

# Integrated bed-load and driftwood retention in Kien - Findings from model-based testing and the 2011 flood

## Geschiebe- und Schwemmholtzrückhalt Kien - Erkenntnisse aus den Modellversuchen und dem Hochwasser 2011

Guido Lauber, Dr.<sup>1</sup>; Jürg Speerli, Prof. Dr.<sup>2</sup>; Warin Bertschi, M.D.<sup>1</sup>; Armin Hemmi<sup>1</sup>

### ABSTRACT

During the 2005 flood, prolonged rainfall and high peak flows led to large quantities of bed-load and driftwood causing overtopping at several locations. Following the events a protection project was launched which included a driftwood rack as well as a sediment retention basin. These solutions were designed and optimised using a hydraulic model. Between 2007-2010 the various phases of the project were executed, including the expansion of an existing channel in the village. Throughout the flood of 2011, with peak flows matching a 1/100-year event, hardly any driftwood was collected when compared to the flood in 2005. Such a scenario was considered unlikely and would have led to a large sediment discharge (lower efficiency of the sediment retention system). During the latter stages of the flood, the sediment discharge remain low as sufficient small-sized deadwood blocked the openings of the retention system. The design of these openings as well as the prediction and significance of driftwood are linked to the interaction of the floods as well as the bed-load and driftwood movement, remaining very complex and limited by uncertainties.

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasser vom 20.-22. August 2005 führte im Alpenraum zu grossräumigen Überschwemmungen. Im Kanton Bern war vor allem das Berner Oberland stark betroffen. Die Chiene beförderte sehr grosse Geschiebe- und Schwemmholtzmengen zu Tal, was in den Dörfern Kien und Reichenbach im Kandertal zu massiven Ausuferungen führte. Auf der Grundlage einer detaillierten Ereignisanalyse wurden die Schutzprojekte entlang der Chiene in Kien und weiter oben im Kiental Boden erarbeitet. In Kien wurden u.a. eine Aufweitung des Gerinnes und ein Geschiebe- und Schwemmholtzrückhalt projektiert. Das komplizierte Zusammenspiel von Geschiebe und Holz im Rückhaltebecken wurde in Modellversuchen an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil untersucht und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in der Projektierung berücksichtigt. Die verschiedenen Schutzbauwerke wurden in Etappen zwischen 2007 und 2010 realisiert. So war das Gesamtprojekt zum Zeitpunkt des Hochwassers im Oktober 2011 fertiggestellt und wurde einem ersten 1:1 Stresstest unterzo-

<sup>1</sup> Emch+Berger AG, Spiez, SWITZERLAND, spiez@emchberger.ch

<sup>2</sup> HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Switzerland

gen. In diesem Bericht werden kurz die Kernaussagen aus der Projektierung und Modellierung zusammengefasst, um daraus die Erkenntnisse aus dem Hochwasser 2011 aufzuzeigen.

## KEYWORDS

flood protection; hydraulic modeling; event documentation; driftwood; bedload retention

## GEFAHRENSITUATION UND SCHUTZKONZEPT

Während dem Sommerhochwasser 2005 hat die Chiene in Kien eine Abflussspitze von 120-140 m<sup>3</sup>/s (HQ<sub>100</sub>: 120 m<sup>3</sup>/s) erreicht. Insgesamt wurden während dem Ereignis 80'000-100'000 m<sup>3</sup> Geschiebe und 4'000-6'000 m<sup>3</sup> Schwemmholz mobilisiert und ein Grossteil davon auf dem Schwemmkegel in Kien abgelagert (s. Abbildung 1).

Im Rahmen der Lokalen Lösungsorientierten Ereignisanalyse (Emch+Berger et al., 2006) wurden zum Schutz der Siedlungsgebiete Kien und Reichenbach eine Vielzahl unterschiedli-



Abbildung 1: Aufnahmen vom Chiene-Hochwasser 2005 im Dorf Kien. Linkes Bild: Luftaufnahme vom Dorf Kien mit dem Standort der Dorfbrücke (roter Kreis). Rechtes Bild: Holzablagerungen bei der Dorfbrücke nach dem Hochwasser.

cher Schutzmassnahmen geprüft. Die Bestvariante wurde im Rahmen eines Wasserbauplans (Emch+Berger et al., 2006) weiterbearbeitet und genehmigt. Sie sieht oberhalb von Kien auf dem Kegelhalbs die Realisierung einer Geschiebesperre mit vorgelagertem Schwemmholzrechen (s. Abbildung 2) sowie im Unterlauf (Schwemmkegel) eine Aufweitung des Gerinnes mit Erosionsschutz mittels Blocksteinschwellen und Blocksteinrampen bis zur Mündung in die Kander vor (Ausbauwassermenge plus Freibord). Der Dimensionierung wurde das Hochwasserereignis vom August 2005 zugrunde gelegt mit 70'000 m<sup>3</sup> Geschiebe, 5'000 m<sup>3</sup> Schwemmholz und einer Abflussspitze von 120 m<sup>3</sup>/s.



Abbildung 2: Linkes Bild: Hochwasserschutzmassnahmen Chiene in Kien - Übersicht Gesamtkonzept mit Rückhaltebecken (grün), Gerinneaufweitung und –stabilisierung mittels Blocksteinschwellen (orange), Blocksteinrampen (gelb), neue Dorfbrücke (pink), Damm Überlastkorridor (orange Linie). Rechtes Bild: Bau des vorgelagerten Schwemmholzrechens (2010) mit dahinterliegender Geschiebesperre.

### FUNKTION VON GESCHIEBESAMMLERN

Die wichtigste Funktion eines Geschiebesammlers ist der Rückhalt von Geschiebe.

Die Geometrie des Abschlussbauwerkes beeinflusst den Geschieberückhalt in grossem Masse (Zollinger 1983). Folgende Mechanismen führen zu einer Geschiebeablagerung im Sammlerraum (s. Abbildung 3):

- (1) Reduktion der Abflusstiefe durch Gerinneaufweitung
- (2) Reduktion des Sohlgefälles
- (3) Wasseraufstau und Seebildung im Geschiebesammler
- (4) direkte Behinderung des Geschiebetriebs durch das Abschlussbauwerk

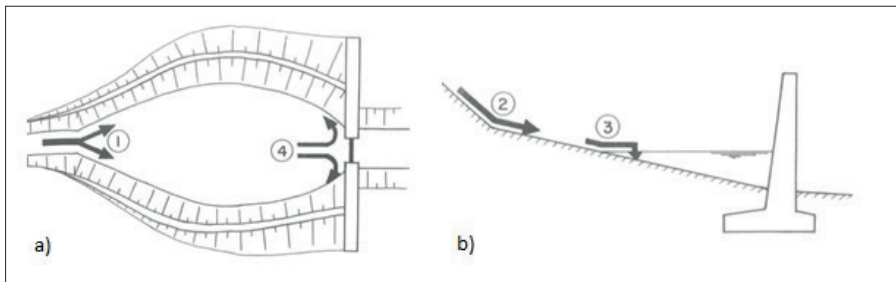


Abbildung 3: Ablagerungsmechanismen in einem Geschiebesammler im Grundriss a) und Schnitt b): Gerinneaufweitung (1), Gefällsknick (2), Wasseraufstau (3), direkte Behinderung des Geschiebetriebs durch Abschlussbauwerk (4) (Zollinger 1983).

Mit einer dem Abschlussbauwerk vorgelagerten Rechenkonstruktion wird das Schwemmholz im Zustand der Seebildung durch den Rechen zurückgehalten (Lange und Bezzola 2006).

## MODELLVERSUCHE GESCHIEBE- UND SCHWEMMHOLZRÜCKHALT

Zur Überprüfung der Interaktion von Schwemmholtz- und Geschieberückhalt wurden vorab an der HSR Versuche am hydraulischen Modell (Mstb. 1:35) durchgeführt (Speerli und Stucki, 2009). Abflüsse mit freier Oberfläche stehen unter dem Einfluss der Trägheits- und Schwerkraft, womit die Froude-Zahl massgebend wird. So können mit dem Massstabsfaktor  $\lambda = 35$  und dem Ähnlichkeitsgesetz nach Froude die Werte aus dem Modell in Naturwerte umgerechnet werden.

Als Eingangsgrößen dienten einerseits das Hochwasser 2005 mit unterschiedlichen Schwemmholtzmengen sowie das EHQ Ereignis. Von einem Schwemmholtzaufkommen in der Chiene kann aufgrund der Einzugsgebietsverhältnisse grundsätzlich ausgegangen werden. Deshalb stellt ein grosses geschiefeführendes Hochwasser ohne Holz ein eher unwahrscheinliches Extremereignis dar.

Der Geschieberückhalt ist so konzipiert, dass sich ab einem Abfluss von  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. einer Verklausung der Durchlässe im Geschiebesammler ein See bildet und Schwemmholtz an der Wasseroberfläche in Richtung Schwemmholtzrechen schwimmt.

## LAGE UND DIMENSION DES RECHENS

Bei grossen Holzmengen, wie sie vor allem im Überlastfall zu erwarten sind, bildet der vorgelagerte Schwemmholtzrechen quasi einen zweiten, vorgelagerten höheren Geschieberückhalt. Einerseits können dadurch im Überlastfall auch beträchtlich grössere Geschiebemengen als die Dimensionierungsmengen zurückgehalten werden, andererseits steigen aber auch die Sohle und damit der Wasserspiegel im Rückhaltebecken entsprechend an (s. Abbildung 4). Das rechnerische Bestimmen dieser Effekte ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. Im hydraulischen Modell konnten unterschiedliche Szenarien untersucht und entsprechende Wasserspiegelkoten bestimmt werden (Sensitivitätsanalyse). Es sollte ein möglichst robustes Rückhaltesystem gefunden werden, welches unabhängig von diesen Unsicherheiten für grosse und kleine Geschiebe- und Schwemmholtzmengen zuverlässig funktioniert.

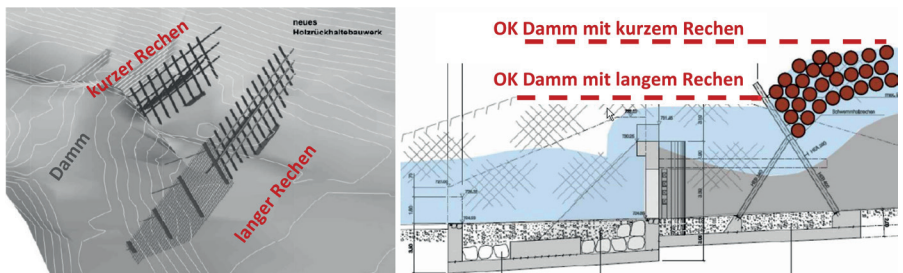


Abbildung 4: Linkes Bild: Schwemmholtzrechen Varianten mit kurzem und langem Rechen. Rechtes Bild: Prinzipskizze: Einfluss Standort des Rechen auf Dammhöhe Geschiebesammler.

Bei der Variante „kurzer Rechen“, welcher an den linksseitigen Erddamm des Sperrenbauwerks anschliesst, führt der Auflandungsprozess im Geschiebesammler zu einem sehr hohen seitlichen Damm (s. Abbildung 5): Eine der Hauptströmungen im Geschiebesammler erfolgte mehrheitlich entlang der linksseitigen natürlichen Berandung und des anschliessenden Erddammes. Dies führte dazu, dass sich das Geschiebe oberhalb des Rechens in hohem Masse in diesem Bereich abgelagerte. Dies ist einerseits aus ästhetischen Gründen nicht erwünscht und andererseits bezüglich der Befahrbarkeit ungünstig, weil die Zufahrtstrasse über den Damm geführt werden muss (Platzbedarf, Steigungen).

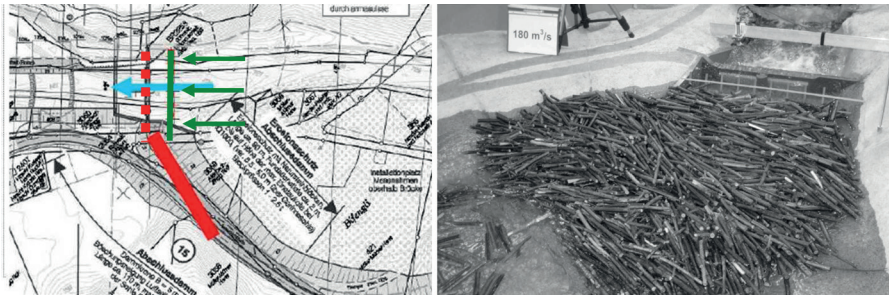


Abbildung 5: Linkes Bild: Prinzipskizze Variante kurzer Rechen, rechtes Bild: Modellversuch.

Deshalb wurde eine etwa 15 m stromaufwärts verschobene Variante mit „langem Rechen“ geprüft, welche nicht an den Damm, sondern direkt an das neben der Strasse steil ansteigende natürliche Terrain anschliesst (s. Abbildung 6). Dadurch verteilt sich der enorme Holztepich besser über den Rechen und vor allem bleibt der linksseitige Damm des Sperrenbauwerks praktisch unbeeinflusst von der Höhe des Schwemmholz-Rückstaus, was sich auch sehr positiv auf die Überlastsicherheit desselben auswirkt.

Der lange Schwemmholzrechen ist 80 m lang, die Rechenstäbe 10 m hoch über der Flusssohle, die Rechenstäbe 1 m dick mit einem lichten Stababstand von 2.7 m dazwischen.

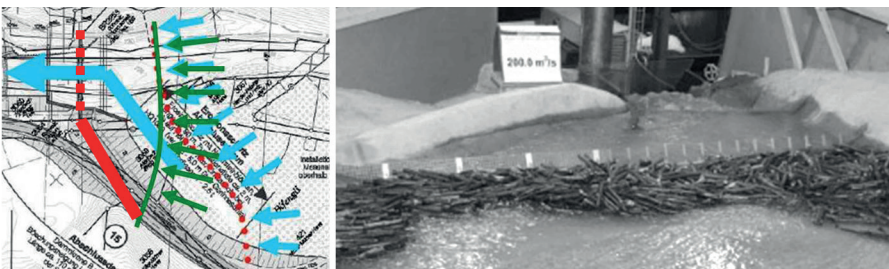


Abbildung 6: Linkes Bild: Prinzipskizze Variante langer Rechen, rechtes Bild: Modellversuch am langen Rechen.



## GESCHIEBEAUSTRAG MIT UND OHNE SCHWEMMHOLZ

Wie erwähnt, wird der Geschieberückhalt durch grosse Mengen Schwemmholz am Rechen erhöht. Wenn genügend Holz im Rechen verkleaut, passiert praktisch kein Geschiebe den Rechen, dies gilt aber nur bis zum Erreichen der Hochwasserspitze ( $HQ_{100}$ ). Beim abklingenden Hochwasser wird auch bei einem noch so mächtigen Holzteppich am Rechen eine nicht zu vernachlässigende Menge an Geschiebe unter dem Holzteppich hindurch ausgetragen, natürlich vorausgesetzt, der Sperrendurchlass ist nicht verkleaut. Dies ist vor allem damit zu erklären, dass (sobald keine Seebildung mehr vorhanden ist) die Strömung im Geschiebesammler das abgelagerte Lockermaterial ohne Deckschicht und Verfestigung sehr einfach mobilisieren kann und der Gradient am Ende der Ablagerungen zur Sperre hin sehr steil ist (s. Abbildung 7).



Abbildung 7: Linkes Bild: Geschiebeausstrag beim abklingenden Hochwasser ohne See, rechtes Bild Situation bei Seebildung.

Im Versuch  $HQ_{100}^{\text{lang}}$  mit Schwemmholz betrug die Austragsrate von Geschiebe immerhin  $35'000 \text{ m}^3$  von insgesamt  $60'000 \text{ m}^3$  (s. Abbildung 8 links).

Wenn gar kein Schwemmholz vorhanden ist, breiten sich die Geschiebeablagerungen aufgrund der Seebildung deltaförmig von der Stauwurzel bis zur Geschiebesperre aus und der Geschiebeausstrag beginnt, sobald das Geschiebe die Sperre erreicht hat. Im absteigenden Ast der Hochwasserganglinie verschwindet die Seebildung und die Geschiebeausstragsrate

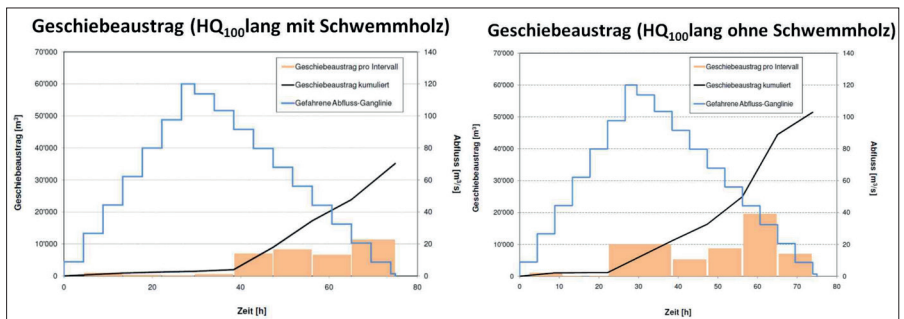


Abbildung 8: Linkes Bild: Geschiebeausstrag im hydraulischen Modell  $HQ_{100}^{\text{lang}}$  mit Schwemmholz, rechtes Bild:  $HQ_{100}^{\text{lang}}$  ohne Schwemmholz. Der Geschiebeausstrag wurde während dem Ganglinierversuch insgesamt über 8 Zeitintervalle gemessen.

steigt massiv an, falls kein Schwemmholz vorhanden ist. Dies führte zu einer Austragsrate von 50'000 m<sup>3</sup> der insgesamt 60'000 m<sup>3</sup>. Der Geschiebesammler wird also praktisch wieder entleert (s. Abbildung 8 rechts).

Der Geschiebeaustrag kann durch eine Verkleinerung der Durchlassöffnungen reduziert werden. Dadurch werden aber auch kleinere Hochwasser zu Geschiebeablagerungen im Becken führen, was wiederum aufgrund der steigenden Unterhaltskosten (häufigere Ausbaggerungen) nicht erwünscht ist. Hier musste ein Optimum gefunden werden zwischen Sicherheit und Unterhalt.

Wesentliche Erkenntnisse aus den Modellversuchen:

- Die hydraulischen Modellversuche zeigen, dass ohne Schwemmholz und bei der Realisierung von zu grossen Durchlassöffnungen der Wirkungsgrad des Geschiebesammlers stark reduziert wird.
- Mit kleinen Durchlassöffnungen und einem minimalen Holzeintrag von 1'000 m<sup>3</sup> konnte ein deutlich höherer Wirkungsgrad erreicht werden als ohne Schwemmholzbeigabe (Schwemmholzteppich am Rechen verzögert bzw. reduziert den Geschiebeaustrag).
- Die Abmessungen der Durchlassöffnungen, die Lage und Dimension des Schwemmholzrechens sowie die Höhe des linksseitigen Damms konnten ermittelt werden. Die beiden Durchlassöffnungen weisen eine Höhe von 0.75 m auf. Die ursprüngliche Öffnungsbreite wurde von je 7.5 m auf je 5.0 m reduziert. Die Grösse der Durchlassöffnungen kann durch Entfernen oder Hinzufügen von Stahlbalken verändert werden, so dass diese später nach Bedarf an die Erkenntnisse und Erfahrungen angepasst werden können.
- Im Überlastfall (EHQ = 200 m<sup>3</sup>/s) wird die Strasse über den Rückhaltedamm mit mobilen Dammbalken versperrt. So kann bei einem Holzeintrag von 10'000 m<sup>3</sup> knapp 137'000 m<sup>3</sup> Geschiebe zurück gehalten werden. Das entspricht mehr als dem doppelten potentiellen Rückhaltevolumen.

## HOCHWASSER 2011

Am 10. Oktober 2011 hat das Zusammentreffen von intensiven Niederschlägen mit der Schmelze von Neuschnee ein starkes Hochwasser im Kandertal und insbesondere im Teil-einzugsgebiet der Chiene verursacht. Für die Chiene in Kien wurde eine Abflussspitze von ca. 80-110 m<sup>3</sup>/s rekonstruiert. Insgesamt wurden im Geschiebesammler von Kien 25'000-30'000 m<sup>3</sup> Geschiebe aber lediglich 100-150 m<sup>3</sup> loses Schwemmholz abgelagert (s. Abbildung 9). Das Ereignis vom Oktober 2011 war im Vergleich zum Hochwasser 2005 kleiner bzw. es handelte sich um ein kurzes Ereignis mit hoher Abflussspitze. Dadurch wurden eine deutlich kleinere Geschiebemenge und praktisch kein Schwemmholz (ausser geringe Mengen Totholz) mobilisiert. Die kleinen Mengen sind auch dadurch zu erklären, dass beim Ereignis 2005 bereits sehr viel Material ausgeräumt wurde, bzw. die Bacheinhänge im Nachgang an das Ereignis ausgeholt wurden.



Abbildung 9: Fotos vom Hochwasser vom 10. Okt. 2011 (oben links) Schwemmholzrechen (oben rechts) Überfall Geschiebesperre (unten links) aufgeweitete Chiene oberhalb der Dorfbrücke (unten rechts) Geschiebe- und Schwemmholzablagerungen oberhalb des Rechen.

## ERKENNTNISSE UND DISKUSSION

Nachfolgend sind die wesentlichen Erkenntnisse der hydraulischen Modellversuche und der während dem Hochwasser 2011 gemachten Beobachtungen aufgeführt:

- Ein zuverlässiger und robuster Geschieberückhalt wird durch die Seebildung und eine entsprechend dimensionierte Durchlassöffnung gewährleistet.
- Aber auch bei Seebildung beginnt ab dem Zeitpunkt, ab welchem der Sammler mit Geschiebe gefüllt ist, ein nicht unbedeutender Austrag von Geschiebe.
- Dieser Austrag wird durch allfälliges Schwemmholz im Rechen reduziert (wie die Modellversuche zeigten).
- Die Bandbreite der bei einem Ereignis angeschwemmten Schwemmholzmenge kann sehr gross sein, wie die Ereignisse 2005 ( $4'000\text{--}6'000\text{ m}^3$ ) und 2011 ( $100\text{--}150\text{ m}^3$ ) gezeigt haben.
- In Kien wurden die Durchlassöffnungen so dimensioniert, dass bei einem Abfluss von  $45\text{ m}^3/\text{s}$  die Seebildung einsetzt. Mit diesen Öffnungen wird im Modell ohne Schwemmholz ein Geschiebeaustrag erreicht, welcher an der obersten akzeptierbaren Grenze liegt (Optimierung zwischen Unterhaltskosten und Sicherheit).
- Beim Ereignis 2011 war der Schwemmholzanfall sehr gering, so dass das wenige Schwemmholz am Rechen für den Geschiebeaustrag ohne Bedeutung blieb.



- Weil aber bereits geringe Mengen an Totholz genügten, um die kleinen Durchlassöffnungen an der Sperre zu verklausen, wurde der Geschiebeaustrag beim abklingenden Hochwasser reduziert.
- Der Rechen ist nun so konzipiert, dass grössere Baumstämme zurückgehalten werden, gröbere Äste und kleinere Stämme aber bei einem ansteigenden Hochwasser den unteren Bereich des Rechens möglichst passieren können, bis schliesslich bei vollständiger Seebildung im oberen Bereich (durch ein grobes Netz) sämtliches Holz zurückgehalten werden soll. Damit soll ein Verklausen der Durchlässe durch kleinere Holzteile beim ansteigenden Hochwasser bewusst ermöglicht werden (Reduktion des Geschiebeaustrags beim abklingenden Hochwasser).

### ZUSAMMENFASSUNG

Beim Hochwasser 2005 führten lang anhaltend starke Niederschläge neben hohen Abflussspitzen vor allem zu sehr grossen Geschiebe- und Schwemmholzmengen, welche schliesslich grossflächige Ausuferungen verursachten. Der daraufhin projektierte Geschiebesammler mit Schwemmholzrechen wurde im hydraulischen Modell überprüft und optimiert. Zwischen 2007 - 2010 wurden die Schutzmassnahmen umgesetzt, d.h. in Etappen wurden der Geschiebesammler und der Schwemmholzurückhalt gebaut sowie das Gerinne im Dorf aufgeweitet. Während dem Hochwasser 2011, mit der Abflussspitze eines knapp 100-jährlichen Ereignisses, wurde im Gegensatz zu 2005 kaum Schwemmholz mobilisiert. Ein derartiges Ereignis wurde während der Konzeption des Schutzprojektes als eher unwahrscheinliches Extremereignis betrachtet, welches zu einem erhöhten Geschiebeaustrag führen könnte (tieferer Wirkungsgrad Geschieberückhalt).

Der Geschiebeaustrag beim abklingenden Hochwasser 2011 war trotzdem klein, weil kleinformatiges Totholz genügte, um die relativ schmalen Durchlassöffnungen zu verklausen. Die Dimensionierung der Durchlassöffnungen von Geschiebesammlern sowie die Prognose und Berücksichtigung von Schwemmholz bei der Auslegung einer Schutzmassnahme sind durch die Interaktion der Prozesse Hochwasser, Geschiebe- und Schwemmholztransport komplex und mit Unsicherheiten behaftet. Hydraulische Modellversuche können dazu beitragen, das Prozessverständnis massgeblich zu erhöhen.

## LITERATUR

- Emch+Berger AG Bern, Hunziker, Zarn & Partner AG und Geotest AG (2006). Lokale Lösungs-orientierte Ereignisanalyse (LLE) Reichenbach.
- Emch+Berger AG Bern und Hunziker, Zarn & Partner AG (2006). Wasserbauplan Hochwasserschutz Chiene in Kien.
- Speerli J., Stucki A., HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Bau und Umwelt (2009). Modellversuche Chiene.
- Lange D., Bezzola G.R., VAW ETH Zürich (2006), VAW Mitteilung Nr. 188, Schwemmholz - Probleme und Lösungsansätze.
- Zollinger, F., ETH Zürich (1983), Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz. Ihre Morphologie und die Möglichkeit einer Steuerung. Dissertation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Diss. ETH Nr. 7419.