenen technischen Mittel nur einen Aushub von Hand erlauben, ist es nicht möglich, die Sperren tief in die Flusssohle und in die Böschungen einzubinden. Der Kolk am Sperrenfuss muss daher unterbunden werden, was durch einen Fallboden aus Beton geschieht. Um einem seitlichen Umspülen der Sperren zu begegnen, werden diese durch Längsmauern aus Steinkörben miteinander verbunden (Bild 3).

Die Verwendung von Steinkörben für derartige Verbauungen ist eine Technik, die auch von einheimischen Unternehmungen beherrscht und deshalb häufig angewandt wird. Allerdings unterliegen solche Bauwerke in steilen Gerinnen mit intensivem Geschiebetransport starken Belastungen und müssen vor allem gegen Abrasionserscheinungen durch einen periodisch zu erneuernden Betonmantel geschützt werden. Bei noch steileren Gefällen ist die Anwendung dieser Verbauungsmethode problematisch, da hohe Sperren resultieren beziehungsweise bei kleineren Sperrenabständen das Bauvolumen rasch gross wird. Ein spezielles Problem stellt die Energieumwandlung am Sperrenfuss dar. Auf dem Fallboden wird

nur ein geringer Teil der Energie des Fallstrahls umgewandelt. Dadurch ergeben sich zwischen den Sperren deutlich höhere Fliessgeschwindigkeiten als bei vergleichbaren Sperrentreppen mit freier Kolkentwicklung.

3. Grundidee

Die Grundidee für die Verbauung des kritischen Abschnitts im Anschluss an die Sperrenserie unterhalb der Brücke bestand darin, die Deckschicht des natürlichen Gerinnes anzureichern und so dessen Erosionswiderstand zu erhöhen. Die Anreicherung geschieht durch Betonblöcke, sogenannte CABs (Concrete Armour Blocks). Die Verbauung wird der Morphologie des steilen Gebirgsflusses angepasst, indem die vorhandenen groben Blökke und Blockstufen in die Verbauung integriert und nicht, wie im Fall einer Sperrentreppe, überdeckt werden. Die Betonblöcke müssen eine gewisse Masse aufweisen, damit sie der Strömung bei Hochwasser standhalten. Im vorliegenden Fall wurden Blöcke mit einem Gewicht von rund 11 t verwendet. Da Blöcke dieses Gewichts nicht mehr versetzt werden können, wurden die CABs an Ort und Stelle betoniert. Eine zusätzliche Erhöhung der Stabilität der Betonblöcke kann durch eine günstige (aufgelöste) Form erreicht werden, durch welche einerseits das Verhaken der CABs untereinander gefördert, andererseits günstigere Auflagebedingungen im groben Flussbett geschaffen werden.

Die Betonelemente wurden in der Regel nicht isoliert plaziert, sondern zu Strukturen gruppiert. Die Auslegung der Strukturen und ihre Wirkungsweise wurden in einem hydraulischen Modell überprüft. Das ausgeführte Projekt enthält bekannte Elemente aus dem konventionellen Flussbau, die aber wegen der ungewohnten Form und Grösse der verwendeten «Bausteine» auf den ersten Blick fremdartig erscheinen. Die Grundformen der realisierten Strukturen lassen sich vereinfacht in die drei Kategorien

- Sohlrampe (Bild 3)
- Blockwurf (Bild 4)
- Buhne (Bild 4)

einteilen. Bedingt durch die Herstellung der Betonelemente an Ort und Stelle, kann nicht im vornherein eine maximale Belegungsdichte mit CABs erreicht werden. Diese ergibt sich aber, wenn die Betonblöcke durch mittlere und grössere Hochwasser zusammengeschoben werden. Diese Bewegungen erlauben ein Verkeilen der CABs, so dass ein dichter und flexibler Verband entsteht. Bei der Erstellung der Strukturen müssen die zu erwartenden Bewegungen berücksichtigt werden. Sohlrampen und Buhnen weisen daher unmittelbar nach ihrer Erstellung eine grössere räumliche Ausdehnung aus als nach dem Durchgang der ersten grösseren Hochwasser. Die Strukturen werden auf vorhandene natürliche Blöcke abgestützt.

Ein besonderes Element stellen die CAB-Depots in den Flanken dar (Bild 4). Sie sind so ausgelegt, dass die Betonelemente nachrutschen können und so die durch Bewegungen von einzelnen CABs im darunterliegenden Verband entstandenen Lücken schliessen können. Ausserdem schützen sie höhergelegene Böschungspartien im Fall einer übermässigen Hebung der Flusssohle.

4. Wirkungsweise

Die Anreicherung des bestehenden Flussbetts mit Betonelementen hat den Vorteil, dass die Gerinnerauhigkeit insgesamt erhöht wird. Durch die zusätzlichen Energieverluste wird die Strömung verlangsamt. Die CAB-Strukturen sind durchlässig, wodurch der Oberflächenabfluss reduziert wird. Durch die gezielte Plazierung von Betonelementen kann der Erosionswiderstand des Gerinnes lokal beeinflusst werden. Im vorliegenden Fall wurde das wichtigere linke Ufer stärker verbaut, so dass eine bei Extremereignissen zu erwartende Gerinneverbreiterung vor allem im Bereich des rechten Ufers stattfindet. Ein Hauptvorteil der neuen Verbauungsmethode ist deren Flexibilität. CAB-Strukturen vermögen Bewegungen des Untergrunds mitzumachen und aufzufangen, ohne dass ihr Gefüge wesentlich aufgelockert wird. Ein schlagartiger Kollaps der Strukturen findet selbst bei Extremereignissen nicht statt. Vielmehr ist ein sukzessiver Abtransport einzelner Betonelemente zu beobachten, welcher zunächst durch ein Nachrutschen von Elementen aus den Depots kompensiert wird. Erst nach einer Serie von mehreren extremen Hochwassern sind grössere Lücken in der Verbauung zu erwarten, welche aber durch neu zu erstellende Betonblöcke wieder geschlossen werden können.

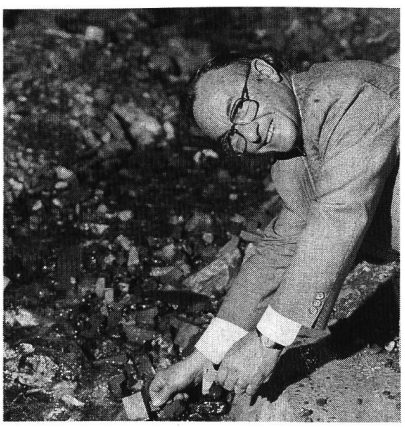

Bild 5. Bei innovativen Projekten legt der Chef auch selber Hand an.

Eine erste «Feuertaufe» erlebte die zum damaligen Zeitpunkt erst zur Hälfte realisierte Verbauung während des Monsuns von 1990 (Bild 4). Das grösste Hochwasser dieser Regenperiode wies einen Spitzenabfluss von etwa 80 m^3/s auf und konnte in den bereits verbauten Abschnitten ohne nennenswerte Schäden abgeführt werden.

5. Zusammenfassung und Folgerungen

Die Verbauung steiler und nicht murfähiger Gebirgsflüsse mit künstlichen Blöcken stellt eine ökologisch interessante Alternative zur konventionellen Verbauung mittels Sperrentreppen dar. Die in einem Gerinne vorhandenen Gröbstkomponenten können in die Verbauung integriert werden, welche somit der Morphologie eines solchen Steilgerinnes weit mehr entspricht als zum Beispiel eine Sperrentreppe. Eine aufgelöste Form der Betonelemente bringt neben einer hohen Stabilität auch eine optisch bessere Integration der Elemente in einem grobblockigen Flussbett mit sich. Einen besonderer Vorteil stellt die Flexibilität der Verbauung dar, welche ein plötzliches Versagen des Bauwerks weitgehend ausschliesst.

Verdankung
An dieser Stelle sei der Direktion für Entwicklungszusammenarbeit und Humanitäre Hilfe des Bundes (DEH) als Bauherrn für die Bereitschaft gedankt, ein unkonventionelles Konzept für eines ihrer Projekte zu akzeptieren und bis zur Reife zu fördern. Ein spezieller Dank gebührt auch dem Projektanten, der Gesellschaft für internationale Technische Zusammenarbeit und Entwicklung, ITECO in Affoltern am Albis.

Adresse des Verfassers: *Gian Reto Bezzola,* Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW), CH-8092 Zürich