

Einfluss von Sohlenveränderungen auf den Abfluss bei seitlichen Entlastungsbauwerken

Seline Frei, Robert Boes und David Vetsch

Zusammenfassung

Seitliche Entlastungsbauwerke in Fließgewässern, wie Streichwehre oder überströmbare Dämme, sind übliche Maßnahmen, um bei größeren Hochwasserereignissen Teile des Abflusses in einen seitlichen Retentionsraum oder in einen Hochwasserkorridor zu leiten. Der seitliche Entlastungsabfluss reduziert die Geschiebetransportkapazität im Hauptgerinne, was zu einer lokalen Geschiebeablagerung und zu einer Auflandung flussabwärts des Entlastungsbauwerks führt. Dadurch kann sich der seitliche Entlastungsabfluss um das Dreifache erhöhen.

Für die Bemessung von seitlichen Entlastungsbauwerken gibt es verschiedene semi-empirische Überfallformeln, welche aber die Geschiebedynamik und den damit verbundenen höheren seitlichen Entlastungsabfluss nicht berücksichtigen. Für eine Abschätzung des seitlichen Entlastungsabflusses unter Berücksichtigung der Geschiebedynamik wurden daher systematische morphodynamische 1D, gekoppelte 1D-2D und 2D Simulationen mit der Software BASEMENT durchgeführt und Empfehlungen erarbeitet. Für den 1D und 1D-2D Modellansatz wird das seitliche Entlastungsbauwerk anhand der Überfallformel von De Marchi berücksichtigt, weshalb ein Überfallkoeffizient für die Simulation definiert werden muss. Dieses Vorgehen entfällt im 2D Modell, weil das Bauwerk durch die Topografie abgebildet werden kann.

Die verschiedenen Modellansätze wurden hinsichtlich Entlastungsabfluss und Geschiebedynamik mit Laborexperimenten validiert. Alle drei untersuchten Modellansätze erlauben, die Auflandung unterhalb des Entlastungsbauwerks im Hauptgerinne abzubilden. Das 2D Modell kann zusätzlich die lokale Geschiebeablagerung im Bereich des Entlastungsbauwerks und die Strömungsablenkung erfassen. Die Wechselwirkung zwischen seitlicher Entlastung und Sohlenveränderung im Gerinne sollte bei der Bemessung von seitlichen Entlastungsbauwerken berücksichtigt werden. Die Wahl des Modellansatzes zur Simulation der seitlichen Entlastung, d.h. 1D, gekoppelt 1D-2D oder 2D, hängt von der Fragestellung, den Modellanforderungen und der Datenverfügbarkeit ab.

1 Einleitung

Um das Überschwemmungsrisiko für flussabwärts gelegene Gebiete zu reduzieren, werden in der Schweiz vor allem die drei Konzepte Umleitung (z.B. Stollen, Hochwasserkorridor), Durchleitung (z.B. Ausbau der Gerinnekapazität) oder Retention verwendet (Bühlmann und Boes 2014). Seitliche Entlastungsbauwerke in Fließgewässern, wie Streichwehre oder überströmbare Dämme, sind übliche Maßnahmen, um bei größeren Hochwasserereignissen Teile des Abflusses in einen seitlichen Retentionsraum oder in einen Hochwasserkorridor zu leiten. Solche Bauwerke werden im Hochwasserschutz als Teil des Bemessungskonzepts oder für die Systemsicherheit bei Extremereignissen (Überlastfall) eingesetzt. Es gibt regulierte und unregulierte seitliche Entlastungsbauwerke, wobei in der Schweiz die meisten unreguliert sind (Bühlmann und Boes 2014).

Sobald die Wasserspiegellage die Damm- oder Wehrkrone des seitlichen Entlastungsbauwerks erreicht, kommt es zu einem seitlichen Entlastungsabfluss. Für die Bemessung der Kronenhöhe

bzw. des seitlichen Entlastungsabflusses wird in der Schweiz eine Risikobewertung basierend auf dem Schadenspotential des hochwassergefährdeten Gebietes durchgeführt (BAFU 2005). Für die Planung und Dimensionierung von seitlichen Entlastungsbauwerken ist der seitliche Entlastungsabfluss maßgebend. Durch das seitliche Entlastungsbauwerk reduziert sich der Abfluss im Hauptgerinne und damit die Geschiebetransportkapazität. Infolgedessen kann es zu einer lokalen Geschiebeablagerung und zu einer Auflandung flussabwärts des Entlastungsbauwerks kommen (Abb. 1). Der seitliche Entlastungsabfluss kann sich dabei bis um das Dreifache erhöhen (Rosier 2007), was bei der Auslegung des Überflutungsbereichs berücksichtigt werden sollte.

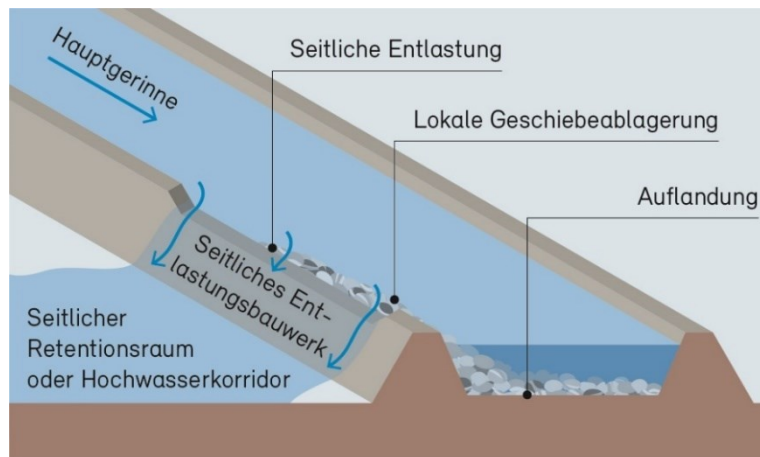


Abb. 1 Seitliches Entlastungsbauwerk mit lokaler Geschiebeablagerung und Auflandung flussabwärts. Quelle: BAFU, 2023

Gängige Bemessungsrichtlinien wie Bühlmann und Boes (2014), Giesecke et al. (2014) oder Jäggi et al. (2015), welche den seitlichen Entlastungsabfluss gemäß den Überfallformeln nach De Marchi (1934), Schmidt (1957) oder Hager (1987) berechnen, berücksichtigen die Wechselwirkung zwischen der seitlichen Entlastung und der Veränderung der Sohlenlage nicht.

Für einen seitlichen Entlastungsabflusses unter Berücksichtigung der Geschiebedynamik wurden daher systematische morphodynamische 1D, gekoppelte 1D-2D und 2D Simulationen mit der Software BASEMENT (Vetsch et al. 2018) durchgeführt und anhand von Rinnenexperimenten, welche Rosier im Labor für Wasserbau LCH der EPFL durchführte, validiert. Für die 1D resp. 1D-2D morphodynamischen Simulationen wird die Überfallformel nach De Marchi (1934) verwendet. In der Literatur werden oft verschiedene Überfallformeln mit ihren zugehörigen Überfallkoeffizienten vermischt, weshalb zuerst die gängigen Formeln für die Abschätzung des Entlastungsabflusses mit den zugehörigen Überfallkoeffizienten erläutert werden, bevor die numerischen Simulationen präsentiert werden.

2 Abschätzung des seitlichen Entlastungsabflusses

Die klassische Wehrgleichung für die Abschätzung des Abflusses geht von einem frontal angeströmten Wehr aus. Seitliche Entlastungsbauwerke werden mit einem Winkel $<90^\circ$ angeströmt. Abbildung 2 zeigt die Draufsicht und Seitenansicht mit dem Wasserspiegelverlauf entlang eines seitlichen Entlastungsbauwerks bei strömendem Abfluss, wobei alle relevanten Variablen dargestellt sind.

Die Wassertiefe entlang des Streichwehrs nimmt bei strömenden Bedingungen (Abb. 2) zu und bei schießenden ab. Daher ist die seitliche Entlastungsabfluss pro Einheitslänge bei einem schießenden Abfluss deutlich geringer als bei einem strömenden und lässt sich kaum voraussagen (Jäggi et al. 2015). Seitliche Entlastungsbauwerke werden für schießenden Abfluss nicht empfohlen (Hager 2010) und sollten daher nur in strömenden Flussabschnitten in Betracht gezogen werden, in denen die Froude-Zahl im Oberwasser $Fr_o = v_o / (g \cdot A / B_w)^{0.5} < 0.75$ (Hager 2010; Giesecke et al. 2014) ist, wobei $v_o = Q_o / A$ die über den Fließquerschnitt A gemittelte Anströmungsgeschwindigkeit ist, Q_o der Gerinneabfluss, A der Fließquerschnitt, g die Erdbeschleunigung und B_w die Gerinnebreite auf Höhe des Wasserspiegels.

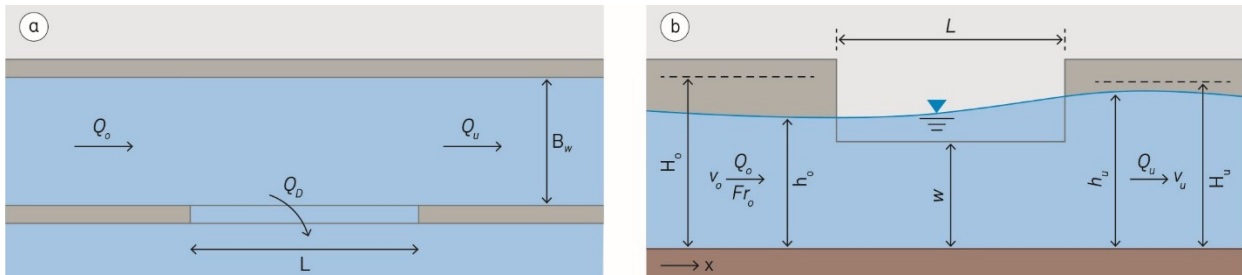


Abb. 2 (a) Draufsicht und (b) Seitenansicht eines seitlichen Entlastungsbauwerks, die den Wasserspiegel bei strömendem Abfluss zeigen. Alle Variablen sind im Haupttext definiert. Quelle: BAFU, 2023

Für die Abschätzung des Entlastungsabflusses bei seitlichen Entlastungsbauwerken wird nachfolgend auf die semi-empirischen Überfallformeln nach De Marchi (1934) und Schmidt (1957) eingegangen.

2.1 Formel nach De Marchi

Für die Berechnung des seitlichen Entlastungsabflusses in einem rechteckigen, horizontalen Kanal mit einem scharfkantigen Wehr schlug De Marchi (1934) folgende Gleichung vor

$$\frac{dQ_D}{dx} = \frac{2}{3} \cdot C_M \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_w - w)^{3/2}, \quad [1]$$

wobei dQ_D/dx die Abflussänderung entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$], C_M der seitliche Überfallkoeffizient nach De Marchi (1934) [-], Q_D der seitliche Entlastungsabfluss [m^3/s], $h_w = h_w(x)$ die Abflusstiefe entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks [m], w die Wehrkronenhöhe [m] und g die Erdbeschleunigung [m/s^2] ist. Der Ansatz von De Marchi berücksichtigt kein Energieverlust entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks.

Oft sind der Oberwasserabfluss Q_o , der Unterwasserabfluss Q_u und die Strömungsverhältnisse im Unterwasser (Unterwasser-Geschwindigkeit v_u , Wassertiefe h_u , Energiehöhe H_u und Gerinnebreite B) bekannt. Unter der Annahme, dass entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks kein Energieverlust auftritt, können die Strömungsverhältnisse im Oberwasser (Oberwasser-Geschwindigkeit v_o , Wassertiefe h_o und Energiehöhe H_o) mit Hilfe der Bernoulli-Gleichung berechnet werden. Di Bacco und Scorzini (2019) schlugen die folgende Gleichung vor, um die erforderliche Länge des seitlichen Entlastungsbauwerks L zur Verminderung von Q_o auf Q_u zu berechnen:

$$L = \frac{3B}{2C_M} \cdot (\Phi_u - \Phi_o) \quad [2]$$

wobei

$$\Phi_i = \frac{2H_i - 3w}{H_i - w} \cdot \sqrt{\frac{H_i - h_i}{h_i - w}} - 3 \cdot \arcsin\left(\frac{H_i - h_i}{h_i - w}\right) \text{ und } i = o, u \quad [3]$$

Für die Bestimmung des seitlichen Überfallkoeffizienten C_M existieren in der Literatur einige Ansätze, wobei viele in einem rechteckigen Laborkanal für ein scharfkantiges Wehr hergeleitet wurden. Subramanyana und Awasthy (1972) (Gleichung 4) und Hager (1987) (Gleichung 5) werden für ein scharfkantiges Wehr im Rechteck- oder Trapezkanal bei strömenden Bedingungen empfohlen (Rosier, 2007 and Jäggi, 2015). Weniger Literatur gibt es für breitkronige (e.g. Ranga Raju 1979), rundkronige (e.g. Izadinia and Heidarpour, 2016) und dachförmige Seitenwehre.

$$\text{Subramanyana und Awasthy (1972): } C_M = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3F_o^2}{2+F_o^2}} \quad [4]$$

$$\text{Hager (1987) (vereinfacht): } C_M = 0.728 \sqrt{\frac{2+Fr_o^2}{2+3Fr_o^2}} \quad [5]$$

2.2 Formel nach Schmidt

Gemäß Schmidt (1957) kann der seitliche Entlastungsabfluss Q_D anhand der mittleren Abflusstiefe $h_m = (h_o + h_u)/2$ entlang des Seitenwehres $dx = L$ mit

$$Q_D = \frac{2}{3} \cdot C_S \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_m - w)^{3/2} \cdot L, \quad [6]$$

berechnet werden, wobei C_S der seitliche Überfallkoeffizient nach Schmidt (1957) [-] ist. Im Gegensatz zu De Marchi (1934) berücksichtigt Schmidt (1957) die Energieverlust entlang des seitlichen Entlastungsbauwerks (siehe dazu Bollrich, 2013). Der Überfallkoeffizient nach Schmidt (1957) C_S ist eine Kombination aus dem Überfallkoeffizienten des frontal angeströmten Wehres μ , welchen die Geometrie der Wehrkrone berücksichtigt, und dem Koeffizienten δ , welcher die seitliche Anströmung miteinbezieht: $C_S = \delta \cdot \mu$. Der Überfallkoeffizient μ wird anhand von Literaturwerten für frontal angeströmte Wehre bestimmt (z.B. Bollrich, 2013). Der Koeffizient δ muss jedoch abgeschätzt werden, wobei Schmidt (1957) einen Wert von $\delta = 0.95$ vorschlägt.

2.3 Verwendung der Formeln

Bei der Abschätzung des seitlichen Entlastungsabflusses ist die Wahl des Überfallkoeffizienten wichtig. Di Bacco und Scorzini (2019) zeigen auf, dass es falsch ist, Überfallkoeffizienten von verschiedenen Formeln zu mischen, z.B. Schmidt 1957 (C_S, h_m) vs. De Marchi 1934 ($C_M, h_w(x)$).

Die beschriebenen Formeln berücksichtigen die Veränderung der Sohlenlage nicht. Nichtsdestotrotz ist die Anwendung nützlich z.B. in Fließgewässern, wo es aufgrund von fehlendem Geschiebe zu keinen Auflandungen kommen kann oder für eine grobe Abschätzung von Entlastungsabflüssen. Des Weiteren basiert der seitliche Entlastungsabfluss der hydro- und morphodynamischen 1D und 1D-2D Modelle in BASEMENT auf der Formel nach De Marchi, weshalb bei diesen Modellen der seitliche Überfallkoeffizient nach De Marchi C_M bestimmt werden muss. Eine detaillierte Abschätzung der Sohlenveränderungen und des Entlastungsabflusses wird für die Planung von seitlichen Entlastungsbauwerken empfohlen und deshalb in den folgenden Kapiteln näher betrachtet.

3 Numerische Modellierung seitlicher Entlastungsbauwerke

3.1 Modellansätze

Um die Auswirkungen der Auflandungsdynamik auf den seitlichen Entlastungsabfluss zu beurteilen, wurden mit der Software BASEMENT (Version 2.8.2) verschiedene numerische Modellansätze evaluiert. BASEMENT ist eine Freeware zur Simulation der Hydro- und Morphodynamik von Fließgewässern (www.basement.ethz.ch), die an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich entwickelt wurde. Bei dieser Evaluation wurden mehrere hydrodynamische (fixierte Flusssohle, kein Geschiebetransport) und morphodynamische Simulationen mit den verschiedenen Modellansätzen durchgeführt und die Ergebnisse mit beobachteten experimentellen Daten von Rosier (2007) verglichen. Insbesondere wurden trapezförmige und rechteckige Kanäle mit Streichwehren simuliert. Vier verschiedene numerische Modellansätze wurden getestet, von denen drei ausgewählt wurden (Abb. 3):

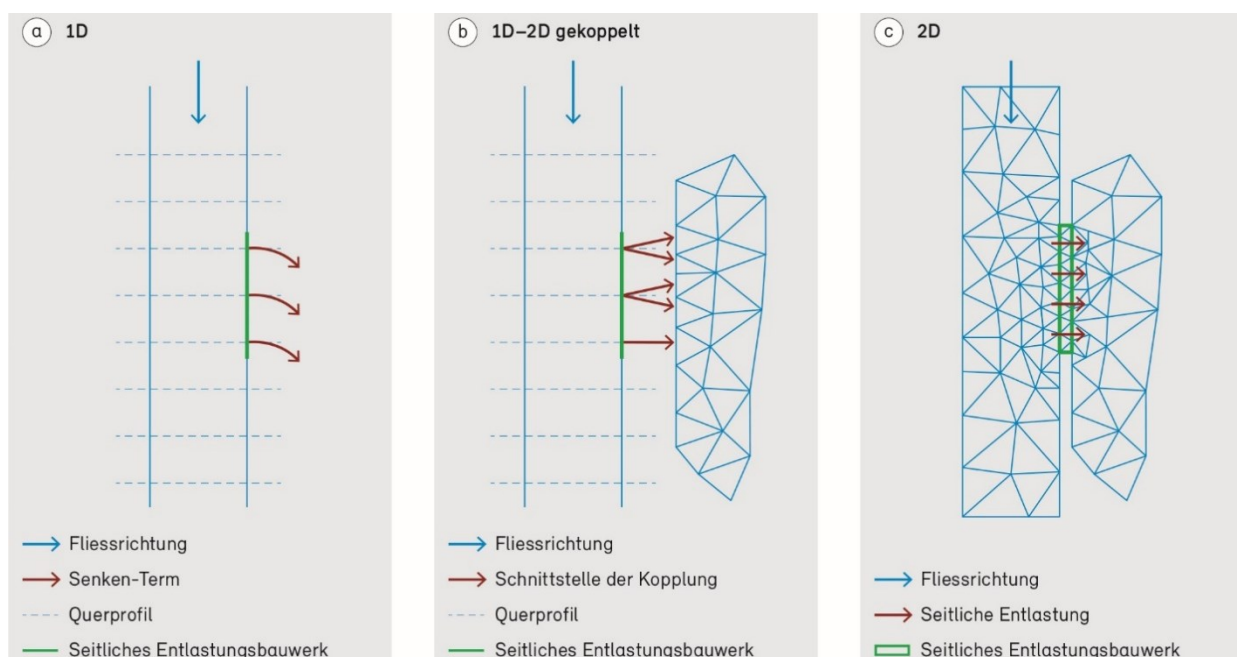


Abb. 3 Ansätze, die in der Software BASEMENT zur Simulation des Abflusses über ein seitliches Entlastungsbauwerk verwendet werden können: (a) 1D, (b) gekoppelter 1D-2D und (c) 2D Ansatz. Quelle: BAFU, 2023

- (a) 1D: Die seitliche Entlastung über ein Streichwehr wird im 1D Modell mit einer Reduktion des Abflusses durch spezifische Senken-Terme (Gl. 1) an jedem Querprofil entlang des Wehrs berücksichtigt. Für die einzelnen Senken-Terme müssen spezifische C_M -Werte definiert werden. Die Reduktion des Strömungsimpulses aufgrund des seitlichen Entlastungsabflusses wird in BASEMENT berücksichtigt.
- (b) 1D-2D gekoppelt: Die laterale Kopplung umfasst ein 1D Gerinne und einen 2D Überflutungsbereich. Der seitliche Entlastungsabfluss wird mit Hilfe von Gl. 1 berechnet; zudem muss ein spezifischer C_M -Wert definiert werden. Die Reduktion des Strömungsimpulses aufgrund des seitlichen Entlastungsabflusses wird in BASEMENT berücksichtigt.
- (c) 2D: Die Geometrie des Streichwehrs und die Topografie des Überflutungsbereichs werden modelliert. C_M muss für diese Simulation nicht spezifiziert werden.

Beispiele für diese Ansätze sind auf der BASEMENT-Webseite zu finden (www.basement.ethz.ch > Download > Test cases).

3.2 Vergleich der Modellansätze

Die drei unterschiedlichen Modellansätze liefern alle gute hydro- und morphodynamische Resultate. Je nach Anwendung und Detailgrad gibt es jedoch deutliche Unterschiede.

3.2.1 Hydrodynamische Simulationen

Liegen wenige topografische Daten vor und ist eine kurze Rechenzeit erforderlich, eignen sich 1D oder gekoppelte 1D-2D Modelle. Jedoch zeigen diese beiden Modelltypen keine Strömungsablenkung im Hauptgerinne und im Überflutungsbereich. Gekoppelte 1D-2D Modelle können von Vorteil sein, wenn das Strömungsfeld im Überflutungsbereich von Bedeutung ist. Was den Entlastungsabfluss betrifft, so ist der seitliche Überfallkoeffizient C_M der empfindlichste Parameter in diesen beiden Modellen, und eine entsprechende Sensitivitätsanalyse wird empfohlen. Gute Ergebnisse für rechteckige Gerinne mit scharfkantigem Wehr und für trapezförmige Gerinne mit dachförmigem Wehr können mit dem seitlichen Überfallkoeffizient von Hager (1987) (Gl. 5) erzielt werden. Tabelle 1 zeigt für die hydrodynamischen Simulationen einen Vergleich der 1D und der gekoppelten 1D-2D Simulationen mit der 2D Simulation, bei der kein C_M -Wert benötigt wird. Für das 2D Modell muss die Topografie angegeben und die Rauheit der Wehrkrone spezifiziert werden. Der seitliche Entlastungsabfluss reagiert weniger empfindlich auf die Rauheit als das 1D oder das gekoppelte 1D-2D Modell auf den seitlichen Überfallkoeffizienten C_M . Das 2D Modell gibt die Strömungsablenkung im Hauptgerinne und im Überflutungsbereich an und ist am flexibelsten. Hingegen wird im 2D Modell bei der Überströmung eine hydrostatische Druckverteilung angenommen, die so nicht vorliegt. Rosier (2007) hat keine hydrodynamischen Experimente durchgeführt, womit die hydrodynamischen Simulationen kalibriert werden konnten (Tab. 1).

Tab. 1 Vergleich des Entlastungsabflusses (Q_D in [l s^{-1}]) zwischen den hydro- und morphodynamischen Simulationen und dem physikalischen Experiment B02 von Rosier (2007). Das rechteckige Gerinne hat folgende Abmessungen: Breite = 1.5 m, Sohlengefälle = 0.2 %, Länge des seitlichen Entlastungsbauwerks $L = 3$ m, Wehrhöhe $w = 10$ cm, konstanter Abfluss $Q_o = 181 \text{ l s}^{-1}$.

	Hydro-dynamisch	Morpho-dynamisch	Morphodynamisch (mit Sohlsicherung)
Physikalisches Experiment von Rosier (2007)	-	52	-
1D Modell ($C_M = 0.6$ für alle 11 Senken-Terme)	33	48	43
Gekoppeltes 1D-2D Modell ($C_M = 0.6$)	33	47	43
2D Modell	32	42	40

3.2.2 Auswirkungen der Morphodynamik

Die Auflandung flussabwärts des Streichwehrs und der daraus resultierende höhere seitliche Entlastungsabfluss lassen sich mit allen drei Modellansätzen simulieren. Die räumliche Ausdehnung der lokalen Geschiebeablagerung im Bereich des Streichwehrs kann allerdings nur mit dem 2D Modell (Abb. 4) und nicht mit einem 1D Modell oder 1D-2D Modell erfasst werden.

Der Entlastungsabfluss (Tab. 1), die Auflandung (lokale Geschiebeablagerung am Ende des seitlichen Entlastungsbauwerks von 10 cm im 2D Modell und Rosier (2007)) sowie die Geometrie und Lage der lokalen Geschiebeablagerung, die im morphodynamischen 2D Modell berechnet wurden, stimmen gut mit den Ergebnissen der physikalischen Experimente von Rosier (2007) überein.

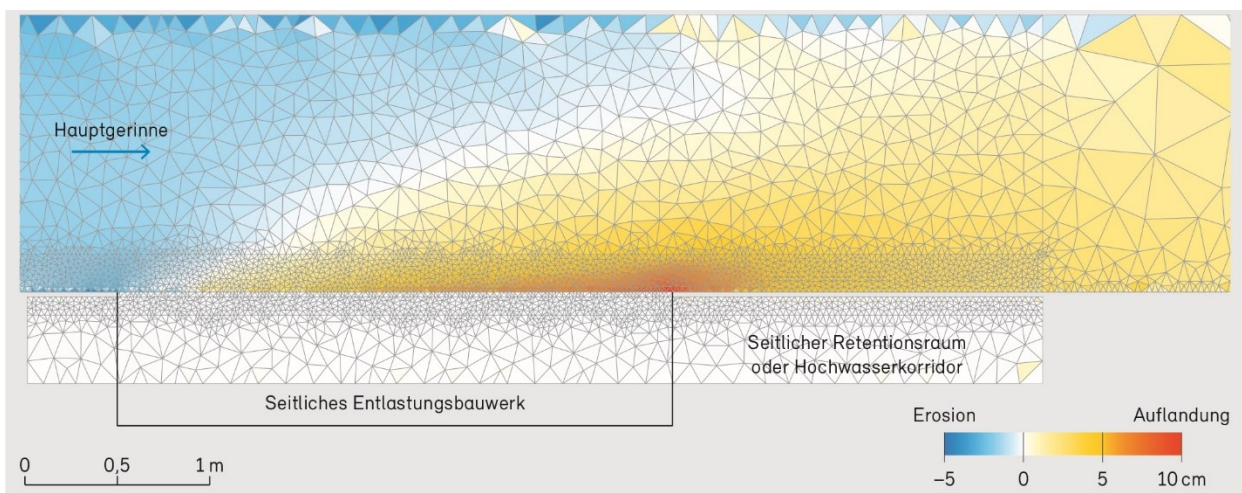


Abb. 4 Lokale Geschiebeablagerung entlang des Entlastungsbauwerks und Auflandung flussabwärts im Hauptgerinne (2D Modell des Versuchs B02 von Rosier (2007), seitliches Entlastungsbauwerk $L = 3$ m). Quelle: BAFU, 2023

Tabelle 1 vergleicht den Entlastungsabfluss für die hydro- und morphodynamischen Simulationen sowie das physikalische Experiment von Rosier (2007). Der Entlastungsabfluss ist in den morphodynamischen Simulationen, in denen die Geschiebeablagerung berücksichtigt wird, deutlich grösser. Mit einem rein hydrodynamischen Modell wird der Entlastungsabfluss unterschätzt, was zu einer Unterdimensionierung des Retentionsraums oder des Hochwasserkorridors führen kann.

Die Wasserspiegel- und die Sohlenlage für die hydrodynamische Simulation und für die morphodynamischen Simulationen mit und ohne Sohlsicherung sind in Abbildung 5 für den 1D Modellansatz dargestellt. Mit dem 1D-2D und 2D Modellansatz werden die gleichen Ergebnisse erzielt. Stromabwärts des Streichwehrs kann sich eine beträchtliche Menge an Sedimenten ablagern und folglich die Querschnittsfläche verringern (Abb. 5b). Unterhalb des Streichwehrs ist weniger Wasser im Gerinne, so dass es zu keinem Anstieg des Wasserspiegels kommt (Abb. 5). Aufgrund der Staukurve vor der seitlichen Entlastung (Abb. 5a) wird eine Sicherung der Sohle empfohlen (Tab. 1 und Abb. 5c). Die Auflandung im Hauptgerinne und die lokale Geschiebeablagerung im Bereich des Streichwehrs nehmen mit zunehmender Länge des seitlichen Entlastungsbauwerks zu.

Im Gegensatz zur Auflandung im Hauptgerinne und der lokalen Geschiebeablagerung im Bereich des Streichwehrs reagiert der seitliche Entlastungsabfluss rasch auf Abflussänderungen. Die

Analyse mit einer kurzen Hochwasserganglinie zeigt im Vergleich zu einer Simulation mit einer langen Hochwasserganglinie weniger Auflandungen im Hauptgerinne, weniger lokale Geschiebeablagerungen im Bereich des Streichwehrs und einen geringeren Entlastungsabfluss. Während des abfallenden Asts der Hochwasserganglinie werden die Auflandungen im Hauptgerinne und die lokalen Geschiebeablagerungen im Bereich des Streichwehrs wieder vollständig abgetragen und die vor dem Hochwasser vorhandene Sohlenlage wird wiederhergestellt.

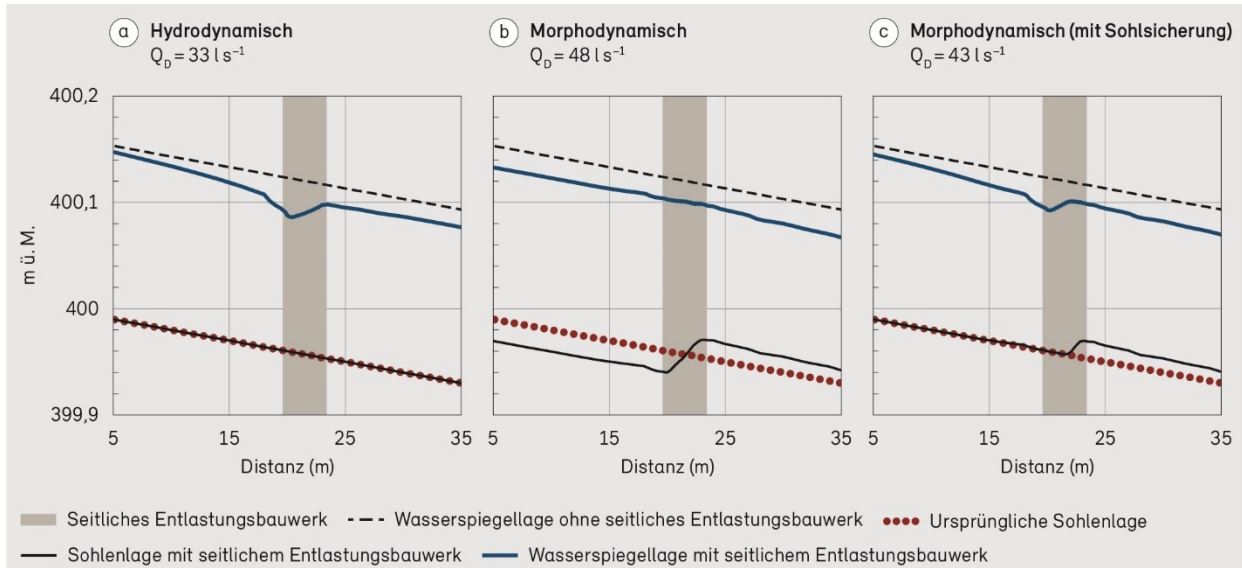


Abb. 5 Wasserspiegel- und Sohlenlage für den 1D Modellansatz, für (a) hydrodynamische, (b) morphodynamische und (c) morphodynamische (mit Sohlsicherung) Simulationen. Die Gerinnegeometrie ist in der Überschrift der Tabelle 1 beschrieben. Quelle: BAFU, 2023

4 Empfehlungen für praktische Anwendungen

Die semi-empirischen Formeln (Gl. 1 und 6) können für eine grobe Abschätzung des Entlastungsabflusses verwendet werden, sind aber auf stationäre Strömungsbedingungen beschränkt und berücksichtigen keine Sohlenveränderungen im Hauptgerinne. Die vorgestellten numerischen Modelle simulieren im Allgemeinen instationäre hydrodynamische Strömungen, wie etwa bei Hochwasserereignissen unter Berücksichtigung der Verminderung des Abflusses aufgrund der seitlichen Entlastung. Alle drei vorgestellten Modelltypen (1D, 1D-2D gekoppelt und 2D) zeigen eine Auflandung stromabwärts des Entlastungsbauwerks, wodurch der Entlastungsabfluss zunimmt, was wiederum bei der Bemessung des Retentionsraums oder des Hochwasserkorridors zu berücksichtigen ist. Der seitliche Überfallkoeffizient C_M in den 1D und den gekoppelten 1D-2D Modellansätzen ist mit Unsicherheiten behaftet, während mit dem von Hager (1987) vorgeschlagenen vereinfachten Ansatz (Gl. 5) gute Ergebnisse erzielt werden können. In einem 2D Modell wird C_M obsolet und zusätzlich zur Gerinneströmung kann auch die Strömung im Überflutungsbereich simuliert werden. Nur 2D Modelle erfassen die lokale Geschiebeablagerung im Bereich des Streichwehrs, weshalb sie sich am besten für die Simulation von Sohlenveränderungen im Bereich von Entlastungsbauwerken eignen.

Zur Bemessung von seitlichen Entlastungsbauwerken in Fließgewässern mit Geschiebetransport werden morphodynamische Simulationen empfohlen. Die Wahl des geeigneten Modellansatzes zur Simulation der seitlichen Entlastung, d.h. 1D, 1D-2D gekoppelt oder 2D, hängt von der jeweiligen Aufgabenstellung und der Datenverfügbarkeit ab.

Literatur

- BAFU (Hrsg.) (2023). Lebensraum Gewässer – Sedimentdynamik und Vernetzung. Praxisorientierte Forschung im Bereich Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2302-d: 98 S. (wird demnächst publiziert)
- BAFU (Hrsg.) (2005). Empfehlung. Raumplanung und Naturgefahren. Vollzug Umwelt, VU-7516-E, BAFU, Bern: 50 S.
- Bollrich G. (2013). Technische Hydromechanik 1: Grundlagen (7th Edition). Beuth Verlag GmbH, Berlin. ISBN: 9783410291695
- Bühlmann M., Boes R.M. (2014). Lateral flood discharge at rivers: concepts and challenges. In: Schleiss A.J., De Cesare G., Franca M.J., Pfister M. (Eds). River Flow 2014: Proceedings of the 7th International Conference on Fluvial Hydraulics. Lausanne, Switzerland, 3–5 September 2014. CRC Press, London: 1799–1806. ISBN: 9781138026742
- De Marchi G. (1934). Saggio di teoria de funzionamento degli stramazzi laterali. L'Energia Elettrica, 11(11): 849–860.
- Di Bacco M., Scorzini A.R. (2019). Are we correctly using discharge coefficients for side weirs? Insights from a numerical investigation. Water, 11(12): 2585. DOI: 10.3390/w11122585
- Giesecke J., Heimerl S., Mosonyi E. (2014). Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb (6th Edition). Springer-Verlag, Berlin: 940 pp. DOI: 10.1007/978-3-662-10859-8
- Hager W.H. (1987). Lateral outflow over side weirs. Journal of Hydraulic Engineering, 113(4): 491–504. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:4(491)
- Hager W.H. (2010). Wastewater Hydraulics, Theory and Practice (2. Auflage). Springer, Heidelberg: 660 S. DOI: 10.1007/978-3-642-11383-3
- Izadinia, E. and Heidarpour M. (2016). Discharge coefficient of a circular-crested side weir in rectangular channels. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(6). DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001025
- Jäggi M., Boes R., Bühlmann M., Dähler M., Huber A., Kaspar H., Schluh M., Weiss H., Stocker S., Weitbrecht V., Schmockler L. (2015). Positionspapier zu seitlichen Hochwasserentlastungen an Flüssen. Kommission für Hochwasserschutz des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes (KOHS). Wasser Energie Luft, 107(4): 293–295. ISSN: 0377-905X
- Ranga Raju, K. G., Prasad, B. and Gupta, S. K. (1979). Side weir in rectangular channel. Journal of the Hydraulics Division, 105(5): 547-554
- Rosier B. (2007). Interaction of side weir overflow with bed-load transport and bed morphology in a channel. PhD dissertation, EPFL, Lausanne.
- Schmidt, M. (1957). Gerinnehydraulik. Bauverlag GmbH, Wiesbaden.
- Subramanya, K. und Awasthy, S. C. (1972). Spatially varied flow over side-weirs. Journal of the Hydraulics Division, 98(1): 1-10
- Vetsch D., Siviglia A., Caponi F., Ehrbar D., Gerke E., Kammerer S., Koch A., Peter S., Vanzo D., Vonwiller L., Facchini M., Gerber M., Volz C., Farshi D., Mueller R., Rousselot P., Veprek R., Faeh R. (2018). System Manuals of BASEMENT, Version 2.8. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW). ETH Zurich.

Anschrift der Verfasser

Seline Frei, Prof. Dr. Robert Boes, Dr. David Vetsch
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
CH-8093 Zürich
frei@vaw.baug.ethz.ch