

4 Durchgängige Geschiebesammler in Wildbächen

Geschiebesammler halten in Wildbächen Geschiebe zurück, um Hochwasserschäden in Siedlungen und an Infrastrukturbauten zu verringern. Klassisch konzipierte Geschiebesammler halten Geschiebe bereits bei kleinen Hochwassern zurück, die schadlos abgeführt werden könnten. Damit verursachen sie Geschiebedefizite und ökologische Beeinträchtigungen im Unterlauf. Das vorliegende Merkblatt zeigt auf, wie sich mit durchgängigen Geschiebesammlern die Geschiebekontinuität verbessern lässt.

S. Schwindt, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Schleiss

Wildbäche verfügen aufgrund ihres steilen Gefälles über eine grosse Geschiebetransportkapazität, und ihre Einzugsgebiete zeichnen sich durch hohe Geschiebeverfügbarkeit aus. Bei Hochwasser können Wildbäche grosse Geschiebefrachten transportieren und dadurch die Morphologie des Gewässerunterlaufs verändern. Die Gerinnemorphologie und der Geschiebetransport beeinflussen die Entwicklung der Gewässerlebensräume mit deren Flora und Fauna (vgl. Merkblatt 1). Geschiebesammler zum Schutz von Siedlungen und Infrastrukturbauten halten Geschiebe meist vollständig zurück und

unterbrechen damit den Geschiebetransport. Gleichzeitig unterbrechen sie die Längsvernetzung von Lebensräumen entlang von Fliessgewässern (vgl. Merkblatt 5). Geschiebesammler bestehen aus einem Sperrbauwerk mit einer Auslassöffnung sowie einem Rückhalteraum (Abb. 2).

Im Einzugsgebiet eines Wildbachs (vgl. Merkblatt Sediment- und Habitatsdynamik in Fliessgewässern: Abb. 1, Tab. 1; Detailausschnitt: vgl. Abb. 1) beeinflussen verschiedene Schutzbauwerke die Geschiebedurchgängigkeit. Im oberen Bereich des Einzugsgebiets sowie in der oft vorhandenen Schluchtstrecke werden Wildbachsperrn eingesetzt, um die Sohlenerosion zu vermindern und die Ufer zu stabilisieren. Im unteren Bereich des Einzugsgebiets entsteht durch Ablagerungen des Wildbachs ein Schwemmkegel, auf dem sich oft Siedlungen und Infrastrukturanlagen befinden.

Auf dem Schwemmkegel mit geringerem Gefälle ist das Gewässer meist vollständig kanalisiert, mit einer befestigten Sohle zur Erhöhung der Geschiebetransportkapazität. Während extremen Hochwassern können aber trotzdem gefährliche Geschiebeablagerungen insbeson-

Abbildung 1

Schematische Darstellung eines Geschiebesammlers zum Schutz einer Galerie (links). Geschiebesammler an einem Zufluss der Reuss bei Gurtellen (UR; rechts).



dere an Engpässen wie an Brücken entstehen, welche beträchtliche Schäden in Siedlungen verursachen können. Dies zeigten beispielsweise die Hochwasserereignisse im Jahr 2000 in den Gemeinden Brig (VS) und Naters (VS; BWG 2002). Zur Vermeidung von Schäden werden deshalb oberhalb von Siedlungen oder Infrastrukturanlagen Geschiebesammler errichtet.

Schutzbauwerke an Wildbächen

Die Transportprozesse von Geschiebe und Schwemmholz sind verschieden, weshalb unterschiedliche Schutzbauwerke zum Einsatz kommen. Klassisch konzipierte Geschiebesammler sind auf den Rückhalt fluvialen Geschiebetransports bei Hochwasser ausgelegt, bei dem der Feststoffanteil nur wenige Prozent des Gesamtabflusses (= Wasser und Feststoffe) beträgt. Ereignisse mit einem Feststoffanteil von mehr als 20% des Gesamtabflusses werden als Murgänge bezeichnet. Schutz vor Murgängen bieten beispielsweise Murbrecher. Aber auch Geschiebesammler können so ausgelegt werden, dass sie das durch Murgänge transportierte Sedimentmaterial zurückhalten. In solchen Fällen ist jedoch das Sperrbauwerk, insbesondere dessen Öffnungsgrösse, differenziert zu betrachten.

Klassisch konzipierte Geschiebesammler haben einen Rückhalteraum oberhalb des Sperrbauwerks, wie Abbildung 2 an einem Beispiel bei Riddes (VS) zeigt. Das Sperrbauwerk ist mit einer (oder mehreren) Auslassöffnung(en) versehen. Bei Hochwasser verschliessen sich diese selbsttätig hydraulisch oder mechanisch, was im Rückhalteraum zu Einstau führt. Hydraulischer Verschluss tritt ein, wenn der Abfluss des Wildbaches die Abflusskapazität der Auslassöffnungen übersteigt. Mechanischer Verschluss entsteht, wenn der Wildbach Geschiebe und/oder Schwemmholz transportiert, deren charakteristische Grösse zur Verstopfung der Auslassöffnung führt (Piton und Recking 2016a). Um die Stabilität eines Geschiebesammlers zu gewährleisten, sind weitere bauliche Elemente notwendig (z. B. Kolkchutz am Fuss des Sperrbauwerks), sowie eine Zufahrt für den Unterhalt. Für den Beschrieb der grundlegenden Wildbachprozesse sowie der baulichen Gestaltung von Geschiebesammlern und Wildbachsperrern wird auf die Fachliteratur verwiesen (z. B. Bergmeister et al. 2009).

Bei klassisch konzipierten Geschiebesammlern ist die Auslassöffnung oft unzureichend bemessen. Auslassöffnungen, die zu schmal oder zu niedrig sind, verursachen bereits bei kleinen Hochwassern einen Rückstau und begünstigen frühe Geschiebeablagerungen im Rückhalteraum. Zu enge Auslassöffnungen unterbrechen zudem für zahlreiche Fischarten die Durchgängigkeit. Der entstehende permanente Rückstau beschleunigt den Abfluss in der Auslassöffnung. Aufgrund der erhöhten Fliessgeschwindigkeit können schwimmschwache Fische das Bauwerk nicht mehr flussaufwärts passieren, insbesondere bei glatter Sohle. Bei zu grossen Auslassöffnungen hingegen besteht die Gefahr einer selbsttätigen Entleerung des Geschiebesammlers während eines Hochwassers.

Im Fall von unzureichend bemessenen und gestalteten Auslassöffnungen besteht zusätzlich die Gefahr, dass bei Auftreten des Bemessungshochwassers¹, der Rückhalteraum aus den oben genannten Gründen nur teilweise zur Verfügung steht, weil vorangegangene kleinere Abflüsse zu unerwünschten Ablagerungen führten. Daher sind oft regelmässige, kostspielige Räumungsarbeiten des Rückhalteraus notwendig. Zudem fehlt im Unterlauf das zurückgehaltene Geschiebe, wodurch Sohl- und Stabilisierungsmassnahmen der Ufer erforderlich werden. Ein Mangel an Geschiebe aus Wildbächen beeinträchtigt das gesamte Fliessgewässersystem und die flussbegleitenden Lebensräume (vgl. Merkblatt 1). Abbildung 3 zeigt einen Geschiebesammler an der Tinière bei Villeneuve (VD) mit einem Rechen, dessen sehr enger Stababstand zu einem permanentem Geschieberückhalt führt.

Durchgängige Geschiebesammler

Wenn Geschiebesammler den Geschiebetransport bereits bei kleineren, kiesbankbildenden Hochwasser (<HQ₁₀) unterbrechen, kann der ökologische Zustand des Gewässers unterhalb des Geschiebesammlers beeinträchtigt werden. Zur Erhaltung der Geschiebedurchgängigkeit und der ökologischen Vernetzung (vgl. Merkblatt 5) sollten Geschiebesammler aus gewässermor-

1 Der Begriff «Bemessungshochwasser» und weitere Begriffe sind im Glossar definiert. Online: www.rivermanagement.ch.

Abbildung 2

Beispiel eines Geschiebesammlers bei Riddes (VS) am Wildbach La Fare mit Rückhalteraum und Sperrbauwerk mit Auslassöffnung.

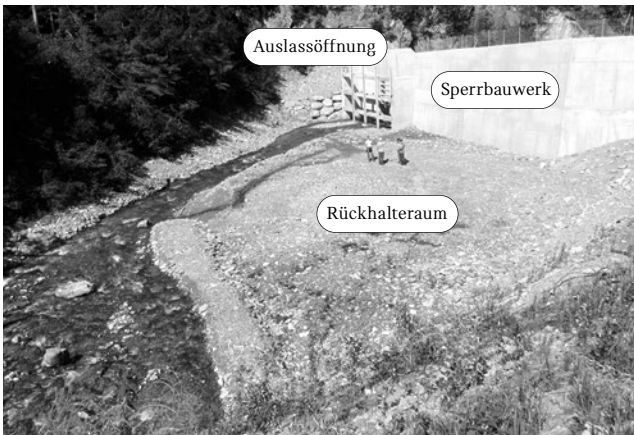


Foto: Sebastian Schwindt

phologischer Sicht keinen Rückhalt verursachen, solange der Gesamtabfluss eines Wildbaches flussabwärts sicher abgeführt werden kann.

Kleinere Hochwasser sind für kiesbankbewohnende Arten der Pionierfauna und -flora überlebenswichtig. So benötigt etwa die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*) Hochwasser von HQ_7 bis HQ_{10} , um sich gegen konkurrenzstärkere Arten durchzusetzen und Kiesbänke langfristig zu besiedeln. Viele Pflanzenarten sind an

Abbildung 3

Beispiel eines Geschiebesammlers mit Stabrechen, der zu übermäßigem, mechanisch bedingtem Geschieberückhalt führt (La Tinière bei Villeneuve, VD).



Foto: Sebastian Schwindt

kleine Hochwasser angepasst, beispielsweise verfügen sie über Wurzeln, mit denen sie sich im Untergrund verankern (z. B. *M. germanica*). Oder aber sie haben sehr biegsame Stämme und Äste, die sie vor groben Verletzungen durch Geschiebeumlagerungen schützen (z. B. Weidenarten).

Zudem ist aus ökologischer Sicht der Sedimentrückhalt in Geschiebesammlern bei kleineren Hochwasserereignissen nicht erwünscht, weil dadurch Feinsedimente und die daran gebundenen Nährstoffe zurückgehalten werden (vgl. Merkblatt 3). Geschiebesammler sollten deshalb erst bei grösseren Hochwassern, solchen, die Siedlungen und Infrastrukturanlagen stromabwärts gefährden, in Funktion treten. Ihre Auslassöffnung ist im Zusammenspiel mit dem Ablagerungsraum so auszulegen, dass sie erst dann eingestaut wird, wenn der Hochwasserabfluss das Geschiebe im Unterlauf des Hauptgerinnes nicht mehr abführen kann. Im folgenden Text ist der Abfluss, bei dem der Geschiebesammler aktiviert werden muss, als maximaler Durchgängigkeitsabfluss bezeichnet.

Auslegung und räumliche Anordnung

Rückhalteräume von Geschiebesammlern mit birnenförmigen Ablagerungsplätzen sind am besten geeignet, um Geschiebe zurückzuhalten. Das Verhältnis zwischen der Länge und der maximalen Breite sollte dabei 1,5 : 1 betragen (Zollinger 1983).

Abbildung 4

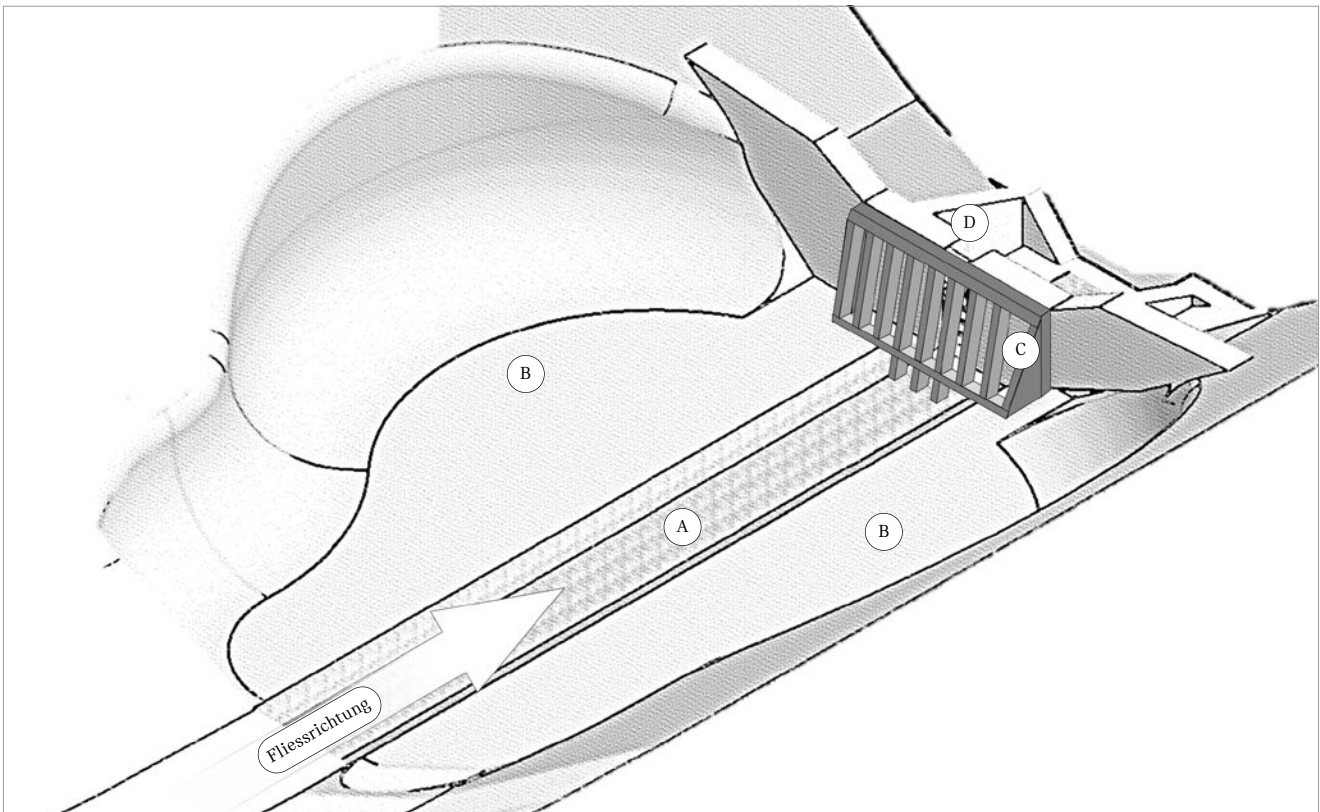
Beispiel eines punktuellen Geschiebeeintrags durch Murgang mit Kies, der deutlich feiner ist als die Blöcke des Bachbetts (Ruisseau des Vaunaises, bei Caux, VD).



Foto: Sebastian Schwindt

Abbildung 5

Schematische Darstellung eines Geschiebesammlers mit Leitgerinne (A), Rückhalteraum (B) sowie Sperrbauwerk mit doppelter Auslassöffnung für mechanisch (C) und hydraulisch (D) kontrollierten Geschieberückhalt.



Quelle: Illustration nach Zollinger 1983

Wildbachsperrren beeinflussen das Gefälle und reduzieren somit den Geschiebetransport. Letzterer kann auch durch einzelne grosse Bergsturzböcke in der Sohle (sog. Residualblöcke) beeinflusst werden. Die Abschätzung des Geschiebetransports ist deshalb meist mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet, jedoch ausschlaggebend für die bauliche Gestaltung eines Geschiebesammlers. Die Geschiebetransportkapazität wird bei Hochwasser oft unterschätzt, wenn die Kornzusammensetzung entsprechend dem sichtbaren Sohlenmaterial angenommen wird. Bei Hochwasser können nämlich grosse Geschiebeansammlungen im Einzugsgebiet wieder mobilisiert und/oder durch Murgänge seitlich ins Gerinne zugeführt werden. Diese werden dann auf einer natürlichen Sohlplästerung als sogenanntes Laufgeschiebe («travelling bedload») transportiert (Abb. 4).

Empfehlenswert ist deshalb, den Geschiebetransport bei Hochwasser mit der Korngrösse des feineren Laufgeschiebes zu berechnen. Dadurch werden höhere Geschiebetransportraten erhalten. Die Korngrösse des Laufgeschiebes kann durch die Untersuchung von Ablagerungsbänken an den Ufern oder im Rückstau existierender Sperrbauwerke bestimmt werden (Piton 2016).

Die treppenförmige Anordnung von mehreren geschlossenen Sperrbauwerken (Wildbachsperrren) verzögert und verringert die Geschiebetransportspitzen, wie Piton und Recking (2016b) gezeigt haben.

Die Auslegung der Auslassöffnung von Geschiebesammlern wurde in verschiedenen Studien untersucht, beispielsweise die Ablagerungshöhe vor engen Schlitzsperrren (z. B. Armanini und Larcher 2001; Armanini et al. 2006). Praxisrelevante Aspekte sind:

- die Bedeutung und Möglichkeiten der Kontrolle der Abflussverhältnisse im Rückhalteraum oberhalb des Sperrbauwerks,
- die Abflusskapazität der Auslassöffnung,
- der Rückgang der Geschiebetransportkapazität bei Einstau der Auslassöffnung, sowie
- das Vermeiden der selbsttätigen Entleerung von Geschiebesammlern.

Im Vordergrund steht der sichere Geschieberückhalt ab dem Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses, basierend auf einer Kombination von hydraulischem und mechanischem Verschluss der Auslassöffnungen. Die Aktivierung eines Geschiebesammlers entweder durch ausschliesslich hydraulischen oder mechanischen Verschluss birgt Risiken, da beide Prinzipien für sich alleine jeweils grosse Unsicherheiten bezüglich des Verschlusszeitpunktes aufweisen. Die besser kontrollierbare geschiebebezogene Kombination beider Verschlussprinzipien wurde an der Drance bei Martigny mit Erfolg angewandt (Schwindt et al. 2016).

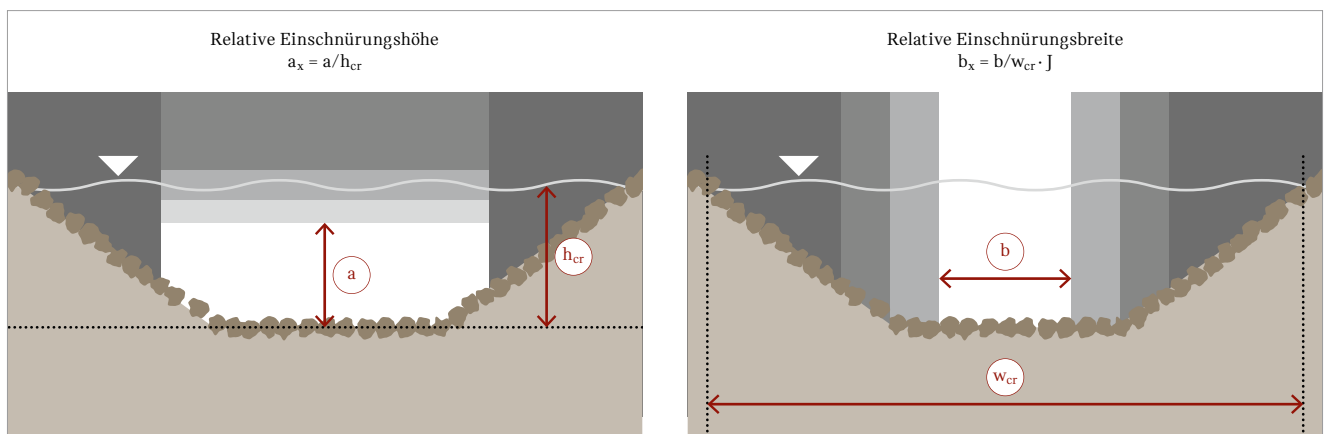
Für einen mechanischen Verschluss der Auslassöffnung, der vor allem durch grobes Geschiebe und Schwemmholz ausgelöst wird, ist das wichtigste Kriterium die relative Breite- bzw. Höhe der Öffnung. Dabei sollte die Höhe bzw. die Breite jeweils nicht mehr als das 1,5-fache des Durchmessers des Bemessungsobjektes betragen (Piton

und Recking 2016a). Die Grösse des Bemessungsobjektes ist entweder durch den charakteristischen Durchmesser d_{90} des Laufgeschiebes oder durch den Schwemmholzdurchmesser definiert. Da diese stark ereignisabhängig sind, ist deren Bestimmung jedoch problematisch. Beispielsweise hängt der Durchmesser d_{90} des Geschiebes von den erodierten Sedimentablagerungen ab, und auch das Auftreten von Schwemmholz kann stark schwanken. Grundsätzlich sind die Schwemmholzmen-gen bei kleineren Hochwassern ($< HQ_{10}$) gering, und mechanischer Verschluss ist bis zum Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses eher unwahrscheinlich. Es ist jedoch empfehlenswert, zusätzliche Massnahmen zum Rückhalt des Schwemmholzes im Oberlauf des Geschieberückhalterumes zu treffen.

Zahlreiche Studien belegen, dass der mechanische Verschluss der Auslassöffnung mit Sicherheit auftritt, wenn die Öffnungshöhe geringer oder gleich dem Geschiebedurchmesser d_{90} ist, bzw. wenn die Öffnungsweite geringer oder gleich $1,5 \cdot d_{90}$ ist. Die Auswirkungen des hydraulischen Verschlusses auf den Geschiebetransport wurden experimentell untersucht und werden im folgenden Kapitel erläutert.

Abbildung 6

Experimentell untersuchte Auslassöffnungen mit vertikalen Einschnürungen (links) und seitlichen Einschnürungen (rechts). Dargestellt sind folgende Grössen: Öffnungshöhe a , Fliesstiefe h_{cr} , Öffnungsweite b , die mittlere Breite des kritischen Abflusses w_{cr} . Zur Berechnung der relativen Einschnürungsweite b_x ist das Längsgefälle des Leitgerinnes J wichtig.



Erweitertes Konzept für die Gestaltung von Geschiebesammlern

Die Auslassöffnungen von Sperrbauwerken sollten so gestaltet sein, dass sie bis zum Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses weder hydraulisch noch mechanisch verschlossen werden. Dazu ist die Kontrolle der Abflussverhältnisse im Rückhalteraum notwendig, was durch die Anordnung eines rauen Leitgerinnes im Rückhalteraum erreicht werden kann. Der randvolle Abfluss des Leitgerinnes sollte dabei dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss entsprechen. Abbildung 5 zeigt die Ergänzung eines klassisch konzipierten Geschiebesammlers, erweitert mit einem derartigen Leitgerinne.

Eine Analyse von rund 60 Wildbächen in den Schweizer Alpen hat ergeben, dass der natürliche Flussquerschnitt eines Wildbachs mit einem trapezförmigen Leitgerinne angenähert werden kann, das eine Uferneigung zwischen 20° und 35° aufweist. Die Rauigkeit des Leitgerinnes wird durch den für die Deckschicht massgebenden Korndurchmesser (typischerweise dem d_{90} der Flusssohle des Oberlaufs) bestimmt. Um die Stabilität des Leitgerinnes sicherzustellen, sollte die Sohle mit groben Blöcken ausgelegt werden. Die Grösse dieser Blöcke sollte etwa dem maximalen Korndurchmesser entsprechen, der durch den Spitzenabfluss des Bemessungshochwassers noch mobilisiert werden kann. In der Nähe des Sperrbauwerks sollten die Blöcke im Leitgerinne in Magerbeton verlegt werden, damit der Geschiebesammler nach grösseren Ereignissen geräumt werden kann, ohne das Leitgerinne zu zerstören. Ab dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss wird der Geschiebesammler oberhalb der Auslassöffnung zunehmend eingestaut, wodurch sich das Transportvermögen im Leitgerinne verringert.

Hydraulischer Verschluss

In Modellversuchen sind der Einfluss der Abmessungen von Auslassöffnungen auf den Abfluss und den Geschiebetransport systematisch untersucht worden (Schwindt et al. 2017). Es wurden Auslassöffnungen in Form von vertikalen und seitlichen Einschnürungen (= Verengungen) des Leitgerinnes getestet. Eine vertikale Einschnürungen des Leitgerinnes (Abb. 6a) führt zu einem Rückstau und in der Auslassöffnung zu Druckabfluss. Seitliche Einschnürungen (Abb. 6b) beschränken den Abfluss von den Ufern aus und verursachen einen kritischen

Freispiegelabfluss in der Auslassöffnung. Durch den Rückstau entsteht oberstrom des Sperrbauwerks ein Fließwechsel, d.h. schiessender Abfluss geht in strömenden Abfluss über. Dadurch wird die Auslassöffnung zu einem Kontrollquerschnitt (Freispiegelabfluss mit kritischer Abflusstiefe).

Für die allgemeine Anwendbarkeit der Versuchsergebnisse werden Auslasshöhe und -breite mittels der Abflusshöhe und -breite des kritischen Abflusses (ohne Sperrbauwerk) normiert (Abb. 7). Dabei ist die relative Einschnürungshöhe (a_x) durch den Quotienten der Öffnungshöhe (a) und der Fliesstiefe (h_{cr}) des kritischen Abflusses im Leitgerinne definiert. Die relative Einschnürungsbreite (b_x), bedingt durch das Sohlgefälle, entspricht dem Quotienten der Öffnungsbreite (b) und der mittleren Breite des kritischen Abflusses (w_{cr}), multipliziert mit dem Längsgefälle des Leitgerinnes (J). Die Modellversuche zeigen, dass das Längsgefälle nur bei seitlichen Einschnürungen zu berücksichtigen ist (Schwindt 2017).

Die Abflusskapazität Q_c der Auslassöffnung in m^3/s für rechteckige Fließquerschnitte mit vertikaler Einschnürung kann mit der untenstehenden Gleichung (1) berechnet werden (Bergmeister et al. 2009). Dabei ist μ ein Abflusskoeffizient, g die Gravitationskonstante ($9,81 m/s^2$) und H_0 die Energiehöhe unmittelbar oberstrom der Öffnung. Bei geringem Einstau kann für den Abflusskoeffizient μ ein Wert zwischen 0,65 und 0,75 angenommen werden. Bei trapezförmigen Auslassöffnungen sollte die mittlere Breite des Trapezes verwendet werden (Schwindt 2017, Schwindt et al. 2017).

$$Q_c = \mu b \frac{2}{3} \sqrt{2g} [H_0^{3/2} - (H_0 - a)^{3/2}] \quad (1)$$

Ein wichtiger Parameter ist die Geschiebetransportkapazität, welche dem grössten Geschiebetransport entspricht, der keine Ablagerungen im Leitgerinne verursacht.

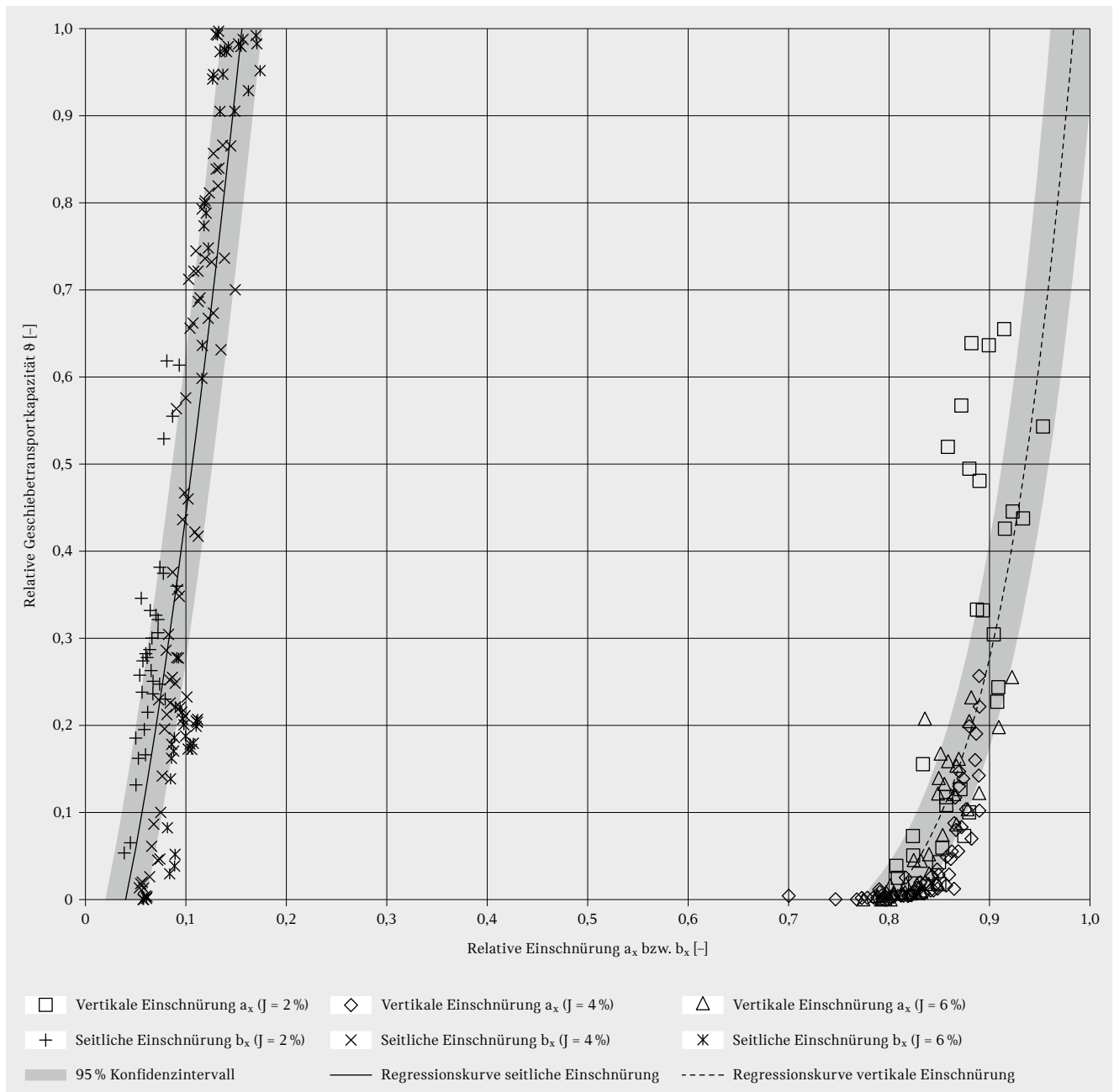
Die Geschiebetransportkapazität Q_b wird durch vertikale bzw. seitliche Einschnürungen verringert. Dieser Rückgang wurde durch den Vergleich von Messwerten der Geschiebetransportkapazität des Leitgerinnes mit und ohne Einschnürungen ermittelt. Die Geschiebetransportkapazität

zität des nicht eingeschnürten Leitgerinnes entspricht in etwa der mit der VAW-Formel (Smart und Jaeggi 1983) berechneten Menge. Bei grösseren Abflüssen kann die Geschiebetransportkapazität aufgrund des fixierten Leitgerinnes grösser sein als mit der VAW-Formel berechnet.

Der durch Einschnürung bedingte Rückgang der Geschiebetransportkapazität lässt sich durch das Normieren mit der Geschiebetransportkapazität des Normalabflusses im Leitgerinne beschreiben. Die resultierende relative Geschiebetransportkapazität ϑ (2) entspricht dem prozentualen Rückgang der Geschiebetransportka-

Abbildung 7

Relative Geschiebetransportkapazität $\vartheta = Q_{b, \text{Einschnürung}} / Q_{b, \text{Leitgerinne}}$ als Funktion der relativen Einschnürungshöhe a_x , bzw. -breite b_x mit qualitativen Regressionskurven und 68 % Konfidenzintervall.



pazität des Leitgerinnes, welche durch vertikale oder seitliche Einschnürungen bedingt ist:

$$\vartheta = \frac{Q_{b, \text{Einschnürung}}}{Q_{b, \text{Leitgerinne}} \text{ (Smart und Jaeggi 1983)}} \quad (2)$$

Für den Fall $\vartheta = 1$ wird die Geschiebetransportkapazität durch die Einschnürung nicht verringert. Je enger die Einschnürung ist, desto mehr reduziert sich die Geschiebetransportkapazität und ϑ geht gegen Null. Abbildung 5 zeigt diesen Zusammenhang für Leitgerinne mit verschiedenen Längsgefällen (2 %, 3,5 % und 5,5 %) und in Abhängigkeit der relativen Einschnürungshöhe α_x bzw. der durch das Gefälle bedingten relativen Einschnürungsbreite b_x (geometrische Definitionen siehe Abb. 6).

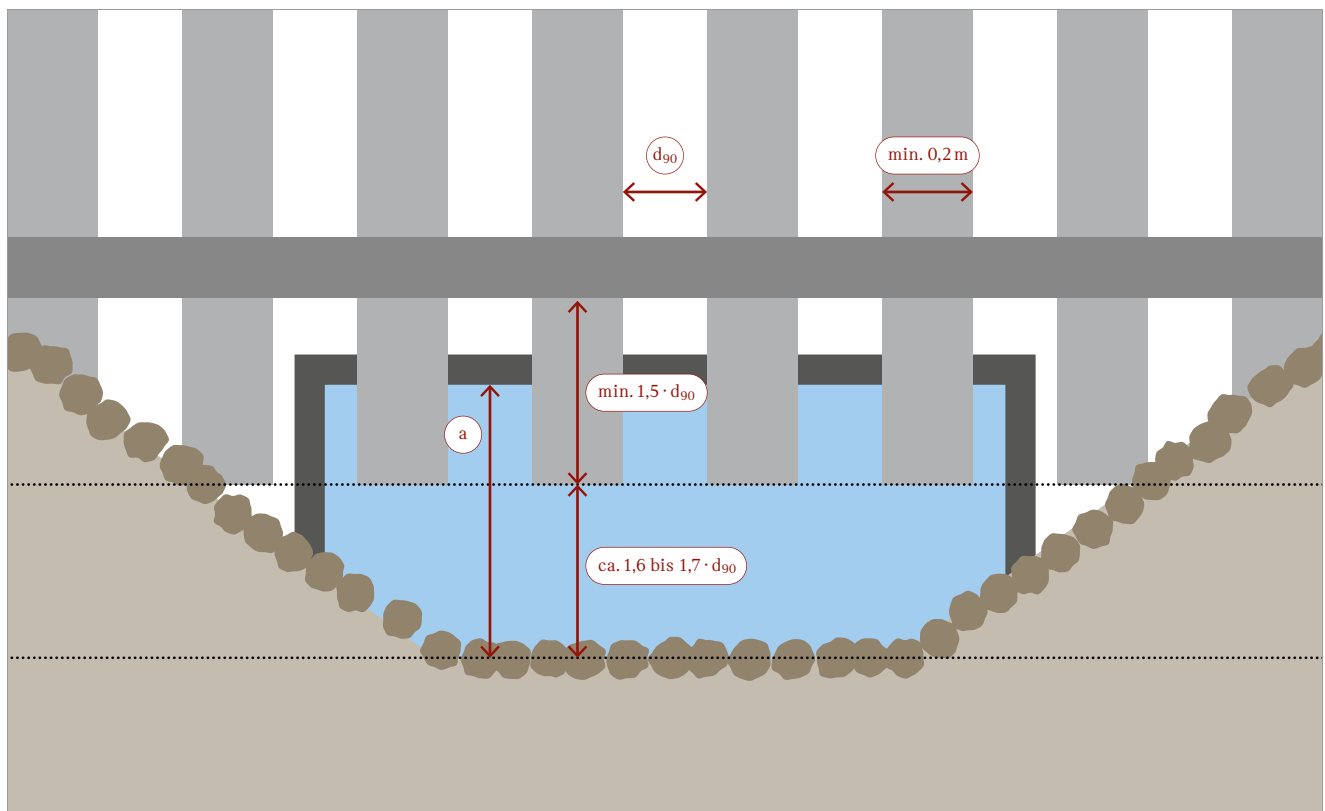
Abbildung 7 zeigt, dass eine vertikale Einschnürung den Geschiebetransport ab einer relativen Einschnürungshöhe von etwa $\alpha_x = 0,98$ beeinflusst. Die Geschiebetransportkapazität reagiert stark auf weitere vertikale Ein-

gnungen und ist bei Werten von etwa $\alpha_x = 0,75$ nahezu null. Um auch nach dem Bau die empfindliche Öffnungshöhe anpassen zu können, ist es in der Praxis empfehlenswert, die Öffnungshöhe variabel zu gestalten, z. B. mittels eines mobilen Balkensystems (dies entspricht nicht dem Einbau eines steuerbaren Wehres). Die Elemente sind im Gegensatz zu beweglichen Wehren jedoch nur bei geringen Abflüssen anpassbar und während Hochwassern nicht zu steuern.

Ab einer relativen Einschnürungsbreite von etwa $b_x = 0,18$ wird die Geschiebetransportkapazität durch seitliche Einschnürungen vermindert. Der Geschiebetransport kommt bei einer relativen Einschnürungsbreite von etwa $b_x = 0,03$ zum Erliegen. Dieser Wert entspricht rund 30 % der Breite des maximalen Durchgängigkeitsabflusses im Leitgerinne. Grundsätzlich sollte die Durchlassöffnung keine seitliche Einschnürung des Leitkanals erzeugen, da dessen Geschiebetransportkapazität gemäss Abbil-

Abbildung 8

Querprofil mit Abmessungen des Rechens für mechanischen Verschluss. Im Hintergrund ist die Auslassöffnung für hydraulischen Verschluss dargestellt.



dung 7 schon bei sehr kleinen Einschnürungen stark abnimmt.

Ein wichtiges Kriterium für die Auslegung der Auslassöffnung ist die maximal mögliche Stautiefe, die durch die Höhe des Sperrbauwerks gegeben ist. Grundsätzlich gilt, dass durch höhere Sperrbauwerke sowohl das Rückhaltvolumen als auch die Zuverlässigkeit des hydraulisch bedingten Geschieberückhalts steigt.

Die Berechnung der Rückstauhöhe mehrfacher Auslassöffnungen in einem Sperrbauwerk ist komplex und nur geringfügig erforscht. Daher ist eine Anordnung mehrerer Öffnungen nicht zu empfehlen.

Funktionsweise eines erweiterten Geschiebesammlers

Das in Abbildung 5 dargestellte Konzept eines Geschiebesammlers zeigt die praktische Umsetzung eines kombinierten Rückhaltesystems. Dieses besteht aus einem Stabrechen für den mechanisch kontrollierten Rückhalt und verfügt über eine anschliessende freie Auslassöffnung für den hydraulischen Rückhalt. Der Abstand der vertikalen Stäbe sollte dem Korndurchmesser d_{90} entsprechen. Die Stäbe sollten so weit in das Leitgerinne hineinragen, dass sie den Geschiebetransport bis zum Durchgängigkeitsabfluss hydraulisch nicht oder nur geringfügig beeinflussen (Abb. 8). Der Stabrechen hat eine Neigung von 2 : 1, damit bei ansteigendem Wasserspiegel Schwemmholz über das Sperrbauwerk geleitet werden kann. Die freie Höhe unter dem Rechen sollte etwa 1,6 bis $1,7 \cdot d_{90}$ entsprechen, damit der untere Teil des Rechens bereits vor Erreichen des maximalen Durchgängigkeitsabflusses eingetaucht wird und das Verkeilen des Grobkorns ermöglicht.

Die Höhe bzw. Breite der hydraulischen Auslassöffnung sollte gemäss Abbildung 5 so ausgelegt werden, dass sich der Geschiebetransport bei Erreichen des Durchgängigkeitsabflusses auf einen Wert von etwa $\vartheta \leq 0,5$ beschränkt. Durch den Rückstau, der damit erzeugt wird, lagert sich bei Überschreiten des Durchgängigkeitsabflusses das Geschiebe direkt vor dem Stabrechen ab. Mit steigendem Abfluss «springt» das Grobkorn in die Stäbe, die in das Leitgerinne ragen. Hier verkeilt es sich und erzeugt den mechanischen Verschluss des Stabrechens. Ein solcher Verschluss verhindert selbsttätiges Entleeren

des Geschiebesammlers, weil er sich auch bei schwankendem bzw. rückschreitendem Abfluss nicht löst. Ausschlaggebend für das sichere Funktionieren ist, dass einzelne Stäbe des Rechens frei und ausreichend tief (vertikal min. $1,5 \cdot d_{90}$) in das Leitgerinne ragen.

Die hydraulischen Modellversuche haben gezeigt, dass bei einer Auslassöffnung in der Sperre ohne vorgeschalteten Grobrechen die Gefahr von selbsttätigen Entleerungen besteht.

Bau, Unterhalt und Bewirtschaftung von Geschiebesammlern

Ein optimaler Standort für Geschiebesammler in einem Wildbach ist nach einer Abflachung des Längsgefälles im Oberlauf, in der Nähe der zu schützenden Objekte. Der Rückhalteraum sollte so gross wie möglich gestaltet sein, damit bei Hochwasser und bei Überströmen der Gesamfläche die Sedimente auf natürliche Weise abgelagert werden. Dadurch lassen sich die notwendigen Ausmasse des offenen Sperrbauwerks sowie die Häufigkeit von Unterhaltmassnahmen in manchen Fällen reduzieren.

Das Einzugsgebiet eines Wildbachs sowie der Standort für Geschiebesammler sollten geologisch und hydrologisch analysiert werden. Die lokale Geologie ist wichtig für die Fundation und Verankerung des offenen Sperrbauwerks und den erforderlichen Kolkenschutz. Die hydrologischen Prozesse sind relevant für das Bestimmen der Hochwasserabflüsse, des Geschiebetransports und das Auftreten von Schwemmholz. Massnahmen für den Schwemmholzurückhalt sollten separat vom Sperrbauwerk getroffen werden, entweder im Oberlauf oder im Rückhalteraum. Entsprechende Massnahmen sind in der Fachliteratur beschrieben, z. B. Lange und Bezzola (2006) oder Bergmeister et al. (2009). So können etwa für den Schwemmholzurückhalt so genannte V-Rechen in den in Abbildung 5 dargestellten Geschiebesammler eingebaut werden, und zwar im Einlaufbereich des Rückhalteraus. Eine weitere Lösung für einen kombinierten Geschiebe- und Schwemmholzurückhalt besteht in Tauchwänden, die in der Nähe der Auslassöffnung errichtet werden können. Beispiele dafür gibt es in Österreich und in der Schweiz, wo sich Tauchwände bei grossen Hoch-

wassern bereits bewährt haben (Lange und Bezzola 2006).

Die Gestaltung des Geschiebesammlers, insbesondere das Volumen des Rückhalteraums, sollte an den Bemessungsabfluss angepasst werden, bei dem das Geschiebe zurückgehalten werden sollte. In der Schweiz entspricht der Bemessungsabfluss je nach Schutzziele meist einem HQ_{50} bis HQ_{100} . Die Beherrschung der Abflussenergie mittels Kolkenschutz im Unterlauf ist im Rahmen der hydraulischen Bemessung zu berücksichtigen.

Die Durchgängigkeit bestehender Geschiebesammler kann durch die Errichtung eines Leitgerinnes im Rückhalteraum verbessert werden. Die Resultate der Modellversuche zeigen, dass die Auslegung des Leitgerinnes auf dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss der Auslassöffnung basieren sollte, damit der Geschiebetransport bis zu dessen Erreichen aufrechterhalten wird. Durch die Konzentrierung des Abflusses im Leitgerinne wird bis zum maximalen Durchgängigkeitsabfluss kein Geschiebe abgelagert.

Bestehende Sperrbauwerke, die entweder nur aus einem Rechen oder aus nur einer Auslassöffnung für die hydraulische Kontrolle bestehen, sollten komplementär ergänzt werden. Das bedeutet, dass ein Rechen durch ein Sperrbauwerk im Unterlauf ergänzt werden sollte und ein Sperrbauwerk durch einen Rechen im Oberlauf.

Der Einsatz ingenieurbioologischer Massnahmen und lokal verfügbarer Baustoffe ist wenn möglich zu bevorzugen. Betonteile, die in Kontakt mit dem transportierten Geschiebe stehen, sind mit erosionsresistenten Blöcken zu verkleiden.

Die konstruktiven Kriterien bezüglich der Bauwerksstabilität, der mechanischen Eigenschaften des Baumaterials und der Gründung sind in der Fachliteratur ausführlich beschrieben, wobei vor allem das Überströmen der Seitenflügel des Sperrbauwerks vermieden werden sollte (Bergmeister et al. 2009).

Für die Räumungs- und Unterhaltsarbeiten sind eine Zufahrt zum Rückhalteraum sowie eine gute Anbindung an das Strassennetz zwingend notwendig. Die Häufigkeit

von Räumungs- und Unterhaltsarbeiten ist abhängig vom Füllungsgrad des Rückhalteraums, den ortsspezifischen Sicherheitsvorgaben und der Klassifizierung des Bauwerks. In günstigen Fällen besteht der Abraum aus Kies, der im Baugewerbe als Betonzuschlag verwendet werden kann. Eine solche Verwendung ist jedoch nur möglich, wenn es im Unterlauf nicht an Geschiebe mangelt. Andernfalls ist das Geschiebe dem Gewässer an geeigneter Stelle zurückzugeben (vgl. Merkblatt 7). In ungünstigen Fällen ist der Unterhalt mit beträchtlichen Kosten verbunden, z. B. wenn die Ablagerungen mit organischem Material (= Holz, Ästen) sowie Feinsediment durchmischt ist, abgeführt sowie deponiert werden müssen. Bei den Räumungsarbeiten ist darauf zu achten, das Leitgerinne nicht zu beschädigen. Dafür sind Markierungen des Leitgerinnes, sowie eine Fixierung der Blöcke hilfreich.

Geringe Geschieberückstände im Leitgerinne können durch den Wildbach selbsttätig und gefahrlos ausgespült werden. Die selbsttätige Freilegung des Leitgerinnes kann durch Räumungsarbeiten bei Abflüssen gefördert werden, die höher sind als der mittlere jährliche Abfluss, z. B. noch während des Rückgangs eines Hochwassers (vgl. Merkblatt 3).

Kleinere Schwemmh Holzablagerungen und Pflanzen sind ökologisch wertvoll, zum Beispiel, weil sie Insektenlarven als Unterschlupf dienen. Totholzablagerungen sollten aber entfernt werden, wenn durch sie die Funktionsweise des Geschiebesammlers beeinträchtigt ist.

Bei den Unterhaltsarbeiten wird zwischen Standardbauwerken und Schlüsselbauwerken unterschieden. Allerdings sind diese Begriffe in der Literatur nur vage beschrieben. Standardbauwerke sind demnach definiert als Bauwerke, bei denen technisches Versagen geringen bis mittleren Einfluss auf Siedlungen hat. Sie sollten mindestens alle fünf Jahre überwacht und kontrolliert werden. Bei Schlüsselbauwerken hat technisches Versagen grossen Einfluss auf Siedlungen, sie sollten deshalb jährlich überwacht und kontrolliert werden. Überprüfungen sollten in beiden Fällen nach Bedarf durchgeführt werden. Die Kontrollen sollten von interdisziplinären Experten durchgeführt werden (Bergmeister et al. 2009).

Fazit

Geschiebesammler mit trapezförmigem, rauem Leitgerinne im Rückhalteraum (Abb. 5) leiten Geschiebe bis zu einem maximalen Durchgängigkeitsabfluss weiter. Die Auslassöffnung eines Sperrbauwerks sollte im Einklang mit der Geometrie des Leitgerinnes sein und sollte demnach den Geschiebetransport bis zum maximalen Durchgängigkeitsabfluss nicht oder nur geringfügig beeinflussen. Mit der Kombination einer Auslassöffnung und einem vorgeschalteten Rechen lässt sich die Sicherheit des Geschieberückhalts vor der selbsttätigen Entleerung eines Geschiebesammlers erhöhen.

Sicherer Geschieberückhalt mittels hydraulischer Kontrolle ab dem maximalen Durchgängigkeitsabfluss kann nur durch vertikale Einschnürungen der Auslassöffnung erreicht werden. Dabei sollte das Sperrbauwerk nicht überströmt werden. Seitliche Einschnürungen können als konstruktives Hilfsmittel in Erwägung gezogen werden, z. B. um den Querschnitt der Auslassöffnung in eine rechteckige Form zu bringen. Der Abfluss reagiert empfindlich auf vertikale Einschnürungen. Diese sollten deshalb möglichst flexibel gestaltet werden. Um eine grössere Planungssicherheit für die Einleitung des Geschieberückhaltes zu erreichen, sollten ergänzend Modellversuche projektbezogen durchgeführt werden.

Literatur

Die ausführliche Literaturliste zu diesem Merkblatt befindet sich auf der Programmwebsite www.rivermanagement.ch > **Produkte und Publikationen.**

Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Beteiligte Forschungsinstitutionen: Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL; Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich; Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

Projektleitung: Anna Belser (Projektkoordination), BAFU; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zürich; Mario J. Franca, LCH-EPFL

Fachliche Begleitung: BAFU: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapoza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi. Kantone: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG). Forschungsinstitutionen: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL). Weitere: Raimund Hipp (KBNL), Roger Pfammatter (SWV), Luca Vetterli (Pro Natura)

Redaktion: Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

Lektorat: Regina Gerber

Zitierung: Schwindt, S., Franca, M. J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., 2017: Durchgängige Geschiebesammler in Wildbächen. In: Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Merkblatt 4.

Gestaltung und Illustrationen: Anamorph, Marcel Schneeberger

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download:

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern

www.bundespublikationen.admin.ch

Art.-Nr.: 810.300.136d www.bafu.admin.ch/uw-1708-d

© BAFU 2017