

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 91 (1999)
Heft: 3-4

Artikel: Bedeutung des Geschiebes bei Hochwasserschutz
Autor: Schleiss, Anton
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940040>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Bedeutung des Geschiebes beim Hochwasserschutz

Anton Schleiss

Zusammenfassung

Das Vorhandensein von Geschiebe bewirkt eine Wechselwirkung zwischen Abfluss und Flussbett indem Geschiebe abgelagert oder erodiert werden kann. Diese Interaktion verändert den Gerinnequerschnitt sowie dessen hydraulische Eigenschaften und beeinflusst die Transportkapazität bezüglich Geschiebe massgebend. Das Geschiebe ist an allen gefährlichen Prozessen wie Erosion, Überschwemmung und Übermürung direkt oder indirekt beteiligt. Der Bemessungsabfluss muss auch bei möglichen Geschiebeszenarien noch abgeführt werden können. Die Wahl der Schutzmassnahmen wird sehr stark durch das Geschiebe beeinflusst.

Résumé

La présence de charriage dans une rivière provoque une interaction entre l'écoulement et le lit qui produit des dépôts ou de l'érosion. Cette interaction modifie la section et les caractéristiques hydrauliques de la rivière, ce qui influence de manière déterminante la capacité de transport par charriage. Le charriage est impliqué directement ou indirectement dans tous les processus dangereux tels que par exemple l'érosion, les inondations et les laves torrentielles. Le débit de dimensionnement doit être maîtrisé en considérant tous les scénarios de charriage possibles. Le choix des mesures de protection est fortement influencé par le charriage.

1. Einleitung

«Haben Sie das Geschiebe berücksichtigt?» Diese Frage, anlässlich der Präsentation eines Hochwasserschutzprojektes gestellt, kann einen noch unerfahrenen Wasserbauingenieur ganz schön in Verlegenheit bringen. Obwohl auf den ersten Blick einfach und salopp, trifft sie doch die Problematik des Hochwasserschutzes im Herzen ihrer Komplexität. Dem am Flussufer stehenden Beobachter bleibt das transportierte Geschiebe selbst bei Hochwasserabflüssen oft verborgen. Höchstens die starke Trübung des Wassers, seine bewegte Oberfläche und allenfalls ein dumpfes Grollen lassen erahnen, dass auf dem Flussgrund etwas in Bewegung ist. Bei extremen Ereignissen wie Murgängen und Übersarungen übertrumpft bzw. verlässt das Geschiebe sozusagen das Wasser und tritt brutal zutage.

Beim Hochwasserschutz haben die Gefahrenanalyse, die Differenzierung der Schutzziele, die Massnahmenplanung sowie die Begrenzung des verbleibenden Risikos eine zentrale Bedeutung [1]. Der Stellenwert des Geschiebes soll für diese vier Bereiche im nachfolgenden diskutiert werden. Vorerst werden kurz einige theoretische Zusammenhänge bei der Interaktion zwischen Abfluss und Geschiebe aufgezeigt.

2. Interaktion Abfluss – Geschiebe

2.1 Ursache

Bei Flüssen, welche auf alluvionalen Böden – also im Lockermaterial – abfliessen, entsteht zwangsläufig eine Interaktion zwischen dem Flussbett und dem Abfluss, indem Geschiebe ein- oder ausgetragen wird. Diese Interaktion beeinflusst die Form des Flussbettes und somit den Fließwiderstand sowie den Abflussquerschnitt selbst.

Gleichzeitig wird dadurch die Transportfähigkeit bezüglich Geschiebe bestimmt.

Diese Interaktion bewirkt globale Erscheinungen in Gewässerabschnitten wie Veränderung der Sohlenform, Erosion und Auflandung. Zusätzlich manifestieren sich lokale Phänomene wie z. B. Kolke und Geschiebebänke in Kurven.

2.2 Fließwiderstand und Abflussgeschwindigkeit

Das Geschiebe auf der Flusssohle wirkt als Rauigkeitselement und beeinflusst somit direkt den Fließwiderstand. Für ein breites Gerinne mit ebener Sohle, stationärem und gleichförmigem Abfluss wurde basierend auf dem logarithmischen Fließgesetz folgende empirische Beziehung für die mittlere Fließgeschwindigkeit vorgeschlagen [2]:

$$v_m = \sqrt{gh} J^{0.5} \ln \left(12.27 \frac{h}{2d_{90}} \right). \quad (1)$$

Mit dem Korrekturfaktor für das Gefälle

$$J = J \left(1 - e^{\frac{-0.02h}{d_{90} \cdot J}} \right) \quad (2)$$

wird berücksichtigt, dass bei abnehmendem h/d_{90} die Körner immer mehr aus der Sohle herausragen und somit stärkere lokale Energieverluste verursachen.

Vielfach wird in der Praxis das einfachere Fließgesetz von Strickler verwendet:

$$v_m = k_{St} h^{2/3} J^{1/2} \quad (3)$$

mit $k_{St} = \frac{21.1}{\sqrt[6]{d_{90}}}$.

Die Strickler-Formel ergibt aber für Verhältnisse $h/d_{90} < 10$ zu grosse Abflussgeschwindigkeiten. Mit d_{90} als massgebendem Rauigkeitselement, wird die Bildung einer Deckschicht durch natürliche Sohlenabpflasterung berücksichtigt.

Bei schmalen Gerinnen ($B_F < 10h$) ist der Wandeneinfluss zu berücksichtigen und anstelle der Abflusstiefe h in Gleichung (1) oder (3) ist der auf die Sohle wirksame hydraulische Radius R_s einzusetzen. Für die Ermittlung des Abflusses sind zusätzlich die Teilquerschnitte der Ufer zu berücksichtigen, wozu normalerweise das Fließgesetz von Strickler verwendet wird. Unter Annahme, dass die mittlere Geschwindigkeit in allen Teilflächen gleich ist, ergibt sich der auf die Uferbereiche bezogene hydraulische Radius:

$$R_{eff} = \left(\frac{v_m}{k_{St} J^{1/2}} \right)^{1.5} \quad (4)$$

Die effektive Abflussfläche für die Berechnung des Abflusses folgt aus

$$A_{eff} = R_s B_F + \sum (R_{ui} P_{ui}) \quad (5)$$

Bei sehr breiten Flüssen wird der Einfluss des Geschiebes auf das Abflussverhalten noch grösser, indem sich Sohlenformen ausbilden, beispielsweise Riffel, Dünen und

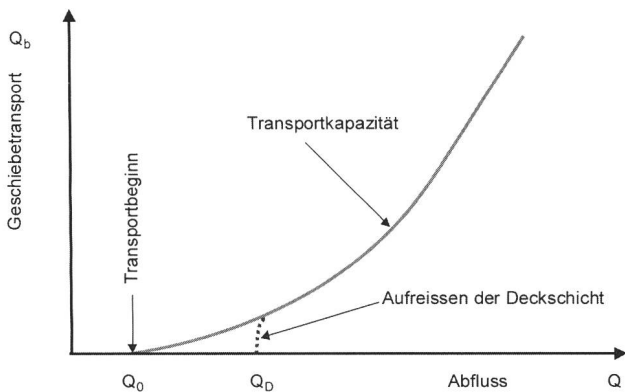


Bild 1. Schematische Darstellung einer Geschiebefunktion.

Bänke. Diese können einen zusätzlichen Formverlust bewirken. Bei grösseren Abflusstiefen mit Geschiebetransport kann der Einfluss von Bänken auf den Fließwiderstand vernachlässigt werden [2, 3]. Falls sich verzweigte Gerinne ausbilden, können die Berechnungen an einem Ersatzgerinne mit ebener Sohle durchgeführt werden [3].

2.3 Geschiebetransportkapazität

Ein Schlüsselfaktor bei der Interaktion zwischen Abfluss und Geschiebe ist die Geschiebetransportkapazität. Für relativ schmale und einarmige Flüsse kann die Transportkapazität im Gleichgewichtszustand nach der VAW-Formel für Gefälle zwischen 1‰ und 20 ‰ berechnet werden [4, 5]:

$$Q_b = B_F \rho_s 2,5 R_x v_m J^{0,6} \left(J - \frac{d_m}{12,1 R_x} \right) \quad (6)$$

Dabei wurde für die dimensionslose kritische Schubspannung $\theta_{cr} = 0,05$ und für $\rho_s/\rho_w = s = 2,68$ eingesetzt.

Wird dieser Geschiebetransport in Abhängigkeit des Abflusses dargestellt, so ergibt sich die sogenannte Geschiebefunktion (Bild 1). Überschreitet der Abfluss den Wert Q_0 so kann grundsätzlich Geschiebe transportiert werden. Aber erst nach Aufreissen der Deckschicht, das heisst bei Abflüssen über Q_D , ist Geschiebetransport unter Gleichgewichtsbedingungen möglich [6]. Bei Gleichgewicht ist die Lage der Sohle stabil, der Geschiebeeintrag in einen betrachteten Gewässerabschnitt entspricht dem Geschiebeausstrag, und die Kornverteilung des transportierten Mate-

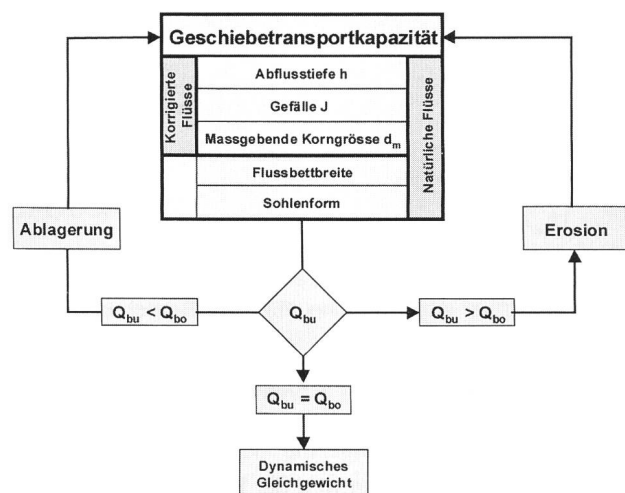


Bild 2. Einfluss der Geschiebetransportkapazität auf das dynamische Gleichgewicht in einem Gewässerabschnitt.

rials ist identisch mit derjenigen der Unterschicht. Die Deckschicht verhindert unabhängig von der Geschiebezufuhr eine Erosion. Das Aufbrechen der Deckschicht kann mit der Formel von Günter [7] abgeschätzt werden:

$$h_D = \frac{0,05(s-1)d_m}{J} \left(\frac{d_{mD}}{d_m} \right)^{2/3} \quad (7)$$

Daraus ergibt sich auch der entsprechende Grenzabfluss Q_D . Für Abflüsse zwischen Q_0 und Q_D kann die Geschiebefunktion nicht klar definiert werden.

Die Geschiebetransportkapazität kann grundsätzlich auf die Parameter Abflusstiefe, Gefälle, Flussbettbreite und massgebende Korngrösse des Geschiebes reduziert werden (Bild 2). Ist für Abflüsse grösser Q_D die in eine Strecke eingetragene Geschiebemenge Q_{bo} grösser als die dortige Geschiebetransportkapazität Q_{bu} , so wird Geschiebe abgelagert, was zu Sohlenhebungen und folglich auch zu einer Anhebung des Wasserspiegels führt. Dadurch verändern sich die Parameter Gefälle, Abflusstiefe und allenfalls massgebende Korngrösse, bis der Gleichgewichtszustand erneut erreicht ist (Bild 2). Im Falle von $Q_{bo} < Q_{bu}$ wird Geschiebe durch Erosion aus der Sohle aufgenommen, falls diese nicht stabil ist.

Diese Betrachtungen gelten für gleichbleibende Flussbreiten, wie dies bei den korrigierten und eingeebneten Flüssen der Fall ist. Berechnet man den Geschiebetransport gemäss Gleichung (6) in Abhängigkeit der Flussbreite, so wird bei gleichbleibendem Gefälle ein Transportmaximum erhalten, welches bei einer optimalen Flussbreite B_{opt} liegt (Bild 3, oben). Wird andererseits bei gleichbleibendem Geschiebetransport die Flussbreite variiert, so ist die optimale Breite durch ein minimales Gefälle charakterisiert (Bild 3, unten). Für sehr grosse Flussbreiten würde die Transportkapazität gemäss Gleichung (6) gegen null streben, da eine ebene Sohle vorausgesetzt wird. Tatsächlich strebt aber die Transportkapazität gegen einen Grenzwert, da sich der Abfluss in mehrere Teilgerinne aufteilen kann. Bei breiten Flüssen mit Bänken oder bei verzweigten Flüssen muss deshalb ein anderer Ansatz für die Transportkapazität gewählt werden. Aufgrund neuerer Untersuchungen von Zarn [3] kann diese mit Hilfe des Verhältnisses Flussbettbreite zu optimaler Breite sowie der maximalen Transportkapazität bestimmt werden:

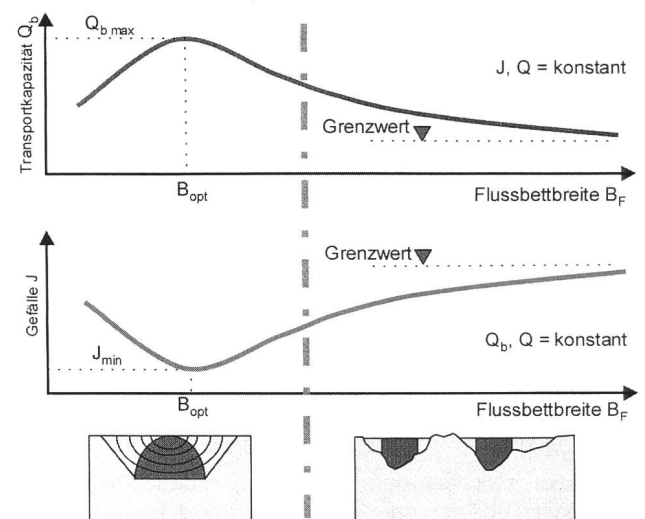


Bild 3. Einfluss der Flussbreite auf die Geschiebetransportkapazität und auf das Gefälle (gemäss [3]).

$$Q_b = Q_{b, \max} \left(3,65e^{-8,86U} - 4e^{-1,5U} + 0,35 \right), \quad (8)$$

wobei $U = B_F / B_{\text{opt}}$
und $Q_{b, \max} = Q_b(B_{\text{opt}})$.

Das Geschiebe kann also bei natürlichen Flüssen deren Morphologie durch Veränderung der Sohlen- und Gerinneform deutlich beeinflussen. Um eine maximale Geschiebetransportkapazität zu erhalten, wurden mit den Korrekturen die Flüsse bis auf die optimale Breite eingeeengt. Als Freiheitsgrad für Geschiebeumlagerungen stehen also nur vertikale Sohlenbewegungen zur Verfügung. Demgegenüber weisen natürliche Flüsse einen weiteren, räumlichen Freiheitsgrad auf, indem sich die Morphologie ändern kann (Bild 2). Dadurch steht natürlich auch mehr Platz für Geschiebeumlagerungen zur Verfügung. Falls aber bei korrigierten Flüssen die Belastungsgrenze (Bemessungsabfluss) überschritten wird, kann sich auch dort die Morphologie als Folge von Geschiebeumlagerungen und Zerstörung der Schutzmassnahmen schlagartig ändern.

2.4 Lokale Erscheinungen

Die Transportkapazität ist ausschlaggebend für die grossräumige Interaktion von Geschiebe und Abfluss. Daneben können lokale Umlagerungen wie Kolke und stationäre Bänke in Krümmungen auftreten. Diese haben im Normalfall keinen Einfluss auf das grossräumige Längsgefälle.

2.5 Erhöhung der Abflusstiefe infolge hoher Geschiebekonzentration

Bei Flüssen mit relativ geringen Gefällen macht der Anteil des Geschiebes am Abflussquerschnitt weniger als 1% aus und kann deshalb bei der Abflussberechnung vernachlässigt werden. Bei steilen Gefällen (> 5%) erhöht sich die Abflusstiefe merkbar und kann durch

$$h_{m_w} / h_{m_g} = 1 - 1,1 J^{1,14} q_B^{0,18} d_m^{-0,27} \quad (9)$$

abgeschätzt werden [5]. Diese Gleichung gilt selbstverständlich nur für Gleichgewichtsbedingungen bezüglich Geschiebetransport und bis zu Gefällen von 20%. Bei diesem Gefälle kann die Abflusstiefe infolge Geschiebe verdoppelt werden.

Bei noch grösseren Gefällen (> 20%) treten eigentliche Murgänge auf, welche nicht mehr mit den Fliessgesetzen (1) oder (3) beschrieben werden können.

3. Gefahrenanalyse und Geschiebe

Das Geschiebe ist an allen Prozessen direkt oder indirekt beteiligt, von welchen bei Hochwasser Gefahren ausgehen können, also Erosion, Überschwemmung, Übersarung und Übermürung (Bild 4).

3.1 Erosion

Erst das Vorhandensein von Geschiebe, also eine bewegliche Flusssohle, ermöglicht Erosion. Dabei unterscheidet man zwischen Tiefenerosion im eigentlichen Flussbett, welche die Gefällsverhältnisse und somit auch die Transportkapazität verändert, und Seitenerosion, welche die Flussbreite vergrössert und damit auch die Transportkapazität verringert. Gleichzeitig ermöglicht letztere ein verstärktes Pendeln bzw. Mäandrieren des Abflusses, wodurch an den Prallufeln Kolke entstehen und somit die Seitenerosion noch zusätzlich verstärkt wird. Mit tiefgründigen Nachrutschungen der Uferböschungen werden zudem grosse

Geschiebemengen eingetragen, welche lokal einen kurzfristigen Aufstau mit anschliessendem murgangartigem Ausbrechen verursachen können. Erodirtes Material beeinflusst also den Geschiebehaushalt, was in kritischen Gewässerabschnitten zwangsläufig wieder zu gefährlichen Ablagerungen führt.

3.2 Überschwemmungen und Übersarungen

Überschwemmungen können als Folge von zuviel Wasser oder Geschiebe oder von beidem entstehen. Eine die Transportkapazität übersteigende Geschiebezufuhr verursacht Auflandungen und einen Anstieg des Wasserspiegels. Verlässt der Abfluss teilweise das Flussbett, so wird die Transportkapazität weiter verringert und die Auflandung zusätzlich angefacht. Dadurch nehmen die Ausuferungen noch zu; diese können erhebliche Feststoffe enthalten und so Übersarungen verursachen.

Besonders gefährdet durch Auflandungen sind Gefällsnicke und Engpässe, beispielsweise Brückendurchlässe.

Mehr oder weniger abrupte Gefällsnicke findet man immer auf alluvialen Schwemmkegeln [8]. Um das Geschiebetransportvermögen zu erhöhen, wurden die Gerinne auf dem Schwemmkegel eingeeengt, kanalisiert und oftmals mit einer festen Sohle versehen. Die oberliegende Teilstrecke liegt normalerweise im Fels oder wird durch Residualblöcke stabilisiert, so dass keine bedeutende Geschiebemengen aufgenommen werden können (Bild 5). Massgebend für die mögliche Geschiebezufuhr wirkt demzufolge meistens die Zulaufstrecke zu diesem Teilstrecke. In diesem Falle wird sie als Schlüsselstrecke bezeichnet [8]. Der Geschiebeüberschuss als Differenz zur Geschiebezufuhr und der Maximalfracht auf dem Schwemmkegel manifestiert sich in einem Verlandungskörper im Gefällsnick. Dessen Ausdehnung bzw. die Sohlenveränderungen lassen sich heute mit numerischer Simulation ermitteln [6]. Zeitlich treten die maximalen Sohlenhebungen erst nach dem Durchgang der Hochwasserspitze auf, was auch den Wasserspiegel noch weiter ansteigen lässt.

Brücken mit ungenügenden Durchflussquerschnitten in Ablagerungstrecken sind besonders gefährdet. Falls sich Abfluss unter Druck ausbilden kann, erhöht sich grundsätzlich die Geschiebetransportkapazität im Brückenquerschnitt. Meistens ist dies aber nicht der Fall, und es gibt oberhalb der Brücke seitliche Wasseraustritte, welche die Transportkapazität weiter verringern. Dieser Prozess kann sich bis zur fast vollständigen Auffüllung des Hauptgerinnes mit Geschiebe anfachen und verheerende Übersarungen verursachen, wie das Ereignis von Brig-Glis zeigte [9].

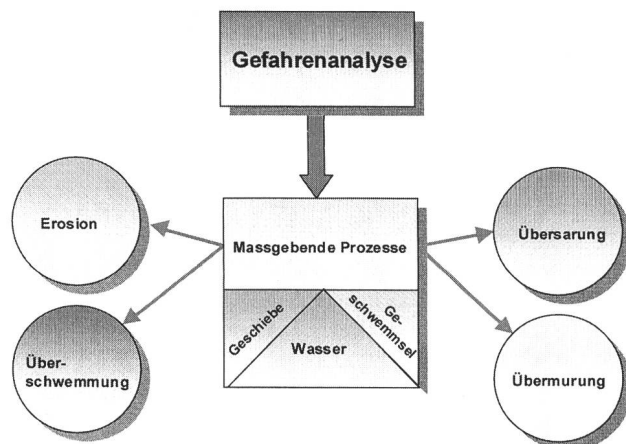


Bild 4. Massgebende Prozesse bei der Gefahrenanalyse.

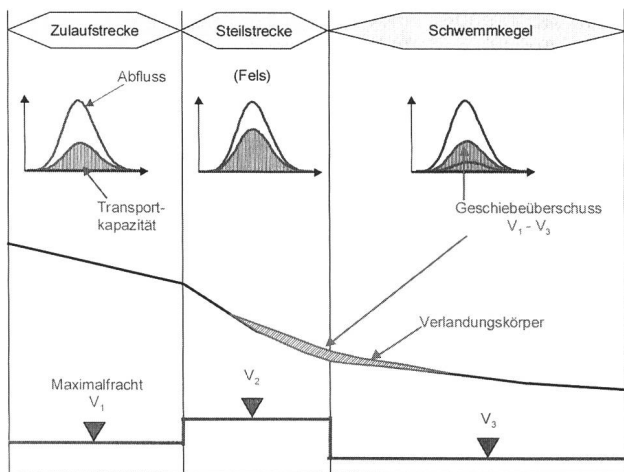


Bild 5. Schematisches Längenprofil mit Ganglinien für Abfluss und maximale Geschiebeführung (oben). Maximal mögliche Geschiebefracht in den verschiedenen Abschnitten (unten).

3.3 Übermürungen

Das Geschiebe ist zweifellos der Haupttäter bei Übermürungen. Als solche werden Ablagerungen von Murgängen bezeichnet. Murgänge sind rasch bewegte Wasser-Geschiebe-Gemische, welche sich wellenförmig und schubartig fortbewegen. Ihr Fließverhalten gleicht demjenigen von Nassschneelawinen. Die hohen Geschiebemengen und Fließgeschwindigkeiten und die damit verbundenen Kräfte machen diesen Prozess äusserst gefährlich.

4. Schutzziele

Die Schutzziele werden gemäss der neuen Hochwasserphilosophie differenziert angesetzt. Der Bemessungsabfluss richtet sich nach den verschiedenen Objektkategorien und schwankt zwischen einer Schadens- und Gefahren-grenze (Bild 6). Für die Schadensgrenze muss ein vollständiger Schutz gewährleistet werden, bis zur Gefahren-grenze werden mit vertretbaren Massnahmen die Schäden begrenzt.

Der Bemessungsabfluss muss auch bei möglichen Geschiebeszenarien noch abgeführt werden können. Die Geschiebezufuhr verschiedener Szenarien ist weniger von der Hochwasserspitze selbst als vom Abflussvolumen des Hochwassers abhängig. Dabei muss der Bemessungsabfluss nicht unbedingt die grösste Geschiebefracht aufweisen; Ereignisse mit einer geringeren Jährlichkeit können allenfalls massgebend werden. Für die Risikobeurteilung bezüglich Geschiebe ist also zwingend auch eine Volumenstatistik der Hochwasser nötig.

Die Geschiebezufuhr aus einem Einzugsgebiet kann aufgrund der Transportkapazität von Teilstrecken grob abgeschätzt werden. Vielfach ist aber nicht soviel Geschiebe vorhanden, wie transportiert werden könnte. Das vorhandene Geschiebepotential im Einzugsgebiet hängt von den Geschiebeablagerungen im Flussbett und der geologischen Beschaffenheit der angrenzenden Topographie ab. Geschiebe kann grundsätzlich durch folgende Prozesse mobilisiert werden [8]:

- Ausräumung des Flussbettes:
im Vergleich zur Flusssohle relativ feine Ablagerungen nach Abklingen von Hochwasser;
- Tiefenerosion:
Zerstörung der Deckschicht und Bewegung von Gröbsteilkomponenten;
- Seitenerosion:
Destabilisierung von Ufern und Hangpartien;

- Einträge aus Seitenbächen:
Geschiebetransport oder allenfalls Murgänge;
 - Versagen von Bauwerken:
schlagartige Mobilisierung von Geschiebemengen durch Bruch von Wildbachsperren.
- Die Geschiebeszenarien sind also aus einer Analyse der Transportkapazität und aus einer Inventarisierung von potentiellen Geschiebeherden abzuschätzen.

5. Massnahmenplanung

Das Geschiebe spielt eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Schutzmassnahmen. Gemäss dem Wasserbaugesetz haben Massnahmen zum Unterhalt der Gewässer und der Raumplanung Vorrang vor den eigentlichen Schutzmassnahmen (Bild 7).

5.1 Gewässerunterhalt

Der Gewässerunterhalt hat im Zusammenhang mit Geschiebe besonders präventiven Charakter, indem die Abflusskapazität und die Wirksamkeit der baulichen Schutzmassnahmen erhalten bleiben sollen. Es geht darum, Geschiebeherde zu verringern und Geschiebespeicher sowie Transportkapazitäten zu erhalten. Darunter fallen folgende Massnahmen:

- Leerung von Geschiebesammlern;
- Entfernung von gefährlichen, lokalen Auflandungen durch Baggerung;
- Behebung von Erosionsschäden an Verbauungswerken;
- Stabilisierung von Geschiebeherden (Rutschhängen) mit Drainagen und Lebendverbau.

5.2 Raumplanerische Massnahmen

Sind die gefährdenden Prozesse stark durch das Geschiebe beeinflusst, so ist die Gefahrensituation besonders gross und erfordert entsprechende raumplanerische Massnahmen wie Bauverbote in durch Übersarung und Übermürung gefährdeten Gebieten, Objektschutzmassnahmen (Erosions- und Abrasionsschutz, erhöhte Bauweisen) und Nutzungseinschränkungen (Campingplätze!). Ziel von raumplanerischen Massnahmen ist es, das Schadenspotential möglichst gering zu halten. Als Grundlage dazu dienen Gefahrenkarten [10].

5.3 Bauliche Massnahmen

Das Vorhandensein von Geschiebe während Hochwasser bewirkt, dass viele Schäden nicht durch zuviel Wasser, son-

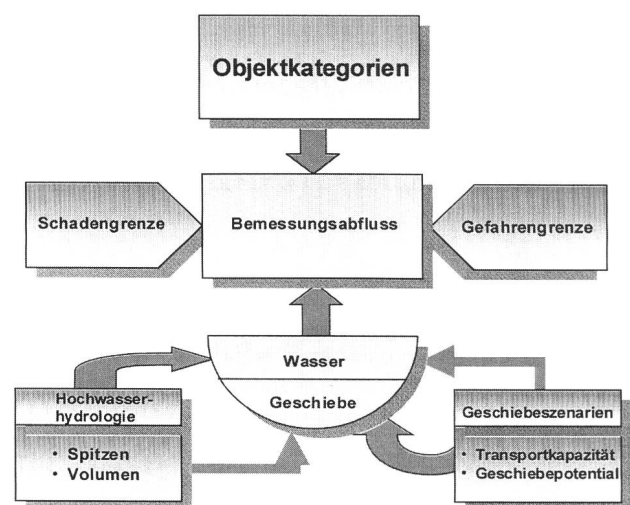


Bild 6. Differenzierung der Schutzziele für verschiedene Objektkategorien. Festlegung des Bemessungsabflusses unter Berücksichtigung der Geschiebeszenarien.

dern durch die hohe Feststoffführung und den intensiven Strömungsangriff mit der damit verbundenen Erosion verursacht werden. Wie beim Wasser lassen sich beim Geschiebe die baulichen Massnahmen in Rückhalt, Umleitung und Durchleitung unterteilen.

5.3.1 Rückhalt des Geschiebes

Der *Geschieberückhalt* kann entweder im Einzugsgebiet oder im Gerinne selbst erfolgen. Im Einzugsgebiet geht es vor allem darum, Geschiebeherde beispielsweise mit Aufforstungen, Lebendverbau und Krainerwänden zu stabilisieren. Entlang der Fliessstrecke können Geschiebesammler und Rückhaltesperren dem Rückhalt dienen. Zu beachten ist, dass der Rückhalt von Geschiebe ein wesentlich schwierigeres Unterfangen ist als der reine Rückhalt von Wasser. Geschiebebecken können sich nicht wie Hochwasserrückhaltebecken selbst entleeren, sie müssen regelmässig maschinell geräumt werden. Zudem ist eine dosierte Weiterleitung während Ereignissen kaum zu bewerkstelligen, so dass unterhalb der Sammler mit einer Erosionstendenz zu rechnen ist.

Die wohl effizientesten Geschiebesammler sind natürliche Flussstrecken, in welchen sich verzweigte Gerinne ausbilden können. Solche Strecken im Oberlauf von korrigierten Abschnitten sind unbedingt zu erhalten, sie wirken auch stark dämpfend auf die Hochwasserspitzen.

5.3.2 Umleitung des Geschiebes

Geschiebeumleitungen samt Hochwasser mittels Entlastungstollen zum Schutz von gefährdeten Strecken sind eine eher seltene Massnahme. Eine Auftrennung von Geschiebe zwischen Hauptgerinne und Umleitgerinne ist ebenfalls kaum möglich.

5.3.3 Durchleitung des Geschiebes

Meistens muss mit entsprechenden Massnahmen das Geschiebe wohl oder übel durchgeleitet werden. Die flussbaulichen Schutzmassnahmen müssen so ausgelegt sein, dass gefährliche Auflandungen oder Erosionen verhindert bzw. beschränkt werden können.

Auflandungen kann in beschränkter Masse mit einer entsprechenden Gerinnegestaltung begegnet werden.

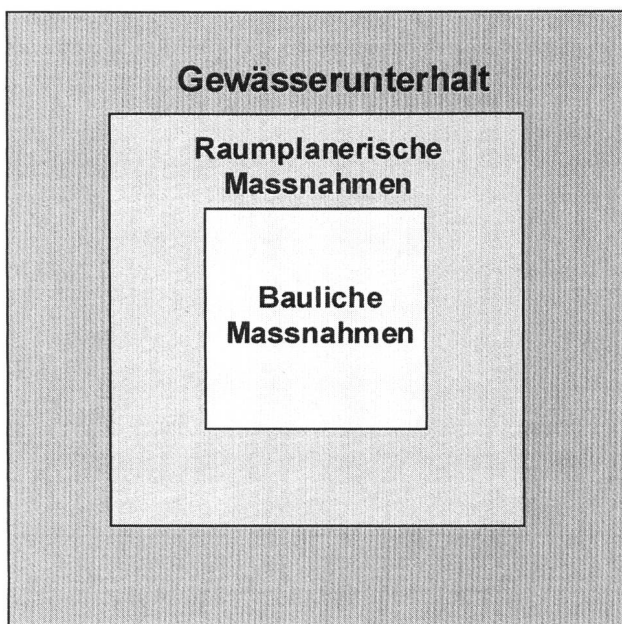


Bild 7. Prioritäten von Gewässerunterhalt, raumplanerischen und baulichen Massnahmen in der Massnahmenplanung.

Einerseits ist der Gerinnequerschnitt so zu vergrössern, dass die Auflandungen noch keine Wasseraustritte verursachen, andererseits ist die Geschiebetransportkapazität möglichst hoch zu halten, was zu relativ engen Gerinnen, allenfalls mit fest ausgebildeter Sohle führt, wie sie beispielsweise bei Wildbächen als Schalen zur Anwendung kommen. Bei grösseren Gewässern sind solche Ausbildungen nicht zuletzt aus ökologischen Gründen kaum vertretbar.

Auflandungen im Bereich von Durchlässen und Brücken sind besonders gefährlich. In erster Linie sind die Durchflussquerschnitte genügend gross zu wählen; ein ausreichendes Freibord soll Verklausungen mit Holz verhindern. Bei bestehenden Brücken kann allenfalls mit einer Stauwand und seitlichen Leitwänden ein Druckabfluss ermöglicht werden, was die Fliessgeschwindigkeiten und somit auch die Geschiebetransportkapazität im Brückenquerschnitt erhöht [11]. Vorteilhaft erweisen sich auch Brücken, die in Flusskurven angeordnet sind. Dadurch kann während Hochwasser vom Kurvenkolk profitiert werden, welcher den Abflussquerschnitt unter der Brücke erheblich vergrössert. Voraussetzung ist allerdings, dass die Brückenfundamenten nicht durch den Kurvenkolk und die Ufer ober- und unterhalb der Brücke nicht durch Seitenerosion gefährdet werden.

Erosionen können ebenso gefährlich sein wie Auflandungen. Eine allfällige Vergrösserung des Abflussquerschnittes durch Erosion ist zwar positiv, doch dadurch können nicht nur die Hochwasserschutzmassnahmen selbst, sondern auch angrenzende Bauten und Anlagen gefährdet werden. Wie erwähnt, ist zwischen Tiefen- und Seitenerosion zu unterscheiden.

Tiefenerosion entsteht in Abschnitten, wo die Geschiebezufuhr geringer ist als die Transportkapazität. Voraussetzung ist allerdings eine nicht stabile Sohle. Die Sohlenstabilität kann grundsätzlich mit Massnahmen wie künstliche Verstärkung der Deckschicht (Berollung oder Anreicherung mit Einzelblöcken), Querwerke (Abstürze, Schwellen, Wildbachsperrern), Blockrampen und Traversen garantiert werden. Erosionsverhindernd wirken auch lokale Flussaufweitungen [12, 13].

Blockrampen und Deckschichtverstärkungen mit Felsblöcken sind in steileren Gebirgsflüssen wegen der erforderlichen Blockgrössen nicht mehr möglich. Deshalb werden etwa auch eingegrabene oder überdeckte Betonelemente als lokaler Objektschutz verwendet [14].

Seitenerosionen muss mit entsprechend dimensionierten Uferschutzbauten wie Blockwürfen, Buhnen oder Ufermauern begegnet werden. Kombinationen mit Lebendverbau-massnahmen sind bis zu relativ geringen Wassertiefen möglich. Massgebender Prozess für das Versagen dieser Uferschutzbauten ist oftmals deren Unterkolkung im Fussbereich. Genügende Fundamenttiefen oder ein Erosionsschutz in Form von Blockteppichen sind deshalb äusserst wichtig. In Gebirgsflüssen können für letztere zum Schutze von Ufermauern auch eingegrabene Betonelemente verwendet werden, dasselbe gilt auch für Umlenkbuhnen als Ufer- und Böschungsschutz [14].

Die Oberflächen von Uferschutzbauten sind möglichst rau auszubilden; dadurch können die Kolk-tiefen im Fundamentbereich erheblich verringert werden. Bei Ufermauern haben sich beispielsweise in regelmässigen Abständen angeordnete Rauheitsrippen bewährt [15]. Blockwürfe sind deshalb auch in geradlinigen Abschnitten gewellt und mit Buchten auszubilden. Diese dienen nicht zuletzt auch als Fischrefugien.

6. Schlussfolgerungen

Das Geschiebe macht den Hochwasserschutz zu einer äusserst anspruchsvollen Aufgabe. Geschiebe verändert den Abflussquerschnitt und allenfalls auch die Morphologie eines Flusses, was dem Hochwasserschutz eine ausgesprochen räumliche Dimension verleiht. Die Berücksichtigung des Geschiebes bedingt zudem normalerweise eine instationäre Betrachtungsweise; Gesamtfrachten und -volumen spielen eine grosse Bedeutung. Diese Komplexität kann heute teilweise mit numerischen Simulationen veranschaulicht, aber nur schwer quantifiziert werden. Die Gefahrenanalyse muss besonders sorgfältig durchgeführt werden, falls das Geschiebe eine bedeutende Rolle spielt. Die Schutzziele haben dem Geschiebe Rechnung zu tragen, indem der Bemessungsabfluss auch bei möglichen extremen Geschiebeszenarien noch abführbar sein muss. Das Geschiebe beeinflusst schliesslich die Wahl und Konzeption der Hochwasserschutzmassnahmen entscheidend.

Bezeichnungen

A_{eff}	effektive Abflussfläche für Abflussberechnung
B_F	Flussbettbreite
B_{opt}	optimale Flussbettbreite
d_{90}	Korndurchmesser der 90 %-Fraktile
d_m	mittlerer Korndurchmesser des Sohlenmaterials (Unterschicht)
d_{mD}	mittlerer Korndurchmesser der Deckschicht
h	Abflusstiefe
h_D	Grenzabflusstiefe bei Aufreissen der Deckschicht
h_{mg}	mittlere Abflusstiefe mit Geschiebe
h_{mw}	mittlere Abflusstiefe bei Reinwasser
J	Sohlengefälle
J'	reduziertes Sohlengefälle
k_{St}	Reibungsbeiwert nach Strickler [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
k_{ui}	Reibungsbeiwert eines Uferteilbereiches
P_u	benetzter Umfang eines Uferteilbereiches
Q	Abfluss
Q_b	Geschiebetransport
Q_D	Abfluss bei Aufreissen der Deckschicht
Q_0	Abfluss bei Transportbeginn
R_s	auf Sohle wirksamer hydraulischer Radius
R_{ui}	hydraulischer Radius eines Uferteilbereiches
v_m	mittlere Fliessgeschwindigkeit
ρ_s	Dichte des Sohlenmaterials

Literatur

- [1] Anforderung an den Hochwasserschutz. Bundesamt für Wasserwirtschaft, August 1995.
- [2] Jäggi, M.: Abflussberechnung in kiesführenden Flüssen. Wasserwirtschaft, 74. Jg., Heft 5. S. 263–267, 1984.
- [3] Zarn, B.: Einfluss der Flussbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 154, Zürich, 1997.
- [4] Jäggi, M.: Der Geschiebetransport in Flüssen mit der VAW-Formel 1983. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 47, 1984.
- [5] Smart, G.; Jäggi, M.: Sedimenttransport in steilen Rinnen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 64, Zürich, 1983.
- [6] Hunziker, R.: Fraktionsweiser Geschiebetransport. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 138, Zürich, 1995.
- [7] Günter, A.: Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischung unter Berücksichtigung der Deckschicht-

bildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubschwankung. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie; Nr. 3, Zürich, 1971.

[8] Bezzola, G. R.; Schilling, M.; Oplatka, M.: Reduzierte Hochwassersicherheit durch Geschiebe. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 41, 1996.

[9] Bezzola, G. R.; Abegg, J.; Jäggi, M.: Saltinabrücke Brig-Glis, Rekonstruktion des Hochwassers vom 24. September 1993 in Brig-Glis. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 11, 1994.

[10] Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1997.

[11] Jäggi, M.; Abegg, J.: Cimavilla-Brücke Poschiamo – eine unkonventionelle Lösung aufgrund der Erfahrungen aus dem Unwetter vom Juli 1987. «Schweizer Ingenieur und Architekt»; Heft 16/17, 1993.

[12] Zarn, B.: Sohlenstabilisierung der Emme bei Utzensdorf mit einer lokalen Gerinneaufweitung. «wasser, energie, luft»; 85. Jg., Heft 3/4, 1993.

[13] Boillat, J.-L.; Divet, E.: Lutte contre les inondations – Le Doubs à St-Ursanne. Internationales Symposium Interpraevent 1992, Band 5, 1992.

[14] Schleiss, A.; Aemmer, M.; Philipp, E.; Weber, H.: Erosionsschutz an Gebirgsflüssen mit eingegrabenen Betonprismen. «wasser, energie, luft»; 90. Jg., Heft 3/4, 1998.

[15] Schleiss, A.: Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtellen. «wasser, energie, luft»; 88. Jg.,

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Anton Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Département de génie civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, E-mail: Anton.Schleiss@epfl.ch, <http://lchwww.epfl.ch>

Melezza: kleiner Eingriff – grosse Wirkung

Martin Roth

Zusammenfassung

Im Anschluss an die Hochwasserkatastrophe von 1978 in den Alluvionsebenen der Maggia und der Melezza im Kanton Tessin wurden zur Untersuchung der weiteren Entwicklung des Zusammenflussbereiches der beiden Flüsse hydraulische Modellversuche durchgeführt. Die anschliessend realisierten Verbauungsmassnahmen basierten im wesentlichen auf den Ergebnissen dieser Versuche. Schon bald nach Fertigstellung der Verbauungen wurde im eigentlich breiten Flussbett der Melezza stellenweise eine starke Eintiefung innerhalb eines schmalen Einzelgerinnes festgestellt. Diese Entwicklung erfasste nach und nach den gesamten Unterlauf der Melezza und gefährdet heute zunehmend die Stabilität der Uferverbauungen.

Eine weitergehende morphologische Untersuchung ergab nun, dass sich die Melezza offenbar bereits seit längerer Zeit in einem Erosionszustand befindet. Der Hauptgrund dafür dürfte eine abnehmende Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf sein. Die Erosionstendenz steht aber auch im Zusammenhang mit lokalen Phänomenen, welche sich gegenseitig beeinflussen. Einerseits handelt es sich dabei um eine rückschreitende Erosion, ausgehend von der Mündung der Melezza. Andererseits dürfte die starke Eintiefung lokal durch die Krümmungen des Flusslaufes begünstigt worden sein. Mit zunehmender Eintiefung nahm die Abflusskonzentration innerhalb eines dominanten Gerinnes zu, womit wiederum die Erosion verstärkt wurde. Solange nicht ein grösseres Hochwasser für eine umfassende Umgestaltung des Flusslaufes sorgt, dürfte diese Entwicklung weiter anhalten.