

OPTIMIERUNG DES GESCHIEBEABLAGERUNGSPLATZES VORDERBERGERBACH, ÖSTERREICH

EIN PHYSIKALISCHER MODELLVERSUCH

OPTIMISATION OF A BEDLOAD RETENTION BASIN VORDERBERGERGBACH, AUSTRIA

A PHYSICAL SCALE MODEL

Roland Kaitna¹, Matthias Kerschbaumer¹, Hannes Kapeller¹, Janja Zlatic-Jugovic¹, Fritz Zott¹
und Johannes Hübl¹

ZUSAMMENFASSUNG

Um das Risiko zukünftiger Überflutung in der Gemeinde Vorderberg / St. Stefan in Kärnten zu vermindern, plant die Dienststelle der Wildbach und Lawinenverbauung (WLV) den bestehenden Geschiebeablagerungsplatz (GAP) oberhalb des Ortes Vorderberg zu modifizieren. Im Zuge des Projekts wurde am Institut für Alpine Naturgefahren (BOKU, Wien) ein physikalisches Modell im Maßstab 1:30 entwickelt. Anhand verschiedener hydrologischer Szenarien wurde das Konzept des vorgeschlagenen GAP inklusive unterschiedlicher baulicher Varianten evaluiert.

Keywords: Geschiebeablagerungsplatz, Modellversuch, Geschiebetransport

ABSTRACT

In order to minimise the risk of severe flood destruction in the community Vorderberg / St. Stefan in Carinthia, Austria, the Torrent and Avalanche Control Service (WLV) plans to modify the existing bedload retention basin located upstream of the village Vorderberg. In the course of the project a physical scale model 1:30 has been developed at the Institute for Mountain Risk Engineering (BOKU, Vienna). The modelled sedimentation process has been analysed subject to various hydrological scenarios and different configurations of structures.

Keywords: retention area, physical scale model, bedload transport

¹ Institut für Alpine Naturgefahren, BOKU, Peter Jordanstr. 82, 1190 Wien, Österreich (Kontakt: Tel.: +43-1-47654-4372; Fax: +43-1-47654-4392; email: roland.kaitna@boku.ac.at)

EINFÜHRUNG

Infolge heftiger Regenfälle kam es am 29. August 2003 in der Gemeinde Vorderberg/St. Stefan zu heftigen Überschwemmungen. Im Ort Vorderberg wurden 2/3 aller Gebäude durch Wasser und Sedimentablagerungen in Mitleidenschaft gezogen (Hübl et al. 2004).

Die in den Karnischen Alpen erreichte Niederschlagsmenge wird vom Hydrographischen Dienst auf 285 mm geschätzt. Der rückgerechnete Spitzenabfluss des Vorderbergerbachs (Vorderberger Wildbaches) von 120 m³/s entspricht einem Spitzenabfluss des Bemessungsereignisses mit einer Wiederkehrperiode von etwa 105 Jahren. Im Einzugsgebiet führte der stark erhöhte Abfluss im Gerinnesystem zu starker Erosion der Sohl- und Bankbereiche sowie zu Unterschneidung der Einhangbereiche. Weiters kam es in gerinnefernen Bereichen zur Ausbildung von Gleithorizonten, meist an der Grenze zwischen anstehenden Festgesteinen (Ederkalk, Orovizische Schiefer) und Quartären Sedimenten (Stausedimente am Eisrand) bzw. Hangschuttmassen, wodurch die Sedimentverfügbarkeit erheblich erhöht wurde.

Im Zuge einer anschließenden Ereignisdokumentation (Hübl et al. 2004) wurde eine Erosionsleitung von über 450 000 m³ Sedimentvolumen abgeschätzt, wovon etwa 200 000 m³ im Einzugsgebiet retendiert und etwa 250 000 m³ zum Schwemmkegel transportiert wurden. Von diesem Volumen lässt sich circa 50 000 -80 000 m³ Geschiebe abschätzen, welches teilweise im Ablagerungsplatz oberhalb des Ortes Vorderberg zur Deposition kam, teilweise außerhalb des Gerinne (d.h. im Ortsbereich) abgelagert und teilweise zum Vorfluter (Gail) transportiert wurde.

Ziel der hier vorgestellten und von der Gebietsbauleitung Gailtal und mittleres Drautal der WLW in Auftrag gegebenen Studie ist es, den Geschiebeablagerungsplatz (Abb1) für den Vorderbergerbach neu zu konzipieren und das Grundkonzept sowie verschiedene Varianten mittels eines hydraulischen Modellversuchs zu evaluieren.



Abb1: Luftbilder des Ortes Vorderberg im Gailtal und des Geschiebeablagerungsplatzes (GAP); Quelle: Archive IAN

Fig1: Aerial views of the bedload retention area; source: Archive IAN

GESCHIEBEABLAGERUNGSPLATZ NEU

Konzept

Aufbauend auf Überlegungen von Zollinger (1983) zur Bemessung und Ausführung von Geschiebeablagerungsbecken werden drei Ansätze zur Optimierung des Anlagerungsplatzes vorgeschlagen:

- *Erweiterung des Fließquerschnitts:* Durch die maximale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Geländes ist es möglich den GAP zu verbreitern. Dadurch wird zum einen das potentielle Ablagerungsvolumen vergrößert und zum anderen der Fließquerschnitt aufgeweitet. Dies führt zu einer Reduktion der Wassertiefe, der Fließgeschwindigkeit und dadurch zu einer Reduktion der Transportkapazität des Wassers.
- *Reduktion des Gerinnegefälles / Teilung des Platzes in drei Bereiche:* Das Längsgefälle des bestehenden GAP beträgt ca. 2 ‰. Durch Teilen des bestehenden Beckens mittels zweier Abstürze, entstehen drei kleinere Teilbereiche mit einem Längsgefälle von 1 ‰. Die Reduktion des Längsgefälles führt zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und so zu einer weiteren Reduktion der Transportkapazität.
- *Abflussdosierung im Becken durch verschiedene Einbauten:* Durch einen Wasserrückstau kommt es zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und ergo zu einer Reduktion der Transportkapazität.

Um den Verkleinerungsmaßstab möglichst groß zu halten wird beim hydraulischen Modellversuch nur der oberste Bereich des GAP mit einer Länge von ca. 180 m nachgebildet. Die Erkenntnisse aus den Modellversuchen dieses Abschnitts werden infolge auf die anderen Abschnitte übertragen. Dieser Ansatz scheint berechtigt, da aufgrund des geplanten Einbaus von Sohlrampen als Einlaufbauwerke für die einzelnen Ablagerungsbereiche, einer ähnlichen Geometrie sowie der gleicher Neigung und Rauigkeit die hydraulischen Grenzbedingungen für alle Abschnitte des Ablagerungsbereichs hinreichend ähnlich sind.

Letztendlich wurde ein Skalierungsmaßstab von 1:30 gewählt. Bei einer Länge von 180 m und einer mittleren Breite von 90 m des geplanten GAP ergibt das einen Platzbedarf im Labor von etwa 9 x 3 m.

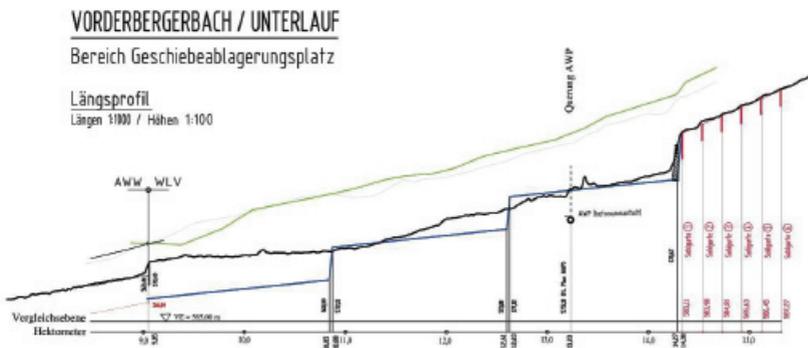


Abb2: Längsprofil des Geschiebeablagerungsplatzes neu
Fig2: Longitudinal profile of the new bedload retention area

Varianten

Um einen zusätzlichen Wasserrückstau und damit eine erhöhte Ablagerungsbereitschaft zu erreichen, wird der Effekt von drei verschiedenen Einbauvarianten am Ende des modellierten Abschnitts (kurz oberhalb der abschließenden Sohlrampe) untersucht. Für Vergleichszwecke wurden alle Versuche zusätzlich ohne ein konstruktives Abschlussbauwerk durchgeführt (Nullvariante).

Wildholzrechen

Bei der ‚Rechenvariante‘ wird ein Wildholzrechen über die gesamte Beckenbreite errichtet. Der Rechen besteht aus zwei Reihen von Säulen mit einem Durchmesser von 1 m (3,3 cm im Modell) und 2 m Zwischenraum (6,6 cm im Modell). Im Böschungsbereich haben die Rechelemente eine Höhe von 3 m (10 cm im Modell). An den Ufern wird ein Freibord von 1 m angenommen.

Buhnen

Die ‚Buhnenvariante‘ besteht aus zwei in der Mitte überlappenden Buhnen. Die Überlappung sowie der Abstand zwischen den Buhnen betragen in der Natur 4,5 m (15 cm im Modell). Die Buhnenkronen fallen im Verhältnis 1:20 vom Ufer in das Becken hin ab. Am Ufer haben die Buhnen eine Höhe von 2,7 m (9 cm im Modell).

Aufgelöste Schlitzsperre

Bei der ‚Sperrnvariante‘ werden Versuche mit einer ‚Kronenoffene Sperre mit fünf Schlitzten‘ durchgeführt. Die Flügel haben einen Anzug von 1:37. Es wird ein Freibord von 1 m angenommen. Im mittleren Drittel der Beckenbreite befinden sich 4 Scheiben, die eine Stärke von 1 m (3,3 cm im Modell) und eine Höhe von 2,5 m (8,5 cm im Modell) haben.

Nullvariante

Bei der Nullvariante werden keine Einbauten errichtet. Der Übergang vom ersten Drittel des GAP (physikalisches Modell) zum zweiten Drittel des GAP erfolgt ungehindert über die gesamte Breite.

Versuchsganglinien Reinwasser / Geschiebe

Als hydrologisch maßgebende Größen für die Optimierung des GAP wird die Bemessungsganglinie mit der Wiederkehrperiode von 150 Jahren (Szenario 1), sowie eine rekonstruierte Hochwasserwelle, die dem Ereignis von 29. August 2003 entspricht (Szenario 3), bestimmt. Als Szenario 2 wird die ‚doppelte‘ HQ_{150} Ganglinie definiert. In diesem Fall wird unterstellt, dass der GAP nicht geräumt ist und das anfallende Geschiebe auf ein teilverfülltes Becken trifft.

Die Ganglinie des Hochwasserereignisses von 2003 wurde mit der Software ‚Hydrologic Modeling System‘ - HEC HMS² ermittelt und die Ganglinie des HQ_{150} mittels ‚ZEMOKOST‘ (Kohl & Stepanek 2005), einer Excel Applikation basierend auf einem modifizierten Laufzeitverfahren nach Zeller (1974).

² Hydrologic Modeling System HEC HMS – US Army Corps of Engineers

Als Grenzbedingung für die im GAP anfallende Geschiebemenge bei den jeweiligen Szenarien wurde die Transportkapazität im Einlaufgerinne (Doppeltrapezprofil) herangezogen. Für jede ermittelte Hochwasserganglinie wurde eine entsprechende Sedimentganglinie mit den Formeln nach Rickenmann (1990), Meyer-Peter & Müller (1948) sowie Smart & Jäggi (1983) berechnet. Die Geschiebezugabe während der Versuche wurde letztlich nach der Formel von Rickenmann (1990) bestimmt.

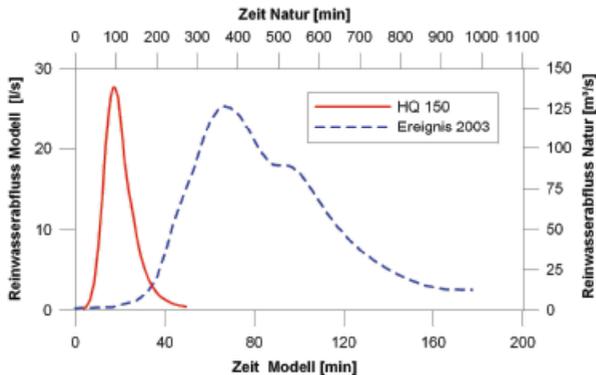


Abb3: Reinwasserganglinien für das HQ₁₅₀ (Szenario 1) und für das rekonstruierte Ereignis 2003 (Szenario 3)
Fig3: Clear water hydrograph for the design event HQ₁₅₀ (scenario 1), and for the reconstructed event of 2003 (scenario 3).

Geschiebe

Bei der Simulation der Feststoffe wurde im Labor nur der Geschiebetransport simuliert, da zum einen die Schwebstoffe im Maßstab 1:30 nicht simuliert werden konnten und zum anderen die Schwebstoffe für die Fragestellung (Optimierung des GAP) von geringer Bedeutung sind.

Als Modellgeschiebe wurde Quarzsand ($D = 0.8 - 1.5 \text{ mm}$) verwendet. Die Korngröße wurde entsprechend von Linienzahlanalysen, die im Bereich des aktuellen Geschiebeablagerungsplatzes entnommen wurden, ermittelt. Der Feinanteil wurde entsprechend der Methode nach Fehr (1987) komplettiert. Der D_{50} beträgt 0.022 m , D_{65} 0.035 m und D_{90} ist gleich 0.07 m , was einer Modellgröße für das Modellgeschiebe von 0.7, 1.11 und 2.3 mm entspricht.

Wildholz

Durch Erosionsprozesse an der Böschung entlang des Bachlaufes ist mit einem erheblichen Eintrag von Wildholz (v.a. Fichten, Buchen) zu rechnen. Da die Menge des anfallenden Wildholzes während eines Ereignisses schwer zu quantifizieren ist, wurden verschiedene Mengen von Modell – Wildholz bei den Versuchen verwendet. Ausgehend von der Erfahrung, dass das meiste Wildholz während des steigenden Astes der Ganglinie mobilisiert wird, wurde dieses bei den Modellversuchen berücksichtigt.

Das Wildholz wurde aufgrund von Photos und Beurteilung Vorort im Maßstab 1:30 modelliert.

MODELLVERSUCH

Skalierung

Für die Abbildung eines natürlichen Fließvorgangs (Prototyp) in einem physikalischen Modell, muss eine volle mechanische (Längen), kinematische (Zeitdimensionen) und dynamische (Kräfte) Ähnlichkeit gegeben sein (z.B. Preissler et al. 1989). Da im hydraulischen Modellversuchswesen in dem meisten Fällen (wie auch in dieser Studie) die Versuche mit dem gleichen Medium (Wasser) bei gleichem Schwerfeld ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) durchgeführt werden, ist es unmöglich, eine volle dynamische Ähnlichkeit zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde, wie bei Fragestellungen in einem offenes Gerinne im voll turbulenten Regime üblich (laminare Reibungskräfte vernachlässigbar), der Prototyp basierend auf der Froude Ähnlichkeit skaliert (relevante Kräfte: Trägheit und Gravitation).

Aufgrund des Maßstabs von 1:30 ergeben sich folgende Umrechnungsfaktoren zwischen Natur und Modell:

Geschwindigkeit:	$M_V = \sqrt{M} = 5.477$	1 m/s \rightarrow 0.18 m/s
Durchfluss:	$M_Q = M^{2.5} = 4929.5 \sim 4930$	1 m ³ /s \rightarrow 0.202 l/s
Volumen:	$M_{VOL} = M^3 = 27000$	1 m ³ \rightarrow 37 cm ³
Zeit:	$M_T = \sqrt{M} = 5.477$	1 min \rightarrow 11 sek.

mit M = Längenmaßstab.

Die Hauptschwierigkeit bei der hydraulischen Modellierung von Geschiebetransport und –ablagerung besteht darin, dass das Geschiebe nicht ohne weiteres im Modellmaßstab verkleinert werden kann, da bei allzu kleinen Durchmessern Kohäsionskräfte zwischen den Körnern entstehen können und sich das Material bindig verhält (Preissler et al. 1989). Große Bedeutung hat hier die Verwendung von Geschiebematerial kleiner Dichte und größerer Durchmesser (z.B. Braunkohlegrus).

Da aufgrund der Größe des Wildbachgeschiebes und resultierenden Größe des Modellgeschiebes (0.8 – 1.5 mm) keine kohäsiven Kräfte zu erwarten sind, wurde auf die Verwendung von Ersatzmaterial geringerer Dichte und größerer Körnung verzichtet.

Modell und gemessene Parameter

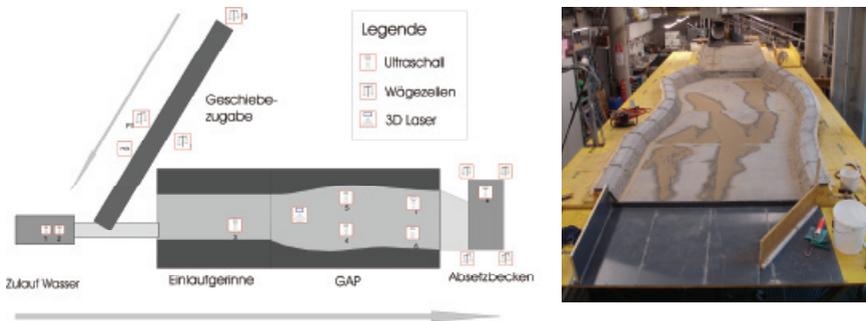


Abb4: Skizze (links) und Photo (rechts) des Modells des GAP inklusive Überblick über die gemessenen Parameter

Fig4: Sketch (left) and picture (right) of the physical model of the bedload retention area including an overview of the measured parameters

Abb4 zeigt eine Skizze des hydraulischen Modells. Die kontrollierte Zugabe des Reinwassers erfolgt über eine Tauchpumpe und ein Thomsonwehr. In einem Mischbereich wird dosiert über ein Förderband der Sand dem Wasser zugesetzt und in das Modell geleitet.

Um die Rauigkeiten im Böschungs- und Rampenbereich denen der Natur anzupassen, wurden Kieselsteine der Körnung 6 – 12 mm in den Beton gedrückt. Auf der Sohle des Ablagerungsbereiches wurde in gleicher Weise Sand mit der Körnung des Modellgeschiebes appliziert. Durch die Versuche wurden die Sandkörner zwar teilweise aus der Sohle ausgewaschen, die Rauigkeit blieb im Beton jedoch erhalten.

Es erfolgt eine kontinuierliche Messung des Reinwasserdurchfluss, der Sedimentzugabe, des Sedimentaustrags und der Abflusstiefen an verschiedenen Stellen im Modell (siehe Abb4). Um eine visuelle Beurteilung des Versuchsablaufes zu erhalten, nimmt eine digitale Kamera automatisch alle 10 sec ein Bild des gesamten Modells auf. Im Anschluss an jeden Versuch wird mittels eines Laserscans ein dreidimensionales Höhenmodell der Ablagerungen erzeugt und daraus das Depositionsvolumen errechnet.

Kalibrierung

Da keine Messungen in der Natur und keine Pegelschlüsselkurven vorhanden sind, wurde als Kalibrierungsbasis für das physikalische Modell die Berechnung der stationärungleichförmigen Wasserbewegung für die Maxima der maßgebenden Wasserwellen durchgeführt. Die Rauigkeit, die im numerischen Modell mit einem Manning-Koeffizienten von $0.038 \text{ m}^{0.33} / \text{s}$ für das Gerinne und 0.5 für die Böschung abgeschätzt wurde, entsprechen einem Strickler-Wert von 26.3 bzw. 20.

Vergleicht man die Ergebnisse der physikalischen Reinwassersimulation mit den Ergebnissen der numerischen (1D) Simulation, gibt es eine sehr gute Übereinstimmung im Einlaufgerinne. Im Bereich der GAP, im strömenden Bereich unterhalb des Wechselsprungs scheint das physikalische Modell hydraulisch ein wenig „glatter“ zu sein. Die Wassertiefen am physikalischen Modell sind in diesem Bereich ca. 7% kleiner und damit die

Geschwindigkeiten höher als beim numerischen Modell bei gleichem Durchfluss. Die Differenz, zwischen der 1D Simulation und dem physikalischen Modell, die bei allen Simulationen vorkommt, ist konstant. Dadurch kann diese Differenz beim Vergleich der verschiedenen Szenarios und Ausbauvarianten vernachlässigt werden. Andererseits weist eine höhere Abflusstiefe und die damit verbundene geringere Fließgeschwindigkeit (wie sie im numerischen Modell vorkommt) auf eine verminderte Transportkapazität des Wassers und eine stärkere (wünschenswerte) Ablagerungstendenz hin, womit die aufgrund der physikalischen Simulation erstellte Prognose auf der sicheren Seite liegt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Einen Überblick über die vorgestellten Versuche gibt Tab1. Es wird darauf hingewiesen, dass vier Versuche wiederholt wurden, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen. Ein Beispiel für die Morphologie der Ablagerungen bei verschiedenen Varianten gibt Abb5.

Tab1: Überblick der Ergebnisse für den verschiedenen Szenarien und Varianten

Tab1: Overview of the model results for the different scenarios and variants

Szenario	Variante	Zugabe [kg]	Austrag		Ablagerung [kg]	Volumen [m³]	Ausnutzung [%]
			[kg]	[% Eintrag]			
1	Null	910	248±36	27	662±34	0,414	37
	Rechen	900	182±4	20	718±3	0,430	39
	Rechen + WH1	906	137	15	769	0,461	41
	Rechen + WH2	894	81	9	813	0,512	46
	Rechen + Sporn	901	133	15	768	0,485	44
	Buhnen	908	4±4	0	904±17	0,580	52
	Sperre	908	8±3	1	900±16	0,580	52
	Sperre + WH	890	2	0	888	0,566	51
	Null	1813	678	37	1135	0,612	55
2	Buhnen	1842	214	12	1628	1,092	98
	Sperre	1842	251	14	1591	1,034	93
	Null	3709	2249	61	1460	0,900	81
3	Rechen (+Sporn)	3701	2184	59	1517	0,921	83
	Buhnen	4058	2054	51	2004	1,249	112

Es zeigt sich, dass sowohl die Variante ‚Sperre‘ als auch ‚Buhnen‘ die effektivsten Maßnahmen zum Geschieberückhalt bei allen Szenarien darstellen. Für das Szenario HQ₁₅₀ erreicht die Verlandungsfront in beiden Fällen nicht das Ende des Ablagerungsbereiches (vgl. Abb5) und es ist kein nennenswerter Geschiebeaustrag zu beobachten.

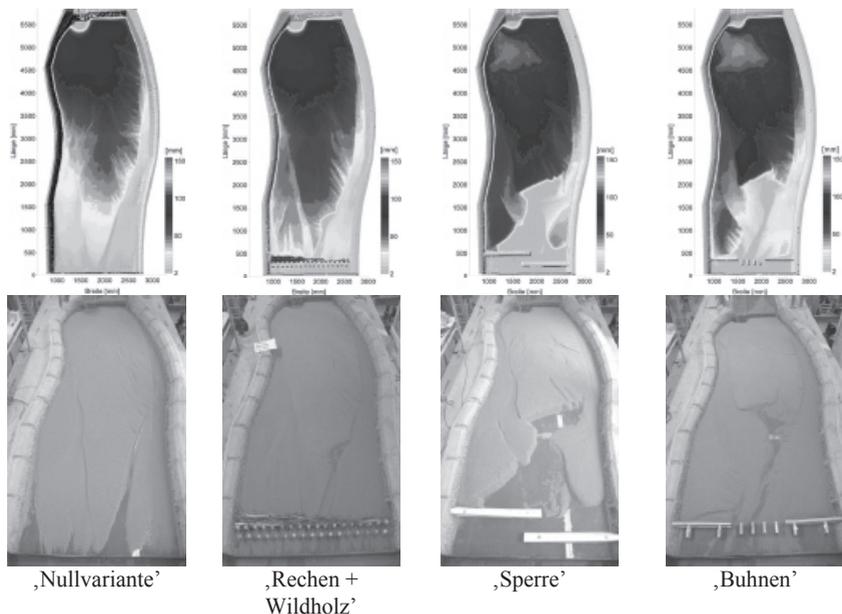


Abb5: Beispiel der Ablagerungsmuster verschiedener Varianten für das Szenario 1 (HQ₁₅₀)
Fig5: Examples of deposition pattern of different variants for the scenario 1 (HQ₁₅₀)

Die Variante ‚Rechen‘ zeigt einen verminderten Geschiebeaustrag verglichen mit der Nullvariante für das HQ₁₅₀ (20 % bzw. 27 % Austrag). Die Zugabe von Wildholz vermindert aufgrund einer gewissen Stauwirkung an der (sehr breiten) Rechanlage den Austrag deutlich (15 % Austrag bzw. 9 % bei Erhöhung der Wildholzzugabe). In Abb6 ist ein Vergleich des kontinuierlichen Geschiebeaustrags für die Nullvariante und die Variante Rechen und Rechen + Wildholz dargestellt.

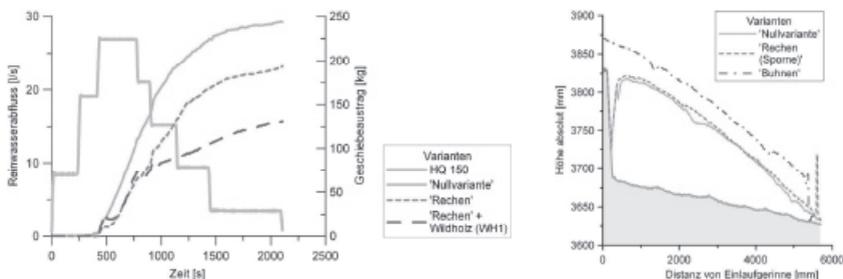


Abb6: Kontinuierlicher Geschiebeaustrag für die Varianten ‚Null‘, ‚Rechen‘ und ‚Rechen + Wildholz‘ für das HQ₁₅₀ (links); Längsschnitt der Ablagerungen für die Varianten ‚Null‘, ‚Rechen‘ und ‚Buhnen‘ für das rekonstruierte Ereignis 2003 (rechts)

Fig6: Continuous output of bedload from the retention area for the configurations ‘no structure’, ‘filter’, and ‘filter + woody debris’ for the design event HQ₁₅₀ (left); longitudinal section of the deposits for the configuration ‘no structure’, ‘filter’, and ‘groynes’ for the reconstructed event of 2003 (right)

Erst beim doppelten HQ150 bzw. bei der Ereignisganglinie 2003 stößt der modellierte Ablagerungsbereich an seine Kapazitätsgrenzen. Im Falle des Szenario 3 (Ereignis 2003) kommt es bei der Variante ‚Buhnen‘ zu rückschreitenden Ablagerungen bis ins Einlaufgerinne. In Abb6 (rechts) ist zu erkennen, dass das Verlandungsgefälle bei der Nullvariante und der Varianten ‚Rechen‘ und ‚Buhnen‘ gleich ist, das Ablagerungsvolumen allerdings bei der Buhnenvariante deutlich über dem der anderen Varianten liegt. Das Geschiebe lagert sich hier von der Oberkante der Buhnen bis in das Einlaufgerinne ab. Für alle drei Varianten ergibt sich einheitlich eine mittlere Neigung der Ablagerungen zwischen 2.07° und 2.09° (das ist ein leicht erhöhter Wert im Vergleich zu den Verlandungsgefällen der Szenarien 1 und 2). Das Verlandungsgefälle – berechnet mit der empirischen Formel nach Hampel (1974) – ist mit 1.84° leicht unter dem gemessenen Wert. Im Gegensatz dazu ergibt die Formel nach Smart und Jäggi (1983) einen Wert von 2.5°. Obwohl die Variante ‚Sperre‘ für das Szenario 3 nicht modelliert wurde, kann unter der Annahme eines ähnlichen Verlandungsgefälles davon ausgegangen werden, dass sich ein ähnliches Ablagerungsverhalten wie bei der Variante ‚Buhnen‘ einstellt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Physikalische Modelle stellen eine gute Möglichkeit dar, die Effektivität verschiedener Verbauungsmaßnahmen im Gerinnebereich zu evaluieren. Im Gegensatz zu flussbaulichen Fragestellungen wurden in Bereich der Wildbachverbauung selten solche physikalischen Modelle verwendet. Ein Beispiel ist die Optimierung zweier hintereinander geschalteter Retentionsbecken für die Geschiebeablagerung am Baltschiederbach in der Schweiz (Jordan et al. 2003 und Jordan et al. 2004). Ähnlich wie in dem hier vorgestellten Projekt wurde anhand verschiedener hydrologischer Szenarien die Funktionalität der Maßnahmen überprüft, das Hauptaugenmerk lag allerdings in der Optimierung der Geometrie des Auslasses des oberen Retentionsbecken. Im Falle des Vorderbergerbaches kann man eher von einem Geschiebeablagerungsplatz (GAP) sprechen, da die vorhandene Topographie und Bodennutzung eine flächige Ablagerung zulassen und die Stauwirkung eines möglichen Abschlussbauwerkes deutlich geringer ist als bei den Retentionsbecken des Baltschiederbaches.

Für das Modell des GAP Vorderbergerbach kann festgehalten werden, dass beim unterstellten Geschiebeanfall aufgrund der Ereignisganglinie vom August 2003 die Kapazitätsgrenzen des ersten Drittels des GAP erreicht und im Fall der Variante ‚Buhnen‘ überschritten werden. Bei allen Varianten kommt es zu einem erheblichen Geschiebeaustrag und somit einer Beanspruchung des geplanten zweiten Beckens. Ausgehend vom gemessenen Verlandungsgefälle ist jedoch damit zu rechnen, dass das aus dem ersten Becken ausgetragene Geschiebe gänzlich im zweiten und dritten Becken abgelagert wird.

Das Ablagerungsverhalten bei den Varianten ‚Null‘ und ‚Rechen + Sporne‘ kann als zufrieden stellend betrachtet werden. Ein großer Teil (ca. 40 %) des Geschiebeanfalls kommt zur Ablagerung, ohne eine Gefährdung von Überbordung oder Auflandung im Einlaufbereich zu verursachen. Bei der Variante ‚Buhnen‘ ist der höchste Grad der Beckenauslastung zu beobachten (50 % des Eintrags wird abgelagert), allerdings wurde eine starke Verlandungstendenz im Einlaufgerinne festgestellt. Dies könnte unter Umständen mit einer geringeren Buhnenhöhe reduziert werden. Die Buhnen haben die größte Rückstauwirkung mit dem Effekt einer Geschwindigkeitsreduktion des Abflusses und damit günstigeren Sedimentationsbedingungen.

Bei einem erheblichen Anfall von Wildholz mit größeren Ablagerungsmengen bei den Varianten ‚Sperre‘ und ‚Rechen‘ zu rechnen. Im Falle einer kompletten Verklauung des

Abflussquerschnitts (bei der Sperre wahrscheinlicher als beim Rechen), kann man von Ablagerungen basierend auf Modellbeobachtungen mit einem Gefälle im Bereich von 2° ausgehen, allerdings ist als Sohlenfixpunkt die Oberkante des jeweiligen Bauwerkes zu erwarten. Es ist anzumerken, dass bei den Versuchen von Jordan (2003) das im Modell gemessene Ablagerungsgefälle deutlich besser mit der Berechnung, basierend auf der Formel von Smart und Jäggi (1983), übereingestimmt hat. Der Grund hierfür mag in einer gestuften Kornverteilung im Modell liegen, auf die in der vorliegenden Studie verzichtet wurde. Ausgehend von einem Ablagerungsgefälle nach Smart und Jäggi von 2.5° für das Szenario 3 ist sowohl beim Rechen als auch bei der Sperre ist mit einer leicht erhöhten Wahrscheinlichkeit der Auflandung im Einlaufbereich (Doppeltrapezprofil) zu rechnen.

LITERATUR

- Fehr, R. (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren. Mitt. VAW Nr. 92 ETH-Zürich
- Hampel, R. (1974): Die Wirkungsweise von Wildbachsperrn, Oesterreichische Wasserwirtschaft, Heft 11/12 1974, S. 265-273
- Hübl, J., Leber, D., Brauner, M., Janu, S., Volk, G., Holzinger, H., Gruber, H. (2004): WLS Report 99: Dokumentation der Unwetterereignisse in den Gemeinden St. Stefan/Vorderberg und Feistritz an der Gail vom 29. August 2003.- 111 S., 78 Abb., 31 Tab., 1 Karte, 1 CD-Rom, Im Auftrag der WLW Sektion Kärnten, unveröffentlicht.
- Jordan, F., Jäggi, M., Nigg, U. (2003): Modélisation physique d'un piège à graviers, les cas du Baltschiederbach. Wasser Energie Luft, Heft 9/10, 283-290.
- Jordan, F., Jäggi, M., Nigg, U. (2004): Optimisation d'un piège à graviers par modelisation physique sur le Baltschiederbach en Valais (CH). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent: Tagungsband des 10. Kongress Interpraevent in Riga, Italien, Band 3, 181-191.
- Kohl, B.; Stepanek, L. (2005): ZEMOKOST - neues Programm für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen. BFW-Praxisinformation 8/2005, 21 – 22
- Meyer-Peter, E., and R. Müller (1948): Formulas for bedload transport, in Proceedings 2nd meeting Int. Assoc. Hydraulic Structures Res., Stockholm, Sweden, Appendix 2, 39-64, 1948.
- Preissler, G.; Bollrich, G.; Martin, H. (1989): Technische Hydromechanik. Band 2: Spezielle Probleme. Berlin: Verlag Bauwesen
- Rickenmann, D. (1990): Sediment transport capacity of slurry flows at steep slopes, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Nr. 103, 249 p.
- Smart, G. M., Jäggi, M.N.R. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Nr. 64, 191 p.
- Zeller, J., (1974): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse. Bericht Nr. 126, Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf: 62
- Zollinger, F. (1983): Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz , Dissertation, ETH Zürich, Nr. 7419