



Wildbach- und Lawinerverbau

Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz
Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering

Feststofftransport und Sedimentmanagement

verein der diplomingenieure
der wildbach und lawinerverbauung
österreichs

ISBN: 978-3-9504159-1-9
80. Jahrgang, Juli 2016, Heft Nr. 177

Heft 177

Wildbach- und Lawinenverbau

Impressum:

Herausgeber:

Verein der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung
Österreichs, A-9500 Villach

Schriftleiter:

Privatdozent Dipl.-Ing. Dr. Florian RUDOLF-MIKLAU
c/o Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft, Abteilung III/5 – Wildbach- und Lawinenverbauung,
Marxergasse 2, 1030 Wien, Tel.: +43 1 71100 7338,
Fax: +43 1 71100 7399, florian.rudolf-miklau@wlv-austria.at

Redaktion: Dipl.-Geogr. Susanne Mehlhorn, Dipl.-Ing. Claudia Sauer Moser, Dipl.-Ing. Markus Moser

Layout & graphische Gestaltung: Studio Kopfsache – Kommunikation & Design, A - 5310 Mondsee

Druck & Versand: Friedrich VDV Vereinigte Druckereien- und Verlags-Gesellschaft mbH & Co KG, A - 4020 Linz

Titelbilder: links: Oselitzenbach (Kärnten); Mitte: Wildbacherosion (Pitztal, Tirol); rechts: Murgang im Starkenbach 2005 (Tirol)

Verstärkung – 3. Bell 212/412 – zur optimalen Abdeckung des Bedarfs unserer Kunden



Rettungsflüge • **Film- und Fotoflüge**

Montagen • **Tierbergungen**

Lawinensprengungen • **Hüttenversorgung**

Holztransporte • **Leitungskontrollen**

Feuerbekämpfung • **VIP- und Shuttleflüge**



Heli Austria GmbH
A-5600 St. Johann im Pongau, Heliport
Tel +43 (0)6462 - 4200
Mail fly@heli-austria.at

Heli Tirol GmbH
A-6462 Karres, Tiroler Bundesstraße 1
Tel +43 (0)5412 - 61 421
Mail fly@heli-tirol.at

Inhalt Heft 177

Markus Moser, Florian Rudolf-Miklau:
Editorial

Seite 10

Helmut Habersack, Andrea Kreisler, Bernadette Blamauer, Markus Moser:
Sedimentmanagement in alpinen Einzugsgebieten

Seite 14

Markus Moser, Susanne Mehlhorn, Daniel Kurz:
**Modellierung von Feststofftransportprozessen in der Praxis:
Beispiel Alperschonbach**

Seite 26

Rolf Rindler, Johannes Kammerlander, Patrick Holzapfel, Markus Moser,
Christoph Hauer und Helmut Habersack:
Ökologisch verträgliche Sedimentbewirtschaftung am Strobl Weißbach

Seite 38

Michael Chiari, Maximilian Bertold, Gerald Jäger, Johannes Hübl:
Geschiebemesstelle im Suggadinbach (Vorarlberg)

Seite 50

Josef Schneider, Johannes Stangl,
Heimo Truhetz, Stefan Fieger, Gabriele Harb, Oliver Sass:
**Erosionsbeobachtung und Geschiebemonitoring
am Schöttlbach (Steiermark) in Hinsicht auf den Klimawandel**

Seite 60

Roland Kaitna, Markus Moser, Lukas Delago:
**Rheologische und numerische Untersuchung zur
Parametrisierung der Muren-Simulationssoftware FLO-2D**

Seite 74

Franz Anker, Ludwig Fegerl, Johannes Hübl,
Florian Neumayer, Markus Keuschnig, Roland Kaitna:
**Geschiebetransport in Gletscherbächen
der Hohen Tauern: Beispiel Obersulzbach**

Seite 86

Christoph Skolaut, Julia Braun, Stephan Schober:
**Identifikation potentieller Leitprozesse
zur Festlegung von Bemessungsereignissen**

Seite 98

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema



Klausgraben in St. Michael

Sicher schalen.

Bauen auf schwierigem Terrain. Am Klausgraben im Team

Sicher bauen. Nach bestem

erfolgreich: MEVA Schalungs-Systeme, Alzner Baumaschinen und die

Wissen und Gewässer.

Wildbach- und Lawinverbau, GBL Lungau. Danke für's Teamwork.

www.meva.at • Tel. 02252 209000 • www.alzner.at • Tel. 06219 80656

... mehr als nur
Schalung



Inhalt Heft 177

HAUPTBEITRÄGE zum Schwerpunktthema

Christian Scheidl, Micha Heiser, Julia Eisl, Johannes Hübl:
Geomorphometrien von Wildbacheinzugsgebieten und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Leitprozessen

Seite 110

Stefan Braito, Karl Mayer, Peter Wagner, Andreas Rimböck:
Ermittlung von Wildbachgefährdungsbereichen in Bayern: Abschätzung Geschiebezuschlag

Seite 120

Pierpaolo Macconi, Lorenzo Marchi, Francesco Comiti, Marco Cavalli:
Murenbeobachtungsstation am Gadriabach in Südtirol

Seite 132

Hideaki Marui:
Geschiebe- und Murkatastrophen in Japan: Überblick und aktuelle Ereignisse

Seite 140

Bruno Mazzorana:
Aspekte des Risikomanagements im Naturgefahrenbereich in Chile

Seite 154

Johannes Hübl, Michael Chiari, Markus Moser, Martin Trojer:
Physikalische Modellversuche zur Optimierung der Filterkonstruktion von Schutzbauwerken

Seite 160

Johannes Kammerlander, Bernhard Gems, Michael Sturm, Markus Aufleger:
Analyse hochwasserbezogener Prozesse am Zusammenfluss steiler Zubringer und deren Vorfluter

Seite 172

Erika Wagner, Wilhelm Bergthaler, Claudia Jandl:
Sedimentmanagement in alpinen Einzugsgebieten – Ausgewählte rechtliche Aspekte

Seite 182

Regine Hörtnagl, Rudolf Neurauder:
Behandlung von Räumgut aus Geschieberückhaltebecken

Seite 192



HYDRO_AS-2D

2D-Simulation von Fließgewässern

HYDRO_AS-2D ist die ideale Software für die hydrodynamisch-numerische Simulation von Fließgewässern. Das flexibel anwendbare Programm liefert verlässliche Ergebnisse für Ihre Projekte in den Bereichen Hochwasserschutz, Gewässerentwicklung und Sturzflutvorsorge.

Zusatzmodule



HYDRO_FT-2D

Erweiterung zur 2D-Simulation von Transportprozessen

HYDRO_FT-2D berechnet den Geschiebetransport mit bis zu zwölf Kornfraktionen. Das Modell berücksichtigt den Einfluss der Flusskrümmung, der Sohlform sowie der Längs- und Querneigung der Gewässersohle. Es berechnet Sohlenveränderungen infolge Sedimenterosion und -ablagerung. Weiterhin ist die Modellierung des Schwebstoff- und Schadstofftransports getrennt oder gekoppelt möglich.



HYDRO_WT-2D

Wärmetransport in Fließgewässern modellieren



Flussschlauchgenerator

Berechnungsnetz für den Flussschlauch aus Profildaten erstellen



JabPlot

Querprofile und Längsschnitte aus Ergebnissen und Modellen erzeugen



LASER_AS-2D

Laserscandaten intelligent ausdünnen und hochwertige Berechnungsnetze erstellen



Kompetenz für die Wasserwirtschaft

- Gewässerhydraulik
- Hydrologie
- Gewässerentwicklung
- Hochwasserschutz
- Hochwasservorhersage
- Stadtentwässerung
- Softwareprodukte
- Softwareentwicklung
- Öffentlichkeitsarbeit

Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Bachstraße 62-64
52066 Aachen

☎ 0241 94689-0
✉ mail@hydrotec.de

www.hydrotec.de



Inhalt Heft 177

HAUPTBEITRÄGE	Albert Pichler, Thomas Tartarotti, Margarete Wöhrer-Alge: Lösungsmodelle für die Deponie und Verwertung von Wildbachsedimenten	Seite 204
	Hannes Badura, Paul Saler: Sedimentmanagement für Wasserkraftanlagen in alpinen Einzugsgebieten	Seite 216
Praxis-Pinnwand	Markus Waibel, Stefan Schuster: Regelstatik für Ufermauern aus Grobsteinschichtungen	Seite 224
	Doris Bleier, Thomas Glade: Vernetztes Denken: OeRISK	Seite 226
	Michael Mitter, Christian Amberger: Schutzwaldverein	Seite 228
	Paul Braun: 22 Barrieren auf einen Streich in Peru	Seite 230
Verzeichnis der Inserenten		Seite 232

Markus Moser, Florian Rudolf-Miklau

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser!

In dieser Ausgabe geht es um das „Management“ von Feststoffen (Sedimenten, Geschiebe, Wildholz). „Managen“ bedeutet umgangssprachlich, etwas handhaben, bewerkstelligen oder bewältigen. Genau diese Bewältigung der sedimentbezogenen Gefahren im Bergland ist für jene Menschen tägliches Thema, die in gefährdeten Gebieten wohnen, arbeiten und wirtschaften.

Bereits tief im Mittelalter versuchten die Bewohner der Alpentäler, ihr Leben sowie ihr Hab und Gut vor den anstürmenden Fluten der Wildbäche zu schützen. Die Anfänge reichen schon mehr als 500 Jahre zurück. Schon damals hat man sich beispielsweise in Tirol (15. Jhd.) gemeinsam durch die Gründung von sog. „Leegen“ (eine Art Genossenschaft) zusammengetan und Abwehrmaßnahmen gegen die Wildbachgefahren umgesetzt. Es begann mit einfachen Schutzmaßnahmen vorwiegend an den Unterläufen oder Schwemmkegeln, in Form von Mauern (sog. Archon), einfachen Ableitungen oder Stausperren zum vollständigen Rückhalt von Feststoffen. Die Reste dieser Bauwerke können heute noch bei Wildbachbegehungen vorgefunden werden, wobei faszinierend ist, wie diese ohne große technische Hilfsmittel an idealen Standorten errichtet werden konnten. Die bevorzugte Schutzfunktion der frühen Wildbachverbauung war die Konsolidierung und Stabilisierung der Erosionsherde.

Konsolidierungen stoßen an ihre Grenzen, wenn im Zuge von schweren Hochwasserereignissen große Mengen mobilisierten Materials durch diese Bauwerke nicht aufgehalten werden können. Eine wirkungsvolle Alternative boten in diesem Fall Bauwerke (Sperren) mit retentierender und dosierender Funktion. Mit den großen Talsperren zum gänzlichen Rückhalt von Feststoffen erfolgte zwar kein direkter Eingriff in den Prozess der Geschiebebildung, bis zu deren Verlandung konnten jedoch große Massen zurückgehalten werden. Nach der Verlandung wirken diese Bautypen nur mehr konsolidierend und haben kaum noch Einfluss auf die Feststofftransportprozesse. Weil mit den Geschiebestausperren das „Übel“ nicht an der Wurzel gepackt wurde, suchte man nach geeigneten Möglichkeiten um direkt in den Prozess des Feststofftransports eingreifen zu können. Ab diesem Zeitpunkt hat sich das forsttechnische System entwickelt, wobei vor allem die Konsolidierung der Geschiebeherde in den Mittel- und Oberläufen durch Sperrenstaffelungen im Vordergrund stand.

Eine bedeutende Änderung brachte der zunehmende Einsatz leistungsfähiger Maschinen, der es ermöglichte, nicht nur schneller und billiger zu bauen, sondern auch Beton- und Stahlbetonbauten sowie naturnahe Verbauungsmaßnahmen anzuwenden. Mit der Mechanisierung und der damit verbundenen Rationalisierung der Verbauungstätigkeit wurde auch die Entwicklung neuer Bautypen und Baumethoden ermöglicht. Begonnen hat es mit Sperren zum vorwiegenden Geschieberückhalt. Ein natürlicher Feststofftransport ist bei diesen Bautypen durch die geschlossene Sperrenwand nicht möglich, sodass sich durch das Geschiebedefizit in der Unterlaufstrecke das natürliche morphologische Gleichgewicht nicht mehr einstellen kann. Eintiefungen im Bachbett (mit Unterspülung der Ufer also Sekundärerrosion) tritt als Folgeerscheinung auf.

Um Abhilfe zu schaffen, wurden Sperren mit Großdolen entwickelt, die einerseits Wasser und Feingeschiebe durchlassen und andererseits eine rasche Entwässerung des Staukörpers nach einem Ereignis ermöglichen sollen. Da auch diese Bautypen nicht immer den gewünschten Erfolg erzielten, wurden neue Bauweisen mit einem durchgehenden Filterelement von der Bachsohle bis zur Hochwasserentlastung entwickelt. Die Ausflusöffnungen wurden so bemessen, dass kleinere Hochwässer ungehindert in den Unterlauf abfließen und ausschließlich größere Ereignisse einen Wasser- und Geschieberückstau im Stauraum hervorrufen konnten. Die Idealvorstellung einer Geschiebezwischendeponierung funktioniert jedoch nur dann, wenn mit ablaufender Hochwasserwelle ausreichend Spülwasser vorhanden ist und Wildholz nicht die Öffnungen verlegt. Verschiedenste Sperrentypen mit dosierenden Funktionsorganen (Sieb-, Rechen-, Balken- und Gitterkonstruktionen) oder auch Kombinationen von verschiedenen Bautypen („Funktionsketten“) wurden für die Feststoffbewirtschaftung entwickelt.

Welches Konzept mit welcher Konstruktion zur Feststoffbewirtschaftung für den jeweiligen Bach und erwartenden Prozess passt ist nur durch eine gute Analyse des Einzugsgebietes möglich. Eine prozessbezogene Definition nach ONR 24800 des maßgebenden Leitprozesses ist daher erforderlich. Diese Leitprozessdefinition kann entweder nur für ein einzelnes Einzugsgebiet oder für größere Gewässersysteme (Flussgebiete) erfolgen und stützt sich im Wesentlichen auf die bewährte „historische Methode“, welche detaillierte Ereignisdokumentationen mit Begehungen im Einzugsgebiet sowie die Analyse der Geländemorphologie („Stumme Zeugen“) umfasst. Eine gesamtheitliche Beurteilung verschiedenster Gewässersysteme wurde zuletzt im Rahmen des EU-Projektes SedAlp (<http://www.sedalp.eu/>) entwickelt, die basierend auf quan-

titative (EZG-Fläche, Bachgefälle) sowie qualitative (Talform, Geschiebeverfügbarkeit, Wildholz) Parameter eine einfache Bestimmung des Leitprozesses je Homogenabschnitt ermöglicht. Auf der Grundlage der ganzheitlichen (integralen) Betrachtung des Wildbachregimes (inklusive Vorfluter) können geeignete Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Feststoffe (Geschiebe, Sedimente) umgesetzt werden.

Integrale Feststoffmanagementkonzepte werfen zahlreiche Detailfragen auf: Zum Beispiel sind der optimale Rechenabstand (lichte Weite), die feststoffhydraulische Optimierung von Mündungsstrecken (in den Vorfluter) oder Konstruktionen zum effektivsten Wildholzrückhalt mit nachfolgender Selbstentleerungsmöglichkeit. Gute Erkenntnisse zu diesen Fragen gewinnt man durch direkte Beobachtungen von abgelaufenen Ereignissen, durch numerische Modellierung oder mittels Modellversuchen, bei denen gezielt spezifische Fragestellungen im Labor nachgebildet werden. Dabei wird bald klar, dass die in der Natur ablaufenden Prozesse mit Modellen nicht gänzlich rekonstruiert werden können. Daher soll in einem nächsten Schritt die direkte Messung des Feststofftransports (Schwebstoff/Geschiebe) Erkenntnisse hinsichtlich der verlagerten Mengen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht liefern. Zweifellos tun sich mit jeder Innovation im Feststoffmanagement neue Fragen und Probleme auf. Bei der Betrachtung ganzer Gewässerstrecken oder längerer Bachabschnitte sind die Fragen, von wo? welche Feststoffmenge? und wie weit? transportiert werden, von enormer Bedeutung für die Planung von Schutzmaßnahmen.

Feststoffe in Wildbächen sind längst nicht mehr nur Gefahrenursachen, sondern auch essentieller Bestandteil des Gewässerökosystems, Bausteine der alluvialen Morphologie, wertvolle Rohstoffe, Baumaterialien und auch handelsfähige Güter. Die zunehmende Komplexität des

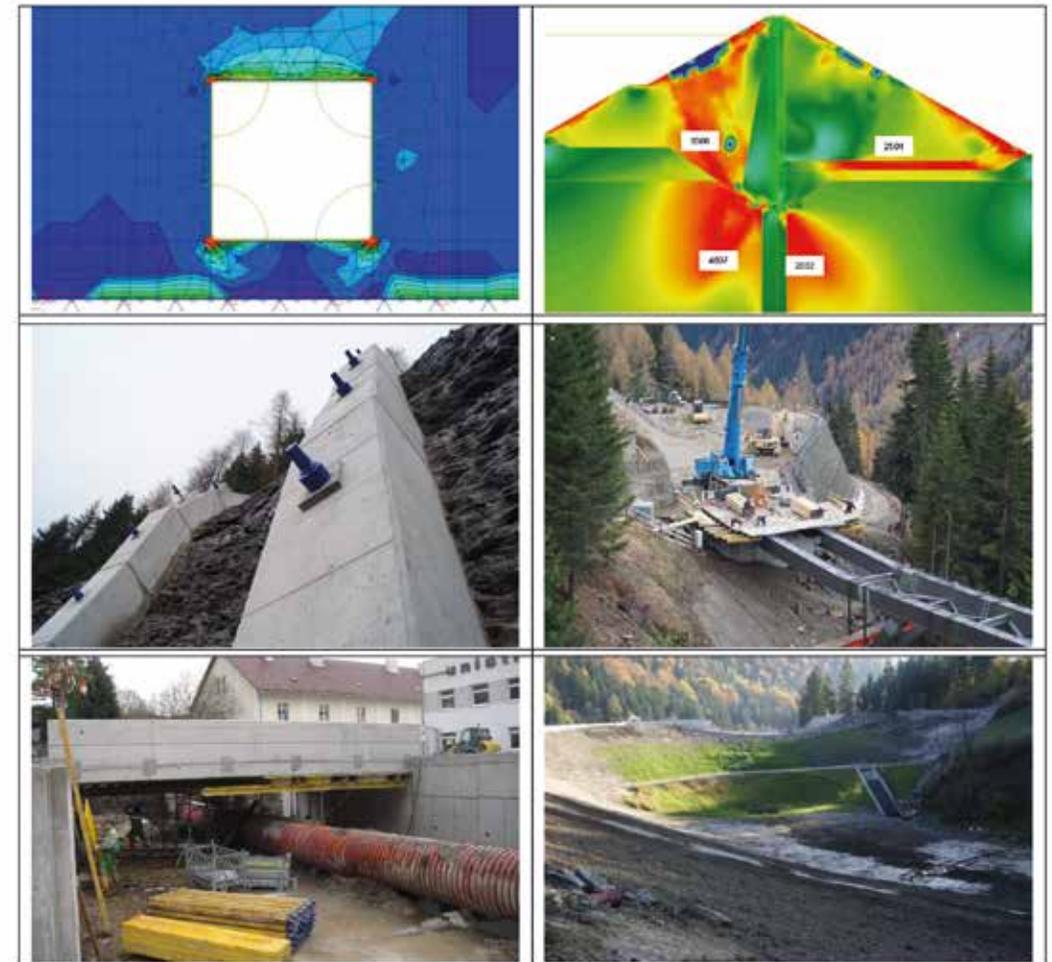
Rechtsrahmens wirft zuweilen auch neue Probleme für das klassische Feststoffmanagement auf – beispielsweise durch die wasser- und naturschutzrechtlichen Beschränkung der künstlichen Umlagerung und Räumung von Anlandungen oder der „Abfalleigenschaft“ maschinell geräumter Sedimente. Damit gewinnt das Feststoffmanagement auch eine neue, moderne Dimension: es geht um den vorausschauenden, effizienten und wirtschaftlichen Umgang mit den Sedimenten nach dem Grundsatz, Sedimente nur in unbedingt notwendigen Ausmaß aus dem Gewässerregime (Kontinuum) zu entfernen oder nach Möglichkeit diesem Gewässersystem wieder zuzuführen. Die Komplexität dieser Aufgaben stößt sicherlich an die Kapazitätsgrenzen der Erhaltungs- und Räumungsverpflichteten und stellt somit ein spannendes, neues Aufgabenfeld für die Wildbach- und Lawinerverbauung dar.

Zum Schluss sei noch angemerkt, dass trotz der umfangreichen Möglichkeiten, die die neuen Technologien bieten, die Naturbeobachtung zur Beurteilung der Prozesse weiterhin an oberster Stelle steht. Heute ist es theoretisch auch „Schreibtischtättern“ oder „Bildschirmanalytikern“ möglich, auf Grundlage detaillierter Geodaten ganz ohne Geländeerhebung einen Befund des Feststoffregimes von Wildbächen zu erstellen. Allerdings darf bezweifelt werden, dass die Scheinbilder der Modelle das auf langjähriger Erfahrung und Beobachtung beruhende „Expertengespür“ für die Naturprozesse gänzlich ersetzen können.

Dipl.-Ing. Markus Moser
Fachbereich Wildbachprozesse
Sektion Salzburg der Wildbach- und
Lawinerverbauung

Dr. Florian Rudolf-Miklau
Schriftleiter

- Statische und dynamische Strukturanalysen für Stahl- und Betonbauwerke
- Geotechnisch, grundbautechnische Sonderlösungen, Injektionstechnik
- Schutzwasserbau, Wildbach- und Lawinerverbauung
- Numerisch-Physikalische Modellierung von Lawinen, Muren und Felsstürzen



HELMUT HABERSACK, ANDREA KREISLER, BERNADETTE BLAMAUER, MARKUS MOSER

Sedimentmanagement in alpinen Einzugsgebieten

Sedimentmanagement in alpine catchments

Zusammenfassung:

Der Feststoffhaushalt von Wildbächen ist im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung von großer Bedeutung. Die starke Besiedelung auf engen Talböden fordert, exemplarisch als eine unter vielen anderen Nutzungen, wasserbauliche Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren. Diese anthropogenen Eingriffe in die Flussmorphologie führen zu einer Veränderung des Feststoffhaushaltes. So bestehen in der Praxis oftmals Probleme mit Sedimentüberschuss und Sedimentdefizit. Im Zuge des Projektes SED_AT wurden diese Probleme erstmals österreichweit in allen betroffenen Sektoren erhoben und zu einem akkordierten Handlungsbedarf zusammengeführt. Dieser Beitrag präsentiert die Methodik und die Ergebnisse des Projektes, mit Fokus auf die Erhebungen im Sektor der WLV.

Stichwörter:

Feststoffhaushalt, Flussmorphologie, integrale Wasserwirtschaft, SED_AT

Abstract:

Sediment balance of rivers is important in the field of the Austrian's Torrent and Avalanche Control. Strong settlement in alpine valley plains, exemplary for a lot of other uses, demands for construction works for the protection against natural hazards. Anthropogenic changes of the fluvial morphology lead to altered sediment balances. Therefore, problems dealing with a surplus or a deficit of sediments are often present in practical engineering works. In the course of the project SED_AT these problems have been determined for all affected sectors all over Austria. A harmonized need for action has been developed. This issue presents methodology and results of the project, focusing on the surveys of the WLV.

Keywords:

Sediment balance, fluvial morphology, integrated water management, SED_AT

Einleitung und Problemstellung

Österreichische Fließgewässer und deren alpine Einzugsgebiete sind einem starken Nutzungskonflikt ausgesetzt. Eine zunehmende Besiedlung und ein beschränkter Bewirtschaftungsraum auf den teils engen Talböden, erfordern dringend benötigte Schutzmaßnahmen vor Naturgefahren. Auswertungen im Zuge des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans 2015 zeigen, dass annähernd die Hälfte der Bevölkerung in räumlicher Nähe (750m) und rund ein Viertel der Menschen sehr nahe (250m) zu den Fließgewässern leben (NGP, 2015). Weiters nimmt die Wasserkraft als erneuerbare Energiequelle einen immer wichtigeren Stellenwert in der Stromproduktion in Österreich ein. Von 2005 bis 2013 kam es zu einer Steigerung des Wasserkraftanteils um rund 16%. Somit liegt der Anteil der Wasserkraft an der Brutto-Stromerzeugung in Österreich bei 70% (NGP, 2015). Weitere Nutzungen die im Zusammenhang mit Sedimentmanagement in alpinen Einzugsgebieten bestehen sind die Landwirtschaft, Ökologie, Fischerei und Siedlungswasserbau. Bei größeren Gewässern nimmt die Schifffahrt eine weitere zentrale Rolle ein. All diesen anthropogenen Einflüssen stehen der Erhalt und die Funktionstüchtigkeit der aquatischen Ökosysteme und die darauf hinzielenden Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG 2000, im Folgenden: WRRL) gegenüber. In der WRRL wird gefordert eine weitere Verschlechterung des Zustandes der aquatischen Ökosysteme zu vermeiden und eine Verbesserung auf den guten Zustand bzw. das gute ökologische Potential anzustreben. Diese Zielerreichung ist jedoch durch die Vielzahl von anthropogenen Belastungen und Nutzungen gefährdet.

Im Rahmen der Erhebungen zum NGP 2009 bzw. NGP 2015 wurden die Belastungen an den Fließgewässern erfasst. Es werden stoffliche und physikalische Belastungen, hydromorpho-

logische Belastungen und sonstige Belastungen unterschieden. Die Ist-Bestandanalyse 2013 zeigt auf, dass aufgrund der erfassten Belastungen rund 60% der Gewässer (bezogen auf Wasserkörperlängen) in Österreich ein sicheres oder mögliches Risiko aufweisen den guten Zustand 2021 zu verfehlen (IBA, 2013). Der Großteil der Belastungen (58%) ist auf hydromorphologische Belastungen zurückzuführen. Diese umfassen hydrologische Belastungen (Wasserentnahmen/Restwasserstrecken, Schwall/Sunk, Aufstau von Fließgewässern), Belastungen durch morphologische Veränderungen/strukturelle Eingriffe (Begradigungen, Uferverbauungen..) und Belastungen durch Wanderhindernisse. Hydromorphologische Belastungen an unseren Fließgewässern finden ihre Ursache in einer stark modifizierten Flussmorphologie (Habersack, 2009) und stehen daher im engen Zusammenhang mit Problemen die durch Veränderungen im Feststoffhaushalt und Sedimenttransport entstehen.

Die meisten Wildbäche sind in sogenannten Normaljahren hinsichtlich Feststoffentstehung und Transport wenig bzw. gering aktiv, im Ereignisfall sind hingegen oftmals große Sedimentmengen zu managen. Gebirgsflüsse, wie z. B.: die Ursau, liefern aus den Geschiebequellen im Ober- und Mittellauf auch bei Mittelwasser oder Schmelzwasser schon beachtliche Mengen an Feststoffen die mit entsprechenden Feststoffmanagementkonzepten zu bewirtschaften sind. Im Sektor Flussbau herrschen Probleme mit Sedimentdefizit vor. Das Geschiebedefizit in den Flüssen entsteht dabei bereits im Einzugsgebiet, wo durch Rückhaltesperren im Rahmen des Naturgefahrenschutzes und durch Speicher der Energiewirtschaft Feststoffe zurückgehalten werden. Im weiteren Längsverlauf des Gewässers kommen Regulierungsmaßnahmen, welche Gefälleerhöhung, Breitenreduktion, Unterbindung von Seitenerosion, etc. mit sich ziehen, hinzu.

Grundsätzlich wird die flussmorphologische Situation eines Wasserkörpers von der Gewässerstrecke und darüber dem Einzugsgebiet hierarchisch bestimmt. Prozesse auf höherer Ebene beeinflussen die darunterliegenden und umgekehrt, daher ist eine Integration der Ebenen mittels „upscaling“ und „downscaling“ notwendig (Habersack, 2000). Dies wird im River Scaling Concept (RSC; Habersack, 2000) ausgedrückt (Abbildung 1).

Das RSC macht deutlich, dass zu einer Verbesserung der Feststoffproblematik eines Gewässers die Zusammenarbeit der verantwortlichen Sektoren auf unterschiedlichen Ebenen, im Sinne einer integralen Wasserwirtschaft, erfor-

derlich ist. Von der Wildbach- und Lawinenverbauung über die Bundeswasserbauverwaltung sowie Wasserstraßenverwaltung bis zur Energiewirtschaft sollten abgestimmte Maßnahmen zur Verbesserung des Feststoffhaushaltes und der Flussmorphologie geplant und umgesetzt werden. Diese beinhalten die Erosion im Bereich der Geschiebequellen, den Transfer in den Bächen und Flüssen sowie die Sedimentation und Remobilisierung in den Fließgewässern und Stauräumen. Nur diese integrale Betrachtung ermöglicht den gewünschten Erfolg.

Um eine nachhaltige Verbesserung des Feststoffhaushaltes und der Flussmorphologie

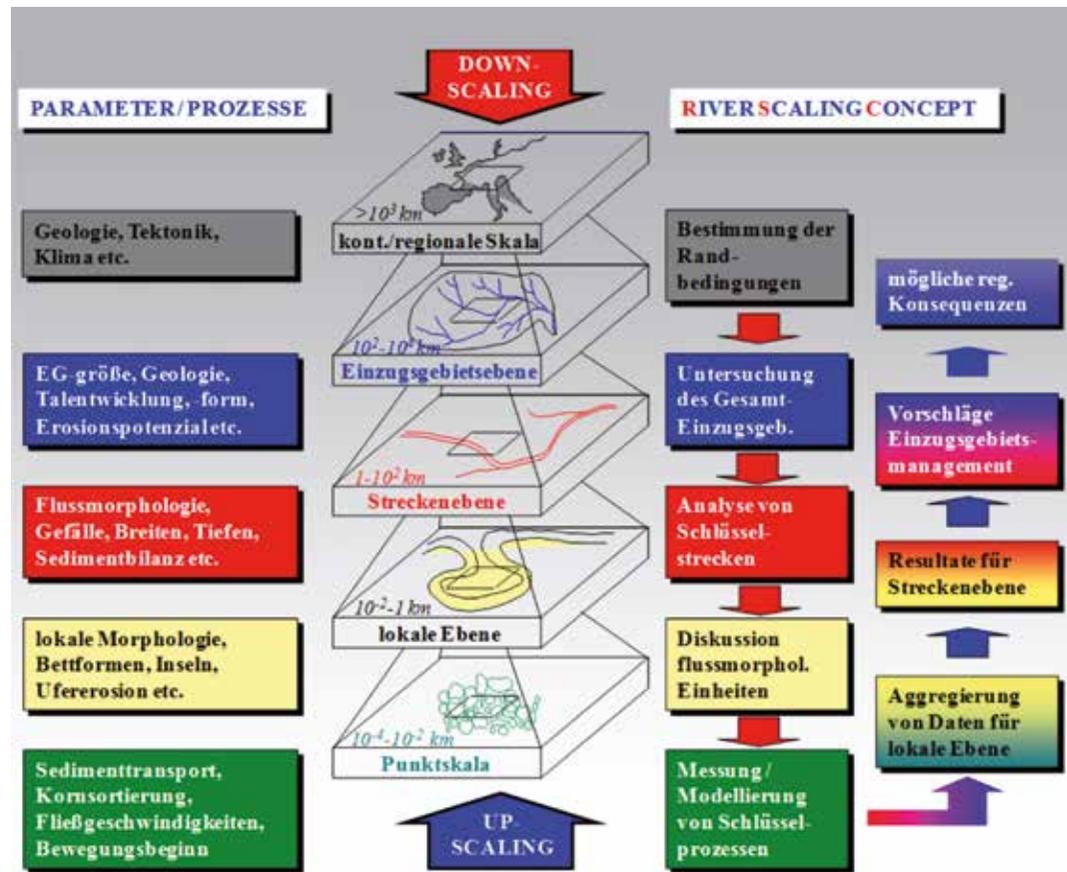


Abb. 1: Abiotische Parameter und Vorgehensweise des RSC (Habersack, 2000)

Fig. 1: Abiotic parameters and procedure of the RSC (Habersack, 2000)

zu erzielen, muss in einem ersten Schritt, eine Darstellung des IST-Zustandes gekoppelt mit langfristigen Monitoringprogrammen für die verschiedenen Flussgebiete und eine Analyse der Ursache-Wirkungszusammenhänge hinsichtlich der sich ergebenden Defizite erarbeitet werden. Daraus müssen funktionierende Maßnahmenprogramme entwickelt werden. So sind neben einer Verbesserung des Sedimentkontinuums Maßnahmen zur Verbesserung der Flussmorphologie weiter zu entwickeln, die eine gleichzeitige Optimierung des Hochwasserschutzes und des ökologischen Zustandes ergeben. Dabei ergibt sich für die Methodik zur IST-Zustandsanalyse, Ursache- und Wirkungsanalyse und Maßnahmenentwicklung ein signifikanter Forschungsbedarf.

In Bezug auf den Feststoffhaushalt bzw. die Feststoffdurchgängigkeit ist laut Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP 2009, Kap. 6) vorgesehen, laufende und neue Forschungsarbeiten zu diesem Themenbereich gemeinsam mit den betroffenen Stakeholdern in Bezug auf die Wechselbeziehungen zwischen Feststoffhaushalt und Gewässerökologie zu intensivieren und zu ergänzen.

Das vom BMLFUW (Abteilung IV/3, Nationale und internationale Wasserwirtschaft) beauftragte Projekt „SED_AT - Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie im Rahmen des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans“ hat hierzu einen Teil beitragen. Neben einer Bewusstseinsbildung, dass sich Veränderungen im Feststoffhaushalt und der Flussmorphologie auf die betroffenen Sektoren (Wildbach- und Lawinenverbauung, Flussbau, Ökologie, Energiewirtschaft, Wasserstraßen und Landwirtschaft) auswirken, wurden auch österreichweit die Probleme in diesen Bereichen erfasst und beschrieben. Das Projekt stellt weiters die Grundlage für ein Kapitel im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 dar, wo der Handlungsbedarf in Hin-

blick auf die oben beschriebenen Themenbereiche erarbeitet und definiert werden soll. Folgend werden das Projekt und ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Das Projekt SED_AT

Das Projekt, welches im September 2014 an der Universität für Bodenkultur / Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau behandelt wurde, verfolgte folgende **Ziele**:

- i) eine österreichweite Erfassung und Analyse von Problemen im Bereich des Feststoffhaushaltes, des Sedimenttransportes und der Flussmorphologie;
- ii) Erhebung des sich daraus ableitenden Handlungsbedarfs in Hinblick auf Maßnahmen zur Zielerreichung des guten ökologischen Zustandes;
- iii) Erstellung eines akkordierten Umsetzungsprogramms (in Abstimmung mit den betroffenen Stakeholdern sowie dem Ministerium); und
- iv) Bewusstseinsbildung.

Zur Erreichung dieser Ziele war eine enge Zusammenarbeit mit Stakeholdern der unterschiedlichen Sektoren, Vertreter der Ministerien (BMLFUW, BMVIT) und Experten aus der Wissenschaft von großer Bedeutung.

Die **Bearbeitungsschritte** des Projektes sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

Im Zuge einer Basiserhebung wurden Grundlagen betreffend Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie zusammengetragen. Alle Sektoren mit Bezug zum Thema Feststoff waren eingebunden (Wildbach- und Lawinenver-

bauung, Flussbau, Ökologie, Energiewirtschaft, Schifffahrt bzw. Wasserstraßen), die Wechselwirkungen der verschiedenen Sektoren und deren Eingriffe mit dem Themenbereich wurden in Form von Fragebögen strukturiert aufgenommen.

Die Kerntätigkeit des Schrittes II war eine Erhebung der Probleme, welche mit dem Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und der Flussmorphologie in den einzelnen Sektoren vorliegen. Es wurde erhoben, welche Auswirkungen diese Probleme haben und ob es bereits Lösungen gibt bzw. wo noch Handlungsbedarf (umfasst Forschungsbedarf, Managementbedarf und rechtliche Belange) besteht. Die zwei Wege der Datenerhebung beinhalten einerseits i) die Befragungen der Stakeholder mittels Fragebögen und/oder direkten Gesprächen, und andererseits ii) die Auswertung von Literatur, sowie Einbeziehung von Expertenabschätzungen. Die Fragebögen behandelten für

das jeweilige Untersuchungsgebiet (z.B. Einzugsgebiet, Flussabschnitt) Fragenblöcke zu den Themengebieten Feststoffdefizit, Feststoffüberschuss und morphologische Änderungen, sowie Fragenblöcke zu Maßnahmen, Ursachen, Bauwerken, Messungen und Instandhaltungsmaßnahmen. Die Fragen nach zukünftigen Ideen für Maßnahmen bzw. Forschungsbedarf im Bereich der Maßnahmenentwicklung sowie der Grundlagenforschung, nahmen einen zentralen Stellenwert im Fragebogen ein. Die Ergebnisse der Fragebögen wurden für jeden Sektor ausgewertet und im Zuge einer sektoralen Querverlinkung den jeweiligen anderen Sektoren vorgestellt und von diesen beurteilt (zustimmend/neutral bzw. keine Überlappung/ablehnend). Dies war einer der wichtigsten Prozesse im Projekt, da hier mögliche Synergiebereiche bzw. Konfliktpunkte zwischen den Sektoren identifiziert werden konnten.

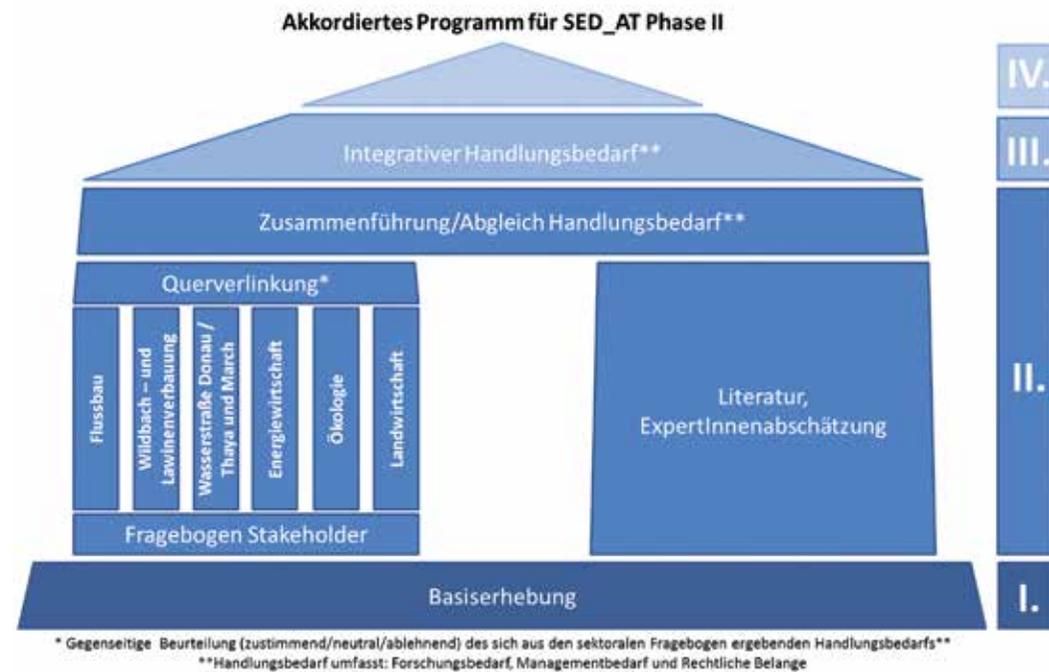


Abb. 2: Bearbeitungsschritte des Projektes SED_AT

Fig. 2: Processing steps within the project SED_AT

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden relevante Studien, Projektberichte und Fachartikel analysiert und auf Grundlage der erhobenen Probleme und vorhandenen Lösungsansätze der Handlungsbedarf abgeleitet sowie durch Expertenabschätzungen ergänzt. Der **Handlungsbedarf** beider Säulen konnte danach zusammengeführt, abgeglichen und bezüglich Übereinstimmung, neuer Themenbereiche und Widerspruch ausgewertet werden.

Im sich daraus resultierenden integrativen Handlungsbedarf (Arbeitsschritt III) wurden die unterschiedlichen Aussagen der einzelnen Sektoren zusammengefasst und den Übergruppen Forschungsbedarf, Managementbedarf und rechtliche Belange zugeordnet. Darauf aufbauend erstellte man eine Umsetzungsstrategie des Handlungsbedarfs für SED_AT Phase II, die im Rahmen eines Abschlussworkshops mit Vertretern aller Sektoren und der Auftraggeber (Abteilung VII/1, Nationale Wasserwirtschaft), sowie Experten aus der Wissenschaft diskutiert wurden. Die Umsetzungsstrategie stellt somit das akkordierte Programm bzw. das Endergebnis des Projektes dar.

Im Folgenden werden die sektoralen Ergebnisse des Arbeitsschrittes II/Fragebogenerhebung der Wildbach- und Lawinenverbauung präsentiert. Bezüglich detaillierter Ergebnisse der anderen Sektoren verweisen die Autoren auf den Endbericht des Projektes SED_AT (online verfügbar http://wisa.bmlfuw.gv.at/fachinformation/ngp/ngp-2015/hintergrund/allgemeines/set_at_2015.html).

Um einen guten Überblick über die Probleme in Hinblick auf Feststoffe im Bereich der WLW zu bekommen wurde die große Anzahl und Vielfalt an Wildbacheinzugsgebieten in Österreich durch Abschätzung der Experten der WLW auf eine überschaubare Anzahl von 46 exemplarischen Einzugsgebieten reduziert.

Die Auswertungen der Befragungen haben bezüglich der Feststoffproblematik ergeben, dass in rund 35 % der 46 erhobenen Einzugsgebiete Sediment Überschussprobleme auftreten, ~9% der Einzugsgebiete weisen Defizitprobleme auf und in 12 (entsprechen ~26%) der untersuchten Einzugsgebiete gibt es sowohl Überschuss- als auch Defizitprobleme. In rund 30% der Einzugsgebiete wurden weder Überschuss noch Defizitprobleme angemerkt.

In den Befragungen wird berichtet, dass **Sedimentdefizitprobleme** in Wildbächen vor allem Sohleintiefungen, Bachverwerfungen und Unterspülungen von Bauwerken verursachen (Abbildung 3a). Sohleintiefungen treten bachabwärts von Bauwerken zur Geschiebemanagement sowie in regulierten Bereichen mit Uferverbauungen auf. Zu Bachverwerfungen kommt es im Mittellauf und in flachen Fließstrecken bzw. Schwemmkegelbereich. Weiteres wird in den Befragungen von Verwerfungszonen bachaufwärts von Bauwerken berichtet (Brücke, Sperrenstaffelung). Zur Problemlösung des Sedimentdefizits wurden von den Stakeholdern Stabilisierungsbauwerke der Sohle bzw. des Ufers, Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an den Bauwerken, Vergrößerung des Abflussquerschnittes, sowie Optimierungen der Dosier- und Filterbauwerke genannt.

Probleme durch **Sedimentüberschuss** führen, basierend auf den in den Fragebogen angegebenen Antworten, in den betrachteten Wildbächen zu Sohlhebungen/Anlandungen und Verlagerungen/Einstau von Zubringermündungen (Abbildung 3a). Bei den von Sohlhebung betroffenen Wildbächen besteht zu 83% eine direkte Gefährdung der Hochwassersicherheit. Die häufigsten Folgen sind Bachausbrüche, Überborden sowie Ufererosion (siehe Abbildung 3b).

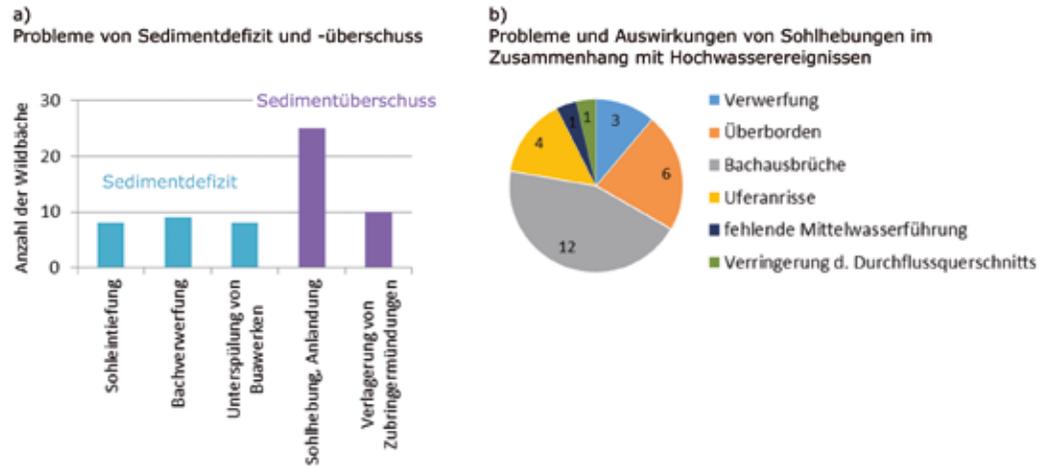


Abb. 3: Probleme von Sedimentdefizit und -überschuss (a), Probleme und Auswirkungen von Sohlhebungen im Zusammenhang mit Hochwasserereignissen (b)

Fig. 3: Problems originating from sediment deficit and surplus (a), Problems and consequences of river bed sedimentation in relation to flood events (b)

Die in den Umfragen erfassten Bauwerkstypen gliederten sich in **Quer-** (43) und **Längsbauwerke** (41). Das Umfrageergebnis zeigt, dass je nach Bauwerkstyp, neben der Kontinuumsunterbrechung, verschiedene Probleme in Bezug auf den Feststoffhaushalt auftreten können (z.B. Unterspülung von Konsolidierungssperren, Verlegung des Grundablasses durch Wildholz und Sedimente bei Retentionssperren, Dimensionierung von Filteröffnungen (lichte Weite)). Ein großes Problem stellt die Räumung von Ablagerungen im Bereich der Sperrenstauräume dar, die zur Funktionserhaltung (Wiederherstellung der Schutzfunktion) unmittelbar nach Ereignissen notwendig ist. Falls keine Wiederverwertung, Wiedereinbringung oder sonstige Verwertung (z.B.: für wasserbauliche oder landwirtschaftliche Zwecke) möglich ist, können die Kosten für die Verantwortlichen (Gemeinde, Wassergenossenschaften) - z. B.: Transport zu und Lagerung auf Deponieflächen - sehr hoch werden.

Neben den sedimentbedingten Problemen im Wildbach und an den Bauwerken zeigte

sich bei der Auswertung der Fragebögen, dass vor allem die Vegetation und insbesondere das Wildholz zu Problemen führt (in 34 von 46 Fragebögen). Wildholz vermindert den Abflussquerschnitt und/oder kann zu Verklausungen an Brücken und anderen Bauwerken führen.

Der im Zuge der Fragebögen erhobene **Handlungsbedarf der Wildbach- und Lawinenverbauung** umfasst unter anderem die Erstellung von Geschiebemanagementkonzepten, die Optimierung von Sperrenbauwerken, Konzepte zu einer möglichen Geschiebeweitergabe an den Vorfluter, Monitoring des Feststofftransportes, die Weiterentwicklung der Geschiebemodellierung, Ermittlung von Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasserabflüssen und die Ermittlung des Einflusses von hydrologischen Veränderungen auf den Feststofftransport. Eine detaillierte Auflistung findet sich im Endbericht des Projektes SED_AT. Im Rahmen sektoraler Besprechungen wurde der Handlungsbedarf der WLW den anderen Sektoren vorgestellt, um Konfliktpunkte aber auch Übereinstimmungen oder Synergien durch intersektorale

Zusammenarbeit zu ermitteln. In mehr als 90% ist eine Übereinstimmung vorhanden, bzw. hat sich in keinem Punkt ein Widerspruch oder Konflikt zwischen den Sektoren ergeben.

Diese sektorale Querverlinkung wurde im Zuge des Projektes für jeden Sektor durchgeführt. In 88% der Beurteilungen ist eine Übereinstimmung bzw. ein Synergieeffekt oder keine Überlappung des Handlungsbedarfes bzw. Neutralität im Projekt ermittelt worden. In nur 2% der Beurteilungen wurden Konfliktpunkte geortet. Diese beziehen sich aber meist auf bestimmte

detaillierte Formulierungen des Handlungsbedarfes. In den restlichen 10% wurden keine Beurteilungen abgegeben.

Der **integrative Handlungsbedarf** (Arbeitsschritt 4), durch Zusammenführung der Säulen „Fragebogenbefragung“ und „Literaturrecherche, Experteneinschätzung“ (siehe Abbildung 2) erstellt, wurde getrennt nach Forschungsbedarf, Managementbedarf und rechtliche Belange im SED_AT Endbericht präsentiert. Tabelle 1 gibt einige der genannten Punkte wieder.

Forschungsbedarf	
Feststoffmanagementkonzept	Entwicklung eines einzugsgebietsbezogenen Feststoffmanagementkonzeptes unter Berücksichtigung der naturräumlichen Gegebenheiten (Geologie, Klima,...), der vorhandenen anthropogenen Einwirkungen (z.B. Sperren, Verbauungen, Wasserkraftwerke, Landnutzung im Gewässerumland,...) und der Klimaänderung
Grundlegende Prozesse im Sedimenttransport	Untersuchung von Bewegungsbeginn, Transportprozess, Sortierung, Abrieb,... durch z.B. Naturmessungen und numerische und physikalische Modelle Erfassung der Auswirkungen von hydrologischen Änderungen (z.B. Restwasser, ...) und Klimaänderungen auf den Feststoffhaushalt und den Sedimenttransport
Monitoring	Weiterentwicklung von Messverfahren für Schwebstoffe und Geschiebe v.a. für Feststofftransportmessungen während großer Hochwässer
Modellierung	Durchführung großmaßstäblicher physikalischer Modellversuche und Naturmessungen zur Schaffung der mathematischen Grundlagen für die numerische Modellierung Verbesserung von Formelansätzen zur Berechnung des Sedimenttransportes und damit einhergehend die Verbesserung von Sedimenttransportmodellen in Hinblick auf verschiedene Anwendungsgebiete
Optimierung von Baumaßnahmen und Bauwerken	Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Erhaltung/Wiederherstellung des Sedimentkontinuums und Optimierung der Betriebsweisen Untersuchung und Entwicklung von Konzepten zur Optimierung des Feststoffmanagements – Entnahmen/Zugaben, ... Evaluierung und Entwicklung von Bauwerkstypen die den Weiter-/Durchtransport von Feststoffen erlauben und damit zu einem verbesserten Feststoffhaushalt führen ...

Managementbedarf
Mitbehandlung von Feststoffen (z.B. Sohlagenänderung, Feststofftransport,...) bei Hochwasserrisikoabschätzungen und bei der Entwicklung von Gewässerentwicklungskonzepten
Evaluierung der umgesetzten Maßnahmen z.B. Renaturierungen, Wehrbetriebsordnungen,...
Optimierung des Instandhaltungsaufwandes (finanziell und zeitlich) - z.B. Änderung von Räumkonzepten, Adaption von Pflegemaßnahmen, Berücksichtigung der Sedimentation in Gewässerpflegekonzepten, Betriebsvorschriften für Hochwasserrückhaltebecken, usw.
Optimierung der Wildholzbewirtschaftung und Evaluierung verschiedener Wildholzmanagementmaßnahmen
Überprüfung des baulichen Zustands von Schutzbauten – Veränderungen im Feststoffhaushalt sind als eine von vielen möglichen Ursachen für ein Bauwerksversagen jedenfalls zu beachten
Erstellung einer zentralen Datenbank zur Erfassung von durchgeführten Messungen (Profilaufnahmen, Feststoffmessungen, Hoch- und Niederwasserspiegelaufnahmen,...); z.B. eventuelle Erweiterung bestehender Profildatenbanken
Rechtliche Belange
Änderungen im Abfallwirtschaftsgesetz zur Ermöglichung der Wiedereinbringung von Räumgut (z.B. aus Wildbachsperrern) in den Vorfluter
Generelle Klärung folgender Fragen: <ul style="list-style-type: none"> • Ob und wann muss ein Ausleitungsberechtigter einen Beitrag zur Geschiebemanagementleistung (Räumung,...) in der Ausleitungsstrecke leisten? • Ab wann ist die Verpflichtung zur Räumung gegeben? • Welche Möglichkeiten der Grundbereitstellung bzw. des Grunderwerbs für morphologische Maßnahmen gibt es, bzw. kann im Rahmen des Gewässerschutzes in die privaten Verhältnisse/ Rechte Dritter eingegriffen werden?
Rechtliche Klärung der Nutzung von Überströmstrecken

Tab. 1: Beispiele aus dem integrativen Handlungsbedarf

Tab. 1: Examples of the integrative need for action

In Abbildung 4 ist das im Abschlussworkshop des Projektes SED_AT präsentierte, diskutierte und akkordierte Forschungsprogramm dargestellt. Es teilt sich in zwei Bereiche, die Grundlagen- bzw. Prozessforschung und den Forschungsbedarf in Hinblick auf Maßnahmen, Messungen und Monitoring der drei räumlichen Ebenen (Einzugsgebietsebene, Streckenebene und Lokale Ebene) zugeordnet ist.

Im Bereich der Prozessforschung sind alle Sektoren gefordert, das Grundwissen, v.a. die Interaktionen zwischen Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und der Flussmorphologie sowie Ökologie zu verbessern. Der Handlungsbedarf der drei räumlichen Ebenen kann meist einem verantwortlichen Sektor zugeordnet werden, wobei die Auswirkungen auf und die damit notwendige Zusammenarbeit mit anderen Sektoren wichtig ist. Die für die einzelnen Sektoren zuständigen Organisationen, welche für die Umsetzung der einzelnen Punkte hauptverantwortlich vorgehen sind, werden in Abbildung 4 angeführt.

Zusammenfassung

In alpinen Wildbach-Einzugsgebieten wurden seit Beginn der Verbauungsmaßnahmen zum Schutz der besiedelten Gebiete ständig Schutzkonzepte ausgearbeitet und den Anforderungen angepasst. Diese Schutzkonzepte stehen aber oftmals im Widerspruch zu anderen Nutzungen. Hier seien unter anderem die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der Ökosysteme, die Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen zur Verbesserung des Feststoffhaushaltes und der Flussmorphologie und die Erfüllung der Vorgaben in der WRRL erwähnt. Durch das Projekt SED_AT konnte in Zusammenarbeit mit den betroffenen Stakeholdern aus den Sektoren Wildbach- und Lawinerverbauung, Flussbau, Wasserstraße Donau/Thaya und March Energiewirtschaft, Ökologie und Landwirtschaft erstmals, in einem Bottom-Up Prozess, eine österreichweite Darstellung der Probleme abgeleitet und daraus der Handlungsbedarf in Hinblick auf Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und



Abb. 4: Akkordiertes Forschungsprogramm betreffend Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie

Fig. 4: Harmonised need for action concerning sediment balance, sediment transport and fluvial morphology

Flussmorphologie erarbeitet werden. Im Rahmen dieser Erhebung wurden in allen Sektoren Probleme mit dem Feststoffhaushalt bzw. dem Sedimenttransport festgestellt. Der Handlungsbedarf der einzelnen Sektoren zeigt einen hohen Grad (rund 88%) an Übereinstimmung bzw. keiner Überlappung/Neutralität. Widerspruch besteht nur in einigen wenigen Fällen (~2%). Generell zeigt sich, dass eine Zusammenarbeit der Sektoren zur Lösung von Problemen erforderlich ist, wodurch Synergieeffekte in den einzelnen Bereichen erwartet werden. Im Wildbachbereich wurde von den Befragten Handlungsbedarf in den Bereichen Erstellung von Geschiebemanagementkonzepten, Optimierung von Sperrbauwerken, Entwicklung von Konzepten zu einer möglichen Geschiebeweitergabe an Vorfluter, Monitoring des Geschiebetransportes, Weiterentwicklung der Geschiebmodellierung, Ermittlung von Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasserabflüssen und Ermittlung des Einflusses von hydrologischen Veränderungen auf den Geschiebetransport angegeben. Dieser Handlungsbedarf aus den Fragebogen wurde mit der Literaturrecherche und Experteneinschätzung zusammengeführt und in einer Liste für die Bereiche Forschung, Management und rechtliche Belange zusammengestellt.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Habersack
 Universität für Bodenkultur,
 Institut für Wasserwirtschaft,
 Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
 Muthgasse 107, 1190 Wien
 helmut.habersack@boku.ac.at

DI Andrea Kreisler
 Universität für Bodenkultur,
 Institut für Wasserwirtschaft,
 Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
 Muthgasse 107, 1190 Wien
 andrea.kreisler@boku.ac.at

DI Bernadette Blamauer
 Universität für Bodenkultur,
 Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie
 und konstruktiven Wasserbau
 Muthgasse 107, 1190 Wien

DI Markus Moser
 Forsttechnischer Dienst für Wildbach-
 und Lawinenverbauung,
 Fachbereich Wildbachprozesse, GBL Lungau
 Johann Löcker Str. 3, 5580 Tamsweg
 markus.moser@die-wildbach.at

Literatur / References

BMLFUW-UW.4.1.2/0011-I/4/2010 (2010).
 Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009-NGP 2009.

BMLFUW (2014) – EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG. Österreichischer Bericht der Ist-Bestandanalyse 2013. Wien.

BMLFUW (2015).
 Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015-ENTWURF (Stand 25.03.2016)

EUROPÄISCHE UNION (2000).
 Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Official Journal of the European Communities, Europäische Union.

HABERSACK, H. (2000):
 The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments. Hydrobiologia, 422/423, 49-60.

HABERSACK, H. (2009).
 Feststoffhaushalt, Flussmorphologie, ökologischer Zustand und Hochwasserschutz. Hintergrundpapier NGP, Wien. http://wisa.bmlfuw.gv.at/fachinformation/gewaesserbewirtschaftungsplan/ngp-2009/hintergrunddokumente/allgemeines/allg_higr_ow.html 2016-03-25.

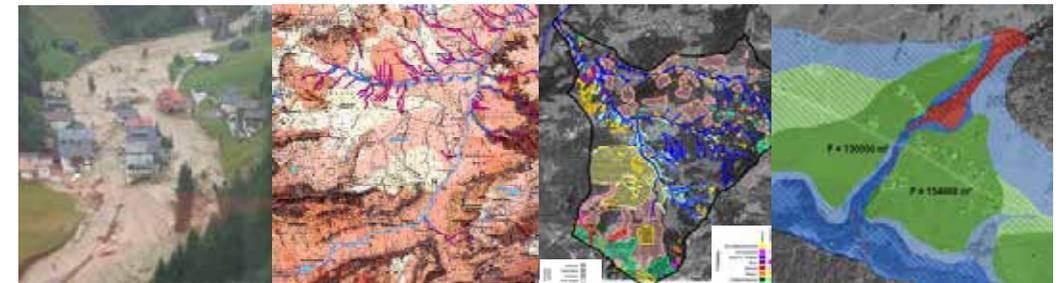
i.n.n. naturraum - management
 ingenieurgesellschaft
 geoinformatik
 geotechnik
 risk-management recht

i.n.n.
 ingenieurgesellschaft für
 naturraum - management mbH & Co KG
 tel (fax): 0043-512-342725 (11)
 mail: office@inn.co.at
 grabenweg 3a
 A-6020 innsbruck

Unsere Leistungen im Naturgefahren-Management:

Regional- und Gefahrenzonenplanung Schutzkonzepte Gutachten
 Einreichplanung Ausschreibungen Umsetzungsbegleitung /-kontrolle

Weitere Bereiche: Umwelttechnik und Sportstättenplanung



G W U
 Geologie - Wasser - Umwelt

**Ihr kompetenter Partner für
 Baugrund, Wasser und Umwelt**

Steinschlag - Felssturz - Rutschung

Geländeaufnahme, Sicherungs- und
 Sanierungsplanung, Simulation,
 Ausschreibung und Bauaufsicht für

Projekte innerstädtisch

z.B. Salzburger Stadtberge

sowie im alpinen Gelände

z.B. Felssturz Schildalmgalerie/Felbertauern

Trinkwasser-Hochbehälter Lienz

L25 Deferegentalstraße

L324 Pustertaler Höhenstraße

380kV-Leitung Felbertal

Rutschung Zell a. Pettenfirst

GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH

Ingenieurbüro für Geologie, Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

A-5020 Salzburg, Bayerhamerstraße 57

Tel.: +43 (0)662 876360-0 - <http://www.gwu.at>

MARKUS MOSER, SUSANNE MEHLHORN, DANIEL KURZ

Modellierung von Feststofftransportprozessen in der Praxis: Beispiel Alperschonbach

Numerical modelling of bedload transport processes for practical applications: Case Study Alperschonbach

Zusammenfassung:

Fast jedes Hochwasser in alpinen Einzugsgebieten ist begleitet von einem Anteil an Feststoffen und deren Berücksichtigung erfolgt meist gutachterlich durch Abschätzungen im Gelände oder aus jahrelanger Erfahrung und Gebietskenntnis. Auswirkungen verschiedenster Ereigniskombinationen werden meistens in einem Art „Expertenmodell“ subsummiert und darauf aufbauend ein maßgeschneidertes Schutzkonzept entwickelt. Neuartige Methoden auf Basis numerischer Modellierung von Feststoffen wie Sediment (Schwebstoff), Geschiebe- und Wildholztransport kommen vermehrt zur Anwendung, die dafür notwendigen Eingangsdaten sind oftmals schwer zu bestimmen. Am Alperschonbach wurden zum Beispiel Sohlagen über mehrere Jahre dokumentiert und vermessen, verschiedene Orthofotos über mehrere Jahre zeigen die Entwicklung von Schotterbänken in der Aufweitungstrecke. Das gut dokumentierte Hochwasserereignis im Jahr 2005 lieferte zudem Ablagerungshöhen und Informationen zum Ereignishergang.

Das vorliegende Projekt beinhaltet die Grundlagenermittlung für die Abgrenzung der Gefahrenzonen am Schwemmkegel. Dem Stand der Technik entsprechend, wurde zur Beurteilung der Situation versucht, 1D- sowie 2D-Simulationsmodelle mit Feststofftransport einzusetzen und verschiedenste Szenarien zu berechnen.

Stichwörter:

Feststofftransportmodellierung, numerische Simulation, Monitoring Bachmorphologie

Abstract:

In Alpine catchments flood events often go along with a certain amount of bedload and sediment transport. These processes are taken into account mostly by expert's opinion, assessment in the field, experience and knowledge of the territory. The effects of the different potential scenarios are combined in a so called "expert model" which serves as basis for the development of an ideal integrated protection concept. Therefore new methods are often applied based on numerical modelling of sediment, bedload and woody debris transport, whereas determining the needed input data for such models is sometimes challenging.

In case of the Alperschonbach a lot of data were available. For example the differences of the stream basement of the torrent is documented in terrestrial surveys over several years and also the development of gravel banks over the last years could be analyzed by a series of aerial surveys of the alluvial cone. There is also a well-documented flood event which gives information about the course of the event, flood and deposition heights. This study serves to support the delineation of hazard zones using an approach of combining different numerical bedload transport simulations (1D and 2D) and calculating various scenarios according to the state of the art.

Keywords:

Bedload transport, modelling, numerical simulation, monitoring, torrent morphology

Einleitung

Der Alperschonbach mit einer Einzugsgebietsgröße von 83,8 km² ist ein stark geschiebeführender Wildbach, welcher in der Gemeinde Bach (Tirol) in den Vorfluter Lech mündet. Vom Schwemmkegel bis zur Mündung wurden aus schutzwasserbautechnischen und ökologischen Gründen Aufweitungen des Gerinnes umgesetzt, um einerseits den Abflussquerschnitt zu vergrößern und andererseits einen Verzahnungsbereich der Ufer mit dem Umland zu erreichen. Insgesamt sollte dadurch das Gerinne als Umlagerungstrecke ausgebaut werden. Beim Hochwasserereignis 2005 kam es im Bereich dieser Aufweitungen zu Anlandungen mit bis zu 1,5 m

Höhe. Diese Schotterbänke wurden im Zuge von kleineren Ereignissen nur zum Teil in den Vorfluter abtransportiert, eine Verringerung des Abflussquerschnittes durch diese Anlandungen ist seit diesem Ereignis gegeben.

Problemstellung

Im Zuge der Erstellung eines Gefahrenzonenplans für die Gemeinde Bach ist die Beurteilung der Auswirkungen eines Bemessungshochwassers durch den Alperschonbach mit Berücksichtigung des Vorfluters Lech umzusetzen. In dieser Beurteilung ist eine Analyse des Feststofftransportes mit der Ermittlung der Auflandungs- und Erosionsbereiche enthalten. Dem Stand der Technik entsprechend hat man im Zuge dieses Projektes

versucht, zur Beurteilung der oben beschriebenen Situation, 1D- sowie 2D-Simulationsmodelle mit Geschieberegung einzusetzen. Die berechneten Szenarien reichen von kurzen sowie langen Hochwasserganglinien, Geschiebezugaben als prozentueller Anteil der Ganglinie bis zu Einträgen aus einer Großrutschung. Verschiedene Ausgangssituationen hinsichtlich Vorverfüllungen werden ebenso berücksichtigt, wie abschnittsweise unterschiedliche Annahmen über mögliche Sohlerosionen in den Aufweitungen.

Zusammenfassung der Ausgangslage – Charakteristik des Alperschonbaches

- Stark geschiebeführender Bachcharakter, 2 Brücken und 1 Steg
- Aufweitung speziell im Bereich oberhalb der Brücke im hm 1,30 bis zum Steg im hm 3,06 sowie oberhalb des Steges bis zur Brücke im hm 7,07 (siehe Abbildung 1)
- Mäandrierender Verlauf in der Bachstrecke mit ausgeprägter Niederwasserrinne
- Anlandungen im Mündungsbereich in den Lech, Rückstau in den Alperschonbach
- Einzelne Quergurte in Form von Eisenbahnschienen als Sohlfixierung im hm 8,5 und 9,5
- Schotterbänke links- und rechtsufrig mit Mächtigkeiten bis zu 1,5 m stark mit Erlen bewachsen
- Letztes Ereignis 2005, Feingeschiebe wurde im Zuge kleinerer Ereignisse abtransportiert

Ereignisdokumentation auf Basis von Orthofotos, Querprofile und Begehungen von 2000 – 2014

Zur Darstellung der Entwicklungstendenz und Untermauerung des oben beschriebenen Bachcharakters wurden die Orthofotos der Jahre 2000,

2006, 2010 gegenübergestellt, die Profilmessungen 2002, 2003 und 2014 ausgewertet und die Situation infolge Begehung 2014 dokumentiert.

Im Jahr 2000 wird der mäandrierende Verlauf am Schwemmkegel mit den Schotterbänken deutlich sichtbar. Unterhalb der Brücke im hm 1,30 bis zur Mündung liegen die Anlandungen an der orographisch rechten Gerinneseite, im Brückenbereich eher linksufrig. Dieses abwechselnde Ablagerungsverhalten setzt sich auch bis oberhalb der Brücke im hm 7,07 fort. Die Ablagerungshöhen konnten aus der rein visuellen Betrachtung des Orthofotos nicht abgeleitet werden.

Beim Hochwasserereignis 2005 kam es im Bereich der Aufweitungen zu Anlandungen mit bis zu 1,5 m Höhe. Diese Schotterbänke wurden im Zuge von kleineren Ereignissen nur zum Teil in den Vorfluter abtransportiert, eine Verringerung des Abflussquerschnittes durch diese Anlandungen ist seit diesem Ereignis gegeben. Im Zuge des Ereignisses 2005 wurde die Schotterbank im Mündungsbereich in den Vorfluter transportiert und es entstand eine deutliche Ablagerung unterhalb der Lechmündung an dessen orographisch rechten Gerinneseite. Die Schotterbank unterhalb der Brücke im hm 1,30 vergrößerte sich im Unterlauf an der linken Bachseite des Alperschonbaches. Die rechtsufrige Schotterbank unterhalb des Steges im hm 3,06 aus dem Jahre 2000 vergrößerte sich ebenso, das Hauptgerinne (Niederwasserrinne) wurde hier an das linke Ufer verlegt. Zwischen Steg (hm 3,06) und Brücke (hm 7,07) im eigentlichen Aufweitungsbereich hat sich der benetzte Bachbereich eher auf die Bachmitte verlegt, die Anlandungen sind abwechselnd auf der rechten und linken Bachseite sichtbar. Oberhalb der Brücke im hm 7,07 hat sich an der linksufrigen Bachseite eine Schotterbank gebildet. Kleinere Ereignisse zwischen 2006 und 2010 dürften die im Unterlauf (unterhalb der Brücke im hm 1,30) abgelagerten Geschiebemengen in den

Vorfluter abtransportiert haben. Die Schotterbank im Vorfluter an dessen rechten Bachseite hat sich verkürzt, ob eine generelle Anlandung stattgefunden hat ist aus der visuellen Beurteilung nicht ableitbar. Die Ablagerungen unterhalb des Steges an der rechten Gerinneseite haben sich vergrößert und vermutlich auch schon mit Pioniervegetation verfestigt. Oberhalb des Steges hat sich auch eine linksufrige Schotterbank gebildet, die Niederwasserrinne verläuft an der rechten Bachseite. Die an der linken Bachseite in der Strecke zwischen hm 3,06 und der Brücke 7,07 noch aus dem Orthofoto 2006 erkennbare Schotterbank hat sich bis 2010 verkleinert, der Bach mäandriert in diesem Bereich links- und rechtsufrig.

Eine Begehung im Herbst 2014 zeigte die noch vorhandenen Anlandungen im Mündungsbereich, die Schotterbank unterhalb des Steges im hm 3,06 hat sich bereits mit Erlenbewuchs gefestigt (Abbildung 2). Oberhalb des Steges hat sich die Niederwasserrinne eher linksufrig ausgebildet, die Ablagerungen liegen hier an der rechten Gerinneseite.

Um beurteilen zu können, ob im Unterlauf langfristig Anlandungen oder Eintiefungen



Abb. 2: Schotterbank unterhalb des Fußgängersteges und Steg im hm 3,06 (Blick bachabwärts)

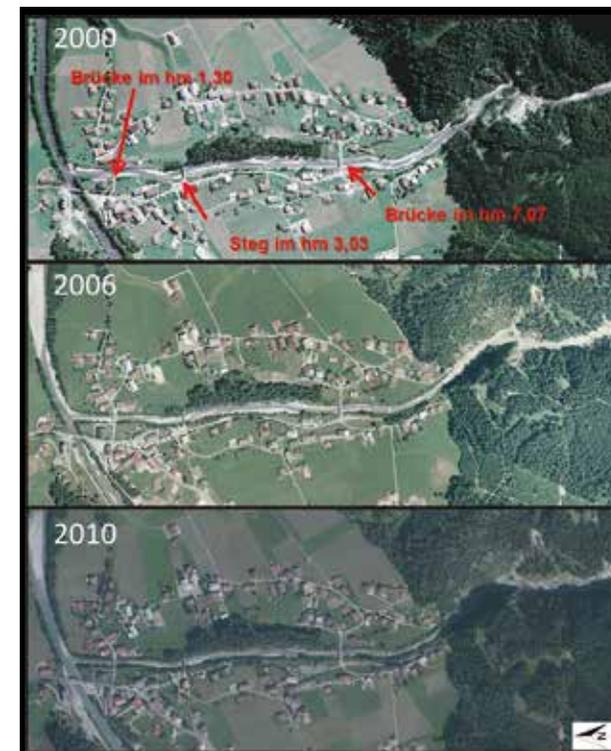


Abb. 1: Luftbildaufnahmen vom Schwemmkegel Alperschonbach aus den Jahren 2000, 2006 und 2010

Fig. 1: Aerial surveys of the alluvial cone Alperschonbach from the years 2000, 2006 and 2010



Fig. 2: gravel bank downstream the pedestrian bridge and pedestrian bridge hm 3,06

in der Bachsohle stattfinden, wurden die Querprofilaufnahmen der Jahre 2002, 2003 und 2014 miteinander verglichen und für jedes Querprofil der jeweils tiefste Punkt einer Aufnahme über dem Längsprofil des Unterlaufes aufgetragen (Abbildung 3).

Daraus kann man erkennen, dass in den letzten 10 Jahren am Beginn des Unterlaufes, also zwischen Schluchtausgang und oberster Brücke [hm 7,07] eine deutliche Eintiefung der Bachsohle stattgefunden hat. Im Bereich zwischen Brücke [hm 7,07] und Steg [hm 3,06] ist das Profil recht ausgeglichen bzw. hat leichte Auflandung stattgefunden und unterhalb der Brücke ab hm 1,30 ist diese Auflandung sehr ausgeprägt.

Die Gegenüberstellung der Sohlagen (Differenzen zwischen 2002, 2003 mit 2014)

zeigt eine deutliche Tendenz der Eintiefung vom Schluchtausgang bis hm 7,07 mit bis zu 0,75 m. Unterhalb der Brücke im hm 7,07 ist die Sohle ausgeglichen, Anlandungen mit bis zu 0,8 m finden sich unterhalb des Steges im hm 3,06 bzw. unterhalb der Brücke im hm 1,30 bis zur Mündung (Abbildung 4).

Nach der Durchführung der Verbauungsmaßnahmen wurde in den Jahren 2002 und 2003 ein Monitoringprogramm mit Linienzahlanalysen (LZA) entlang des Unterlaufes umgesetzt. Ein Vergleich mit den Daten von 2014 zeigt deutliche Unterschiede zwischen dem d_m (maßgebender mittlerer Korndurchmesser) von 2002 und jenen aus den Jahren 2003 und 2014 (Abbildung 5). Möglicherweise sind diese Unterschiede aufgrund verschiedener Aufnahmepersonen zu erklären.

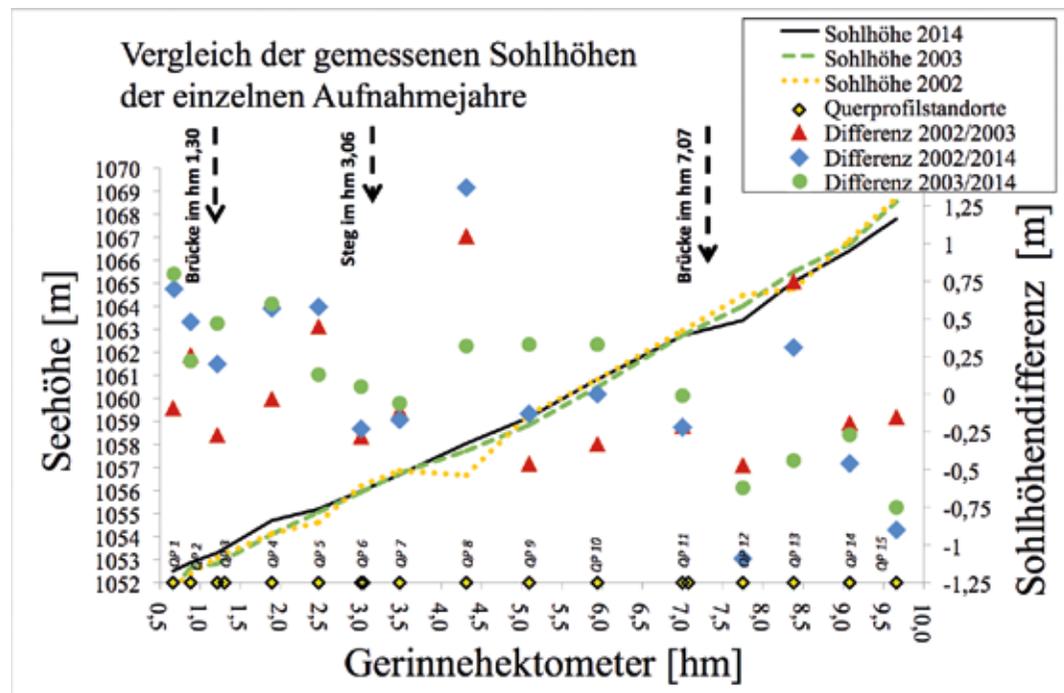
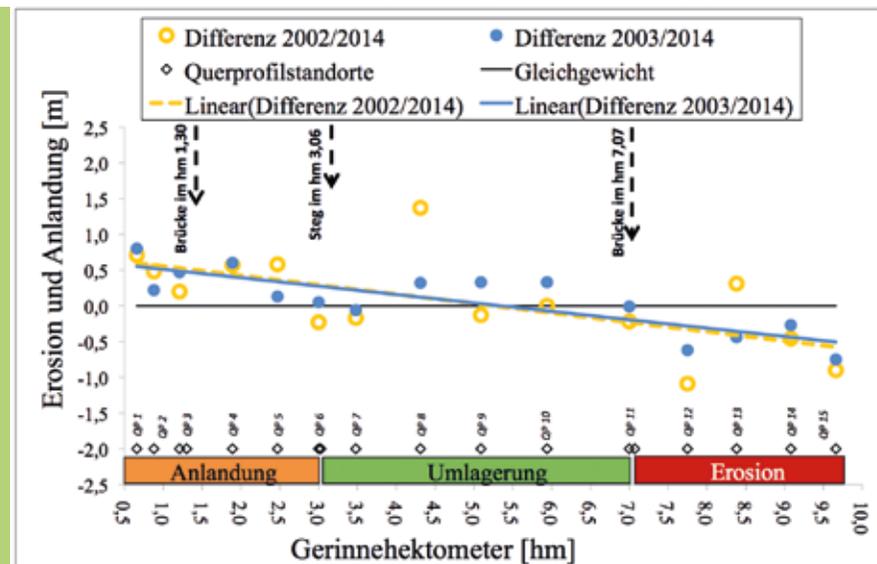


Abb. 3: Vergleich der gemessenen Sohlhöhen der Aufnahmejahre

Fig. 3: Comparison of the measured stream basement of the measured years

Abb. 4: Differenz der Sohlhöhen von 2002 und 2003 mit jenen aus 2014

Fig. 4: Difference of the stream basement from 2002 and 2003 with 2014

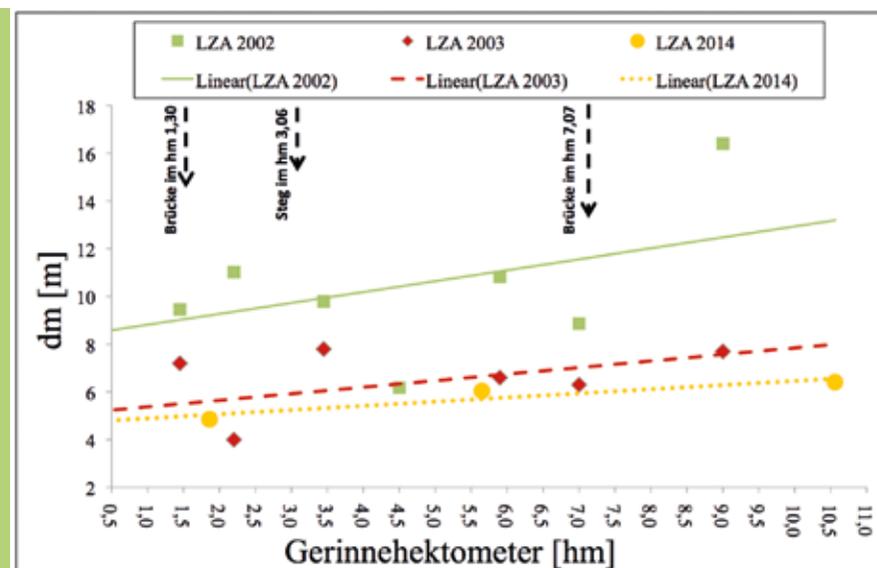


Die Daten aller Aufnahmejahre zeigen jedoch eine deutliche Abnahme der mittleren Korngrößen $[d_m]$ von ca. 2-3 cm vom Schluchtausgang zur Mündung hin. Gut erkennbar ist diese Abnahme der Korngröße anhand der linearen Ausgleichsgeraden für die einzelnen Jahre und deren ähnlicher Steigung. Der Vergleich der Jahre 2003 und 2014 zeigt recht deutlich, dass sich der d_m im Unter-

lauf nur unwesentlich verändert hat und auch die Abnahme des Korndurchmessers über den Unterlauf fast ident ist. Daraus kann geschlossen werden, dass sich das Geschieberegime im Einzugsgebiet und auch die Transportverhältnisse im Unterlauf in den letzten 10 Jahren kaum verändert haben.

Abb. 5: Vergleich der Mittendurchmesser $[d_m]$ je Hektometer und Aufnahmejahr

Fig. 5: Comparison of the average diameter $[d_m]$ per hectometers of the recorded years



Vorgehensweise und Methodik

Die Datengrundlagen für die Modellierung stammen aus einer terrestrischen Vermessung im Gerinne und Erweiterung im Vorland (Schwemmkegelbereich) mittels Laserscandaten [1 x 1 m]. Die Einbauten, wie Sohlgurte, Schotterbänke, Ufersicherungen, Brückenwiderlager, fließrelevante Gebäudegrundflächen, wurden in das digitale Geländemodell integriert und eine gutachterliche Kartierung der Fließrauigkeiten durch eine Begehung im Gelände umgesetzt. Die für die Geschieberegung notwendigen Eingangsdaten stammen aus Linienzahlanalysen im Gerinne und aus Begehungen zur Ermittlung der Geschiebefrachten und der relevanten Wildbachprozesse. Die Abflussbelastung der Simulationsstrecke stammt aus der Festlegung von 2 Niederschlagsereignissen, welche ein konvекtives – eher kurzes – 8-Stundenereignis sowie ein langanhaltendes 3-Tagesereignis umfassen. Für jedes Niederschlagszenario wurden zwei Geschiebezugaben (prozentueller Anteil vom Reinwasser und als Geschiebekörper) definiert und in den Modellen angesetzt. Hinsichtlich Geländemorphologie erfolgte einerseits die Simulation des IST-Zustandes mit den derzeit vorhandenen Schotterbänken und andererseits ohne Schotterbänke als möglicher Zustand nach einer Räumung. Der Vorfluter Lech wurde in weiteren Szenarien mit einem HQ_{10} mitberücksichtigt, um auch mögliche Rückstauereffekte beurteilen zu können und mit den Modellen Tom^{SED}, FLO-2D und HYDRO_GS-2D simuliert. Die numerischen Simulationen konzentrierten sich nur auf den Unterlauf beginnend vom Schluchtausgang im hm 10,50 sowie auf den Mündungsbereich des Vorfluters Lech.

Datengrundlagen

- DHM – Modellgrundlage: terrestrische Vermessung des Gerinnes, Laserdaten 1 x 1 m Fließrauigkeiten: nach Strickler gutachterlich ermittelt
- Abflussganglinie: Reinwasserganglinie nach Angaben der Gebietsbauleitung (GBL) [Konvektiv mit Scheitelwert 140 m³/s, Langanhaltender 3-Tagesregen mit Scheitelwert 120 m³/s]
- Geschiebe: Geschiebefracht im Ereignisfall nach Angaben der GBL (35.000 m³ aus dem Bach + 14.000 m³ aus einer Rutschung), Korngrößen auf Basis von Linienzahlanalysen und Festlegung der gültigen Transportformeln

Ergebnisse

Zur Beantwortung der Frage, welche Veränderung der Sohlhöhe bzw. Anlandungshöhen infolge Räumung der Schotterbänke zu erwarten sind, wurden die zwei Varianten verglichen und mit einer konvektiven Ganglinie mit 140 m³/s Scheitelabfluss berechnet (Abbildung 6).

Variante 1a:

- ca. 5000 m³ in den Vorfluter transportiert
- Erosion der Sohle bis hm 8,00 zwischen 0,40 und 0,70 m
- Anlandungen bis zu 1,5 m oberhalb der Brücke im hm 7,07
- Erosion der Sohle bis zu 0,5 m - aufgrund leichter Versteilung unterhalb der Brücke - zwischen hm 7,00 und 5,00
- Anlandung im Abschnitt Steg im hm 3,06 mit ca. 0,75 m (maximale Anlandung mit bis zu 1,75 m – Abflussscheitel)

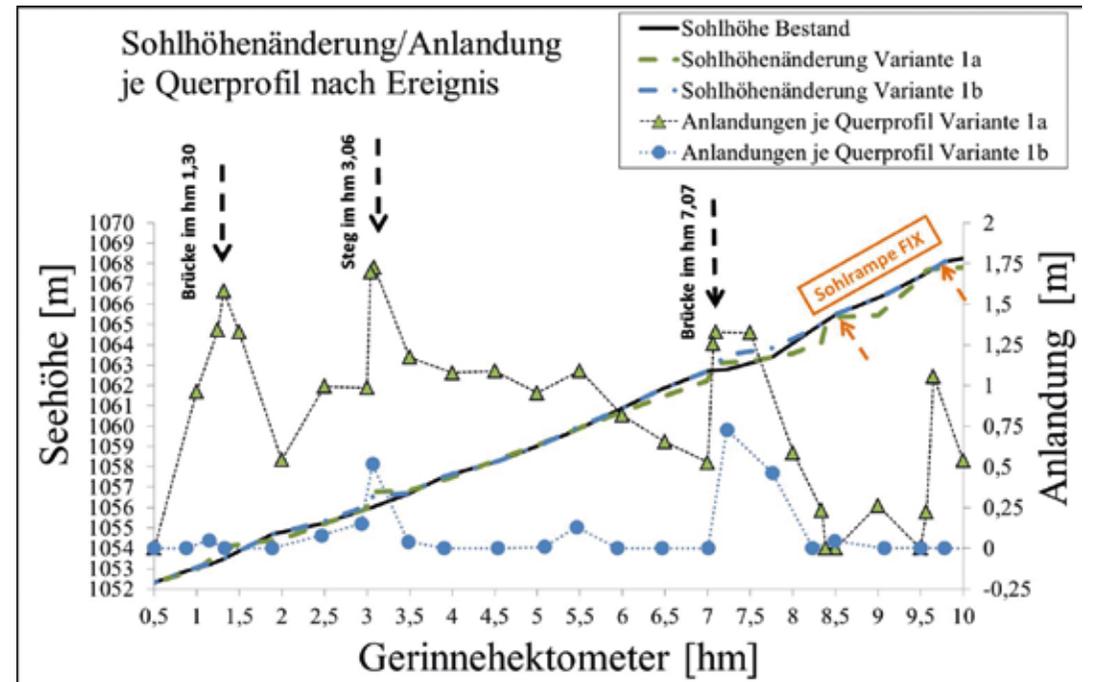


Abb. 6: Sohlhöhenänderung und Anlandung je Querprofil Variante 1a und 1b

Fig. 6: Difference of the stream basement and deposition for each cross section Var. 1a and 1b

- Max. Anlandungen zw. 1,25 m und 1,75 m im Mündungsbereich zw. hm 1,0 und hm 3,06 (Bereich der fest verwachsenen Schotterbank im hm 2,50)

Variante 1b:

- ca. 2000 m³ in den Vorfluter transportiert (restliche Geschiebemenge verbleibt in der Simulationsstrecke)
- Im Bereich oberhalb der Brücke im hm 7,07 sowie Steg im hm 3,06 kommt es zu max. Anlandungen von bis zu 0,75 m
- Die restlichen Anlandungen liegen im Bereich von 0,25 m

Da aufgrund des sehr breiten Gerinnes die Ablagerungen nicht gleichmäßig im Gerinne stattfinden und auch der Vorfluter mit einem HQ_{10} oder

HQ_{30} speziell im Mündungsbereich bis zur Brücke im hm 1,30 einen Einfluss auf den Abfluss im Alperschonbach hat, wurden die Annahmen für die Varianten 1 und 2 auch mittels 2D Modellen berechnet (Abbildung 7). Die berechneten Varianten sind in den Annahmen gleich den 1D Varianten, der Vorfluter Lech wurde mit dessen HQ_{10} und HQ_{30} mitberücksichtigt.

Der Vergleich der Sohl Schubspannungen der Reinwasserberechnungen mit der Ganglinie des konvektiven Niederschlagsereignisses für die Varianten ohne und mit Berücksichtigung des Vorfluters Lech mit einem HQ_{30} zeigt deutliche Differenzen bis zu 300 N/m² im Mündungsbereich bis hm 1,30 auf. Dies stimmt gut mit den Anlandungsbereichen der Geschieberegungen überein (Abbildung 8).

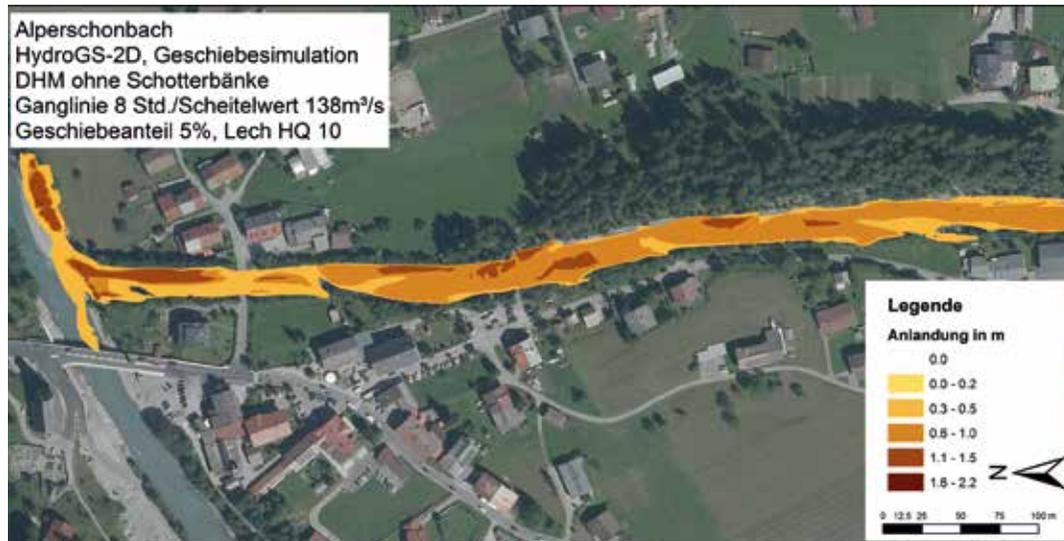


Abb. 7: Berechnete Ablagerungshöhen nach dem Ereignis - Variante mit erodierbaren Schotterbänken

Fig. 7: Simulated deposition heights after the event for a scenario with erodible gravel banks

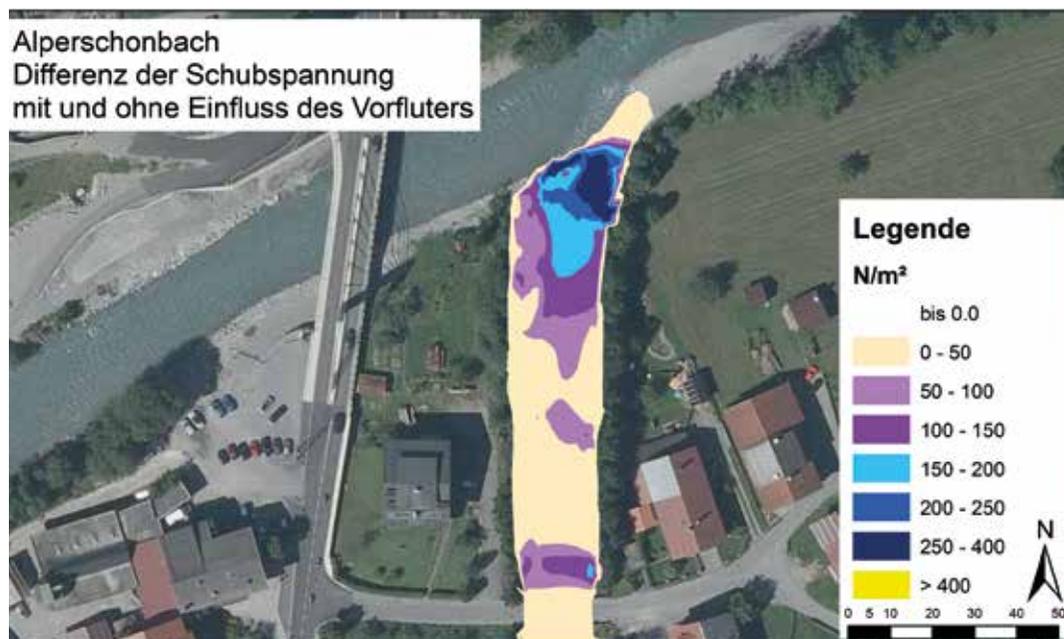


Abb. 8: Differenzenmodell der Schubspannungen mit und ohne Einfluss des Vorfluters im Mündungsbereich

Fig. 8: Difference model of shear stress with and without influence of the receiving Lech

Schlussfolgerungen

Zur Darstellung der Entwicklungstendenz und Untermauerung des Bachcharakters wurden die Orthofotos der Jahre 2000, 2006, 2010 gegenübergestellt, die Profilmessungen 2002, 2003 und 2014 ausgewertet und die Situation infolge der Begehung 2014 dokumentiert. Im Jahr 2000 wird der mäandrierende Verlauf am Schwemmkegel mit den Schotterbänken deutlich sichtbar. Unterhalb der Brücke im hm 1,30 bis zur Mündung liegen die Anlandungen an der orographisch rechten Gerinneseite, im Brückenbereich eher linksufrig. Dieses abwechselnde Ablagerungsverhalten setzt sich auch bis oberhalb der Brücke im hm 7,07 fort. Die Ablagerungshöhen konnten aus der rein visuellen Betrachtung des Orthofotos nicht abgeleitet werden. Um beurteilen zu können, ob im Unterlauf langfristig Auflandungen oder Eintiefungen in der Bachsohle stattfinden, wurden die Querprofilaufnahmen der Jahre 2002, 2003 und 2014 miteinander verglichen und für jedes Querprofil der jeweils tiefste Punkt einer Aufnahme über dem Längsprofil des Unterlaufes aufgetragen. Daraus kann man erkennen, dass in den letzten 10 Jahren am Beginn des Unterlaufes, also zwischen Schluchtausgang und oberster Brücke [hm 7,07] eine deutliche Eintiefung der Bachsohle stattgefunden hat. Im Bereich zwischen Brücke [hm 7,07] und Steg [hm 3,06] ist das Profil recht ausgeglichen bzw. hat eine leichte Auflandung stattgefunden und unterhalb der Brücke ab hm 1,30 ist diese Auflandung sehr ausgeprägt. Mit diesen Grundinformationen und als Basis zur Plausibilitätsprüfung der berechneten Ergebnisse ging man in weiterer Folge zur Berechnung der Geschiebeszenarien (Bemessungsereignis HQ_{150}). Diese Szenarien geben eine Bandbreite hinsichtlich Anschlaglinien (Wassertiefen), Geschiebetrans-

port (Anlandungen und Erosionen) sowie Sohl-schubspannungen und Einfluss des Vorfluters auf den direkten Mündungsbereich an. Die Variante 1a [Geländemodell IST-Zustand] mit dem 1D Modell Tom^{SED} zeigt ähnliche Erosions- und Ablagerungstendenzen wie die gemessenen Sohllagen zwischen 2002 und 2014. Die Eintiefungen liegen beginnend vom Schluchtausgang bis ca. hm 7,5 bei bis zu 0,75 m, jene aus der Geschiebeberechnung zwischen 0,4 und 0,7 m. Im Bereich des Steges bei hm 3,06 liegen die gemessenen Anlandungen bei bis zu 0,8 m und die berechnete Sohlhöhe nach Ereignisdurchgang [Variante 1] bei ca. 0,75 m. Der Trend einer tendenziellen Anlandung unterhalb des Steges [hm 3,06] wird durch die Simulation ebenso bestätigt. Die berechneten Anlandungshöhen mit dem 1D-Modell sind Mittelwerte über das Querprofil und liegen daher unter den Maximalwerten der 2D-Berechnungen. So liegen die berechneten Anlandungshöhen für die Varianten mit dem Geländemodell IST-Zustand im Bereich der Brücke bzw. des Steges im hm 3,06 bei der 1D Berechnung zwischen 1,5 und 1,75 m und bei den 2D-Simulationen zwischen 2 und 2,5 m. Die berechneten Varianten mit den ausgeräumten Anlandungen (Schotterbänken) zeigen geringere Anlandungen, im Falle der 1D-Berechnungen reduziert sich die mittlere Anlandung auf 0,75 m und 1,2 m bei der Variante mit langanhaltendem Niederschlagsereignis. Im Falle der 2D-Simulationen liegen die Maximalwerte um die 2 m mit deutlich reduzierten Ablagerungsflächen. Interessant ist weiters der Vergleich der Sohlschubspannungen ohne und mit Vorfluter, hier wird der Einfluss des Vorfluters durch die sehr stark verringerte Sohlschubspannung deutlich. In diesem Bereich treten auch die Geschiebeanlandungen vermehrt auf.

Ausblick

Numerische Geschiebesimulationen liefern auf Basis von zu definierenden Eingangsgrößen wie Geschiebe- und Abflussmengen sowie Korngrößen Anlandungshöhen und Erosionstiefen je Zeitschritt für ein Querprofil [1D-Modelle] oder für jede Modellzelle [2D-Modell]. Eine standardmäßige Kalibrierung und Validierung des Modells auf Basis von gemessenen Daten ist in den seltenen Fällen möglich, da nur wenige direkte Geschiebemesstationen in Wildbächen zur Verfügung stehen. In Österreich sind derzeit 3 derartige Anlagen in Betrieb, die Übertragung dieser Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete ist jedoch nur schwer möglich. In vorliegenden Fall konnten die Ergebnisse auf Basis von Monitoringdaten beginnend von 2002 bis 2014 plausibilisiert werden. Die berechneten Bandbreiten liegen grundsätzlich im Bereich der gemessenen Daten, die Tendenzen hinsichtlich Eintiefungs- und Anlandungsabschnitte wurden durch die Berechnungen ebenso bestätigt. Die Anwendung von 1D-Modellen lieferte gute Ergebnisse hinsichtlich Eintiefung und Anlandung im Längenschnitt je Querprofil, bei sehr breiten Gerinneabschnitten mit mäandrierendem Abfluss- und Ablagerungsverhalten werden die Grenzen aber klar aufgezeigt. In diesen Bereichen lieferte die 2D-Modellrechnung bessere Ergebnisse, wodurch sich auch der Mehraufwand hinsichtlich Modellerstellung und Rechen-dauer auch lohnt. Interessante Ergebnisse lieferte in diesem Fall auch das Sohlschubspannungsdifferenzenmodell im Mündungsbereich, womit der Einfluss des Vorfluters Lech ganz gut dokumentiert werden konnte.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Markus Moser
 Fachbereich Wildbachprozesse
 Forsttechnischer Dienst für
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Sektion Salzburg, GBL Lungau
 Johann Löcker Str. 3, 5580 Tamsweg
 E-Mail: markus.moser@die-wildbach.at

Dipl. Geogr. Susanne Mehlhorn
 Fachbereich Wildbachprozesse
 BMLFUW Abt. III/5 und BFW
 Marxergasse 2, 1030 Wien
 E-Mail: susanne.mehlhorn@die-wildbach.at

DI Daniel Kurz
 Fachbereich Wildbachprozesse
 Forsttechnischer Dienst für
 Wildbach- und Lawinenverbauung
 Sektion Tirol, GBL Außerfern
 Lechtalerstraße 216600 Lechaschau
 E-Mail: daniel.kurz@die-wildbach.at

Literatur / References:

MOSER M., MEHLHORN S., KURZ, D. (2015):
 Abfluss- und Geschiebesimulation Alperschonbach, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Abt. III/5 Wildbach- und Lawinenverbauung, Fachbereich Wildbachprozesse

MANGENG

Sand & Kies

- SILBERTAL -

Mangeng Transporte GmbH

Transporte - Erdbewegungen Sand- u. Kiesgewinnung
 6780 Silbertal, Schöffel 36

Tel. +43 5556 78166 | Fax. +43 5556 78166

Mobil: +43-664 22 45 608 | mangeng.markus@aon.at

**Gunz ZT GmbH**

Ziviltechniker für Forst- und Holzwirtschaft,
 Wildbach-, Lawinen- und Erosionsschutz,
 allg. beeid. und gerichtl. zert. Sachverständiger

4400 Steyr, Brucknerplatz 2

Tel.: 07252/42484 E-Mail: office@gunz.at Homepage: <http://www.gunz.at>

moser – jaritz + partner

Moser-Jaritz+Partner Ziviltechniker GmbH
 Ingenieurkonsulten
 Geologie und Geotechnik
 Naturgefahren und Risikomanagement
 Umwelt- und Ressourcenmanagement

Bachwinkl 126
 A 5760 Saalfelden
 T +43 6582 74 494
 F +43 6582 74 494-33
 E saalfelden@mjp-zt.at

Münzfeld 50
 A 4810 Gmunden
 T +43 7612 75 101
 F +43 7612 75 101-33
 E gmunden@mjp-zt.at



www.mjp-zt.at

**ROLF RINDLER, JOHANNES KAMMERLANDER,
PATRICK HOLZAPFEL, MARKUS MOSER, CHRISTOPH HAUER UND HELMUT HABERSACK**

Ökologisch verträgliche Sedimentbewirtschaftung am Strobler Weißenbach

Ecologically compatible sediment management at the Strobler Weißenbach

Zusammenfassung:

Der Strobler Weißenbach befindet sich in den Salzburger Kalkvoralpen und mündet bei Strobl in die Ischler Ache. Im Oberlauf des Strobler Weißenbaches befinden sich zwei große Schlitzsperren, welche mit Kalkschotter verlandet sind.

Im Zuge eines Forschungsprojekts wird ein Konzept zur Sedimentbewirtschaftung erarbeitet, welches eine hohe ökologische Verträglichkeit aufweisen soll. Im Rahmen eines Monitorings wird zuerst der Ist-Zustand hinsichtlich Bachmorphologie, Habitatverfügbarkeit und Feststofftransport erhoben und analysiert. Darauf aufbauend werden geeignete Maßnahmen zur Stauraumbewirtschaftung getestet und deren Auswirkungen auf den Lebensraum „Strobler Weißenbach“ ganzheitlich erfasst.

Stichwörter:

Sedimentmanagement, Stauraumverlandung, Schwebstoffe, Geschiebe, Tracer

Abstract:

The Strobler Weißenbach is located in the Northern Limestone Alps and enters the Ischler-Ache at Strobl. In the upper reaches of the Strobler Weißenbach two huge check dams are located which are completely filled up with limestone gravel. To guarantee the function of these hazard mitigation measures, the eviction of the storage capacity is necessary. A monitoring program documents the current state of stream morphology, habitats and sediment transport. Based on these findings, a general sediment management concept is developed and the effects on the lower reaches, the fisheries and flood protection are analyzed.

Keywords:

Sediment budget, sedimentation of storage, suspended sediments, bed load, tracer

Einleitung

Der Sedimenthaushalt eines alpinen Gewässersystems bildet eine entscheidende Grundlage für dessen ökologischen und morphologischen Zustand. Gebirgsbäche stellen dabei das Bindeglied zwischen der Sedimentproduktion in den alpinen Einzugsgebieten (ein Resultat des Gebirgsabtrags) und dem Sedimentbedarf der tieferliegenden Gebirgs- und Flachlandflüsse dar.

Die menschliche Wassernutzung (bspw. Wasserkraftwerke) oder auch schutzwasserbauliche Maßnahmen (bspw. Geschieberückhalt) führen stellenweise zu einer Unterbrechung dieses Sedimentflusses. Dadurch herrscht in vielen österreichischen Talflüssen ein Defizit an Sediment, vor allem an Geschiebe, vor (Habersack et al., 2013). Für eine langfristig ausgeglichene und ökologisch notwendige Gewässerdynamik bzw. für eine Verbesserung des aktuellen Zustands ist eine ausreichende Sedimentverfügbarkeit aber unerlässlich. In vielen wasserwirtschaftlichen und -baulichen Planungen kommt deshalb der Sedimentdurchgängigkeit vermehrt eine hohe Bedeutung zu.

Im Kontext der Wildbachverbauung etablierte sich zusehends das Konzept der Geschiebebewirtschaftung, welches den vorübergehenden Geschieberückhalt während Hochwässern und der dosierten Abdrift im Nachlauf vorsieht (Suda et al., 2008). An vielen bestehenden Wildbachsperren kann eine selbstständige Entleerung des Rückhalteriums allerdings nicht gewährleistet werden. Bei bestimmten Bautypen ist eine Entleerung des Rückhalteriums gar nur durch maschinellen Einsatz möglich (Rudolf-Miklau & Patek, 2004).

Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Problematik der unerwünschten Stauraumverlandung verstärkt in kalkalpinen Einzugsgebieten mit hoher Sedimentmobilisie-

rung auftritt. In den typischerweise ausgedehnten Schutthalten liegt eine nahezu unbegrenzte Menge an Sediment (1 cm bis 10 cm) vor, welches bei Starkregenereignissen in den Wildbach und von dort weiter in den Rückhalterraum gelangt. Es folgt eine sukzessive Verlandung des Rückhalterraumes, welcher häufig nur durch regelmäßige, technische Maßnahmen bewirtschaftet werden kann (Papež et al., 2015). Die Palette an möglichen Maßnahmen reicht von der Freilegung bestehender Sperrenöffnungen (Ertüchtigung der Selbstentleerung) bis hin zu einem kompletten Aushub mittels Baggerungen (Mazzorana et al., 2015). Bei letzterem stellt sich auch die Frage, was mit dem entnommenen Sediment geschieht. Grundsätzlich beschränkt sich die Auswahl auf die Möglichkeiten:

- Redotation
- Zwischenlagerung
- Verwertung für Maßnahmen im Schutzwasserbau (Dammmaterial), als Baustoff (Betonschotter) oder in der Landwirtschaft
- Externe Deponierung

Im Hinblick auf die Notwendigkeit der Sedimentdurchgängigkeit sind eine externe Ablagerung, sowie jegliche anderswertige Verwertungen des Materials kontraproduktiv; im Falle von stark verunreinigten Ablagerungen allerdings unumgänglich. Darüber hinaus können die Kosten des Abtransports und gegebenenfalls der Deponierung sehr hoch sein.

Im Gegensatz dazu ist eine Redotation unterhalb der Sperre zum einen kostengünstiger und zum anderen steht das Sediment weiterhin dem Gewässer zur Verfügung. Bei einer Wiedereinbringung des Räumgutes in den Bach muss allerdings gewährleistet sein, dass dies keine negativen Auswirkungen auf die Hochwasser-

sicherheit oder den mittelfristigen ökologischen Zustand des Gewässers hat. So führen unkontrollierte Verkippungen auf die Luftseite von Sperren häufig zu zeitlich befristeten Anlandungen im Unterlauf. Das vorwiegend feinkörnige Sediment wird bereits bei leicht erhöhten Abflussverhältnissen mobilisiert und bildet eine Art Geschiebeband, welches sukzessive bachabwärts „wandert“. Die typischerweise grobe Bachsohle wird dabei vorübergehend von dem freigesetzten Geschiebe überlagert, was zu einer Verringerung der Abflusskapazität (infolge der höheren Sohllagen) und einer Störung der Fischhabitate führen kann. Die Intensität dieser Geschiebeumlagerung und somit das Ausmaß der Überlagerung ist dabei von der Art und dem Ausmaß der Geschiebefreisetzung abhängig.

Derartige Geschiebeumlagerungen ergeben sich allerdings nicht nur durch menschliche Eingriffe, sondern spiegeln durchaus die natürliche Bachdynamik wider. Ähnlich einer maschinellen Verkippung, führen auch natürliche Geschiebeeinträge (beispielsweise Murgänge aus angrenzenden Schutthalden) zu einer plötzlichen Bereitstellung von großen Mengen an Sediment. Um nun die Auswirkungen der menschlich verursachten Geschiebe- und Schwebstoffbelastung beurteilen zu können, muss diese in die Spannweite der natürlichen Dynamik eingeordnet werden.

Zusätzlich zu einer rein ökologischen Verträglichkeit ist für die Stauraumbewirtschaftung auch eine gesellschaftliche Akzeptanz notwendig. Es sind deshalb die Beeinträchtigungen von etwaigen Wassernutzern (beispielsweise Fischereiwirtschaft) möglichst gering zu halten.

Zur Gewährleistung dieser Anforderungen ist ein geeignetes Konzept zur Sedimentbewirtschaftung (Stauraummanagement) notwendig, welches den Zeitpunkt sowie die Art und Intensität der Räumungsmaßnahmen regelt. Die

Erfahrungswerte dazu sind allerdings spärlich und für die Erarbeitung eines solchen Konzeptes fehlt es an fundierten Untersuchungen. Diesem Umstand soll nun mit einem Forschungsprojekt begegnet werden, in dem die Auswirkungen von unterschiedlichen Maßnahmen der Forcierung der Sedimentdurchgängigkeit an einer der beiden Schlitzsperren am Strobl-Weißenbach untersucht wird. Ein Monitoring zur Wasser-, Schwebstoff- und Geschiebeführung, der Bachmorphologie und der Habitatverfügbarkeit gewährleistet dabei eine objektive Erhebung der Auswirkungen und erlaubt deren Einordnung in die Bandbreite der natürlichen Dynamik.

Strobl-Weißenbach

Der Strobl-Weißenbach ist ein Zubringer der Ischler Ache und befindet sich in den Salzburger Kalkvoralpen. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 45,5 km² und grenzt im Südosten an den schroffen Höhenzug vom Gamsfeld (2027 m) bis zum Rinnkogel (1823 m), bestehend aus gebanktem Dachsteinkalk und Ramsaudolomit (Abb. 1).

Zur Verringerung der Geschiebebelastung von Hochwasserereignissen wurden in den 70er Jahren zwei große Schlitzsperren errichtet. Entgegen den Erwartungen hielten die beiden Sperren das Geschiebe aber nicht nur während großer Schadereignisse, sondern bereits bei leicht erhöhten Abflüssen zurück. Hierbei kommt auch dem Wildholz eine hohe Bedeutung zu. Dieses wurde im Stauraum zurückgehalten und führte zu einer Verlegung des Schlitzes. In weiterer Folge kam es zu einem Wasserrückstau und der Ablagerung von Geschiebe und gegebenenfalls auch von Feinmaterial. Infolge der hohen Sedimentverfügbarkeit und intensiven Umlagerungsdynamik im Oberlauf wurden dadurch alljährlich große Mengen an Kalkschotter hinter den Schlitzsperren zurückgehalten (Abb. 2).

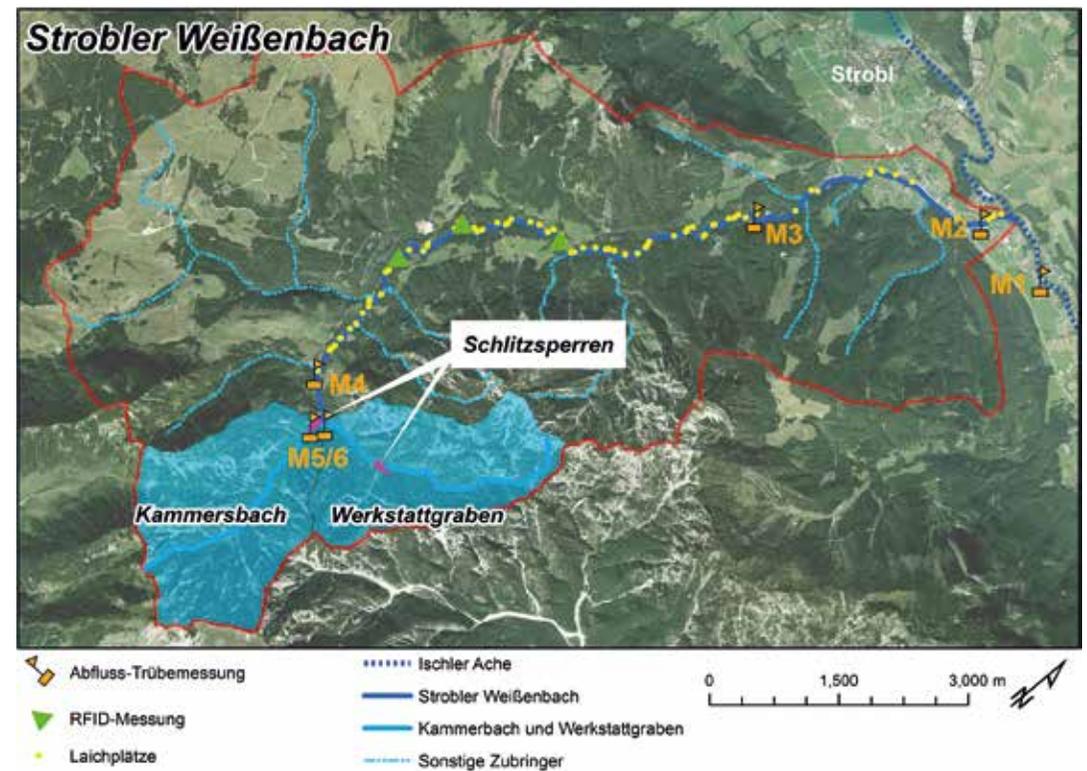


Abb. 1: Einzugsgebiet des Strobl-Weißenbachs mit den Standorten der beiden Schlitzsperren Kammerbachsperre und Werkstattgrabensperre, den Standorten der Messinstrumente und den aktuellen Laichplätzen

Fig. 1: Catchment of the Strobl-Weißenbach with the location of the check dams situated in the Kammerbach and Werkstattgraben

Laut der Auskunft von Bachanrainern sorgte ehemals ein Sperrenwart für die regelmäßige Freilegung der Schlitzes bzw. für die Räumung der Stauräume. Dadurch wurde die Funktionsfähigkeit beider Schutzbauwerke sichergestellt. Vor geraumer Zeit wurden diese Arbeiten jedoch eingestellt. Seitdem verlanden die Rückhaltebecken zusehends und ob der großen Mengen gestaltet sich eine Beckenentleerung nun entsprechend schwer. So führte eine erste Freilegung der Sperrenöffnungen zu einer starken Geschiebeabgabe aus den Rückhalteräumen, welcher Geschiebeumlagerungen im Unterlauf folgten. Darüber hinaus waren die Stauraumablagerungen auch mit Schichten von Feinmaterial durchsetzt, was

zu einer hohen Wassertrübung führte. Beides beeinflusste lokale Wassernutzer, allen voran die Fischerei, und minderte dadurch die Akzeptanz von solchen Maßnahmen.

Aus schutzwassertechnischen Gründen ist die Entleerung der Geschiebesperren und in weiterer Folge eine Sanierung beziehungsweise der Umbau der Sperren unbedingt notwendig. Ein maschineller Aushub mitsamt einer externen Lagerung würde jedoch hohe Kosten verursachen und hätte aus Sicht des Sedimentmanagements wiederum negative Auswirkung auf das Gewässer. Deshalb wird im Zuge eines Forschungsprojekts versucht, die Sedimente im System zu belassen (Redotation in den Unterlauf). So werden die ent-



Abb. 2: Stauraum der Kammerbachsperre

Fig. 2: Storage area of the check dam Kammerbachsperre

nommenen Sedimente entweder unterhalb der Sperre am Rand von ausgewählten Umlagerungsstrecken abgelagert oder in der Sperre aufgelockert, damit es zu einem natürlichen Abtransport kommt. Um negative Auswirkungen auf die Ökologie und lokale Wassernutzer zu verhindern, wird dazu ein Konzept erarbeitet, das eine naturnahe Sedimentdotierung ermöglicht und das Ausmaß der Wassertrübung und Geschiebetransportraten innerhalb der natürlichen Bandbreite hält. Dies setzt voraus, dass diese Maßnahmen nur während erhöhter Wasserführung umgesetzt werden.

Methodik

In Zusammenarbeit zwischen der Wildbach und Lawinerverbauung (WLIV) und dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiver Wasserbau (IWHW) der Universität für Bodenkultur wurde ein Projekt zur Stauraumbewirtschaftung der Kammerbachsperre entworfen. Dieses gliedert sich in drei Phasen und dauert vorerst drei Jahre:

- Phase 1: Erhebung des Ist-Zustandes
- Phase 2: Redotation des entnommenen Sediments an ausgewählten Stellen im Strobl Weißenbach
- Phase 3: Redotation von Sediment während erhöhter Durchflüsse

In der **ersten Projektphase** (Pre-Monitoring) geht es darum, den Ist-Zustand zu erfassen. Für Aussagen zu den Auswirkungen von Maßnahmen zur Stauraumbewirtschaftung ist es notwendig zu wissen: (i) welche Feststoffkonzentrationen bei natürlichen Abflussereignissen vorkommen, (ii) welche Lebensräume für die im Weißenbach heimischen Lebewesen zu Verfügung stehen und (iii) in welchem Zustand die Habitate sich aktuell befinden. Für die Erhebung dieses Referenzzustands wird ein umfangreiches Monitoring installiert (siehe Abb. 1), welches die kontinuierliche Messung von Abfluss, Schwebstoffkonzentration und Geschiebetransport an verschiedenen Orten entlang des Strobl Weißenbachs ermöglicht.

Zur Ermittlung des Wasserstandes und in weiterer Folge des Durchflusses werden an vier Stellen (M1-M4 in Abb. 1) keramisch-kapazitive Drucksonden der Firma Ott installiert. Die Drucksonden ermöglichen eine kontinuierliche Erfassung des Wasserstandes sowie der Temperatur und bieten zusätzlich die Möglichkeit der integrierten Datenfernübertragung.

Die Erfassung der Wasserstände erfolgt jeweils in Kombination mit Solitax TS-Line Feststoff-Prozesssonden mit Wischerreinigungsbuchsen der Firma Hach-Lange, die die Wassertrübung erfassen und somit Rückschlüsse auf die Schwebstoffkonzentration erlauben. Das Messprinzip

beruht auf dem Infrarot Duo-Streulicht-Messverfahren und der Messbereich der Feststoffkonzentrationen liegt zwischen 0,001 mg/l bis 50 mg/l. Zwei weitere Schwebstoffsonden werden in die jeweiligen Zubringer der Kammerbachsperre eingebaut (M5 und M6 in Abb. 1), um auch den natürlichen Eintrag zu erfassen.

Der Geschiebetransport wird mittels RFID Tracern der Firma Oregon dokumentiert. Hierfür werden Steine, welche die maßgebenden Korngrößen der Sohle des Strobl Weißenbachs aufweisen, angebohrt und mit RFID-Tags (Sonden zur „radio-frequency identification“) instrumentiert. Ein RFID System besteht aus einem Transponder, der eine bestimmte Kennung enthält und sich in diesem Forschungsprojekt im Stein befindet, sowie einem Lesegerät. Mit dem Lesegerät wird ein hochfrequentes elektromagnetisches

Wechselfeld erzeugt, das als Stromversorgung für den RFID Tag dient. Wenn der Tracerstein sich in diesem Feld befindet, wird er aktiviert und übermittelt seine Kennung an das Lesegerät. Die Tracersteine werden bei Begehungen mit einer mobilen Antenne gesucht und mittels GPS vermessen.

Dadurch können Informationen über die Transportgeschwindigkeit, Transportweiten und Ablagerungsverhalten des Geschiebes gewonnen werden. Des Weiteren werden RFID Antennen stationär in das Bachbett eingebaut, für den Zweck alle Tracersteine zu registrieren, die diesen Kontrollquerschnitt passieren. Dadurch lässt sich beantworten, wie viele besenderte Steine sich noch in der Untersuchungsstrecke befinden bzw. wie viele diese bereits verlassen haben (Chapuis et al., 2014; Phillips & Jerolmack, 2014). Ziel ist es, den Kontrollquerschnitt so zu platzieren, dass

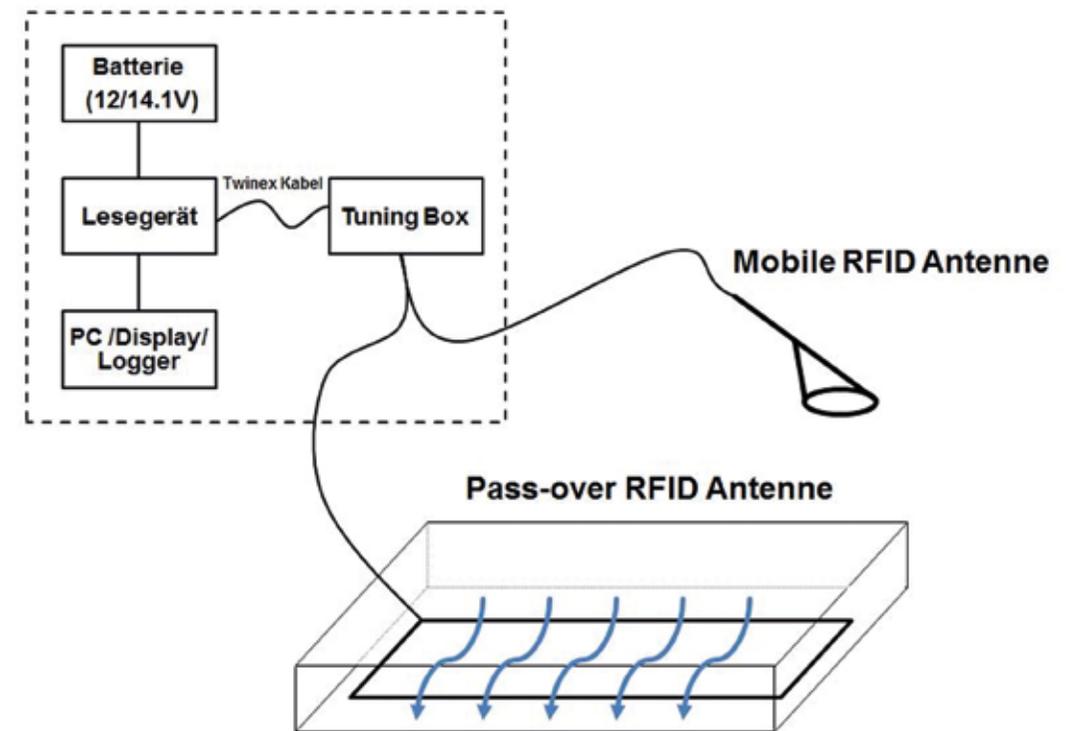


Abb. 3: Systemskizze stationärer und mobiler RFID Antennen

Fig. 3: System sketch of fixed and mobile RFID antennas

innerhalb des Untersuchungszeitraums nur etwa 5 bis 10% der markierten Steine die stationäre Antenne passieren (Abb. 3). Um sich diesem Wert annähern zu können, wurden drei Standorte für deren Errichtung ausgewählt. Zuerst soll die am weitesten flussauf gelegene Antenne aktiviert werden und erst nachdem 5 bis 10% der eingebrachten Tracersteine diese Antenne passiert haben, wird der nächstgelegene Standort flussab aktiviert. An den Standorten an denen stationäre RFID Antennen errichtet werden, wird ein Kabelschlauch in Form einer rechteckigen Schleife im Querprofil in die Flusssohle verlegt. Die Antenne selbst besteht aus einem Kabel, welches im Kabelkanal geführt wird. Als zusätzlicher Schutz vor mechanischer Beanspruchung bei erhöhter Wasserführung (z.B. bei Geschiebetrieb) dienen eine Betonummantelung und eine einlagige Schicht von Steinplatten.

Für eine fachlich fundierte Aussage zur Bewertung der Habitatverfügbarkeit ist es notwendig Verschnidungen von Gewässermorphologie bzw. Hydraulik mit bestimmten Zeigerorganismen durchzuführen. Um die Gewässermorphologie und deren Veränderung zu erfassen, werden repräsentative Bachabschnitte (z.B. Furt-Kolksequenzen) regelmäßig vermessen und in weiterer Folge für die Erstellung von digitalen Geländemodellen herangezogen (Abb. 4).

Anschließend werden mithilfe von zweidimensionaler-tiefengemittelter hydrodynamisch-numerischer Modellierung die Lebensraumverhältnisse einer Zeigerart auf Mikrohabitatebene für unterschiedliche charakteristische Abflussgrößen (z.B. NQ, MQ) mittels HEM (Habitat Evaluation Model) bewertet. HEM verwendet für die Mikrohabitatmodellierung den sogenannten PHABSIM Ansatz (Bovee, 1986). Dabei wird die von abiotischen Parametern abhängige Habitateignung einer bestimmten Zeigerart (altersspezifisch), durch den Nutzungsindex ausgedrückt.

Nutzungsindizes und Nutzungskurven liefern gegenüber einem singulären abiotischen Parameter (z.B. Fließgeschwindigkeit) generelle Informationen der Habitatnutzung und werden bei der Standardisierung an der häufigsten genutzten Klasse relativiert bewertet (Bovee & Cochnauer, 1977; Bozek & Rahel, 1992). Als Parameter werden sowohl die Wassertiefe als auch die zweidimensionale-tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit mittels der multiplikativen Verknüpfung der Nutzungsindizes (Bovee, 1986) in die Mikrohabitatevaluierung integriert. Hinsichtlich der Gewässertypologie bzw. der Fischregion befindet sich der Strobler Weißenbach großteils im Epirhithral (Obere Forellenregion), wobei in etwa die letzten zwei Kilometer vor der Einmündung in die Ischler Ache als Metarhithral (Untere Forellenregion) einzustufen sind (NGP, 2009). Aufgrund dessen wurde für das gesamte Projektgebiet die Bachforelle (*Salmo trutta*) als maßgebliche Zeigerart ausgewählt. Weiters werden in diesen Detailstrecken Kontrollprofile gelegt, die nach Hochwasserereignissen regelmäßig vermessen werden. Damit soll überprüft werden, ob sich diese Bereiche im dynamischen Gleichgewicht befinden oder ob es zu Erosionen oder Sedimentationen kommt. Eine weitere Maßnahme des Pre-Monitorings ist die Begehung und Kartierung der Laichplätze. Dies erfolgte zum Teil schon während der Laichzeit im Herbst 2015. Alle aufgefundenen Laichplätze wurden mittels GPS eingemessen und sind in Abb. 1 mit gelben Punkten gekennzeichnet.

Mithilfe des genannten Monitoringkonzeptes soll ein Einblick in die kausalen Zusammenhänge verschiedenster Prozesse (wie z.B. Schwebstoff- und Geschiebetransport; Morphodynamik) während natürlicher Abflussereignisse ermöglicht werden, um in weiterer Folge zulässige Sedimentzugaben (innerhalb natürlichen Bandbreite) für das Flusssystem Strobler Weißenbach festzulegen.

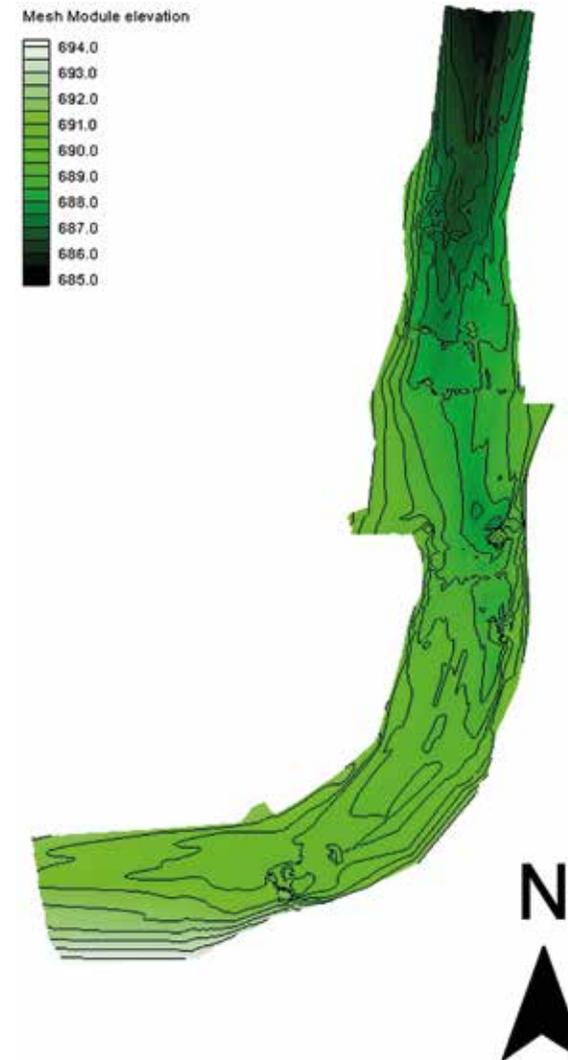


Abb. 4:
Digitales Geländemodell
für die hydrodynamisch-
numerische Modellierung

Fig. 4:
Digital terrain model for
hydrodynamic- numerical
modeling

In der **zweiten Projektphase** soll der Kalkschotter aus dem Rückhalteraum an ausgewählten Stellen im Strobler Weißenbach (siehe Abb. 5) zugegeben werden, die dafür notwendige wasserrechtliche Bewilligung ist bereits beantragt, jedoch noch nicht erteilt. Bei diesen Ablagerungsorten soll es sich um strömungsgünstige Bereiche von Umlagerungsstrecken handeln. Somit hat der Bach bei erhöhter Wasserführung die Möglichkeit, die Sedimente selbstständig zu mobilisieren und wieder in das System einzubringen. Für das erweiterte Monitoring dieser Maßnahme werden zusätzliche

Vermessungsarbeiten durchgeführt und RFID-Tracersteine dem redotierten Material beigegeben. Somit kann dokumentiert werden, ob das abgelagerte Material mobilisiert wird, wie weit es transportiert wird und wo es sich auf natürlichem Weg wieder ablagert. Im Zuge dieser Projektphase kommt es auch zu einer Aktualisierung der morphologischen Aufnahmen (Detailstrecken), um mit Hilfe der Habitatmodellierung die mögliche Veränderung des potenziellen Lebensraums bewerten zu können.



Abb. 5: Potentieller Standort für die Dotierung von Sedimenten

Fig. 5: Suitable location for sediment dotation

In der **dritten Projektphase** soll das in der Sperre verbliebene Sediment mit Hilfe eines Baggers aufgelockert werden, damit es zu einem natürlichen, fluvialen Abtransport kommt. Dies darf aber erst ab bestimmten Abflüssen und keinesfalls während Niederwasserphasen geschehen. Der Mindestabfluss wird auf Grundlage der Erfahrungswerte des Pre-Monitorings gewählt. Um zu hohe Wassertrübungen zu vermeiden, wird zusätzlich ein oberer Grenzwert für die Trübung festgelegt. Dieser Grenzwert soll jedoch nicht als absoluter Wert betrachtet werden, sondern in Abhängigkeit des vorhandenen Durchflusses zunehmen und somit die natürlichen Verhältnisse widerspiegeln. Die Trübungswerte werden mittels der im Längsverlauf des Flusses verteilten Schwebstoffsonden kontinuierlich kontrolliert, wodurch auf eine übermäßig hohe Schwebstoffkonzentration rasch

reagiert werden kann. Durch das Beimengen von Tacersteinen wird wiederum auch der Transportweg des freigegebenen Geschiebes verfolgt. Zusammen mit den regelmäßigen Vermessungsarbeiten in den verschiedenen Detailstrecken und den Ergebnissen aus der Habitatmodellierung, kann der Einfluss der zusätzlichen Sedimentzugabe auf diverse Lebensräume erfasst und bewertet werden.

Neben der maximalen Trübung und den Geschiebetransportspitzen sind auch die zeitliche Ausdehnung der Belastung sowie der Auftrittszeitpunkt (Larvenstadium) entscheidend für die negativen Auswirkungen auf die vorhandene Fischpopulation. Von besonderem Interesse sind die longitudinale Veränderung der Belastung infolge der gesetzten Maßnahmen und deren Auswirkung auf flussabgelegene Fließgewässer.

Schlussfolgerung/Ausblick

Das Stauraumbewirtschaftungskonzept der Kammerbachsperre im Strobl Weißenbach wird entwickelt, um eine möglichst ökologisch verträgliche Wiedereinbringung des abgelagerten Sediments in den Unterlauf zu ermöglichen. Durch das umfangreiche Monitoring wird es möglich sein, die Einflüsse der Sedimentrückgabe in das System auf die Umwelt ganzheitlich zu erfassen.

Für ein Flusssystem ist es grundsätzlich anzustreben, dass die Sedimente im Fluss verbleiben. Mögliche Vorteile die durch die Verbesserung der Sedimentdurchgängigkeit entstehen könnten, sind die Versorgung der Unterlieger Ischler Ache und Traun mit Laichkies, sowie eine Reduktion der Ufererosionen und ein Entgegenwirken der Eintiefung des Bachbettes.

Durch die einzuhaltenden Schwebstoffgrenzwerte und eine durchflussabhängige Redotation sollen unnatürlich hohe Belastungen vermieden und Auswirkungen auf die Fischerei und andere Wassernutzer auf ein natürliches Maß reduziert werden. Nach der kompletten Entleerung des Ablagerungsraums ist ein Umbau der Sperre und die Neugründung einer Genossenschaft für die Bewirtschaftung des Bauwerks seitens der WLW geplant.

Das Stauraumbewirtschaftungskonzept des Strobl Weißenbachs soll auch als Vorzeigeprojekt für eine kontrollierte Wiedereinbringung von Räumgut dienen. So können die Erkenntnisse, die aus diesem Projekt gezogen werden, Benchmarks für die Geschiebemanagement (Redotation von Sedimenten) in alpinen Einzugsgebieten werden. Ziel ist es, nach Abschluss des Projektes einen generellen Leitfaden für den Betrieb und die Räumung von Geschiebedosiersperren zu erstellen.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Rolf Rindler
Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Universität für Bodenkultur Wien
Muthgasse 107, 1190 Wien
rolf.rindler@boku.ac.at

Dipl.-Ing. Johannes Kammerlander
Wildbach und Lawinenverbauung,
Fachbereich Wildbachprozesse
Bergheimerstraße 57, 5010 Salzburg
johannes.kammerlander@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Markus Moser
Wildbach und Lawinenverbauung, Gebietsbau-
leitung Lungau, Fachbereich Wildbachprozesse
Johann-Löckerstraße 3, 5580 Tamsweg
markus.moser@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Patrick Holzapfel
Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Universität für Bodenkultur Wien
Muthgasse 107, 1190 Wien
patrick.holzapfel@boku.ac.at

Priv.-Doz Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer
Universität für Bodenkultur,
Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 107, 1190 Wien
christoph.hauer@boku.ac.at

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Habersack
Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirt-
schaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Muthgasse 107, 1190 Wien
helmut.habersack@boku.ac.at

Literatur / References:

BOVEE, K. D. (1986). Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. Washington, D.C.: 235.

BOVEE, K. D., COCHNAUER, T. (1977). Development and evaluation of weighted criteria, probability-of-use curves for instream flow assessments: fisheries. IFIP No. 3. FWS/OBS.

BOZEK, M. A., RAHEL, F. J. (1992). "Generality of Microhabitat Suitability Models for Young Colorado River Cutthroat Trout (*Oncorhynchus clarki pleuriticus*) across Sites and among Years in Wyoming Streams." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49(3): 552-564.

CHAPUIS, M., BRIGHT, C. J., HUFNAGEL, J., MACVICAR, B. (2014). "Detection ranges and uncertainty of passive Radio Frequency Identification (RFID) transponders for sediment tracking in gravel rivers and coastal environments." Earth Surface Processes and Landforms 39(15): 2109-2120.

HABERSACK, H., WAGNER, B., SCHODER, A., HAUER, C. (2013). "The importance of sediment regime and continuity for a sustainable use of hydroelectric power." Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65(9): 354-361.

MAZZORANA, B., PITTON, G., PICCO, L., SODNIK, J., MOSER, M., JÄGER, G., MELHORN, S., HÜBL, J., CHIARI, M., TROJER, M., AUFLEGER, M., GEMS, B., STURM, M. (2015). Guideline for planning/designing of efficient torrent control structures with low impact on sediment continuity between upstream torrential headwaters and downstream river reaches. Report: Interactions with structures, SEDALP: 191.

PAPEŽ, J., MOSER, M., JÄGER, G., PITTON, G., RECKING, A., SILVESTRO, C., BODRATO, G., TRESSO, F., DEL VESCO, R., SODNIK, J., KLABUS, A., KLEMENČIČ, A. K., JERIČEK, Š. L., MRAK, S. (2015). Report on improved concepts of responses of torrent/river control structures to floods and debris flow impacts (including wood). Report: Interactions with structures, SEDALP: 191.

PHILLIPS, C., JEROLMACK, D. (2014). "Dynamics and mechanics of bed-load tracer particles." Earth Surface Dynamics 2(2): 513.

RUDOLF-MIKLAU, F., PATEK, M. (2004). Geschiebemanagement in Wildbacheinzugsgebieten im Einklang mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie. INTERPRAEVENT, Riva / Trient.

SUDA, J., SKOLAUT, C., BERGMEISTER, K., RUDOLF-MIKLAU, F., HÜBL, J. (2008). Einsatz von Beton für Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Zement&Beton. Wien. 3/08: 10.



Transportflüge mit Helix

- kompetent
- erfahren
- sicher
- zuverlässig
- leistungsstark
- preisgünstig



Erfahren Sie mehr:
www.geobrugg.com/murgang

GEOBRUGG®
BRUGG
Safety is our nature



Ringnetzbarrieren aus hochfestem Stahldraht
FÜR EINE ÖKONOMISCHE
LÖSUNG GEGEN MURGÄNGE

HELIX Fluggesellschaft mbH
Öhringer Str. 12
D-74632 Neuenstein
Tel +49 7942 4481
Fax +49 7942 2069
Mobil +49 171 771 3226
Email info@helixcopter.de
Web www.helixcopter.de

MICHAEL CHIARI, MAXIMILIAN BERKTOLD, GERALD JÄGER, JOHANNES HÜBL

Geschiebemesststelle im Suggadinbach (Vorarlberg)

Bedload monitoring station at Suggadinbach (Vorarlberg)

Zusammenfassung:

Im Rahmen des INTERREG Projekts SedAlp (Sediment management in Alpine basins) wurde am Suggadinbach in Vorarlberg eine Geschiebemesststelle vom Institut für Alpine Naturgefahren in Kooperation mit dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung errichtet. Das Messsystem besteht aus 13 Geophonmessplatten und 3 adaptierten Röhrenhydrophonen, die unter Stahlplatten angebracht wurden. Dadurch können die Vorteile beider Messsysteme miteinander kombiniert werden. Die Messanlage wurde mit Feldversuchen getestet. Ein Referenzgeländemodell für größere Ereignisse wurde mittels UAV erstellt, um mögliche morphologische Veränderungen zu dokumentieren.

Stichwörter:

Geschiebetransport, Geschiebemesung, Geophon, Hydrophon

Abstract:

In the framework of the INTERREG Project SedAlp (Sediment management in Alpine basins) a new bedload transport monitoring station has been designed by the Institute of Mountain Risk Engineering at the Suggadinbach in Vorarlberg. In cooperation with the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control the station has been installed in a check dam. 13 Swiss type geophone sensors record the vibrations of the transported sediment. Additionally 3 modified Japanese pipe hydrophones are mounted under steel plates in order to record the acoustic signal produced by the sediment transport. The station has been tested by field experiments and a reference elevation model was derived by UAV.

Keywords:

Bedload transport, bedload monitoring, geophone, hydrophone

Einleitung

Die Vorhersage des Geschiebetransports in Wildbächen und Gebirgsflüssen ist noch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Dennoch müssen oft Aussagen über die zu erwartende Geschiebemenge getroffen werden. Naturmessdaten sind für die Weiterentwicklung von Berechnungsansätzen unerlässlich. Bei der Messung von Geschiebetransport kann zwischen direkten und indirekten Messmethoden unterschieden werden (Habersack et al. 2010). Im Wildbach haben sich indirekte Messmethoden aufgrund der hohen Transportraten und großen Korndurchmesser bewährt. Zu den indirekten Methoden gehört die Geschiebemesung mit Geophonen (z.B. Turowski et al. 2008) oder japanischen Röhrenhydrophonen (z.B. Mizuyama et al. 2010). Im Rahmen des INTERREG Projekts SedAlp (Sediment management in Alpine basins) bestand die Möglichkeit am Suggadinbach in Vorarlberg eine Geschiebemesststelle in Kooperation mit dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung umzusetzen. Dabei wurde eine neu errichtete Sperre mit den Geophonmessplatten und adaptierten Röhrenhydrophonen ausgestattet.

Das Messsystem

Eine der Bedingungen bei der Konzeption war die Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit bestehenden Messanlagen der WLW. Daher wurde die Einbausituation der Messanlage und der Geophonmessbalken entsprechend der Messanlage an der Urslau geplant und an die Situation am Suggadinbach angepasst. Insgesamt kommen im Suggadinbach 13 Geophonmesszellen zum Einsatz. Sieben Messzellen sind im mittleren Abflussquerschnitt verbaut, welcher den Normalabfluss abführen kann. Für den Hochwasserfall sind weitere 3 Messzellen pro Seite im erhöhten Abflussprofil untergebracht. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass bei Normalabflussbedingungen genauer gemessen werden kann, aber im Hochwasserfall ebenfalls eine ausreichende Auflösung der Geschiebeverteilung über den Abflussquerschnitt gewährleistet wird.

Eine Eigenentwicklung stellt der Hydrophonmessbalken dar. Dabei wurde das japanische Röhrenhydrophon an die Bedingungen im Suggadinbach angepasst, um auch bei sehr grober oder starker Geschiebeführung nicht beschädigt zu werden. Weiters sollte eine direkte Vergleichbarkeit mit der Geophonmesszelle gegeben sein.

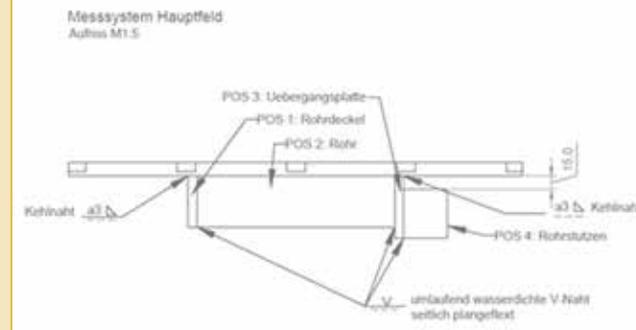


Abb. 1: Hydrophonmessplatte (rechts mit angeschlossenen Sensor).

Fig. 1: Hydrophone under steel plate (right with sensor installed).

Die Messanlage am Suggadinbach wurde vorerst mit drei Hydrophonen in der mittleren Abflusssektion bestückt. Dabei wurde darauf geachtet, dass ein Geschiebekorn ein möglichst ähnliches Signal unabhängig vom Ort des Auftreffens auf die Messplatte verursacht. Dafür wurden verschiedene Anbringungsmöglichkeiten im Labor getestet (Berkthold 2015). Die Messzellen bzw. Abschlussplatten bestehen aus Edelstahlplatten (500x100x15mm) an welchen der Sensor befestigt ist (siehe Abbildung 1).

Auf der Unterseite der Messplatte ist ein Rohrstück über zwei Stege mit der Platte verschweißt. Das Hydrophon ist im angebrachten Rohrstutzen verschraubt. Der Körperschall der Messplatte wird über diese Stege in das Rohr übertragen und von dem Hydrophon als Schalldruck des Luftraumes im Rohr gemessen. Die Messplatte des Hydrophones ist auf einer Gummipolsterung aus Neopren gelagert. Ziel ist es, eine Überlagerung des Schalles, welcher durch das Aufprallen der Geschiebekörner verursacht wird, zu minimieren, aber die absorbierende Eigenschaft der Gummimatte dämpft den Körperschall in der Messplatte. Bei dem Hydrophonmessbalken wird davon ausgegangen, dass auf Grund der geringen Auflagefläche der Lagermatte und die daraus fehlende Möglichkeit des Verklebens dessen mit den Stahlteilen, eine 100%ige Dichtheit nicht gewährleistet werden kann. Die Messzellen und die Verbindung mit dem Sensor sind zwar wasserdicht, jedoch ist ein Einspülen von Feinteilen in den Messbalken zu befürchten, wodurch die schalltechnischen Eigenschaften des Messbalkens bei einer möglichen Verfüllung während des Betriebes sich ändern würden. Als Gegenmaßnahme zur geschilderten Problematik wird eine Entwässerungsmöglichkeit des Messbalkens vorgesehen. Als Rahmenbedingung gilt

es den möglichen Rückstau aus dem darunter liegenden Rückhaltebecken zu berücksichtigen, welcher während des Hochwassers 2005 schon gegeben war. Dementsprechend ist die Entwässerungsmöglichkeit mit einem Rückstauventil ausgestattet. Der Vorteil dessen bezieht sich auf die Verträglichkeit gegenüber Feinsediment und der geringen erforderlichen Überstauhöhe, damit sich das Ventil öffnet. Das Ventil besteht aus einem gelochten Konus aus Edelstahl, an welchem auf der Innenseite eine Membrane anliegt. Die Überstauhöhe, bei welcher sich die Membrane von dem Konus löst und das Ventil Wasser ableitet beträgt 65cm. Die dadurch erforderliche Rohrverlängerung ist mit einem lebensmitteltauglichen Frostschutzmittel gefüllt. Des Weiteren ist ein Stück Schlauch eingebracht, welcher mittels Edelstahlkugeln verschlossen ist. Es kann dadurch gewährleistet werden, dass nach Verschließen der Membrane das überbleibende Medium in der Rohrverlängerung vorerst durch den gegebenen Frostschutz nicht gefrieren kann. Sollte der Messbalken widererwartend stark undicht sein und das Frostschutzmittel rasch verdünnt werden, ist der Schutz des Rohres, durch das vorhandene Luftvolumen des Schlauches als Puffervolumen, gegenüber Eisbildung gegeben. Eine Übersicht der Messanlage sowie eine Detailaufnahme der Messbalken im eingebauten Zustand sind in Abbildung 2 ersichtlich.

Die Durchflussmessung erfolgt mittels einer berührungslosen Radarmessmethode zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit und des Wasserstandes. Zum Einsatz kommt das Messgerät RQ-30, welches von der Firma Sommer Messtechnik bezogen wurde. Die Messung erfolgt im Bereich der Brücke Richtung Neuburg. Dadurch konnte der Sensor in Mitten des Bachquerschnittes und dennoch außerhalb des



Abb. 2: Übersicht und Detailaufnahme der Geschiebemessanlage am Suggadinbach.

Fig. 2: Overview and detail of the Suggadinbach Monitoring Station.

Abflussgeschehens angebracht werden. Die Widerlager der Brücke sind aus Stahlbeton hergestellt. Dementsprechend ist der Bachquerschnitt seitlich begrenzt und bis auf An- und Ablandungen unveränderlich. Der Radar wurde etwas aus der Mitte der Flussachse angebracht, da sich der Abfluss bei geringen Wassermengen auf der orografisch rechten Außenseite des Abflussquerschnittes konzentriert.

Es werden die Signale der 13 Geophone und 3 Hydrophone mit 9,6 kHz erfasst. Die Messtechnik sowie die Notstromversorgung sind in einem Container untergebracht. Im Dauerbetrieb werden folgende Werte gemessen und minütlich gespeichert:

- Die absolute Summe der quadratischen Energiesumme je Messzelle.
- Die Anzahl der Überschreitungen des Schwellenwertes je Messzelle (POT).
- Die jeweiligen Maximalwerte des Signales je Messzelle.

Alle 24 Stunden wird automatisch ein File mit

dem Datum und der Uhrzeit erstellt und gespeichert. Dadurch lassen sich die überaus großen Datenmengen der Rohsignale im überschaubaren Rahmen halten und es ergibt sich die Möglichkeit die Daten über das vorhandene Mobilfunknetz zu übertragen. Für spezielle Tests können auch die Rohdaten mit der vollen Messfrequenz aufgezeichnet werden.

Im darunter liegendem Geschieberückhaltebecken beruhigt sich der Abfluss und die Schleppspannungen werden geringer. Dadurch setzt sich das registrierte Geschiebe in diesem Bereich ab. Mittels einer Geländeaufnahme oder der Auswertung einer stereoskopischen Bildaufnahme kann das Ablagerungsvolumen abgeschätzt werden. Ein Referenzgeländemodell für größere Ereignisse wurde mittels UAV (Drohne) erstellt und ist in Abbildung 3 dargestellt. Sollte es zu erheblichen Ablagerungen im Messbereich kommen, können die morphologischen Veränderungen durch weitere Befliegungen berechnet werden.



Abb. 3: Mit UAV erstelltes Geländemodell des Messbereiches.

Fig. 3: UAV derived elevation model of the measuring reach.

Kalibrierungsversuche

Die installierte Messanlage wurde mittels Feldversuchen getestet, um die Sensitivität der Messzellen bezüglich Korngrößen und transportierten Volumina zu evaluieren und etwaige gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Messzellen festzustellen. Die Versuche wurden bei Niederwasser (im Februar 2014) durchgeführt, um unbeeinflusst vom natürlichen Geschiebetransport unter kontrollierten Bedingungen arbeiten zu können.

Zur Kanalisierung des Abflusses wurde eine Versuchsrinne, die genau die Breite einer Geophon- sowie Hydrophonmesszelle hat, geplant und gebaut. Die Versuchsrinne wurde mittels Autokran ins Bachbett gehoben. Die Befestigung erfolgte mit einigen Eisenstangen und mit Steinen beschwerten Winkelflügel an der Rinne selbst. Am Einlauf wurde das Wasser durch Sandsäcke kanalisiert, um einen höheren Abfluss im Versuchsrinne zu erreichen. Der Durchfluss

wurde durch Flügelmessungen zu Beginn und am Ende der Versuche ermittelt. Die Zugabe des Geschiebes erfolgt mittels eines Betonkübels und eines Autokrans. Zur Bestimmung des Gewichtes wurde der Betonkübel an einer Zugwaage angebracht. Durch die Öffnungsbegrenzung des Betonkübels war es möglich die Zugabe des Geschiebes zu begrenzen und somit manuell relativ konstant zu halten. Durch die Anordnung war sichergestellt, dass das zugegebene Geschiebe auch wirklich über die Messzellen transportiert wird. Das Versuchsrinne sowie der Betonkübel für die Geschiebezugabe sind in Abbildung 4 dargestellt. Es wurde jeweils eine Tonne Kies je Kornklasse (4–8 mm, 8–16 mm, 16–32 mm, 32–64 mm) in vier Teilversuchen zugegeben. Es wurden auch Leerversuche zur Feststellung des Grundrauschens aufgezeichnet. Auch wurden 250kg der Sortimentmischung aus allen vier Kornklassen zu je 25% Gewichtsanteil in die Versuchsrinne eingebacht und gemessen. Alle Aufzeichnungen erfolgten mit der maximalen Messfrequenz von 9,6 kHz.



Abb. 4: Versuchsrinne: Links Draufsicht, rechts Versuchsrinne mit Geschiebezugabeeinrichtung.

Fig. 4: Flume for tests: left overview, right with bedload container.

Zur Analyse der Messdaten wurden folgende Aufzeichnungen, bzw. online Berechnungen durchgeführt.

- Die Rohdaten je Versuch und relevanten Messzellen
- Die Energiesummenlinie je Versuch und relevante Messzellen
- Die POT - Summenlinie je Versuch und relevante Messzellen

Ergebnisse

Die Graphen in Abbildung 5 zeigen das Rohsignal sowie Auswertungen für die Energiesummenlinie und die POT Summenlinie für das Geophon und das Hydrophon. Die aufgezeichneten Rohsignale pendeln symmetrisch um die Null-Achse. Die Abhängigkeit der Messgröße (Volt) von der Größe der Korndurchmesser ist bei beiden Messtypen abbildbar. Die Amplituden sind beim Hydrophon um einen Faktor 2-3 größer.

Auf Grund des symmetrischen Schwingens der Rohsignale um die Nullachse wird für die Auswertung der Energiesumme die quadratische Summe gebildet. Die Abhängigkeit der

Energiehöhe von der Größe der Korndurchmesser ist durch die unterschiedlichen Steigungen der Summenlinien abbildbar. Auch ist bei dem Hydrophon ein deutlicher Unterschied zwischen den Kornklassen 4-8 mm und 8-16 mm, bzw. eine größere Steigung gegenüber der Energiesummenlinie des Geophones erkennbar. Es lässt sich zeigen, dass das Hydrophonmesssystem im Bereich kleiner Kornklassen sensibler ist.

Mittels der Funktion Peak-over-Threshold (POT) wird in Abhängigkeit des gewählten Schwellenwertes die Anzahl der Überschreitungen gezählt. Der Schwellenwert für das Geophon liegt bei 0,1 V. Für den Schwellenwert des Hydrophones wurde bei den durchgeführten Versuchen ein Wert von 0,02 V gewählt.

Das Geophon hat für die beiden kleineren Korndurchmesser 4-8 mm und 8-16 mm keine Überschreitung registriert. Das Hydrophon hat keine Überschreitung des Schwellenwertes für die Kornklasse 4-8 mm aufgezeichnet.

Ein weiterer Analysepunkt ist die Frage, ob es zu einer Koppelung innerhalb der Messbalken kommt, bzw. ob Nachbarzellen Geschiebesignale mitaufzeichnen. Theoretisch sollten

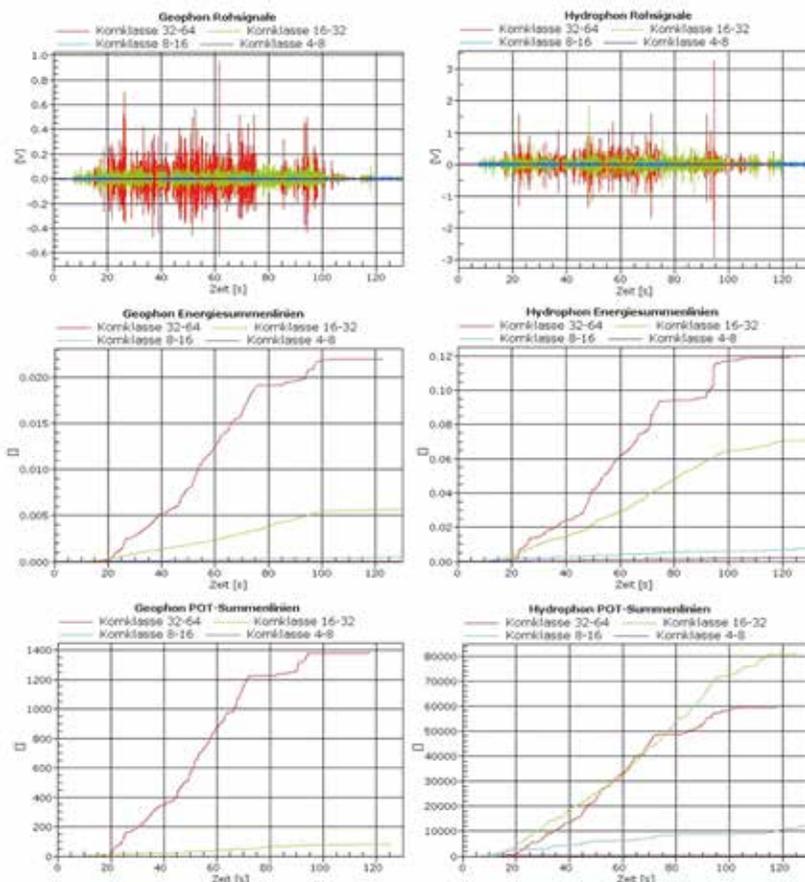


Abb. 5: Darstellung einer Versuchsreihe für die verwendeten Kornklassen. Die linke Spalte zeigt das Rohsignal, die Energiesummenlinie sowie die POT Auswertung für das Geophon, die rechte Spalte die Werte für das Hydrophon.

Fig. 5: Results shown for different grain-classes. The left column shows the raw signal, energy sum and POT evaluation for the geophone, the right column shows the same results for the hydrophone.

alle Nachbarsensoren nur das eigene Grundrauschen messen und dadurch, unabhängig der Kornklasse, alle Energiesummenlinien der Nachbarzellen die gleiche Steigung haben. In Abbildung 6 sind die Energiesummenlinien der Nachbarzelle der Geophon- sowie der Hydrophonversuchszelle von jeweils einem der vier Versuche je Kornklasse dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Steigung der Summenlinie zunimmt, je größer die Kornklasse ist. Es werden dem zu Folge Schwingungen der Versuchsmessplatte über den Geophonmessbalken zu der Nachbarzelle weitergeleitet. Diese Situation lässt sich bei dem Hydrophon nicht darstellen. Das gleiche Bild liefert die Analyse der POT Werte. Beim Geophon kommt es bei den

größeren Kornklassen zu Grenzwertüberschreitungen, wohingegen die Hydrophonmesszellen unabhängig voneinander messen. Frequenzanalysen haben gezeigt, dass die Koppelung im Hydrophonmessbalken nur in einem gewissen Frequenzbereich stattfindet. Durch Setzen eines Hochpassfilters kann der Koppelungseffekt minimiert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die im Jahr 2013 errichtete Geschiebemessanlage wurde anhand von Kalibrierungsversuchen getestet. Durch die durchgeführte Versuchsreihe an Geschiebemessungen kann die Reproduzierbarkeit der jeweils vier Versuche je Kornklasse durch

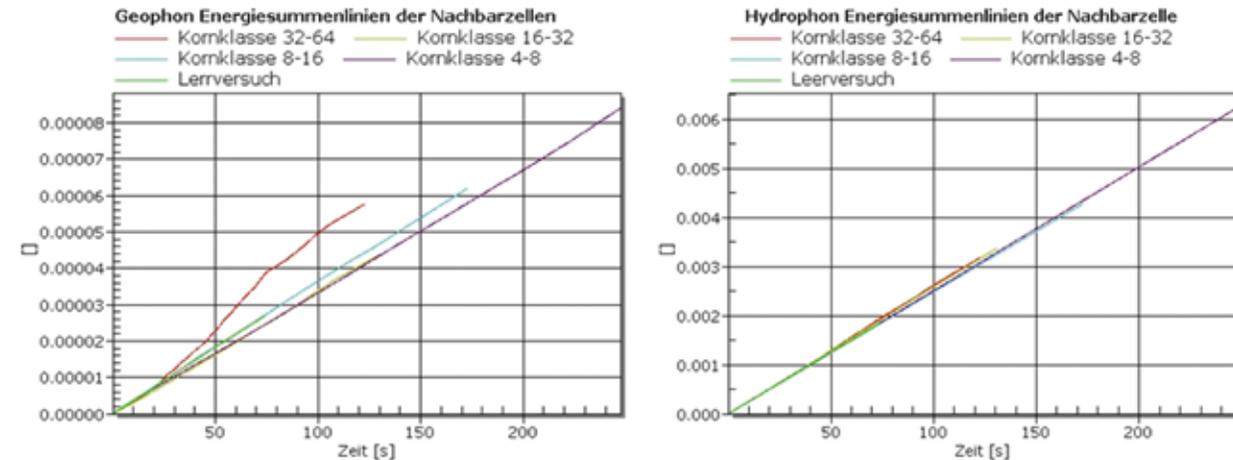


Abb. 6: Energiesummenlinie der Nachbarzelle im Vergleich zum Leerversuch (links: Geophon, rechts: Hydrophon).

Fig. 6: Sum of energy for the neighbor cell in comparison with the test without bedload transport (left: geophone, right: hydrophone).

den Vergleich der Energiesummenlinien, hinsichtlich deren Steigung und der normierten Absolutwerte, als auch dem Vergleich der Frequenzanalyse je Kornklasse nachgewiesen werden.

Die vier Kornklassen zeigen deutlich unterschiedliche Steigungen in ihrer Energiesummenlinien. Auch zeigen die vier Kornklassen unterschiedliche Bereiche der Intensität der Frequenzbereiche. Generell lässt sich feststellen, dass das Messsystem des Hydrophons im Gesamten sensibler ist als das des Geophons. Es kann deutlich zwischen einem Leerversuch und der kleinsten Kornklasse (4-8 mm) unterschieden werden.

Die durchgeführte Analyse zeigt eine Koppelung der Messsignale der Versuchszelle mit deren Nachbarzelle beim Geophonmesssystem. Die Koppelung der Daten lässt sich auf einen abgrenzbaren Frequenzbereich der Signale eingrenzen, wodurch es möglich ist diesen mittels eines Filters der Signale zu minimieren, ohne markante Verluste des Energiegehaltes und somit Einbußen der Interpretierbarkeit in Kauf nehmen zu müssen.

Eine Aussage über die Sieblinie, bzw. Korngröße mittels der Frequenzanalyse der Daten

zu treffen, ist für beide Messsysteme nicht möglich. Die Abhängigkeit der Frequenzbereiche der Kornklassengröße ist lediglich in deren Intensitäten gegeben. Die Charakteristik der Frequenzbereiche bleibt zwischen den vier unterschiedlichen Kornklassen die Gleiche.

Die Grundeinstellungen der Schwellenwerte für die POT-Auswertung werden als richtig eingeschätzt. Für das Geophon gilt der standardisierte Wert von 0,1V. Bei dem kleinerem gewählten Wert von 0,02 V für das Hydrophon lässt sich zeigen, dass in den Leerversuchen dennoch keine Überschreitungen registriert werden. Mit dem Wert von 0,02 V ist es möglich anhand des Hydrophons bei Niedrig- bzw. Mittelwasserstand die Fraktion von 8-16 mm zu detektieren.

Seit Inbetriebnahme der Messanlage konnten nur kleinere Sommerereignisse gemessen werden. Alle Abflüsse blieben aber innerhalb der mittleren Abflusssektion. Sobald größere Ereignisse mit Geschiebeablagerung stattgefunden haben, können durch eine weitere Kalibrierung über die Ablagerungsvolumina bessere Aussagen über die transportierte Geschiebemenge getroffen werden.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

DI Dr. Michael Chiari
 Universität für Bodenkultur, Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordanstraße 82
 1190 Wien
 Michael.Chiari@boku.ac.at

DI Maximilian Berkold
 Universität für Bodenkultur, Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordanstraße 82
 1190 Wien
 maximilian.berkold@gmail.com

DI Gerald Jäger
 Forsttechnischer Dienst für
 Wildbach- und Lawinerverbauung
 Gebietsbauleitung Bregenz
 Rheinstraße 32/4
 6900 Bregenz
 Gerald.Jaeger@die-wildbach.at

Univ.-Prof. DI Dr. Johannes Hübl
 Universität für Bodenkultur, Wien
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordanstraße 82
 1190 Wien
 Johannes.Huebl@boku.ac.at

Literatur / References

BERKTOLD M. (2015).
 Vergleich und Interpretierbarkeit der Geschiebemesssysteme Geophon und Hydrophon am Beispiel der Geschiebemessanlage am Suggadinbach, Wien: Masterarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren, 94S.

HABERSACK H., SEITZ H., LIEDERMANN M. (2010).
 Integrated automatic bedload transport monitoring. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5091, S. 218-235.

MIZUYAMA T., LARONNE J.B., NONAKA M., SAWADA T., SATOFUKA Y., MATSUOKA M., YAMASHITA S., SAKOY., TAMAKI S., WATARI M., YAMAGUCHI S., TSURUTA K. (2010).
 Calibration of a passive acoustic bedload monitoring system in Japanese mountain rivers. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5091, S. 296 – 318.

TUROWSKI J., BADOUX A., RICKENMANN D., FRITSCHI B. (2008).
 Erfassung des Sedimenttransportes in Wildbächen und Gebirgsflüssen – Anwendung von Geophonmessanlagen. Wasser Energie Luft. 100. Jahrgang, Heft 1, S. 69-74.



Ingenieurkonsulent • Ingenieurbüro

Forst- und Holzwirtschaft
 Wildbach- und Lawinenschutz
 Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
 www.perzplan.at

2630 Ternitz
 3100 St. Pölten
 8600 Bruck/Mur
 office@perzplan.at

Go ahead...

Wir sind Ihr absolut kompetenter Partner bei Planungen, Gutachten und Projektmanagement von...

- Wildbachverbauungen
- Schutzwasserbauten
- Böschungssicherungen
- Lawinerverbauungen
- Forst- und Güterwegen
- Landschaftspflegerische Begleitplanung
- Speicherteiche
- Schneeanlagengesamtplanung
- Skipistenbau
- Schneileitungssystemen
- Wasser- und Quellfassungen
- Wasserver- und entsorgung
- schiGIS®-Infosystem für Skigebiete
- wvm...

www.klenkhart.at

Klenkhart & Partner Consulting
 A-6067 Absam · Salzbergstrasse 15
 Telefon: +43 (0) 50226-0 · Fax: +43 (0) 50226-20
 e-mail: office@klenkhart.at

KLENKHART & Partner Consulting

JOSEF SCHNEIDER, JOHANNES STANGL, HEIMO TRUHETZ, STEFAN FIEGER, GABRIELE HARB, OLIVER SASS

Erosionsbeobachtung und Geschiebemonitoring am Schöttlbach (Steiermark) in Hinsicht auf den Klimawandel

Monitoring of erosion and of sediment transport in the river Schöttlbach (Styria) with respect to climate change

Zusammenfassung:

Der vorliegende Beitrag fasst das Projekt ClimCatch (Laufzeit 2012 bis 2015) zusammen. Basierend auf dem Extremereignis im Juli 2011 im Einzugsgebiet des Schöttlbaches wurde das Projekt gestartet, um Erkenntnisse hinsichtlich der Sedimentkaskade, beginnend bei der Erosion über den Transport bis zu den Ablagerungen gewinnen zu können. Eine Vielzahl von Messungen in einem der seither am besten beobachteten Wildbacheinzugsgebiete in Österreich sowie Berechnungen und Simulationen wurden durchgeführt, um die Transportvorgänge in Wildbacheinzugsgebieten besser verstehen zu können. Schlussendlich wird noch kurz auf die geplanten Ausbaumaßnahmen im Schöttlbach auch unter Einfluss des Klimawandels eingegangen.

Stichwörter:

Wildbach, Sedimentfracht, Klimawandel

Abstract:

This paper summarises the project ClimCatch (runtime 2012 to 2015). After a disastrous flood event in July 2011 the project was started to gain knowledge about the sediment cascade in the catchment of the Schöttlbach torrent, starting with erosion and up to sediment transport and deposition. A variety of measurements, calculations and simulations have been performed in meanwhile one of the best monitored catchments in Austria with the aim to improve the understanding of transport processes in a torrent. Finally, planned further instrumentation and construction measures in the Schöttlbach catchment also in the light of changing climate conditions are described.

Keywords:

Torrent, sediment load, climate change

Einleitung

Mögliche Veränderungen der Niederschlagsmenge, der Niederschlagsverteilung und der Schneedeckenentwicklung durch die aktuelle Klimaerwärmung könnten sich auch auf den Sedimenthaushalt alpiner Einzugsgebiete auswirken. Um die Sedimentfracht der Wildbäche und deren mögliche Änderungen verstehen zu können und technische Schutzmaßnahmen zu optimieren, sind Messstationen zur Erfassung des Sedimenttransports erforderlich; diese sind in Österreich jedoch nur spärlich vorhanden. Die wesentlichen Ziele des Projektes ClimCatch, dessen Ergebnisse im vorliegenden Beitrag näher vorgestellt werden, waren daher (i) die Untersuchung der Sedimentquellen und Ablagerungsflächen im Schöttlbachgebiet (Obersteiermark), das 2011 von einem katastrophalen Hochwasserereignis betroffen war; (ii) die Quantifizierung des Sedimenttransports im Einzugsgebiet und seinen Teilbereichen und (iii) die Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf die Häufigkeit, Intensität und zeitliche Verteilung von Niederschlagsereignissen.

Eine ausführliche Zusammenfassung der Projektergebnisse inklusive der Zusammenstellung aller bisherigen Publikationen und Abschlussarbeiten ist in Sass et al. (2015) nachzulesen.

Hintergrund

Das Projektgebiet

Das Einzugsgebiet des Schöttlbachs liegt in den Niederen Tauern in den Zentralalpen Österreichs. Die Hauptzubringer sind der obere Schöttlbach und der Krumegebach, die sich etwa in der Mitte des Einzugsgebiets treffen. Der Schöttlbach hat ein Gesamteinzugsgebiet von 71 km² mit einer Gesamtlänge von 15,4 km und einem mittleren

Gefälle von 4,1 %. Das beobachtete Mittelwasser von 2012–2015 bei Oberwölz (am Auslass des Einzugsgebiets) liegt bei 1,5 m³/s, das HQ₃₀ bei 80 m³/s und das HQ₁₀₀ bei 128 m³/s. Der Krumegebach hat ein Teileinzugsgebiet von 16 km² mit einer Gesamtlänge von 7,7 km und einem mittleren Gefälle von 12,9 %.

Das Einzugsgebiet ist nicht vergletschert und erstreckt sich von 2375 m ü.A. (Hochweber Spitze) auf 815 m ü.A. (Oberwölz). Die Hauptsedimentquelle im Einzugsgebiet ergibt sich aus der Erosion der pleistozänen Sedimente, die in Form von Terrassen an den Hängen des Schöttlbachs liegen. Diese hoch erodierbaren, glazialen Sedimente sind signifikant für das Einzugsgebiet und aufgrund der Tiefenerosion an den Zubringern und seitlichen Feilenanrissen vor allem in den unteren Teilen des Einzugsgebiets verfügbar.

Im Projektgebiet steigen die Abflüsse in den Zubringern bei Gewittern und lokalen Niederschlagsereignissen sehr rasch an. Die Abflussspitze in der Stadt Oberwölz, am Ende des Einzugsgebiets, wird meist 1–2 h nach Einsetzen der Niederschläge erreicht. Dabei treten im Bereich des Stadtgebiets Fließgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s im Gerinne auf.

Die Hochwasserkatastrophe 2011

Am Nachmittag des 7. Juli 2011 waren hohe Niederschläge über 3 Stunden mit bis zu 70 mm/h (Hübl et al., 2011) aufgrund eines lokalen Wärmegewitters der Auslöser eines Hochwasserereignisses im unteren Bereich des Schöttlbachs. Dabei stieg der Abfluss innerhalb kurzer Zeit auf etwa 100 m³/s an und verbunden mit Erosionen an den Böschungen des Gerinnes, massivem Geschiebetransport und Ablagerungen im Unterlauf kam es zu Überflutungen der Stadt Oberwölz und umliegender Siedlungsgebiete.

Durch das Hochwasserereignis wurden an zahlreichen Stellen Sedimentkörper angeschnitten, die nun zum Transport zur Verfügung stehen. Dadurch konnten danach auch relativ niedrige Niederschlagsereignisse vergleichsweise hohen Sedimenttransport auslösen. Nach der Terminologie von Recking (2012) haben sich die Bedingungen im Einzugsgebiet von *moderate sediment supply* zu *high sediment supply* verschoben.

Diese besondere Situation im Einzugsgebiet des Schöttlbaches und die zu erwartenden hohen Erosions- und Transportraten nach dem Hochwasserereignis machten es zu einem idealen Gebiet, um offene Fragen hinsichtlich der Sedimentkaskade, beginnend bei der Erosion über den Transport bis zu Ablagerung, zu bearbeiten.

Ziele/Arbeitspakete des Projektes ClimCatch

Ziele des Projektes ClimCatch waren das Verstehen der Sedimentkaskade im Schöttlbacheinzugsgebiet, die Quantifizierung der Bestandteile des Sedimentbudgets sowie der Sedimentdynamik im Gewässer, die Modellierung und das Downscaling zukünftiger Extremniederschlagsereignisse sowie die Beurteilung der zukünftigen Entwicklung im Untersuchungsgebiet. Um die Ziele des Projektes erreichen zu können, wurden fünf fachliche Arbeitspakete definiert.

Im Arbeitspaket *sediment cascade* wurde ein konzeptionelles Modell zur Sedimentbewegung durch das Einzugsgebiet entwickelt. Mittels Luftaufnahmen und Airborne Laser Scans (ALS) wurden Sedimentquellen und –depots räumlich erfasst sowie deren dauerhafter oder vorübergehender Charakter beurteilt. Das Arbeitspaket *catchment sediment dynamics* behandelte die quantitative Erfassung der Sedimentdynamik mittels wiederholtem terrestrischem Laserscanning (TLS), um erodierte und akkumulierte Volumina bestimmen zu können. Im Arbeitspaket *river sedi-*

ment dynamics wurden neben der Erhebung von Niederschlägen und Abflüssen auch Messungen des Sedimenttransports in Gerinnen sowie der Abgleich mit numerischen Sedimenttransportmodellen durchgeführt.

Die spezifischen Ziele des Arbeitspaketes *modelling future precipitation* waren das Downscaling und die Fehlerkorrektur täglicher Niederschlagssummen und mittlerer Temperaturen einer großen Anzahl regionaler Klimasimulationen auf die lokale Skala. Weiters wurden Unsicherheiten und Grenzwertüberschreitungswahrscheinlichkeiten von Starkregenereignissen sowie ein Downscaling des Niederschlages ausgewählter Simulationen auf Sub-Tages Skala durchgeführt. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Arbeitspakete sowie die darin gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse sind in Sass et al. (2015), Stangl et al. (2015), Harb et al. (2013), Schneider et al. (2014a) sowie Schneider et al. (2014b) angeführt.

Methodik

Im Arbeitspaket *sediment cascade* wurden Orthophotos aus den Jahren 1965 und 2010 verglichen, um Erosionsherde verorten zu können. Es wurden 55 Erosionsbereiche identifiziert, wobei fünf typische davon (hinsichtlich Größe, Neigung, Vegetation, Korngrößen, verfügbarem Erosionsvolumen sowie Konnektivität zum Vorfluter) für weiterführende Untersuchungen im Arbeitspaket *catchment sediment dynamics* ausgewählt wurden. Daneben wurden mittels Drohnen (UAVs) Luftaufnahmen für photogrammetrische Auswertungen in den Jahren 2014 und 2015 durchgeführt. Zur Bestimmung des Konnektivitätsindex (IC) nach Cavelli et al. (2013) wurde ein räumlich hochaufgelöstes Geländemodell aus dem Jahre 2010 herangezogen. Der IC Index berechnet über Neigungs-, Einzugsgebiets- und Oberflächenparameter den

Grad der geomorphologischen Anbindung der Hänge an den Vorfluter, oder anders ausgedrückt, aus welchen Bereichen mobilisiertes Lockermaterial bevorzugt in die Gewässer gelangt.

In Arbeitspaket *catchment sediment dynamics* kamen TLS sowie SfM (Structure-from-Motion) zum Einsatz, um Erosionsraten an aktiven Stellen im Einzugsgebiet quantitativ erfassen zu können. Die TLS Methode ist eine Standardmethode, bei der mittels reflektierter Laserstrahlen räumliche digitale Geländemodelle erstellt werden. Der SfM-Methode liegt die Photogrammetrie zugrunde, wobei durch moderne Software und leistungsstarke Rechner mit Hilfe vieler überlappender Fotos 3-dimensionale Geländemodelle errechnet werden können. Zur Bestimmung der erodierbaren Sedimentmächtigkeiten kamen geophysikalische Methoden wie 2D-Geoelektrik (ERT) sowie Hammerschlag- und Sprengseismik zum Einsatz.

Meteorologische, hydrologische sowie sedimentologische Parameter wurden im Arbeitspaket *river sediment dynamics* erfasst, wobei ein Netzwerk von Niederschlags-, Abfluss- und Sedimentfracht-Messstationen errichtet wurde (Abbildung 1). Niederschläge wurden an drei im Gebiet verteilten Messstationen erfasst, wobei an einer Messstation (Schöttlkapelle) auch die Schneemächtigkeit gemessen wurde. Der Abfluss sowie die Fließgeschwindigkeiten am Auslass des Einzugsgebietes (Öberwölz) wurde mit Hilfe von im Projekt kalibrierten Radarsensoren ermittelt; an dieser Messstelle wurden noch weitere Parameter wie Trübe, Leitfähigkeit und Temperatur gemessen. An zwei weiteren Positionen im Einzugsgebiet wurden kalibrierte Pegelmessungen mittels Druckpegel durchgeführt.

Der Geschiebetransport wurde mittels sogenannter Sediment Impact Sensoren (SIS) erfasst, welche – basierend auf Carling et al. (2003) – im Rahmen des Projektes weiterentwi-

ckelt wurden. Ein aktueller SIS besteht aus einer 15 x 15 cm großen Edelstahlplatte, auf die an der Unterseite ein Beschleunigungssensor geklebt ist, der die Anzahl und Intensität der Einschläge auf die Platte registriert und an einen Arduino Datenlogger weitergibt. Die Metallplatten wurden in der Bachsohle plan eingebaut, wobei die SIS über Kabel, welche geschützt an Land geführt wurden, mit den Datenloggern und der Stromversorgung verbunden sind. Damit sind sehr kostengünstige Messsysteme möglich. Die Kalibrierung der SIS erfolgte einerseits in Laborrinnen, andererseits in situ mit Hilfe von Fangkörben. Zur Bestimmung der Transportweiten sowie des Transportbeginnes von Geschiebe bei unterschiedlichen Abflüssen kamen einerseits Radiotelemetriesteine zum Einsatz, andererseits wurden Farbtracersteine eingesetzt, die im Laufe der Projektdauer ständig beobachtet wurden.

Zur Bilanzierung, aber auch als Kalibrierung für numerische Berechnungen, wurden die Volumsänderungen des Rückhalteraaumes der Geschiebesperre beim Gebietsauslass mit Hilfe wiederholter TLS-Vermessungen bestimmt. Baggerungen mit damit verbundenen Entnahmen aus dem Rückhalteraum wurden ebenfalls protokolliert. Die auf Basis vorhandener Messdaten kalibrierten Sedimenttransportberechnungen erfolgten mit der Software Tom^{Sed} (Chiari et al., 2010).

Um die zukünftige Entwicklung abzuschätzen wurde im Arbeitspaket *modelling future precipitation* folgender Ansatz gewählt: Es wurde ein Satz an regionalen Klimaprojektionen aus dem EU FP6 Projekt ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org; Hewitt and Griggs, 2004) und aus dem österreichischen Projekt reclip:century (Loibl et al., 2011) des „business as usual“ Emissionsszenarios A1B (Nakicenovic et al., 2000) mit Hilfe des statistischen Verfahrens Quantile Mapping (Thiemeßl et al., 2011) auf eine hohe räumliche Auflösung (1 km Gitterweite) gebracht und analysiert.

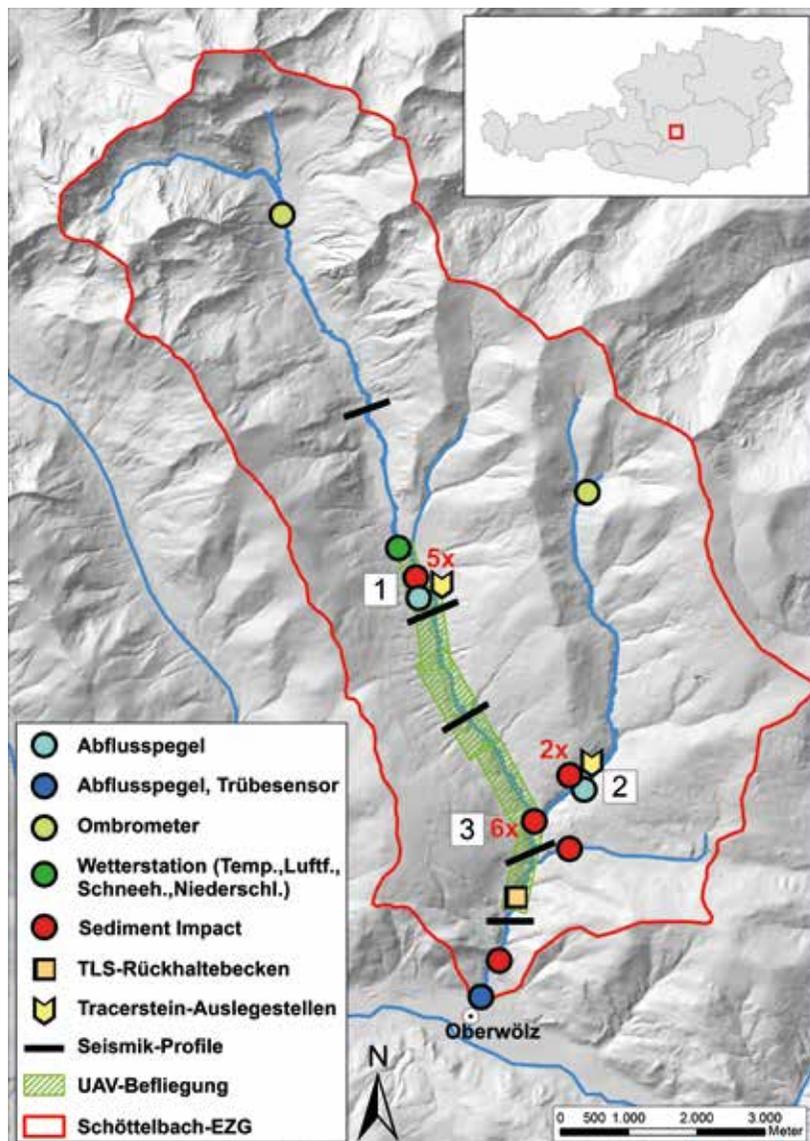


Abb. 1:
Methodenspektrum des
Projektes ClimCatch,
Schöttlkapelle (1),
Krumeggerbach (2),
WLV-Sperre (3).

Fig. 1:
Methodologies within
the ClimCatch project,
Schöttlkapelle (1),
Krumeggerbach (2),
check-dam (3).

Sedimentverfügbarkeit und -dynamik

Die mittels des Vergleichs von Orthophotos und durch Geländebegehungen identifizierten Erosionsflächen wurden im GIS verortet und dienten als Grundlage für die Auswahl von detaillierter untersuchten lokalen Untersuchungsflächen. Es zeigte sich, dass im Untersuchungsgebiet geomorphologisch relevante Erosionsprozesse vor allem

entlang des Schöttlbaches sowie des Zubringerbaches Krumeggerbach vorhanden sind. Die erosiven Bereiche finden sich vor allem im unteren Bereich der Projektstrecke, in denen eiszeitliche Staubeckensedimente die Hänge auskleiden. Das im Unterlauf konvexe Längsgefälle deutet darauf hin, dass das topographische Gleichgewicht noch nicht erreicht ist. Die Analyse des Stream Power Indexes (SPI) nach Hack (1957), der die Beziehung des Abstandes von der Quelle zum Gefälle

in diskreten Teilabschnitten (bei uns 100 m) darstellt, zeigt ebenfalls, dass im unteren Drittel des Schöttlbaches das höchste Erosionspotenzial besteht (Sass et al., 2015). Der semi-quantitative Modellierungsansatz nach Borselli et al. (2008) und Cavalli et al. (2013) ermöglicht eine Unterscheidung, welche potenziellen Sedimentquellen mit dem Vorfluter in enger Verbindung stehen und welche davon entkoppelt sind. In Abbildung 2 wird deutlich, dass die Erosionsflächen im Unter- und Mittellauf beider Bäche unmittelbar mit dem Vorfluter verbunden sind (rote Bereiche), während

weite Bereiche in den Hochlagen und im hinteren Talbereich für den aktuellen Sedimentaustrag nur geringe Bedeutung besitzen oder ganz entkoppelt sind (blaue Bereiche).

Mit Hilfe dreier Befliegungen entlang des unteren Bereiches des Schöttlbaches im Juni 2014, November 2014 und Juni 2015 war es möglich eine Cut-and-fill Analyse durchzuführen. Dabei wurden Abtragungs- bzw. Anlandungsbereiche entlang des Schöttlbaches definiert. Die Daten sind momentan noch in Auswertung.

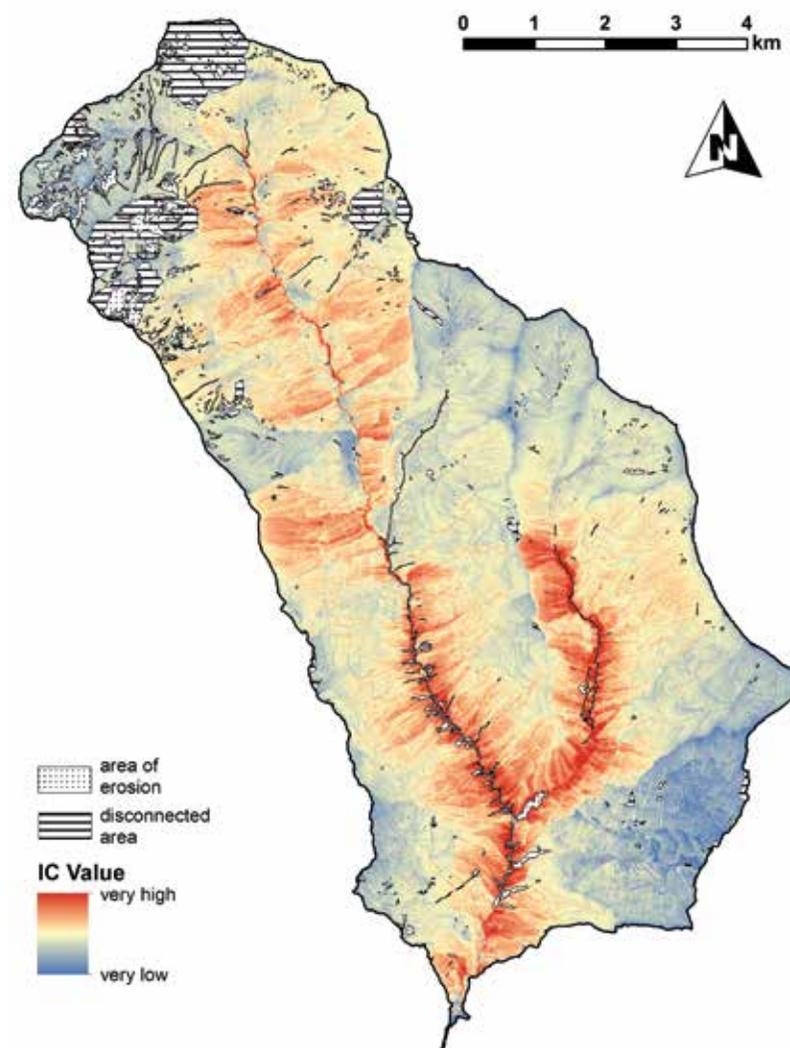


Abb. 2:
Modellierte
Konnektivitätsindizes
nach Cavalli et
al. (2013) für das
Schöttlbacheinzugsgebiet
(Stangl et al., 2016,
verändert)

Fig. 2:
Modelled connectivity
indices (Cavalli et al.,
2013) for the Schöttlbach-
catchment (Stangl et al.,
2016, modified)

Die Untersuchung der fünf ausgewählten Erosionsflächen mit TLS und SfM erbrachte räumlich differenzierte Erosionsbeträge im Bereich von cm bis m pro Jahr. Dabei stellte sich die – im Gelände deutlich einfacher anzuwendende – SfM-Technik auf unbewachsenen Flächen als dem TLS ebenbürtig heraus, mit Abweichungen der Geländemodelle voneinander im Bereich von 1-2 cm. Durch die Bildung von fünf Typen von Erosionsanrissen und GIS-gestützter Extrapolation der Einzelwerte in die Fläche wurde schließlich eine jährliche Erosionsrate für den Unter- und Mittellauf des Schöttlbachs von 2860 m³ pro Jahr ermittelt, was in etwa dem verlandeten Volumen in der Geschiebesperre am Gebietsauslass im Jahr 2014 entspricht (~ 3000 m³/Jahr). Somit befand sich das Einzugsgebiet in 2014 offenbar in annäherndem Gleichgewicht hinsichtlich Erosion und Ablagerung. Dies steht in krassem Gegensatz zu den Beobachtungen 2011/12 direkt nach dem

Hochwasserereignis, bei denen deutlich größere Ablagerungen im Rückhaltebecken beobachtet werden konnten.

Die Erfassung der verfügbaren Sedimente mittels geophysikalischer Methoden zeigten Lockermaterialmächtigkeiten an den Einhängen von etwa 10 bis 30 Meter. Eine baldige Erschöpfung der mobilisierbaren Sedimentspeicher ist also nicht abzusehen.

Sedimentdynamik im Wildbach

Die Beziehung der an drei Orten gemessenen Wasserstände mit den Abflüssen erfolgte durch eine Reihe von Abflussmessungen, einerseits mit Hilfe von magnetisch-induktiven Geschwindigkeitssonden, andererseits durch den Einsatz der Salzverdünnungsmethode. Die zwischen 2012 und 2014 mehr als 50 mal durchgeführten Abflussmessungen dienten als Stütz- und Kalibrierpunkte

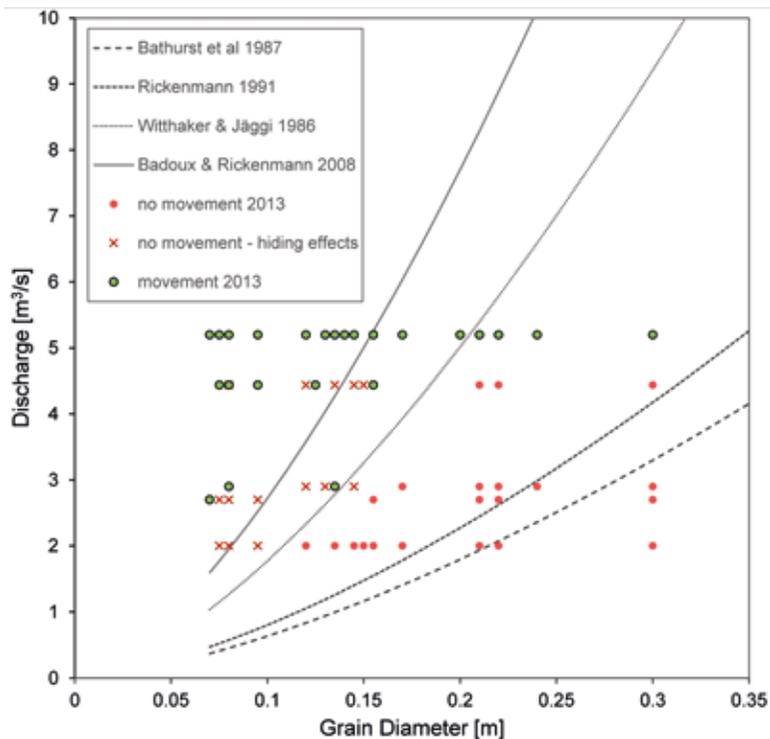


Abb. 3: Nachgewiesene Bewegung von Farbtacern für unterschiedliche Abflüsse der Jahre 2012–2013 an der Messstelle „Schöttlkapelle“ (Harb et al., 2016)

Fig. 3: Verified movement of the tracer stones at different discharges in the years 2012–2013 at the location „Schöttlkapelle“ (Harb et al., 2016)

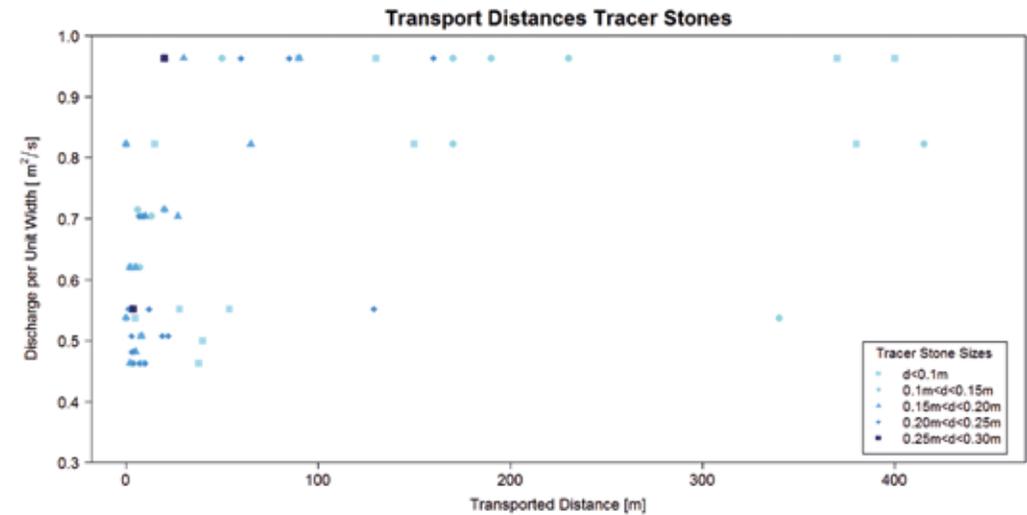


Abb. 4: Beobachtete Transportweiten der Tracersteine an der Messstelle „Schöttlkapelle“ (Harb et al., 2016)

Fig. 4: Observed transport distances of the tracer stones at the location „Schöttlkapelle“ (Harb et al., 2016)

für die mit Hilfe der an der TU Graz entwickelten Software „BedLoadAnalyzer“ erstellten Pegelschlüssel. Die daraus abgeleiteten Abflusskurven wurden in weiterer Folge mit den transportierten Feststoffen in Beziehung gesetzt.

Dafür wurden am Schöttl- und Krumegebach mehr als 150 kodierte Tracersteine ausgesetzt und deren Standort während der gesamten Projektdauer regelmäßig wieder festgestellt. Somit konnte die Bewegung der Steine zu den zwischen den Beobachtungen aufgetretenen Abflüssen in Beziehung gesetzt werden. Dabei wurde abgeschätzt, ab welchem Abfluss der Transport für unterschiedliche Korngrößen beginnt und wie weit einzelne Korngrößen transportiert werden.

In Abbildung 3 ist beispielhaft der gemessenen Transportbeginn mit einigen theoretischen Ansätzen verglichen. Man kann einerseits den Zusammenhang zwischen den Korngrößen und Abflüssen, aber auch andererseits die großen Streuungen beobachten. Dafür ist die räumliche Lage der jeweiligen Steine, die stochastische Natur des Sedimenttransports und die zeitliche

Variabilität des Gerinnes verantwortlich (liegt ein Stein am Innen- oder Außenbogen? Ist er von einem anderen Stein verdeckt? Liegt er in einem Kolk oder auf einer Sedimentbank? Verlegt sich das Hauptgerinne auf die andere Seite des Betts?). Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen der Transportweite unterschiedlicher Korngrößen zu den jeweiligen Abflüssen.

Mit Hilfe der SIS ist es möglich, den Transport des Geschiebes im Fließgewässer zu beobachten. Die Sensoren wurden im Labor der Technischen Universität gebaut und in Laborrinnen kalibriert. Weiterführende Kalibrierungen sowie teilweise Validierungen der Messgeräte erfolgten im Feld mit Hilfe geeichter Kalibrierstangen sowie mittels Fangkörben (Sass et al., 2015; Oberlechner, 2015). Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf von Niederschlag, Abfluss und Einschlagsintensitäten an den drei Teststandorten Schöttlkapelle, WLV Sperre und Krumegebach. Zunächst ist festzustellen, dass die Abflussspitzen am Gebietsauslass gut mit den größten registrierten Niederschlägen korrelieren, jedoch muss dies

bei geringeren Niederschlagsintensitäten nicht immer der Fall sein. Der Grund für Abweichungen liegt in der ungleichmäßigen räumlichen Verteilung vor allem von kleineren Niederschlagsereignissen. Der Sedimenttransport ist am Krumeggerbach und an der WLV-Sperre stark auf wenige, intensive Abflussereignisse im Sommer 2014 konzentriert. Der Vergleich mit den Daten der Station Schöttlkapelle legt nahe, dass der Transport am WLV-Wehr (Konfluenz) zu dieser Zeit hauptsächlich aus dem Krumeggerbach stammte. Demge-

genüber stammt der Sedimenttransport während der Schneeschmelze (Mai 2014, Schöttlkapelle und WLV-Wehr) offenbar aus dem höher gelegenen Hauptast des Schöttlbachs.

Die Berechnung der jährlichen Sedimentfrachten aus den Impact-Intensitäten erfolgte auf Basis von Helley-Smith Geschiebekorbmessungen. Da noch nicht genug Messungen insbesondere bei höheren Abflüssen vorliegen, ist eine vollständige Eichung der SIS-Messungen momentan noch nicht möglich.

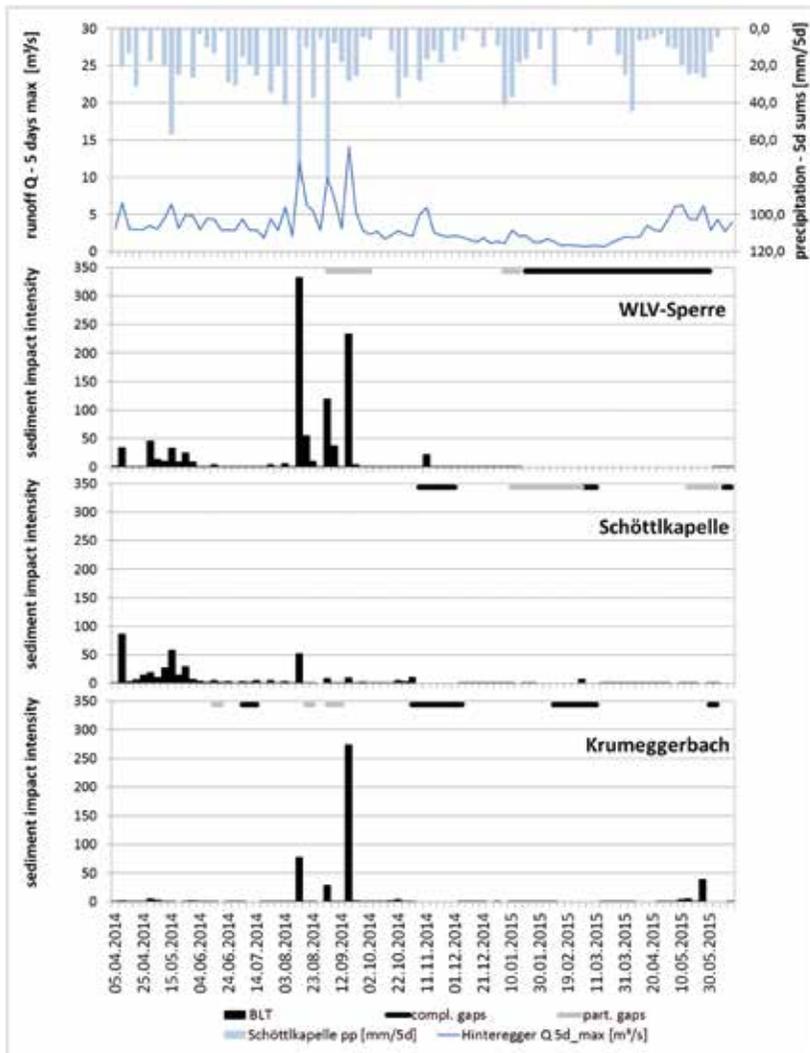


Abb. 5: Niederschlag bei der Schöttlkapelle, Abfluss beim Hintereggertor (Gebietsauslass) sowie beobachtete Sedimentintensitäten (SIS) an drei Beobachtungsstellen, 2014 – 2015 (Oberlechner, 2015)

Fig. 5: Precipitation at Schöttlkapelle, runoff at Hintereggertor (catchment outlet) and sediment transport intensity (SIS) at three cross sections, 2014 – 2015 (Oberlechner, 2015)

Modellierung der zukünftigen Entwicklung

Aus Änderungen von Starkniederschlagsereignissen und deren Bandbreite möglicher Entwicklungen, abgeschätzt aus einem Ensemble an regionalen Klimaprojektionen aus dem EU FP6 Projekt ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org; Hewitt and Griggs, 2004) und aus dem österreichischen Projekt reclip:century (Loibl et al., 2011) des Emissionsszenarios A1B (Nakicenovic et al., 2000), im Einzugsgebiet des Schöttelbachs sollte auf Änderungen von Hochwasserereignisse geschlossen werden.

Trotz dieses ensemble-basierten Ansatzes gelingt die Abschätzung zukünftiger Ereignisse aufgrund von (i) natürlicher Variabilität, (ii) einem unbekanntem, zukünftigen menschlichen Verhalten (Emissionsszenario) sowie (iii) von vereinfachenden Annahmen bei der Erstellung von Klimaprojektionen nicht vorbehaltlos.

Bei der Analyse der vergangenen Hochwasserereignisse konnte kein fester Niederschlagschwelldwert für die Auslösung schadenbringender Hochwasserereignisse festgestellt werden. So können beispielsweise Hochwässer ab ca. 25 mm Tagesniederschlag entstehen und werden erst bei 60 mm mit Sicherheit ausgelöst. Diese Variabilität (als Teil der natürlichen Variabilität) stellt einen der limitierenden Faktoren bei der Abschätzung der zukünftigen Entwicklung dar. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Modellierungstechnik: herkömmliche regionale Klimamodelle sind nur unzureichend in der Lage kleinskalige konvektive Prozesse (z.B. Gewitter) zu erfassen. Dies gelingt erst mit Einsatz sogenannter konvektionserlaubender Klimamodelle, wie sie am Wegener Center bereits getestet werden (FWF Projekt NHCM-2; www.nhcm-2.eu). Erste Untersuchungen zeigen, dass sich Klimaänderungen von Stark- und Extremniederschlagsereignissen

aus konvektionserlaubenden Modellen signifikant von den herkömmlichen Modellen unterscheiden (z.B. Kendon et al., 2014; Ban et al., 2015).

Unter diesen Vorbehalten zeigen die vom Wegener Center berechneten Projektionen Temperaturanstiege für die nahe Zukunft (1971-2000 vs. 2021-2051) für den Bezirk Murau von 1,5°C (+0,9°C bis +2,4°C). Weiters wird ein Niederschlagsanstieg von +5,5 % im Jahresmittel erwartet (-0,4 % bis +15,0 %). Allgemein wird der ausgeprägte Anstieg für Oktober prognostiziert. Damit ergibt sich für den Bezirk Murau eine ausgeprägtere Klimaänderung als im Mittel der Steiermark, für die sich Zunahmen von 1,4°C und 3,8% ergeben.

Die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (Niederschlag zw. 20 und 50 mm pro Tag) nimmt bis 2050 bei großer Modellbandbreite moderat zu (siehe Abbildung 6). Gegen Ende des 21. Jahrhunderts zeigen die Projektionen jedoch eine ausgeprägte Änderung im Jahresgang: während sich die Zahl der Starkniederschlagsereignisse im Winter nahezu verdoppelt, sind diese im Sommer rückläufig. Eine Ursache dafür könnte die unbefriedigende Simulation von konvektiven Prozessen in den Klimamodellen sein.

Aufgrund der geschilderten saisonalen Veränderungen hinsichtlich der Niederschlagsverteilung kann man im Schöttlbaheinzugsgebiet und somit im südostalpinen Bereich mit extremeren Niederschlagsereignissen im Sommer und höheren Niederschlagssummen im Winter rechnen.

Dies deckt sich auch mit theoretischen Überlegungen, wonach sich der Wasserkreislauf infolge des Clausius-Clapyron'schen Zusammenhangs durch einen erwarteten Temperaturanstieg beschleunigt (z.B. Allen and Sodan, 2008) sowie mit einem bereits beobachteten Anstieg an konvektiven Extremereignissen über dem Clausius-Clapyron'schem Niveau (z.B. Berg et al., 2013).

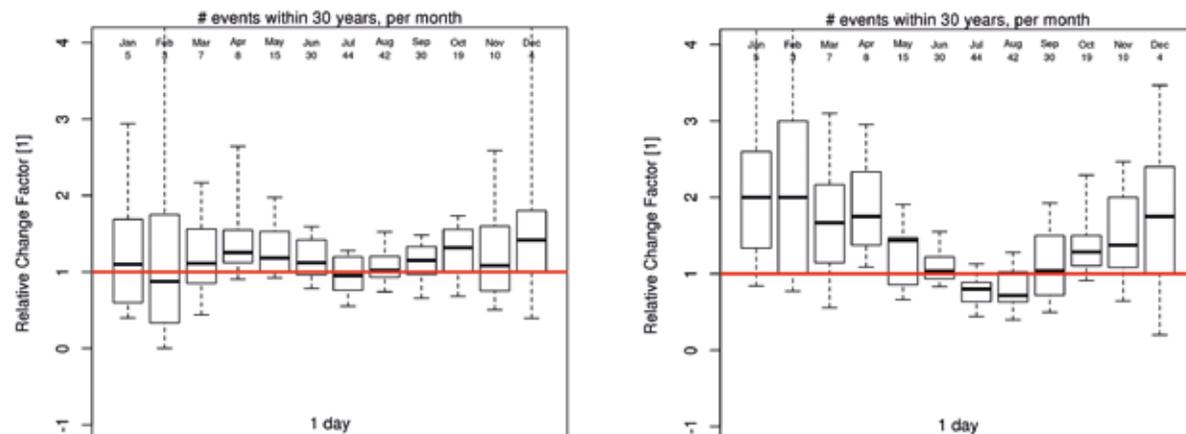


Abb. 6: Relative Änderungsfaktoren (keine Änderung ist durch die rote Linie gekennzeichnet) der Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (20 bis 50 mm pro Tag) an der Station Oberwölz bis 2050 (links) und 2100 (rechts). Die Boxen repräsentieren die Variabilität unter den Klimaprojektionen.

Fig. 6: Relative change factors (no change is indicated by the red line) in the frequency of heavy precipitation events (20 mm to 50 mm per day) for station Oberwölz until 2050 (left) and 2100 (right). The boxplots represent the variability among climate projections.

Unsicherheiten dazu gibt es jedoch wegen Vereinfachungen in den Klimamodellen zur Simulation konvektiver Prozesse sowie wegen der zu erwarteten höheren Evapotranspiration und des Einflusses der Änderung der Schneesituation sowie der Bodenspeicherung. Diesbezüglich sind hier weiterführende Untersuchungen notwendig.

Geplante Ausbaumaßnahmen am Schöttlbach

Für den Schöttlbach wurde kurz nach dem Ereignis im Jahr 2011 ein Verbaueantrag seitens der Stadtgemeinde Oberwölz gestellt. Daraufhin wurde ein Verbaueprojekt von der Gebietsbauleitung Steiermark West ausgearbeitet, das neben dem Umbau einer bestehenden kronengeschlossenen kleindoligen Sperre in hm 24,5 zu einer Filtersperre, den Unterlaufausbau durch den besiedelten Stadtbereich und die Errichtung einer neuen Filtersperre am Grabenausgang in hm 14,7, bemessen mit einem Rückhalteraum von 120.000 m³ vorsah. Der Standort wurde ursprünglich so gewählt, dass einerseits eine möglichst kurze Ausbaustrecke am Unterlauf erforderlich ist und ande-

rerseits die vorhandenen Zubringer, insbesondere der stark geschiefbeführende Schmiedbognerbach, bachaufwärts der neu zu errichtenden Filtersperre einmünden. Aufgrund von positiv verlaufenden Vorgesprächen zur Grundstücksbereitstellung durch die betroffenen Grundeigentümer wurde das Einreichprojekt in dieser Form fertiggestellt. Während der Zeit für die Detailplanungen war es jedoch nicht möglich die Grundbereitstellung seitens der Stadtgemeinde zu sichern und so wurde auch die ministerielle Genehmigung dieses Projektes im Jahr 2013 vorbehaltlich der Grundbereitstellung erteilt.

Zwischenzeitlich wurde in der Steiermark eine Gemeindestrukturreform vollzogen, bei der sich auch die zuständige Gemeindevertretung, in personeller Hinsicht, in der Stadtgemeinde Oberwölz änderte. Die neue Gemeindevertretung erklärte die Verhandlungen zur erforderlichen Grundbereitstellung als nicht mehr zielführend und stellte einen Antrag auf Abänderung des Detailprojektes. Nunmehr wurde seitens der Gebietsbauleitung eine bereits im ersten Projekt beurteilte Variante, die den Standort der Fil-

tersperre am Schöttlbach weiter grabeneinwärts bei hm 16,32 vorsieht, im Detail ausgearbeitet. Nachteil dieser Verbauevariante ist, dass zur Erreichung des gleichen Schutzgrades wie beim ursprünglich vorgesehenen Verbaueprojekt, auch am Schmiedbognerbach eine Filtersperre und ein Unterlaufausbau erforderlich sind. Durch die Errichtung von nunmehr zwei Schlüsselbauwerken und den gegenüber dem ursprünglichen Verbaueprojekt längeren Gerinneausbau wird der Gesamtaufwand für das Verbaueprojekt am Schöttlbach merklich erhöht.

Die Gebietsbauleitung Steiermark West beabsichtigt die Vorlage des Einreichprojektes im Frühjahr 2016, sodass nach neuerlicher ministerieller Genehmigungsverhandlung mit einer Umsetzung im Herbst 2017 oder Frühjahr 2018 begonnen werden kann.

Ausblick

Im Rahmen des Projektes wurde eine Vielzahl von Fragen hinsichtlich Sedimentverfügbarkeit und Transportprozessen bearbeitet. Wo und wie weit wird das Sediment mobilisiert? Befinden sich Mobilisierung, Transport und Ablagerung in einem Gleichgewicht? Welche Rolle spielt der Niederschlag und wie wird sich das ändern? Können wir mit höheren Sedimenttransportraten in der Zukunft rechnen und was sind die Konsequenzen? All diese Fragen wurden im Rahmen des Projektes ClimCatch gestellt und konnten teils beantwortet werden. Aufgrund der geomorphologisch betrachtet sehr kurzen Beobachtungszeit sind jedoch Unschärfen hinsichtlich der Ergebnisse naturgemäß vorhanden. Aus diesem Grunde wird angestrebt, die Messreihen möglichst kontinuierlich fortzuführen, um die Aussagen zu verbessern und abzusichern. Obwohl das Projekt bereits seit über einem Jahr abgeschlossen ist, sind alle Messstationen weiter in Betrieb. Die

Stationen werden von den Projektpartnern KFU sowie TU Graz vorübergehend weiter gewartet. Es handelt sich beim Schöttlbachgebiet um eines der am besten beobachteten Einzugsgebiete hinsichtlich Sedimentdynamik in Österreich. Daher sollen weitere Projektaktivitäten in diesem Gebiet konzentriert werden.

Danksagung

Das Forschungsprojekt *Impact of climate change on sediment yield of alpine catchments (Clim-Catch)* wurde von 2012 bis 2015 vom Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz als Projektleiter, dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz sowie vom Wegener Center für Klima und Globalen Wandel der Karl-Franzens-Universität Graz durchgeführt. Gefördert wurde das Projekt vom Österreichischen Klimafonds (*Austrian Climate Research Program – ACRP*).

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Dr. Josef Schneider
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft,
TU Graz
Stremayrgasse 10/II, A – 8010 Graz
schneider@tugraz.at

Mag. Johannes Stangl
Institut für Geographie und Raumforschung,
KFU Graz
Heinrichstraße 36, A – 8010 Graz
johannes.stangl@uni-graz.at

Mag. Dr. Heimo Truhetz
Wegener Center für Klima und Globalen Wandel,
KFU Graz
Brandhofgasse 5, A – 8010 Graz,
heimo.truhetz@uni-graz.at

DI Stefan Fieger

Forsttechnischer Dienst für Wildbach-
und Lawinenverbauung

Gebietsbauleitung Steiermark West

Murauer Straße 8, A – 8811 Scheifling

stefan.fieger@die-wildbach.at

DI Dr. Gabriele Harb

ehem. Institut für Wasserbau und

Wasserwirtschaft, TU Graz

Stremayrgasse 10/II, A – 8010 Graz

gabriele.harb@gmx.at

Univ Prof. Dr. Oliver Sass

Institut für Geographie und Raumforschung,

KFU Graz

Heinrichstraße 36, A – 8010 Graz

oliver.sass@uni-graz.at

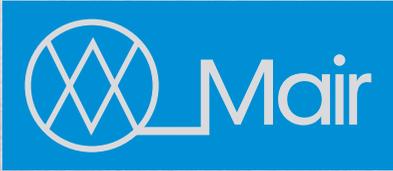
Literatur / References

- ALLAN R. P., SODEN B. J. (2008). Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes, *Science*, 321 (5895), 1481 – 1484, doi: 10.1126/science.1160787.
- BAN N., SCHMIDL J., SCHAER C. (2015). Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster? *Geophys. Res. Lett.*, 42(4), 1165-1172, doi: 10.1002/2014GL062588.
- BERG P., MOSELEY C., HAERTER J. O. (2013). Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nat. Geosci.*, 6, 181-185, doi:10.1038/ngeo1731.
- BORSELLI L., CASSI P., TORR D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena*, Volume 75, Issue 3, 268–277.
- CAVALLI M., TREVISANI S., COMITI F., MARCHI L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, Volume 188, 31–41.
- HACK J.T. (1957). *Studies of Longitudinal Stream Profiles in Virginia and Maryland*, UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR.
- HARB G., SCHNEIDER J., SASS O., STANGL J. (2013). Sedimentfracht und Klimawandel in alpinen Einzugsgebieten (ClimCatch). - in: *Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle*, S. 297 – 305 *Dresdner Wasserbaukolloquium*; 36.
- HARB G., STANGL J., SCHNEIDER J., SASS O. (2016). Evaluation of sediment transport in steep channels combining sediment impact sensors, tracer stones and TLS. *Proceedings of the Riverflow 2016*, St. Luis, accepted.

- HEINRICH G., GOBIET A. (2011). Expected climate change and its uncertainty in the Alpine Region, *WEGC Report to ACRP No. 2/2011*, Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz, Austria.
- HEWITT C. D., GRIGGS D. J. (2004). Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts (ENSEMBLES), *Eos Trans. AGU*, 85(52), 566, doi: 10.1029/2004EO520005
- HÜBL J., EISL J., HOHL D., KOEGLNIG B., MÜHLBÖCK F. (2011). Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse Wölzerbach. Band 1: Ereignisdokumentation. *IAN Report 143*. Institut für Alpine Naturgefahren. Universität für Bodenkultur, Wien, 70 S.
- KENDON E. J., ROBERTS N. M., FOWLER H. J., ROBERTS M. J., CHAN S. C., SENIOR C. A. (2014). Heavier summer downpours with climate change revealed by weather forecast resolution model, *Nature Climate Change*, 4(7), 570-576, doi: 10.1038/NCLIMATE2258.
- LOIBL W., FORMAYER H., SCHÖNER W., TRUHETZ, H. ET al. (2011). *reclip:century 1 - Research for Climate Protection: Century Climate Simulations - Part A*, Fin. Rep., 22 ff., Austrian Institute of Technology (AIT), Wien, verfügbar unter <http://reclip.ait.ac.at/>.
- NAKICENOVIC, N. et al. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 ff., verfügbar unter: www.grida.no/climate/ipcc/emission.
- ÖBERLECHNER M. (2015). Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Abfluss und Sedimenttransport im Einzugsgebiet des Schöttlaches in Oberwölz mittels Analyse von Klima-, Pegel- und Sediment-Impact-Sensor-Daten. Masterarbeit, Universität Graz.
- RECKING, A. (2012). Influence of sediment supply on mountain streams bedload transport. *Geomorphology*, 175–176 (2012) 139–150.
- SASS O., SCHNEIDER J., TRUHETZ H., HARB G., STANGL J., HEINRICH G., GOBIET A. (2015). CLIMCATCH - Impact of Climate Change on the sediment yield of small catchments, *Endbericht*, https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Projektberichte/ACRP-2011/01122015ClimCatchACRP4EBB175084KR11A_C0K00345.pdf.
- SCHNEIDER J., REDTENBACHER M., HARB G., SASS O., STANGL J. (2014a). Flussmorphologische Prozesse in einem Wildbach-Einzugsgebiet – das Projekt ClimCatch. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7(5): 278-284.
- SCHNEIDER J., BARBAS T., HARB G., REDTENBACHER M., STANGL J., SASS O. (2014b). Beurteilung des Sedimenttransportes in einem alpinen Einzugsgebiet (Clim-Catch), *Wasser- und Flussbau im Alpenraum*, ETH Zürich.
- STANGL J., RASCHER E., SASS O. (2015). Comparative analysis of sediment routing in two different alpine catchments. In: *Beylich, A.A., Dixon, J.C., Zwolinski, Z. (eds.): Source-to-sink fluxes in Undisturbed Cold Environments*. Cambridge: University Press, in press, out in Nov 2015.
- STANGL J., RASCHER E., SASS O. (2016). Comparative analysis of sediment routing in two different alpine catchments. In: *Beylich, A.A., Dixon, J.C., Zwolinski, Z. (eds.): Source-to-sink fluxes in Undisturbed Cold Environments*. Cambridge: University Press, p. 362-375.
- THEMESSL, M. J., GOBIET A., LEUPRECHT A. (2011). Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models, *Int. J. Climatol.*, 31(10), 1530-1544, doi: 10.1002/joc.2168.



**Stahlschneebrücken • Gleitschneeböcke • Triebsschneewände
Ablenkewände • Stahlteile für Schutzbauten**



Mair Wilfried GmbH
I-39030 St. Lorenzen (BZ)
info@mairwilfried.it • www.mairwilfried.it



Geologie & Geotechnik

www.geolith.at



ROLAND KAITNA, MARKUS MOSER, LUKAS DELAGO

Rheologische und numerische Untersuchung zur Parametrisierung der Muren-Simulationssoftware FLO-2D

Rheologic and numeric investigations for parameterization of the debris flow simulation tool FLO-2D

Zusammenfassung:

Die Verwendung von numerischen Simulationsprogrammen zur Modellierung von Massenbewegungen wie Bergstürze, Lawinen und Muren ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen. Gerade bei der Muren-Simulation ist die Parametrisierung der Modelle eine große Herausforderung. In der vorliegenden Studie untersuchen wir die Möglichkeit der Parametrisierung des Simulationsmodells FLO-2D sowohl durch Laboruntersuchungen von Probematerial vier geologisch unterschiedlicher Einzugsgebiete, als auch durch Rückrechnungen von gut dokumentierten Murgang Ereignissen in den jeweiligen Einzugsgebieten. Es zeigt sich, dass die Bestimmung der Fließwiderstandsparameter für unterschiedliche Einzugsgebiete mittels Laboruntersuchungen nicht eindeutig ist. Aus den Rückrechnungen der beobachteten Ereignisse sowie aus Literaturangaben werden jedoch grobe Bandbreiten der Inputparameter für die Ingenieurspraxis abgeleitet.

Stichwörter: Murrheologie, numerische Simulation, Eingangsdaten für Modellierung

Abstract:

Numerical simulation tools for modeling mass wasting processes like rock avalanches, snow avalanches, and debris flows are widely used in engineering practice. Especially for debris flow modeling the parameterization poses a major challenge. This study investigates the possibility of model parameterization for the simulation program FLO-2D by laboratory investigations of sample material from four geologically different watersheds. Additionally model parameters were back-calculated from observed debris flow events on the respective watersheds. We find that it is not possible to determine flow parameters reliably from laboratory investigations. Back-calculated model parameters from described case studies combined with literature data yield a range of model parameters for engineering practice.

Keywords: Debris flow rheology, numerical simulation, input parameter

Einleitung

Im Naturgefahrenmanagement sind im Rahmen der Projektplanung, Gefahrenzonenabgrenzung sowie für Spezialgutachten und Ereignisanalysen die Auslauflängen, Fließgeschwindigkeiten und Ablagerungshöhen von Murgängen zu bestimmen. Dies kann einerseits auf Basis von Experteneinschätzung unter z.B.: Zuhilfenahme der historischen Methode erfolgen oder anhand einfacher empirischer Formelansätze zur Auslauflänge. Im Zuge von Ereignisdokumentationen erfolgte in letzter Zeit aber auch immer wieder die Analyse von Murgängen mittels numerischer Modelle. Die für solche Berechnungen notwendigen Eingangsdaten sind oft schwierig zu bestimmen bzw. fehlen oft gänzlich, wodurch vereinfachte Annahmen getroffen werden müssen. Für die Berechnung sind neben den Geländemodelldaten als Eingangsparemeter für den Murgangsedigraph die rheologischen Parameter (Parameter zur Festlegung der Scherfestigkeit $[\alpha_1, \beta_1]$ und Viskosität $[\alpha_2, \beta_2]$) des Materials) und die Feststoffkonzentration des Ausgangsmaterials [C_v -Wert] erforderlich. Diese Parameter können durch einfache Feldanalysen bzw. mittels Laboruntersuchungen gewonnen werden. Bis dato wurden diese Parameter ereignisbezogen analysiert und es gibt einen kleinen Datensatz für Bandbreiten von rheologischen Parametern einiger Wildbacheinzugsgebiete in Österreich. Mit diesen Einzugsgebieten und Ereignissen werden nur Teile von verschiedenen Gesteinsgrundmaterialien und geologischen Einheiten abgedeckt, sodass eine Erweiterung sinnvoll erscheint. Da es auch hinsichtlich der Datenanalyse im Labor eine Weiterentwicklung gab und sich auch die Kenntnis hinsichtlich möglicher Feststoffkonzentrationen verbessert hat, erfolgte eine Erweiterung der Datenlage mit verschiedenen Mustereinzugsgebieten auf Basis von Murgangereignissen der letzten Jahre.

Diese Studie fokussiert auf die Parametrisierung des weit verbreiteten zwei-dimensionalen Simulationsprogramms FLO-2D, das neben Reinwasser-Simulationen auch die Modellierung von Schlamm-lawinen und Murgängen ermöglicht (O'Brien et al., 1993). Ein gängiger Ansatz bei der Parametrisierung von Simulationsmodellen wie FLO-2D ist es, das Modell anhand von einem gut dokumentierten Ereignis zu kalibrieren und mit den dadurch gefundenen Parametern die gewünschten Szenarien zu rechnen. Bei fehlender Information ist es naheliegend, die Analyse eines Einzugsgebiets auf ähnliche Einzugsgebiete zu übertragen. Eine andere Möglichkeit könnte sein, Probematerial eines Murgangs im Labor zu untersuchen und Hinweise auf die rheologischen Parameter abzuleiten. Der Nachteil dabei ist zum einen, dass nur eine begrenzte Menge Material mit einem limitierten maximalen Korndurchmesser untersucht werden kann. Zum anderen können aufgrund von unvermeidlichen Skalierungsproblemen einige Effekte im Fließverhalten des Materials im Labor nur verzerrt wiedergegeben werden (Iverson, 2015).

Für Proben inklusive Korndurchmesser $< 0,1$ mm können sogenannte Rheometer verwendet werden, die standardisiert relativ genaue Angaben über das Fließverhalten der feinkörnigen Matrix liefern. Für Proben mit einem maximalen Korndurchmesser von mehreren Zentimetern wurden im wissenschaftlichen Bereich spezielle Versuchsanlagen entwickelt (Großrheometer, Förderband, rotierende Trommel, etc.). Bei der Bestimmung der Beziehung zwischen Scherrate und Scherspannung und der daraus folgenden Ableitung der rheologischen Parameter ist die Abschätzung einer repräsentativen Scherrate von besonderer Schwierigkeit und mit einigen Ungenauigkeiten verbunden. Für Mischungen mit einem hohen Feinanteil lässt sich erfahrungsgemäß eine starke Abhängigkeit der rheologischen Parameter vom Wassergehalt beobachten.

Ziel

Ziel der vorliegenden Studie ist es, Eingangsparameter für die numerische Simulation von Muren mit dem Simulationsmodell FLO-2D für verschiedene, geologisch unterschiedliche Wildbacheinzugsgebiete (Testregionen) einzugrenzen. Die Abschätzung dieser rheologischen Parameter soll zum einen durch Laboruntersuchungen von Probematerial, zum anderen durch Rückrechnung dokumentierter Ereignisse (Fallstudien) erfolgen.

Bei den Laborversuchen werden erstmals Versuche mit verschiedenen maximalen Korndurchmessern (jeweils bei verschiedenen Wassergehalten) durchgeführt. Die Idee dabei ist, durch die Untersuchung verschiedener Teilproben, auf das Fließverhalten der natürlichen Mur-Mischung (Prototyp) zu schließen und damit Eingangsparameter für das quadratische rheologische Modell der Simulationssoftware FLO-2D zu erhalten. Der Arbeitsumfang der hier beschriebenen Studie lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Abschätzung der rheologischen Parameter für das Bingham Modell aus Laborversuchen für die Materialproben (Teilproben).
- Rückrechnung von jeweils einem gut dokumentierten Murenereignis in jeder Testregion („best fit“).
- Ausarbeitung von Empfehlungen für die Praxis (sh. Tabelle 3; Kapitel Empfehlungen für die Praxis)

EZG	Ereignisdatum	Geologie	EZG [km ²]	Volumen [m ³]
Wäldletobel (Klösterle, V)	11.07.2010	Kalk, Dolomit	3,1	30.000
Firschnitzbach (Virgen, T)	04.08.2012	Schiefer	4,9	29.300
Mühlbach (Attersee, OÖ)	24.06.2009	Flysch	<0,5	~200
Schauflerbach (Wörschach, ST)	16.05.2014	Grauwacke, Kalk	0,2	~5.000

Tab. 1: Kenngrößen der unterschiedlichen Einzugsgebiete.

Tab. 1: Characteristics of investigated watersheds

Projektgebiete und Ereignisse

Die Projektgebiete wurden nach den Kriterien Ereignisse (gute Daten aus Ereignisdokumentation), Geologie, Lage und Ablagerungsverhalten, sowie Material ausgewählt. Es konnten vier gut dokumentierte Ereignisse mit dominantem Wildbachprozess Murgang in verschiedenen geologischen Größeneinheiten gefunden werden. Dabei handelt es sich um den Murgang vom 11. Juli 2010 am Wäldletobel in der Gemeinde Klösterle in Vorarlberg, den Murgang am Firschnitzbach (Gemeinde Virgen, Osttirol) am 4. August 2012, sowie kleinere Ereignisse am Neuhofenergraben/Mühlbach in der Gemeinde Attersee, Oberösterreich, am 26. Juni 2009 und am Schauflerbach, Gemeinde Wörschach, Steiermark, am 16. Mai 2014. Die Kenndaten der vier Einzugsgebiete und Ereignisdaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Nach der Auswahl der vier Ereignisse erfolgte eine punktuelle Probenahme direkt aus den Geschieberden der Einzugsgebiete mit einer Probemenge zwischen 150 bis 300 kg. Das Probematerial des Firschnitzbachs konnte aus Ablagerungsbereichen des Murgangs gewonnen werden, bei den anderen Bächen wurde das Probematerial aus Erosionsherden aus dem Einzugsgebiet bzw. aus der Transitzone gesammelt.

Rheologische Grundlagen

Das konstitutive Fließgesetz in FLO-2D lautet:

$$\tau = \tau_y + \mu \left(\frac{dv}{dz} \right) + C \left(\frac{dv}{dz} \right)^2 \quad (1)$$

wobei τ_y entspricht der Grenzscherungsspannung [Pa], μ entspricht der Bingham Viskosität [Pa.s], $dv/dz = \dot{\gamma}$ ist die Scherrate und C ein Parameter, der inertielle Korninteraktionen abbilden soll (Ansatz von Bagnold 1954). C berechnet sich intern im Programm mit

$$C = \rho l^2 + f(\rho, C_V) d^2 \quad (2)$$

wobei ρ der Dichte der Mischung entspricht, l die aus der Hydraulik übernommene Prandl'sche Mischlänge und d der mittlere Korndurchmesser. Die volumetrische Sedimentkonzentration ist definiert als:

$$C_V = \frac{V_s}{V} \quad (3)$$

mit V_s gleich dem Volumen Sediment und V das Gesamtvolumen.

Die Eingabe dieser Materialparameter in FLO-2d erfolgt über den Zusammenhang der Materialparameter und dem C_V -Wert:

Bachname	Rheometer	Ablagerungsversuch	Trommel	Größtkorn*
Firschnitzbach	0,1	16, 32 & 64	16, 32 & 64	> 500
Wäldletobel	0,1	16, 32 & 64	16, 32 & 64	> 1000
Schauflerbach	0,1	64	64	200
Mühlbach	0,1	32	32	130

* im Feld geschätzt bzw. gemessen

Tab. 2: Überblick über die maximalen Korngrößen der Teilproben [in mm] für die verschiedenen Untersuchungsmethoden.

Tab. 2: Overview of maximum grain sizes of sub-samples [in mm] investigated with different methods

$$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_V} \quad \text{und} \quad \mu = \alpha_2 e^{\beta_2 C_V} \quad (4a \ \& \ 4b)$$

wobei α_1 , β_1 , α_2 und β_2 zu bestimmende Parameter sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Gleichung (1) das Bingham Modell mit einem granularen Kornscherungsmodell verbindet. Aufgrund der Abhängigkeit vom Quadrat der Scherrate wird der letzte Term in Gleichung (1), das granulare Kornscherungsmodell, hauptsächlich bei der Geschwindigkeitsberechnung in der Transitzone von Bedeutung sein. In dieser Studie wurde der Term nicht quantifiziert. Die Bingham Grenzscherungsspannung τ_y und Viskosität μ (bzw. α_1 , β_1 , α_2 und β_2) stellen die Materialparameter dar, die hier untersucht werden.

Methodik - Laboruntersuchungen

Im Anschluss wurde die Korngrößenverteilung der Proben mittels einer Schlämmanalyse (Aerometerverfahren), einer Siebanalyse und einer Handmessung bestimmt. Die Proben bzw. Teilproben wurden anschließend mit verschiedenen Methoden untersucht. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Teilproben, die mit unterschiedlichen Methoden im Labor untersucht wurden.

Die rheologischen Untersuchungen der Murmatrix mit einer maximalen Korngröße von 0,1 mm erfolgten in einem co-axialen Zylinder-Rheometer der Firma Bohlin, Type Visco 88. Aus den Fließkurven (Scherrate-Schubspannung) dieser Tests lassen sich Grenzscherubspannung und Viskosität für Mischungen verschiedener Sedimentkonzentrationen verlässlich ableiten.

Die Ablagerungsversuche wurden auf einer schrägen Rampe durchgeführt. Die Grenzscherubspannung der Materialmischung aufgrund der Ablagerungshöhen H_0 und der Neigung θ wurde anschließend mit der Formel

$$\tau_y = \rho g H_0 \sin \theta \quad (5)$$

berechnet.

Die Fließversuche in dieser Studie wurden in einer vertikal rotierenden Trommel durchgeführt. Der Durchmesser der Trommel beträgt 2,5 m und die Breite des rechteckigen Fließquerschnitts 0,45 m. Bei jedem Versuch werden folgende Parameter auf verschiedenen Geschwindigkeitsstufen gemessen:

- Mittlere Geschwindigkeit
- Fließgeometrie, inkl. mittlerer und maximaler Höhe
- Axiales Drehmoment T
- Basal Normalspannung und basaler Porenwasserdruck
- Oberflächengeschwindigkeit

Aus diesen Informationen kann die mittlere basale Schubspannung τ_b relativ genau über

$$\tau_b = \frac{T}{\sum R_i A_i} \quad (6)$$

mit R_i gleich dem effektiven Radius der Teilflächen und A_i gleich der Fläche der benetzten Teilfläche bestimmt werden. Für die grobe Abschätzung einer repräsentativen Scherrate wurde (1) das System auf einen gleichförmig, stationären Abfluss übertragen, und (2) ein lineares Geschwindigkeitsprofil unter einer nicht-gescherten Zone („plug flow“) angenommen und iterativ gelöst (Abbildung 1). Eine detaillierte Erklärung dieser Analyseverfahren findet sich in Kaitna & Rickenmann (2007) und Kaitna et al. (2007).

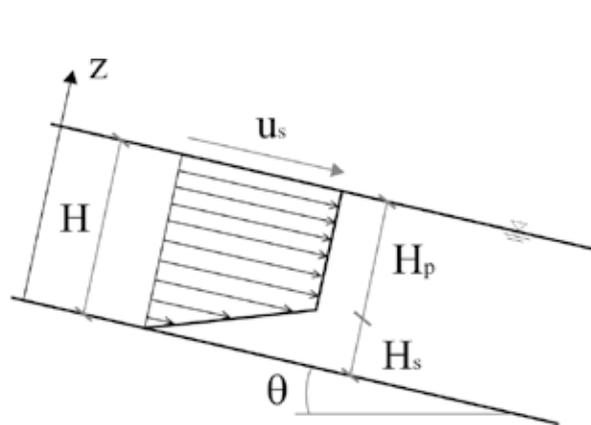


Abb. 1: Trommel-Versuchsanlage (links) und Skizze der angenommenen Geschwindigkeitsverteilung innerhalb der fließenden Masse (rechts).

Fig. 1: Experimental setup (left) and sketch of the assumed velocity distribution to calculate a representative shear rate (right)

Aufgrund der Ergebnisse der Korngrößenanalyse wurden die Proben des Firschnitzbachs und des Wäldletobels in Teilproben mit unterschiedlichem maximalen Korndurchmesser gesiebt. Diese Teilproben wurden anschließend unabhängig voneinander bei unterschiedlichen Wassergehalten in der Trommel getestet und die Fließparameter bestimmt. Für den Schauflerbach (max. $D=64$ mm) und den Mühlbach (max. $D=32$ mm) war diese Unterteilung nicht nötig, da die Gesamtprobe in der Trommel untersucht werden konnte.

Rückrechnungen

Die zur Ereignisrückrechnung notwendigen Geländemodelle basieren auf Daten der jeweiligen Gebietsbauleitungen der WLW (ALS, Orthofotos, Karten, dokumentierte Ablagerungen sowie vorhandene Ereignisdokumentationen) mit Elementlängen zwischen 3 und 5 m (Gridzellen mit 3×3 m bzw. 5×5 m). Die Ganglinien wurden basierend auf den jeweiligen Ereignisdokumentationen generiert und für die Simulationen entspre-

chend aufbereitet. Da meist keine Information der dynamischen Fließparameter für die Mur-Ereignisse vorhanden war und auch nur teilweise die Information zu Ablagerungshöhen, basierte die Evaluation der Simulation in dieser Studie rein auf den Ablagerungsflächen.

Zusätzlich zu den hier beschriebenen Rückrechnungen wurden best-fit Parameter ($\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$, sowie C_v) aus Fallbeispielen in der Literatur gesammelt und zu der Datenliste hinzugefügt.

Ergebnisse -Laborversuche

In Abbildung 2(a) sind beispielhaft die Ergebnisse der ermittelten Grenzscherubspannungen der unterschiedlichen Mischungen in Abhängigkeit des C_v -Werts aufgetragen. Man erkennt deutlich, dass der exponentielle Zusammenhang Korngrößenabhängig ist, d.h. Teilproben unterschiedlicher maximaler Korngrößen haben unterschiedliches rheologisches Verhalten. Gleiches gilt auch für die Bingham Viskosität (nicht dargestellt). Beim

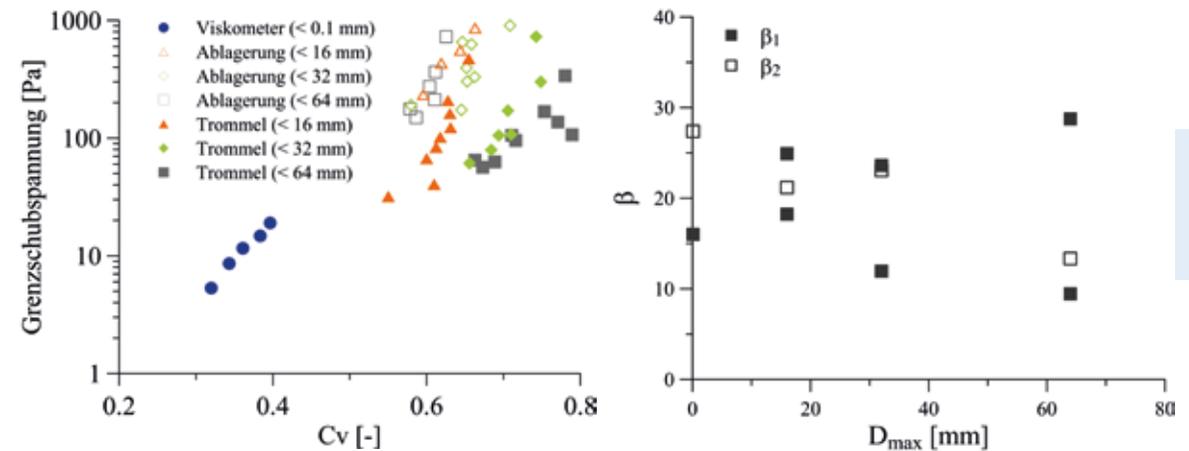


Abb. 2: (links) Ergebnisse der Grenzscherubspannung für alle Teilproben des Materials des Firschnitzbachs und (rechts) abgeleitete Exponenten β_1 und β_2 für den Zusammenhang zwischen Grenzscherubspannung, bzw. Viskosität, und dem C_v Wert.

Fig. 2: (left) Results of the yield stress for all sub-samples of the material samples at the Firschnitzbach, and (right) derived exponents β_1 and β_2 of the relation between yield stress and viscosity, respectively, and the C_v value.

Vergleich der Versuchsmethoden ist zu erkennen, dass in der vorliegenden Studie, die Grenzschubspannung ermittelt von Ablagerungsversuchen und die Grenzschubspannung aus den Trommelversuchen nicht gut übereinstimmen. Das könnte vor allem am ungünstigen Verhältnis zwischen Probemenge und Größtkorn bei den Ablagerungsversuchen liegen, da Materialmengen von über 20 kg schlecht zu bearbeiten waren. Bei geringen Materialmengen kann die mittlere Ablagerungshöhe kleiner als das vorhandene Größtkorn sein. In diesem Fall ist wahrscheinlich den Ergebnissen aus den Trommelversuchen mehr zu vertrauen. Abbildung 2(b) zeigt zusammenfassend die ermittelten Exponenten β_1 und β_2 (Gleichungen 4a und 4b) für die Teilproben des Firschnitzbaches. Die Exponenten liegen zwischen den Werten 10 und 30, es kann aber kein eindeutiger Trend für die Gesamtprobe abgeleitet werden.

Ergebnisse der Simulationen

Die beobachteten Murgang Ereignisse am Firschnitzbach, am Schauflerbach und am Wäldletobels konnten erfolgreich rückgerechnet werden. Aufgrund der Kleinräumigkeit des Ereignisses am Mühlbach war hier eine Rückrechnung nicht möglich. Abbildung 3 zeigt beispielhaft das „best-fit“-Ergebnis der Simulation des Ereignisses am Firschnitzbach.

Um für zukünftige Simulationen einen besseren Anhaltspunkt für die richtige Wahl der FLO-2D Eingangsparameter zu haben, wurde eine Liste zufriedenstellend zurückgerechneter Murgang Ereignisse erstellt. Die Liste beinhaltet die Datensätze der vorliegenden Studie, Rückrechnungen aus dem Archiv der WLV sowie Literaturangaben (Hungry & Evans, 1996; Rickenmann et al., 2006, Sosio et al., 2007).

Firschnitzbach Virgen/Osttirol Ereignis 04. August 2012

Eingangsdaten FLO-2D

Grid 3 m
Kubatur Feststoffe 76.000 m³
Rheologie
CV % 0.20 - 0.40 [Abflussscheitel]
Tau alpha 1 = 0.0005 beta 1 = 27.4
VISO alpha 2 = 0.0336 beta 2 = 16.0

Ab Lagerungskartierung nach Ereignis

Max. Fließtiefen [m]

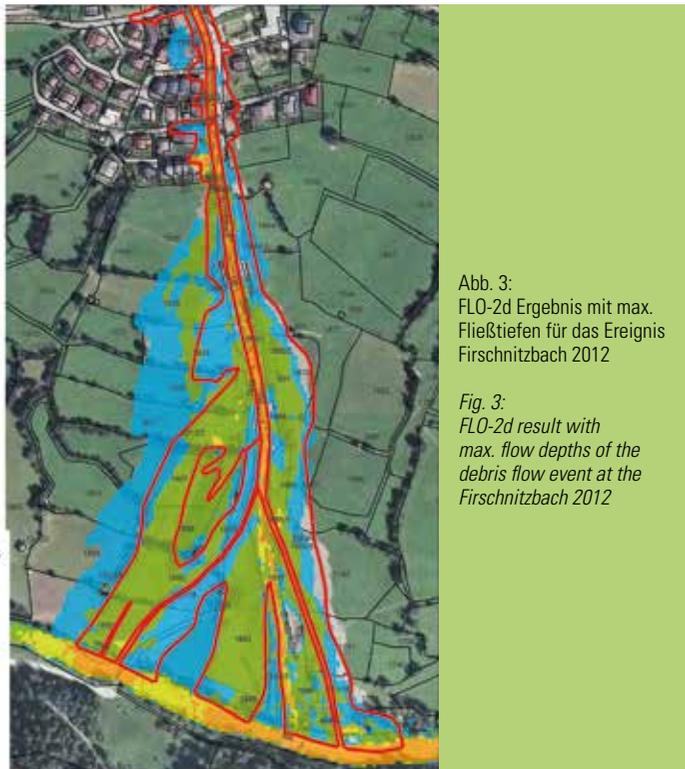
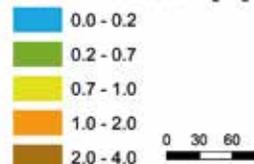


Abb. 3:
FLO-2d Ergebnis mit max.
Fließtiefen für das Ereignis
Firschnitzbach 2012

Fig. 3:
FLO-2d result with
max. flow depths of the
debris flow event at the
Firschnitzbach 2012

Die gesammelten Datensätze zeigen, dass die α Werte für die Grenzschubspannung und die Viskosität über acht Größenordnungen (zwischen 10^{-6} und 10^1) streuen, was darauf hinweist, dass die Wahl des Multiplikators der Exponentialfunktion (Gleichungen 4a und 4b) von untergeordneter Bedeutung sein könnte. Im Gegensatz dazu bewegt sich der β Wert zwischen 10 und 25. Problematisch ist, dass dieser Wert im Exponenten der Funktion ist, wodurch die relativ moderate Streuung dann doch eine große Auswirkung auf die daraus folgende Grenzschubspannung und Viskosität hat. Generell ist ein leichter Trend zu erkennen, dass mit steigendem α Wert der β Wert abnimmt.

In weiterer Folge wurde versucht, die rückgerechneten Ereignisse nach geologischen

Einheiten und dem Murgang-Typ (in Anlehnung an die ONR 24801) zu clustern. Dabei zeigt sich, dass es in Bezug auf die geologischen Einheiten zu wenige Daten gibt, um einen Trend erkennen zu können. Unterscheidet man allerdings nur grob den Murgang Typ in „granulare Mure“ und „Schlammure“ (nach ONR 24801) scheint es einen gewissen Zusammenhang zwischen Typ und Cv-Wert bzw. Größe der effektiven Grenzschubspannung und Viskosität zu geben (Tabelle 3). Aufgrund dieser Beobachtung wird hier eine grobe Einteilung für Richtwerte für das FLO-2D Modell gegeben. Die angegebenen Parameter stellen eine mögliche Bandbreite dar, die gewählten Werte sind vom Anwender festzulegen und zu begründen.

ONR 24801	steinige Mure	schlammartige Mure	
Morphologie der Ablagerung	fest / kompakt	fest / kompakt / hohe Feststoffkonzentration	flüssig / niedrige Feststoffkonzentration
Schwemmkegel / Ablagerungsbereich	steil	steil	oft flach bis mäßig steil
Cv* [-]	0,5 – 0,7	0,6 – 0,75	0,2 – 0,5
α_2^*	0,000243 – 0,04	0,0137 – 0,1826	0,0018 – 0,0336
α_1^*	0,0075 – 0,75	0,0001 – 0,75	0,000006 – 0,002
β_2^*	3 – 15	7 – 12	13,5 – 16
β_1^*	16,9 – 25	8 – 20	19 – 27

* Die angegebenen Parameter stellen eine mögliche Bandbreite dar, die gewählten Werte sind vom Anwender festzulegen und zu begründen.

Tab. 3: Mögliche Bandbreiten der Input Parameter zur FLO-2D Modellierung.

Tab. 3: Possible ranges of input parameter for FLO-2D modeling.

Zusammenfassung und Erkenntnisse für die Praxis

Im Zuge dieses Projektes erfolgte die Rückrechnung von gut dokumentierten Ereignissen unter Zuhilfenahme von direkten Materialproben aus den Einzugsgebieten. Diese Proben wurden im Felde und Labor analysiert und Grundlagen für die Simulationen ermittelt. Es zeigte sich, dass die rheologischen Parameter sehr stark streuen und bestenfalls eine Bandbreite analysiert werden kann. Weiters ist neben den reinen rheologischen Parametern (Grenzschubspannung und Viskosität) auch der dazugehörige Feststoffanteil (Cv-Wert) festzulegen. Diese Beziehung ist für die Auslauf-längen und Ablagerungshöhen nicht unwesentlich und sollte auch die zu erwartende Feststoffmenge des Ereignisses widerspiegeln. Die Berechnung der Gesamtabflussmenge Wasser und Feststoffe erfolgt für FLO-2D nach folgender Formel:

$$Q_{\text{Wasser+Feststoffe}} = \frac{Q_{\text{Wasser}}}{1 - \% \text{Feststoffe}} \quad (7)$$

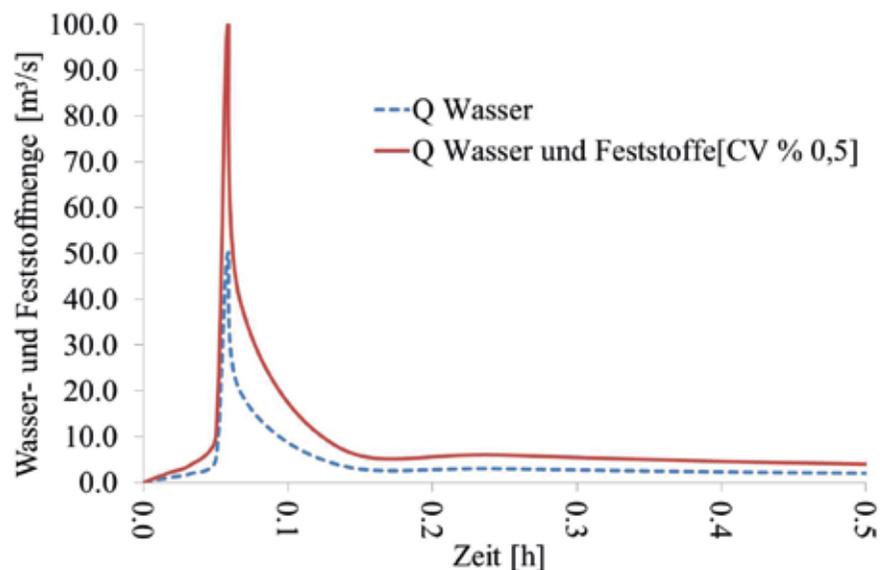


Abb. 4: Beispiel eines Murgangsedigraphen mit $C_v = 0,5$ auf Basis einer Reinwasserganglinie mit dem Scheitelwert $Q_p = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4: Example of a debris flow sedigraph with $C_v = 0,5$, based in a water hydrograph with a peak discharge $Q_p = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Im Zuge der Rückrechnungen hat sich auch gezeigt, dass die Festlegung der oben beschriebenen Parameter allein für eine gute Berechnung nicht ausreicht. Es wird empfohlen, aus der Bandbreite der möglichen Werte (Cv-Wert, effektive Grenzschubspannung $[\alpha_1, \beta_1]$ und Viskosität $[\alpha_2, \beta_2]$) verschiedene Varianten zu rechnen und die Ergebnisse auf Plausibilität auf Basis von Ereignisdokumentationen, der historischen Methode sowie Feldbegehungen zu prüfen. Die zur Murgangsimulation notwendigen Eingangsdaten sind in Abbildung 5 dargestellt. Grundsätzlich sollte das Geländemodell zur Bachmorphologie passend erstellt werden. Es kann durchaus der reine Laserscan für eine ordentliche Modellgrundlage ausreichen, im Siedlungsgebiet wird eine Verfeinerung und Verbesserung durch eine terrestrische Vermessung empfohlen, um die Genauigkeit im Bereich der Bruchkanten (Böschungsoberkante, Brücken, Wege, Hausgrundflächen) zu erhöhen. Die im Modell zu wählende Rasterzellengröße

(grid) richtet sich nach den Stabilitätskriterien zur Lösung der Differenzialgleichungen (im Modell FLO-2D: Numerical Stability Parameter, CFL-Zahl oder auch Courant-Zahl) und in weiterer Folge an die Fragestellung bzw. auch an die in der Praxis machbare Modellierungszeit. Sind große Abschnitte zu simulieren kommt man mit Zellengrößen unter 3 m auch zeitlich an die Grenzen, eine Abwägung zwischen Rechenzeit und notwendiger Auflösung sollte vom Anwender gut überlegt sein, eine zu große Auflösung größer als die Gerinnesohle ist nicht ratsam. In solchen Fällen wird das Gerinne nicht richtig dargestellt und erhöhte Vorlandabflüsse sind die Folge.

Hinsichtlich der hydraulischen Parameter wird eine Geländebegehung zur Definition der Fließrauigkeiten unbedingt empfohlen, sämtliche Einbauten wie Brücken, Durchlässe und Gebäudegrundflächen sind ebenso auf den aktuellen Stand anzupassen (in vielen Fällen reicht hier eine Abgrenzung auf Basis von Orthofotos nicht aus, sofern diese nicht „brandaktuell“ sind). Die Reinwasserganglinie ist für den sogenannten INFLOW ebenfalls aus einer hydrologischen Berechnung zu ermitteln oder mittels empirischer Ansätze festzulegen und auf Murgänge anzupassen. Bei hohen Abflüssen sollte die Ganglinie auf mehrere Gridzellen anteilmäßig aufgeteilt werden.

Die Murgangberechnung umfasst in erste Linie die Analyse des Murgangtyps und die Definition der zu erwartenden Feststoffmenge in m^3 . Je nach Murgangtyp sind dann die möglichen rheologischen Parameter und die Feststoffkonzentration [Cv-Wert] zu wählen. Je nach gewählter Feststoffkonzentration ergibt sich eine Feststoffmenge, die der Ereignisfracht $[\text{m}^3]$ entsprechen sollte. Die Formel [6] zur Berechnung wurde in diesem Beitrag ebenfalls vorgestellt.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

DI Dr. Roland Kaitna
Institut für Alpine Naturgefahren
Universität für Bodenkultur, Wien
Peter Jordanstr.82, A 1190 Wien
E-Mail: roland.kaitna@boku.ac.at

DI Markus Moser
Fachbereich Wildbachprozesse
Forsttechnischer Dienst für
Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Salzburg, GBL Lungau
Johann Löcker Str. 3, A 5580 Tamsweg
E-Mail: markus.moser@die-wildbach.at

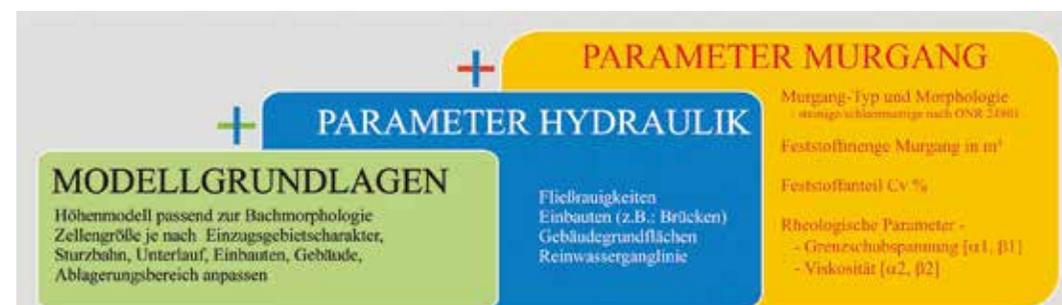


Abb.5: Grundlagen und notwendige Modellparameter am Beispiel FLO-2D

Fig. 5: Basics and necessary model parameters using the example of FLO-2D

DI Lukas Delago
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Universität für Bodenkultur, Wien
 Peter Jordanstr.82, A 1190 Wien
 E-Mail: delago_lukas@yahoo.de

Literatur / References

FLO-2D, Users' Manual, Version 99.2 (FLO Engineering Inc., Nutrioso, Arizona, USA, September 1999).

HUNGR, O. & EVANS, S. (1996):
 Rock avalanche runout prediction using a dynamic model. Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, 1, 233-238

IVERSON, R.M. (1997):
 The physics of debris flows. Reviews of Geophysics 35(3), 245-296

IVERSON, R. M. (2015):
 Scaling and design of landslide and debris-flow experiments. Geomorphology 244, 9-20 (doi: 10.1016/j.geomorph.2015.02.033)

KAITNA, R. (2013):
 Rheologische Untersuchung von Murenmaterial: Methodenübersicht. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz (Journal of Torrent, Avalanche, Landslide, and Rock Fall Engineering), 172, p.184-185 (ISBN: 978-3-9503089-6-9).

KAITNA, R., RICKENMANN, D. (2007):
 A new experimental facility for laboratory debris flow investigation. Journal of Hydraulic Research. Vol.45, No.6, pp. 797-810.

KAITNA, R.; RICKENMANN, D. & SCHATZMANN, M. (2007):
 Experimental study on rheologic behaviour of debris flow material. Acta Geotechnica 2, 71-85 (doi: 10.1007/s11440-007-0026-z)

O'BRIEN, J.; JULIEN, P. & FULLERTON, W. (1993):
 Two-Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation. Journal of Hydraulic Engineering 119, 244-261

ONR 24801 (2009):
 Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Statische und dynamische Einwirkungen (Protection works for torrent control – static and dynamic design loads). Österreichisches Normungsinstitut.

RICKENMANN, D.; LAIGLE, D.; MCARDLE, B. & HÜBL, J. (2006):
 Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events. Computational Geosciences 10, 241-264 (doi: 10.1007/s10596-005-9021-3)

SOSIO, R.; CROSTA, G. & FRATTINI, P. (2007):
 Field observations, rheological testing and numerical modelling of a debris-flow event. Earth Surface Processes and Landforms 32, 290-306 (doi: 10.1002/esp.1391).

RECKLI DESIGN YOUR CONCRETE

STRUKTUR- MATRIZEN

für alle Bereiche der Wildbachverbauung

- für Hochwasserschutzmauern
- für Einfriedungen und Stützwände
- für Ufergestaltung und Bebauung
- für Wasserstaumauern
- für Begrenzungsmauern
- ...

Fordern Sie unseren Katalog mit Standardstrukturen und zahlreichen Referenzobjekten an und lassen Sie sich von unserem Außendienstmitarbeiter weitere Referenzobjekte „Der Wildbach“ zeigen!



**PIRKER
 VISOTSCHNIG**

INGENIEURBÜRO für BAUWESEN
 8010 Graz | Beethovenstraße 22 | office@pirker-visotschnig.at

AUSSCHREIBUNG * STATISCH-KONSTRUKTIVE PRÜFUNG * VERKEHRSPPLANUNG
 TRAGWERKSPLANUNG * BAUAUFSICHT und BAUKG * SCHUTZWASSERBAUTEN

RECKLI®
 DESIGN YOUR CONCRETE

RECKLI AUSTRIA
 REINHOLD WAGNER
 BLÜMLERGASSE 20
 3434 TULBING
 TEL. +43-2273-20131
 MOBIL +43-664-5424437
 RWAGNER@RECKLI.AT

WWW.WORLDWIDE.RECKLI.COM/AUSTRIA

FRANZ ANKER, LUDWIG FEGERL, JOHANNES HÜBL,
FLORIAN NEUMAYER, MARKUS KEUSCHNIG, ROLAND KAITNA

Geschiebetransport in Gletscherbächen der Hohen Tauern: Beispiel Obersulzbach

Bedload transport in a glacier-torrent of the Hohen Tauern: Case study Obersulzbach

Zusammenfassung:

Der Siedlungsraum im Bereich der Sulzau im Gemeindegebiet von Neukirchen am Großvenediger war seit jeher von der regen Wildbachtätigkeit des Obersulzbaches geprägt. Die leidvollen Erfahrungen waren auch dafür ausschlaggebend, dass bereits vor über 100 Jahren mit der Umsetzung erster Schutzmaßnahmen begonnen wurde. Durch die Verbauungsmaßnahmen der Vergangenheit konnte ein veritabler Schutzgrad erzielt werden. Das steigende Sicherheitsbedürfnis aber auch geänderte einzugsspezifische Rahmenbedingungen erfordern eine Weiterentwicklung der bisherigen Schutzkonzepte. Exemplarisch soll das Beispiel der Massenbewegung am Sattelkar im hinteren Einzugsgebiet des Obersulzbaches vorgestellt werden; ein Phänomen, das möglicherweise mit klimatischen Änderungen in Verbindung steht und eine neue Herausforderung für den Schutz vor Naturgefahren im alpinen Bereich bedeutet.

Stichwörter:

Geschiebetransport, Massenverlagerung, Klimaveränderung, Schutzkonzept

Abstract:

The settlement of Sulzau in the municipality of Neukirchen am Großvenediger was always influenced by torrent activity of the Obersulzbach. The painful experiences were responsible for the implementation of mitigation measures in the last 100 years. With these mitigation measures a veritable degree of protection could be achieved. The increasing need for safety but also altered catchment surrounding conditions require a further development of the existing mitigation measures. This case study presents the mass movement in Sattelkar area in the upper part of the catchment, which is a phenomenon probably due to climatic changes and presents a new challenge for the protection against natural hazards in the Alpine area.

Keywords:

Bedload transport, mass movement, climate change, protection concept

Allgemeine Beschreibung des Wildbacheinzugsgebietes

Ignaz Kürsinger, k. u. k. Pfleger von Mittersill und Initiator der Erstbesteigung des Großvenedigers, welche sich heuer zum 175-igsten Mal jährt, schreibt 1841 über den Obersulzbach: „... unglückliche und der Gegend von Sulzau alles Unheil verkündende Verhältnisse bestehen auch bey dem Obersulzbach, der ebenso nachteilig von Süden her die Salzache zurückdrängt und die Gründe mit dem ganz unfruchtbaren Keessande überhäufet, wodurch sodann der arme Landsmann oft viele Jahre alles Nutzens seiner Feldwirtschaft ... beraubt wird.“

Der Obersulzbach ist ein rechtsufriger Zubringer zur Salzach, dessen südliche Grenze des Einzugsgebietes durch den Alpenhauptkamm gebildet wird. Er entwässert ein Einzugsgebiet von 80,9 km² und besitzt eine Lauflänge von 16,6 km. Die höchste Erhebung des Einzugsgebietes wird durch den Großvenediger mit einer Höhe von 3.657 m gebildet. Die Vergletscherung des Einzugsgebietes betrug im Jahr 2012 ca. 12,4 km² – das entspricht 15 % des Einzugsgebietes. Der Bewaldungsanteil beträgt 15,5 %; der Anteil des Ödlandes mit geringem Bewuchs beträgt rd. 32 %, der Anteil des Ödlandes ohne Bewuchs / Felsgelände beträgt rd. 31 %.

Durch den tiefen Einschnitt der Felschwelle am Talausgang werden die im Mittellauf gelagerten glazialen Ablagerungen unterschritten und im Ereignisfall mobilisiert. Auf Grund der Lage, der Größe des Einzugsgebietes sowie der hohen Geschiebe- und Wildholzverfügbarkeit nimmt der Obersulzbach nicht nur für den unmittelbar angeschlossenen Siedlungsbereich „Sulzau“ sondern für das gesamte Salzachtal bis Mittersill eine herausragende Stellung in Hinblick auf sicherheitstechnische Belange bei fluviatilen Prozessen ein.

Die Hochwässer am Obersulzbach sind zumeist an mehr als 12 Stunden dauernde Starkniederschläge mit Regen bis in die Gipfelregionen und entsprechender Vorbefeuchtung gebunden. Erwärmung trägt durch Abschmelzen von Schnee zusätzlich verstärkend zum Abflussgeschehen bei.

In letzter Zeit treten verstärkt Hangprozesse im hinteren Talbereich auf, die möglicherweise mit dem Abschmelzen der Gletscher bzw. dem Abtauen des Permafrostbereichs in Verbindung stehen. Seit 2005 und verstärkt seit 2014 sind erhebliche Materialeinträge aus der rechtsufrigen Flanke im Bereich des sogenannten Sattelkars zu verzeichnen, wodurch die ohnehin angespannte Gefährdungslage zusätzlich verstärkt wird.

Historische Ereignisse / Verbauungsgeschichte

Für den Obersulzbach ist eine Reihe von historisch dokumentierten Ereignissen überliefert, die hier nur in Auszügen wiedergegeben werden können:

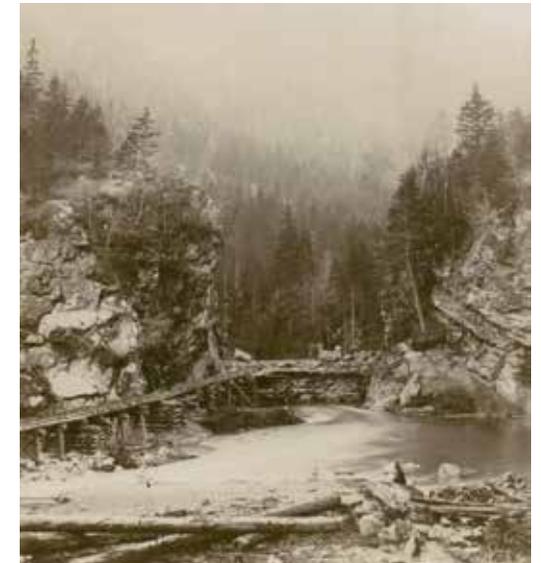


Abb. 1: Historische Aufnahme anlässlich der Errichtung der sog. Blauseesperre am Obersulzbach (Quelle WLV)

Fig. 1: Historical picture of the construction of the consolidation dam, called Blauseesperre, in the Obersulzbach

Ein erstes Ereignis ist bereits 1597 überliefert. 1686 wurden nahezu 100 Stück Vieh getötet und Gründe mit Sand „überzogen“ bzw. „in Letten eingeschlamm“. Viele Güter haben starken Schaden genommen. 1878 wurde eine „Wassergroße schlimmsten Ausmaßes“ verzeichnet. Nach tagelangen Niederschlägen ist das Salzachtal nur mehr ein großer See. Der Obersulzbach führt unglaubliche Mengen an Gletscherwasser, bricht durch die schönsten Felder hindurch, vernichtet den Weizen und lagert Geröll, Schutt, Steine und Holz auf den Feldern ab. Mehrere Lehen sind beinahe ganz ruiniert. Im 19. Jahrhundert ist eine Häufung von Schadereignissen zu verzeichnen, die die örtliche betroffene Bevölkerung zur Gründung einer Wassergenossenschaft bewegt. Wenige Jahre

nach Gründung des Forsttechnischen Dienstes wird ab 1893 an einer Enge am Talausgang mit der Errichtung einer Steinsperre (Blauseesperre) begonnen, die im Endausbau 1958 eine Höhe von ca. 21 Metern erreicht. Parallel dazu wird das Schwemmkegelgerinne ausgebaut und gesichert. Das Gerinne ist am Schwemmkegel gegenüber dem Umland stark aufgedämmt, sodass Ausbrüche stets eine schwere Belastung des Umfeldes darstellen.

Ein Hochwasserereignis am 25. August 1987 trägt neuerlich zu einer schweren Beeinträchtigung der Siedlungen in der Sulzau bei. Verstärkt durch den Grundbruch einer Vorsperre tritt der Bach bereits am Schwemmkegel über die Ufer und flutet einen Großteil des Schwemmfächers.



Abb. 2: Hochwasser Obersulzbach am 25. August 1987 (Quelle Pangerl 1991)

Fig. 2: Flood event Obersulzbach, 25. August 1987

Beim Hochwasser am 30./31. Juli 2014 wird ein Spitzenabfluss/Hochwasserscheitel von rd. 135 m³/s am Pegel Sulzau gemessen. Nur durch Notfallmaßnahmen kann ein Bachausbruch verhindert werden. Als Sofortmaßnahme werden – auf Grund des schlechten Erhaltungszustands der in Teilen bereits über 100 Jahre alten Blauseesperre mit einem geschätzten Rückhaltevolumen von rd. 1,5 Mio. m³ – die Planungen für einen Ersatzbau intensiviert und bereits 2015 mit den Baumaßnahmen begonnen.

Verbauungsmaßnahmen im Rahmen des aktuellen Projekts der WLV

Im Vordergrund der Bemühungen für den Hochwasserschutz für den Weiler Sulzau steht die Sicherstellung des bisherigen Verbauungserfolges. Seit der Errichtung der sogenannten Blauseesperre und den mannigfachen Bemühungen um die Ertüchtigung und Erosionssicherung des

Schwemmkegelgerinnes konnten nachteilige Auswirkungen für den Siedlungsraum im Hochwasserfall maßgeblich gemindert werden.

Bereits im Jahr 2010 wurde eine genaue Analyse des Bauwerkszustandes vorgenommen. An der Sperrenfront waren größere Steine ausgebrochen bzw. bewegt, die Abflusssektion stark beschädigt. Der frei gelegte Betonmörtel war bereits stark angegriffen und ließ sich einfach abtragen. Die eingeschränkten (Stand-) Sicherheitsverhältnisse machten einen Neubau erforderlich.

Aufgrund der erkundeten Untergrundbedingungen wird der Neubau im Bereich der derzeit bestehenden Vorsperre realisiert, diese Sperre soll die Funktion der alten Konsolidierungssperre übernehmen. Zur Errichtung gelangt eine rd. 20 Meter hohe Pfeilerplattensperre mit einer Einbandbreite von rd. 75 Metern. Die dafür erforderliche Betonkubatur liegt bei rd. 8.000 m³. Außerdem sind noch Sicherungen an der Schwemmkegelkünette



Abb. 3: Im Bau befindliche neue Blauseesperre – Stand Mai 2016 (im Hintergrund ist die alte Steinsperre erkennbar) (Quelle WLV)

Fig. 3: New Blausee consolidation dam under construction (May 2016)

geplant. Ein System von 3 Objekt-Schutzdämmen nahe am Siedlungsbereich soll im Überlastfall die Gebäude wirksam schützen. Die in den letzten Jahren zunehmenden gravitativen Phänomene im hinteren Einzugsgebiet des Obersulzbaches (z.B.: Sattelkar) führen zu verstärkten Geschiebeeinträgen und können unter Umständen auch unkontrollierbare Stau- und Durchbruchsszenarien zur Folge haben. Aus diesem Grund kann für die Zukunft beim Obersulzbach eine Überschreitung der angenommenen Bemessungsgrößen für Hochwasser- und Geschiebe nicht ausgeschlossen werden.

Geologie und Morphologie des Einzugsgebietes

Das Obersulzbachtal nimmt seinen Verlauf in den Zentralgneisen des Tauernfensters mit dem markanten Hochpunkt des Großvenedigers (3657 m.ü.A.). Von diesem hat sich das Tal durch glaziale und fluviatile Erosionsprozesse tief in die etwa NE-SW streichenden Einheiten mit steilem SE-gerichteten Einfallen eingeschnitten und ein Profil aus verschiedenen Metaplutoniten freigelegt. So sind neben geringmetamorphen Graniten vor allem Gneise, Augengneise und Flasergneise aufgeschlossen. Etwa auf halber Länge beginnt sich der Obersulzbach in einen Zug von Gesteinen der Nordrahmenzone in Form von Glimmerschiefern und Amphiboliten einzuschneiden und fällt in dem erosionsempfindlicheren Material mit steilen Flanken und Wasserfällen etwa 250 Höhenmeter tiefer. Der untere Bachabschnitt verläuft gleichmäßig fallend durch Gneise und eingeschaltete Amphibolite dem Salzachtal zu. Am Talausgang durchbricht der Obersulzbach eine niedrige Felsbarriere aus Kalkmarmoren und Porphyroiden südlich der Tauernnordrandstörung, bevor er dann sein Geschiebe in das Salzachtal ergießt.

Morphologisch ist das Tal stark durch die Vergletscherungen geprägt, die ein markantes Trogtal mit hochliegenden Karschultern ausform-

ten. Insbesondere am Talschluß, mit den zahlreichen teilweise noch vergletscherten Karen und Rücken sind markante Moränenablagerungen mit mächtigen Seitenmoränen und Endmoränenwällen mehrerer glazialer Vorstöße vorhanden. Mit abnehmender Seehöhe wird der moränenverschmierte Talraum von immer größeren Schuttkegeln der Talflanken geprägt, bis unterhalb der Glimmerschieferschwelle der gesamte Talraum von Schuttkörpern eingenommen wird. Im Bereich des Strömungsschattens der Glimmerschieferschwelle ist ein mächtiger Moränenkörper verblieben, der durch die Erosion des Baches mittlerweile übersteilte Böschungen mit bis zu 100 m Höhe (z. B. Kampriese) aufweist.

Massenverlagerungsphänomene im hinteren Einzugsgebiet

Abgesehen von Gletscherrückgang, Sturzereignissen aus den Felswänden und kleineren Muren verhalten sich die Flanken im Bereich des Talschlusses im Wesentlichen stabil. Im Bereich des westexponierten Sattelkars auf 2300 m. ü. A. ändert sich dieses Bild. Analysen der Fa. Geconsult ZT GmbH ergaben, dass sich nach 2003 der rd. 30° steile Schuttkörper im Kar mit großer Dynamik aufzulösen begann (Abbildung 4). Seither sind in diesem Talbereich großvolumige Massenbewegungen im Gange. Die Rutschung hat 2015 eine Fläche von über 13 ha erreicht und es sind Bewegungsraten von über 10 m/a anhand der Orthofotos (Befliegungen aus 2003, 2007, 2012, 2015) nachvollziehbar. Dabei schreitet die Bewegung rück und hat mittlerweile eine Höhererstreckung von 500 m erreicht. Das Material, grobblockiger Hangschutt und Felssturzmaterial mit teils hausgroßen Komponenten und einer Mächtigkeit von etwa 10 m, früher teilweise durch einen Blockgletscher gebunden, rutscht stromartig über die Karschwelle rd. 250 m tief ab.

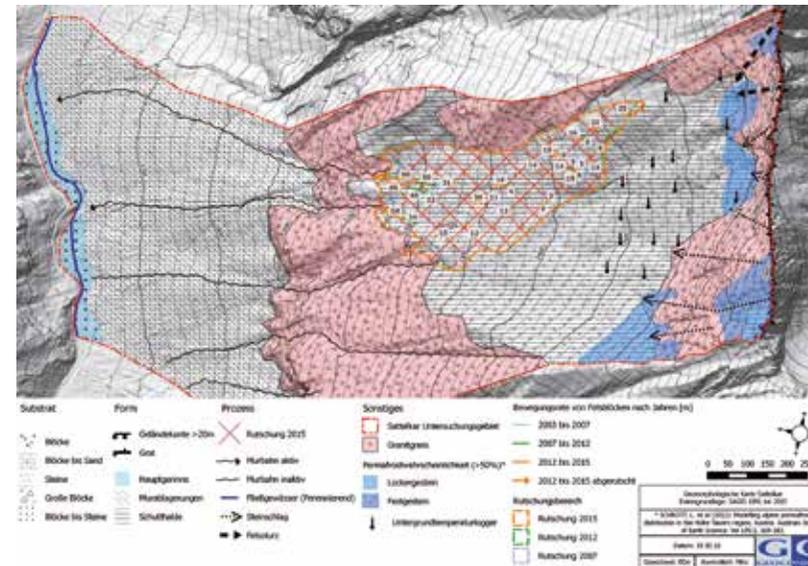


Abb. 4:
Geomorphologische
Karte Sattelkar

Fig. 4:
Geomorphological
map of the Sattelkar

Die Niederschläge vom 30. und 31. Juli 2014 führten zu mehreren Massenverlagerungsprozessen im hinteren Teil des Einzugsgebietes des Obersulzbachtals. Von besonderer Bedeutung war der Murenabgang aus dem Sattelkar Einzugsgebiet, einem unbedeutenden rechtsufrigen Zubringer des Obersulzbaches mit einer Fläche von 0,4 km². Die Ablagerungen verlegten den Vorfluter vollständig und es kam zu einem kurzzeitigen Rückstau. Die ersten Murschübe traten am 31. Juli ab 01:00 MEZ auf, die größten Murschübe, die in

einem zeitlichen Abstand von ca. 2 bis 3 Minuten abgingen, waren ab 05:30 MEZ zu beobachten. Die Murtätigkeit klang gegen Abend ab.

Aufgrund der großen Murenfracht wurde seitens des Institutes für Alpine Naturgefahren eine Befliegung mit einem UAV (unmanned aerial vehicle) einige Wochen nach dem Ereignis durchgeführt, um eine grobe Abschätzung der erodierten und abgelagerten Geschiebemengen zu erhalten. Da zu diesem Zeitpunkt die Ablagerungen am proximalen Ende des Kegels durch Aufräu-



Abb. 5: (links) Die Ablagerungen zahlreicher Murschübe aus dem Sattelkarbach im Tallauf des Obersulzbaches (Foto: L. Fegerl); (rechts) das eingetiefte Kegelgerinne des Sattelkarbaches (Foto: R. Kaitna)

Fig. 5: (left) Deposition area after several debris flow surges from the cirque Sattelkar, a minor sub-catchment of the Obersulzbach valley (photo: WLV); (right) massive incised channel of the Sattelkar torrent (photo: R. Kaitna).

mungsarbeiten schon verändert wurden, wurde dieser Bereich anhand von Fotodokumentation rekonstruiert. Mit den Datensätzen vor (ALS) und nach dem Ereignis (UAV + Rekonstruktion) lassen sich die verlagerten Kubaturen bestimmen (Abbildung 6). Insgesamt wurden ca. 170.000 m³ Material am Kegel und im Tallauf des Obersulzbaches abgelagert. Rund 70.000 m³ Geschiebe entstammen dem Einzugsgebiet oberhalb der Karschwelle

auf 2000 m. ü. A., etwa 100.000 m³ wurden im Rahmen des Ereignisses im Kegelgerinne mobilisiert. Die maximale Eintiefung beträgt 14 m, eine Erosion von mindestens 10 m wird auf einer Länge von mehr als 200 Metern erreicht. Berechnet man eine mittlere Abtragsfläche aus mehreren Querprofilen, lässt sich eine Erosionsleistung von 300 m³ pro Laufmeter ermitteln.

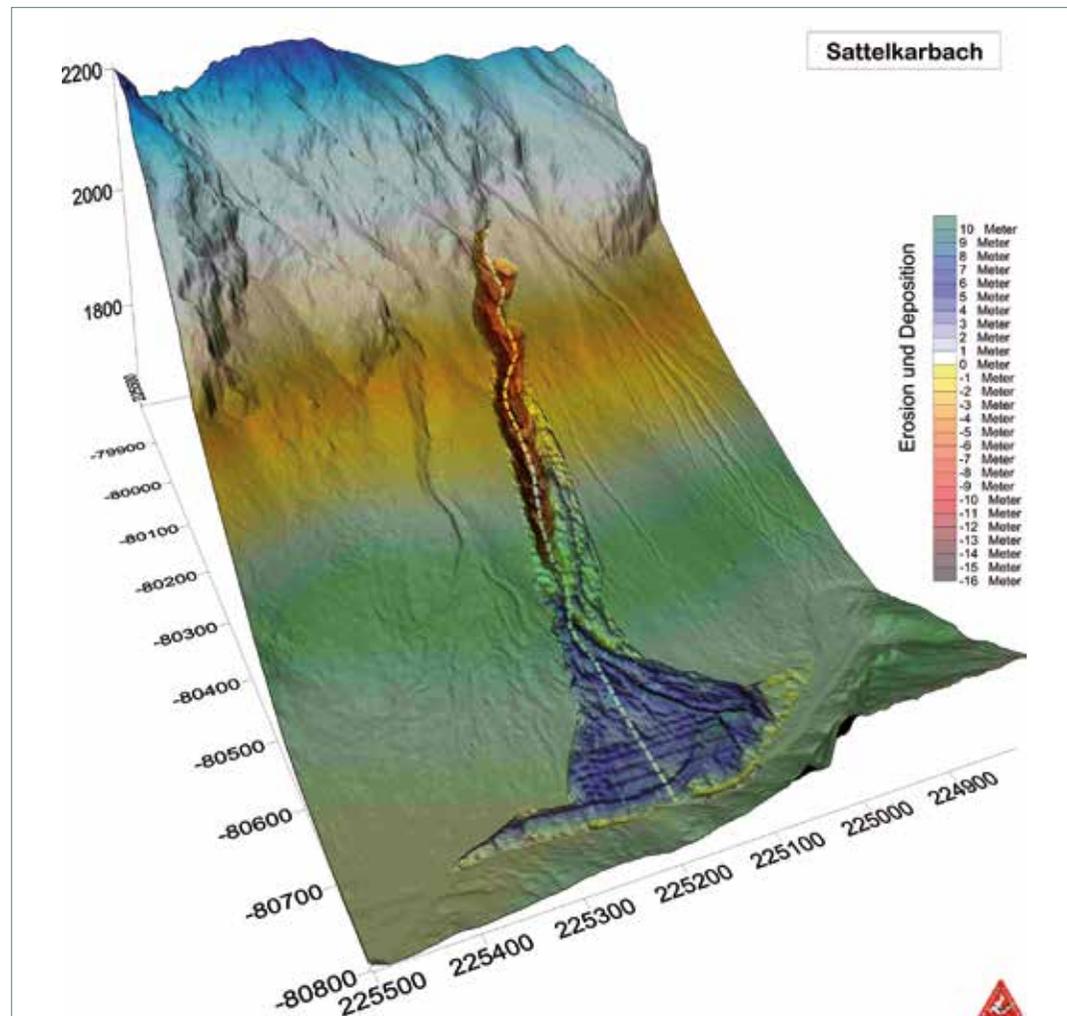


Abb. 6: Erosionstiefen und Ablagerungshöhen am Kegel des Sattelkargrabens aus dem differentiellen digitalen Höhenmodellen und der Rekonstruktion mittels Fotodokumentation

Fig. 6: Erosion depths and deposition heights of the Sattelkar, based on differential digital elevation models and reconstruction from photo documentation

Murgang Erosions-Modellierung Sattelkar

Für die Modellierung des Murgangs wurde das Programm RAMMS-DF verwendet. Da bei dem Ereignis der Großteil des abgelagerten Materials erodiert wurde, wurde in Zusammenarbeit mit der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) die Programmerweiterung „Erosion“ getestet. Das Erosionsmodul beinhaltet verschiedene Ansätze um die Erosion während des Ereignisses zu modellieren. Hier stellen wir die Ergebnisse mit dem empirischen Ansatz nach Schürch et al. (2011) vor. Der Ansatz basiert auf Feldmessungen der Erosion und Fließhöhe. Der Algorithmus beschreibt die potentielle Erosionstiefe als Funktion der basalen Scherspannung des Murganges und beruht auf der Annahme, dass der Großteil der Erosion von Muren meist im Bereich der granularen Murfront stattfindet (vgl. Berger et al., 2011; Frank et al., 2015), somit wird von kurzen Erosionszeiten und hohen Erosionsraten ausgegangen. Der Erosionsansatz nach Schürch berechnet auf Grund der maximal wirkenden Schubspannung die maximale potentielle Erosionstiefe jeder Zelle des Berechnungsrasters. Nach Erreichen der maximalen Erosionstiefe findet keine Erosion mehr statt.

Es wurden drei Szenarien erstellt um einen direkten Vergleich der Simulation mit bzw. ohne Erosion zu erhalten:

- Simulation ohne Erosion mittels Dreipunkt-Ganglinie (Vergleichsszenario)
- Simulation mit Erosion mittels Dreipunkt-Ganglinie (ein Schub)
- Simulation mit Erosion – „multiple surge Simulation“ mit Aktualisierung des DGM nach jedem Schub (zwei Schübe)

Die Szenarien wurden über die Auslauflänge (Länge der Ablagerungen am Murkegel) und die Übereinstimmung der simulierten mit der beobachteten Ablagerungsfläche beurteilt. Außerdem

wurde die simulierte Geschiebebilanz (Verhältnis Initialvolumen zu Erosionsvolumen) der einzelnen Szenarien gegenübergestellt um die Möglichkeit der Simulation von Murgängen mit großer Erosionsleistung zu evaluieren.

Es zeigt sich, dass die Ganglinie in ihrer Form und mit ihrem Maximaldurchfluss einen wichtigen Faktor für die Simulation der Erosion darstellt. Der Maximaldurchfluss beeinflusst durch den großen Einfluss auf die maximal wirkende Schubspannung direkt die maximale Erosionstiefe. Auch die Form der Ganglinie ist für die Simulation der Erosion ausschlaggebend, da lange Ganglinien kleinere Erosionsvolumina relativ zum Initialvolumen bedingen.

Somit erscheint eine „multiple surge Simulation“, bei der der Murgang in mehrere Schübe aufgeteilt und jeder Schub getrennt simuliert wird, als sinnvoll für die Simulation von Muren mit großer Erosionsleistung. Nach der Simulation eines Murschubes wird das DGM in einem GIS-Produkt aktualisiert, also die Ablagerungen dem Gelände addiert und die Erosion subtrahiert. Somit wird der darauffolgende Schub schon in einem durch den vorhergehenden Schub beeinflussten DGM simuliert. Dadurch wird der Erosionskanal schon durch den ersten Murschub eingetieft und die darauffolgenden Murschübe kanalisiert. Dies sollte zu einer besseren Simulation des Fließweges und einem Verhindern des Ausbrechens der Masse führen.

Bei dieser Methode kam es allerdings mit steigender Anzahl der aufeinander simulierten Murschüben zu numerischen Problemen, die den steigenden lokalen Gradienten in z-Richtung geschuldet sein dürften. Die Anzahl der Murschübe wurde auf zwei begrenzt, um die numerischen Probleme zu minimieren und dennoch den Vorteil der besseren Simulation der Geschiebebilanz der „multiple surge Simulation“ zu erhalten.

In weiterer Folge wurde versucht, die



Abb. 7: (links) Beispiel der Simulationsergebnisse. Schwarze Umrandung: Szenario ohne Erosion, blaue Umrandung: Szenario mit Erosion (Dreipunkt-Ganglinie; ein Schub), gelbe Umrandung: „multiple surge simulation“ mit Variation der Voellmy Parameter, rote Umrandung: „multiple surge simulation“ ohne Variation der Parameter; (rechts) Ausschnitt aus dem Orthophoto 2015, ein Jahr nach dem Ereignis.

Fig. 7: (left) Example of simulation results. Black line: scenario without erosion, blue line: scenario including erosion (triangular hydrograph, one surge), yellow line: multiple surge simulation with variation of Voellmy parameters, red line: multiple surge simulation without variation of Voellmy parameters, (right) Orthophoto of 2015, one year after the event; note that depositions were re-worked.

Reibungsparameter der einzelnen Murschübe zu variieren, um der großen Bandbreite der Zusammensetzung eines Murgangs in ihrem zeitlichen Verlauf Rechnung zu tragen und die Ablagerungen der beobachteten Mure besser simulieren zu können. Durch die Variation der Reibungsparameter zwischen den Murschüben konnten die beobachteten Ablagerungen besser simuliert werden.

Vergleicht man die einzelnen Szenarien, wird deutlich, dass die Simulation der Erosion zu einer Verbesserung der Simulation der Ablagerungsfläche und Ablagerungshöhen führt. Die beobachtete außergewöhnliche Geschiebebilanz von ca. 70.000 m³ Initialvolumen und ca. 100.000 m³ Erosionsvolumen konnte nicht simuliert werden. Jedoch ergab die „multiple surge Simulation“ mit der Variation der Reibungsparameter zwischen den Schüben eine Geschiebebilanz von 91.000 m³ Initialvolumen und 74.000 m³ Erosionsvolumen. Dies führte zu einem verbesserten Lauf- und Ablagerungsverhalten. Auch die simulierten Ablagerungshöhen dieses Szenarios sind mit 9 Meter nur knapp unter den gemessenen 10 Metern.

Für die Praxis sollte erwähnt werden, dass die Simulation der Erosion einiges an Vorarbeit und Justierung erfordert und weitere Unsicherheiten mit sich bringt (Form der Ganglinie, Maximaldurchfluss, Anzahl der Schübe). Abbildung 7 zeigt einen Vergleich der Ablagerungsflächen der einzelnen Szenarien. Es wird deutlich, dass der Einfluss des Szenarios auf die Ablagerungsfläche eher gering ist, während es die Ablagerungshöhen, die Geschiebebilanz und teilweise die Fließwege deutlicher beeinflusst.

Szenarien / Monitoring

Der Antrieb der Bewegung ist den Wasserführungen an der Grenze des Schuttmaterials zur glattgeschliffenen Felsoberfläche im Kar geschuldet. Bisher erfolgten großvolumige Aktivierungen im Zuge von Starkniederschlägen. Durch die rück-schreitende Tendenz und die morphologische Eigenart im Kar, nämlich der nunmehrigen Aktivierung eines aufragenden fossilen Blockgletscherkörpers, ist eine Veränderung hin zu einer Aktivierung bereits bei geringeren Niederschlägen denkbar.

Zur Bestimmung möglicher Szenarien wurden einerseits die bisherigen Bewegungsraten herangezogen und es ergibt sich daraus eine potentielle Zulieferung von 35.000–70.000 m³/a. Andererseits ist durch die Ausdünnung des Rutschfußes die Möglichkeit einer Beschleunigung in Betracht zu ziehen und es wäre bei Aktivierung der vorderen Blockgletscheranteile von Kubaturen bis zu 600.000 m³ bei einem Ereignis auszugehen.

Zusätzlich zeigte eine photogrammetrische Analyse des Schuttkegels durch die Universität für Bodenkultur Wien eine Remobilisierung von 100.000 m³. Damit wäre auch eine weitere Erhöhung der potentiellen Kubaturen möglich. Im Ereignisfall wäre dann von einer dammartigen Verlegung des Obersulzbaches mit Stauhöhen von über 10 m auszugehen.

Das Sattelkar besitzt in Richtung Talschluss noch drei weitere vergleichbare Kare (Ofenkar, Mitterkar, Steinkar). Ähnlich wie im Sattelkar, wo die Bewegungen vermutlich 2005 ihren Ausgang nahmen, ist eine plötzliche Aktivierung dieser höhergelegenen Kares mit in Betracht zu ziehen.

Angesichts der Größenordnung und des Potentials der Massenbewegung ist ein genaueres Verständnis des Prozesses maßgeblich. Dazu soll in Zusammenarbeit von Nationalpark Hohe Tauern, Wildbach- und Lawinerverbauung – Gebietsbauleitung Pinzgau, sowie den Landesdienststellen für Hydrographie und Geologie ein Monitoring eingerichtet werden. Dabei ist vorgesehen durch Kameraaufnahmen im Bereich der Karschwelle und des Schuttkegels in Verbindung mit einer Wetterstation und dem Vergleich photogrammetrisch erstellter Geländemodelle, Informationen über die Niederschlagsempfindlichkeit, Veränderungen innerhalb der Rutschung und des Kares, sowie Auswirkungen auf den Obersulzbach zu sammeln. Als schwierig erweist sich die hochalpine Situation, die schlechte Erreichbar-

keit und die fehlende Mobilfunkabdeckung. Um einen denkbaren Einfluss von weichendem Permafrost auf die Aktivierung der Kare beurteilen zu können, wurden und werden das Sattelkar, sowie die weiteren Kare schrittweise mit Temperaturloggern ausgestattet.

Sedimentmanagement – Ausblick

Nach dem Hochwasser 2014 wurde in enger Kooperation mit der Bundeswasserbauverwaltung eine Strategie zur Verbesserung der Hochwassersicherheit im Oberpinzgau entwickelt. Neben der Schaffung zusätzlicher Retentionsräume zur Reduktion der Hochwasserspitzenabflüsse an der Salzach geht es hauptsächlich um eine Reduktion der massiven Geschiebe- und Wildholzeinträge aus den Tauernbächen (Obersulzbach und Krimmler Ache). Damit sollen prozessbedingte Anlandungen an der Salzach reduziert werden, um die Durchflussquerschnitte zu erhalten.

Derzeit beschränkt sich das Sedimentmanagement hauptsächlich auf die Beräumung der Ablagerungen oberwasserseitig der alten Blauseesperre. Durch den benachbarten Steinbruchbetreiber werden die angelandeten Geschiebe geräumt und verarbeitet. Auf Grund der günstigen Gesteinszusammensetzung mit überwiegendem Gneisanteil lässt sich das Material zu hochwertigen Betonzuschlägen bzw. frostsicherem Material verarbeiten.

Um den steigenden Sicherheitsanforderungen einerseits und geänderten Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet andererseits gerecht zu werden, wird es notwendig sein, eine zusätzliche Ablagerungskubatur von ca. 150–200.000 m³ Geschiebe (und Wildholz) zu realisieren. Dazu ist geplant, eine kronenoffene Funktionssperre oberhalb der Blauseesperre zu errichten und zu bewirtschaften.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

DI Franz Anker
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawin-
nenverbauung
GBL Pinzgau
Schmittenstr. 16
5700 Zell am See
E-Mail: franz.anker@die-wildbach.at

Univ. Prof. DI Dr. Johannes Hübbl
Institut für Alpine Naturgefahren
Universität für Bodenkultur, Wien
Peter Jordanstr. 82, A 1190 Wien
E-Mail: johannes.huebl@boku.ac.at

DI Dr. Roland Kaitna, DI Florian Neumayer
Institut für Alpine Naturgefahren
Universität für Bodenkultur, Wien
Peter Jordanstr. 82, A 1190 Wien
E-Mail: roland.kaitna@boku.ac.at
B. rer. nat. Msc. Markus Keuschnig

Geoconsult ZT GmbH
Hölzlstraße 5
5071 Wals bei Salzburg
E-Mail: markus.keuschnig@geoconsult.eu

Mag. Ludwig Fegerl
Referat Landesgeologischer Dienst
Michael-Pacher-Straße 36
5020 Salzburg
E-Mail: ludwig.fegerl@salzburg.gv.at

Literatur / References

Archiv WLW, Gebietsbauleitung Pinzgau

BERGER, C.; MCARDELL, B. & SCHLUNEGGER, F. (2011):
Direct measurement of channel erosion by debris flows, Illgraben, Swit-
zerland. Journal of Geophysical Research: Earth Surface 116, F01002 (doi:
10.1029/2010JF001722)

FRANK, F., MCARDELL, B. W., HUGGEL, C., & VIELI, a. (2015).
The importance of erosion for debris flow runout modelling from applica-
tions to the Swiss Alps. Natural Hazards and Earth System Sciences Discus-
sions, 3(4), 2379–2417. <http://doi.org/10.5194/nhessd-3-2379-2015>

KÜRSINGER, I. (1841).
Oberpinzgau – Der Bezirk Mittersill, Eine geschichtlich, topographisch,
statistisch, naturhistorische Skizze (S. 113)

SCHÜRCH, P., DENSMORE, A. L., ROSSER, N. J., & MCARDELL, B. W.
(2011).
Dynamic controls on erosion and deposition on debris-flow fans. Geology,
39(9), 827–830 (doi: 10.1130/G32103.1).

PANGERL, K. M. (1991).
Das Hochwasserereignis am 25. 8. 1987 im Oberpinzgau, Dissertation
Universität Salzburg

**INGENIEURBÜRO FÜR
NATURGEFAHRENMANAGEMENT**

Analysen
Planungen
Baubegleitung
Beratung und Gutachten



DI Herzog-Odilo-Straße 1/1
5310 Mondsee
CHRISTOPH SKOLAUT T: +43 660 3624341
E: christoph@skolaut.at
www.skolaut.at



Lösungen für die Geologie/Geotechnik Temporäre Maßnahmen oder
dauerhafte Überwachung von Massenbewegungen, Brücken, Straßen
oder Seilbahnen. Messen, Aufzeichnen und Sichern mit Sensoren und
Anlagen von SOMMER MESSTECHNIK. www.sommer.at

Spezialsensorik · Anlagenbau · Systemintegration · Beratung · Planung



SOMMER MESSTECHNIK
Straßenhäuser 27, A-6842 Koblach / Vorarlberg
Tel.: +43 5523 55989 | office@sommer.at | www.sommer.at

**QUALITÄT
KOMPETENZ
VERLÄSSLICHKEIT
TRIPLUS!**

beton@triplus.at | www.triplus.at



Triplus Beton GmbH & Co KG
Werk Saalfelden: 06582 70088
Büro Zell am See: 06542 53003
Betonbestellung: 0664 8372388

CHRISTOPH SKOLAUT, JULIA BRAUN, STEPHAN SCHÖBER

Identifikation potentieller Leitprozesse zur Festlegung von Bemessungsereignissen

Identification of potential hydrogeomorphic key processes to determining recurrent design events

Zusammenfassung:

Zur Festlegung des Bemessungsereignisses in der Gefahrenzonenplanung oder Projektierung ist die Bestimmung des Leitprozesses wesentlich. Die vorliegende Methodik zur Identifikation potentieller Leitprozesse unterstützt Gutachter bei ihrer Einschätzung, Homogenabschnitte von Fließgewässern (Wildbäche und Tieflandflüsse) mittels bestimmter Parameter zu beurteilen. Durch Anwendung der entwickelten Matrix vom Schreibtisch aus und Überprüfung vor Ort kann der maßgebliche Prozess für jeden Homogenbereich rasch ermittelt werden, wie die Evaluierung anhand von 12 Beispielbächen in Kärnten zeigte. Die Methodik kann weiters hinsichtlich der Feststoffmanagementkonzepte gemäß des „Nationalen Gewässerentwicklungsplans“ sowie im Kompetenzbereich der BWV bei der Förderung von Schutzmaßnahmen an Interessentengewässern angewandt werden.

Stichwörter: Leitprozess, Bemessungsereignis, Geschiebezuschlag, Homogenbereich

Abstract:

For hazard zoning or planning of control measures the identification of the hydrogeomorphic key process is an important step to determine the recurrent design event. The present methodology for the identification of potential hydrogeomorphic key processes is a practicable tool for experts assessing homogeneous sections of running waters (torrents, mountain streams and low-lying rivers) by means of certain parameters. Filling in the developed matrix from your desk and reviewing the results with field surveys on site, the potential key process is rapidly identified for each homogeneous area, as the evaluation of 12 sample streams in Carinthia shows. Furthermore, this method is a useful tool concerning sediment management concepts according to the "National Watercourse Development Plan" or financial supporting of control measures at stakeholder waters in the competence of the Austrian Flood Control Management.

Keywords: hydrogeomorphic key process, design event, bedload intensity factor

Einleitung

Die Festlegung des Bemessungsereignisses gemäß des Leitfadens zur Festlegung und Harmonisierung von Bemessungsereignissen (BMLFUW, 2010) ist sowohl in der Gefahrenzonenplanung als auch bei der Projektierung ein entscheidender Schritt. Maßgeblich dafür ist die Bestimmung des Leitprozesses und die prozessbezogene Berücksichtigung von Feststoffen (Geschiebe, Wildholz).

Im Rahmen des EU-Projektes „SedAlp – Sedimentmanagement in Alpine basins“ erarbeitete das Ingenieurbüro Skolaut NaturRaum im Auftrag der Bundeswasserbauverwaltung Kärnten eine Methodik zur Identifikation potentieller Leitprozesse in Einzugsgebieten. Diese ist für Wildbäche wie auch Tieflandflüsse gleichermaßen anwendbar, wodurch eine gesamtheitliche Beurteilung der unterschiedlichen Gewässersysteme ermöglicht wird. Mit Hilfe der entwickelten Matrix wird das Fließgewässer in Homogenbereiche gegliedert und diese anhand von 14 qualitativen und quantitativen Parametern beurteilt, um den potentiellen Leitprozess bestimmen zu können. Die Ansprache des potentiell maßgeblichen Prozesses bedeutet, dass etwaige anthropogene Einflüsse (Regulierungen, Bauwerke, etc.) nicht in die Beurteilung einfließen, sondern ausschließlich die natürliche Ausprägung beim Bemessungsereignis gemäß der Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung (BMLFUW, 2011) beurteilt wird. Die resultierende Punktezahl aus der Matrix soll dem fachkundigen Anwender bei der gutachterlichen Bestimmung des maßgeblichen Prozesses für den Homogenabschnitt unterstützend dienen. Somit ist dieser semiquantitative Ansatz ein brauchbares Werkzeug zur raschen Identifikation von potentiellen Leitprozessen, um das Bemessungsereignis festlegen zu können.

Methodikentwicklung

Im Folgenden werden die Arbeitsschritte zur Erarbeitung dieser Methodik kurz beschrieben. Basierend auf Literaturrecherchen wurden für die Leitprozessbestimmung nur solche Parameter ausgewählt, welche zum einen bereits vorhanden waren und zum anderen ohne großen Rechenaufwand oder aufwändige Vorarbeiten gutachtlich ermittelt werden konnten. Anhand von 20-30 Beispielbächen erfolgte die erste Anwendung der Beurteilungsmatrix. Im nächsten Schritt wurden die Parameter und Klassengrenzen aufgrund von Sensitivitätsanalysen adaptiert. Bei einem Workshop mit Vertretern der WLW und BWV Kärnten wurde das Konzept vorgestellt. Die Hinweise und Empfehlungen der Teilnehmer fanden in der Weiterentwicklung der Methodik Berücksichtigung. Schließlich wurden 14 qualitative und quantitative Kenngrößen, welche unten näher erklärt werden, in einer Matrix den unterschiedlichen Verlagerungs- und Prozesstypen gemäß ONR 24800:2009 (Austrian Standards Institute, 2009) zugeordnet, wie Abbildung 1 zeigt.

An 6 Beispielbächen in Kärnten wurde diese Methodik anschließend angewandt und im Feld verifiziert. Da es sich bei diesen Bächen hauptsächlich um Wildbacheinzugsgebiete handelte, wurde die Methodik in einem weiteren Durchgang an 6 größeren Einzugsgebieten mit deutlich fluvialem Charakter eingesetzt. Die Methodenevaluierung anhand der 12 Bäche bzw. Flüsse hat gezeigt, dass die Bestimmung der potentiellen Leitprozesse in Homogenbereichen anhand der 7 quantitativen und 7 qualitativen Parameter mit ausreichender Genauigkeit erfolgen konnte.

Die gewählten 14 Parameter sind in Tabelle 1 aufgelistet. Mithilfe der quantitativen

Nr	Parameter	Kriterium	Ermittlung	Gewichtung Punktezahl	HOCHWASSER fluvial		MURE murartig		
					Terminus Prozesstyp	Hochwasser mit Schwebstoff-führung	fluviatiler Feststofftransport schwacher Feststofftransport	starker Feststofftransport	murartiger Feststofftransport
1	Flussordnungszahl nach Strahler	Flussordnungszahl	quantitativ	2	> 6	3-6	2-4	1-3	1-3
2	Fläche des Einzugsgebietes am Betrachtungspunkt (km ²)	Fläche	quantitativ	3	> 1.001	50,1-1000	10,1-50	2,1-10	≤ 2
3	Melton-Zahl	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 0,3	≤ 0,3	0,31-0,6	0,31-0,6	> 0,6
4	Reliefenergie (%)	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 1	1,1-10	11-20	21-30	> 30
5	Bachlängsgefälle (%)	Gefälle	quantitativ	3	≤ 2,5	2,6-15	10-15	10-15	> 15
6	Spezifischer Abfluss (m ³ /s*km ²)	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 0,5	0,6-4	4,1-8	8,1-10	> 10
7	Schwemmkegel/Murkegel	Neigung/Form	quantitativ	3	nicht vorhanden	≤ 5 % Schwemmflächer	5,1-15 % Schwemmkegel	5,1-15 % Murkegel	10-30 % Murkegel
8	Fließgewässer-klassifikation	Gewässercharakteristik	qualitativ	2	Tieflandfluss	Tieflandfluss/Wiesen- bzw. Kleingerinne	Gebirgsfluss/ Wildbach	Wildbach	Wildbach
9	Talform	Querschnitt	qualitativ	2	Talebene/Sohl- lental	Muldental/Sohlental	Klamm/Schlucht/ Kerbtal/Muldental	Klamm/Schlucht/ Kerbtal	Klamm/Schlucht/ Kerbtal
10	Linienführung	Verlauf	qualitativ	2	mäandrierend/ gewunden	mäandrierend/ gewunden/pendelnd	gewunden/pendelnd/ fukrierend	gestreckt	gestreckt
11	Gerinne-/Flächenerosion	Relevanz	qualitativ	2	Gerinneerosion	Gerinneerosion	Gerinne- und Flächenerosion	Gerinne-, Flächenerosion und Hangprozesse	Flächenerosion und Hangprozesse
12	Geschiebeverfügbarkeit	Lockermaterialherde	qualitativ	1	nicht prozess-relevant	prozessrelevant	prozessrelevant	prozessgestaltend	prozessgestaltend
13	Ablagerungsform	Stumme Zeugen	qualitativ	2	bankige Fein- stoffrückstände	sortierte Bänke und Lappen korngestützt	sortierte Bänke und Lappen korngestützt	Bänke und Lappen, zumeist korngestützt Grobgeschiebe bis Höhe Wasserspiegel	Murköpfe/-firse (Levéés) kor- oder matrixgestützt
14	Wildholzeintrag	Relevanz	qualitativ	1	nicht prozess-relevant	nicht prozessrelevant	prozessrelevant	prozessgestaltend	prozessgestaltend
Summe der Punktezahl					0	0	0	0	0
Prozess im bachaufwärtigen Homogenbereich gutachterlich bestimmter potenzieller Leitprozess Begründung									

Abb. 1: Matrix zur Identifikation des potentiellen Leitprozesses

Fig. 1: Matrix to identify the potential hydrogeomorphic key process

Quantitative Parameter	Qualitative Parameter
Flussordnungszahl nach Strahler	Fließgewässerklassifikation
Fläche des gesamten Einzugsgebietes	Talform
Melton-Zahl	Linienführung
Reliefenergie	Gerinne-/Flächenerosion
Bachlängsgefälle	Geschiebeverfügbarkeit
Spezifischer Abfluss des Einzugsgebietes	Ablagerungsform
Ausprägung eines Schwemm-/Murkegels	Wildholzeintrag

Tab. 1: Quantitative und qualitative Parameter

Tab. 1: Quantitive and qualitative parameters

Parameter kann eine Grundaussage über die potentiellen Leitprozesse in einem Homogenabschnitt eines Gewässers getroffen werden. Unter Einbeziehung der qualitativen Parameter soll die Bestimmung des potentiellen Leitprozesses im jeweiligen Homogenabschnitt weiter konkretisiert werden.

Die Klassengrenzen der einzelnen Parameter für die 5 vorherrschenden Abflussprozesse – **Hochwasser, schwacher/starker/murartiger Feststofftransport und Murgang** – wurden entweder auf Grundlage von Fachliteratur oder empirisch auf Basis der Erfahrungen bzw. unzähliger Testläufe während der Entwicklung dieser Methodik gewählt. Eine weitere Unterteilung der Prozesse in Reinwasserabfluss und Hochwasser mit Schwebstoffführung wurde nicht vorgenommen, da sich der betrachtete potentielle Leitprozess auf natürliche Gerinne bezieht und somit beim Bemessungsereignis nahezu immer von Schwebstoffführung auszugehen ist.

Anwendung der Methodik am Beispiel Vellach

Die Vellach, ein rechtsufriger Zubringer zur Drau, umfasst ein 220 km² großes Einzugsgebiet im südlichsten Bereich Kärntens. Es reicht von den östlichen Ausläufern der Koschuta im Westen, dem Seebergsattel im Süden bis an den Petzen im Osten.

Wesentlich für die Bestimmung des Leitprozesses ist eine sorgfältige Festlegung der Homogenbereiche anhand langjähriger Erfahrung im Gebiet bzw. der Begehung vor Ort. Die Ausweisung dieser Homogenbereiche stellt den ersten Schritt in der Anwendung der Methodik dar. Die Abgrenzung erfolgt dabei nach einer gutachterlichen Einschätzung des Anwenders und ist nicht an einheitliche Abschnitte (z. B. je 500 m) gebunden. Sie soll primär anhand der **Talform** unter Beachtung des **Längsgefälles** erfolgen, da diese Indikatoren die Übergänge der potentiellen Prozessstypen näherungsweise widerspiegeln.

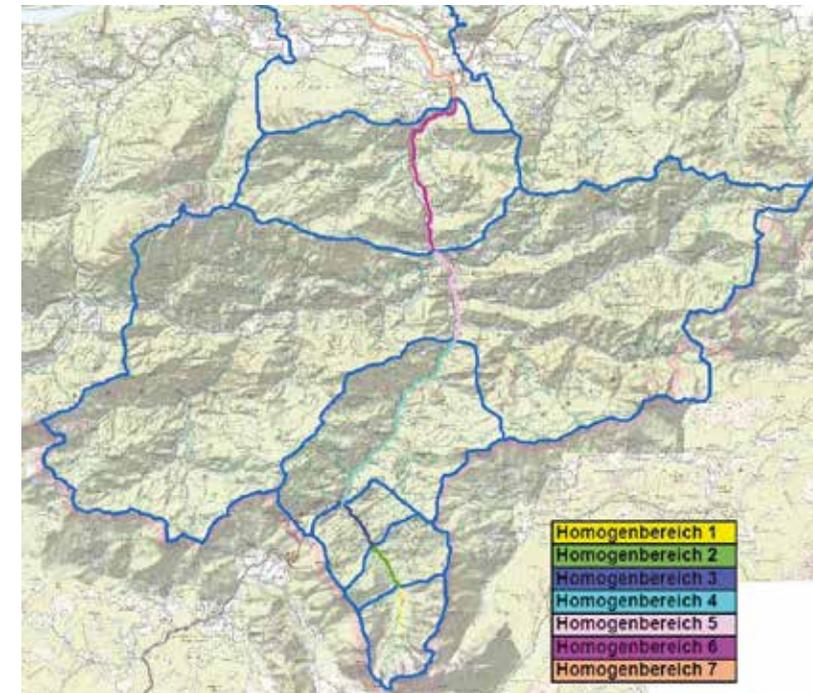


Abb. 1: Abgrenzung Homogenbereiche und zugehörige Teileinzugsgebiete im Vellach-Einzugsgebiet

Fig. 1: Demarcation of homogeneous areas and subcatchments in the Vellach-catchment

Da die Matrix keine absolute Detailgenauigkeit abbildet, bzw. gar nicht abbilden kann, wird dies für die Abgrenzung der Homogenbereiche ebenso wenig gefordert. Einen wesentlichen Einfluss auf das Prozessgeschehen können jedoch einstoßende Seitenzubringer haben. Vor allem bei gleichwertigen Zubringern ist es ratsam, einen eigenen Homogenbereich abzugrenzen. Bei großen Einzugsgebieten ist anzuraten, die Homogenbereiche nicht zu kleinteilig auszuweisen (Maßstab $\leq 1:25.000$). Bei sehr kleinen Einzugsgebieten kann die Bewertung auch anhand eines einzigen Homogenbereiches erfolgen.

In Abbildung 2 sind die insgesamt 7 ausgewiesenen Homogenbereiche für das Einzugsgebiet der Vellach dargestellt. Die Vellach wird durch zahlreiche große Zubringer gekennzeichnet, wie den Ebriachbach im Westen und den Remschenigbach, Leppenbach und Lobnigbach im Osten, die allesamt im Homogenbereich 5 einmünden. Die genannten Zubringer wurden jedoch nicht im Detail bearbeitet, sondern deren Wirkung bzw. potentieller Leitprozess im Rahmen der Erhebungen vor Ort gutachtlich eingeschätzt.

Wurde die Abgrenzung der Homogenabschnitte vorgenommen, folgt im Anschluss die Ansprache der 14 Parameter. Dabei sind für jeden ausgewiesenen Homogenbereich die Parameter auf Grundlage des Bemessungsereignisses zu erheben. Während sich die quantitativen Parameter relativ leicht aus einem Geographischen Informationssystem basierend auf der ÖK 50 ermitteln lassen, ist zur Bestimmung der qualitativen Parameter langjährige Erfahrung im zu betrachtenden Einzugsgebiet sowie bei der Ansprache von ablaufenden Prozessen in Einzugsgebieten notwendig. Insbesondere die Bewertung eines potentiellen Leitprozesses auf Basis der derzeitigen, vielfach anthropogen stark überprägten Situation stellt den Gutachter vor nicht zu unterschätzende Herausforderungen. In vielen Fällen lässt erst die Beziehung von Archiv- und Chronikmaterial eine eindeutige Bestimmung zu.

Tabelle 2 zeigt die nötigen Daten zur Bestimmung der quantitativen Größen für das Einzugsgebiet der Vellach.

	erhobene Daten											
	EZG-Fläche (km ²)	Σ EZG-Fläche (km ²)	hm von	hm bis	max. Höhe EZG (m)	min. Höhe EZG (m)	min. Höhe Bach (m)	max. Höhe Bach (m)	Lauf-länge Fließweg (km)	Lauf-länge Bach (km)	Neigung (%)	Abflusswert (m ³ /s)
Homogenbereich 1	5,86	5,86	299,0	305,5	2.000	968	968	1.060	2,90	1,27	7,2	38,0
Homogenbereich 2	4,87	10,73	283,0	299,0	1.670	929	929	968	2,30	1,58	2,5	50,0
Homogenbereich 3	4,86	15,59	265,0	283,0	1.620	850	850	929	2,50	1,73	4,6	90,0
Homogenbereich 4	22,63	38,22	194,0	265,0	1.620	680	680	850	5,50	6,75	2,5	102,0
Homogenbereich 5	127,24	165,46	166,0	194,0	830	655	655	680	2,10	3,15	0,8	250,0
Homogenbereich 6	28,16	193,62	110,0	166,0	1230	471	471	655	4,8	5,79	3,2	270,0
Homogenbereich 7	29,14	222,76	0,0	110,0	550	391	391	471	5,9	10,93	0,7	290,0

	quantitative Parameter						
	1	2	3	4	5	6	7
	Fluss-ordnungs-zahl	EZG-Fläche (km ²)	Melton-Zahl	Relief-energie (%)	Bach-längs-gefälle (%)	spez. Abfluss (m ³ /s*km ²)	Schwemm-/Murkegel (%)
Homogenbereich 1	2	5,86	0,43	35,6	7,2	6,48	
Homogenbereich 2	3	10,73	0,34	32,2	2,5	4,66	
Homogenbereich 3	3	15,59	0,35	30,8	4,6	5,77	
Homogenbereich 4	3	38,22	0,20	17,1	2,5	2,67	
Homogenbereich 5	4	165,46	0,02	3,3	0,8	1,51	
Homogenbereich 6	5	193,62	0,14	7,2	3,2	1,39	
Homogenbereich 7	5	222,76	0,03	0,9	0,7	1,30	

Tab. 2: Daten und quantitative Parameter des Einzugsgebietes der Vellach

Tab. 2: Data and quantitative parameters of the Vellach-catchment

Im nächsten Schritt bedient sich der Gutachter der Excel-Matrix aus Abbildung 1. Er kennzeichnet für den gewählten Homogenbereich die zutreffenden Kriterien aus den quantitativen und qualitativen Parametern mit einem **X**, siehe Abbildung 3. Bei einigen Parametern können durchaus mehrere Spalten zutreffend sein. Somit sind Mehrfachmarkierungen möglich. Dies wurde bewusst so gewählt, da sich auch in der Natur Prozesse nicht eindeutig festlegen lassen oder aber auch gleiche Erscheinungsformen bei verschiedenen Prozessen auftreten können. Wurden sämtliche Parameterklassen in der Matrix gekennzeichnet, erfolgt automatisch eine Aufsummierung der Gewichtungspunkte (siehe Abbildung 3).

Eine vorläufige Aussage über den potentiellen Leitprozess eines Homogenabschnittes wird durch die Punktesumme erreicht. Die Gewichtung der jeweiligen Bestimmungsgröße wurde

entsprechend der Bedeutung für die Identifikation des potentiellen Leitprozesses gewählt.

Die Summe der Punktezahl stellt jedoch nicht das Endergebnis dar, sondern liefert nur einen Hinweis auf den potentiell möglichen Leitprozess im Homogenbereich. Die endgültige Festlegung des potentiellen Leitprozesses für den jeweiligen Homogenabschnitt erfolgt durch den Gutachter nach erfolgtem Lokalaugenschein mit Begründung. Eine Begründung wird insbesondere dann notwendig und zielführend sein, wenn das Matrixergebnis keine klare Prozessansprache bringt bzw. die gutachterliche Bewertung vom Matrixergebnis deutlich abweicht. So ist bspw. bei schmalen Bächen bzw. Gerinnen auf flachen Talböden immer mit Seitenerosion infolge der geringen Bachbreite zu rechnen. Auch wenn das Matrixergebnis zum Leitprozess Hochwasser mit Schwebstoffführung tendiert, ist gutachterlich ein

Identifikation von potenziellen Leitprozessen

Nr	Parameter	Kriterium	Ermittlung	Gewichtung Punktezahl	HOCHWASSER fluvial			MURE murartig					
					Terminus Prozesstyp	Hochwasser mit Schwebstoff- führung	fluviatiler Feststofftransport schwacher Feststofftransport	starker Feststofftransport	murartiger Feststofftransport	Murgang			
1	Flussordnungszahl nach Strahler	Flussordnungszahl	quantitativ	2	> 6	3-6	X	2-4	X	1-3	X	1-3	X
2	Fläche des Einzugsgebietes am Betrachtungspunkt (km ²)	Fläche	quantitativ	3	> 1.001	50,1-1000		10,1-50	X	2,1-10		≤ 2	
3	Melton-Zahl	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 0,3	≤ 0,3		0,31-0,6	X	0,31-0,6		> 0,6	
4	Reliefenergie (%)	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 1	1,1-10		11-20		21-30		> 30	X
5	Bachlängsgefälle (%)	Gefälle	quantitativ	3	≤ 2,5	X	2,6-15	10-15		10-15		> 15	
6	Spezifischer Abfluss (m ³ /s*km ²)	Verhältnis	quantitativ	3	≤ 0,5		0,6-4	4,1-8	X	8,1-10		> 10	
7	Schwemmkegel/Murkegel	Neigung/Form	quantitativ	3	nicht vorhanden	X	≤ 5 % Schwemmflächen	5,1-15 % Schwemmkegel		5,1-15 % Murkegel		10-30 % Murkegel	
8	Fließgewässerklassifikation	Gewässer- charakteristik	qualitativ	2	Tieflandfluss	Tieflandfluss/Wiesen- bzw. Kleingerinne		Gebirgsfluss/ Wildbach	X	Wildbach	X	Wildbach	X
9	Talform	Querschnitt	qualitativ	2	Talebene/Sohl- lental	Muldental/Sohlental	X	Klamm/Schlucht/ Kerbtal/Muldental	X	Klamm/Schlucht/ Kerbtal		Klamm/Schlucht/ Kerbtal	
10	Linienführung	Verlauf	qualitativ	2	mäandrierend/ gewunden	mäandrierend/ gewunden/pendelnd	X	gewunden/pendelnd/ fukrierend	X	gestreckt		gestreckt	
11	Gerinne-/Flächenerosion	Relevanz	qualitativ	2	Gerinneerosion	X	Gerinneerosion	X	Gerinne- und Flächenerosion	X	Gerinne-, Flächenero- sion und Hangprozesse	X	Flächenerosion und Hangprozesse
12	Geschiebverfügbarkeit	Lockermaterial- herde	qualitativ	1	nicht prozessrelevant	prozessrelevant	X	prozessrelevant	X	prozessgestaltend		prozessgestaltend	
13	Ablagerungsform	Stumme Zeugen	qualitativ	2	bankige Fein- stoffrückstände	sortierte Bänke und Lappen korngestützt	X	sortierte Bänke und Lappen korngestützt	X	Bänke und Lappen, zumeist korngestützt	X	Murköpfe/-firste (Levéés) korn- oder matrixgestützt	
14	Wildholzeintrag	Relevanz	qualitativ	1	nicht prozessrelevant	nicht prozessrelevant		prozessrelevant	X	prozessgestaltend		prozessgestaltend	
Summe der Punktezahl					8	12		23		4		7	
Prozess im bachaufwärtigen Homogenbereich gutachterlich bestimmter potenzieller Leitprozess					stark fluviatiler bis murartiger Feststofftransport								
Begründung					stark fluviatiler Feststofftransport								
					flacher Bereich im hinteren Kotschnatal bis zur Wasserfassung des Kraftwerkes, Umlagerungsstrecke								

Abb. 3: Matrixeingabe und Aufsummierung der Punkte für Homogenbereich 2

Fig. 3: Input in the matrix and sum of points of homogeneous area 2

schwach fluviatiler Feststofftransport anzusprechen. Der maßgebliche Prozess im bachaufwärtigen Homogenabschnitt darf bei der Festlegung ebenso wenig außer Acht gelassen werden. Weichen die Leitprozesse von zwei aufeinanderfolgende Homogenbereiche stark voneinander ab – Abschnitt 1 ist bspw. durch einen Murgang-Prozess gekennzeichnet und Abschnitt 2 weist lediglich einen schwach fluviatilen Feststofftransport auf – sind die Ergebnisse nochmals kritisch zu hinterfragen und eventuell die Abgrenzung der Homogenbereiche zu adaptieren.

Für das Beispiel des Homogenabschnittes 2 der Vellach ergab die Punktesumme als eindeutiges Ergebnis einen stark fluviatilen Feststofftransport, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Beim Lokalaugenschein vor Ort konnte der Leitprozess bestätigt werden. Aufgrund des Längsgefälles von nur rund 2,5 % und des Muldentales ist der

Homogenbereich 2 als Umlagerungsstrecke zu charakterisieren. Der Bach verläuft pendelnd im Alluvium, wie Abbildung 4 zeigt.



Abb. 4: Umlagerungsstrecke in Homogenbereich 2

Fig. 4: Redepositional reach of homogeneous area 2

Gute und vollständige Ereignisdokumentationen liefern ebenso wertvolle Hinweise auf die abgelaufenen Prozesse. Deshalb ist ein Vergleich ratsam. Beim Beispiel der Vellach wurden die Ergebnisse der Methodik mit den Ereignisdokumentationen der WLW und BWV Kärnten abgeglichen. Die dokumentierten Ereignisse stimmten dabei mit den resultierenden Prozessen gut überein.

Vergleich der Ergebnisse mit den Bewertungen im Rahmen der Gefahrenzonenplanung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Methodikanwendung zur Identifikation potentieller Leitprozesse mit den Bewertungen im Zuge der Gefahrenzonenplanung – sowohl WLW als auch BWV – verglichen. Das Einzugsgebiet der Vellach liegt von der Quelle im Bereich des Kotschnatales bis zu Einmündung des linksufrigen Zubringers Ebriacherbach im Kompetenzbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung und umfasst eine Fließstrecke von ca. 15 km (Einzugsgebietsgröße ca. 166 km²). Auf einer Länge von weiteren ca. 17 km bis zur rechtsufrigen Einmündung in den Vorfluter Drau im Gemeindegebiet von Gallizien liegt die Vellach im Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung (gesamte Einzugsgebietsgröße rund 220 km²).

In den Jahren 2012–2015 wurde von der Bundeswasserbauverwaltung ein Gefahrenzonenplan für die Vellach erstellt, der gegenwärtig noch nicht genehmigt ist. Die Berücksichtigung der Geschiebeführung in der Vellach basierte auf dem Gefahrenzonenplan 1989 für den Kompetenzbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung. Die Geschiebefracht an der Kompetenzgrenze beträgt 50.000 m³, weitere 72.500 m³ kommen aus weiteren Zubringern bachabwärts hinzu (davon weitere 50.000 m³ vom Ebriacherbach), womit sich eine Geschiebefracht von gesamt knapp 122.000

m³ ergibt. Der Basis-Bemessungswert gemäß Hydrographie des Landes Kärnten beträgt an der Kompetenzgrenze 250 m³/s, bei Einmündung in die Drau 270 m³/s. Im Zuge der Abflusssimulation wurden ca. 8 % der Geschiebefracht als Anlandungen im Gerinne abgebildet, der Rest wurde über die Hochwasserwelle berücksichtigt. Die Einschätzung des Prozesses auf Basis der Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung der Bundeswasserbauverwaltung erfolgte als stark fluviatiler Feststofftransport.

Der Gefahrenzonenplan der Wildbach- und Lawinenverbauung wird derzeit vom Ingenieurbüro Skolaut NaturRaum überarbeitet. Bei der Begehung der Einzugsgebiete erfolgte die Ermittlung des Prozessgeschehens, der maßgeblichen Geschiebefrachten sowie der relevanten Szenarien für die Gefahrenzonenplanung für den Hauptbach sowie alle relevanten Zubringer, insbesondere der vier großen Zubringer Remschnigbach, Leppenbach, Lobnigbach und Ebriacherbach. Die im Zuge der WLW-Gefahrenzonenplanung ausgewiesenen 46 Homogenbereiche des Hauptbaches Vellach wurden für die Bearbeitung mit vorliegender Methodik in 13 WLW-Homogenbereiche zusammengefasst.

Die Homogenbereiche im Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung wurden auf Basis des technischen Berichtes der Gefahrenausweisung der Vellach (PÖRY, 2014) im Rahmen der Methodenentwicklung nach gleicher Systematik wie bei der Abgrenzung der WLW-Homogenbereiche ausgewiesen, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen. Maßgeblich für die Abgrenzung der 4 BWV-Homogenbereiche 14–17 war die Geländemorphologie sowie die Abschnitte 15 und 16 mit markanten Anlandungstendenzen aufgrund des Bachlängsgefälles sowie der geringen Abfuhrkapazität der vorhandenen Gerinnequerschnitte. Insgesamt wurden somit 17 Homogenbereiche im Zuge der GZP-Bearbeitung ausgewiesen.

Homogenbereich	Fluss-km von/bis	Lage/ Charakteristik	potentieller Leitprozess
Homogenbereich 1	29,90 – 31,17	steile Quellgräben	stark fluviatiler bis murartiger Feststofftransport
Homogenbereich 2	28,32 – 29,90	hinteres Kotschnatal	stark fluviatiler Feststofftransport
Homogenbereich 3	26,59 – 28,32	vorderes Kotschnatal bis Steinerbach	stark fluviatiler Feststofftransport
Homogenbereich 4	19,84 – 26,59	Kerbtal mit stellenweise schluchtartigem Charakter	stark fluviatiler Feststofftransport
Homogenbereich 5	16,69 – 19,84	Talaufweitung im Bereich Bad Eisen-kappel, Einstoß der 4 großen Zubringer	schwach fluviatiler Feststofftransport
Homogenbereich 6	10,93 – 16,69	Schluchtstrecke bis Miklauzhof	schwach fluviatiler Feststofftransport
Homogenbereich 7	0,00 – 10,93	Alluvion bis Drau	schwach fluviatiler Feststofftransport

Tab. 3: Ergebnisse der Ansprache der potentiellen Leitprozesse in den Homogenbereichen

Tab. 3: Results of potential hydrogeomorphic key processes in homogeneous areas

In Tabelle 3 sind die auf Basis der Anwendung der oben beschriebenen Matrix ermittelten potentiellen Leitprozesse in den 7 ausgewiesenen Homogenbereichen des Einzugsgebietes der Vellach angeführt.

In der nachstehenden Tabelle 4 sowie in Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Prozessansprachen im Rahmen der Bearbeitung der Gefah-

renzonpläne in beiden Kompetenzbereichen dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Prozessansprachen, wurden die 17 ausgewiesenen Homogenbereiche aus der Gefahrenzonenplanung in den Farben der Homogenbereiche, die bei Anwendung der Methodik zur Identifikation der potenziellen Leitprozesse verwendet wurden, dargestellt.

Homogenbereich	Fluss-km von/bis	Kompetenzbereich	aktueller Prozess	Int-Faktor lt. ONR 24802:2011
Homogenbereich 1	29,44 - 31,94	GZP WLIV	stark fluviatiler bis murartiger Feststofftransport	1,50
Homogenbereich 2	28,68 - 29,44	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,20
Homogenbereich 3	27,84 - 28,68	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,20
Homogenbereich 4	27,33 - 27,84	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10
Homogenbereich 5	26,73 - 27,33	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10
Homogenbereich 6	25,24 - 26,73	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10

Homogenbereich 7	22,18 - 25,24	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10
Homogenbereich 8	20,73 - 22,18	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10
Homogenbereich 9	19,76 - 20,73	GZP WLIV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,10
Homogenbereich 10	19,05 - 19,76	GZP WLIV	schwach fluviatiler Feststofftransport	1,05
Homogenbereich 11	18,29 - 19,05	GZP WLIV	schwach fluviatiler Feststofftransport	1,05
Homogenbereich 12	17,44 - 18,29	GZP WLIV	schwach fluviatiler Feststofftransport	1,05
Homogenbereich 13	16,93 - 17,44	GZP WLIV	schwach fluviatiler Feststofftransport	1,05
Homogenbereich 14	14,80 - 16,93	GZP BWV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,03
Homogenbereich 15	12,90 - 14,80	GZP BWV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,03
Homogenbereich 16	11,00 - 12,90	GZP BWV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,03
Homogenbereich 17	0,00 - 11,00	GZP BWV	stark fluviatiler Feststofftransport	1,03

Tab. 4: Ergebnisse der Prozessansprachen im Rahmen der Gefahrenzonenplanung

Tab. 4: Key processes determined in hazard zone mapping

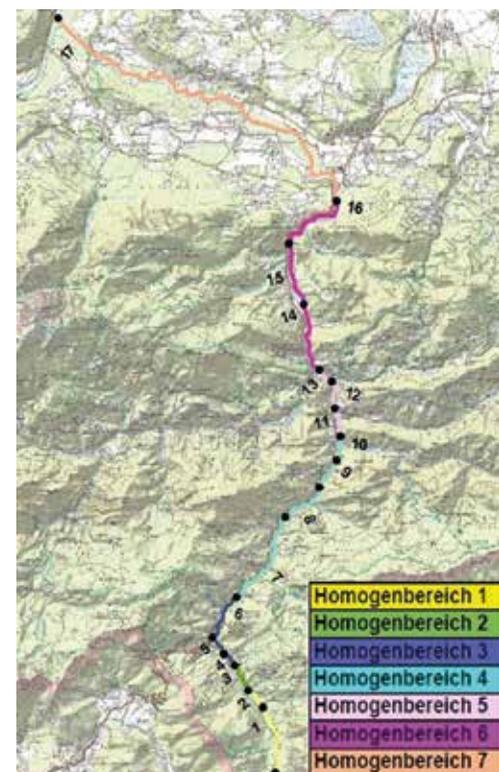


Abb. 5: Darstellung der Homogenbereiche: Punktsymbole samt Nummern markieren Homogenbereiche

Fig. 5: Homogeneous areas: points and numbers represent the homogeneous sections based on hazard zone mapping, colored lines are based on identification of potential hydrogeomorphic key processes

Der Vergleich beider Methoden im gegenständlichen Fall erscheint zulässig, zumal ja die Methode der Identifikation von potentiellen Leitprozessen von einem Zustand ohne menschliche Einflussnahme ausgeht, dh. auch vorhandene Schutzbauwerke nicht berücksichtigt. Im Einzugsgebiet der Vellach wurden in den vergangenen 90 Jahren in mehreren Etappen nur Ufer- und Sohl-sicherungen errichtet, die zwar im Ortszentrum von Eisenkappel systematisch errichtet wurden,

ansonsten jedoch nur punktuell vorkommen. Querbauwerke, die direkt in das Prozessgeschehen eingreifen – wie Filterbauwerke, Murbrecher o. ä. – wurden nicht errichtet. Einzige Ausnahme stellt der rechtsufrige Zubringer Lobnigbach dar, in dessen steilem unteren Teil des Mittellaufes eine Sperrenstaffelung zur Konsolidierung der Bachsohle und der beidufrigen steilen Einhänge errichtet wurde.

In Tabelle 4 kann die sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse aus beiden Erhebungsmethoden festgestellt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsebenen bzw. Bearbeitungsmaßstäbe ($M=1:25.000$ vs. $M=1:2.000$) sind die Grenzen der einzelnen Homogenbereiche naturgemäß nicht deckungsgleich, weisen jedoch eine ausreichende Übereinstimmung auf – Prozessübergänge können gut nachgebildet werden. Dies deckt sich auch mit der Dokumentation des Ereignisses vom 29.10.1926. In Abbildung 6 sind die Schäden des stark geschiebeführenden Hochwassers im Abschnitt der BWV bei Fluss-km 11,9–12,6 dargestellt.

Der maßgebliche Prozess im Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung wurde lt. technischem Bericht mit einem stark fluviatilen Feststofftransport charakterisiert und weicht vom Ergebnis der potentiellen Leitprozesse deutlich ab. Dies ist aufgrund unterschiedlicher Kriterien bzw. Gepflogenheiten bei der Berücksichtigung des Geschiebetriebes zwischen den beiden Fachbereichen trotz der Verwendung des gleichen Leitfadens zur Harmonisierung des Bemessungsereignisses der Fall. Zur besseren Vergleichbarkeit erfolgte die Einschätzung auf Basis des Intensitätsfaktors gemäß ONR 24802:2011 und wurde aufgrund der Abweichung zur Prozessansprache in rot dargestellt.

Mit diesem Beispiel konnte gezeigt werden, dass die Einschätzung von potentiellen Leitprozessen in Einzugsgebieten trotz der großmaß-

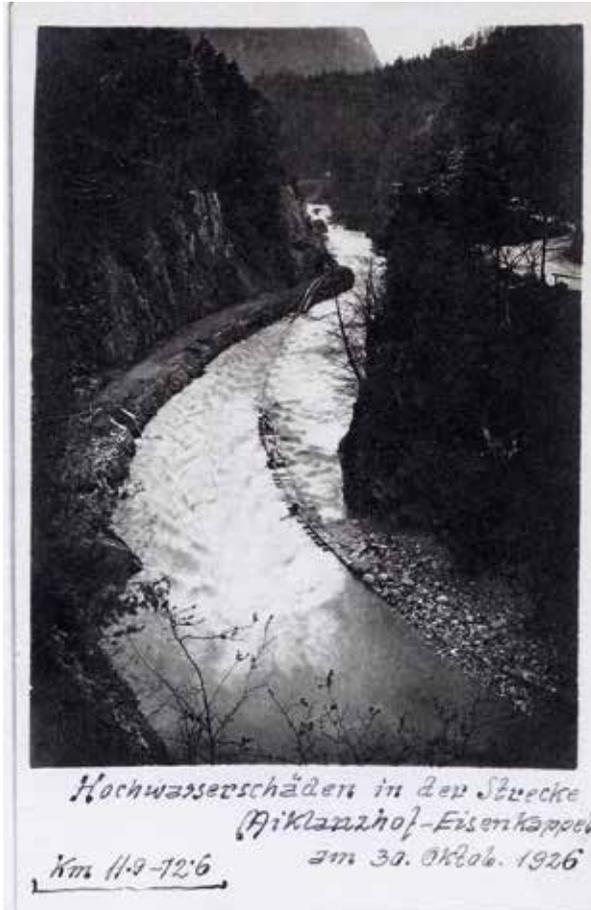


Abb. 6: Hochwasserschäden bei km 11,9-12,6 im Bereich Rechberg vom Ereignis 29.10.1926

Fig. 6: Damages caused by the flood event on 29.10.1926 at river station 11,9-12,6 in Rechberg

stäblichen Betrachtungsweise rasch verfügbare und praktikable Ergebnisse liefert, die bei näherer Betrachtung im Rahmen der Gefahrenzonenplanung weiterhin Gültigkeit besitzt.

Ausblick

Neben der Festlegung des Leitprozesses für die prozessbezogene Berücksichtigung beim Bemessungsereignis für Gefahrenzonenplanung und Projekte, erlangt die Bestimmung des Leitprozesses

auch in den Durchführungsbestimmungen zu den technischen Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung (kurz DFB 2016; BMLFUW, 2015 b) zunehmend an Bedeutung. So können gemäß der DFB geschiebebedingte Mehrkosten durch einen erhöhten Fördersatz (60 %) aus Bundesmitteln bei Schutzmaßnahmen an stark geschiebeführenden Interessentengewässern gefördert werden (BMLFUW, 2015 b). Der Begriff „stark geschiebeführend“ ist laut DFB 2016 mit den Leitprozessen schwach und stark fluviatiler Geschiebetransport (gemäß BMLFUW 2010) gleichzusetzen. Die vorliegende Methodik zur Identifikation von Leitprozessen stellt hierbei ein praktikables Werkzeug zur Erbringung des Prozessnachweises dar.

Österreichs Flüsse weisen in freien Fließstrecken oftmals ein Geschiebedefizit auf, wodurch es zu fortschreitenden Sohleintiefungen kommt (BMLFUW, 2015 a). Eine im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (BMLFUW, 2015 a) vorgeschlagene Maßnahme zur Verbesserung des Gewässerzustandes im Hinblick auf den Feststoffhaushalt ist die „Erstellung von einzugsgebietsbezogenen Feststoffmanagementkonzepten unter Berücksichtigung der vorhandenen anthropogenen Einwirkungen“ (BMLFUW, 2015 a). Nun wurde die vorliegende Methodik zwar erarbeitet, um den potentiellen Leitprozess festzulegen – also ohne Beachtung menschlicher Einflüsse – eine Weiterentwicklung zur Bestimmung des aktuellen Leitprozesses ist jedoch durchaus möglich. Vor allem im Anfangsstadium eines Feststoffmanagementkonzeptes kann die weiterentwickelte Methode ein probates Mittel sein, um auf Diskontinuitäten im Feststoffhaushalt eines Gewässers hinzuweisen. Auch im Hinblick auf eine Prioritätenreihung für Maßnahmen liefert die besagte Methode einen raschen Überblick bezüglich großer Unterschiede der maßgeblichen Prozesse aufeinanderfolgender Homogenabschnitte.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Christoph Skolaut
Ingenieurbüro Skolaut NaturRaum
Herzog-Odilo-Straße 1/1, 5310 Mondsee
christoph@skolaut.at

DI Julia Braun
Ingenieurbüro Skolaut NaturRaum
Herzog-Odilo-Straße 1/1, 5310 Mondsee
julia@skolaut.at

Dr. Stephan Schober
Amt der Kärntner Landesregierung,
Abteilung 8 Schutzwasserwirtschaft
Flatschacher Straße 70, 9020 Klagenfurt
stephan.schober@ktn.gv.at

Literatur / References

- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (2009). ON-Regel 24.800 – Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. Austrian Standards Institute, Wien.
- BMLFUW (2010). Leitfaden zur Festlegung und Harmonisierung von Bemessungsereignissen. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2011). die.wildbach – Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2015 a). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 – Entwurf. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2015 b). Durchführungsbestimmungen zu den technischen Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung – Fassung 2016. BMLFUW, Wien.
- PÖYRY Energy GmbH (2014). Technischer Bericht zur Gefahrenzonenausweisung der Vellach. Wien.

CHRISTIAN SCHEIDL, MICHA HEISER, JULIA EISL, JOHANNES HÜBL

Geomorphometrien von Wildbacheinzugsgebieten und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Leitprozessen

Process type identification in torrential catchments

Zusammenfassung:

Für die Gefahrenbeurteilung in Wildbacheinzugsgebieten ist das Wissen über möglich auftretende Prozesstypen essentiell, da sich die Planungsstrategien für Schutzmaßnahmen wesentlich unterscheiden. Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines auf einfach zu erhebende geomorphometrischen Parametern beruhendes Modell zur Identifizierung drei verschiedener Wildbach-Prozesstypen: Mure, geschiebeführende Hochwasser und Hochwasser. Dafür wurden Einträge der Ereignisdatenbank des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) herangezogen, die neben historischen Ereignissen der vergangenen Jahrhunderte auch aktuell dokumentierte Ereignisse umfasst. Insgesamt konnten in 84 österreichischen Einzugsgebieten eindeutige Leitprozesse zugeordnet werden. Verschiedene geomorphometrische Kenngröße, welche den Einfluss von fluvialen Prozessen auf die Erdoberfläche am ehesten charakterisiert, wurden erhoben, verglichen und letztendlich für die Erstellung eines Klassifizierungsmodells herangezogen. Das vorgeschlagene Modell ist leicht anzuwenden und gibt eine erste Einschätzung, wie ein Einzugsgebiet reagiert bzw. welcher Leitprozess vorherrscht.

Stichwörter:

Leitprozess-Klassifikation, Wildbach-Einzugsgebiete, WLK digitaler Ereigniskataster, geomorphometrische Kenngrößen

Abstract:

The classification of torrential processes in Alpine catchments poses a challenge in hazard assessment and mitigation designs, as different types require different strategies. The aim of this study is to identify the different process types, debris flow, bedload transport as well as

floods, by establishing a model, which uses geomorphometric parameters easily examined in a geographic information system (GIS). For this reason, entries from the event database of the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control (WLV), which consists of historical data and recent event documentations, were analysed. A dominant flow process type was assigned to the catchments according to the database. In total, 84 catchments with a clear assignment were examined. Different morphometric parameters that are contingently connected to flowing were examined, compared and used for the set-up of a classification-model. The proposed model can be applied to get a first impression on how a catchment responses and which processes may occur.

Keywords:

hydrogeomorphic key process, torrent, catchment, geomorphometric characteristics

Einleitung und Hintergrund

Der Begriff der Geomorphometrie beschreibt die Quantifizierung und Analyse der verschiedenen Oberflächenarten der Erdkruste und umfasst aus heutiger Sicht, Methoden der Mathematik, der computerunterstützten Prozessverarbeitung, Erkenntnisse der Zivil- und Militäringenieurwissenschaften sowie Grundlagen der Erdwissenschaften - hier vor allem der Geomorphologie. Die systematische „Vermessung der Erdoberfläche“ und deren kartographische Erfassung hatte ihren Beginn in der Epoche der Moderne und wird häufig mit einer aufgeklärten Auseinandersetzung mit der Natur und damit mit dem Beginn der französischen Revolution 1789 genannt. Bekannte Naturforscher dieser Epoche wie Barnabé Brisson (1777-1828), Carl Gauss (1777-1855) oder Alexander von Humboldt (1769-1859) begründeten ihre Forschungsaktivitäten erstmalig auf Methoden der Geomorphometrie. Im 19. Jahrhundert wurde die Geomorphometrie durch die Bestimmung und Vermessung von Gebirgen und deren Berggipfeln (Orographie bzw. Orometrie) angetrieben. Hier sind die Arbeit von Carl von Sonklar (1816-1885)

über „Die allgemeine Orographie, die Lehre von den Relief-Formen der Erdoberfläche“ und das Werk von Albrecht Penck (1858-1945) über „Die Morphologie der Erdoberfläche“ zu erwähnen. Eine mathematische Auseinandersetzung mit dem Thema der Geomorphometrie fand erstmals im Artikel „On contour lines and slope lines“ von Alfred Cayley (1859) statt.

Die fluviale Geomorphometrie entstand im 20. Jahrhundert und wurde stark von europäischen Forschern geprägt. Erste Arbeiten über die Morphometrie von hydrologischen Einzugsgebieten betreffen die Flussnetzdicke im Schwarzwald von Neumann (1886) und der Versuch von Gravelius (1914) hydrologische Einzugsgebiete zu klassifizieren. Darauf aufbauend entwickelte Horton (1932, 1945) das bekannte Konzept der Flussordnungszahl und in weiterer Folge eine Vielzahl von Regeln und Kenngrößen wie das Verzweigungsverhältnis der Flussläufe (bifurcation ratio), das Flusslängenverhältnis (stream length ratio) und die Flussnetzdicke (drainage density). Weitere geomorphologische Studien folgten und präsentierten Regeln bzw. Kenngrößen von großer Bedeutung (z. B.: Strahler, 1952; Miller, 1953; Schumm, 1954; Melton, 1957; Chroley, 1957;

Shreve, 1966). Die meisten der fluvialen geomorphometrischen Kenngrößen sind dimensionslose Zahlen und bieten daher die Möglichkeit zur Charakterisierung und Vergleichbarkeit unterschiedlicher hydrologischer Einzugsgebiete. Darauf stützt sich auch die Hypothese dieser Arbeit die annimmt, dass Leitprozesse in Wildbacheinzugsgebieten den dominanten fluvialen Prozessformen entsprechen und sich diese durch bereits publizierte geomorphometrische Kenngrößen charakterisieren lassen. Erste Studien zur Klassifizierung von Wildbachprozessen gehen zurück auf Melton (1965) sowie auf Church und Mark (1980), welche die sogenannte Melton-Zahl dem durchschnittlichen Kegelgefälle der Ablagerung von Murgängen gegenüberstellten. Auf Basis dieser Herangehensweise wurden in einigen Studien Grenzwerte für die Identifizierung und Unterscheidung von Murgängen zu anderen Wildbachprozessstypen vorgenommen (Marchi und Brochot, 2000; Bardou, 2002; Berti und Simoni, 2007). Weitere Studien (Fischer, 1965; Kostaschuk et al., 1986 sowie zusammenfassend in Hübl, 1995) betrachteten morphometrische und morphographische Parameter des Ablagerungskegels als Unterscheidungskriterium für unterschiedliche Wildbachprozesse. Nach ONR-24800 (2009) sind mögliche Leitprozesse in Wildbacheinzugsgebieten entweder Hochwässer (WFL), geschiebeführendes Hochwässer (FST) oder Murgänge (DBF). Die in der Richtlinie ebenfalls als Leitprozesse definierten murartigen Feststofftransporte zeigten in dieser Arbeit keine signifikanten geomorphometrischen Unterscheidungsmerkmale zu Murgängen und wurden daher nicht berücksichtigt. Die ausgewählten Kenngrößen beziehen sich alle auf die Grunddisposition und sind durch die Reliefenergie und Formrauigkeit des Einzugsgebietes charakterisiert. Alle Kenngrößen sind aus einem digitalen Höhenmodell mit genügend großer Auflösung in einer GIS-Umgebung generierbar. Ziel dieser Arbeit

war es, eine systematische und einfach umzusetzende Methode zur Bestimmung des potentiellen Leitprozesses in einem Wildbacheinzugsgebiet zu entwickeln. Damit soll die Gefahrenanalyse bei der Wahl geeigneter Erhebungs- und Simulationsmethoden bzw. die Maßnahmenplanung in einer frühen Planungsphase unterstützt werden.

Identifizierung und Klassifizierung von Wildbacheinzugsgebieten nach dominanten Leitprozessen in Österreich

Die Erhebung der Anzahl in welchen Einzugsgebieten welcher Leitprozess dominiert erfolgte aufgrund eines Archives an historischen Wildbacheignissen (Hübl et al., 2008). Dieses Archiv beinhaltet auch Ereignisdaten des Wildbach- und Lawinenkatasters des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach und Lawinenverbauung. Somit konnten Hochwasserereignisse (WFL), geschiebeführende Hochwasserereignisse (FST) und Murgänge (DBF) in ganz Österreich zwischen den Jahren 1900 bis 2013 berücksichtigt werden. Die Auswahl der repräsentativen Einzugsgebiete erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurden, aufgrund einer Frequenzanalyse, alle Einzugsgebiete bestimmt, deren häufigstes Ereignis einer 10-jährlichen Wiederkehrperiode entspricht. Anschließend mussten mindestens 80 % aller in diesen Einzugsgebieten dokumentierten Ereignisse den gleichen (Leit-) Prozessstyp (entweder WFL, FST oder DBF) aufweisen. Letztendlich konnten somit 42 Einzugsgebiete dem Leitprozess Hochwasser (WFL), 17 Einzugsgebiete dem Leitprozess geschiebeführendes Hochwasser (FST) und 25 Einzugsgebiete dem Leitprozess Murgang (DBF) zugeordnet werden. Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung der eruierten Einzugsgebiete nach identen Leitprozessen. Jedes der 84 Einzugsgebiete steht dabei repräsentativ für einen der drei Leitprozesse (WFL, FST oder DBF).

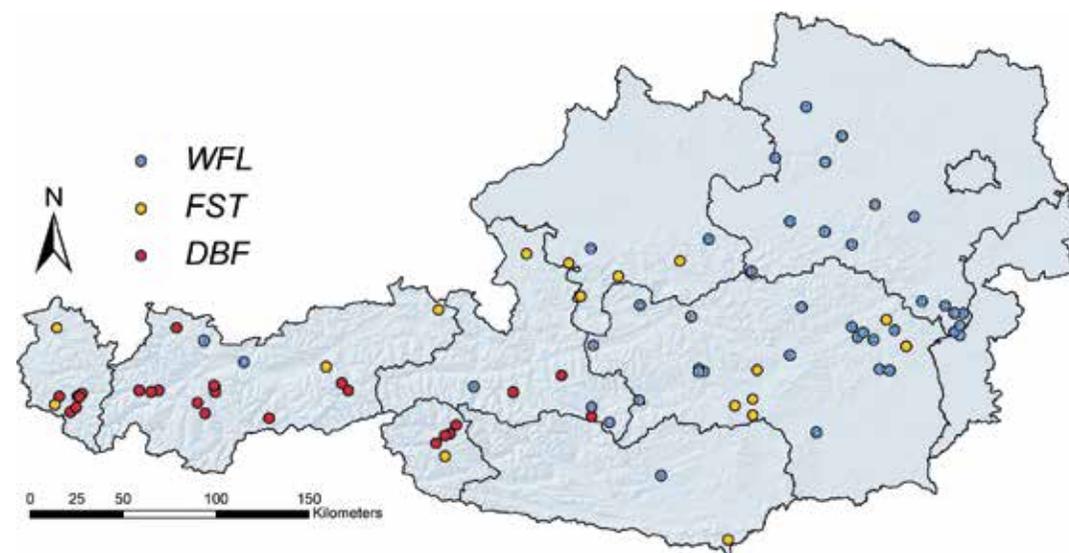


Abb. 1: Räumliche Verteilung der Einzugsgebieten nach identen Leitprozessen, geändert nach Heiser et al. (2015).

Fig. 1: Spatial overview of the assigned torrential catchments to a defined process type, from Heiser et al. (2015).

Bestimmung und Einfluss relevanter geomorphometrischer Kenngrößen

In einem ersten Schritt wurden geomorphometrische Kenngrößen identifiziert, welche den Einfluss von fluvialen Prozessen auf die Erdoberfläche am ehesten charakterisieren. Da die Dynamik eines Fließprozesses vom Gefälle, der Geometrie der benetzten Fläche und vom Fließwiderstand abhängt (vgl. hydraulische Fließgeschwindigkeits-

gleichungen) wurden ausschließlich Kenngrößen betrachtet, die sich entweder in die Gruppe der sog. Relief-Parameter oder in die Gruppe der sog. Form-Parameter eingliedern lassen. Dabei spiegeln die Relief-Parameter den Einfluss des Gefälles und die Form-Parameter indirekt die Formrauigkeit in einem Einzugsgebiet wider. Letztendlich konnten so sechs geomorphometrische Kenngrößen den Relief-Parametern und fünf geomorphometrische Kenngrößen den Form-Parametern zugeordnet werden (Tabelle 1):

	Abkürzung	Bezeichnung	Beschreibung	Studien
Relief-Parameter	S	Durchschnittliche Gerinneneigung „average channel slope“	-	-
	M_r	Melton-Zahl „Melton ratio“	Die Melton Zahl berechnet sich aus der Höhendifferenz (Relief) des höchsten und niedrigsten Punktes im Einzugsgebiet im Verhältnis zur Wurzel der Einzugsgebietsfläche.	Melton (1957)

	Abkürzung	Bezeichnung	Beschreibung	Studien
Relief-Parameter	R_n	Stabilitätszahl „ruggedness number“	Die Stabilitätszahl ist das Produkt der Flussnetzdicht mit der Höhendifferenz (Relief) des Einzugsgebietes.	Strahler (1952)
	R_r	Relief-Verhältnis „relief ratio“	Beschreibt das Verhältnis von Höhendifferenz (Relief) zu Einzugsgebietslänge.	Schumm (1954)
	Err	Höhenrelief-Verhältnis „elevation relief ratio“	Ist das Verhältnis aus der Differenz der maximalen Höhe weniger der mittleren Höhe im Einzugsgebiet und der Höhendifferenz (Relief)	Wood und Snell (1960)
	RI	Rauhigkeit Index „roughness index“	Beschreibt die lokale Variabilität des Reliefs und der Neigung in einem Einzugsgebiet, und dient zur Identifikation der Gerinnebett-Morphologie: z. B.: Kolk-Rinner/Becken-Absturz Bereiche.	Cavalli et al. (2008)
Form-Parameter	wBr	Gewichtete Verzweigungsverhältnis der Flussläufe „weighted bifurcation ratio“	Das gewichtete Verzweigungsverhältnis repräsentiert die Flussdichte pro Einzugsgebietsfläche und basiert auf dem Verhältnis der Anzahl Flusssegmente einer bestimmten Ordnungszahl zu der Anzahl der Flusssegmente der nächst höheren Ordnungszahl.	Strahler (1953)
	IC	Sediment-Konnektivitäts-Index „sediment connectivity index“	Der Sediment-Konnektivitäts-Index ist ein Indikator für den Sedimenttransfer aus Hangbereiche zum Hauptgerinne im Einzugsgebiet.	Borselli et al. (2008) Cavalli et al. (2013)
	Cr	Kreisförmigkeits-Verhältnis „circularity ratio“	Dieser Parameter berechnet sich aus dem Verhältnis der Einzugsgebietsfläche zur Fläche eines Kreises mit dem Umfang des Einzugsgebietes.	Miller (1953)
	Er	Ausbreitungs-Verhältnis „elongation ratio“	Das Ausbreitungs-Verhältnis ist der Durchmesser eines Kreises mit der Fläche des Einzugsgebietes gebrochen durch die maximale Einzugsgebietslänge.	Schumm (1956)
	Ff	Formfaktor „form factor“	ist das Verhältnis von Einzugsgebietsfläche zum Quadrat der maximalen Einzugsgebietslänge.	Horton (1932)

Tab. 1: Geomorphometrische Kenngrößen dieser Arbeit.

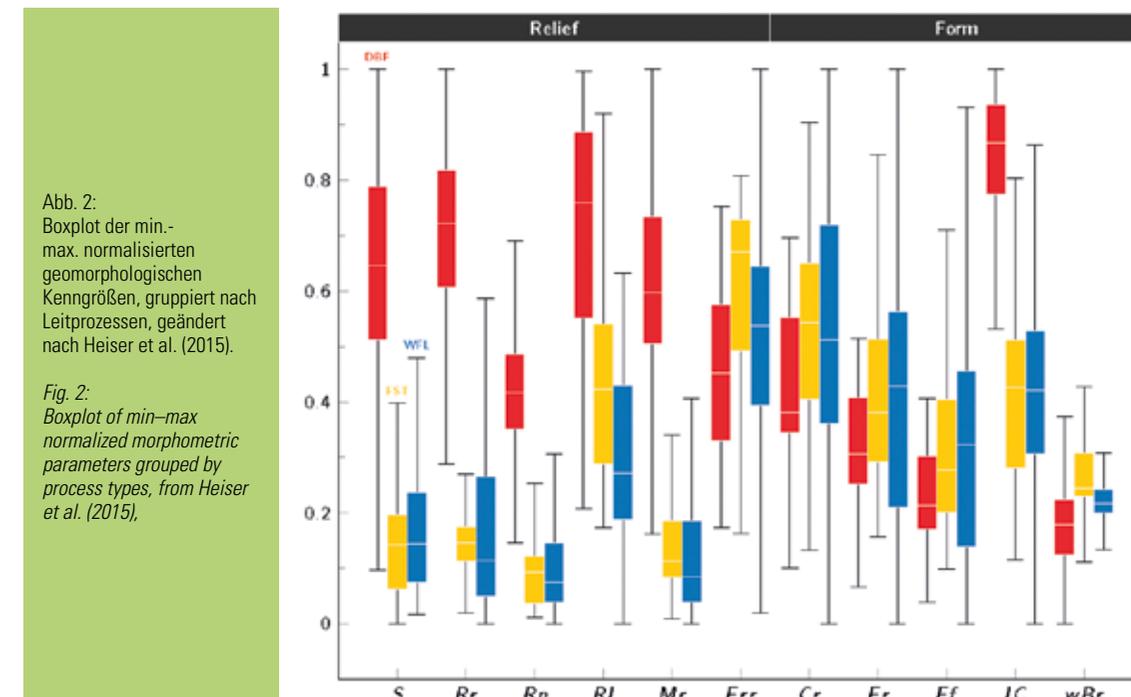
Tab. 1: Geomorphometrical parameters used for this study.

Alle 11 Kenngrößen wurden auf Basis eines digitalen Höhenmodells mit einer Auflösung von 5x5 m für die vorher identifizierten 84 Wildbacheinzugsgebiete in Österreich mittels GIS-Analysen erhoben. Der Einfluss der jeweiligen Kenngrößen auf den Leitprozess ist als Boxplot in Abbildung 2 ersichtlich. Dabei wurden alle Kenngrößen für Vergleichszwecke nach ihren min.- bzw. max.-Werten normalisiert.

Bis auf das Höhenrelief-Verhältnis (Err) zeigt sich, dass alle Relief-Parameter ihre Maximalwerte für murfähige Einzugsgebiete (DBF) aufweisen und sich signifikant von den dominant geschleichenführenden (FST) und Hochwasser (WFL) Einzugsgebieten abgrenzen. Das Höhenrelief-Verhältnis (Err) hingegen ist die einzige Kenngröße die hinreichend geschleichenführende Einzugsgebiete (FST) von murfähigen (DBF) und Hochwasser (WFL) Einzugsgebieten unterscheiden. Zwischen FST und WFL dominanten Einzugsgebieten gibt alleinig der mittlere Rauigkeitsindex (RI) eine gewisse Unterscheidungsmöglichkeit.

Minimalwerte der Form-Parameter können fast ausschließlich den murfähigen Einzugsgebieten zugeordnet werden. Eine Ausnahme bildet der Sediment-Konnektivitäts-Index (IC), welcher sich im maximalen Bereich für murfähige Einzugsgebiete (DBF) signifikant von geschleichenführenden (FST) und Hochwasser (WFL) Einzugsgebieten unterscheidet.

In einem weiteren Schritt wurden die 11 fluvialen Kenngrößen auf ihre Multikollinearität getestet, um Abhängigkeiten und Ähnlichkeiten zwischen den jeweiligen Kenngrößen zu vermeiden. Für das im nächsten Kapitel vorgestellte Vorhersagemodell wurden ausschließlich Kenngrößen, welche eine geringe Korrelation zueinander aufwiesen, angewendet. Die relevanten fluvialen Kenngrößen zur Bestimmung des Wildbach-Leitprozesses reduzierten sich damit auf die folgenden sechs Parameter: Mr , Err , RI , wBr und Cr (vgl. Tabelle 1).



Modell zur Klassifizierung und Vorhersage des dominanten Leitprozesses in einem Wildbacheinzugsgebiet

Heiser et al. (2015) testeten mehrere statistische Klassifizierungsmodelle zur Vorhersage des dominanten Leitprozesses in Wildbacheinzugsgebieten basierend auf den sechs relevanten fluvialen Kenngrößen. Dabei zeigte sich, dass das Modell des Fehlerbaumes den geringsten Vorhersagefehler aufwies und zwei der relevanten fluvialen Kenngrößen (Mr und Err) ausreichen, um zwischen den drei möglichen Leitprozessen

(DBF, FST und WFL) unterscheiden zu können. Das Klassifizierungsmodell ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Melton-Zahl (Mr) ist ein starker Prädiktor für Murgänge. Basierend auf dem Modell des Fehlerbaumes können Einzugsgebiete, deren Melton-Zahl größer als 0.69 ist, sehr wahrscheinlich als murffähig betrachtet werden. Dieser Grenzwert basiert auf den im ersten Kapitel erhobenen österreichischen Einzugsgebieten und scheint im unteren Bereich international publizierter Melton-Zahlen angesiedelt zu sein. Bertrand et al. (2013) gibt z. B. einen Grenzwert der Melton-Zahl von

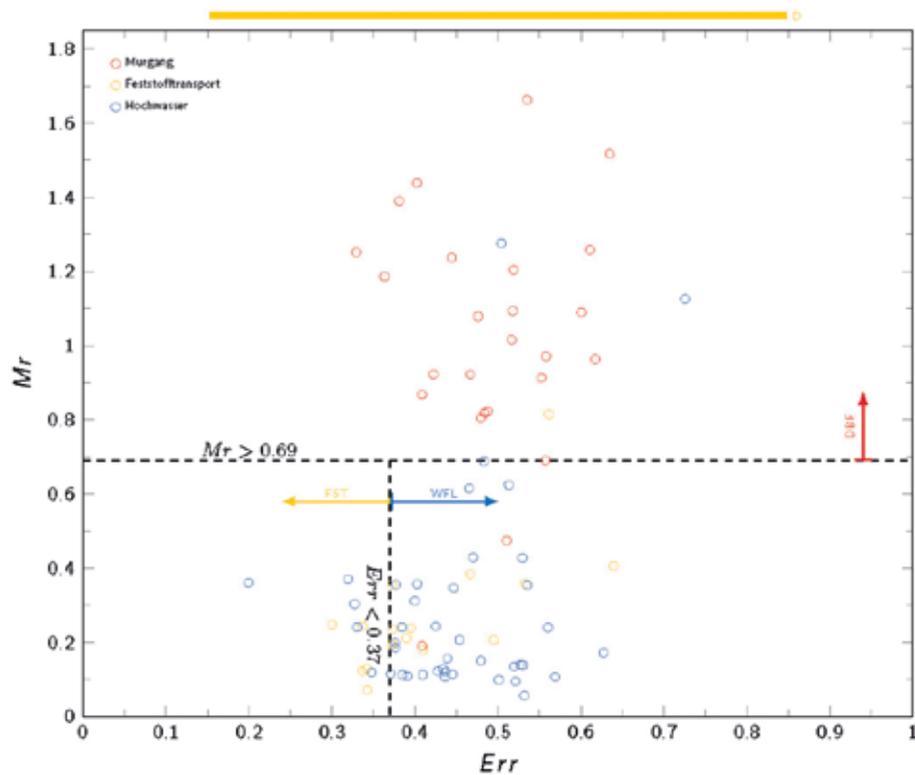


Abb. 3: Modell zur Klassifizierung der Leitprozesse, WFL, FST und DBF, basierend auf den geomorphometrischen Parametern Mr und Err . Die Punkte entsprechen den in dieser Studie erhobenen Parametern der jeweiligen Einzugsgebiete. Im Vergleich sind die Bandbreiten der publizierten Mr -Werte in der Y-Ordinate angeführt. A: Bertrand et al. (2013), B: Marchi et al. (1993) und C: Scheidl und Rickenmann (2010). In der oberen X-Achse ist die Bandbreite der von Rowberry (2008) publizierten Err -Werte angegeben (D).

Fig. 3: Classification model based on the fluvial morphometrical parameters Mr and Err , to identify torrential process types WFL, FST and DBF. The points reflect the values as determined for each relevant catchment in this study. On the left Y-ordinate the range of published Mr -numbers from A: Bertrand et al. (2013), B: Marchi et al. (1993) and C: Scheidl und Rickenmann (2010) is given. The upper X-ordinate, denoted with D, gives the range of Err -values based on the findings of Rowberry (2008).

0.79 zur Unterscheidung von Murgängen an. Marchi et al. (1993) fand Melton-Zahlen von 0.49 bis 1.74 für murffähige Einzugsgebiete. Basierend auf 106 Murgangereignissen aus der Österreich, der Schweiz und Südtirol berechneten Scheidl und Rickenmann (2010) eine durchschnittliche Melton-Zahl von 1.17 (+/- 0.64).

Ein Höhenrelief-Verhältnis (Err) von 0.37 dient als Grenzwert um geschiefbeführende Einzugsgebiete von Hochwasser Einzugsgebieten zu unterscheiden. Einzugsgebiete mit Err -Werten < 0.37 lassen dabei auf geschiefbeführendes Hochwasser als Leitprozess schließen. Publikationen von Err -Werten im Zusammenhang mit fluvialer Geomorphologie gibt es wenige. Rowberry (2008) nutzte das Höhenrelief-Verhältnis zur Bestimmung des vertikalen und horizontalen Abtrages der Erdoberfläche aufgrund fluvialer Kräfte. Er fand, dass kleine Err -Werte mit starken Erosionsleistungen zusammenhängen und kaskadenartige Profile bewirken. Die genaue Argumentation, warum Einzugsgebiete mit geringen Err -Werten eher zu geschiefbeführende Hochwasser-Ereignisse tendieren ist jedoch noch immer Gegenstand der Forschung.

So ist das Höhenrelief-Verhältnis (Err), welches in dieser Arbeit als Unterscheidungskriterium zwischen den Leitprozessen FST und WFL dient, ident mit dem in der Literatur oft zitierten hypsometrischen Integral (Schumm, 1956). Abbildung 4 vergleicht die hypsometrischen Integrale der drei Leitprozesse (DBF, FST, WFL) normiert auf die jeweiligen Einzugsgebietsflächen. Die Einzugsgebiete des von WFL dominierten Leitprozess scheinen in einem stabilen Gleichgewichtszustand zu sein und liegen gleichverteilt nahe der 1:1 Linie. Eine Übersteilung (höherer Reliefgradient) im oberen Einzugsgebiet ist charakteristisch für die von FST und DBF dominierten Einzugsgebiete. Mit der

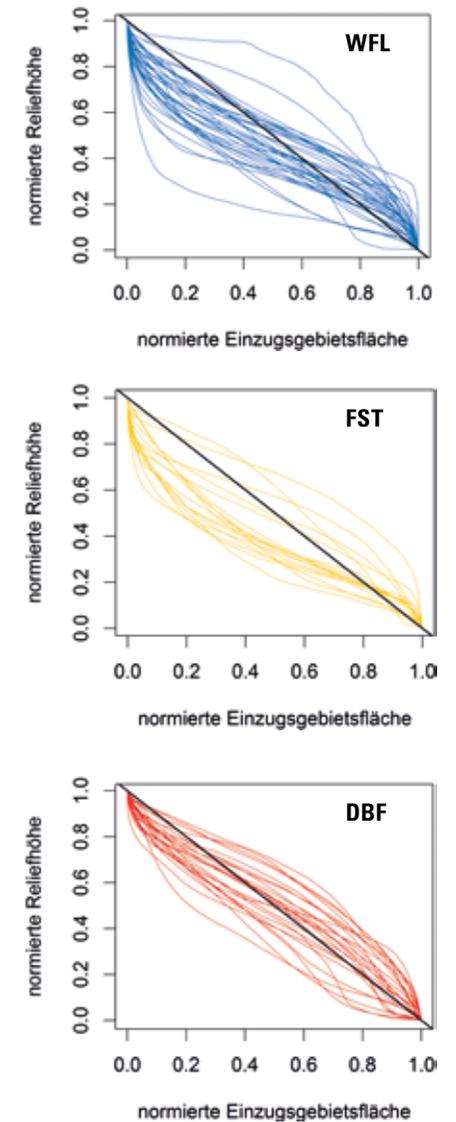


Abb. 4: Oben: Hypsometrische Kurven für all WFL-dominierte Einzugsgebiete. Mitte: Hypsometrische Kurven für all FST-dominierte Einzugsgebiete. Unten: Hypsometrische Kurven für all DBF-dominierte Einzugsgebiete. Die gerade Linie entspricht dem 1:1 Verhältnis zwischen relativer Reliefhöhe und relativer Einzugsgebietsfläche.

Fig. 4: Above: Hypsometric curves for all WFL-dominated catchments. Center: Hypsometric curves for all FST-dominated catchments. Below: Hypsometric curves for all DBF-dominated catchments. The straight line refers to an aspect ratio of one between relative elevation and relative area.

Annahme, dass der Gradient des hypsometrischen Intergrals als Indikator für den Verlust von potentieller Energie steht, zeigt sich bei Murgang dominierten Einzugsgebieten der Verlust an potentieller Energie über einen kurzen Abschnitt am Kegel, wohingegen sich bei geschiefbeführende Leitprozesse der potentielle Energieverlust mehr oder weniger gleichmäßig entlang des gesamten Einzugsgebietes erstreckt.

Schlussfolgerung

Die Arbeit zeigt, dass es möglich ist aufgrund topographischer Gegebenheiten Leitprozesse in typischen Wildbacheinzugsgebieten zu identifizieren. Ein Beispiel für eine Anwendung ist in

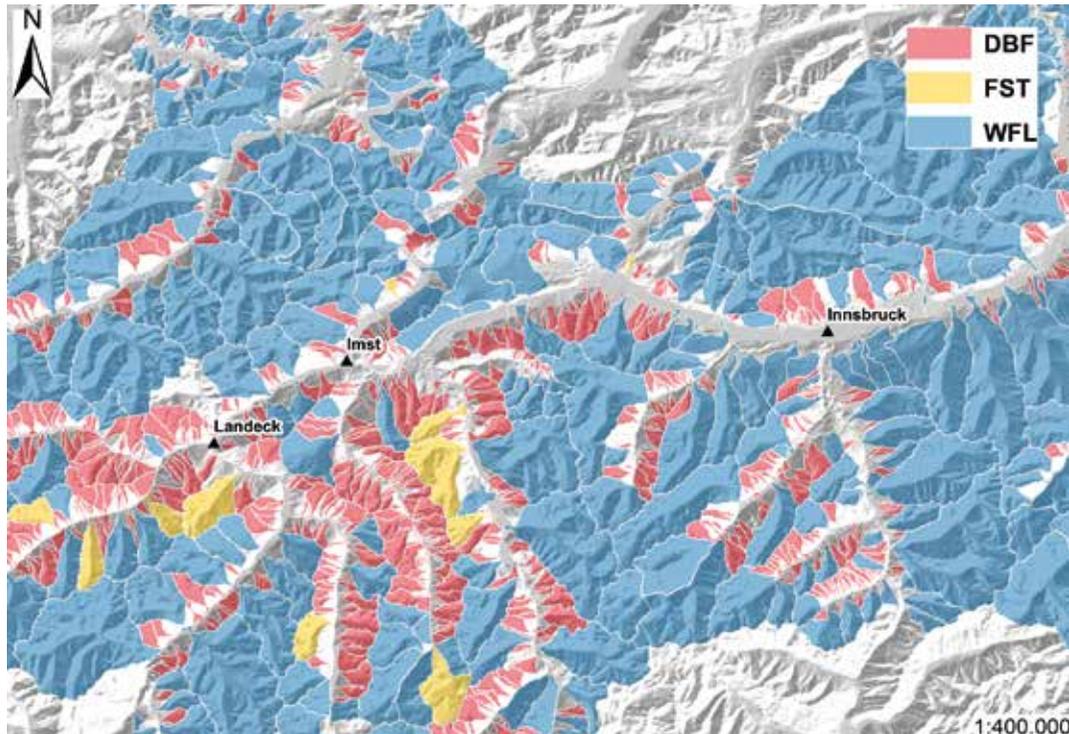


Abb. 5: Beispiel für die Anwendung zur Klassifizierung des Leitprozesses in einem Wildbach-Einzugsgebiet aufgrund des vorgeschlagenen Klassifizierungsmodells. Ausschnitt zeigt einen Teil des Bundeslandes Tirols, Österreich.

Fig. 5: Example on how the proposed classification model can be used to identify process-types in torrential catchments, applied on a section of Tyrol, Austria

Abbildung 5 für einen Ausschnitt des Bundeslandes Tirols dargestellt.

Das vorgestellte Klassifizierungsmodell basiert auf einer Fehlerbaumanalyse mit zwei Parametern, welche schnell in einem GIS-System auf Grundlage eines digitalen Höhenmodells zu eruieren sind. Dabei zeigte sich die Melton-Zahl als sehr starker Prädiktor, vor allem für die von Muren dominierten Einzugsgebiete. Generell scheinen die geomorphometrischen Kenngrößen der Form-Parameter, verglichen mit den Relief-Parametern, schlechtere Vorhersagequalitäten zu besitzen. Ganz allgemein ist anzumerken, dass in der Literatur unterschiedliche geomorphometrische Kenngrößen vorgeschlagen werden, welche letztendlich die gleiche Bedeutung aufweisen.

Anschrift der Verfasser / Authors' adresses:

Dr. Christian Scheidl
Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für
Bodenkultur, Wien
Peter-Jordan-Strasse 82, 1190-Wien
christian.scheidl@boku.ac.at

Dipl. Ing. Micha Heiser
Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für
Bodenkultur, Wien
Peter-Jordan-Strasse 82, 1190-Wien
micha.heiser@boku.ac.at

Dipl. Ing.ⁱⁿ Julia Eisl
Engineering Services, Town of Canmore
902 - 7th Avenue (Civic Centre) Canmore, AB
jeisl@canmore.ca

Univ. Prof. Dr. Johannes Hübl
Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für
Bodenkultur, Wien
Peter-Jordan-Strasse 82, 1190-Wien
johannes.huebl@boku.ac.at

Literatur / References

- BERTRAND, M., LIÉBAULT, F., PIÉGAY, H. (2013). Debris-flow susceptibility of upland catchments. *Natural Hazards* 67: 497–511.
- BORSELLI, L., CASSI, P., TORRI, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *CATENA* 75: 268–277.
- CAVALLI, M., TAROLLI, P., MARCHI, L., DALLA FONTANA, G. (2008). The effectiveness of airborne LIDAR data in the recognition of channel-bed morphology. *Catena* 73: 249–260.
- CAVALLI, M., TREVISANI, S., COMITI, F., MARCHI, L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small alpine catchments. *Geomorphology* 188: 31–41.
- CHORLEY R.J., MALM D.E.G., POAORZELSKI H.A. (1957). A new standard for estimating basin shape. *American Journal of Society* 255: 138-141.

FISCHER, K. (1965). Murkegel, Schwemmkegel und Kegelsimse in den Alpentälern. *Mitteilungen der geographischen Gesellschaft in München*: 127-159.

GRAVELIUS H. (1914). *Flusskunde*, Berlin. Goschensche Verlagshandlung.

HEISER, M.; SCHEIDL, C.; EISL, J.; SPANGL, B. UND HÜBL, J. (2015). Process type identification in torrential catchments in the eastern Alps. *Geomorphology* 232: 239-247.

HORTON R.E. (1932). Drainage basin characteristics. *American Geophysical Union* 13: 350-361.

HORTON R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysi- cal approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56: 275-370.

HÜBL J. (1995): Muren: Prozesse und Ablagerungsformen, Bedeutung für die Gefahrenzo- nenplanung. Dissertation. Universität für Bodenkultur, Wien: 211.

HÜBL, J., TOTSCHNIG, R., SITTE, F., SCHNEIDER, A., KRAWTSCHUK, A., DUSL, G., FISCHER, N., SWOBODA, P., NECKEL, N. (2008). Historische Ereignisse — Band 3: Aufarbeitung historischer Ereignisse (Ver- lagerungsarten Wasser und Schnee) in Österreich. Report 111. Institute of Mountain Risk Engineering, University of Life Sciences and Natural Resour- ces, Vienna.

KOSTASCHUK, R. A., MACDONALD, G.M., PUTNAM, P.E. (1986). Depositional Process and alluvial fan-drainage basin morphometric rela- tionships near Banff, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes* 11: 471-484.

MARCHI, L., PASUTO, A., TECCA, P.R. (1993). Flow processes on alluvial fans in the eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie* 34 (7): 447–458.

MELTON, M.A. (1957). An analysis of the relations among elements of climate, surface prop- erties, and geomorphology. Technical Report 11 389–042. Office of Naval Research, Dep. of Geology, Columbia University, New York.

MILLER, V. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area, Virginia and Tennessee. Technical report (Columbia University. Dept. of Geology), Department of Geology, Columbia Uni- versity.

NEUMANN L. (1886). Orometrie des Schwarzwaldes, Habilitationsschrift Univ. Freiburg im Breis- gau, E. Hölzel: 1-50.

SCHEIDL, C., RICKENMANN, D. (2010). Empirical prediction of debris-flow mobility and deposition on fans. *Earth Surface Processes and Landforms* 35: 157–173.

SCHUMM, S.A. (1954). The relation of drainage basin relief to sediment loss. *International Associ- ation of Hydrological Sciences* 36: 216–219.

SCHUMM, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* 67: 597–646.

SHREVE, R. L. (1966). Statistical law of stream numbers *The Journal of Geology*: 17-37.

STRAHLER, A.N. (1952). Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin* 63: 923–938.

STRAHLER, A.N. (1953). Revision of Horton's quantitative factors in erosional terrain. *Eos, Transac- tions, American Geophysical Union* 34: 345.

WOOD, W., SNELL, J. (1960). A quantitative system for classifying land- forms. Technical Report EP-124. U.S. Army Natick Lab.

STEFAN BRAITO, KARL MAYER, PETER WAGNER, ANDREAS RIMBÖCK

Ermittlung von Wildbachgefährdungsbereichen in Bayern: Abschätzung des Geschiebezuschlags

Identifying mountain torrent hazard areas in Bavaria: Assessment of bed load coefficient

Zusammenfassung:

Am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) wurde eine standardisierte Methode zur Bestimmung des Geschiebezuschlags entwickelt. Dabei wird das Zusammenspiel von Geschiebepotential und Geschiebetransport betrachtet, um die Größenordnung des Geschiebezuschlags festzulegen. Dieser wird als Faktor GZ ausgedrückt. Die Vorgehensweise greift auf flächendeckend verfügbare Daten der relevanten topographischen, morphologischen, geologischen und geotechnischen Eigenschaften des Geländes zurück. Durch Interpretation der Daten erfolgt eine Erstabschätzung des Geschiebezuschlags, welche durch eine Geländebegehung verifiziert und gegebenenfalls korrigiert wird. Die Quantifizierung sowohl des Geschiebepotentials, als auch des Geschiebetransports erfolgt über einen Fragenkatalog mit standardisierten Antworten. Die Gestaltung des Fragenkatalogs stellt dem Bearbeiter eine systematische Vorgehensweise bereit und schafft gleichzeitig eine Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse. Ergänzend wurde ein Arbeitsblatt zur Berechnung der Transportkapazität bereitgestellt. Die Anwendung beider Methoden ermöglicht eine Überprüfung der Plausibilität des Geschiebezuschlags.

Stichwörter:

Geschiebepotential, Geschiebetransport, Gefahrenanalyse, Methode

Abstract:

A standardized method to determine bed load discharge was developed by the Bavarian environment agency. It regards the interaction between bed load availability and bed load transport to establish the magnitude of bed load discharge, which is represented by the bedload coefficient GZ and ranges between 1.05 and 1.4. The procedure makes use of comprehensive data describing the topographical, morphological, geological and geotechnical properties of the given terrain. A first assessment of the bed load coefficient is made through

an interpretation of the data and later verified or, if needed, corrected through a field survey. Availability as well as transport of the are quantified using a standardized questionnaire. The layout of the questionnaire offers experts a systematic procedure for determining the bed load coefficient as well as a means of comparing the determined results. Additionally, a worksheet has been elaborated for the calculation of transport capacity. The results of the bed load coefficient calculations can thus be compared to the transport capacity.

Keywords:

bedload potential, bedload transport, hazard assessment, methodology

Einleitung

Nach Art. 46 Bayerisches Wassergesetz (BayWG) sind von den wasserwirtschaftlichen Fachbehörden, also der Wasserwirtschaftsverwaltung, Wildbachgefährdungsbereiche zu ermitteln, die von der Rechtsbehörde durch Rechtsverordnung festgesetzt werden. Wildbachgefährdungsbereiche sind Überschwemmungsgebiete für ein 100-jährliches Bemessungshochwasser unter Berücksichtigung der sog. wildbachtypischen Eigenschaften. In den Wildbachgefährdungsbereichen herrscht grundsätzlich Bauverbot, von dem nur bei Erfüllung mehrerer Voraussetzung Ausnahmen möglich sind.

Die Gefahrenbeurteilung muss hohen Qualitätsanforderungen genügen. Sachliche Richtigkeit, Vergleichbarkeit und gute Nachvollziehbarkeit sind gefordert. Zu einer praxistauglichen Vorgehensweise muss die Beurteilung außerdem mit angemessenem Zeitaufwand erfolgen (Kienholz 2005). Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, soll basierend auf dem Stand der Technik ein homogenes und einheitliches Konzept erstellt werden, mit dem die Ermittlung grundsätzlich zu erfolgen hat. Ein weiterer Aspekt für die Vorgabe einer Standardmethode ist

die Qualitätssicherung bei Auftragsarbeiten, für die die Wildbachverbauung in Bayern (Freistaat Bayern) verantwortlich ist. Durch die Einführung einheitlicher Standards und Berechnungsmethoden wird eine transparente Vorgehensweise zur Gefahrenbeurteilung geschaffen. Dadurch wird die Bewertung von Ergebnissen aus vergebenen Leistungen vereinfacht.

Das Konzept zur Ermittlung von Wildbachgefährdungsbereichen ist modular aufgebaut und besteht aus den Modulen Hydrologie, Geschiebe, Schwemmholz und Hydraulik. Für die zu beurteilenden Wildbachprozesse werden Methoden definiert, mit denen Kennwerte der Prozesse ermittelt bzw. die Überschwemmungsgebiete berechnet werden können. Im Rahmen dieses Artikels soll die Vorgehensweise zur Abschätzung eines Geschiebezuschlags als Eingangsgröße für die nachfolgende hydraulische Berechnung vorgestellt werden.

Die Effekte des Geschiebetransportes werden mittels Erhöhung des Reinwasserabflusses durch einen Faktor quantifiziert. Dieser Faktor wird als Geschiebezuschlag GZ (vgl. ONR 24800 Intensitätsfaktor) bezeichnet. Der Ansatz ist stark vereinfacht und kann nur als Näherung verstanden werden. Der Geschiebezuschlag fasst alle Effekte zusammen, die im Zusammenhang

mit dem Geschiebetransport stehen: Schwebstofftransport, Geschiebefluss und Bewegungen der Sohle (verursacht durch die rollende, gleitende, springende Fortbewegung des Geschiebes). Eine Ableitung der Geschiebefracht aus der Skalierung der Reinwasserganglinie mit dem Geschiebetransport ist daher nicht zulässig. Der vorgestellte

Ansatz ist nur für hydraulische Berechnungen des Prozesstyps fluvialer Geschiebetransport geeignet. Bei Prozessen mit höherem Feststoffanteil (murartige Prozesse und Murgang) müssen Rechenansätze angewandt werden, die für die Abbildung nicht-newton'schen Fließverhaltens geeignet sind.

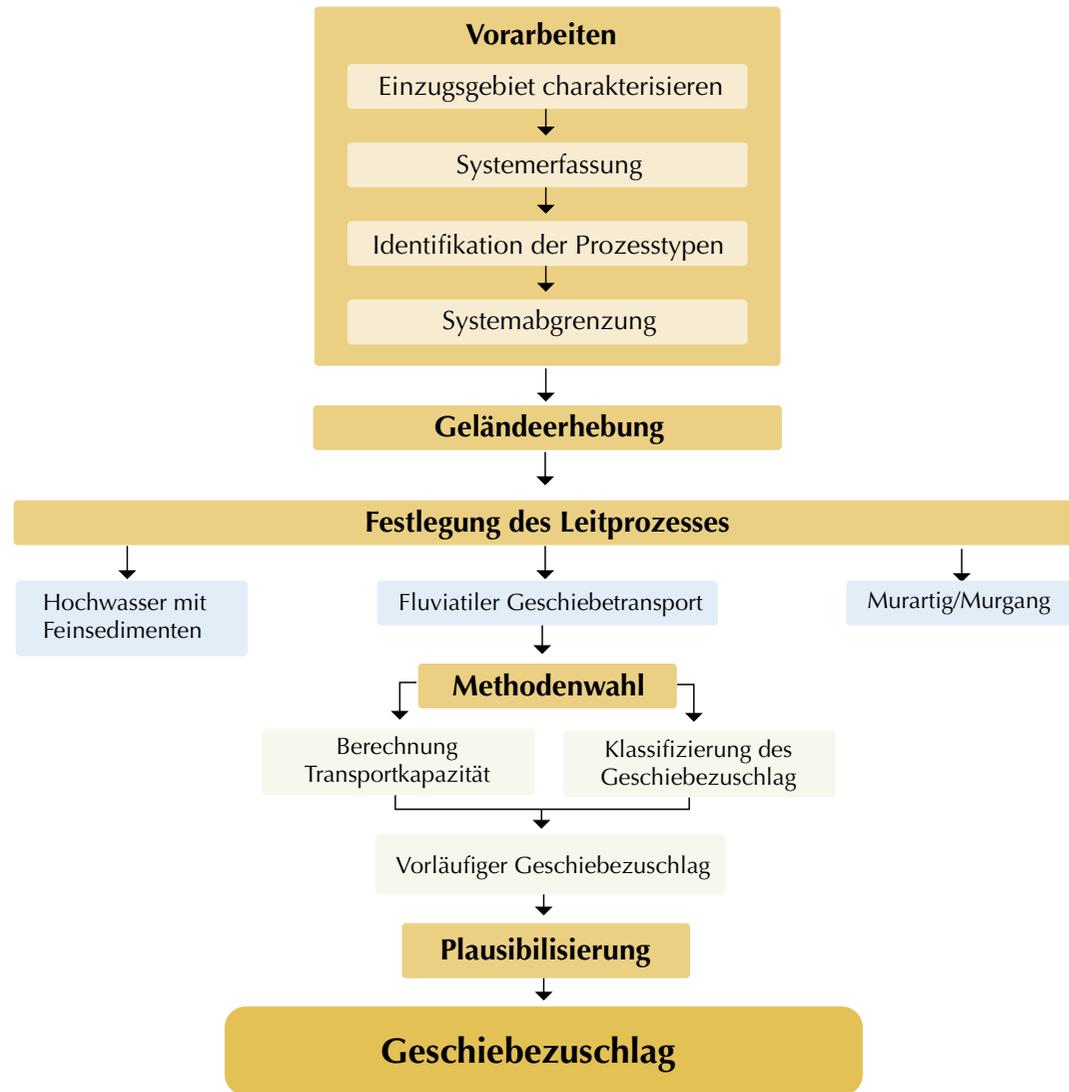


Abb. 1: Ablaufschema für die Methode „Abschätzung des Geschiebebeuschlags“

Fig. 1: Operational procedure within the method 'Estimation of the bed load coefficient'

Aufbau der Methode – Arbeitsschritte

Die Vorarbeiten dienen dazu, einen ersten Eindruck über das Wildbacheinzugsgebiet zu erlangen. Durch die Sichtung und Interpretation der Datengrundlagen sollen Grundlagen zu geschieberelevanten Standorteigenschaften gesammelt werden und grobe Abschätzungen zu den maßgeblichen Prozessen erfolgen. Darüber hinaus dienen die Vorarbeiten als Vorbereitung für die Geländearbeiten. Bei der Geländeerhebung werden die Einschätzungen aus den Vorarbeiten überprüft und an die Erkenntnisse aus dem Gelände angepasst. Eine Skizzierung der Wildbachphänomene dient der Dokumentation der Geländeerhebung und soll bei der Bewertung als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden. Im nächsten Schritt wird ein Leitprozess für den zu untersuchenden Gerinneabschnitt festgelegt. Die Art des Leitprozesses hängt vom Charakter des Wildbaches (Disposition) und dem unterstellten Ereignis (Belastung) ab. Es wird zwischen Hochwasser mit Feinsediment, fluvialtem Feststofftransport und Murgang unterschieden. Handelt es sich um den Prozess Hochwasser mit Feinsediment beträgt der Geschiebebeuschlag pauschal 1,05. Wird der Prozesstyp fluvialer Geschiebetransport erwartet, stehen dem Bearbeiter zwei Methoden zur Verfügung. Die Methodenwahl wird aufgrund der Geschiebeverhältnisse getroffen. Dabei wird zwischen *transportlimitierten* Verhältnissen und *geschiebelimitierten* Verhältnissen unterschieden. Je nach Ausprägung wird entweder die Methode „Berechnung der Transportkapazität“ oder die Methode „Klassifizierung des Geschiebebeuschlags“ angewandt. Nachdem ein vorläufiger Geschiebebeuschlag ermittelt wurde, muss dieser auf Plausibilität überprüft werden.

Vorarbeiten

Ziel der Vorarbeiten ist das Kennenlernen des Einzugsgebietes und Erfassen des Wildbachsystems. Besonders relevante Aspekte und Stellen bzw. Bereiche können ermittelt werden und helfen bei der Planung einer effizienten Geländeerhebung. Durch die Bereitstellung flächendeckender Daten durch das LfU wird sichergestellt, dass jedes betrachtete Einzugsgebiet nach den gleichen Maßstäben beurteilt wird. Leitfragen helfen bei der systematischen Auswertung und Interpretation der Datengrundlagen (vgl. Optimeth 2013):

- **Wie ist das Einzugsgebiet charakterisiert?** Eine allgemeine Auswertung von Kennwerten der Topographie und der naturräumlichen Gegebenheiten (Geologie, Vegetation/Landnutzung), gibt eine Zusammenfassung über die Eigenschaft des Einzugsgebietes und ermöglicht den Vergleich mit anderen Einzugsgebieten. Um die topographische Situation zu erfassen sind u.a. die Kennwerte Fläche, Exposition, Höhenlage, Gefälle (Gelände, Gerinne) und Länge des Gerinnes von Bedeutung. Informationen über die naturräumlichen Gegebenheiten werden vorzugsweise aus der Interpretation der geologischen Karte und der Auswertung des Luftbildes gewonnen. Beispielsweise gibt die Auswertung der Flächenanteile der Vegetation einen guten Eindruck.
- **Wo befinden sich die geschieberelevanten Bereiche?** Erfassung der Bereiche, in denen Abtragsprozesse entstehen können (Lockergesteinsdepots, Ablagerungen, Rutschungsbereiche, Erosionsstrecken, Umlagerungstrecken, Seitengerinne und Runsen). In Kombination mit der Abschätzung, welche Wirkung

die Prozesse haben, können die Bereiche abgegrenzt werden, die im Gelände genauer betrachtet werden müssen.

- **Welcher Prozesstyp ist zu erwarten?**

Durch eine erste Auswertung der Gerinnegeometrien und des Gerinnegefälles kann abgeschätzt werden, welche Gerinneprozesse zu erwarten sind. Werden zusätzlich die Hangprozesse in Betracht gezogen, können mögliche Ereignisabläufe (Szenarien) gebildet werden.

- **Wie ist der Untersuchungsrahmen abzugrenzen?**

Der Untersuchungsrahmen ist in Abhängigkeit der Fragestellung abzugrenzen. Hierzu ist der (die) Betrachtungspunkt(e) festzulegen, das ist jener Gerinnequerschnitt, für den Ergebnisse benötigt werden. Soll eine Gefahrenfläche ermittelt werden, spricht man vom raumrelevanten Bereich. Dies ist der Bereich, in welchem aufgrund von wildbachtypischen Ereignissen Schäden an Siedlungsflächen und Infrastruktur entstehen können. Die hydraulischen Berechnungen beschränken sich in der Regel auf den raumrelevanten Bereich. In den Untersuchungsrahmen fallen alle Bereiche, die einen maßgeblichen Einfluss auf den Geschiebehalt haben und sich auf den Geschiebetransport am Betrachtungspunkt auswirken.

Für den bayerischen Alpenraum wurden Daten flächendeckend aufbereitet, die für die Bewertung von Wildbächen relevant sind. Bei der Ermittlung des Geschiebezuschlags sind dabei folgende Informationen von besonderem Interesse.

- GIS-Tool zur Ermittlung von Bachabschnitten mit potentieller Murfähigkeit aus der Gerinnesohle. In Anlehnung an Gertsch (2009) und Zimmermann et al. (1997) wurde der Zusammenhang zwi-

schen der Gerinneneigung bei der Murgangauslösung und der Größe der Einzugsgebietsfläche oberhalb analysiert.

- GEORISK Daten – Im Rahmen von GEORISK werden durch das LfU Daten zu gravitativen Massenbewegungen in Bayern erfasst. Dabei werden Art, Ausdehnung, Alter und Zustand sowie mögliche zukünftige Entwicklungen der Massenbewegungen beschrieben. Zusätzlich werden die Anbrüche und Ablagerungsbereiche von Hangbewegungen digital erhoben.
- Geologische Disposition des Untergrunds – Klassifizierung des Gesteins in Lockergesteine, stark veränderlich feste Gesteine und Festgesteine und Beurteilung der Erodierbarkeit der Verwitterungsdecke.
- Geomorphologische Prozesskarten – im Rahmen des EGAR-Projektes (Einzugsgebiete in alpinen Regionen, Bunza et al. 2014) wurde eine flächendeckende Kartierung der abflussrelevanten Prozesse sowie eine Bewertung der Abtragsbereitschaft und der Prozessaktivität vorgenommen.

Als weitere wichtige Informationsquelle steht die Datenbank der dokumentierten Wildbachereignisse zur Verfügung. Mit Hilfe einer Auswertung und Interpretation der Ereignisdokumentation können Rückschlüsse auf den zu erwartenden Prozesstyp gezogen werden. Je nach Informationsgehalt kann auch auf Aspekte wie Frequenz, Verlauf, Ausdehnung sowie aufgetretene Schäden geschlossen werden. Einen Überblick über die Wildbachbauwerke und deren Zustandsbewertung erhält man über die Daten der Wildbach-Bauwerksdatenbank. Die Art und Dimensionierung der Verbauung kann Hinweise auf die Intensität und Häufigkeit des zu erwartenden Prozesses.

Geländeerhebung

Der Gesamteindruck, den der Bearbeiter bei den Vorarbeiten vom Einzugsgebiet gewonnen hat, soll durch eine Geländebegehung überprüft und vervollständigt werden. Die kleinräumigen Verhältnisse, die für Wildbacheinzugsgebiete charakteristisch sind, können durch großflächig verfügbare Karten bzw. Luftbilder nur generalisiert erfasst werden. Die Wildbachprozesse sind in ihrer Ausprägung derart komplex und individuell, dass entscheidende Zusammenhänge und wichtige Details erst bei einer Ortseinsicht erfasst werden können. Als Ergebnis der Geländeerhebungen sollen die maßgeblichen Wildbachphänomene skizziert werden. Dies ist nicht im Sinne einer flächendeckenden wildbachkundlichen

Kartierung zu verstehen, sondern dient vorrangig der Dokumentation der Begehung. Ziel ist es, den Arbeitsschritt nachvollziehbar und transparent darzustellen und somit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Geländeaufnahmen zu gewährleisten.

Skizzierung der maßgeblichen Wildbachphänomene

Mit der Kartierung der Wildbachphänomene sollten „Stummen Zeugen“ von früher abgelaufenen Ereignissen und kritische Stellen im Gelände (geomorphologischer, geologischer, hydrologischer usw. Natur) erkannt und beurteilt werden (Kienholz und Krummenacher 1995). Die Karte der Wildbachphänomene dient als Arbeitsmittel, Entscheidungshilfe und Dokumentation der Gelände-

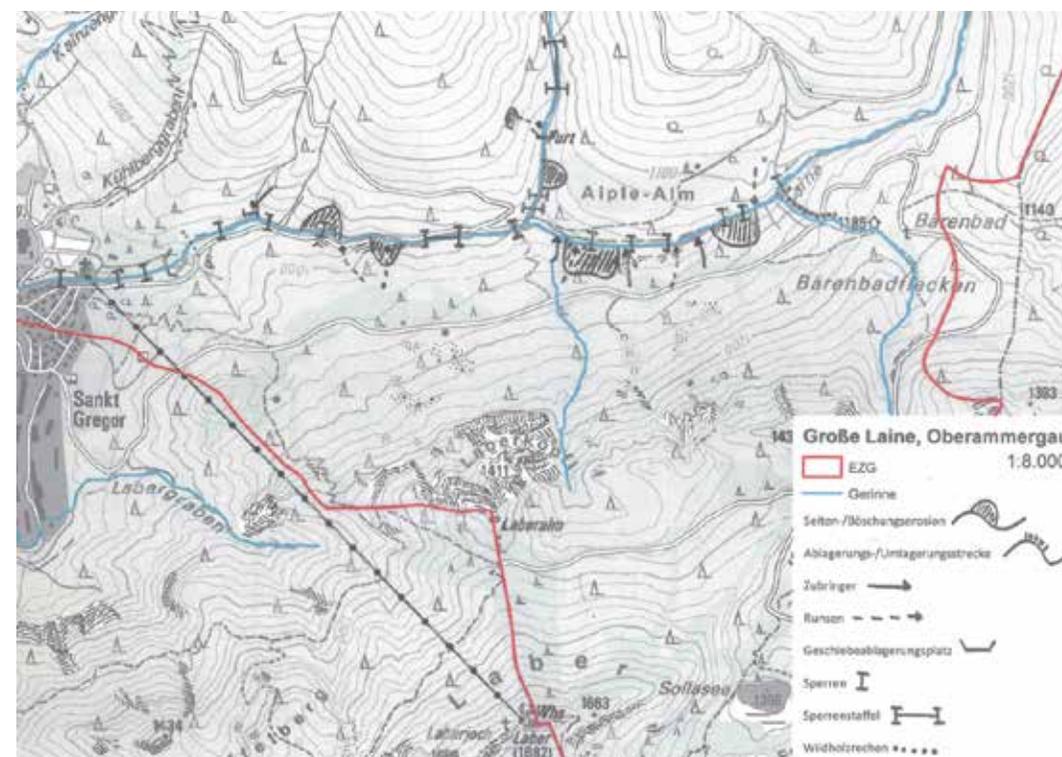


Abb. 2: Skizze der Wildbachphänomene am Beispiel Große Laine, Gde. Oberammergau

Fig. 2: Sketch of torrent phenomena using the example of Große Laine, municipality of Oberammergau

begehung. Dies trägt zur Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und Erhöhung der Transparenz gegenüber Auftraggeber und Auftragnehmer bei. Die Karte sollte nur die Phänomene und Elemente des Wildbachsystems beinhalten, die zum Geschiebehaushalt maßgeblich beitragen (siehe Abbildung 2). Eine flächendeckende Kartierung des Einzugsgebietes ist nicht vorgesehen. Die Vorgabe eines Kartierschlüssels hilft bei der Umsetzung.

Festlegung des Leitprozesses

Auf Basis der Vorarbeiten und der Geländeerhebung gilt es in diesem Arbeitsschritt den Leitprozess für die Feststoffverlagerung im raumrelevanten Bereich festzulegen. Zur Bestimmung des Prozesstyps wird zuerst untersucht, ob der Bach im Bemessungsfall nennenswerte Geschiebemenigen liefert (Geschieberelevanz). Ist dies nicht der Fall, kann von dem Prozesstyp **Hochwasser mit Feinsediment** ausgegangen werden. Es wird dann pauschal ein Geschiebezuschlag $GZ = 1,05$ festgelegt.

Wird festgestellt, dass der Bach Feststoffe mitführt, muss die Murfähigkeit des Wildbaches beurteilt

werden. Dies erfolgt einerseits durch Betrachtung des Gerinnegefälles sowie der Einzugsgebietsgröße oberhalb eines Gerinneabschnitts, der ausreichend steil ist, um einen Murgang zu ermöglichen. Weiterhin werden Engstellen im Gerinneverlauf betrachtet, an denen es zu einer potentiellen Verklausung kommen kann, deren Brechen wiederum einen Murgang auslösen kann. Im Gelände wird überprüft, ob Anzeichen für das Auftreten von Muren vorhanden sind. Tiefenerosion und ein U-förmiges Gerinneprofil mit Levees, aber auch Murzungen und -köpfe sowie unsortierte Ablagerungen am Kegel sind als Hinweise für eine Murfähigkeit eines Bachs anzusehen (Gertsch 2009).

Deuten die Ergebnisse der Vorarbeiten und der Geländeerhebung auf eine Murfähigkeit des Gerinnes hin, ist vom Prozesstyp **murartiger Geschiebetransport** oder **Murgang** auszugehen. In diesem Fall ist ein eigens zur Abschätzung von Murprozessen entwickelter Ansatz zu verwenden. Ist der Wildbach nicht murfähig, aber eine Geschieberelevanz gegeben, wird der Prozesstyp **fluvialer Geschiebetransport** unterstellt (vgl. Abbildung 3).

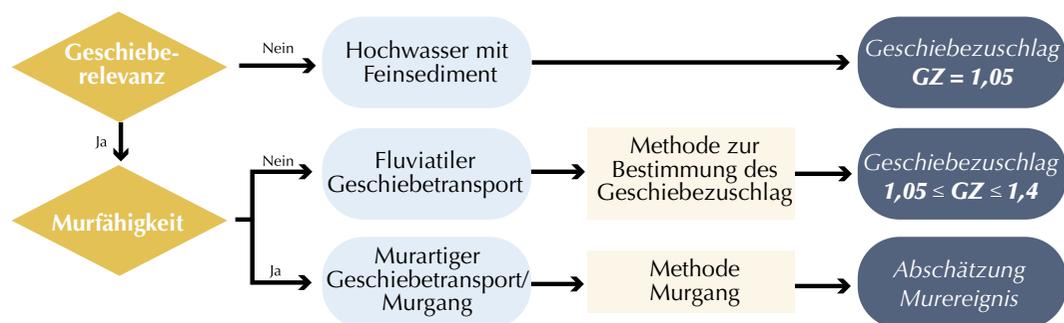


Abb. 3: Entscheidungsbaum zur Bestimmung des Leitprozesses

Fig. 3: Decision diagram to determine the leading torrent process

Methoden zur

Bestimmung des Geschiebezuschlags

Allgemein wird hinsichtlich des Geschiebetransports eines Wildbachs zwischen **transportlimitierten** und **geschiebelimitierten** Verhältnissen unterschieden. Abhängig von den Verhältnissen im betrachteten Wildbachabschnitt, erfolgt die Wahl der Methode zur Bestimmung des GZ. Bei transportlimitierten Verhältnissen wird GZ durch die Berechnung der Transportkapazität bestimmt (Methode TK) und bei geschiebelimitierten Verhältnissen wird der durch eine Klassifizierung geschätzt (Methode GZ).

Transportlimitierte Verhältnisse liegen dann vor, wenn die Menge des transportierten Geschiebes durch die Transportkapazität des Wassers begrenzt wird. In diesem Fall steht mehr Geschiebe zur Verfügung, als durch das Wasser erodiert und abtransportiert werden kann. Dadurch kommt es zu einer Umlagerung des Geschiebes. Eine deutlich ausgeprägte Umlagerungsgebiet ist für transportlimitierte Verhältnisse typisch. Es handelt sich meist um Bäche des Berg- und Hügellandes, deren Geschiebequellen aus eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Bildungen bestehen (vgl. Altschuttbäche Stiny 1931). Hat man es mit transportlimitierten Verhältnissen zu tun, kann die Methode **Berechnung der Transportkapazität** angewandt werden.

Geschiebelimitierte Verhältnisse sind vor allem in Bächen des Hochgebirges anzutreffen. Diese sind unter anderem durch hohe Gefälle sowie klar eingegrenzte Geschiebedepots gekennzeichnet. Der Eintrag von verlagerungsfähigem Geschiebe in die Depots erfolgt kontinuierlich durch Erosionsprozesse. Bäche mit geschiebelimitierten Verhältnissen zeichnen sich durch ein klar definiertes Ablagerungsgebiet aus.

Da eine eindeutige Zuordnung eines

Bachs in transportlimitierte oder geschiebelimitierte Verhältnisse selten möglich ist, wird bei transportlimitierten Verhältnissen empfohlen, die Ermittlung des Geschiebezuschlags nach beiden Methoden vorzunehmen. Dies dient der Plausibilisierung der Ergebnisse.

Berechnung der Transportkapazität (Methode TK)

Bei der Methode TK wird ausgehend vom Abschnitt mit transportlimitierten Verhältnissen (Schlüsselstrecke) der Geschiebezuschlag durch die Berechnung der Transportkapazität abgeschätzt. Die Transportkapazität beschreibt jene Geschiebefracht, welche aufgrund der dort vorkommenden hydraulischen und sedimentologischen Parameter transportiert werden. Die Schlüsselstrecke ist ein Gerinneabschnitt, der den Geschiebetransport flussab limitiert und ist gekennzeichnet durch ein geringes Gefälle im Vergleich zum Pauschalgefälle. Das Ausmaß (Länge und Breite) sollte groß genug sein, das von oberhalb eingetragene Geschiebe ab- bzw. umlagern zu können.

Um ein Ergebnis zu liefern, das für den Geschiebezuschlag im raumrelevanten Bereich angewandt werden kann, muss die Schlüsselstrecke folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Die Schlüsselstrecke befindet sich unmittelbar oberhalb des Gerinneabschnitts, für den die hydraulische Simulation vorgenommen wird. Ausnahmen sind zulässig, wenn der Gerinneabschnitt, der zwischen dem raumrelevanten Bereich und der Schlüsselstrecke liegt, weder weitere Geschiebequellen beinhaltet, noch eine Ablagerung von Geschiebe ermöglicht. Derartiges ist beispielsweise für Klammstrecken der Fall.
- Die Länge der Schlüsselstrecke beträgt das 10- bis 20-fache der Gerinnebreite

im betrachteten Abschnitt, mindestens jedoch 100 m

- Im Bereich der Schlüsselstrecke stellt sich die Normalabflusstiefe ein.
- Spuren von aktivem Geschiebetransport sind erkennbar.

Die Charakterisierung der Schlüsselstrecke erfolgt anhand der Parameter Gefälle, Breite, Kornverteilung, Böschungsneigung und Makrorauheit. Aus den Parametern der Schlüsselstrecke zusammen mit dem Abfluss, wird die Transportkapazität berechnet. Dazu wird auf folgende Berechnungsansätze zurückgegriffen:

- Fließformel: Strickler oder Rickenmann (1996)
- Transportbeginn: Rickenmann (1991)
- Transportformel: Smart & Jäggi (1983) oder Rickenmann (1990)
- Formverlust: Rickenmann & Recking (2011)

Zur Anwendung der Formelsätze steht den Bearbeitern ein Excel-Arbeitsblatt zur Verfügung. Der Geschiebezuschlag errechnet sich aus dem Verhältnis von Geschiebetransport zu Abfluss.

Diese quasi punktuelle Betrachtung eines Regelprofils beinhaltet Ungenauigkeiten, die mit der Entfernung von der Schlüsselstrecke zunehmen. Eine räumlich variierende Feststoffmobilisierung sowie die zeitliche Veränderung der Schlüsselstreckenparameter (z.B. Änderung des Gefälles durch Auflandung, Änderung der Sedimentparameter durch Geschiebeeintrag von oben) können nicht berücksichtigt werden. Es sollte ergänzend zur Berechnung der Transportkapazität immer auch eine Klassifizierung des Geschiebezuschlags erfolgen. Die Ergebnisse sind miteinander abzugleichen und auf Plausibilität zu prüfen.

Klassifizierung des Geschiebezuschlags (Methode GZ)

Die Methode GZ ist eine „gelenkte“ Experteneinschätzung. Die Einschätzung erfolgt hauptsächlich gutachterlich auf Basis qualitativer Kriterien, die den Geschiebehaushalt beeinflussen. Eine systematische Vorgehensweise mithilfe von Fragen und einem Bewertungssystem ist der Kern dieser Methode. Die Erfassung der Kriterien richtet sich nach den folgenden zwei wesentlichen Fragestellungen (Optimeth 2013):

- Wie groß ist das Feststoffpotential?
- Wieviel Geschiebe kann davon bei einem Ereignis mobilisiert und transportiert werden?

Der erste Teil der Klassifikation beinhaltet die Bewertung des Geschiebepotentials, im zweiten Block wird die Geschiebeverlagerung bewertet.

Bewertung Geschiebepotential

Zur Bewertung des Geschiebepotentials wird folgendes beurteilt:

- Geologische Situation: Erosionsanfälligkeit des Untergrundes (Lockergestein, Festgestein), potentieller Geschiebeeintrag aus Ablagerungsbereiche von Rutschungen (GEORISK-Kartierung) und Geschiebequellen mit unlimitiertem Lockermaterial (Altschuttherde, Moränen, Talverfüllungen, Staubeckensedimente, Sturzschutthalden, Bachschutt, Murschutt)
- Geomorphologische Situation: Bewertung von geomorphologischen Prozessen (EGAR-Karte) hinsichtlich ihrer Abtragsbereitschaft

- Geschieberelevanz von Runsen: Eintiefung ins Gelände, Form des Querprofils, Deckschicht vorhanden
- Geschieberelevanz der Zubringer: sind aktive Geschiebespuren vorhanden, bildet der Zubringer einen Schwemmkegel, Abdrängen des Vorfluters
- Vegetation und Landnutzung: Zustand der Vegetation im Einzugsgebiet, Interpretation der Arten- und Alterszusammensetzung, Stabilität im Ereignisfall (zu erwartende Dynamik auf potentiellen Erosionsflächen)

Frage 1	Wie sind die Flächen mit „Prozessaktivität“ laut EGAR nach der Verifikation im Gelände zu beurteilen?
Frage 2	Ist der Zustand der Vegetation im Einzugsgebiet des Wildbachs, v.a. auf Flächen im Abtragsgebiet des Gerinnes, als stabil anzusehen?
Frage 3	Gibt es Geschiebequellen entlang des Hauptgerinnes, die dem Bach unlimitiert Lockermaterial zur Verfügung stellen?
Frage 4	Wie sind die stratigraphischen Einheiten (Geologie), durch die das Hauptgerinne fließt, hinsichtlich ihrer Gesteinsklassifikation und der Mächtigkeit der Lockergesteine zu beurteilen?
Frage 5	Kommen Ablagerungsbereiche tiefreichender Rutschungen (GEORISK-Kartierung) mit Anschluss ans Gerinne vor und/oder sind aktive Rutschungen entlang des Hauptgerinnes erkennbar?
Frage 6	Wie ist die Beschaffenheit der Böschungen des Hauptgerinnes zu beurteilen?
Frage 7	Wie viele geschieberelevante Zubringer gibt es?
Frage 8	Sind aktive, geschiebeführende Runsen an das Hauptgerinne angebunden?

Bewertung Geschiebeverlagerung

Dazu werden Kriterien und Parameter, die Aussagen zum Gerinneprozess erlauben, beurteilt:

- Gerinnemorphologische Kennwerte: mittleres Gerinnegefälle, Ausprägung der Sohlstruktur (Stufen, Riegel, Kolke, Blöcke), Ausbildung des Querprofils (Trapez-Form = stabile Gerinnesohle, V-Form = Tiefenerosion), Form des Längsprofils – abgetreppte Form oder konstantes Gefälle
- Verklauungsgefahr: große Erosionen durch neue Fließwege außerhalb des Bachbetts möglich, besteht die Gefahr einer Auslösung eines Murgangs beim Durchbruch?
- Zwischendeponien: künstliche und natürliche Retentionsmöglichkeiten für Feststoffe

Frage 1	Wie groß ist das mittlere Gerinnegefälle des Hauptgerinnes?
Frage 2	Wie groß ist das Größtkorn des fluviatil transportierten Geschiebes im Unterlauf?
Frage 3	Wie hoch ist der Anteil an ausgeprägter Sohlstruktur (Formrauheit) in der Bachsohle des Hauptgerinnes?
Frage 4	Sind potentielle und/oder aktuelle Verklauungsstellen im Hauptgerinne vorhanden?
Frage 5	Sind größere Retentionsmöglichkeiten für Feststoffe vorhanden?
Frage 6	Welcher Form entspricht das strecken-dominierende Querprofil im Hauptgerinne?
Frage 7	Wie ist die Form des Längsprofils vom Hauptgerinne ausgeprägt?

Jeder Frage sind 4 mögliche Antworten mit einer bestimmten Punktezahl (zwischen 0 und 3) zugeordnet. Die jeweilige Punktesumme aus den beiden Blöcken (Geschiebepotential und Geschiebeverlagerung) ergibt eine Intensitätsklasse (gering-mäßig-hoch). Der Zusammenhang von Geschiebepotential und Geschiebeverlagerung wird mittels einer Matrix festgestellt. Der Geschiebezuschlag ergibt sich schließlich je nach Kombination der beiden Intensitätsklassen (Abb. 5). Die Wirkung von Wildbachverbauungen wird einerseits bereits in den Fragen berücksichtigt, andererseits wird sie in die finale Beurteilung des Geschiebezuschlags einbezogen.

Eine teilweise thematische Überschneidung der Fragen soll eine Redundanz bewirken und dazu beitragen, eine Verzerrung des Ergebnisses durch den subjektiven Einfluss des Bearbeiters zu minimieren. In der Praxis ist darüber hinaus die Auswahl jeder Antwort durch den Bearbeiter

zu begründen. Es wird empfohlen, mittels des zur Verfügung gestellten Fragebogens eine Vorabschätzung des Geschiebezuschlags auf Basis des EGAR-Datensatzes und aller weiteren verfügbaren Daten (Ereignisdokumentation, Orthophotos,...) vorzunehmen. Bei der Geländebegehung ist erneut der Fragenkatalog anzuwenden. Die dabei ermittelten Antworten sind mit denen abzugleichen, die im Zuge der Vorarbeiten ermittelt wurden. Dadurch kann eine Korrektur der Vorabschätzung erforderlich werden.

Plausibilisierung und Interpretation des Ergebnisses

Das ermittelte Ergebnis muss einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden, bevor es in die hydraulische Modellierung einfließen kann. Dies kann durch einen Abgleich des ermittelten Geschiebezuschlags mit den dokumentierten

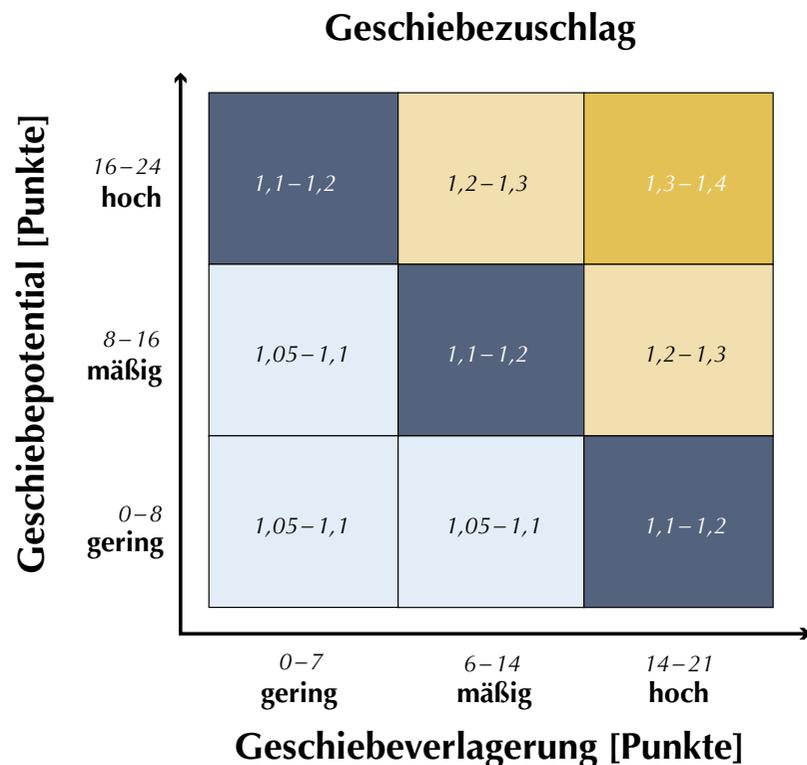


Abb. 4:
Matrix zur Bestimmung
des Geschiebezuschlags
GZ anhand der Kriterien
Geschiebepotential und
Geschiebetransport

Fig. 4:
Matrix for the
determination of the bed
load coefficient GZ based
on bed load availability and
bed load transport

Ereignissen erfolgen. So ist ein hoher Wert für den Geschiebezuschlag nur dann als plausibel zu erachten, wenn auch historische Ereignisse mit Geschiebeteilung bekannt sind. Aus der Interpretation der Beschreibungen der Ereignisse, kann eine Größenordnung abgeleitet werden (z.B. über die Höhe des Schadens oder Größe der Überschotterungsfläche). Die Ausbildung des Mündungsbereichs in den Vorfluter des Wildbachs kann weitere Hinweise auf die Geschiebeführung liefern. Ist das Gerinne des Vorfluters im Bereich der Mündung an die gegenüberliegende Tal- oder Flussbettseite gedrängt, ist dies häufig auf einen erhöhten Geschiebetrieb des einmündenden Gewässers zurückzuführen. Auch Form und Aufbau des Schwemmfächers liefern Indizien zur Geschiebeführung eines Wildbachs. Das Expertenwissen des erfahrenen Bearbeiters muss in jedem Fall zur Bewertung des Ergebnisses mit eingebunden werden. Passt das Ergebnis nicht zum Gesamteindruck, sollte eine Korrektur vorgenommen werden. Die Anpassung sollte auf Basis von nachvollziehbaren Argumenten geschehen.

Schlussfolgerung

Mit dem vorgestellten Verfahren wird ein Standard für die Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung zur Bestimmung des Geschiebezuschlags bei fluvialem Geschiebetransport festgelegt. Die Methode zeichnet sich durch ihre Praktikabilität aus und ist mit verhältnismäßig geringem Aufwand durchführbar. Darüber hinaus ermöglicht sowohl die vereinheitlichte Vorgehensweise als auch das Zurückgreifen auf eine einheitliche Datengrundlage eine Kontrolle der Ergebnisse. Dies trägt dazu bei, dass die Ermittlung der Wildbachgefährdungsbereiche in Bayern nach gleichen Standards erfolgt und demnach eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Stefan Braito, Dipl. Geol. Karl Mayer,
DI Peter Wagner, DI Dr. Andreas Rimböck
Referat 61 Hochwasserschutz,
alpine Naturgefahren
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
andreas.rimboeck@lfu.bayern.de

Literatur / References

- BUNZA G., SCHAUER T. (2004). Erfassung und Beurteilung des Naturgefahren- und Nutzungspotentials und deren Wechselwirkungen in Wildbacheinzugsgebieten für das Raummanagement in den Alpen auf Regionaler Ebene. Wildbach- und Lawinenverbau Nr. 149.
- ONR 24800 (2009). Schutzbauwerke der Wildbachverbauung-Begriffe und ihre Definitionen sowie Klassifizierung. Ausgabe: 15-02-2009
- GERTSCH E. (2009): Geschiebelerfahrung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen - Ereignisanalysen und Entwicklung eines Abschätzverfahrens. Dissertation an der Universität Bern.
- KIENHOLZ D. (2005), Gefahrenzonenplanung im Alpenraum, Wildbach und Lawinenverbau, Heft 152.
- KIENHOLZ H., KRUMMENACHER B. (1995). Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene. Mitteilungen des Bundesamtes für Wasser und Geologie Nr. 6.
- MAYER K., MÜLLER-KOCH K. & VON POSCHINGER A. (2002): Dealing with landslide hazards in the Bavarian Alps.- 1st European Conference on Landslides (Prague, Czech Republic).
- RICKENMANN D. (1991). Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. Journal of hydraulic engineering, 117(11), 1419-1439.
- RICKENMANN D. (1996). Fließgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. wasser, energie, luft, 88: 298-304.
- RICKENMANN D., RECKING A. (2011). Evaluation of flow resistance in gravel-bed rivers through a large field data set. Water Resources Research, 47 (7).
- RIMBÖCK et al. (2013): OptiMeth – Beitrag zur optimalen Anwendung von Methoden zur Beschreibung von Wildbachprozessen. Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT, Schriftenreihe 1, Handbuch 3, Klagenfurt.
- SMART G. M., JAEGLI M. N. (1983). Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ.
- STINY J. (1931). Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern. Wien: Julius Springer.

PIERPAOLO MACCONI, LORENZO MARCHI, FRANCESCO COMITI, MARCO CAVALLI

Murenbeobachtungsstation am Gadriabach in Südtirol

Debris flow monitoring system at Gadria Creek, South Tyrol

Zusammenfassung:

In den letzten Jahren wuchs das Interesse seitens der Forschung und der öffentlichen Verwaltung für die Überwachung und Beobachtung von Naturereignissen. Die Fortschritte der Technologie, die Notwendigkeit eines besseren Prozessverständnisses und von integralen Strategien für die Risikoverminderung fördern diese Überwachungsaktivitäten. Für die Anpassung von strukturellen Maßnahmen, die Entwicklung von Frühwarnsystemen für Murgangereignisse und die Vertiefung des Wissensstandes bezüglich der Sedimentflüsse in alpinen Einzugsgebieten hat die Agentur für Bevölkerungsschutz der Provinz Bozen eine Monitoringstation für Murgang am Gadriabach, einem kleinen Wildbach im Vinschgau (Südtirol), installiert. Dieser Beitrag beschreibt die Messstation und die erzielten Ergebnisse aus den aufgezeichneten Murgängen der Jahre 2011 bis 2015.

Stichwörter: Murgang, Monitoring, Frühwarnung, Schutzbauten

Abstract:

In the recent years, an increased attention of research institutes and public agencies in monitoring of natural hazards has been observed. Both improved technical capabilities and the need of a better knowledge of such processes, in view of more integrated strategies for risk reduction, motivate this development of monitoring activities. In order to improve the design of protection structures, to test early warning systems for debris flows and to gain a better knowledge on sediment fluxes in headwater catchments, the Agency for Civil Protection of the Province of Bolzano has implemented a debris-flow monitoring station in the Gadria Creek in Vinschgau Valley (South Tyrol). This paper describes the monitoring station and presents data on debris flows recorded from 2011 to 2015.

Keywords: Debris flow, monitoring, early warning, protection measures

Das Einzugsgebiet des Gadria

Der Gadriabach befindet sich in der Provinz Bozen und fließt durch die Gemeindegebiete Laas und Schlanders; sein Einzugsgebiet nimmt eine Fläche von 6.3 km² ein, die Seehöhe reicht von 1394 m bis 2945 m. Die Hänge sind im Allgemeinen recht steil, die mittlere Hangneigung beträgt 79,1 %. Die Geologie ist im Einzugsgebiet des Strimmbaches und im oberen Teil des Gadriabaches vor allem von Paragneis der Matscher Einheit geprägt. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes herrscht hingegen mylonitischer Orthogneis vor.

Gadriabach und Strimmbach weisen sehr unterschiedliche morphologische Merkmale auf, die sich auf die prägenden Prozessstypen auswirken; eine Studie über die Vernetzung der einzelnen Abschnitte der Geschiebeherde (Cavalli et

al., 2013) hat aufgezeigt, dass letztere im Gadriabach nicht nur ausgedehnter, sondern auch besser mit dem hydrographischen Netz verbunden sind als dies im Strimmbach der Fall ist.

Das Gebiet, welches den Gadriabach umfasst, ist durch ein ausgesprochen trockenes Klima geprägt. In den Tallagen beträgt der mittlere Jahresniederschlag 480 mm, in höheren Lagen fällt mehr Niederschlag. Der Gadria ist seit jeher wegen seiner häufig auftretenden Murgänge bekannt, die im Laufe der Zeit für die Entstehung des großen Laaser Schuttkegels gesorgt haben und während der letzten Jahre durchschnittlich ein Mal im Jahr in Erscheinung traten. Die meisten Murgänge gibt es im Juli und August. Die starke hydrogeologische Aktivität macht dieses Einzugsgebiet zusammen mit seiner sehr günstigen logistischen Lage zu einem idealen Untersuchungsgebiet für hydrogeologische Prozesse.

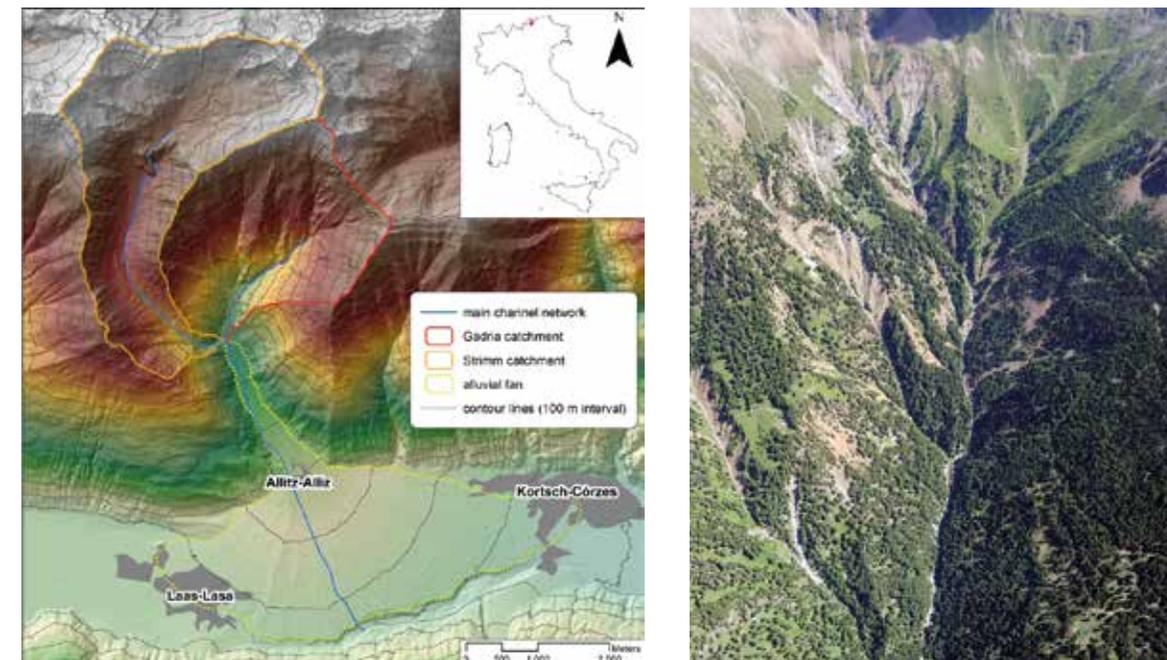


Abb. 1: Links: Teileinzugsgebiet des Gadria Baches (im Osten) und jenes des Strimmbaches (im Westen); rechts: Aufgrund der ausgedehnten Geschiebeherde treten im Gadriabach vor allem Murgänge auf.

Fig. 1: Left: Map of the subcatchments Gadria Creek (East) and Strimmbach (West); right picture: Due to large sediment sources debris flows are the dominating process in the Gadria catchment.

Das Monitoringsystem

Planung und Installation der Monitoringstation wurden von einem aus Vertretern der öffentlichen Verwaltung (Agentur für Bevölkerungsschutz) und dem Forschungsbereich (Universität Bozen, IRPI Institut des CNR, Universität Padua) zusammengesetzten Team durchgeführt, welches von spezialisierten privaten Unternehmen unterstützt wurde. Diese enge Zusammenarbeit ermöglichte die Bewältigung verschiedenster Schwierigkeiten. Die Techniker und Arbeiter der Agentur kümmerten sich um die Realisierung der Infrastruktur, wie z.B. Stromanschluss, Grabungsarbeiten für die Verlegung von Netzinfrastrukturen, Grundbau, Steinmauern, Vorrichtungen für die Unterbringung von Messinstrumenten. Die Agentur garantiert dabei durch Eigenregiearbeiten Flexibilität und eine schnelle Durchführung auch unter schwierigen Bedingungen und bei unvorhersehbaren Zwischenfällen.

Das Monitoringkonzept wurde von einem wissenschaftlichen Team ausgearbeitet, das die Aufgabe hatte Kenntnisse und bereits gesammelte Erfahrungen an die spezifischen Gegebenheiten des Gadriabaches anzupassen. Diese Arbeitsgruppe nahm auch bei der Wahl der Messinstrumente und bei der Standortauswahl eine äußerst wichtige Rolle ein (Comiti et al., 2014). Die Systemkonfiguration des Monitoringsystems am Gadriabach ist noch nicht beendet; die seit der Inbetriebnahme gesammelten Erfahrungen haben es erlaubt an der Optimierung des Systems zu feilen und einige Ziele neu auszurichten. Momentan besteht das Monitoringsystem aus den folgenden Bestandteilen:

- Base Camp (BC), am Zusammenfluss von Gadriabach mit Strimmbach in der Nähe des Ablagerungsbeckens. Dieser Bereich

ist durch eine Forstrasse erschlossen und besitzt einen Stromanschluss.

- Serverkabine für die Erfassung, Archivierung, Visualisierung und Übertragung der Daten.
- 2 Pegelstationen mit Radargerät
- 3 Videokameras mit laufender Videoaufnahme (Aufnahmedauer ca. 10 Tage)
- 2 Geophonstationen (momentan in Umbau)
- 1 Geophonstation im Prototypenstadium stand-alone mit Warnleuchtvorrichtung, wodurch Alarmierungssignale simuliert werden (aktiv seit 2014 und freundlicherweise von der Firma SIAP+MICROS zur Verfügung gestellt)
- 1 Infrasound Messtation (Eigentum und Verwaltung – Universität für Bodenkultur Wien – Institut für Alpine Naturgefahren)
- Advanced Camp (AC)
 - Niederschlagsmessstation (R3)
 - Pegelstation mit Radargerät (aktiv erst seit 2014, momentan in Umbau)
- Periphere Stationen
 - 3 Niederschlagsmessstationen (R1, R2; R4 momentan in Umbau)
 - 1 Videokamera. Die Kamera ist auf einen Sedimentquellbereich gerichtet (die Abspeicherung erfolgt auf lokalem Datenträger, nahe der Niederschlagsmessstation R1)

Weitere Messinstrumente (Hygrometer, Drucksonden) wurden für einige Jahre in zwei Bereichen installiert, um den Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte und Ereignisauslösung zu erforschen. In den nächsten Jahren gilt das Hauptaugenmerk der Erreichung folgender Ziele:

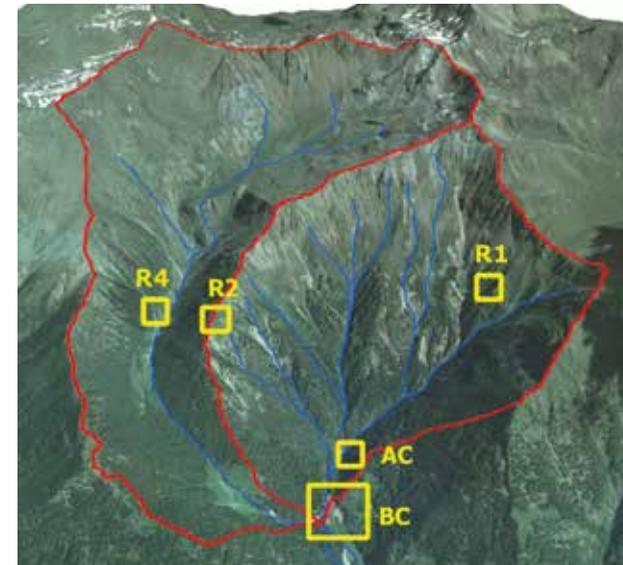


Abb. 2: Links: Systemkonfiguration; rechts, im Uhrzeigersinn: Videokamera IP mit Scheinwerfer, Radarpegelmessgerät, Niederschlagsmessstation, Geophonstation.

Fig. 2: left: System configuration; right, clockwise: IP flashlight camera, radar gauge, precipitation gauge, geophone station.

- Festigung der bestehenden Messeinrichtungen
- Erweiterung des Messnetzes mit 2 weiteren Pegelmessstationen und einer neuen Videokamerastation
- Optimierung der Datenarchivierung sowie der Abrufung und der Visualisierung der Daten

Die gesammelten Erfahrungen bestätigen, dass ein derartiges Überwachungssystem mit sehr hohen Instandhaltungskosten gekoppelt ist. Die Entfernung, die eingesetzten Messinstrumente und die klimatischen Verhältnisse erfordern eine regelmäßige Wartung. Das dafür beauftragte Team besteht aus vielen Fachleuten (Elektriker, Informatiker, Radiotechniker, Fachmann für Messinstrumente, Arbeiter und Techniker der Wildbachverbauung); und auch das wissenschaftliche Team setzt sich aus Mitarbeitern aus den verschiedensten Bereichen zusammen.

Aufgezeichnete Ereignisse

Das System hat bisher vier Ereignisse aufgezeichnet: 2011 war ein kleines Ereignis, das als hyperkonzentrierter Abfluss klassifiziert werden kann (ca. 2.500 m³). Die drei Murgänge von 2013, 2014 und 2015 waren mittelgroße Ereignisse (zwischen 8.000 und 10.500 m³), mit deutlichen Unterschieden in den Eigenschaften und in der Dynamik. Eine Übersicht ist in Tabelle 1 angeführt.

Bei den Ereignissen 2014 und 2015 geht der ersten Welle ein Abflussanstieg voraus, die Murfront 2013 hatte eine "Lehrbuchform", der ein Basisabfluss aus sauberem Wasser voranging (siehe Abbildung 3 und Video der Agentur, Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=DXA7D82S4Ow>).

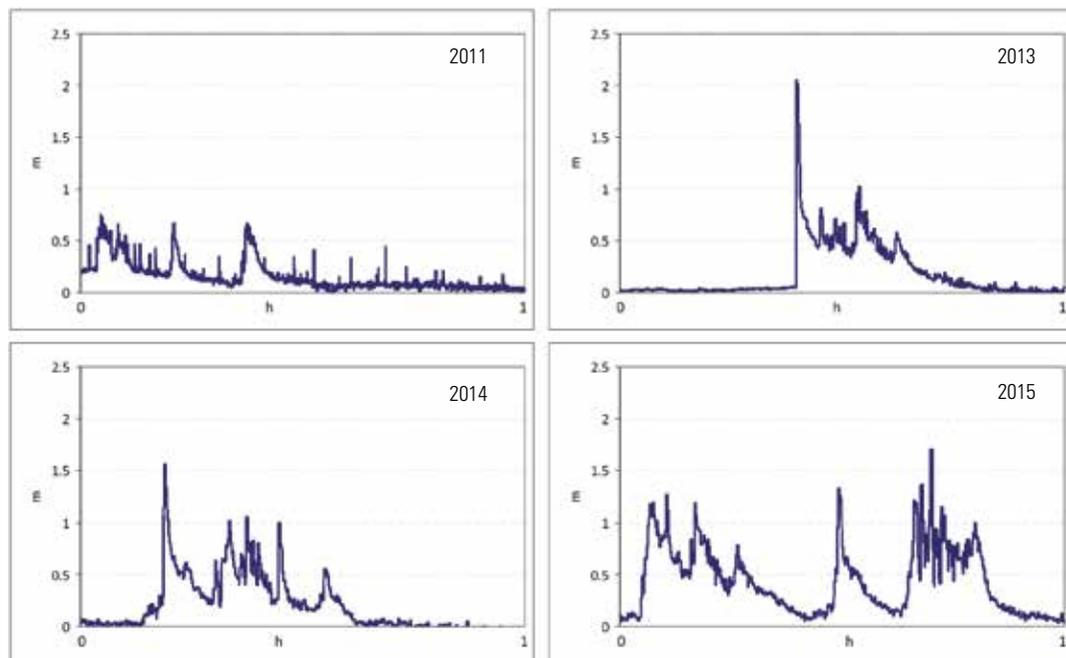


Abb. 3: Aufgezeichnete Hydrogramme der bergseitigen Pegelmessstation während der 4 Ereignisse. In allen Grafiken beträgt das Zeitintervall eine Stunde.

Fig. 3: Recorded hydrographs of the uphill gauge station during the 4 debris flow events within a time interval of one hour.

Datum Ereignis	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	auslösender Niederschlag (mm)	Niederschlagsdauer (h)	max. Wasserstand talseitiger Pegel (m)	max. Wasserstand bergseitiger Pegel (m)	Geschwindigkeit der Hauptfront (m/s)	Volumen (m ³)
5. August 2011	18:00	18:30	9.4	5.25	0.60	0.71	2.6	2400
18. Juli 2013	17:22	17:40	17.2	0.25	1.89	2.05	5.7	8000
15. Juli 2014	17:15	17:44	11.4	0.75	1.58	1.66	1.4	10500
8. Juni 2015	17:16	18:05	18.7	4.17	1.65	1.33	3.5	9850

Tab. 1: Wichtigste Eigenschaften der aufgezeichneten Ereignisse

Tab. 1: Characteristics of the recorded events

Die Volumensberechnung der Ereignisse wird durch das Ablagerungsbecken unmittelbar talseitig der Pegelmessstation sehr stark erleichtert, da dort fast das gesamte Material zurück gehalten wird. Für die Abschätzung des Ablagerungsvolumens wurden verschiedene Methoden verwendet, wie z.B. die Berechnung des Höhenunterschiedes aus digitalen Modellen vor/nach dem Ereignis (DoD – DEM of Difference), erzeugt aus Laser-Scans und terrestrischer Fotogrammetrie, die sich als äußerst wirksame und kostengünstige Methode erwiesen hat.

Im Jahr 2014 wurde mit Versuchen für die Entwicklung eines Frühwarnsystems begonnen mit dem Ziel, robuste Algorithmen für die Aktivierung der Vorwarnung zu definieren. Dazu werden die Signale verschiedener Messinstrumente herangezogen (in erster Linie Geophone, Pegel- und Niederschlagsmessungen). Bei beiden Ereignissen 2014 und 2015 wurde die Warnlampe bei der Annäherung des Murganges durch die Geophonstation aktiviert. Die Analyse der Geophondaten hat wichtige Beiträge für die Entwicklung der Algorithmen für die Alarmauslösung geliefert (M. Arattano et al. 2015).



Abb. 4: Bilder der ersten Welle der vier bisher aufgezeichneten Ereignisse.

Fig. 4: First surge of the four recorded debris flow events.

Zusammenfassung

Während der fünf Beobachtungsjahre (2011–2015) hat das Monitoringsystem die Sammlung von Daten zu vier Ereignissen erlaubt, so dass die Eignung des Einzugsgebietes für derartige Versuche bestätigt werden konnte.

Die erhobenen Daten sind sicherlich ein Gewinn für die wissenschaftliche Forschung, da somit Grundlagendaten für die Beschreibung und Interpretation von Naturprozessen und für die Eichung von Simulationsmodellen zur Verfügung stehen. Zusätzlich bedeutsam ist der Umstand, dass der Gadriabach ein Testgebiet des Projektes r.avaflow (Juli 2014 – Juni 2017) ist, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF). Das Projektziel ist die Entwicklung eines neuen zweiphasigen, numerischen Modells für die Simulation von granularen Strömen und von Murgängen (<http://avaflow.org/index.html>).

Für viele Techniker der Agentur für Bevölkerungsschutz war bisher der einzige Kontakt mit den Murgangprozessen der Lokalaugenschein nach dem Ereignis. Die Videoaufzeichnungen erlauben nun eine vollständige Beobachtung der komplexen Dynamik eines Murganges und auch einzelner Phänomene während des Ablaufes (z.B. Transport von Großblöcken und Schwemholz). Großes Interesse weckt speziell die Wechselwirkung zwischen dem Prozess und den Schutzbauten: Viele der nun vorliegenden Informationen können helfen, die Projektierung neuer Schutzbauten zu verbessern.

Die ersten Versuche für die Entwicklung eines Frühwarnsystems haben gute Ergebnisse gebracht: Nun müssen diese Experimente weiter verfolgt, die Zuverlässigkeit verbessert und Alarmschwellenwerte festgelegt werden.

Das Monitoringsystem war bereits Untersuchungsgebiet in 2 EU-Projekten (Monitor II und SedAlp) und hat zu Diplomarbeiten und didaktischen Aktivitäten auf verschiedenen Ebenen ange-regt, so dass ein gemeinsames Interesse für Forschungsprojekte entstanden ist und das Netzwerk zwischen verschiedenen Experten unterschiedlicher Einrichtungen gefestigt werden konnte (Freie Universität Bozen, Universitäten Padua, Wien, Mailand, CNR).

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Pierpaolo Macconi
Agentur für Bevölkerungsschutz
Cesare Battisti Str. 23
39100 Bozen

Francesco Comiti
Freie Universität Bozen
Fakultät für Naturwissenschaften und Technik
Universitätsplatz 5
39100 Bozen

Lorenzo Marchi, Marco Cavalli
CNR IRPI
Corso Stati Uniti 4
35127 Padua

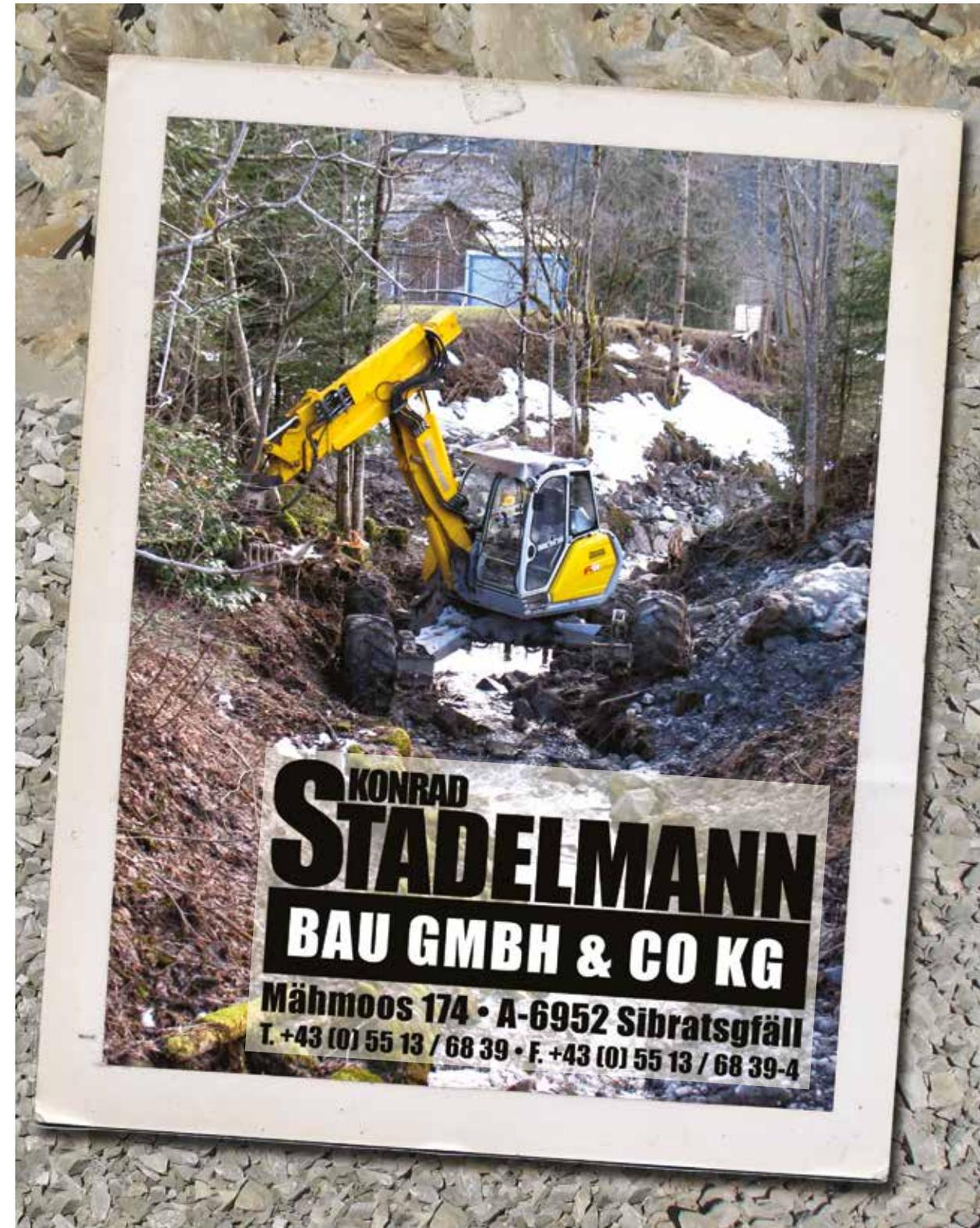
Literatur / References:

ARATTANO M., COVIELLO V., CAVALLI M., COMITI F., MACCONI P., THEULE J., AND CREMA S. (2015):
Brief Communication: A new testing field for debris flow warning systems.
Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1545–1549.

CAVALLI, M., TREVISANI, S., COMITI, F., MARCHI, L. (2013)
Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, 188, 31–41.

COMITI, F., MARCHI, L., MACCONI, P., ARATTANO, M., BERTOLDI, G., BORGA, M., BRARDINONI, F., CAVALLI, M., D'AGOSTINO, V., PENNA, D., THEULE, J. (2014).

A new monitoring station for debris flows in the European Alps: first observations in the Gadria basin. *Natural Hazards*, 73(3), 1175–1198.



HIDEAKI MARUI

Geschiebe- und Murenkatastrophen in Japan: Überblick und aktuelle Ereignisse

Sediment and debris flow disasters in Japan: Overview and actual events

Zusammenfassung:

Dieser Artikel zeigt wesentliche Merkmale und Abläufe der Geschiebe- und Murenkatastrophen in Japan. Die vielfältige Charakteristik dieser Vorgänge, die sich sehr häufig ereignen und enorme Schäden verursachen, wird basierend auf den natürlichen Gegebenheiten des Landes erklärt. Die Problematik und die Hauptaufgaben, die die Experten der Wildbachverbauung gerade konfrontieren, werden mit repräsentativen Beispielen der aktuellen Ereignisse dargestellt. Die großen Schwierigkeiten für die Japanische Wildbachverbauung liegen in erster Linie in der außerordentlich dichten Besiedlung der Gebiete am Fuß der Berge. Die dringend zu verbessernden Aspekte, insbesondere die Umsetzung nicht-struktureller Maßnahmen, werden kritisch diskutiert.

Stichwörter:

Geschiebe- und Murenkatastrophen, Gefahrenzonenplanung, nicht-strukturelle Maßnahmen.

Abstract:

This article highlights the significant features and processes of sediment and debris flow disasters in Japan. The diverse characteristics of the processes that frequently occur and cause enormous damage are explained based on the natural conditions of the country. The main challenges that the experts in torrent control are currently facing are shown with representative examples of actual disaster events. The great difficulty of the Japanese torrent control lies primarily in the extremely dense population of the foot of mountain slopes. The important aspects, especially concerning non-structural measures, which are urgently needed to improve the protection of settlement areas, are specifically discussed.

Keywords:

Sediment and debris flow disasters, hazard zoning, non-structural measures.

Einleitung

Bedingt durch die dringende Notwendigkeit der Bekämpfung von Naturkatastrophen, die durch Geschiebetransport verursacht werden, ist Japan seit vielen Jahrzehnten gezwungen, sich um die technische und wissenschaftliche Entwicklungen im Bereich der Wildbachverbauung zu kümmern. Heutzutage werden Schutzmaßnahmen der Wildbachverbauung systematisch errichtet. Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen ist es gelungen, den Geschiebetransport in Wildbächen in begrenztem Ausmaß zu reduzieren.

Katastrophen im Zusammenhang mit seismische und vulkanische Aktivitäten ereignen sich in Japan sehr häufig. Außerdem treten in letzten Jahrzehnten infolge des Klimawandels immer häufiger schwere Geschiebekatastrophen

in Erscheinung, die durch intensive Niederschläge infolge von Taifunen verursacht werden. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Merkmale, die die Geschiebe- und Murenkatastrophen in Japan charakterisieren, dargestellt und anhand bemerkenswerter aktueller Katastrophenereignisse diskutiert.

Geologie und Geomorphologie des japanischen Archipels

Der japanische Archipel (Gesamte Landfläche: 378.000 km²) besteht aus fünf Hauptinseln und erstreckt sich etwa 3000 km vom Nordosten nach Südwesten (Abbildung 1). Diese Inselbögen repräsentieren annähernd tektonische Platten Grenzen. 75% der gesamten Landfläche besteht aus Gebirgsmassiven. Japan befindet sich in einer Zone mit starken Bewegungen der Erdkruste und

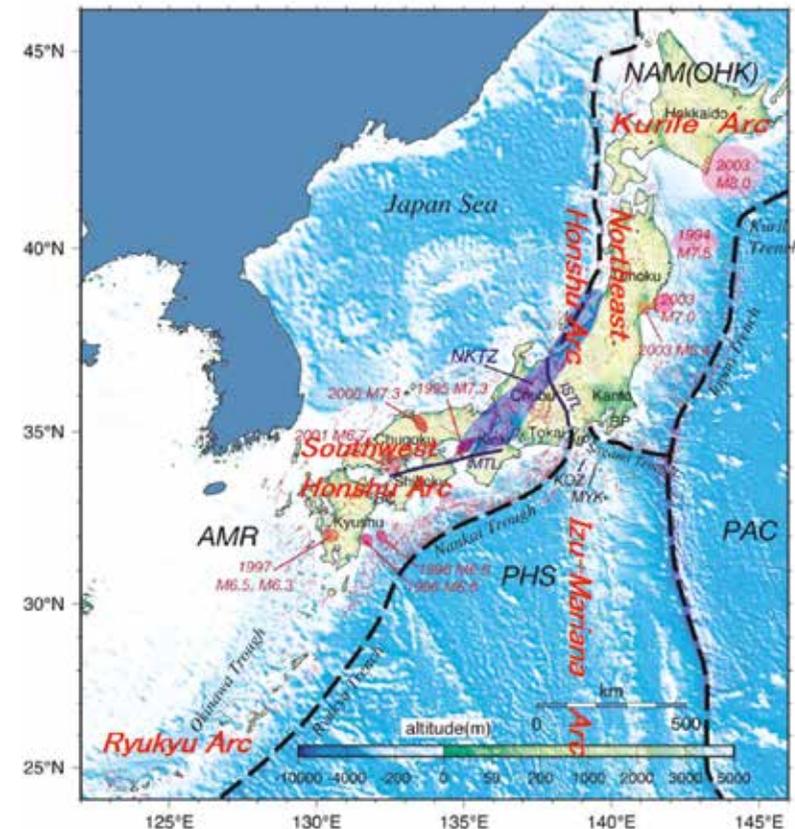


Abb. 1:
Inselbögen und Gräben
um Japan. (modifiziert
nach Japan Landslide
Society, 1996)

Fig. 1:
Island arcs and trenches
around Japan (modified
after Japan Landslide
Society, 1996)

gehört zu einer der seismisch aktivsten Regionen der Welt. Es gibt insgesamt 110 aktive Vulkane. Die tiefliegenden Epizentren Erdbeben verteilen sich rund um Japan entlang der Meeresgräben. Massenbewegungen treten häufig in den folgenden physiographischen Zonen der japanischen Landmasse auf:

- Innerer Nordosten des Honshu Bogens
- Nordwesten der Insel Kyushu im Südwesten des Honshu Bogens
- Äußerer Südwesten und zentraler Westteil des Honshu Bogens

Zahlreiche gefährliche Wildbäche befinden sich in der Umgebung der aktiven Vulkane. Weil die oberflächennahen Schichten der Bergkörper aus labilen und leicht erodierbaren Materialien bestehen, können sich kleinere Gullys schnell zu gefährlichen Wildbächen entwickeln. Andererseits nehmen Granitgebiete, besonders in Westen Japans, einen sehr großen Anteil des Gebirges ein. Auch das Granitgestein kann rasch und stark verwittern. Daher befinden sich sehr viele gefährliche Wildbäche auch in Granitgebieten.

Klima in Japan

Der japanische Archipel liegt in der Monsunregion Ostasiens zwischen dem 20. und 45. Grad nördlicher Breite. Das Winterklima wird durch Luftmassen und Winde aus dem östlichen Sibirien beherrscht. Zahlreiche Erdbeben wurden infolge der starken Schneefälle durch Schmelzwasser in den Hanglagen ausgelöst, die dem japanischen Meer zugewandt sind. Anfang Juni bewegen sich die nordpazifischen Hochdruckzonen allmählich aus dem Süden. Die nördlichen Luftmassen kommen dann aus dem Ochotskischen Meer. Die beide Luftströmungen kollidieren über dem japanischen Archipel und bilden eine stationäre

saisonale Regenfront aus. Diese Regenfront bringt intermittierend große Mengen von Niederschlägen, die häufig Katastrophen durch Erdbeben auslösen. In Herbst bewegen sich Taifune, die in den niedrigen Breiten des nördlichen Pazifischen Ozeans entstehen, nach Norden und treffen häufig auf den japanischen Archipel. Diese Taifune erzeugen sehr starken Wind mit intensiven Niederschlägen und können schwere Geschiebe- und Murenkatastrophen verursachen.

Die mittleren Jahresniederschläge in Japan liegen etwa bei 1800 mm. Bei Owase auf der Halbinsel Kii erreichen die Niederschläge jedoch bis zu 4000 mm, in Joetsu (an der Seite des Japanischen Meeres) etwa 2900 mm (davon fällt etwa die Hälfte als Schnee). Abbildung 2 zeigt regional unterschiedliche Monatsmittelniederschläge.

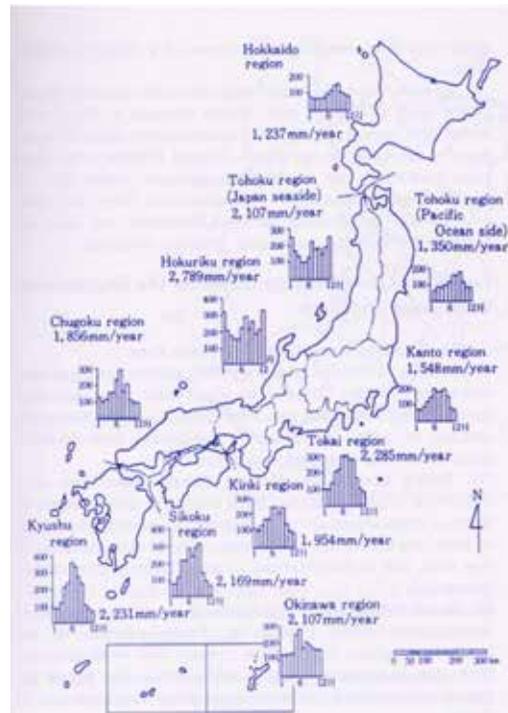


Abb. 2: Monatsmittelniederschlag (nach Japan Landslide Society, 1996)

Fig. 2: Monthly mean precipitation (after Japan Landslide Society, 1996)

Katastrophen-verursachende Gefahrenprozesse in Japan

Gefahrenprozesse, die in Japan Geschiebe- und Murenkatastrophen verursachen, ereignen sich meist in mehr oder weniger steilen Hanglagen und werden als „Gravitative Massenbewegungen“ bezeichnet. Massenbewegungen können nach den Kriterien Hangneigung und Wassergehalt klassifiziert werden (siehe schematische Darstellung in Abbildung 3). Die treibende Kraft, die die Erdmasse am Hang abwärts treibt, ist eine Funktion der Hangneigung, die widerstehende Kraft, die die Erdmasse am Hang hält, ist eine Funktion des Wassergehaltes. Wenn die treibende Kraft die widerstehende Kraft überschreitet, verliert die Erdmasse ihre Stabilität und rutscht ab.

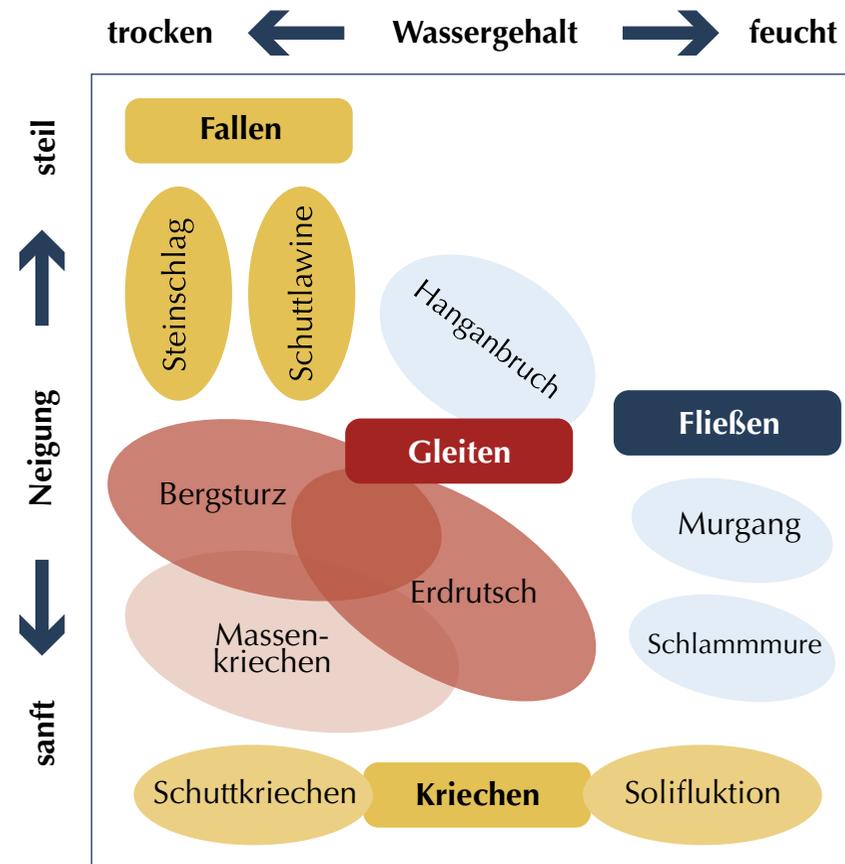


Abb. 3: Klassifikation von Massenbewegungen in Abhängigkeit von Hangneigung und Wassergehalt des Bodens.

Fig. 3: Classification of mass-movements as a function of slope inclination and water content of soils.

Die verschiedenen Verlagerungsformen von Massenbewegungen können nach der Klassifikation von Varnes (1958) in die Prozesse „Fallen“, „Gleiten“, „Fließen“ und „Kriechen“ eingeteilt werden. Steinschlag und Schuttlawine zählen zur Kategorie „Fallen“, Bergsturz und Erdbeben zur Kategorie „Gleiten“. Die Kategorie „Fließen“ umfasst Murgänge und Schlamm-muren. In Japan ereignen sich aufgrund der naturräumlichen Bedingungen sehr häufig Erdbeben, Bergstürze und Hangabbrüche, die sekundär in einen Murgang oder eine Schlamm-mure übergehen können. Die beiden Prozesse „Murgang“ und „Schlamm-mure“ sind sehr gefährlich und verursachen jedes Jahr große Schäden. Daher wurden umfangreiche Forschungen über die Mechanik der Entstehung, Verlagerung und Ablagerung durchgeführt.

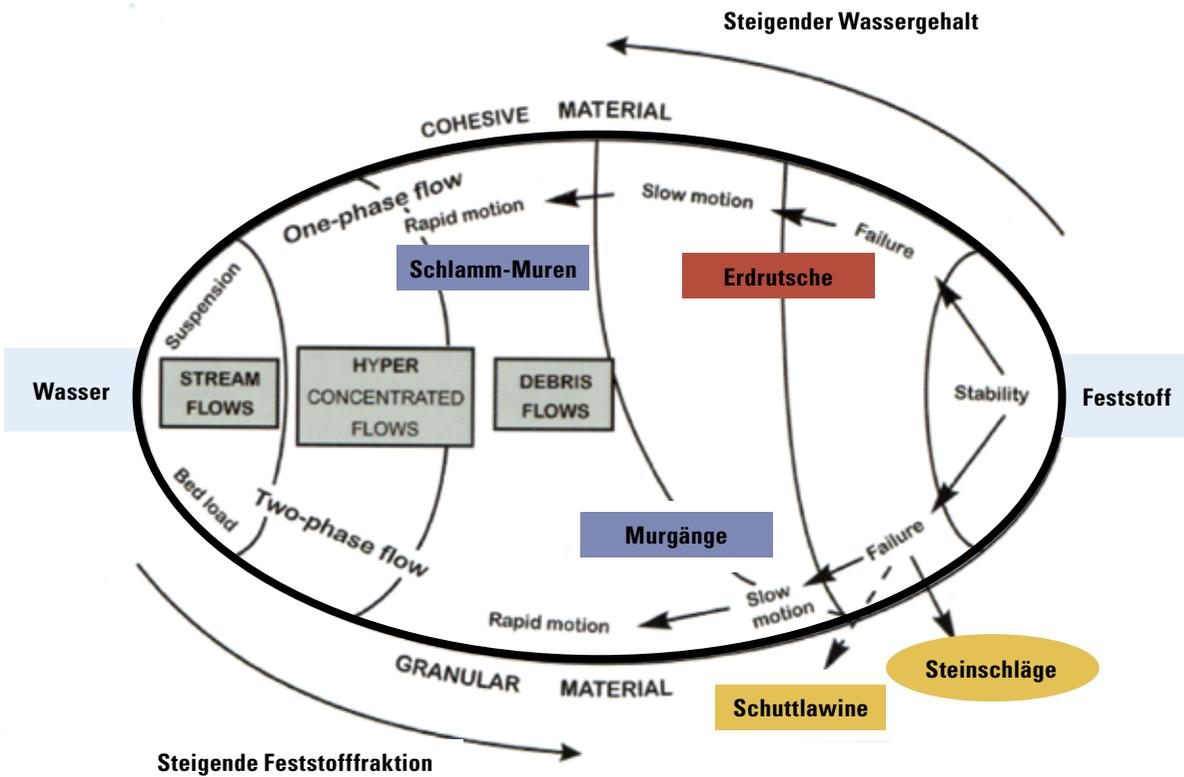


Abb. 4: Klassifikation von Massenbewegungen als Funktion von Geschiebefraktion und Materialart (modifiziert nach Coussot und Meunier, 1966).

Fig. 4: Classification of mass-movements as a function of solid fraction and material type (modified after Coussot and Meunier, 1996).

Weitere Kriterien, die spezifische Prozesse von Massenbewegungen charakterisieren, sind die Feststofffraktion und der Materialtyp. Die Klassifikation nach Coussot und Meunier (1996) basiert auf diesen beiden Merkmalen (Abbildung 4). Zwischen den Verlagerungsprozessen feinkörniger, kohäsiver und grobkörniger, nicht-kohäsiver Materialien gibt es bemerkenswerte physikalische Unterschiede. Eine Entwicklungsgeschichte der Forschungen über die Murgänge wurde von Takahashi (2014) publiziert.

Aktuelle Tendenzen der Geschiebe- und Murenkatastrophen in Japan

Der fünfte Sachstandsbericht des International Panels on Climate Change (IPCC) wird festgestellt, dass infolge der globalen Erwärmung in allen mittleren Breiten kontinentaler Regionen, insbesondere in tropisch feuchten Gebieten, gegen Ende des laufenden Jahrhunderts mit der Zunahme der Intensität und Frequenz von extremen Niederschlagsereignisse zu rechnen ist (IPCC 2013). Wenn man die Anzahl der Geschiebe- und Murenkatastrophen der letzten drei Jahrzehnte in

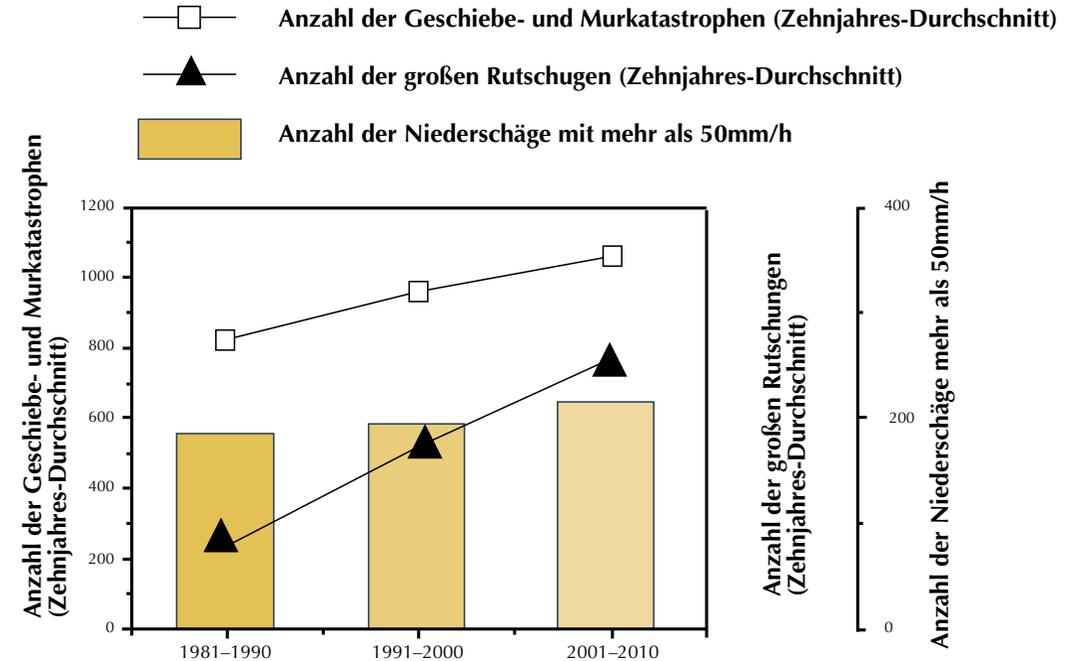


Abb. 5: Veränderung der Anzahl der Katastrophen und Starkniederschläge (nach Nationales Institut für Land- und Infrastrukturmanagement)

Fig. 5: Change of occurrence number of disasters and intensive rainfalls (after National Institute for Land and Infrastructure Management)

Japan vergleicht, erkennt man deutlich eine steigende Tendenz der Niederschläge mit mehr als 50 mm/h (Abbildung 5). Bemerkenswert ist auch, dass die Anzahl der großen Rutschungen stark gestiegen ist. Nachfolgend werden diese Tendenzen anhand von Beispielen aktueller Katastropheneignisse dargestellt.

Schlammuren-Katastrophe 2013 auf der Izu-Oshima-Insel

In Oktober in 2013 ereignete sich auf der Izu-Oshima-Insel eine schwere Schlammuren-Katastrophe infolge intensiver Niederschläge, die vom Taifun Nr. 26 ausgelöst wurden (Abbildung 6). Die Gesamtmenge der verlagerten Schlammmaterialien umfasste ca. 170.000 m³. Während dieser Katastrophe kamen 39 Menschen ums Leben und wurden 86 Wohnhäuser völlig oder teilweise zerstört.

Izu-Oshima ist eine aktive Vulkaninsel. Die Hänge des Vulkankörpers bestehen aus harten, relativ wasserundurchlässigen Lavaschichten mit auflagernden Schichten weicher Vulkanasche.

Im Fall von Starkniederschlägen können die oberen Vulkanascheschichten an den Steilhängen bei Starkregen leicht abrutschen. Die maximale Niederschlagsmenge in der Zeit zwischen 3 und 4 Uhr früh betrug 118.5 mm/h, die Niederschlagssumme betrug 824.0 mm ca. in 19 Stunden (Abbildung 7). Die Schlammuren-Katastrophe ereignete sich um etwa 2:30 Uhr zum Zeitpunkt der Niederschlags Spitze. Obwohl die Warnung des Meteorologischen Dienstes um 18 Uhr des Vortages schon die rechtzeitige Evakuierung empfahl, war es in Praxis schwierig, die notwendigen Evakuierungsmaßnahmen rechtzeitig durchzuführen. Auf der Insel Izu-Oshima herrschte eine gute Vorstellung über die Gefahren des Vulkanaus-



Abb. 6: Luftaufnahme der Schlammuren-Katastrophe in Izu-Oshima in 2013 (Foto: © Fukuoka)

Fig. 6: Aerial photograph of mudflow disaster in Izu-Oshima in 2013 (photo: © Fukuoka)

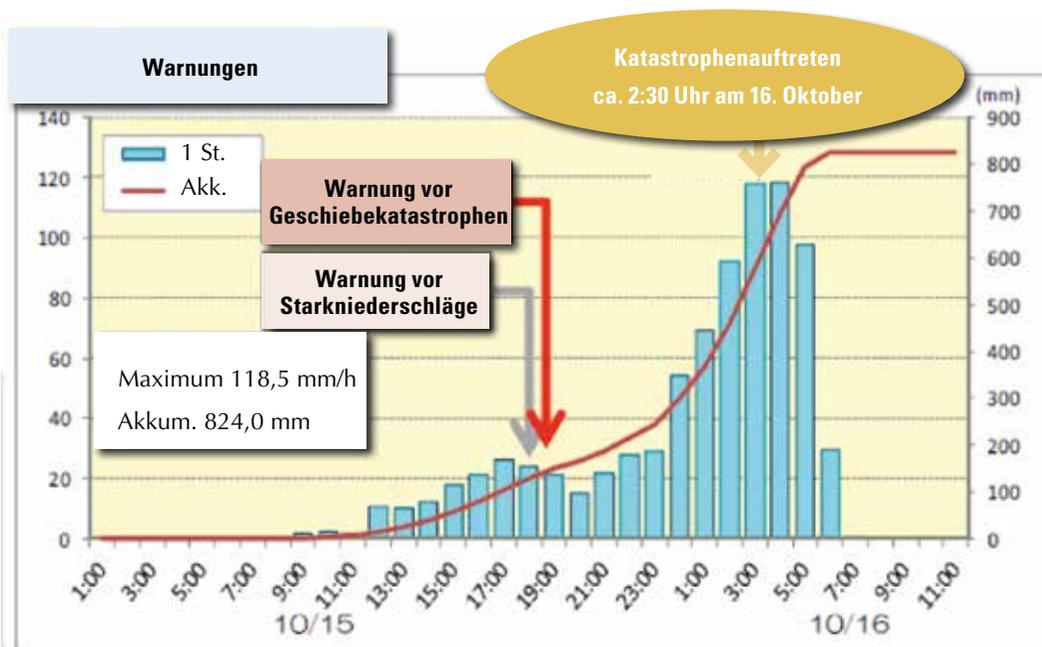


Abb. 7: Veränderungen der Niederschläge und Zeitpunkt des Auftretens der Katastrophe (© Japanisches Ministerium für Land, Transport und Infrastruktur)

Fig. 7: Variation of rainfall quantity and time of occurrence of the disaster (© Japanese Ministry of Land, Transport and Infrastructure)

bruches, hingegen gibt es wenige Erfahrungen mit Murenkatastrophen. Vor der Katastrophe wurden in einigen Gullys, die als besonders gefährlich betrachtet wurden, einige Verbauungsmaßnahmen durchgeführt. Bei diesem Ereignis überschritt die Masse der mobilisierten Feststoffe bei weitem die angenommenen Größenordnungen. Ein Großteil der Erdmassen wurde als Schlammure über einen Geländerücken auch in ein ungesichertes Gully transportiert, wodurch große Schäden im Siedlungsgebiet entstanden.

Murenkatastrophen 2014 in Hiroshima

In August in 2014 kam es in Hiroshima infolge intensiver Niederschläge zu einer schweren Murenkatastrophen. Insgesamt ereigneten sich Murgänge in 107 Wildbächen und ereigneten sich 59 Hanganbrüche (Abbildung 8). Bei die-

ser Katastrophe kamen 74 Menschen ums Leben, 361 Wohnhäuser wurden völlig oder teilweise zerstört.

Das Grundgestein des von der Katastrophe betroffenen Gebietes ist Großteils Granit. Diese oberflächennahe Granitschichten sind sehr stark verwittert und besitzen daher nur eine geringe Scherfestigkeit. Hanganbrüche und Murgänge ereigneten sich auch in anderen geologischen Schichten, insbesondere im Rhyolith. Die Scherfestigkeit der Rhyolithschichten ist auch nicht viel größer als jene der Granitschichten.

Die maximale Niederschlagsmenge zwischen 2 und 3 Uhr früh betrug 87.0 mm/h, die Niederschlagssumme erreichte 247.0 mm in ca. in 10 Stunden (Abbildung 9). In Wesentlichen konzentrierten sich die Hauptniederschläge innerhalb von zwei Stunden zwischen 2 und 4 Uhr früh (ca. 166mm). Die Murenkatastrophe



Abb. 8: Luftaufnahme der Murenkatastrophe in Hiroshima in 2014 (Foto: © Fukuoka)

Fig. 8: Aerial photograph of debris flow disaster in Hiroshima in 2014. (photo: © Fukuoka)

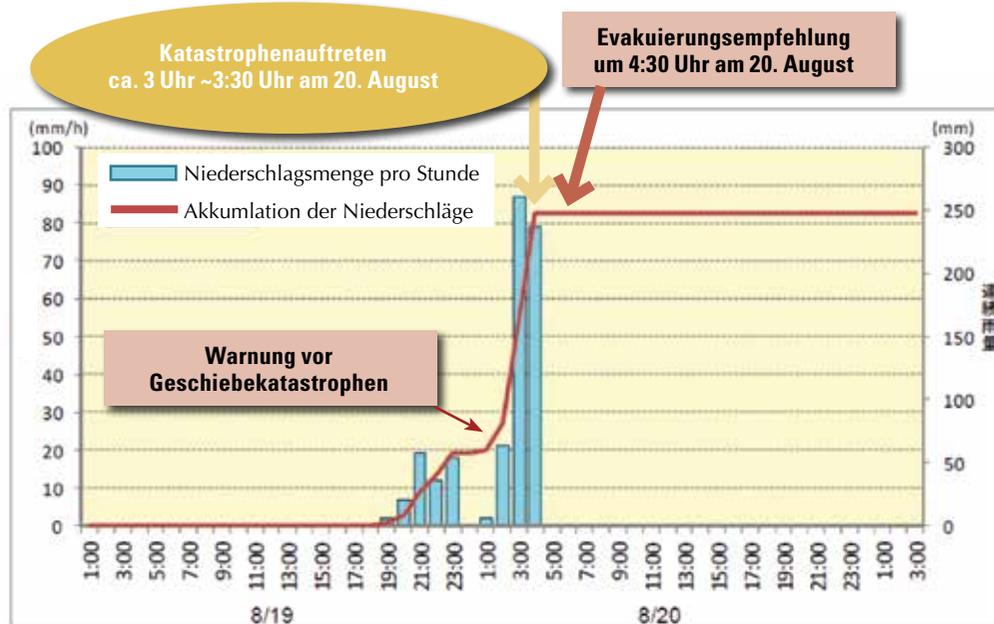


Abb. 9: Veränderungen der Niederschläge und Zeitpunkt des Auftretens der Katastrophe (© Japanisches Ministerium für Land, Transport und Infrastruktur)

Fig. 9: Variation of rainfall quantity and time of occurrence of the disaster (© Japanese Ministry of Land, Transport and Infrastructure)

ereignete sich um etwa 3 Uhr oder 3:30 Uhr zur Zeit der Niederschlagsspitze. Obwohl die Warnung des Meteorologischen Dienstes schon um 1:15 Uhr ausgegeben worden war, wurde die ernste Evakuierungsmaßnahmen von der betreffenden Gemeinde erst um 4:30 Uhr veranlasst. Dieser tatsächliche Zeitablauf zeigt die großen Schwierigkeiten einer rechtzeitigen Evakuierung.

Besonders schwerwiegende Folgen hatte die außergewöhnlich dichte Besiedlung der Hangfuß im betroffenen Gebiet. Wie die Luftaufnahme (Abbildung 8) des betreffenden Gebietes deutlich zeigt, wurden viele Wohnhäuser sogar im Bereich gefährliche Wildbäche sehr dicht errichtet. Schon im Jahr 1999 ereignete sich eine ähnliche Murenkatastrophe fast im gleichen Gebiet, bei der viele Einwohner starben. Auf Grund dieser negativen Erfahrungen wurde im Jahr 2000 die Gefahrenzonenplanung auch in Japan mit den entsprechen-

den gesetzlichen Grundlagen endlich eingeführt. Es ist natürlich bedauerlich, dass trotz dieser Maßnahme nach 15 Jahren fast im gleichen Gebiet durch eine ähnliche Murenkatastrophe wieder so viele Menschen ums Leben gekommen sind. Die Hauptursache ist darin zu suchen, dass die Ergebnisse der Gefahrenzonenplanung – besonders für das Gebiet der Roten Gefahrenzone, den betroffenen Bewohnern nicht klar kommuniziert wurde. Erst nach der neuerlichen Murenkatastrophe 2014 gilt eine gesetzliche Verpflichtung, die Ergebnisse der Gefahrenzonenplanung, nämlich die Lage der Roten und Gelben Zonen, den betreffenden Einwohner bekannt zu machen.

Große Erdbeben in Kii-Halbinsel 2011

In August 2011 ereigneten sich infolge des Taifuns Nr.12 auf der Kii-Halbinsel schwere Katastrophen durch die von Starkregen ausgelösten Erdbeben.

Die gemessenen Niederschlagssummen lagen mit über 1000 mm im Großraum der Halbinsel extrem hoch. Sogar eine extreme Rekordniederschlagssumme von über 2400 mm wurde in der Ortschaft Odaigahara in der Präfektur Nara gemessen. Insgesamt ereigneten sich ca. 3000 Hanganbrüche, davon waren 76 große Erdbeben (mit den Volumen mehr als 100,000m³). Die Gesamtfläche der Hanganbrüche und Rutschungen lag bei 9,5 Mio. m², das gesamte Volumen der abgerutschten Erdmassen wurde auf 100 Mio. m³ geschätzt. (National Institute for Land and Infrastructure Management, 2013). Bei dieser Katastrophe kamen 56 Menschen ums Leben, 144 Wohnhäuser wurden völlig oder teilweise zerstört. Durch die abgerutschten Erdmassen wurden Flüsse blockiert und an 17 Stellen natürliche Staudämme gebildet. Es trat dadurch die Gefahr von Überschwemmungen flussaufwärts dieser Aufdämmungen in Erscheinung. Im Falle des Dammbrochs nach weiteren Starkniederschlägen entsteht flussabwärts eine große Gefahr für Murenkatastrophen. Daher ist es dringend notwendig, das Risiko für einen Dammbbruch zu analysieren und gegebenenfalls Sofortmaßnahmen zu setzen, um die Folgen der Flutwelle einzudämmen. Als Sofortmaßnahme

muss jedenfalls die Verformungen des Dammkörpers kontinuierlich überwacht werden. Im Falle einer gefährlichen Verformung sind Evakuierungsmaßnahmen für die Einwohner des Unterliegerbereichs anzuordnen. Als nächster Schritt ist die Absenkung des Wasserspiegels im Staubereich erforderlich, um ein Überlaufen des Wassers und einen Dammbbruch zu vermeiden. Schließlich ist es notwendig, einen Entwässerungskanal an einer passenden Stelle des Dammkörpers zu errichten, damit das gespeicherte Seewasser schadlos in den Unterwasserbereich geleitet werden kann. Von den obengenannten 17 Dämmen waren stellen 5 eine reale Gefahr für einen Dammbbruch und nachfolgende Flutkatastrophe dar.

Abbildung 10 zeigt beispielhaft eine der größten natürlichen Aufdämmungen, den Akatani Erdbebenstaudamm. Der Rutschhang liegt geologisch in Schieferungsgebiet, wobei die Erdmassen entlang der Schichtenneigung abrutschten. Die Höhe des Rutschhangs betrug 700 m, die Breite 300 m; die abgerutschte Erdmasse wurde auf 9 Mio. m³ geschätzt. Der Erdbebenstaudamm hatte eine Höhe von 85 m. Die aufgestaute Wassermenge betrug etwa 2.3 Mio. m³.



links: Luftaufnahme direkt nach der Katastrophe
rechts: Nahaufnahme nach drei Jahren



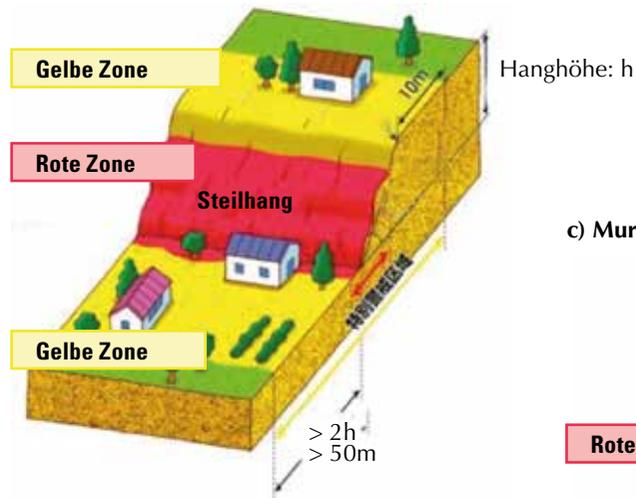
Abb. 10: Akatani Erdbebenstaudamm in der Präfektur Nara, Ereignis 2011.

Fig. 10: Akatani natural landslide dam in Nara Prefecture, event 2011.

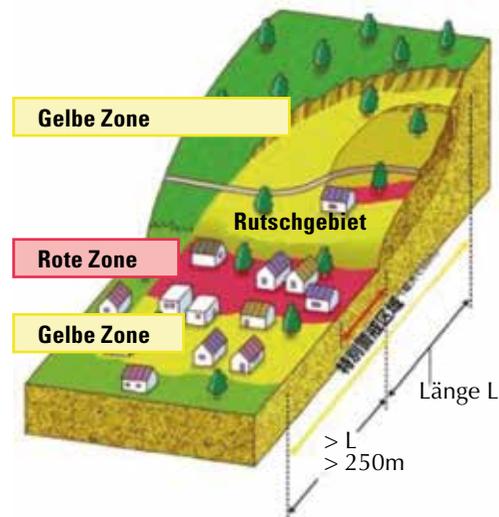
Gefahrenzonenplanung

Die Gefahrenzonenplanung wurde in Japan erst im Jahr 2001 als Konsequenz der schweren Murenkatastrophen in Hiroshima 1999 eingeführt. Dafür wurde das „Gesetz über Vorbeugung von Geschiebekatastrophen“ 2001 erlassen und in Kraft gesetzt. Als die Gegenstand der Gefahrenzonenplanung gelten in Japan folgende drei Prozesse: Hanganbruch, Erdbeben und Murgang. Gefahrenzonenpläne für diese drei Vorgänge werden schematisch in Abbildung 11 dargestellt (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016).

a) Hanganbrüche



b) Erdbeben



c) Murgänge

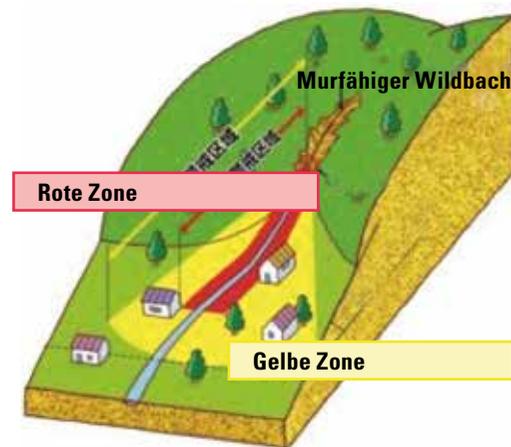


Abb. 11: Schematische Darstellung der Gefahrenzonenplanung für die Prozesse Hanganbruch, Erdbeben und Murgang

Fig. 11: Schematic representation of Hazard Zoning for the three processes slope failure, landslide and debris flow.

Das Ziel des neuen Gesetzes ist, durch nicht-strukturelle Maßnahmen Menschenleben im Falle von katastrophalen Massenbewegungen zu schützen. Auf der Grundlage des Gesetzes erstellte das zuständige Ministerium grundlegende Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung. Jede einzelne Präfektur führte, basierend auf diesen Richtlinien konkrete Untersuchungen für die Abgrenzung der Gefahrenzonen durch und kartierte die von den Gefahrenprozessen betroffenen Gebieten (Rote und Gelbe Zonen). Mit Stichtag Juli 2014 wurden insgesamt etwa 350.000 gefährdeten Gebiete von den Präfekturen bearbeitet, das bedeutet, dass schon 70% von den 530.000 bekannten Gefahrenstellen beplant sind.

Ein wesentliches Merkmal des japanischen Systems der Gefahrenzonenplanung ist die unmittelbare Verbindung mit den Warnungs- und

Evakuierungssystemen. Nach der Katastrophe von Hiroshima im August 2014 wurde ein Teil des „Gesetzes über Vorbeugung von Sedimentkatastrophen“ revidiert. Auf der Grundlage dieser Gesetzesnovelle ist es nun für die Präfektoren verpflichtend, die Öffentlichkeit über die Ergebnisse der konkreten Gefahrenzonenplanung zu informieren und die Warnungsinformation vor Sedimentkatastrophen den Bürgermeistern und Bewohnern der zutreffenden Gemeinden bekannt zu machen. Weiteres wurde rechtsverbindlich festgelegt, nach erfolgter Warnung vor Sedimentkatastrophen sofort die Evakuierungsempfehlung auszugeben.

Die Warnungsinformation vor Sedimentkatastrophen ist eine wichtige und grundlegende Unterlage für die Ausstellung der Evakuierungsempfehlungen durch den zuständigen Bürger-

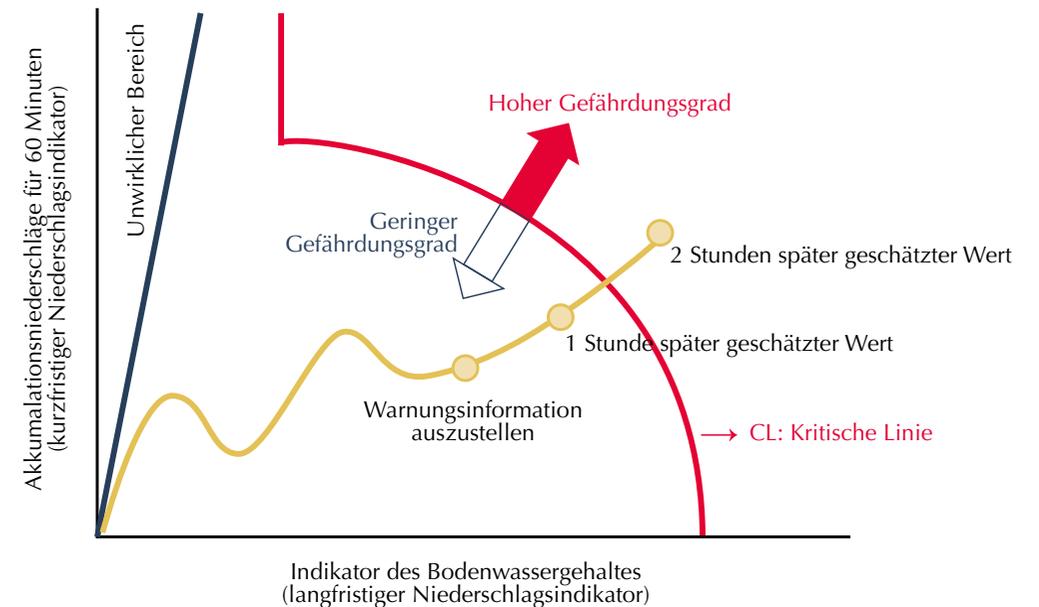


Abb. 12: Kriterien für die Ankündigung der Warnungsinformation vor Geschiebekatastrophen (modifiziert nach Meteorologischem Dienst, 2016)

Fig. 12: Criteria for the announcement of alarming information for sediment disasters (after Meteorological Service, 2016)

meister oder für die selbständige und freiwillige Evakuierung der betreffenden Einwohner. Diese Warnungsinformation wird in Zusammenarbeit von der Präfekturregierung und vom Meteorologischen Dienst erstellt und angekündigt. Die Kriterien für die Ankündigung der Warnungsinformation sind in Abbildung 12 schematisch dargestellt. Die „Kritische Linie“ wird unter Berücksichtigung bisheriger Ereignisse der Geschiebekatastrophen erstellt.

Schlussfolgerungen

In den letzten Jahrzehnten gab es bemerkenswerte wissenschaftliche Fortschritte in der Analyse und im physikalischen Prozessverständnis von Muren- und Sedimentkatastrophen. Trotz dieser Erkenntnisse ereignen sich in Japan weiterhin jedes Jahr verheerende Sedimentkatastrophen. Bedingt durch die extrem hohen Niederschlagsmengen scheinen Häufigkeit und die Intensität solcher Katastrophen zuzunehmen, wobei ein Zusammenhang mit dem Klimawandel naheliegend ist. Aufgrund der steigenden Häufigkeit und Intensität dieser Katastrophenereignisse stoßen die strukturellen Schutzmaßnahmen früher oder später an ihre Grenze, sodass eine verstärkte Aufmerksamkeit auf den beschränkten Wirkungsgrad struktureller Maßnahmen zu richten ist. Es ist daher unbedingt erforderlich, rechtzeitig geeignete, nicht-strukturelle Maßnahmen umzusetzen. In dieser Hinsicht wurde im Jahr 2001 nun auch in Japan die Gefahrenzonenplanung als wesentlichste Grundlage nicht-struktureller Maßnahmen eingeführt.

In der Umsetzung der Schutzmaßnahmen bestehen jedoch einige wichtige Aspekte, die dringend einer Verbesserung bedürfen:

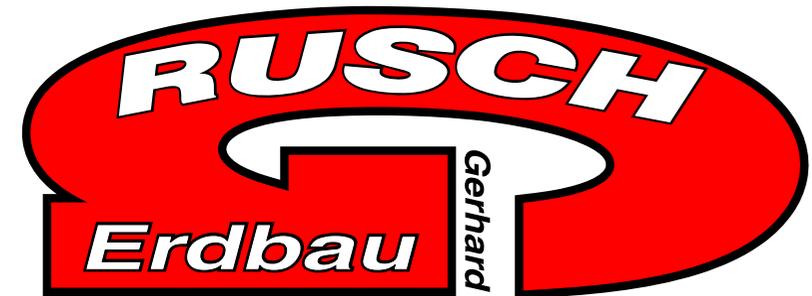
- Die Einwirkungszonen von Schäden bringenden Vorgängen müssen mit hoher Genauigkeit abgeschätzt werden.
- Die Evakuierungsmaßnahmen müssen rechtzeitig bzw. früher durchgeführt werden.
- Die Bereiche der Roten und Gelben Zonen müssen den betreffenden Einwohnern vor der Katastrophe klar bekannt gemacht werden.
- Als wesentliche Maßnahme kommt die Beschränkung der Flächennutzung, insbesondere ein effektives Bauverbot in den von Sediment- und Murenkatastrophen gefährdeten Bereichen, in Frage.
- Ergänzungsmaßnahmen müssen eingeführt werden, um Restrisiken infolge anderer Gefahrenprozesse, die nicht eindeutig in den drei Hauptprozessen (Hanganbruch, Erdbeben und Murgang) zuordenbar sind.
- Kriterien für die Ankündigung der Warnungsinformation müssen rasch verbessert werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

DDr. Hideaki Marui
 Research Institute for Natural Hazards
 and Disaster Recovery,
 Niigata University
 8050 Ikarashi-Nincho, nishi-ku,
 Niigata 950-2181
 JAPAN
 TEL: +81 25 262-7132
 FAX: +81 25 262-7050
 E-mail : maruihi@cc.niigata-u.ac.jp

Literatur / References:

- COUSSOT P., MEUNIER M. (1996).
 Recognition, classification and mechanical description of debris flows,
 Earth-Science Reviews 40: 209-227.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2013).
 The Fifth Assessment Report of IPCC (AR5) and IPCC Working Group I Contribution to AR5.
- JAPAN LANDSLIDE SOCIETY (1996).
 Landslides in Japan (The Fifth Revision): 3, 5.
- MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT (2013).
 Overview of the Sediment Disaster in Izu-Oshima-Island in 2013 (in Japanese). www.mlit.go.jp/river/sabo/h25_typhoon26/izuooshi.
- MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT (2014).
 Management and operation for the Sediment Disaster in Hiroshima in 2014 (in Japanese). www.mlit.go.jp/river/sabo/h26_hiroshima/141031
- MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT (2014).
 Overview of the Sediment Disaster Prevention Act (in Japanese). www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf
- METEOROLOGICAL AGENCY (2016).
 Landslide Alert Information (in Japanese). www.jma.go.jp/jma/kishou/books/doshakeikai/doshakeikai.pdf
- NATIONAL INSTITUTE FOR LAND AND INFRASTRUCTURE MANAGEMENT (2013).
 Report on Investigations in Kii Peninsula Caused by Typhoon Talas in 2011, TECHNICAL NOTE, No. 728 (in Japanese).
- TAKAHASHI T. (2014).
 Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures, 2nd edition, CRC Press.



BRUNO MAZZORANA

Aspekte des Risikomanagements im Naturgefahrenbereich in Chile

Open issues in natural hazards and risk management in Chile

Zusammenfassung:

Angesichts der Vielfalt der landschaftsformenden Prozesse und der rasanten sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung, steht Chile vor der großen Herausforderung, nicht allzu verspätet ein modernes Management der Naturgefahren und der einhergehenden Risiken einzuleiten. Dies ist sowohl auf konzeptioneller als auch auf umsetzungstechnischer Ebene eine komplexe Aufgabe, wie es ausdrücklich die verheerenden Folgen des rezenten Hochwasserereignisses in Copiapó aufgezeigt haben. In diesem Beitrag versuche ich, aus dem Blickwinkel des Risikomanagements, nach einem nun achtmonatigen Arbeitsverhältnis im Lehr- und Forschungsbetrieb an der Universidad Austral de Chile in Valdivia, meine Argumentationsansätze zusammenzufassen und Prioritäten aufzuzeigen.

Stichwörter: Naturgefahren, Risiko, Hochwasser, Chile

Abstract:

Due to the diverse processes, which continuously form the landscape, and the fast pace of social and economic change, Chile faces the big challenge of boosting a modern natural hazards and risk management approach. The recent flood in Copiapó showed, that this task poses significant complexities both from a conceptual and an operational perspective. In this paper I attempt summarizing my first reflections about different issues related to the management of natural hazard risks. Moreover, after eight months in Chile as lecturer and researcher at the Universidad Austral de Chile in Valdivia, I identify possible steps towards a reliable risk mitigation approach.

Keywords: Natural hazard, risk, flood, Chile

Einleitung

Chile ist das Land der Extreme, sowohl gesellschaftlich als auch hinsichtlich der landschaftsformenden Prozesse. Ich arbeite seit acht Monaten in Forschung und Lehre an der Universidad Austral de Chile in Valdivia, die universitäre Haupteinrichtung Südchiles. Die Landschaft rundum Valdivia selbst, ist von rezenten Naturgefahrenereignissen geprägt. Im Jahr 1960 ereignete sich in der Region de Los Rios (die Region der Flüsse), dessen Hauptstadt Valdivia ist, eine einzigartige Abfolge an Naturkatastrophen. Es ereignete sich ein Erdbeben außerordentlicher Intensität (Abbildung 1), gefolgt von Dammbuch-artigen Hochwasserprozessen entlang relevanter Abschnitte des Fließgewässernetzes (Abbildung 2) sowie von schlagartigen Absenkungen zahlreicher Überflu-

tungsgebiete mit einhergehender Bildung permanenter Feuchtgebiete (so genannte Humedales). Etwa zeitgleich mit dem Erdbeben wurden exponierte Ortschaften im Küstenbereich von einer Tsunamiwelle überflutet.

Besondere Prozessketten spielen sich auch in Berggebieten ab. Nennenswert sind hier vor allem Hochwasserwellen als Folge von Gletscherseeausbrüchen (so genannte GLOFs – „glacier lake outburst floods“), die letztlich mit dem Gletscherrückzug in Verbindung stehen. Als Paradebeispiel sei hier das Ereignis im Bakerfluss talseitig des des Colonia-Gletschers in Patagonien zu nennen. Hochwasserganglinien mit Scheitelabflüssen bis zu 4000 m³/s (gemessen ca. 45 km vom Gletschersee entfernt) sind keine Seltenheit (Iribarren Anaconda et al., 2015). Die schnelle Auslösung und die hohe Reliefenergie sind für die



Abb. 1: Auswirkungen des Erdbebens in Valdivia (Rojas, 2010)

Fig. 1: Damages due to the earthquake in Valdivia (Rojas, 2010)



Abb. 2: Auswirkungen des Erdbebens und des darauffolgenden Hochwassers in Valdivia (mit Bewilligung von Carlos Rojas)

Fig. 2: Damages due to the earthquake and the subsequent flood in Valdivia (by kind permission of Carlos Rojas)

weit reichende räumliche Gefahrenwirkung mitverantwortlich (Iribarren Anaconda et al., 2014). Eine zukunftsorientierte Risikobetrachtung verdeutlicht die zentrale Bedeutung präventiver Schutzmaßnahmen, da eine Zunahme der Landnutzungsansprüche und der Ressourcennutzung (z.B. Wasserkraft) unvermeidlich zu sein scheinen (Dussailant et al., 2010).

Weiters sind Lahars durchaus häufig und können in urbanen Räumen bedeutende Schäden hervorrufen. Ein Beispiel dafür ist das Ereignis von Chaiten vom Jahr 2008. Auch in diesem Fall ist eine nähere Betrachtung der Prozesskette aufschlussreich. Der Ausbruch des Vulkans Chaiten führte zur Ablagerung beträchtlicher Volumina von vulkanischen Sedimenten in Form von instabilen Zwischendepots entlang des Rio Blanco der im Unterlauf durch die Stadt Chaiten fließt und

schließlich ins Meer mündet. Heftige und lang andauernde Niederschläge führten zu einer extremen hydrologischen Systemreaktion in Form eines Lahar mit einer erheblichen Menge an mittransportiertem Schwemmholtz. In Chaiten erfolgte dann längs des ursprünglichen Gerinneverlaufs die Ablagerung beträchtlicher Volumina an Feststoffen. Der Bach schuf sich dann, den Weg des geringsten Widerstandes folgend, durch den bebauten Ortskern ein neues Gerinne bis zum Meer (Abbildung 3).

Anzeichen beginnender Risiko-basierter Entscheidungsprozesse

Mit dem Zukunftskongress, der heuer zum ersten Mal auch in Valdivia organisiert wurde, konnte eine breite Risikodiskussion eingeleitet



Abb. 3: Durch den Lahar in Chaiten hervorgerufene Schäden (mit Bewilligung von Hector Ulloa).

Fig. 3: Damages in Chaiten caused by the lahar impacts (by kind permission of Hector Ulloa).

werden. Die eventuelle Übertragung erfolgreicher Managementkonzepte, die im Alpenraum in der Wildbachverbauung oder im Hochwasserisikomanagement eingesetzt werden, steht zur Debatte. Die eigentliche Herausforderung stellt jedoch die Umsetzung der Konzepte dar. Der Ausarbeitung von geeigneten Planungsinstrumenten – wie regionalen Gefahrenhinweiskarten und detaillierten Gefahrenzonenkarten für „Wassergefahren“ – wurde oberste Priorität beigemessen, diese hat aber de facto noch nicht begonnen. Die Region de los Rios verfügt nur über flächendeckende Gefahrenhinweiskarten für Erdbeben und Vulkan-bezogene Prozesse (z.B. Lahars). Unmittelbar beabsichtigt ist die Ausarbeitung einer Gefahrenhinweiskarte für Rutschungsprozesse. Der Anspruch einer flächendeckenden Ausarbeitung ist jedoch, angesichts der knappen öffentlichen Ressourcen, zeitnah unrealistisch.

Prioritäten

Als möglicher Lösungsweg könnte mit der räumlichen Erhebung des Schadenspotentials beginnen und, davon ausgehend, mit der Definition der Bearbeitungstiefen und -zeiten fortgesetzt werden, um im Anschluss die Prioritäten konform die Gefahrenanalyse durchführen zu können. Wichtig dabei ist der Miteinbezug der vorabsehbaren Nutzungsansprüche (z.B. Bauleitpläne, Straßennetzweiterungspläne, Trends im Tourismus, Ausweitung der Naturschutzgebiete etc.).

Parallel dazu ist die Ausarbeitung von wissenschaftlichen Einsatzplänen unabdingbar, um vor allem den Schaden in urbanen Ballungsräumen zu mindern. Dabei sind Frühwarnung und optimaler Katastropheneinsatz von zentraler Bedeutung. Die Auswirkungen des rezenten

Hochwasserereignisses in Copiapo (2015) sprechen für sich. Das extreme Niederschlagsereignis im ansonsten sehr regenarmen Einzugsgebiet löste Oberflächenabfluss aus, der starke Erosionsprozesse an den sehr steilen, vegetationsarmen Hängen hervorrief. Im Hautfließgewässernetz bildete sich ein Hochwasser mit Feststofftransport, der phasenweise in einen murartigen Abfluss überging, und dann im urbanen Gebiet verheerende Schäden auslöste. Aus der Sicht des präventiven Hochwasserschutzes identifiziere ich folgende Gründe für das extreme Schadensausmaß:

- weitgehend unterdimensionierte Querprofile,
- unzureichender Längsverbau und
- fehlender Objektschutz.

Meine aktuellen Forschungsthemen in Chile

In der Risikoforschung ist es aus der Sicht des Wissensmanagements erstrebenswert, die „Formative Szenarioanalyse“ (Scholz und Tietje, 2002) zu leeren und anzuwenden. Vor allem bei unzureichender Verfügbarkeit von akkuraten Daten ist der Miteinbezug des Expertenwissens von großer Bedeutung um zu nachvollziehbaren Aussagen zu den möglichen Auswirkungen von Naturgefahren zu gelangen. Somit widme ich mich derzeit der Weiterentwicklung dieser Methodik und deren Anwendung auf konkrete Gefahrenanalysen. Ich arbeite unter der Projektleitung von Marius Schaefer (Glaziologe an der Universidad Austral de Chile) an einem interessanten internationalen Forschungsprojekt, welches sich mit den Kausalketten und Auswirkungen der GLOFs in Chile auseinandersetzt.

Weiters plane ich, beim chilenischen Forschungsfond ein Projekt zur Weiterentwicklung des Flussraummanagements einzuleiten, da zumindest potentiell großes Interesse daran besteht, die räumliche Entwicklung nachhaltig zu

gestalten. Ich versuche zudem, internationale Projekte zu akquirieren und die internationale Zusammenarbeit auszubauen. Zurzeit arbeite ich auch an einem sehr interessanten, von Bernhard Gems (Assistenzprofessor an der Uni Innsbruck im Wasserbausektor) geleiteten Projekt zur strukturellen Vulnerabilität mit.

Abschließende Betrachtungen

Die Exposition gegenüber den Einwirkungen der Naturgefahren ist derzeit in Chile stark ansteigend. Relativ aussichtslos erscheinen in weiten Teilen des Landes Strategien, die darauf abzielen, die Dispositionsfaktoren abzuschwächen. Die Naturgewalten in Form von Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Tsunamis, die oft komplexe Prozessketten einleiten, können nicht verhindert werden. Die Gefahrenausbreitung, die oft in Form von Fließprozessen (z.B. GLOFs, Lahars etc.) erfolgt, kann nur in günstigen Fällen mit aktiven Schutzmaßnahmen abgeschwächt bzw. eingegrenzt werden. Es muss zudem berücksichtigt werden, dass in Chile im Vergleich zu einigen Alpenstaaten, der systematische Verbau von Wildbächen zur Herabsetzung der Disposition nie durchgeführt wurde. Zumindest in absehbarer Zukunft scheinen vergleichbare institutionelle Entwicklungen nicht möglich zu sein. Die urbanen Ballungsräume sind auch aufgrund vergangener raumplanerischer Entscheidungen und zum Teil mit der Gefahrensituation inkompatiblen konstruktiven Ausführungen besonders vulnerabel.

Wenn man, wie bereits erwähnt, berücksichtigt, dass die Exposition in den nächsten Jahrzehnten mit Sicherheit zunehmen wird (aufgrund von Siedlungsentwicklung, Ausbau der Infrastrukturausstattung, Trends im Tourismus etc.), ist es unabdingbar, wirksame Strategien zur Risikominderung zu entwickeln und anzuwenden. Solche Strategien sollen möglichst ganzheitlich konzi-

piert werden, ohne den wichtigen Aspekt der Entwicklung einer soliden Risikokultur nicht außer Acht zu lassen. Meiner Ansicht nach ist es daher prioritär, das Humankapital im Risikosektor und an der Schnittstelle zu den Sozialwissenschaften zu fördern. In diesem Sinne erachte ich die Einführung verschiedener Lehrveranstaltungen, welche der Erörterung der Naturgefahren und der einhergehenden Risiken gewidmet sind, als eine erfreuliche Entwicklung. Es ist aber gleichzeitig nötig, den Risikodialog auf institutioneller Ebene zu verstärken und durch Partizipationsprozesse in der Gesellschaft zu verankern. Aus operationeller Sicht ist die Bereitstellung räumlicher Gefahreninformation in Form von Gefahrenhinweiskarten wichtig, um raumplanerische Fehlentscheidungen frühzeitig zu vermeiden.

Sedimentmanagement, das Hauptthema dieses Heftes, ist in Chile besonders relevant. Der vorabsehbare Ausbau der Wasserkraftnutzung wird den Sedimenthaushalt bisher unangetasteter Flüsse und Wasserkörper stören, sodass zeitnah nachhaltige Bewirtschaftungskonzepte erarbeitet werden sollten. Wichtig dabei ist, dass Maßnahmen, die das Sedimentkontinuum unterbrechen, vermieden werden.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Lecturer Dr. Bruno Mazzorana
Universidad Austral de Chile
Campus Isla Teja, Valdivia, Chile
bruno.mazzorana@uach.cl

Literatur / References

IRIBARREN ANACONA, P., NORTON, K.P., MACKINTOSH, A. (2014). Moraine-dammed lake failures in Patagonia and assessment of outburst susceptibility in the Baker Basin. *Nat. hazards Earth Syst. Sci.* 14, 3243-3259.

IRIBARREN ANACONA, P., MACKINTOSH, A., NORTON, K.P. (2015). Hazardous processes and events from glacier and permafrost areas: lessons from the Chilean and Argentinian Andes. *Earth Surf. Process. Landforms.* 40: 2-21.

JOHANNES HÜBL, MICHAEL CHIARI, MARKUS MOSER, MARTIN TROJER

Physikalische Modellversuche zur Optimierung der Filterkonstruktion von Schutzbauwerken

A physical scale model to investigate torrential filter structures

Zusammenfassung:

Im Rahmen des INTERREG Projekts "SedAlp" (Sediment management in Alpine basins) wurden physikalische Modellversuche zur Optimierung von Balkenkonstruktionen von Filterbauwerken am Institut für Alpine Naturgefahren durchgeführt. Eine Rechen- und eine Balkensperre wurden sowohl in einem langgestreckten als auch birnenförmigen Ablagerungsbecken eingebaut und die Stababstände variiert. Das Ziel lag einerseits in der Beurteilung der hydraulischen Wirkung verschiedener Rechenabstände auf das Ablagerungsverhalten von Geschiebe inklusive Wildholz und andererseits auf der Fähigkeit zur Selbstentleerung durch ein Spülhochwasser ohne weitere Geschiebezugabe.

Stichwörter:

Geschiebetransport, Filtersperren, physikalische Modellversuche

Abstract:

In the framework of the INTERREG Project "SedAlp" (Sediment management in Alpine basins) physical scale model experiments are carried out in the hydraulic laboratory of the Institute of Mountain Risk Engineering at the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna in order to optimize torrent protection structures. A screen-dam with inclined vertical beams and beam-dam with horizontal beams are tested in a rectangular and pear-shaped deposition basin. The hydraulic behaviour, bedload transport and the combination of bedload and driftwood transport were tested for different beam distances. The self-emptying efficiency was tested with a clear water event.

Keywords:

Bed load transport, filtering dam, physical scale model experiments

Einleitung

Die Durchführung physikalischer Modellversuche zur Analyse von Geschiebeprozessen in Ablagerungsplätzen hat in Österreich eine lange Tradition. Bereits im Jahre 1901 beschäftigt sich Wang (1901) mit der Entstehung von Schwemmkegeln. Um 1917 macht Stiny (1917) Angaben darüber, wie der Aufbau eines Schwemmkegels von statten gehen soll. Ein weiterer Autor, der in diesem Zusammenhang eine Rolle spielt, ist Hampel (1968). Er hat im Jahre 1968 zahlreiche Modellversuche hinsichtlich der Geschiebeablagung in Wildbächen durchgeführt. Zollinger (1983) hat sich ebenfalls mit der Entstehung von Schwemmkegeln beschäftigt. Hampel (1974) kommt zum Schluss, dass ein Ablagerungsplatz nicht nur mit dem Grundriss eines Kegels, sondern auch mit einem Einlaufbauwerk großer Fallhöhe konzipiert werden soll. 1968 greift Hampel in seiner Publikation einen weiteren wichtigen Punkt für die Geschiebepflichtung auf, nämlich die Funktionsweise von Entleerungssperren. Bereits im Zeitraum zwischen erstem und zweitem Weltkrieg hatte man erkannt, dass der vollständige Rückhalt von Geschiebe nicht zielführend sein kann, da ein Ablagerungsplatz seine mögliche Staukapazität unter Umständen vor dem Maximum der Hochwasserwelle erreichen kann und damit nur mehr unzureichend die Funktionsfähigkeit erfüllt. Für Hampel (1968) gilt es bei der Betrachtung von Entleerungssperren und einer möglichen Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit zwei Probleme zu lösen: schadhafte Geschiebe soll zurückgehalten und feinere Komponenten sollen hindurchgeschleust werden, ohne den Unterlauf zu überlasten unter Ausnutzung der Klein- und Mittelhochwässer um abgelagertes Geschiebe weitgehend abzuspielen. Hampel (1974) untersucht die Auswirkungen

unterschiedlicher Sperrentypen, um die selbsttätige Entleerung besser steuern und beeinflussen zu können. Das Auftreten von Klein- und Mittelhochwässern bewirkt zwar einen Spüleffekt durch die Ausbildung von rückschreitenden Erosionsrinnen, jedoch spielt hierbei die Zusammensetzung des Geschiebes und dabei vor allem der Tonanteil eine große Rolle. Leys (1969) untersuchte mögliche Öffnungsformen auf ihre Fähigkeit zum Geschieberückhalt, bzw. zur Geschiebeabfuhr. Für Zollinger (1983) sind zwei Parameter maßgebend, um Einfluss auf die Geschiebedurchgängigkeit in einem Ablagerungsplatz zu nehmen: Größe und Form des Rückhalterums sowie Errichtung und Ausführung der Rückhaltesperre betreffend der Durchlassöffnung, sowie der Höhe des Überfallbauwerks. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass es im Unterlauf durch das durchgeschleuste Geschiebe nicht zu Auflandungen kommt und der Vorfluter in der Lage ist, das Material gefahrlos abzutransportieren. Die Ausbildung einer Verklausung am Rückhaltebauwerk kann einen Wasserstau verursachen, der wiederum das Geschiebe frühzeitig zur Ablagerung bringen kann und damit eine mögliche einsetzende selbsttätige Entleerung unterbindet. Um einen Spüleffekt durch ein Nieder- oder Mittelhochwasser zu erreichen, muss die Holzablagerung beseitigt werden (Zollinger, 1983). Setznagel (1989) hat sich ebenfalls ausgiebig mit der Durchführung von physikalischen Modellversuchen unter Verwendung verschiedener Wildbachsperren beschäftigt. Seine Untersuchungen konzentrierten sich dabei auf die Funktionsfähigkeit acht unterschiedlicher Sperrentypen.

Eine gesetzliche Komponente ist die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union. Zur Erreichung des morphologisch guten Zustandes ist für viele Gewässer eine Geschiebedurchgängigkeit notwendig.

Im Rahmen des INTERREG Project "SedAlp" (Sediment management in Alpine basins) wurden am Institut für Alpine Naturgefahren physikalische Modellversuche zur Optimierung von Filtersperren durchgeführt. Dabei sollten die Vor- und Nachteile einer kronenoffenen Sperre mit Balken oder Rechen aufgezeigt werden. Beide Filtersperrentypen sollen während der Dauer eines Abflusereignisses grobe Kornfraktionen im Ablagerungsbecken zurückhalten und anschließend mit dem Abklingen der Abflussganglinie die abgelagerten Feinsedimente, wie Kiese und Sande durch das Sperrenbauwerk transportieren. Da für die Praxis die Wahl der Rechenabstände der Filterbauwerke (lichte Weite) hinsichtlich Geschiebeablagerung sowie Geschiebeeintrag in den Unterlauf wichtig ist, wurden auch verschiedene lichte Weiten der Stahlkonstruktionen mit Bezug auf die maßgebenden Korngrößen (d_{90}) untersucht. Weiters soll der hydraulische Rückstauereffekt, welcher durch die konstruktive Ausbildung von horizonta-

len und vertikalen Stäben entsteht, dokumentiert und festgehalten werden. Eine entscheidende Fragestellung, welche im Zusammenhang mit der Durchführung physikalischer Modellversuche zur Optimierung von Filtersperren geklärt werden soll, bezieht sich auf die Einflussnahme der Beckenform auf den Geschieberückhalt. Hierbei sollen mögliche Unterschiede des Geschiebeeintrags, sowie Transport- und Ablagerungsprozesse in einem rechteckigen, sowie einem birnenförmigen Rückhaltebecken aufgezeigt werden.

Modellversuche

Aufbauend auf die physikalischen Modellversuche von Hainzer (2013) und Trojer (2013) wurden weitere Versuchsreihen zur Untersuchung und Dokumentation der Wirkungsweise von Filtersperren durchgeführt. Alle Versuche sind Froude skaliert und wurden im Maßstab 1:30 realisiert. Der Versuchsaufbau für das Fließgerinne gliedert sich

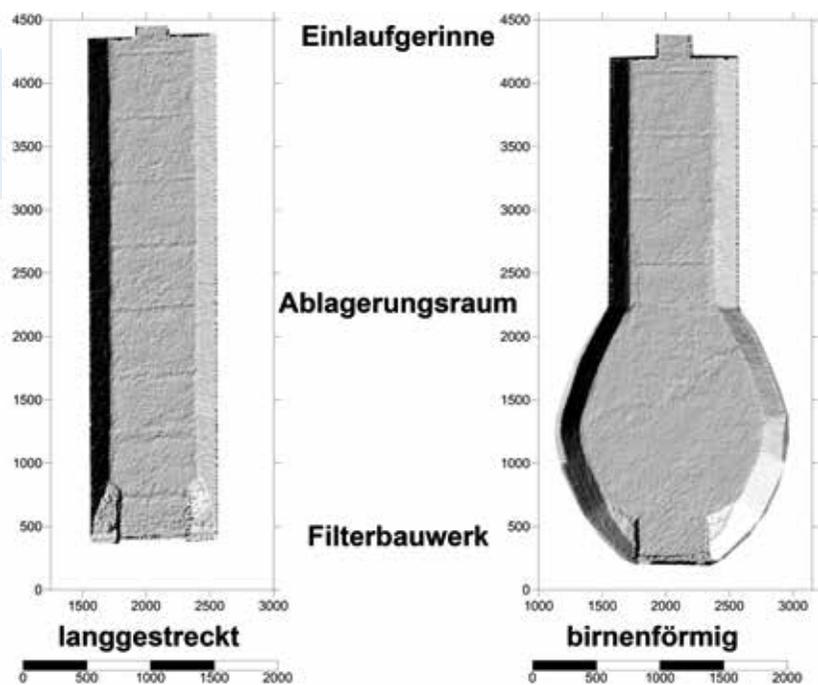


Abb. 1:
Geometrie der
Ablagerungsbecken
(Bemaßung in mm).

Fig. 1:
Geometry of the deposition
basins (values given in
mm).

in vier wesentliche Abschnitte: Durchmischungszone, Einlaufgerinne, Rückhaltebecken, Sperrenbauwerk. In der Durchmischungszone werden die beiden Hauptkomponenten Wasser und Sediment miteinander vermengt, sowie das Wildholz optional dazugegeben. Beim Übergang vom Einlaufbauwerk in das Rückhaltebecken kommt es zu einer abrupten Aufweitung des Fließquerschnittes. Die geometrischen Abmessungen des langgestreckten Rückhaltebeckens erreichen in der Länge 4 m und in der Breite 1 m. In der Höhe sind Ablagerungen von bis zu 0,4 m möglich. Bei der Versuchsreihe mit birnenförmigen Ablagerungsbecken wird die Versuchsrinne auf einer Länge von 2 m auf bis zu 2 m aufgeweitet (Abbildung 1). Das Längsgefälle des Einlaufgerinnes beträgt 8 %, die Neigung des Rückhaltebeckens auf 4 %. Damit der Versuchsaufbau möglichst realitätsnahe umgesetzt werden kann, werden die Sohle, sowie weite Teile der Böschungen im Rückhaltebecken mit einer Rauigkeit versehen.

Für die Durchführung der physikalischen Modellversuche wurden zwei unterschiedliche Filterkonstruktionen, eine Rechen- sowie eine Balkensperre untersucht. Das Rechen-sperrenmodell besteht aus Siebdruckplatten.

Die Sperre lässt sich in zwei Felder unterteilen, wobei jeweils drei unterschiedlich geneigte Segmentabschnitte zu finden sind. Der untere Teil des Rechens ist als Scheibe ausgeführt. Ein Sporn am oberen Ende soll Wildholz daran hindern über das Bauwerk transportiert zu werden. Die Balkensperre besteht aus rechteckigen Stahlprofilstäben (S 235 JR). Das Konzept der Balkensperre beruht auf jenem der Rechensperre und es soll durch einfaches Verstellen der horizontalen Metallstäbe die Variation der Abstände vereinfacht werden. Fotos beider Sperrenmodelle sind in Abbildung 2 ersichtlich.

Insgesamt wurden 21 Versuche durchgeführt, davon im rechteckigen Versuchsgerinne 2 Reinwasserversuche, 8 Geschiebeversuche und 4 Geschiebeversuche mit Wildholz, im birnenförmigen Ablagerungsbecken ebenfalls 2 Reinwasserversuche, 8 Geschiebeversuche und 4 Geschiebeversuche mit Wildholz. Alle Geschiebeversuche basierten auf einer diskretisierten Bemessungganglinie BHQ für das Reinwasser und das Geschiebe (Abbildung 3). Die Geschiebekonzentration betrug knapp 5 %. Für das Spülhochwasser SHQ wurde eine diskretisierte Ganglinie ohne Geschiebezugabe verwendet.



Abb. 2: Fotos der Rechensperre mit schrägem Anlaufteil (links) und Balkensperre (rechts)

Fig. 2: Pictures of the filter structure with inclined vertical beams and with horizontal beams.

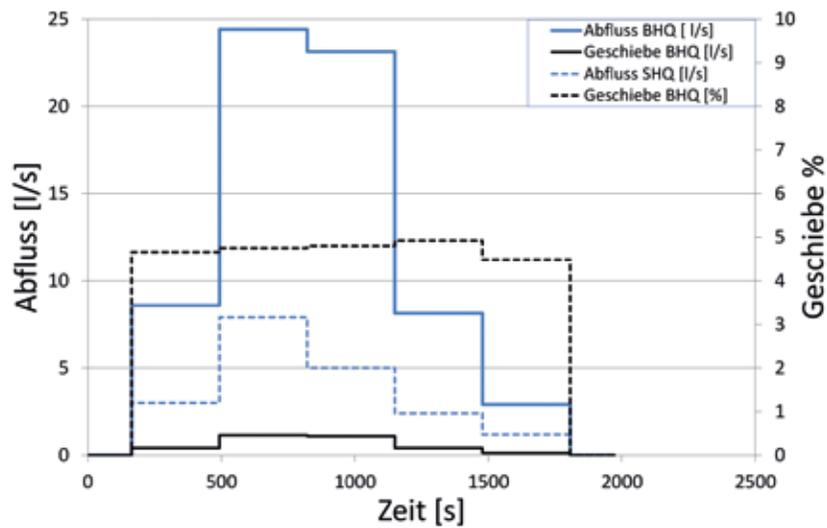


Abb. 3:
Abfluss und
Geschiebeganglinie
für das BHQ.

Fig. 3:
Hydro- and sedigraph
for the design event BHQ.

Als Standard Kornverteilung diente die von Hainzer (2013) für den Schöttelbach entwickelte Kornverteilung (Abbildung 4). Insgesamt wird für jeden Versuch ein Volumen von 1,05 m³ Sediment mit einem Förderband in die Durchmischungszone

zugegeben. Als fluvialer Geschiebetransport gelangt das Gemisch in das Einlaufgerinne. Die Menge der Sedimentzugabe kann durch den Geschwindigkeitsregler des Förderbandes geregelt werden.

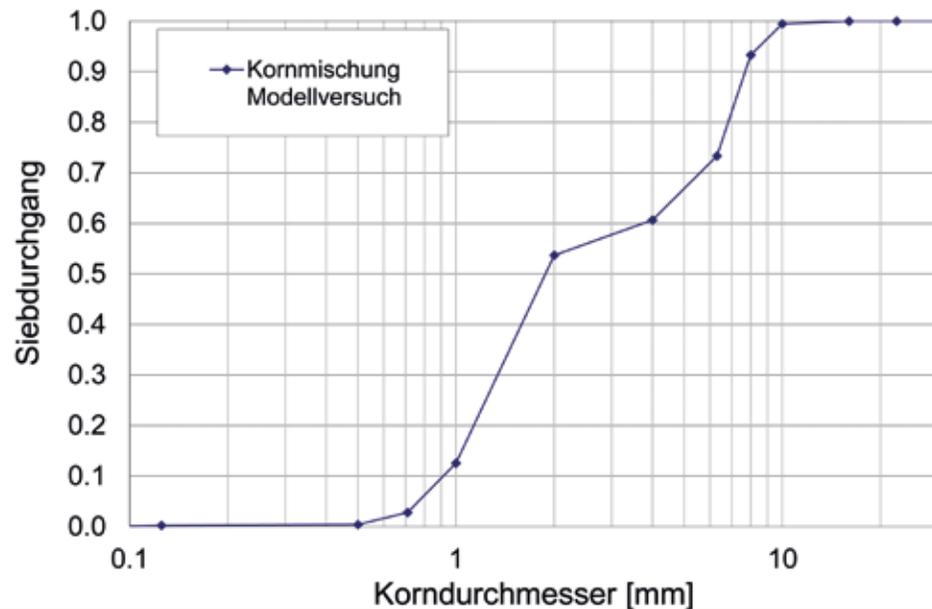


Abb. 4: Kornverteilung für die Modellversuche.

Fig. 4: Grain-size distribution for the physical model.



Abb. 5: Wildholz während und nach dem Bemessungsereignis BHQ.

Fig. 5: Driftwood during and after the design event BHQ.

Für die Versuche mit Wildholzzugabe wurden drei unterschiedliche Durchmesser (0,6 cm, 1,0 cm und 1,4 cm) von Rundhölzern verwendet in Längen von 14 cm und 28 cm verwendet. Der Anteil des Wildholzes beträgt im Vergleich zu den 1,05 m³ Geschiebe nur 0,15 %. Die Wildholzzugabe erfolgte händisch in der Durchmischungszone. In definierten Zeitintervallen wurden die Blochhölzer zugegeben. Die Zugabe startet zum Zeitpunkt $t=600$ Sekunden und die Hölzer werden im Zeitintervall von zwölf Sekunden einzeln eingebracht. Durch die anfangs noch hohe Fließgeschwindigkeit des Wassers, werden sie rasch schwimmend abtransportiert und gelangen so in das Rückhaltebecken, wo sie in weiterer Folge auf das Sperrbauwerk treffen. Jene Hölzer, die die Filterkonstruktion passierten, wurden im nachstehenden Auffangbehälter entnommen und anschließend zur Trocknung aufgelegt. Blochhölzer, welche am Sperrbauwerk zurückgehalten wurden, türmen sich auf, verkeilen sich ineinander und bewirken in weiterer Folge eine Verklauung. Die Auswirkungen solcher Holzbarrikaden üben einen entscheidenden Einfluss auf eine mögliche selbsttätige Entleerung aus. Nach Beenden des Versuchs wird das Versuchserinne gesenkt

und in weiterer Folge die Verklauung händisch entnommen. Das Aufschwimmen des Holzes und der Rückhalt durch den Sporn sind in Abbildung 5 beispielhaft für die Rechensperre dargestellt.

Ergebnisse

Nach jedem Versuch wurde sowohl vor als nach dem Spülhochwasser (SHQ) ein Laserscan erstellt. Dadurch konnte das Ablagerungsvolumen bestimmt werden. Exemplarisch ist eine grafische Auswertung für einen Versuch dargestellt (Abbildung 6).

Die Ergebnisse der abgelagerten Geschiebemengen im Stauraum je nach Filterbauwerk (Balken- oder Rechensperre) und lichten Weiten (2 Varianten mit $d_{90} \times 1,4$ der Kornverteilung und $d_{90} \times 2$ der Kornverteilung) ist in Abbildung 7 dargestellt. Für die Varianten mit dem $d_{90} \times 1,4$ als maßgebenden Parameter für die lichte Weite zeigte sich, dass bei beiden Bautypen ca. 60 % im Stauraum abgelagert wurden. Wird der Abstand mit $d_{90} \times 2$ entsprechend vergrößert, werden je nach Bautype und Form des Stauraums zwischen 30 % (Rechensperre mit gestrecktem Stauraum) und 50 % (Balkensperre mit gestrecktem Stauraum) zurückgehalten.

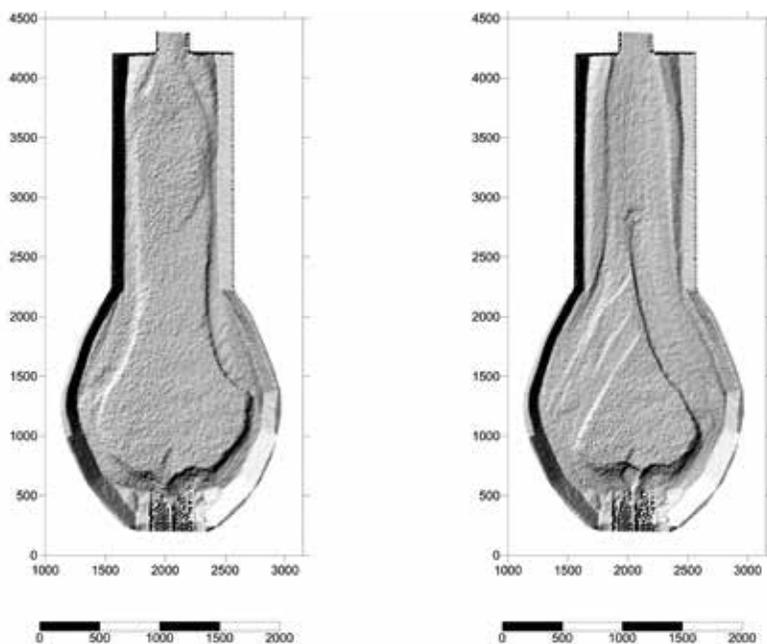


Abb. 6: Geschiebeablagerung eines Versuchs nach dem Bemessungsereignis BHQ (links) und nach dem Spülereignis SHQ (rechts).

Fig. 6: Bedload deposition after the design event BHQ (left) and the following SHQ (right).

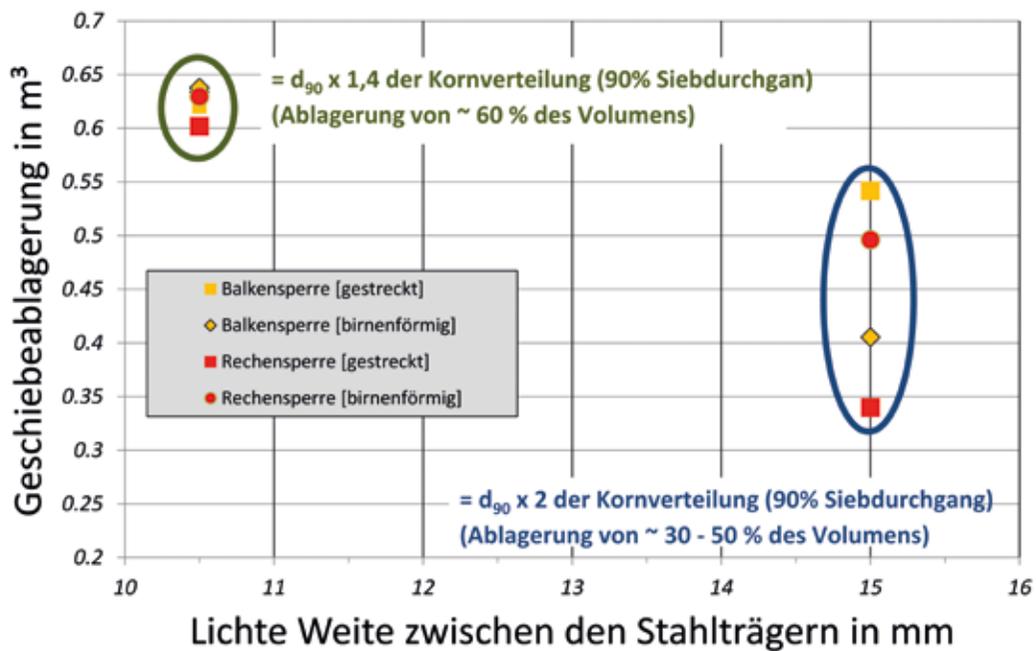


Abb. 7: Geschiebeablagerung je nach Filterbauwerkstyp, Stauraumtyp und lichte Weite der Stahlträger.

Fig. 7: Bedload deposition for the different dam types, deposition basins and inner with of the steel elements.

Ein besonderes Augenmerk lag bei den durchgeführten Versuchen auf der Beckenform. Zur Analyse der Ergebnisse wurden die Versuche nach der Beckenform (Rechteck und Birne) und dem Ereignis (BHQ und SHQ) zusammengefasst. Die Beckenformen unterscheiden sich hinsichtlich der abgelagerten Volumina nur geringfügig. Im birnenförmigen Becken gelangen für das BHQ durchschnittlich 9 % mehr Geschiebe zur Ablagerung. Für die Spülereignisse SHQ ist der Unterschied geringer. Die Fähigkeit zur Selbstentleerung wurde im Rahmen des Projekts genauer betrachtet. Für die Versuche ohne Wildholz zeigt

sich ein recht homogenes Bild in Abhängigkeit von der lichten Weite der Rechen- bzw. Balkenelemente. Abbildung 8 zeigt die Selbstentleerung durch das SHQ in Relation zum Gesamtvolumen. Beim SHQ wurde kein Geschiebe zugegeben, aber ein gewisser Geschiebeanteil aus dem Zulaufgerinne wurde mobilisiert. Für den engeren Stababstand (10,5 mm ~ $d_{90} \times 1,4$ der Kornverteilung) liegt die Selbstentleerung bei 5–11 %. Für den weiteren Stababstand (15 mm ~ $d_{90} \times 2$ der Kornverteilung) bei 12–17 %.

Bei den Versuchen mit Wildholz ist anzumerken, dass die „Verklauung“ gelöst wurde,

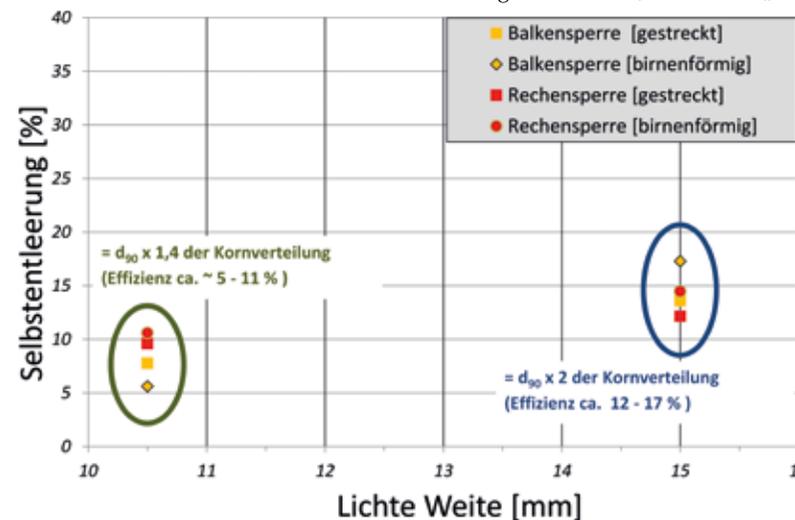


Abb. 8: Selbstentleerung nach der Spülung SHQ für die Versuche ohne Wildholzzugabe.

Fig. 8: Self-emptying efficiency for the experiments with bedload without drift wood.

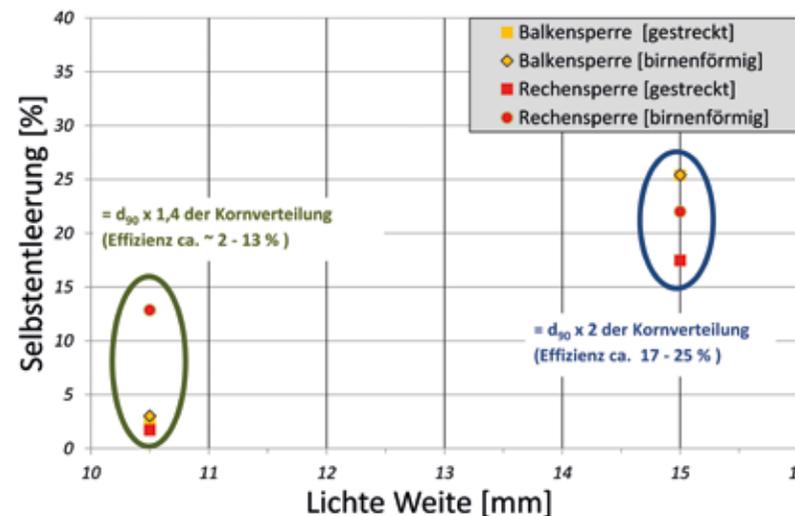


Abb. 9: Selbstentleerung nach der Spülung SHQ für die Versuche mit Wildholzzugabe.

Fig. 9: Self-emptying efficiency for the experiments with bedload with drift wood.

indem das Wildholz vor der Spülung händisch entfernt wurde. Für den engeren Stababstand (10,5mm) liegt die Selbstentleerung bei 2–13%, für den weiteren Stababstand (15 mm) bei 17–25%. Die höhere Selbstentleerungsrate liegt auch daran, dass bei den Versuchen mit Wildholz und engerem Stababstand auch die größten Ablagerungen vorhanden waren.

Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Die Durchführung physikalischer Modellversuche zur Optimierung von Filtersperren und in diesem Zusammenhang vor allem die Gegenüberstellung von einer Rechen- mit einer Balkensperre mit verschiedenen lichten Weiten und Beckenformen, haben die unterschiedlichen Wirkungsweisen der beiden Rückhaltebauwerke aufgezeigt. Bedenkt man allerdings, dass bei einem tatsächlichen Abflussereignis neben dem Geschiebeanteil, Hölzer, Wurzelstöcke, Äste und Laub zu erwarten sind, so kann man sich leicht vorstellen, dass diese Mischung einen entscheidenden Einfluss auf das Ablagerungsverhalten und damit auf den Verlandungsprozess einer Sperre nimmt. Nicht zuletzt hat die Durchführung der physika-

lischen Modellversuche eindrucksvoll aufgezeigt, dass bereits ein Holzanteil von 0,15 % bezogen auf das Geschiebeesamt volumen von 1,05 m³, eine beachtliche Streuung der Ablagerungsvolumina bei beiden Filtersperren zur Folge hat. Für die Variante mit dem $d_{90} \times 1,4$ als maßgebenden Parameter für die lichte Weite zeigte sich, dass bei beiden Bautypen ca. 60 % im Stauraum abgelagert wurden. Wird der Abstand mit $d_{90} \times 2$ entsprechend vergrößert, werden je nach Bautype und Form des Stauraums nur mehr zwischen 30 % (Rechensperre mit gestrecktem Stauraum) und 50 % (Balkensperre mit gestrecktem Stauraum) zurückgehalten.

Die Modellversuche unter Zugabe von Wildholz haben jedoch auch gezeigt, dass die Verklausungsmechanismen bei der Balken- und der Rechensperre unterschiedlich ablaufen. In der Abbildung 10 ist dargestellt, welchen Einfluss die Neigung und der lagemäßige Einbau der Metallstäbe auf das Wildholz hat. Während bei der Balkensperre die konstruktive Ausbildung der horizontalen Stäbe äußerst anfällig für widerstandsfähige Verklausungen ist, so kommt der Rechensperre der Umstand zu Gute, dass das Wildholz aufgleiten kann.



Abb. 10: Verschiedene Anlagerung des Wildholzes: links Balkensperre, rechts Rückseite der Rechensperre

Fig. 10: Different clogging behaviour of the dam types: left beam-dam with horizontal beams, right screen-dam with inclined vertical beams

Ein weiterer Unterschied der Balkensperre gegenüber der Rechensperre ist, dass lange Wildholzbloche, welche durch den lichten Stababstand der Balkensperre hindurchtreten können, nach dem Überschreiten der halben Eigenlänge mit dem vorderen Teil des Bloches schlagartig nach unten sacken und sich somit zwischen zwei Metallstäben klemmen. Die dadurch gefangenen Wildhölzer können weder durch naheilende Holzbloche noch durch eine Restwassermenge in Form einer Spülung befreit werden. Bei der Rechensperre konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden, da einerseits die Hölzer durch den größeren hydraulischen Rückstau in Form eines Holzteppichs aufschwimmen und andererseits durch die Ausbildung der vertikalen Stäbe kaum zwischen zwei Stabprofilen eingeklemmt werden können.

Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse der physikalischen Modellversuchen wie folgt darstellen:

- Die Filterwirkung einer Rechen- und einer Balkensperre lässt sich ohne Zugabe von Wildholz weitgehend durch die Veränderung des lichten Stababstandes beeinflussen. Unter der Voraussetzung einer eher hohen Wasserführung wirken die Sperren vorwiegend durch hydraulischen Rückstau.
- Das birnenförmige Ablagerungsbecken bewirkte geringfügig höhere Ablagerungsvolumina.
- Ein Wildholzanteil von 0,15 % bezogen auf das verwendete Geschiebevolumen von 1,05 m³ verursacht eine große Streuung der Ablagerungsvolumina bei beiden Konstruktionen.
- Während bei einer Balkensperre unter Zugabe von Wildholz widerstandsfähige Verklausungen zu erwarten sind, bildet sich bei einer Rechensperre ein schwimmender Holzteppich aus, der mit zuneh-

memdem Abfluss am Sperrenbauwerk aufschwimmt und eine selbsttätige Entleerung weniger behindert.

- Auch bei Entfernung der Verklausungen nach dem Ereignis ist die Spülfizienz gering. Das gilt in besonderem für die Versuche mit der engen lichten Weite von 10,5 mm ($\sim d_{90} \times 1,4$ der maßgebenden Korngröße).
- In den Versuchen zeigte sich, dass bei einer lichten Weite von $d_{90} \times 1,4$ sämtliche Korngrößen in den Unterlauf transportiert werden. Für Geschiebetransportberechnungen im Unterlauf der Sperre sind demnach die gewählten maßgebenden Korngrößen anzusetzen, eine Sortierung wurde nicht festgestellt.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Prof. DI Dr. Johannes Hübl
Universität für Bodenkultur, Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordanstraße 82
1190 Wien
Johannes.Huebl@boku.ac.at

DI Dr. Michael Chiari
Universität für Bodenkultur, Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
Peter-Jordanstraße 82
1190 Wien
Michael.Chiari@boku.ac.at

DI Markus Moser
Forsttechnischer Dienst für
Wildbach- und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Lungau
Johann-Löcker-Straße 3
5580 Tamsweg
markus.moser@die-wildbach.at

DI Martin Trojer
 Institut für Alpine Naturgefahren
 Peter-Jordanstraße 82
 1190 Wien

Literatur / References

HAINZER D. (2013).
 Geschiebemanagement Schöttelbach. Wien: Diplomarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren.

HAMPEL R. (1968).
 Geschiebealagerung in Wildbächen dargestellt in Modellversuchen. Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung Österreichs.

HAMPEL R. (1974).
 Die Wirkungsweise von Wildbachsperrern. Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach - und Lawinerverbauung Österreichs.

LEYS E. (1969).
 Die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen der großdolgigen und kronenoffenen Bauweise in der Wildbachverbauung. Dissertation am Institut für Wildbach- und Lawinerverbauung.

TROJER M. (2013).
 Optimierung von Filtersperren durch physikalische Modellversuche, Wien: Diplomarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren.

SETZNAGEL R. (1989).
 Modellversuche mit Wildbachsperrern. Wien: Diplomarbeit, Institut für Wildbach und Lawinerverbauung.

STINY J. (1917).
 Versuche über Schwemmkegelbildung. Geologische Rundschau .

WANG F. (1901).
 Grundriss der Wildbachverbauung. Leipzig: Verlag S. Hirzel.

ZOLLINGER F. (1983).
 Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz - Ihre Morphologie und die Möglichkeiten einer Steuerung. Zürich, Dissertation ETH Zürich: ADAG Administration und Druck AG.



- Steinschlagschutz
- Lawinenschutz
- Fels- und Hangsicherung



SICHERHEIT DURCH KOMPETENZ

Weißbach 106 - A-5431 Kuchl - Tel.: +43 (0)6244-20325 - Fax: +43 (0)6244-20325-11
 E-Mail: office@trumerschutzbauten.com - www.trumerschutzbauten.com

You better ask our experts for the best approach

software
 maps
 geostatistics
 reporting
 data

"That's it."

Gregor Ortner, CTO UNIDATA

UNIDATA GEODESIGN GMBH
 Gärtnergasse 3 Top 6, 1030 Vienna
 t +43(1) 96 901 78
office@unidata.at
www.unidata.at

unidata
 geo
 design

JOHANNES KAMMERLANDER, BERNHARD GEMS, MICHAEL STURM, MARKUS AUFLEGER

Analyse hochwasserbezogener Prozesse am Zusammenfluss steiler Zubringer und deren Vorfluter

Hydraulic processes at steep tributary's confluences and their feedback on flood risk

Zusammenfassung:

Einmündungen steiler Wildbäche in deren Vorfluter erweisen sich zunehmend als neuralgische Bereiche für die Hochwassersicherheit von besiedelten Schwemmkegeln. In den Ereignisdokumentationen wird vielfach von rückschreitenden Gerinneverlandungen berichtet, denen eine Abflussüberbordung und Übersarungen besiedelter Schwemmkegel folgten. In diesem Beitrag werden die maßgebenden hydraulischen Prozesse an Einmündungen und ihre Wechselwirkung mit dem Geschiebetransport in den Schwemmkegelgerinnen zusammengefasst. Es werden dabei auch Möglichkeiten zur schutzwassertechnischen Optimierung von Einmündungsbereichen aufgezeigt, welche im Zuge eines Modellversuchs im Wasserbau-labor der Universität Innsbruck untersucht wurden.

Stichwörter:

Geschiebetransport, Schwemmkegelgerinne, Einmündungen, Hochwasser

Abstract:

The bedload transport originating during exceptional events in steep torrents often exceeds the bedload transport capacity of the receiving stream. It causes a backward channel aggradation in the tributary, which is crucial for the flood safety on the alluvial fan.

Hydraulic and bedload transport processes in confluence zones as well as their strong feedback on each other are discussed within this article. Furthermore, mitigation measures are presented that were tested by means of experimental modelling.

Keywords:

Bedload transport, alluvial fan, confluences, flood

Einleitung

Ein hydrologisches Extremereignis in einem Wildbacheinzugsgebiet führt häufig zu einer Verlagerung von sehr großen Geschiebemengen in kurzen Zeiträumen. Die Intensität der Geschiebeumlagerung wird dabei zum einen durch das Geschiebedargebot im Einzugsgebiet, zum anderen durch die Strömungskraft des Wasser-Feststoffgemisches begrenzt. Bei Letzterem kommt dem Längsgefälle eine hohe Bedeutung zu: in Steilstrecken wird Sediment vorzugsweise erodiert (Nettoaustrag), in Flachstrecken dagegen abgelagert (Nettoeintrag). Die Schwemm- oder Murkegel von Wildbächen sind das Resultat dieser Grunddynamik: Erosion in den steilen Grabenstrecken und dessen teilweisen Ablagerung auf den relativ flachen Schwemmkegeln.

Zum Schutz der Siedlungsflächen auf Schwemmkegeln werden seit alters her Maßnahmen zur Geschiebebindung und zum (zumindest dosierten oder selektiven) Geschieberückhalt getätigt. Zusätzlich umfassen Schutzkonzepte auch häufig Maßnahmen zur Gefahrenableitung. In Schwemmkegelgerinnen erfolgt dies durch eine Erhöhung der Abfluss- und Transportkapazität, was im Idealfall zu einem schadlosen Durchtransport des Wasser-Feststoffgemisches während dem Wildbachereignis führt.

In der Vergangenheit hat sich dieses Konzept vielfach bewährt und die Gefährdung von Siedlungsflächen konnte teilweise stark verringert werden. Dennoch stieß dieses Schutzkonzept während mancher Ereignisse an seine Grenzen. Trotz der theoretisch ausreichenden Transportkapazität des Schwemmkegelgerinnes kam es zu Sohlanlandungen, denen eine Abflussüberbordung und die Übersarung der angrenzenden Siedlungsflächen nachfolgten. In den Ereignisdokumentationen wird hierzu häufig die Einmündung des Wildbachs in den Vorfluter als Aus-

gangsort bzw. als Ursache des Versagens genannt (Rudolf-Miklau et al., 2006). Die Vorfluter von Wildbächen sind zumeist Gebirgsflüsse mit vergleichsweise geringem Längsgefälle. Bei großen Geschiebeeinstößen aus den Zubringern ist für deren Weiterverfrachtung im Vorfluter deshalb ein erheblich höherer Abfluss notwendig. Bei zu geringer Transportkapazität des Vorfluters stellen sich dagegen Geschiebeablagerung ein. Negative Auswirkungen auf die Strömungskraft im Zubringer und damit verbunden eine Verringerung der Transportkapazität sind die mögliche Folge davon.

Hydraulik an Einmündungen

Die Strömungsverhältnisse im Einmündungsbereich von Wildbächen in übergeordnete Gewässer sind äußerst komplex und differieren je nach den topografischen und hydrologischen Rahmenbedingungen. Dennoch zeigt sich stets ein ähnliches Muster, welches Best (1987) in sechs Bereiche abstrahierte (Abb. 1).

Im Falle einer hohen Strömungsenergie im Zubringer drückt der einströmende Abfluss die Hauptströmung des Vorfluters an das gegenüberliegende Ufer (Bereich 2 in Abb. 1). Der Zubringer lenkt somit die Strömung im Vorfluter ab und reduziert dessen Durchflussfläche. Das Ausmaß der Strömungsablenkung nimmt dabei sowohl mit der Strömungsenergie im Zubringer als auch mit dem Einmündungswinkel zu. Unter normalen Verhältnissen (strömender Fließzustand im Vorfluter) führt dies zu einem hydraulischen Rückstau flussaufwärts im Vorfluter sowie zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten am entgegengesetzten Ufer (Bereich 4 in Abb. 1). Flussabwärts passt sich die Strömungsrichtung des Zubringers jener des Vorfluters allmählich an, bis schließlich wieder gleichförmige Fließverhältnisse vorherrschen (Bereich 6 in Abb. 1).

Der Einfluss von Einmündungen auf

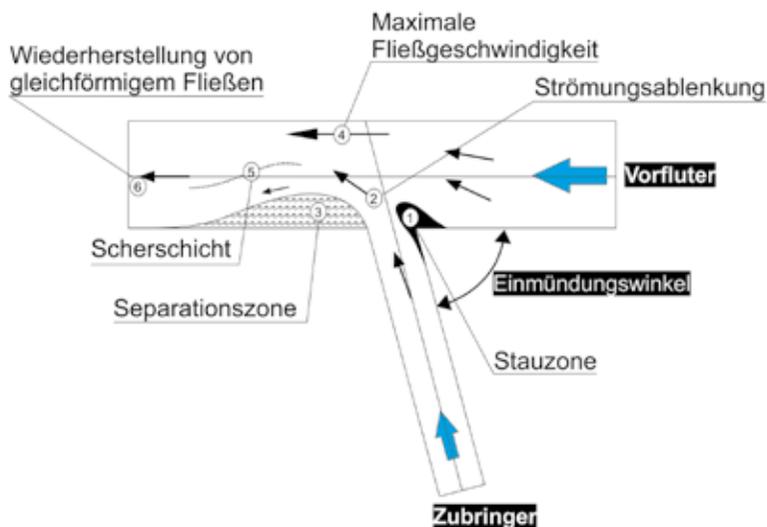


Abb. 1: Typisches Strömungsbild im Einmündungsbereich (modifiziert nach Best, 1987)

Fig. 1: Hydraulic conditions at confluences (modified according Best, 1987)

die vorherrschenden Strömungsverhältnisse beschränkt sich nicht nur auf den Vorfluter, auch das Strömungsbild im Zubringer kann davon stark beeinflusst werden (Hunzinger und Zarn, 1996). In der Regel weisen Wildbäche deutlich geringere Abflüsse auf als deren Vorfluter. Unter natürlichen Bedingungen (natürliches Bachbett und sohlgleiche Einmündung) ist der Wasserstand im Vorfluter dadurch in der Regel höher als die theoretische Fließhöhe des Zubringers. Im Fall von strömenden Fließverhältnissen bewirkt dies

einen Rückstau und somit einen höheren Wasserstand im Zubringer, womit auch die Abnahme der Fließgeschwindigkeit und der Strömungskraft im untersten Abschnitt des Schwemmkegelgerinnes einhergehen (Abb. 2a).

Dass sich dieses Strömungsbild (Abb. 2a) im Allgemeinen ungünstig auf das Hochwasserrisiko am Schwemmkegel auswirkt, ist bereits seit langem bekannt und führte unter anderem dazu, dass die Einmündungskoten der Wildbäche im Alpenraum häufig angehoben wurden. Die Bach-

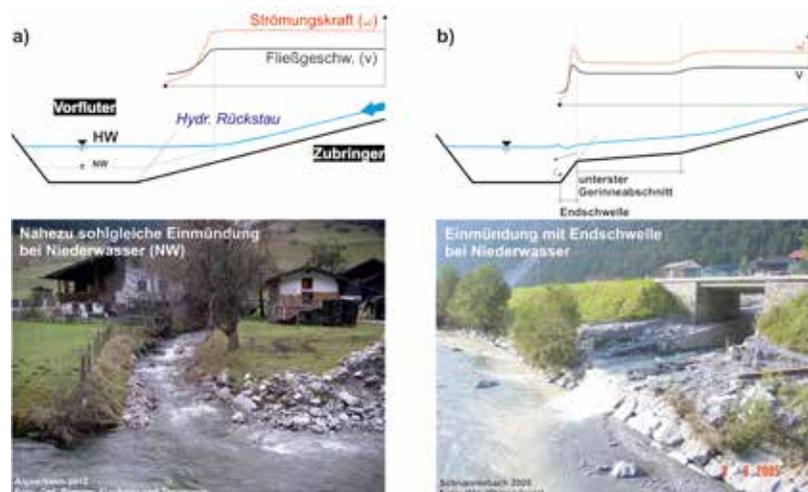


Abb. 2: Längenschnitt und Bild von der Einmündung eines steilen Zubringers in dessen Vorfluter bei a) sohlgleicher und b) angehobener Einmündungskote

Fig. 2: Longitudinal profile of a tributary confluence with a) equal bed level and b) increased bed level at the junction

sohle des Zubringers liegt dabei höher als der Wasserspiegel im Vorfluter, was einen hydraulischen Rückstau im Zubringer verhindert. Eine Erhöhung der Einmündungskote bedingt jedoch gleichzeitig eine Reduktion des Längsgefälles im untersten Abschnitt des Zubringers, was wiederum die Strömungskraft etwas reduziert (Abb. 2b). Diese Abnahme der Strömungskraft wird in der Regel aber als geringer eingeschätzt, als es bei einer sohlgleichen Einmündung und somit bei einem hydraulischen Rückstau der Fall wäre. Der Vergleich der skizzierten Diagramme in Abb. 2 zeigt aber auch, dass die Strömungskraft im Vorfluter von dieser Maßnahme unbeeinflusst ist. Durch das Anheben der Einmündungskote wird zwar die Transportkapazität im untersten Abschnitt des Zubringers, jedoch nicht im Vorfluter erhöht.

Eine Besonderheit im Hinblick auf die hydraulischen Verhältnisse im Einmündungsbe-

reich stellen sehr glatte, beispielweise mittels Granitplatten verkleidete Schwemmkegelkünetten dar. Bei ausreichendem Längsgefälle ist der Fließzustand in derartigen Gerinnen stark schießend. Im Bereich der Einmündung kommt es dadurch zu einem Wechselsprung. Damit verbunden sind ein plötzlicher Anstieg der Fließhöhe und ein großer Energieverlust; beides wirkt wiederum ungünstig auf die Hochwassersicherheit. Die Lage des Wechselsprungs ist dabei auch vom Wasserstand im Vorfluter und der kritischen Fließtiefe des Zubringers abhängig. Das gleichzeitige Auftreten eines Hochwassers im Vorfluter und im Zubringer führt in der Regel zu einer Verschlechterung der Einmündungssituation (Abb. 3).

Die angeführten Überlegungen befassen sich zunächst vorwiegend mit den hydraulischen Verhältnissen im Bereich von Einmündungen. Durch den Zubringer eingetragenes und im Mün-

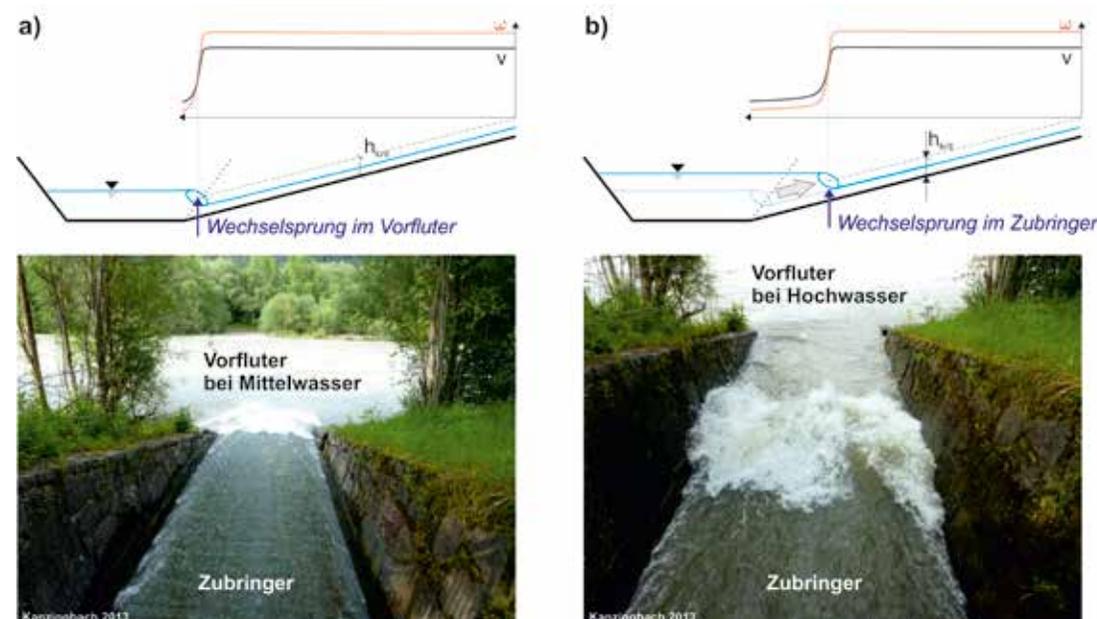


Abb. 3: Längenschnitt und Bild von der Einmündung eines steilen Zubringers mit glatter Sohle (schießende Fließverhältnisse) bei a) mittlerem und b) hohem Wasserstand im Vorfluter

Fig. 3: Longitudinal profile and photo of a tributary confluence with a) low and b) high water level in the receiving stream

dungsbereich abgelagertes Geschiebe vermag die vorherrschenden (hydraulischen) Prozesse jedoch markant zu beeinflussen (Hunzinger und Zarn, 1996). Auf diese Wechselwirkung wird im Folgenden näher eingegangen.

Verlandungsprozesse an Einmündungen

Wie bereits erläutert wurde, sind die Transportkapazität, respektive die Strömungskraft, im Bereich der Einmündung häufig viel geringer als im unbeeinflussten Zubringergerinne (Abb. 2 und Abb. 3). Im Falle eines hohen Geschiebeeintrags aus dem Zubringer kann dieser dadurch nicht zur Gänze weiter transportiert werden, was zwangsläufig zu einer Geschiebeablagerung bzw. Sohlerhöhung führt. Der Ausgangsort der Geschiebeablagerung befindet sich dabei an jener Stelle, an der die Strömungskraft ein lokales Minimum aufweist. Nachfolgend werden die Ablagerungsprozesse von zwei typischen Einmündungssituationen näher dargestellt (Abb. 4 und Abb. 5). Hierbei muss

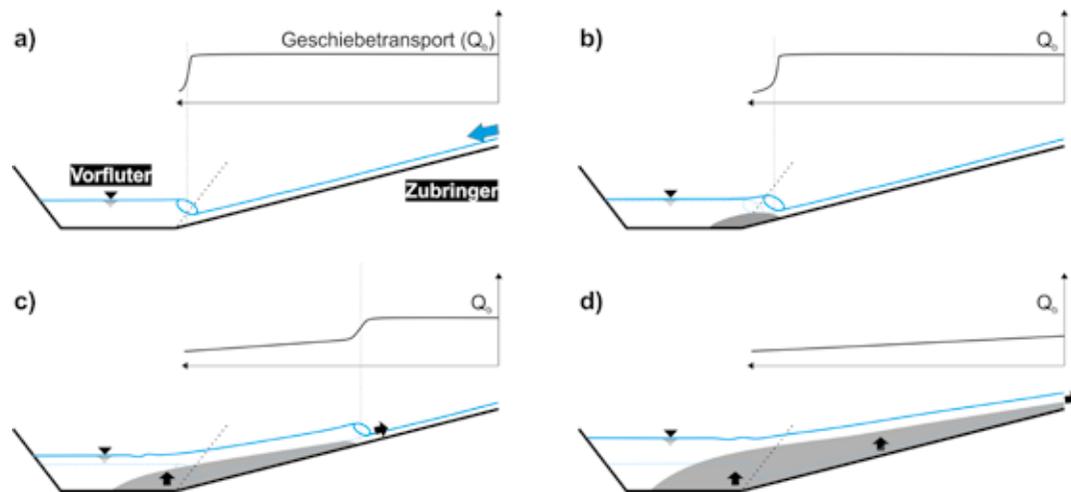


Abb. 4: Morphologische Prozesskette an Einmündungen im Falle eines großen Geschiebeeintrags aus dem Zubringer bei schießenden Fließverhältnissen

Fig. 4: Sequence of channel bed aggradation at confluences in the case of sediment pulses from the tributary at supercritical flow

allerdings festgehalten werden, dass die Prozesskette je nach lokalen und ereignisspezifischen Rahmenbedingungen von diesen idealisierten Beispielen etwas abweichen kann.

Bei einer sohlgleichen Einmündung und schießenden Fließverhältnissen im Zubringer beginnt sich ein Teil des Geschiebes direkt unterhalb des Wechselsprungs abzulagern (Abb. 4b). Dies führt zu einer Erhöhung der Gerinnesohle (Abb. 4b), wodurch sich der Wechselsprung etwas nach bachaufwärts verschiebt. Der Ort der Geschiebeablagerung folgt dem Wechselsprung und es setzt somit eine rückschreitende (bachaufwärts gerichtete) Verlandung ein (Abb. 4c). Im Fall, dass der verbleibende Geschiebeeintrag aus dem Zubringer die Abfuhrkapazität des Vorfluters übersteigt, wird die rückschreitende durch eine vertikal anwachsende Gerinneverlandung abgelagert (Abb. 4d). Dieser Prozess setzt sich in der Regel solange fort, bis (i) der Geschiebeeintrag abklingt und die Ablagerungen wieder sukzessive erodiert werden oder (ii) der Zubringer überbor-

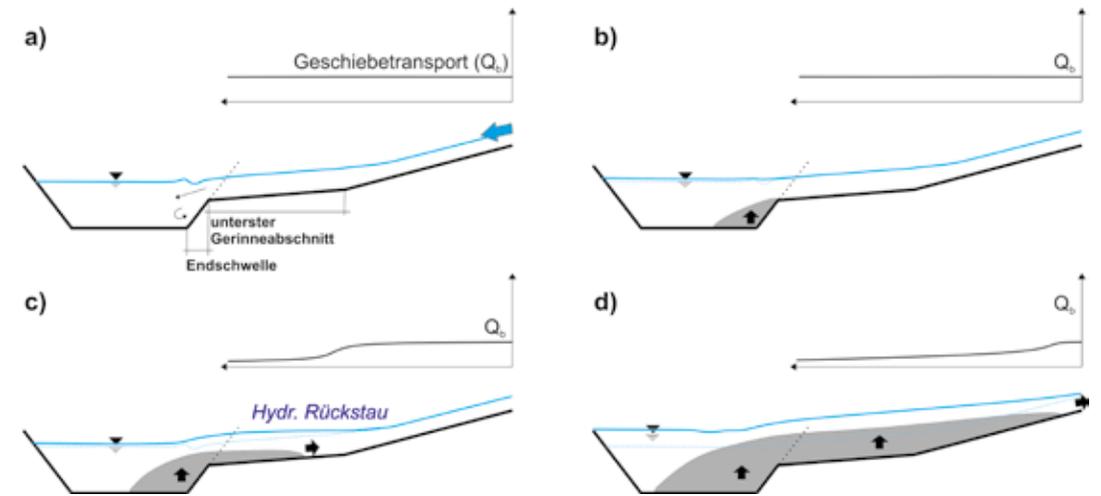


Abb. 5: Morphologische Prozesskette an Einmündungen mit Endschwelle bei strömenden Fließverhältnissen

Fig. 5: Sequence of channel bed aggradation at confluences with ramps facing subcritical flow conditions

det und das weiterhin zuströmende Geschiebe den Schwemmkegel übersart.

Das zweite Beispiel zeigt die Prozesskette der Geschiebeablagerung für einen Zubringer, dessen Einmündungskote künstlich angehoben wurde. Der Geschiebeeintrag soll dabei der Transportkapazität des untersten Gerinneabschnitts im Zubringer (Abb. 5a) entsprechen, was beispielsweise durch eine Geschiebedosierung gewährleistet ist. Unter diesen Voraussetzungen wird das Geschiebe aus dem Zubringer anfangs zur Gänze über die Einmündungsrampe in den Vorfluter transportiert. Aufgrund der Strömungsablenkung ist die Transportkapazität des Vorfluters im Bereich der Endschwelle allerdings verhältnismäßig gering und das Geschiebe lagert sich dort ab (Abb. 5b). Sobald der Scheitel dieses Ablagerungskegels die Höhe der Einmündungskote übersteigt, beeinflusst dieser die Strömung im Zubringer. Unter strömenden Fließverhältnissen führt dies zu einem hydraulischen Rückstau (Abb. 5c); bei schießendem Fließen zu einer Verschiebung des Wechselsprungs in den Zubringer.

Beiden gemein ist eine Abnahme der Transportkapazität und eine rückschreitenden Verlandung des Zubringergerinnes. Bei unzureichender Abfuhrkapazität im Vorfluter wird diese wiederum durch eine vertikal anwachsende Gerinneverlandung abgelagert (Abb. 5d).

Verbesserung der Einmündungssituation

Die beiden Beispiele zu den hochwasserbezogenen Prozessen an Einmündungen verdeutlichen den hohen Grad der Wechselwirkung zwischen der Strömung und dem Transport bzw. der Ablagerung von Feststoffen. Es ist wichtig festzuhalten, dass sich die Auswirkungen nicht nur auf die unmittelbare Einmündung beschränken, sondern sich auch auf das gesamte Schwemmkegelgerinne und auf das Ober- und Unterwasser im Vorfluter (Aufstau, Ausuferungen, Geschiebeablagerungen bei verbesserter Durchgängigkeit im Einmündungsbereich) ausdehnen können. Aus diesem Grund sind jegliche Maßnahmen zur Verringerung der Wildbachgefahr an Schwemmkegeln mit

dem Abfuhrvermögen des Vorfluters bzw. dem tolerierbaren Ausmaß an Geschiebeablagerung im Einmündungsbereich abzustimmen.

Die Möglichkeiten zur Verringerung der Geschiebeablagerung im Einmündungsbereich bzw. zur Verringerung der einhergehenden Hochwassergefährdung sind vielfältig, lassen sich jedoch in drei Gruppen gliedern:

- Reduktion des Geschiebeeintrags aus dem Wildbach
- Erhöhung der Abfuhrleistung im Vorfluter
- Erhöhung der Abfluss- und Anlandungskapazität im Zubringer

Die Reduktion des Geschiebeeintrags aus dem Zubringer kann durch bauliche (beispielsweise selektiver oder dosierter Geschieberückhalt) oder auch forstliche bzw. ingenieurbioökologische Maßnahmen im Einzugsgebiet erfolgen. Hierzu gibt es jahrzehntelange Erfahrungen, welche in diesem Beitrag nicht näher erörtert werden.

Eine weitere Möglichkeit, um das Ausmaß der Sohlanlandung im Zubringer zu verringern, kann durch bauliche Maßnahmen im Einmündungsbereich erfolgen, welche die Weiterverfrachtung im Vorfluter erhöhen. Im Gegensatz zur Reduktion des Geschiebeeintrags sind derartige Maßnahmen noch wenig bekannt und entsprechend selten erprobt. Die obigen Beispiele zu den hochwasserbezogenen Verlandungsprozessen zeigen aber, dass die Sohlerrhöhung im Einmündungsbereich der Ursprung der rückschreitenden Verlandung ist. Der Ort dieser anfänglichen Geschiebeablagerung ist dabei an die Lage des hydraulischen Rückstaus (Abb. 2) oder des Wechselsprungs (Abb. 3) gebunden. An diesen Stellen nimmt die Transportkapazität stark ab, was eine Ausfällung des transportierten Geschiebes bewirkt.

Die letzte Gruppe umfasst technische Hochwasserschutzmaßnahmen im Einmündungsbereich, welche bei ungenügender Verbesserung

der Abfuhrkapazität des Vorfluters, die maximal zulässige Verlandung im Zubringer erhöhen (beispielsweise durch Erhöhung der Ufermauern) und folglich das Auftreten von Ausuferungen im Ereignisfall verzögern.

Es stellt sich die Frage, inwieweit Bereiche mit geringer Strömungskraft baulich optimiert oder die Anlandungskapazitäten ausreichend erhöht werden können. Dazu eignen sich hydraulische Modellversuche, welche das komplexe Strömungsbild im Einmündungsbereich und dessen starke Wechselwirkung mit den Anlandungsprozessen ausreichend genau wiedergeben. Im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck wurden derartige Untersuchungen kürzlich für den Schnannerbach durchgeführt.

Beispiel Schnannerbach

Der Schnannerbach befindet sich in den Nördlichen Kalkalpen im Tiroler Oberland. Er entwässert ein 6,3 km² großes Einzugsgebiet und mündet in der Ortschaft Schnann in die Rosanna. Im Einzugsgebiet des Schnannerbachs liegen massive Feststoffherde in Form von Schutthalde, welche im Ereignisfall mobilisiert werden können. Am Schwemmkegel wird der Schnannerbach in einer getrepten Künette mit beidseitigen Ufermauern durch Schnann geführt. Das Längsgefälle der Künette verringert sich dabei von maximal 13 % am Schwemmkegelhals auf etwa 6,5 % im Mündungsbereich. In der Schluchtstrecke ist eine Geschieberückhaltesperre situiert, die einen erheblichen Anteil der Ereignisfracht zurückzuhalten vermag. Dennoch führten vergangene Ereignisse aufgrund der ungenügenden Abfuhrkapazität der Rosanna und des daraus resultierenden rückschreitenden Verlandungsprozesses in der Künette zu erheblichen Schäden an der bestehenden Infrastruktur in Schnann. Das letzte große Schadereignis ereignete sich im August 2005

(nachfolgend „08/2005“ bezeichnet), welches sich durch lang andauernden fluviatilen Geschiebetransport charakterisierte (Chiari; 2008; Rudolf-Miklau et al., 2006).

Im Zuge eines Verbauungsprojekts beauftragte die Wildbach- und Lawinenverbauung einen Modellversuch, mittels welchem geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Geschiebeablagerung im Einmündungsbereich untersucht werden sollten. Dazu wurde der Unterlauf des Schnannerbachs mitsamt der Einmündung und dem Vorfluter im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck maßstabsgetreu (1:30) nachgebaut. Eine Rekonstruktion des Schadereignisses „08/2005“, welches in seiner Intensität in etwa dem Bemessungsereignis entsprach (Gems et al., 2014; Aufleger et al., unveröffentlicht), zeigte dabei eine gute Übereinstimmung zwischen Modellprozessen und Ereignisbeobachtungen in der Natur.

Ausgehend von der Bestandssituation wurde eine Vielzahl von Maßnahmen im Modell untersucht, um die Abfuhrkapazität im Einmündungsbereich zu erhöhen und/oder den Zeitpunkt der Überbordung am Schwemmkegel zu verzögern (Abb. 6). Für die „Bestvariante“ wurde das Modell mit der rekonstruierten Abfluss- und

Geschiebeganglinie des Ereignisses „08/2005“ beaufschlagt, der zeitliche Verlauf des Geschiebetransports und der Anlandung dokumentiert und jenem der Bestandssituation gegenübergestellt.

Wider Erwarten führten jene Optimierungsvarianten, die eine Erhöhung der Transportkapazität des Vorfluters zum Ziel hatten (a bis e in Abb. 6) nur zu einer geringfügigen Verbesserung. Trotz der teilweise drastischen Maßnahmen, beispielsweise die starke Flusseinschnürung in Abb. 6a und Abb. 6b, kam es zu einer nahezu unverändert starken Geschiebeablagerung im Einmündungsbereich. Demnach überstieg der Geschiebeeintrag aus dem Schnannerbach die Abfuhrkapazität der Rosanna bei Weitem, sodass die Erhöhung der selbigen nur eine geringfügige Verbesserung erzielte. Hierbei ist zu erwähnen, dass im Verlauf des Ereignisses „08/2005“ und dementsprechend auch im Modellversuch, in der Rosanna eine hohe Wasserführung (~ HQ10) bei gleichzeitig geringem Geschiebeeintrag von oberstrom vorherrschte.

Die Maßnahmen im Zubringer erwiesen sich dagegen als wirkungsvoller, wenngleich eine Überbordung des Schnannerbachs mit keiner Variante verhindert werden konnte. Das beste

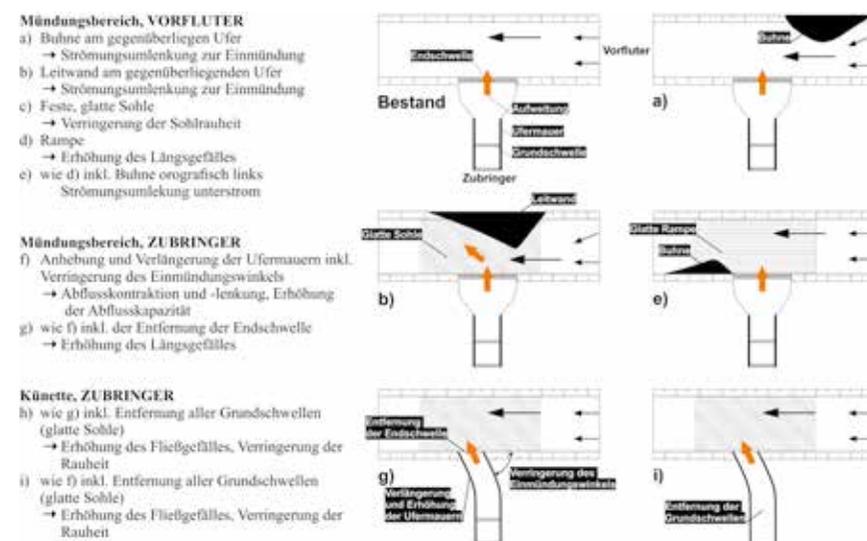


Abb. 6: Zusammenfassung der neun, im Modell untersuchten Optimierungsvarianten; für ausgewählte Optimierungsvarianten und den Bestand sind die Grundrisse inklusive der Maßnahmen skizziert

Fig. 6: Summary of the nine optimization variants that were investigated by means of experimental modelling

Ergebnis wurde mit der Optimierungsvariante g (Abb. 6) erzielt, mittels welcher sich der Zeitpunkt der Überbordung um fast das Doppelte verzögerte. Die Adaptierungsmaßnahmen dieser Variante umfassen dabei die geringfügige Erhöhung des Gefälles durch Entfernung der Endschwelle. Des Weiteren wurde der Einmündungswinkel geringfügig verringert, sowie die bestehenden Ufermauern leicht erhöht und bis zum Mündungsknoten verlängert.

Mit der Verringerung des Einmündungswinkels und der Verlängerung der Ufermauern wurden der Abfluss sowie das Geschiebe aus dem Zubringer bereits vor der Einmündung in die Fließrichtung des Vorfluters gelenkt: während das Geschiebe in der Bestandsvariante zu einer Richtungsänderung von nahezu 90° gezwungen wurde, war die Strömungsablenkung nun etwas weniger stark ausgeprägt. Dadurch konnte auch ein größerer Anteil des eingetragenen Geschiebes etwas weiter nach flussabwärts bewegt werden. Dies zeigte sich zum einen durch den größeren Geschiebeaustrag, als auch in der langgestreckten Form des Geschiebeablagerungskegels (Abb. 7).

Die Entfernung der Einmündungsschwelle bewirkte eine geringfügige Erhöhung des

Längsgefälles und somit eine Erhöhung der Strömungskraft im untersten Abschnitt des Schnannerbachs. Dadurch reichte der einströmende Wasserstrahl aus dem Zubringer etwas weiter in den Vorfluter (Strömungsablenkung in Abb. 1) und das Geschiebe wurde weiter nach Flussmitte bzw. nach unterstrom transportiert. Dieser Effekt beschränkte sich allerdings auf den Beginn des Hochwasserereignisses, bevor sich das Geschiebe im Einmündungsbereich abzulagern begann und das Gefälle entsprechend verringerte.

Die größte Wirkung ergab sich allerdings durch die Erhöhung der Ufermauern. Analog zu dem idealisierten Beispiel in Abb. 4b lagerte sich das Geschiebe anfangs im Bereich des Wechselsprungs ab. Es setzte die rückschreitende Ablagerung ein, welcher eine vertikal anwachsende Gerinneverlandung folgte. Aufgrund der höheren Ufermauern konnte aber mehr Geschiebe aufgenommen werden, ehe die Abflusskapazität im Gerinne überschritten und der Schwemmkegel übersart wurde. Die stark verzögerte Ausuferung und Übersartung längs des Schwemmkegelgerinnes ist somit vorwiegend der Erhöhung der Gerinnekapazität zuzuschreiben.



Abb. 7: Zeitgleicher Zustand während der Modellierung des Ereignisses „08/2005“ für den Bestand und die Variante (g)

Fig. 7: Simultaneous snap shot during experimental modelling of the flood event "08/2005" for the current state situation and for variant (g)

Schlussfolgerung

Einmündungen von Schwemmkegelgerinnen in Vorfluter bedeuten neuralgische Bereiche für das Hochwasserrisiko angrenzender Siedlungsgebiete, zumal schadenbringende Prozesse am Schwemmkegel häufig ihren Ausgangspunkt am Einmündungsknoten haben. Durch die Komplexität der Wechselwirkung von Strömung und Geschiebetransport bedarf es einer umsichtigen Planung von Schutzmaßnahmen, in der die lokalen Gegebenheiten und Prozesscharakteristika auch über die Kompetenzgrenzen von Wildbachverbauung und Bundeswasserbauverwaltung hinweg ganzheitlich betrachtet werden. Der physikalische Modellversuch ist ein sehr geeignetes Werkzeug für die Prozessmodellierung in räumlich begrenzten Bereichen bzw. den unmittelbaren Einmündungsbereich. Bewährte numerische Modelle eignen sich zudem sehr gut für die Betrachtung des erweiterten Einflussbereiches von Einmündungen, beispielsweise für die Analyse von Ablagerungstendenzen im Unterwasser (Verschlechterungsverbot) bei verbesserter Durchgängigkeit im Einmündungsbereich (Kammerlander et al., in press).

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Johannes Kammerlander
Wildbach und Lawinenverbauung, Fachbereich
Wildbachprozesse
Bergheimerstraße 57, 5010 Salzburg
johannes.kammerlander@die-wildbach.at

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Gems
Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur,
Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13, 6020 Innsbruck
bernhard.gems@uibk.ac.at

Dipl.-Ing. Michael Sturm
Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur,
Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13, 6020 Innsbruck
bernhard.gems@uibk.ac.at

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger
Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur,
Universität Innsbruck
Technikerstrasse 13, 6020 Innsbruck
markus.aufleger@uibk.ac.at

Literatur / References

- AUFLEGER, M., STURM, M., GEMS, B. (unveröffentlicht). Modellversuch Schnannerbach – Projektbericht, Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck.
- BEST, J.L. (1987). Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. Recent Developments in Fluvial Sedimentology. in: Ethridge F.G., Flores R.M., Harvey M.D. (Hrsg.), Spec. Pub. Soc. econ. Paleont. Miner. Tulsa, Vol. 39, 27-35.
- CHIARI, M. (2008). Numerical Modelling of Bedload Transport in Torrents and Mountain Streams. Dissertation, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU).
- GEMS, B., STURM, M., VOGL A., WEBER, C., AUFLEGER, M. (2014). Analysis of damage causing hazard processes on a torrent fan – scale model tests of the Schnannerbach Torrent channel and its entry to the receiving water. Digital Proceedings of the Interpraevent 2014, Pacific Rim, Nara.
- GEMS, B., STURM, M., AUFLEGER, M., KAMMERLANDER, J., VOGL, A., WEBER, C. (2015). Einmündung von Wildbächen in Vorfluter – Gefahrenprozesse und Aspekte der großmaßstäblichen physikalischen Modellierung (Confluence of steep tributary channels and their receiving streams – hazard processes and aspects of large-scale physical modelling). In: Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift 160/1-12/2015, 119-124.
- HUNZINGER, L. und B. ZARN (1996). Sediment Transport and Aggradation Processes in Rigid Torrent Channels. Proceedings of the International Symposium Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen, Vol. 4, 221-230.
- KAMMERLANDER, J., GEMS, B., STURM, M., AUFLEGER, M. (2016). Analysis of flood related processes at confluences of steep tributary channels and their receiving streams – 2d numerical modelling application. Interpraevent 2016, Luzern.
- RUDOLF-MIKLAU, F., ELLMER A., GRUBER H., HÜBL J., KLEEMAYR K., LANG E., MÄRKART G., SCHEURINGER E., SCHMID F., SCHNETZER I., WEBER C., WÖHRER-ALGE M. (2006). Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation, Teilbericht der Wildbach- und Lawinenverbauung, Wien.

ERIKA WAGNER, WILHELM BERGTHALER, CLAUDIA JANDL

Sedimentmanagement in alpinen Einzugsgebieten – Ausgewählte rechtliche Aspekte

Legal aspects of sediment management

Zusammenfassung:

Die Hochwasserereignisse 2013 haben zu großflächigen Anlandungen geführt, die zum Teil sogar abfallrechtliche Entsorgungspflichten nach sich zogen. Umgekehrt lag das Sediment an anderer Stelle - beispielsweise an Wildbächen - in reinster Schotterform zur Bewirtschaftung brach. Rechtlich betrachtet ergeben sich daraus zahlreiche Fragen im Umgang mit Sedimenten, wie der Frage nach der rechtlichen Qualifikation des Sedimentmaterials, der Verwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder der Frage nach dem Bestehen allfälliger verwaltungsrechtlicher Bewilligungstatbestände im Rahmen des Sedimentmanagements. Der Beantwortung dieser und weiterer Fragen widmet sich eine vom BMFLUW in Auftrag gegebene Rechtsstudie, deren maßgeblichen Erkenntnisse auszugsweise dargestellt werden sollen.

Stichwörter:

Recht, Sedimentmanagement, Abfallbegriff, wasserrechtliche Bewilligung.

Abstract:

The flood 2013 led to landings of large areas, which partly caused juridical waste disposal duties. Elsewhere – especially on torrents – the sediment in its purest form was found. From a legal point of view, there are many questions in dealing with sediments, such as the question of legal classification of sedimentary material, the use- und recycling possibilities or the question of the existence of any administrative authorization criteria in the field of sediment management. To answer those central legal issues of sediment management, a law study, at the University Linz was commissioned, whose main findings will be presented now.

Keywords:

legal regulations, sediment management, waste concept.

Einleitung

Die bisher geltenden Rechtsgrundlagen im Bereich des Sedimentmanagements stellen nur eine fragmentische Grundlage dar, die sich als unzureichend erweist, um Sedimente effektiv zu schützen und zu bewirtschaften. Zwar existieren verschiedene Lösungsansätze und Strategien im Zusammenhang mit dem Sedimentmanagement - von der Wiedereinbringung ins Gewässer, der Errichtung von Deponieflächen zur Deponierung des Materials bis hin zum Halten des Materials im Bauregime für künftige Bauvorhaben und schutzbauliche Maßnahmen - doch enden diese in der Praxis häufig in unsicheren Verwaltungsregimen, die es zu berücksichtigen gilt. Vom Abfallrecht, Wasserrecht, Naturschutzrecht über das Mineralrohstoff-, Gewerbe-, Raumordnungs-, und Bau-recht bis hin zum Zivilrecht spannt sich hier der Bogen der einschlägigen Rechtsmaterien.

Der größte Handlungsspielraum in der Praxis existiert noch im Falle von Naturereignissen und -katastrophen, da diesfalls Gefahr in Verzug vorliegt und konkrete Bewilligungserfordernisse in den Hintergrund treten. Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich schwerpunktmäßig **mit den abfall- und wasserrechtlichen Aspekten des Sedimentmanagements**, da die Erörterung sämtlicher einschlägiger Rechtsmaterien den vorgegebenen Rahmen sprengen würde.

2. Abfallrechtliche Aspekte

Allgemeines

Der **Abfallbegriff**, als Maßstab dessen, was überhaupt als Abfall gilt, ist der zentrale Anknüpfungspunkt für die (Nicht)Anwendbarkeit abfallrechtlicher Regelungen, inklusive der entsprechenden abfallrechtlichen Ausnahmebestimmungen. Aus abfallrechtlicher Sicht ist daher – auch im Hin-

blick auf die weiteren Dispositionsmöglichkeiten – primär zu ermitteln, ob es sich beim Sediment um Abfall handelt oder nicht.

Wie sich anhand der Studie gezeigt hat, bestehen unterschiedliche Auffassungen, über die rechtliche Qualifikation des Sedimentmaterials. Die Abfallsektion im BMFLUW geht grundsätzlich von der Abfalleigenschaft des Sedimentmaterials aus, sofern dies nicht unter die Ausnahmetatbestände des § 3 Abs 1 Z 7 oder Z 8 AWG 2002 fällt. Sedimentmaterial als Rohstoff innerhalb und außerhalb des Gewässers gäbe es demnach nicht. Die Räumung sämtlicher Wildbäche dürfte - im Sinne dieser Auffassung - nur unter dem Regime des Abfallwirtschaftsrechts stattfinden. Eine solche Vorgehensweise sei erforderlich, um Kontaminierungsgefahren soweit wie möglich hintanzuhalten.

Beachtet man aber, dass es sich in der deutlich überwiegenden Anzahl der Fälle beim Sediment um bloßes Naturmaterial handelt, welches durch Wasser oder Erdbewegungen verlagert wird, so fragt sich aus unserer Sicht, ob mit der generellen Einordnung des Sedimentmaterials ins Abfallregime nicht mit „Kanonen auf Spatzen geschossen“ wird.

Sediment als Abfall?

Abfälle iSd AWG 2002 sind bewegliche Sachen, deren sich der Eigentümer oder Inhaber entledigen will oder entledigt hat (**subjektiver Abfallbegriff**), oder deren Erfassung, Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse gemäß § 1 Abs 3 AWG 2002 geboten ist (**objektiver Abfallbegriff**).

Insbesondere **Sedimente, die Kontaminationen aufweisen**, werden diesen **objektiven Abfallbegriff** erfüllen, da infolge der Kontamination und der davon ausgehenden Gefahr für Mensch und Umwelt deren Behandlung als Abfall nötig erscheint. Bei **nicht kontaminierten Sedi-**

menten ist uE je nach den Umständen des Einzelfalls zu ermitteln, ob diese dem Regelungsregime des AWG unterliegen oder nicht.

Fraglich ist in diesen Fällen vorrangig, ob der **subjektive Abfallbegriff** als erfüllt zu erachten ist. Entgegen der Auffassung der Abfallsektion des BMLFUW, die jede Weitergabe des Materials einer Entledigung gleichsetzt, gehen wir davon aus, dass von einer **Entledigung iSd AWG 2002** nur dann gesprochen werden kann, wenn die **Weggabe einer Sache in erster Linie darauf abzielt, diese los zu werden**. Nicht jede Weitergabe einer Sache ist somit uE als Entledigung zu qualifizieren, vielmehr muss eine Entledigungsabsicht hinzutreten. Solange jemand eine Sache mit dem Zweck weitergibt, sie in ihrer ursprünglichen oder bestimmungsgemäßen Verwendung zu belassen, liegt aus unserer Perspektive keine abfallrechtlich relevante Entledigungsabsicht vor. Gleiches gilt, wenn jemand die Sache weitergibt, um daraus einen Nutzen zu ziehen. Der Wille zur Entledigung bzgl solcher Stoffe ist nur dann anzunehmen, wenn deren ursprüngliche Zweckbestimmung entfällt oder aufgegeben wird, ohne dass ein anderer bestimmungsgemäßer Verwendungszweck unmittelbar an deren Stelle tritt.¹

Zur Veranschaulichung ein Beispiel: Das im Zuge einer Räumung gewonnene Sedimentmaterial soll einem Unternehmer zur Anlegung eines Lagerplatzes übergeben werden. UE liegt in casu dann keine Entledigungsabsicht vor, wenn es sich um **produktgleiches Material** mit einem bestimmten Verkehrswert handelt. Diesfalls ist von einem **reinen Veräußerungsvorgang** auszugehen.

Es kommt in der Praxis nicht selten vor, dass das Geschiebe im Bachbett durchwegs in marktauglicher, zu bautechnischen Zwecken geeigneter und werthaltiger Form anfällt und

daher ein Einsatz als Schottermaterial durch lokalübernehmende Unternehmer ganz offenkundig möglich ist. Dass dieses Material bei einer Räumungs-, nicht bei einer Gewinnungstätigkeit anfällt, macht in diesem Zusammenhang keinen Unterschied. In gleicher Weise wird ja auch Material, das im Zuge von Infrastrukturbaustellen anfällt (sogenannte „Seitenentnahmen“), nicht in Gewinnungsabsicht abgebaut, stellt aber dennoch einen Rohstoff und keinen Abfall dar und findet im Straßenbau regelkonform Anwendung.

Auch bei der **landwirtschaftlichen Verwertung** durch die bloße Übergabe an Dritte ist die Entledigungsabsicht noch nicht zwingend indiziert. Es ist durchaus denkbar, dass wertvolles, landwirtschaftlich verwertbares Material auf einen Nachfragemarkt trifft und hier als Produkt bzw Naturmaterial/Rohstoff außerhalb des Abfallregimes übergeben wird.

Liegt hingegen kein produktgleicher Rohstoff vor (zB wenn das Material infolge Vermengung mit anderen Substanzen nicht verwendbar ist in der vorliegenden Form oder mit vernünftigen Einsatz keinen bautechnischen Zwecken zuführbar ist), so ist durch die Weitergabe wohl Entledigungsabsicht indiziert. In diesem Fall kann aber gemäß § 15 Abs 5a AWG 2002 durch die Übergabe an einen berechtigten Abfallsammler oder -behandler und dessen explizite Beauftragung mit der umweltgerechten Verwertung und Beseitigung die abfallrechtliche Verantwortung wirksam übertragen werden.

Fraglich ist aber, wer letztlich die Kosten für diese im Abfallregime begründeten Aufwendungen (Übergabepflicht, Beprobung, Sortiermaßnahmen, Recycling bzw Deponierung) trägt? Da es in der Regel keinen Verursacher geben wird, greift an öffentlichen Gewässern das Gemeinlastprinzip; sohin trägt die Kosten der Steuerzahler, ansonsten der „Abfallinhaber“.

Qualifiziert man Sedimente im Einzelfall als

„Abfall“, stellt sich in einem nächsten Schritt die Frage, nach dem Bestehen einer **möglichen Ausnahmebestimmung für Sedimente**. Das AWG 2002 enthält seit der AWG-Novelle 2011 (BGBl I 2011/9) eine explizite Ausnahme für bestimmte Sedimente. Gemäß **§ 3 Abs 1 Z 7 AWG 2002 vom Abfallbegriff ausgenommen** sind beispielsweise **nicht kontaminierte Sedimente, die im Rahmen des (Schutz-)Wasserbaus eingesetzt** werden.

§ 3 Abs 1 Z 7 AWG 2002 lautet:

„Keine Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes sind nicht kontaminierte Sedimente, die zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern und Wasserstraßen oder der Vorbeugung gegen Überschwemmungen oder der Abschwächung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren oder zur Landgewinnung bei Oberflächengewässern umgelagert werden.“

Auf den ersten Blick ließe diese Bestimmung nach ihrem Wortlaut ein ganz weitgehendes Ausnahmeverständnis zu. So lässt die Regelung etwa völlig offen, wann, wie lange und wo genau das Material gelagert werden muss. Auch dass die Umlagerung in zeitlicher Nähe zur Entnahme stattfinden müsse, verlangt § 3 Abs 1 Z 7 AWG 2002 expressis verbis nicht.

Anders hingegen die der österreichischen Regelung zugrundeliegende Bestimmung der Abfallrahmenrichtlinie, die davon spricht, dass die Sedimente „innerhalb von Oberflächengewässern umgelagert“ werden müssen. **Art 2 Abs 3 der Abfallrahmenrichtlinie** lautet:

„Unbeschadet der Verpflichtungen aus anderen einschlägigen Rechtsvorschriften der Gemeinschaft sind Sedimente, die zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern und Wasserstraßen oder der Vorbeugung gegen Überschwemmungen oder der Abschwächung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren oder zur Landgewinnung innerhalb von Oberflächen-

gewässern umgelagert wurden, aus dem Anwendungsbereich dieser Richtlinie ausgeschlossen, sofern die Sedimente erwiesenermaßen nicht gefährlich sind.“

Die Europäische Kommission hat dazu einen **Leitfaden** veröffentlicht, der als Voraussetzungen für die Ausnahme Folgendes ausführt:

„Non-hazardous dredging sediment is excluded from the scope of the WFD only where it is put elsewhere within surface waters for the purposes (only) of:

- managing waters and waterways;
- preventing floods;
- mitigating the effects of floods and droughts; or
- land reclamation.

Excluded is sediment from dredging. Thus, the exclusion for the purpose of managing waters, etc. applies not to the dredging but to the relocation of the sediment. If sediments are further used outside water bodies, the criteria for exclusion under Article 2(3) WFD are not fulfilled and waste management legislation applies. In all cases the sediments must be non-hazardous, taking into account the criteria of Article 3(2) WFD.“

In diesem Sinn legen auch die **Erläuterungen in der Regierungsvorlage** fest:

„Die Abfallrahmenrichtlinie sieht eine Ausnahme für Sedimente vor. Die Ausnahme bezieht sich dabei auf nachweislich nicht kontaminiertes Material und nur auf Umlagerungen innerhalb von Gewässern einschließlich des Uferbereichs. Derartige Umlagerungen können sich zB auf Geschiebe, welche zur Verhinderung der weiteren Eintiefung eines Fließgewässers stromaufwärts verbracht werden oder Sedimente, welche zur Erhaltung der Fahrinne umgelagert werden, sowie Sedimentumlagerungen im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen beziehen.“²

² RV 1005 XXIV. GP zu § 3 Abs 1 Z 7.

¹ VwGH 23.4.2009, 2006/07/0164; Vgl auch Piska, RdU 2010/145.

Vor diesem Auslegungshintergrund ergibt sich damit folgendes Bild: Ein **Gewässerbezug der Maßnahme ist unabdingbar**; die Auflistung der möglichen Maßnahmen in den Leitlinien der Kommission zeigt aber, dass sich diese nicht auf das Bett des Fließgewässers beschränken müssen, sondern dass auch im Landbereich durch gewässerbezogene Maßnahmen noch zulässige Verwendungszwecke (etwa im Bereich des Hochwasserschutzes) bestehen. Durch die uE bislang zu enge Auslegung durch die Abfallsektion geht eine Vielzahl von möglichen Verwendungsoptionen verloren.

Darüber hinaus wirft diese Ausnahmeregelung noch andere maßgebliche Fragen auf: Beispielsweise, wann gelten Sedimente als nicht kontaminiert und wie hat der diesbezügliche Nachweis auszusehen (genügt der bloße äußere Augenschein oder sind entsprechende Beprobungsverfahren durchzuführen?) bzw wer hat den Nachweis der Kontaminationsfreiheit zu erbringen? Auch diese in der Praxis immer wieder aufgeworfenen Fragestellungen sind vor oben dargestellten Auslegungshintergrund zu beantworten:

Der Gesetzgeber legt im Rahmen dieser Regelung einen **anthropogenen Kontaminationsbegriff** zu Grunde. Geogene Hintergrundbelastungen gelten hingegen nicht als Kontamination iSd zitierten Norm. Den Nachweis für das Vorliegen dieses Ausnahmetatbestandes trifft denjenigen, der sich darauf beruft (arg.: [...] *sofern die Sedimente erwiesenermaßen nicht gefährlich sind*).

Der **bloße äußere Augenschein als generelle Beweisführung für den Nachweis der Kontaminationsfreiheit greift wohl zu kurz. Vielmehr ist Indizien und Verdachtsmomenten für eine anthropogene Belastung durch Einfluss-**

faktoren im Oberlauf jedenfalls auch analytisch nachzugehen. Ein äußerer Augenschein kann nur genügen, wenn aufgrund des Fehlens von Indizien für "unsichtbare" anthropogene Einflussfaktoren im Oberlauf des jeweiligen Gewässers derartige Belastungen aus fachlicher Voraussicht auszuschließen sind. Liegen keine Verdachtsmomente für eine Kontamination vor, besteht aus unserer Sicht auch kein Grund, eine Beprobung des Materials – selbst durch ein vereinfachtes Verfahren – zu verlangen.

Die Führung des Nachweises der Kontaminationsfreiheit hängt damit sehr stark von den Umständen des Einzelfalls und den jeweils zu begründenden bzw auszuschließenden Verdachtsmomenten ab. Demgemäß wird man bei Sedimenten aus naturnahen Wildbächen, bei denen im Oberlauf keine maßgeblichen Direkt-einleiter oder sonstige potenziell kontaminierenden Einwirkungen auf das Gewässer bekannt sind, mit einem Augenschein das Auslangen finden. Bei bekannter gewerblicher Nutzungsgeschichte mit entsprechenden Einleitungen im Oberlauf anderer Fließgewässer wird hingegen hinsichtlich der in Frage kommenden Belastungen eine ergänzende analytische Untersuchung indiziert sein.

Der "Abfallverdacht" von Sedimenten, die die Voraussetzungen des § 3 Abs 1 Z 7 AWG 2002 nicht erfüllen, mag zwar in der Regel indiziert sein, zwingend ist die abfallrechtliche Einordnung aber nicht, weil bei jeder anderen Verwendung von Sedimenten immer noch offensteht, ob nicht andere Ausnahmetatbestände erfüllt sind oder die Sedimente überhaupt als Rohstoff gewonnen werden.

Denkbar ist beispielsweise eine Zuordnung der Sedimente zu den "nicht kontaminierten Böden und anderen natürlich vorkommenden Materialien" gemäß § 3 Abs 1 Z 8 AWG

2002. Durch eine Subsumtion der Sedimente unter diesen Ausnahmetatbestand ergeben sich erweiterte Nutzungsmöglichkeiten. Das Sedimentmaterial kann dann auch für Bauzwecke (Verfüllung von Baugruben, Herstellung eines Straßenunterbaus, Künettenfüllungen, Dammschüttungen etc) verwendet werden. Allerdings darf das eingesetzte Material das unbedingt erforderliche Ausmaß für diese Maßnahme nicht überschreiten, da sonst die Voraussetzung „für Bauzwecke eingesetzt“ nicht als erfüllt anzusehen ist. Zudem besteht iSd § 3 Abs 1 Z 8 AWG 2002 eine räumliche Einschränkung auf den „Ort , an dem sie ausgehoben wurden.“ Dieses Kriterium wird aber extensiv ausgelegt und meint damit die Verwendung des Bodenaushubmaterials (Sedimentmaterials) **innerhalb desselben „Bauloses“** (jenen Bereichs der von der behördlichen Genehmigung erfasst ist).

Weitergehende Nutzungsbefugnisse – unabhängig von etwaigen sachlich oder räumlich beschränkten Anwendungsbereichen des § 3 Abs 1 Z 7 oder Z 8 AWG 2002 – bestehen dann, **wenn Sedimente als Rohstoff gewonnen** werden. Dies gilt jedenfalls für Rohstoffgewinnungen nach MinroG, WRG und UVP-G 2000, bei denen die Gewinnung den Hauptzweck der Tätigkeit darstellt. Umstritten sind in der Praxis Fallkonstellationen, in denen die Rohstoffgewinnung nur den Nebenzweck einer Tätigkeit bildet, auch hier ist – die entsprechenden Qualitäten und Einsatzzwecke vorausgesetzt – eine Qualifikation als Rohstoff prinzipiell möglich. UE wäre eine solche **Pauschalzuweisung aller Sedimentgesteine, die nicht nach MinroG gewonnen werden, ins Abfallregime verfehlt, weil**

- **weder von der Materialbeschaffenheit her ein öffentliches Interesse an der Behandlung als Abfall**

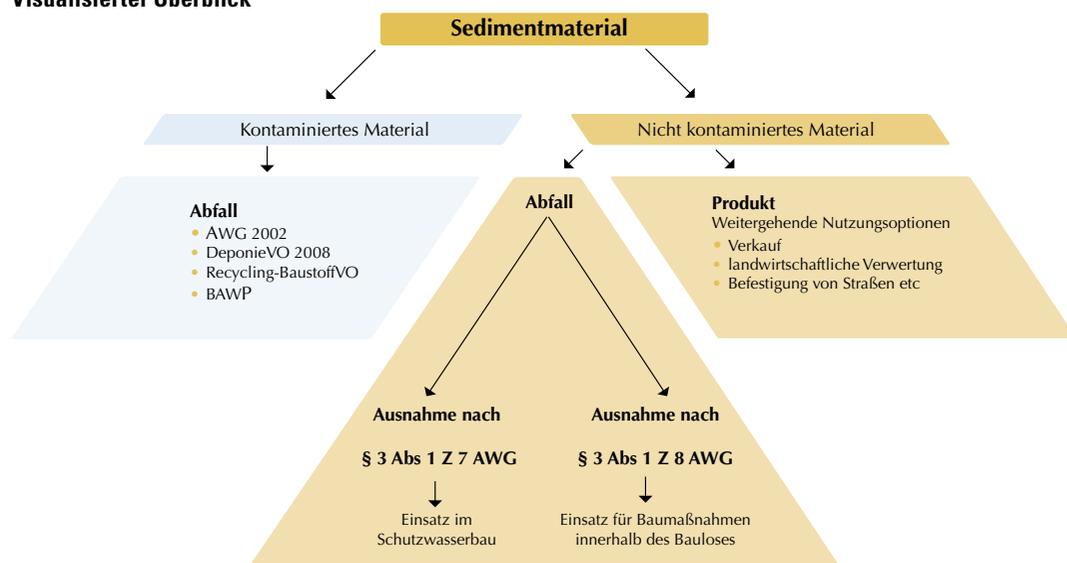
- **noch von der Verwendungsabsicht der beteiligten Rechtsträger her ein Entledigungswille besteht.**

Das auf diese Weise gewonnene Sedimentmaterial kann auch ohne räumliche Beschränkung für Bauzwecke verwendet werden, da mineralische Rohstoffe generell ausgenommen sind vom abfallrechtlichen Regelungsregime (§ 3 Abs 1 Z 3 AWG 2002). Maßgeblich für die Gewinnung oder Verwendung als Rohstoff ist freilich die Erfüllung der einschlägigen Produkthanforderungen für Rohstoffe.

Liegen weder klare Indizien für eine Qualifikation als Rohstoff noch die Voraussetzungen des § 3 Abs 1 Z 7 oder Z 8 AWG 2002 vor, wird davon auszugehen sein, dass es sich beim Sedimentmaterial um Abfall handelt und die Bestimmungen des AWG 2002 zur Anwendung gelangen.

Die Materialverwertung erfolgt dann nach den Maßgaben des AWG 2002 und des Bundesabfallwirtschaftsplans. Bei Ablagerungen sind die Vorgaben der DeponieVO zu beachten. Bei Verunreinigungen des Materials, beispielsweise bedingt durch Baurestmassen oder Unwetterereignisse, sind vor der Verwertung entsprechende Trenn- und Sortiermaßnahmen durchzuführen. Das auf diese Weise gewonnene (von den Baurestmassen getrennte) Sedimentmaterial ist entsprechend den Vorgaben der DeponieVO 2008 "nach Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit" grundlegend zu charakterisieren und in einem entsprechenden Beurteilungsnachweis zu dokumentieren. Ausnahmen hiervon bestehen nur für Kleinmengen unter 2000t. Weitergehende Verpflichtungen können sich künftig auch aus der nunmehr kundgemachten Recycling-Baustoffverordnung (BGBl II Nr. 181/2015) ergeben.

Visualisierter Überblick



Schon diese kurze, überblicksmäßige Darstellung des Abfallbegriffs offenbart die Komplexität der abfallrechtlichen Fragestellungen im Rahmen des Sedimentmanagements und belegt zudem, welche Bedeutung der rechtlichen Qualifikation des Sedimentmaterials für die Praxis zukommt.

Wasserrechtliche Aspekte

Maßgebende Bedeutung im Bereich des Sedimentmanagements kommt auch dem Wasserrecht zu. Der Sedimenthaushalt zählt zu den wesentlichen Aufgaben der Gewässerbewirtschaftung. Unausgeglichene Sedimenthaushalte wirken sich nachteilig auf die natürliche Beschaffenheit von Gewässern aus.

Räumpflichten nach WRG

Sedimentablagerungen können Abflusshindernisse der freien Fließstrecke der Gewässer darstellen. Zur Herstellung der Hochwassersicherheit können demnach auch Räumungen notwendig sein. **Gesetzlich normierte Räumpflichten** finden sich in **§ 101 Abs 6 ForstG für Wildbäche** oder

§ 50 WRG bei Schutz- und Regulierungsbauten, in deren unmittelbaren Nahebereich es zu vermehrten Sedimentablagerungen kommen kann. Ist der Schutz- oder Regulierungswasserbau allerdings so konzipiert, dass das Geschiebe im Falle eines Hochwassers abtransportiert wird, so gilt diese „Räumung“ als von der Anlagenbewilligung nach §§ 41 ff WRG als mitumfasst.

§§ 47 oder 39 WRG beinhalten darüber hinaus eine gesetzliche Grundlage für eine **behördliche Anordnung** der Räumung, sofern die darin vorgesehenen Voraussetzungen für das Bestehen einer Räumpflicht als erfüllt anzusehen sind.

Wasserrechtliche Bewilligungspflichten bei Feststoffentnahmen?

Bzgl der jeweils erforderlichen wasserrechtlichen Bewilligungspflicht ist jeweils auf den **Zweck der Wassernutzung** abzustellen.³ So bedürfen Feststoffentnahmen zur Verbesserung der Abflussverhältnisse hinsichtlich der Materialentnahme einer

³ Oberleitner/Berger, WRG-ON1.02 § 9 Rz 5.

wasserrechtlichen Bewilligung nach § 9 WRG und hinsichtlich der damit verbundenen Wasserverschmutzung einer solchen nach § 32 WRG. Gleiches gilt für Baggerarbeiten an öffentlichen Gewässern zur Sand- und Kiesgewinnung. Bzgl der Gewinnung greift § 9 WRG und hinsichtlich der Gefahr eventueller Trübungen ist eine Bewilligung nach § 32 WRG erforderlich⁴. Ein Anwendungsfall des § 9 WRG alleine liegt dann vor, wenn zwar keine Beeinträchtigung des Gewässers zu erwarten ist, aber die Grenzen des Gemeingebrauchs nach § 8 WRG überschritten werden. Dies ist z.B. bei Gebirgsbächen, bei denen das Gewässerbett eine große Breite aufweist, die Wasserwelle jedoch in trockeneren Zeiten nur einen Teil des Gewässerbettes bedeckt. Sofern außerhalb der Wasserwelle eine Materialentnahme mit einer besonderen Vorrichtung (zB mittels Bagger erfolgt), werden die Grenzen des Gemeingebrauchs überschritten und ist eine Bewilligungspflicht nach § 9 WRG gegeben.

Anders als nach § 9 WRG besteht die Bewilligungspflicht nach § 32 WRG auch bei Räumungen im Bereich von Schutz- und Regulierungswasserbauten und in der freien Fließstrecke, sofern das betroffene Gewässer mehr als geringfügig beeinträchtigt wird, wovon beim Einsatz von Geräten grundsätzlich auszugehen ist. Denn die Räumung oder Spülung von Kanälen, Stauräumen, Ausgleichsbecken etc kann die Beschaffenheit von Gewässern durch Trübung, Remobilisierung sedimentierter Schadstoffe oder Verlagerung von Feststoffen nachteilig beeinträchtigen.⁵ Ausgenommen ist nur der Fall, dass die Räumungen bereits im Zuge der Bewilligung für die Anlage nach §§ 41ff WRG mitbehandelt bzw mitbeurteilt wurden, was bei älteren Anlagen in der Regel nicht der Fall ist.

⁴ OGH 19.4.1972, 1 Ob 75/72.

⁵ Oberleitner/Berger, WRG-ON1.02 § 50 Rz 20.

Ab- und Zwischenlagerungen des Sedimentmaterials

In der Praxis besteht nicht selten das Bedürfnis, entnommenes Sedimentmaterial mangels aktueller Verwertungsmöglichkeit zwischenzulagern und das Material erst später bei Bedarf zu verwenden. **Zwischenlagerungen im 30-jährlichen Hochwasserabflussbereich bedürfen aber einer wasserrechtlichen Bewilligung gemäß § 38 WRG**, welche nur dann zu erteilen ist, wenn durch diese Ablagerungen keine zusätzlichen Hochwassergefahren zu befürchten sind und es zu keiner Beeinträchtigung öffentlicher Interessen oder fremder Rechte nach § 12 Abs 2 WRG kommt.

Wobei darauf hinzuweisen ist, dass Materialablagerungen im HQ-30-Gebiet in der Praxis zumeist nicht bewilligungsfähig sein werden – insbesondere bei der Gefahr eines Rückflusses abgelagerten Materials.

Wiedereinbringung ins Gewässer

Im Sinne einer ökologisch-morphologischen Betrachtungsweise am vorteilhaftesten wäre es, das Sedimentmaterial im Wasser zu erhalten bzw angelandetes oder entnommenes Material – gegebenenfalls an anderer geeigneter Stelle – wieder ins Gewässer einzubringen. Unter wasserrechtlichen zulässigen Aspekten kann das bei der Räumung entnommene, nicht kontaminierte Material dem Gewässer wieder zugeführt werden. Dabei zu berücksichtigen sind aber die wasserrechtlichen **Bewilligungserfordernisse des § 32 Abs 2 lit a WRG**.

Zulässigkeit wasserrechtlicher Vorratsbescheide

Ein allenfalls erforderliches Bewilligungsverfahren erschwert bzw verzögert oftmals rasch erforderliche Räumungen oder Wiedereinbringungen. Für die Praxis stellt sich daher die Frage nach der

Zulässigkeit sog. wasserrechtlicher „**Vorratsbescheide**“.

Dies **bemisst sich nach dem Grad der Konkretisierung** der entsprechend geplanten Maßnahmen. Bewilligungsfähig sind solche „wasserrechtlichen Vorratsbescheide“ nur, wenn die Auswirkungen der künftigen Maßnahmen (Sedimententnahme und Wiedereinbringung gegebenenfalls an einem anderen Ort) anhand entscheidender Faktoren wie Entnahmemenge, Entnahme- und Wiedereinbringungsort, Art des entnommenen Materials etc. im Vorhinein feststehen.

Angesichts dieser hohen Konkretisierungserfordernisse wird es dem Konsenswerber in der Praxis wohl nur in den wenigsten Fällen gelingen, den gesetzlich geforderten Nachweis für die Erlangung eines derartigen Vorratsbescheides zu erbringen. So kann die erforderliche Entnahmemenge je nach Wettersituation stark variieren, worauf im Vorhinein nicht Bedacht genommen werden kann. Auch die ökologische Verträglichkeit solcher geplanter künftiger Maßnahmen kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden, weswegen solchen „wasserrechtlichen Langzeitbewilligungen“ mit der gebotenen Skepsis zu begegnen ist.

Eine Alternative zur wasserrechtlichen Vorratsbewilligung wäre uE die Mitbewilligung künftiger Sedimententnahmen und Wiedereinbringungen mit der Anlagenbewilligung zur Errichtung eines Schutzwasserbaus gemäß § 41 WRG.

Zusammenfassend

kann damit folgendes konstatiert werden:

Entscheidend für jede weitere Verwendung oder Verarbeitung angelandeten oder entnommenen Sedimentmaterials ist die rechtliche Qualifikation des Materials und daraus resultierend die (Nicht) Anwendung des AWG 2002. Dem AWG 2002 kommt somit eine zentrale Rolle im Bereich des

Sedimentmanagements zu. Gerade bei Sedimentmaterial aus natürlichen Wildbächen ohne Kontaminationsverdacht bedarf es eines größeren Handlungsspielraums. Alternative Lösungsmöglichkeiten de lege ferenda wären:

- Die gesetzliche Ausweitung des Ausnahmetatbestands für Sedimente im AWG 2002
- Schaffung einer eigenen Rechtsgrundlage iRd Sedimentmanagements vergleichbar der Recycling-Baustoffverordnung
- Implementierung eines vereinfachten Beprobungsverfahrens für Sedimentmaterial aus dem Einzugsgebiet eines Wildbachs.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Univ.Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Erika Wagner
Johannes Kepler Universität
Institut für Umweltrecht
Altenberger Straße 69, A-4040 Linz
Erika.Wagner@jku.at

Hon.Prof. (RA) Dr Wilhelm Bergthaler
Haslinger/Nagele & Partner Rechtsanwälte GmbH
Mölker Bastei 5, A-1010 Wien
Wilhelm.bergthaler@haslinger-nagele.com

Mag.^a Claudia Jandl
Institut für Umweltrecht
Johannes Kepler Universität
Altenberger Straße 69, A-4040 Linz
Claudia.Jandl@jku.at

Literatur / References:

Bergthaler/Wagner/Jandl (2015).
Sedimentmanagement – Rechtliche Aspekte.

Oberleitner/Berger,
Online-Kommentar zum WRG 1959, Version 1.03.

Scheichl/Zauner/Berl (2015).
Kurzkomentar zum AWG 2002.

REGINE HÖRTNAGL, RUDOLF NEURAUER

Behandlung von Räumgut aus Geschieberückhaltebecken

Removal of debris from bedload retention basins

Zusammenfassung:

Um die Funktionstüchtigkeit von Geschieberückhaltebecken an Gewässern und die Aufrechterhaltung des damit verbundenen Schutzzwecks langfristig gewährleisten zu können, sind regelmäßig Räumungen durchzuführen. Das dabei anfallende Räumgut unterliegt den abfallrechtlichen Bestimmungen. Entsprechend den abfallwirtschaftlichen Zielen sollte dieses Material einer Verwertung zugeführt werden. Falls dies aufgrund der Zusammensetzung nicht möglich ist, muss das Material auf einer genehmigten Deponie entsorgt werden. In beiden Fällen sind abfallwirtschaftliche Vorgaben zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere auch für die vorzunehmenden Untersuchungen. Bisherige Untersuchungsergebnisse in Tirol haben gezeigt, dass Räumgut aus Geschieberückhaltebecken in der Regel unbedenklich ist und daher sowohl verwertet als auch auf Bodenaushubdeponien zulässigerweise abgelagert werden kann.

Stichwörter:

Geschieberückhaltebecken, Räumgut, Abfall, Altlastensanierungsbeitrag, Untersuchung.

Abstract:

For long-term maintenance of the functionality and protection function of bedload retention basins deposited debris has to be regularly removed. This debris has to be treated in the framework of the Austrian Waste legislation. Corresponding to the waste management aims this material has to be recycled. If this isn't possible due to the material's composition the material has to be disposed on an authorized landfill site. In both cases the waste legislation regulations have to be obeyed. This applies in particular for sampling and analyzes of the material. Examination results in Tyrol showed that debris of bedload retention basins are normally innocuous and therefore can be both recycled and deposited on excavated soil landfills.

Keywords:

Bedload retention basin, debris, waste, contributions to remedial action, analysis. STA

Einleitung

Zum Schutz vor Hochwässern und Erosionen werden an Gewässern oftmals sogenannte „Geschieberückhaltebecken“ errichtet, in welchen sich das mit dem Wasser antransportierte Geschiebe gezielt ablagern soll (Abbildung 1). Bei der überwiegenden Anzahl dieser Becken sind – bedingt durch die fortschreitende Sedimentation – regelmäßig Räumungen durchzuführen. Dabei fällt – meist durch mechanische Räumung der Becken mittels Bagger – Räumgut an. Es handelt sich also um Material, welches in der Regel aus der natürlichen Umlage-

rung von Boden ohne zusätzliche anthropogene Belastungen entstanden ist. Das Ausmaß der Veränderungen, dh die Masse des anfallenden Räumgutes, sowie das Intervall, in welchem Maßnahmen zu ergreifen sind, fallen stark unterschiedlich aus. Diese Umstände hängen von verschiedenen Faktoren, wie insbesondere der Lage des Beckens, dem dazugehörigen Einzugsgebiet sowie der Häufigkeit und dem Ausmaß von Niederschlagsereignissen, ab. Besonders nach Starkniederschlägen mit hoher Geschiebefracht hat die Räumung der in Anspruch genommenen Rückhaltebecken unverzüglich zu erfolgen.



Abb. 1: Geschieberückhaltebecken

Fig. 1: Bedload retention basin

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf das Räumgut aus Geschieberückhaltebecken und auf den richtigen Umgang mit diesem Material. Dieser Betrachtung wird die Annahme zugrunde gelegt, dass keine anthropogenen Belastungen – ausgehend vom Einzugsgebiet bis zum Anfallsort (dh vom Geschieberückhaltebecken, bei welchem die Materialentnahme erfolgt) – vorliegen.

Rechtliche Grundlagen

Der weiteren Betrachtung werden nachfolgende rechtliche und normative Grundlagen zugrunde gelegt:

Abfallwirtschaftsgesetz 2002

(AWG 2002, BGBl. I Nr. 102/2002 idgF)

- Abfallnachweisverordnung 2012 (BGBl. II Nr. 341/2012)
- Abfallverzeichnisverordnung (BGBl. II Nr. 570/2003 idgF)
- Deponieverordnung 2008 (DVO 2008, BGBl. II Nr. 39/2008 idgF)
- Verordnung über mobile Abfallbehandlungsanlagen (BGBl. II Nr. 472/2002)
- Recycling-Baustoffverordnung (BGBl. II Nr. 181/2015)

Altlastensanierungsgesetz

(AISAG, BGBl. Nr. 299/1989 idgF)

Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011

(BAWP 2011)

Richtlinie für die sachgerechte Bodenrekultivierung, BMLFUW, 2011

Begriffsbestimmungen

Nachfolgende Begriffe und Definitionen sind für den behandelten Themenbereich von Relevanz:

Aushubmaterial ist Material, welches durch Ausheben oder Abräumen des Bodens oder des Untergrundes anfällt (§ 3 Z 5 DVO 2008).

Bodenaushubmaterial ist Material, das durch Ausheben oder Abräumen von im Wesentlichen natürlich gewachsenem Boden oder Untergrund – auch nach Umlagerung – anfällt. Der Anteil an mineralischen bodenfremden Bestandteilen, zB mineralischen Baurestmassen, darf dabei nicht mehr als fünf Volumsprozent betragen, der Anteil an organischen bodenfremden Bestandteilen, zB Kunststoffe, Holz, Papier usw., darf insgesamt nicht mehr als ein Volumsprozent betragen. Diese bodenfremden Bestandteile müssen bereits vor der Aushub- oder Abräumtätigkeit im Boden oder Untergrund vorhanden sein. Das Bodenaushubmaterial kann von einem oder mehreren Standorten stammen, wenn das Vermischungsverbot eingehalten wird (§ 3 Z 9 DVO 2008).

Gemäß § 3 Z 41a DVO 2008 ist ein **nicht verunreinigtes Bodenaushubmaterial** ein Bodenaushubmaterial,

- a) bei dem augenscheinlich und auf Grund der vorhandenen Informationen davon ausgegangen werden kann, dass keine relevanten Belastungen oder Verunreinigungen vorliegen und das an einem Standort angefallen ist, von dem weder schadstoffrelevante Ereignisse oder eine gewerbliche (Vor-)Nutzung, die auf eine mögliche Verunreinigung des Bodens schließen lassen, bekannt sind, oder
- b) das nach einer analytischen Untersuchung gemäß Anhang 4 DVO 2008 die Grenzwerte für Bodenaushubdeponien des Anhangs 1 Tabellen 1 und 2 DVO 2008 einhält und auch bei – im Zuge eines Verdachts – zusätzlich untersuchten (nicht begrenzten) Parametern keine erhöhten Schadstoffgehalte ausweist.

Grenzwertrelevante Parameter sind bei einmalig anfallenden Abfällen jene Parameter, für welche

zumindest ein Untersuchungsergebnis im grenzwertnahen Bereich (vgl. Anhang 4 Teil 1 Kapitel 5 DVO 2008) oder darüber ermittelt wird, und bei Abfallströmen und wiederkehrend anfallenden Abfällen jene Parameter, für welche im laufenden Beurteilungsjahr oder in den letzten zwei Beurteilungsjahren zumindest ein Untersuchungsergebnis im grenzwertnahen Bereich (80 % des jeweiligen Grenzwertes) oder darüber ermittelt wird oder wurde (§ 3 Z 27 DVO 2008).

Eine **grundlegende Charakterisierung** ist eine vollständige Charakterisierung der Abfälle durch Ermittlung aller für die Zulässigkeit der Ablagerung erforderlichen Informationen (§ 3 Z 28 DVO 2008).



Abb. 2: Murholz im Geschieberückhaltebecken, Bereich Rechen

Fig. 2: Driftwood of a debris flow deposited on the beam of a bedload retention basin

- **Murmaterial** ist Aushubmaterial aus Geschieberückhaltebecken.
- **Sedimentmaterial** ist Aushubmaterial aus Geschieberückhaltebecken, welches im Wesentlichen aus Feinanteilen besteht.
- **Bachbettmaterial** ist Aushubmaterial aus Anlandungen im Bachbett (wird oftmals landläufig als „Schotter“ bezeichnet).
- **Murholz** ist Holz, welches in Form von Astwerk bis zum Baumstamm im Murmaterial oder Bachbettmaterial mitgeführt wurde (Abbildung 2).

Abfalleigenschaft

In weiterer Folge ist eine Prüfung dahingehend vorzunehmen, ob in Hinblick auf das Räumgut aus Geschieberückhaltebecken vom Vorliegen der Abfalleigenschaft auszugehen ist.

Nach § 2 Abs. 1 AWG 2002 sind Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes bewegliche Sachen,

1. deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder
2. deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3) nicht zu beeinträchtigen.

§ 2 Abs. 1 AWG 2002 sieht damit eine subjektive (Z 1) und eine objektive (Z 2) Komponente des Abfallbegriffs vor. Damit eine bewegliche Sache zu Abfall wird, genügt die Erfüllung einer dieser beiden Voraussetzungen.

Zur Verwirklichung des subjektiven Abfallbegriffes reicht es aus, dass bei irgendeinem Vorbesitzer die Entledigungsabsicht bestanden hat. Der Begriff „Abfall“ darf dabei nicht eng ausgelegt werden und die Frage, ob ein bestimmter Stoff Abfall ist, ist anhand sämtlicher Umstände zu beurteilen (EuGH, 18.04.2002, Rs C-9/00). Von einer Entledigung im Sinne des § 2 Abs. 1 Z 1 AWG 2002 ist dann zu sprechen, wenn die Weitergabe der Sache in erster Linie darauf abzielt, diese loszuwerden, und somit darin das überwiegende Motiv für die Weitergabe bzw. Weggabe der Sache gelegen ist. Der abfallrechtliche Begriff „entledigen“ ist somit im Sinne von „Loswerden“ zu verstehen (vgl. VwGH 22.12.2005, Zahl 2005/07/0088). Als Entlediger ist derjenige anzusehen, der die tatsächliche Sachherrschaft über die Sache innehat. Die Art der Verwendung eines Stoffes ist nicht entscheidend dafür, ob dieser Stoff als Abfall einzustufen ist. Auch wenn Stoffe zur wirtschaftlichen Weiterverwendung geeignet sind und einen Handelswert haben sowie aus gewerbs-

mäßig Zwecken eingesammelt werden, schließt dies die Abfalleigenschaft nicht aus. Eine Sache ist nämlich schon dann als Abfall zu qualifizieren, wenn bei irgendeinem Vorbesitzer die Entledigungsabsicht bestanden hat (VwGH 26.01.2012, 2010/07/0065).

Durch die gezielte Entnahme von Geschiebe und Geröll aus Rückhaltebecken (und Gewässern) zum Zwecke der Wiederherstellung bzw. zur Gewährleistung des Schutzzweckes dieser Anlage wird offenkundig und nach außen hin erkennbar eine Entledigungsabsicht zum Ausdruck gebracht. Im Rahmen der Räumung steht nicht die Materialgewinnung, sondern das „Loswerden“ des im Becken befindlichen Materials klar im Vordergrund. Dementsprechend handelt es sich beim Räumgut aus Geschieberückhaltebecken um Abfall, zumal die Voraussetzungen des subjektiven Abfallbegriffs im Sinne des § 2 Abs. 1 Z 1 AWG 2002 erfüllt sind. Ein allfälliger Nutzen, welcher in weiterer Folge aus dem Räumgut gewonnen werden kann, ändert vorerst nichts am Eintritt der Abfalleigenschaft.

In § 3 Abs. 1 Z 7 AWG 2002 ist eine Ausnahme vom Geltungsbereich des AWG 2002 vorgesehen und zwar sind nicht kontaminierte Sedimente, die zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern und Wasserstraßen oder der Vorbeugung gegen Überschwemmungen oder der Abschwächung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren oder zur Landgewinnung bei Oberflächengewässern umgelagert werden, keine Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes. Allerdings bezieht sich diese Ausnahme auf nachweislich nicht kontaminiertes Material und nur auf Umlagerungen innerhalb von Gewässern einschließlich des Uferbereichs. Beispiele für derartige Umlagerungen sind: Geschiebe, welches zur Verhinderung der weiteren Eintiefung eines Fließgewässers stromaufwärts verbracht; Sedimente, welche zur Erhaltung einer Fahrinne

umgelagert werden; Sedimentumlagerungen im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen. In der Regel erfolgt jedoch bei der Räumung eines Geschieberückhaltebeckens nicht nur eine bloße Umlagerung, sondern eine Materialentnahme, weshalb in diesen Fällen die Anwendung des Ausnahmetatbestandes in § 3 Abs. 1 Z 7 AWG 2002 ausgeschlossen ist.

Zusammengefasst ist in der Regel davon auszugehen, dass **das aus Geschieberückhaltebecken entnommene Räumgutmaterial als Abfall im Sinne des AWG 2002 anzusehen ist**. Zu diesem Ergebnis ist unlängst auch das Landesverwaltungsgericht Tirol in seinem Erkenntnis vom 05.12.2014, Zl. LVwG-2014/34/1975-9, gekommen.

Abfallerzeuger/-besitzer und deren Pflichten

Abfallerzeuger und damit auch Abfall(erst)besitzer ist derjenige, in dessen Auftrag die Räumung des Geschieberückhaltebeckens erfolgt. Dabei handelt es sich in der Regel um jenen Personenkreis in dessen Verantwortung die Erhaltungsmaßnahmen fallen (zB. Gemeinde). Ein auftragnehmendes Unternehmen ist dann Abfallsammler, wenn es aufgrund einer vertraglichen Vereinbarung das Räumgut übernimmt und über dessen weiteres Schicksal bestimmt (vgl. § 2 Abs. 6 Z 1 bis 3 AWG 2002).

Der Abfallbesitzer ist für die Zuordnung

SN	SN-Spez.	Abfallbezeichnung	Spezifizierung
31411	29	Bodenaushub	Bodenaushubmaterial mit Hintergrundbelastung
31411	30	Bodenaushub	Klasse A1
31411	31	Bodenaushub	Klasse A2
31411	32	Bodenaushub	Klasse A2G
31411	33	Bodenaushub	Inertabfallqualität

Tab. 1: Abfallarten – Zuordnung

des Materials zu der richtigen Abfallart (Bezeichnung, Schlüsselnummer) verantwortlich und darf die Abfälle nur an befugte Sammler/Behandler, welche über eine entsprechende Erlaubnis nach § 24a ff AWG 2002 in Bezug auf die betreffende Abfallart verfügen, übergeben. Die umweltgerechte Verwertung oder Beseitigung dieser Abfälle ist explizit aufzutragen (vgl. § 15 Abs. 5a AWG 2002).

Die berechtigten Abfallsammler/-behandler können im EDM-Portal unter www.edm.gv.at bei den Links „Suchen/Auswerten“ und „Suche nach Registrierten“ abgerufen werden. In der Suchmaske ist bei „Abfallart-Text“ der Begriff „Bodenaushub“ einzugeben.

Zuordnung und grundlegende Charakterisierung

Räumgut aus Geschieberückhaltebecken besteht in der Regel aus mineralischen Materialien. In Abhängigkeit des Ereignisses und der örtlichen Situation kann auch organisches Material in Form von Astwerk bis hin zu Baumstämmen enthalten sein. In seltenen Fällen trifft dies auch für Bachbettmaterial zu. Der mineralische Anteil kann in der Regel als „umgelagerter“ Bodenaushub bezeichnet werden. In Abhängigkeit von der chemischen Qualität wird daher im Regelfall die Einstufung mit der Schlüsselnummer 31411 und den Spezifizierungen 29 bis 33 zutreffen.

Tab. 1: Categories of waste - classification

Die grundlegende Charakterisierung derartiger Abfälle erfolgt in der Regel durch eine Probe- nahme und eine chemische analytische Unter- suchung, welche von einer befugten Fachanstalt oder Fachperson durchgeführt werden muss. Das Ergebnis der grundlegenden Charakterisierung ist ein Beurteilungsnachweis, in welchem unter an- drem die Zuordnung zu einer Abfallart (Schlüssel- nummer mit Spezifizierung), die Deponieklasse/- unterklasse, auf der dieser Abfall zulässigerweise abgelagert werden darf, und/oder Angaben zur zulässigen Verwertung enthalten sind.

Verwertung

Das AWG 2002 bestimmt, dass grundsätzlich der Verwertung von Abfällen – soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist – gegen- über der Beseitigung der Vorzug zu geben ist. Von einer Verwertung spricht man im diesem Zusam- menhang im Wesentlichen dann, wenn Abfälle in umweltgerechter Weise einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Rohstoffe ersetzen (vgl. §§ 1 Abs. 2, 2a, § 2 Abs. 5 Z 5, § 15 Abs. 4 AWG 2002).

Als Anforderungen für eine zulässige Verwertung normiert § 15 Abs. 4a AWG 2002, dass der betref- fende Abfall unbedenklich für den beabsichtigten, sinnvollen Zweck einsetzbar ist und keine Schutz- güter gemäß § 1 Abs. 3 AWG 2002 beeinträchtigt werden können. Weiters muss die Verwertungs- maßnahme im Einklang mit der Rechtsordnung stehen.

Im BAWP 2011 (Teil 2, Kapitel 7.15.2) sind die Qualitätsanforderungen für unterschiedliche Ver- wertungszwecke von Bodenaushub festgelegt:

31411-30 bzw. Klasse A1

als **Grundlage für Rekultivierungsmaß- nahmen** (Hinweis: am Ort des Einsatzes sind die Vorgaben der Rekultivierungs- richtlinie zusätzlich zu beachten)

31411-31 bzw. Klasse A2

für **Untergrundverfüllungen außerhalb des Grundwassers**

31411-32 bzw. Klasse A2G

für **Verfüllungen im Grundwasser**

	Landwirtschaftli- che Rekultivierung	Nicht landwirt- schaftliche Rekultivierung	Untergrund- verfüllung	Untergrundver- füllung im und unmittelbar über dem Grundwasser
Klasse A1	JA	JA	NEIN ¹⁾	NEIN
Klasse A2	NEIN	JA	JA	NEIN
Klasse A2G	NEIN	JA	JA	JA

¹⁾ Bei Einhaltung der Grenzwerte für den TOC-Gesamt und TOC im Eluat von A2 ist auch eine Untergrundverfüllung möglich.

Tab. 2: Übersicht über die Anwendungsbereiche der einzelnen Qualitätsklassen

Tab. 2: Overview of the utilization options of quality categories

Diese Maßnahmen sind um eine weitere, äußerst hochwertige Form der Abfallverwertung, nämlich der Verwendung von Räumgut zur Betonherstel- lung, zu ergänzen.

Mit dem unmittelbaren Einsatz von Abfällen im Rahmen einer zulässigen Verwer- tungsmaßnahme **endet die Abfalleigenschaft**. Dies ist allerdings erst mit der unmittelbaren Ver- wendung als Rohstoffersatz, dh mit dem Einbau oder der Verbauung des Materials der Fall (vgl. zB VwGH 28.05.2015, Zahl 2012/07/0003).

Beseitigung

Scheidet die Verwertung von Abfällen aus, bleibt nur noch die Beseitigung. Von einer Abfallbesei- tigung spricht man dann, wenn keine zulässige Verwertung vorliegt. Auch wenn Stoffe zurück- gewonnen werden, dh ein Nutzen erzielt werden kann, es sich dabei jedoch nur um eine Neben- folge handelt, spricht man von einer Beseitigung und nicht von einer Verwertung (vgl. § 2 Abs. 5 Z 8 AWG 2002). Das langfristige Lagern (Ablagern) von Abfällen auf einer Deponie stellt jedenfalls eine Abfallbeseitigung dar. Im Unterschied zur Verwertung tritt bei einer Beseitigungsmaßnahme kein Abfallende ein.

Die DVO 2008 unterscheidet zwischen

1. Bodenaushubdeponie
2. Inertabfalldeponie
3. Deponie für nicht gefährliche Abfälle
 - a) Baurestmassendeponie
 - b) Reststoffdeponie
 - c) Massenabfalldeponie
4. Deponie für gefährliche Abfälle (Untertage- deponie)

Auf einer Bodenaushubdeponie dürfen nur Bodenaushub oder bodenidente Abfälle (zB Fein- material als Rückstand aus der Schotteraufberei- tung) abgelagert werden. Beim Bodenaushub ist nur ein geringer Anteil an Wurzelwerk zulässig.

Die unten dargelegten Untersuchungsergebnisse lassen eine Ablagerung von (mineralischem) Räumgut aus Geschieberückhaltebecken auf einer Bodenaushubdeponie zu. Die Messergeb- nisse liegen deutlich unter den Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Bodenaushubdeponie nach DVO 2008.

Beitragspflicht nach dem AISAG

Im II. Abschnitt des AISAG wird die Einhebung des Altlastenbeitrages geregelt. Im Sinne der Begriffsbestimmungen des AISAG handelt es sich beim Räumgut aus Geschieberückhaltebecken entweder um

- „**Bodenaushubmaterial**“ im Sinne des § 2 Abs. 17 AISAG und ist als SN 31411 Spez. 29 bis 32 (vgl. Abfallverzeichnis entsprechend der Abfallverzeichnisver- ordnung) einzustufen; oder um
- „**Erdaushub**“ im Sinne des § 2 Abs. 16 AISAG und ist als SN 31411 Spez. 33 (vgl. Abfallverzeichnis entsprechend der Abfallverzeichnisverordnung) einzustu- fen.

Gemäß § 3 Abs. 1 Z 1 AISAG **unterliegt das Ablagern von Abfällen oberhalb oder unterhalb (= unter Tage) der Erde dem Altlastenbeitrag**. Als Ablagern in diesem Sinne gilt auch

- a) das Einbringen von Abfällen in einen Depo- niekörper, auch wenn damit deponiebau- technische oder andere Zwecke verbunden sind (zB Fahrstraßen, Rand- und Stützwälle, Zwischen- oder Oberflächenabdeckungen einschließlich Methanoxidationsschichten und Rekultivierungsschichten),
- b) das mehr als einjährige Lagern von Abfällen zur Beseitigung oder das mehr als dreijäh- rige Lagern von Abfällen zur Verwertung,
- c) das Verfüllen von Geländeunebenheiten

(zB das Verfüllen von Baugruben oder Künnetten) oder das Vornehmen von Geländeanpassungen (zB die Errichtung von Dämmen oder Unterbauten von Straßen, Gleisanlagen oder Fundamenten) oder der Bergversatz mit Abfällen,

Grundsätzlich unterliegt damit jede Abfalleinbringung in eine Deponie der Verpflichtung zur Leistung eines Altlastenbeitrages, sofern nicht die Ausnahmestimmungen des § 3 Abs. 1a Z 5 und der Abs. 2 bis 4 AISAG zum Tragen kommen.

Von der Beitragspflicht sind nach § 3 Abs. 1a AISAG **ausgenommen**:

[...]

4. Bodenaushubmaterial, sofern dieses zulässigerweise für eine Tätigkeit gemäß Abs. 1 Z 1 lit. c (*Anmerkung: Eine Tätigkeit nach Abs. 1 Z 1 lit. c. ist das Verfüllen von Geländeunebenheiten oder das Vornehmen von Geländeanpassungen oder der Bergversatz mit Abfällen*) verwendet wird,
5. Erdaushub, der im Zusammenhang mit einer Baumaßnahme im unbedingt erforderlichen Ausmaß zulässigerweise für eine Tätigkeit gemäß Abs. 1 Z 1 lit. c verwendet wird; weiters Erdaushub, sofern dieser die Grenzwerte für die Annahme von Abfällen auf einer Inertabfalldeponie gemäß Deponieverordnung 2008 (Anhang 1, Tabelle 3 und 4), BGBl. II Nr. 39/2008, oder die Grenzwerte für die Annahme von Abfällen auf einer Baurestmassendeponie gemäß Deponieverordnung 2008 (Anhang 1, Tabelle 5 und 6), BGBl. II Nr. 39/2008, einhält und auf einer dafür genehmigten Deponie abgelagert wird.

Die Ausnahme in § 3 Abs. 1a Z 5 AISAG umfasst auch Bodenaushubmaterial, da es sich dabei

gleichzeitig um Erdaushub im Sinne der Begriffsbestimmungen des AISAG handelt. Zentrale Voraussetzung für die Beitragsfreiheit nach dem AISAG ist stets, dass die Maßnahme „**zulässigerweise**“ erfolgt. Eine Unzulässigkeit liegt laut Judikatur des Verwaltungsgerichtshofes jedenfalls dann vor, wenn die Verwendung oder Verwertung gegen Rechtsvorschriften verstößt oder wenn nicht alle hierfür erforderlichen Bewilligungen in dem für das Entstehen der Beitragsschuld maßgeblichen Beurteilungszeitpunkt (vgl. § 7 Abs. 1 AISAG) vorgelegen sind (vgl. VwGH 18.11.2004, Zahl 2004/07/0156). Dies bedeutet, dass die erforderlichen Genehmigungen/Bewilligungen nach den anwendbaren Materiengesetzen (zB Naturschutz) zum Zeitpunkt der Durchführung der Maßnahme (zB der Schüttung) vorliegen sowie die erforderlichen Anzeigen erstattet worden sein sollten.

Zusammengefasst gibt es laut aktueller Rechtslage für Geschieberäumgut umfangreiche Ausnahmen von der Beitragspflicht gemäß AISAG. Insbesondere das Ablagern auf einer genehmigten Deponie ist bei Einhaltung der dafür vorgegebenen Grenzwerte, wovon in der Regel auszugehen ist, beitragsfrei.

Untersuchung

In weiterer Folge wird eine – nach Ansicht der Autoren – zweckmäßige und vor allem auch rechtskonforme Vorgehensweise bei der Untersuchung von Räumgut aus Geschiebeablagerungsbecken dargestellt. Vorauszuschicken ist, dass das jeweilige Untersuchungskonzept an die speziellen geologischen und logistischen Gegebenheiten des Geschieberückhaltebeckens angepasst werden muss. Das dargestellte Prozedere lehnt sich an das in der DVO 2008, Anhang 4, Teil 2, vorgesehene Untersuchungsverfahren bei „wiederkehrend anfallenden Abfällen“ an. Es wird zwischen der „Erstuntersuchung“ (= Vollanalyse), welche

bei der erstmaligen Beckenräumung durchzuführen ist, und der dieser folgenden „Übereinstimmungsuntersuchung“ im Kalenderjahr einer allfälligen Räumung unterschieden. Ergibt die Erstuntersuchung keine Auffälligkeiten, so ist erst nach einem Zeitablauf von acht Jahren eine neuerliche Vollanalyse durchzuführen.

Erstuntersuchung

Im Zuge der Erstuntersuchung ist das Aushubmaterial direkt im Rückhaltebecken zu beproben und zu analysieren, wobei der Parameterumfang dem der „Erstanalyse Boden“ (BAWP 2011) zu entsprechen hat. Allfällig vorhandene Ergebnisse chemischer Untersuchungen sowie Erhebungen hinsichtlich der Geologie des Einzugsgebietes sind in die Beurteilung miteinzubeziehen. Auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse sind grenzwertrelevante Parameter in Bezug auf die Zieldponie (zB Bodenaushubdeponie) bzw. die beabsichtigte Verwertung gesondert zu deklarieren.

Einhaltung der Grenzwerte: Die Messwerte der Erstuntersuchung des Geschieberückhaltebeckens müssen die entsprechenden Grenzwerte für die Ablagerung auf einer Bodenaushubdeponie und/oder die Grenzwerte für die geplante Verwertungsmaßnahme einhalten.

Dokumentation: Die Erstuntersuchung ist in einer Beurteilung zu dokumentieren. Diese hat die Gegebenheiten des Rückhaltebeckens zu beschreiben sowie die üblicherweise anfallenden Massen (Zeitraum) und die Vorgaben für die Untersuchungen im Rahmen der Übereinstimmungsuntersuchung (insbesondere Parameterumfang und Häufigkeit) zu enthalten. Weiters sind potentielle Bereiche auszuweisen, welche getrennt zu beurteilen sind (siehe Kapitel Murholz und Sedimentmaterial). Die grundlegende Beurteilung gilt acht Jahre.

Übereinstimmungsuntersuchung

Sofern in der im Rahmen der Erstuntersuchung vorgenommenen grundlegenden Beurteilung grenzwertrelevante Parameter ausgewiesen bzw. deren Untersuchungshäufigkeiten festgelegt wurden, ist durch Übereinstimmungsuntersuchungen die gleichbleibende Qualität des Aushubmaterials zu belegen. Eine derartige Übereinstimmungsuntersuchung hat jedenfalls im jeweiligen Kalenderjahr zu erfolgen, in dem ein Aushub, dh eine Beckenräumung, erfolgt (ausgenommen ist das Kalenderjahr der Erstuntersuchung).

Probenahme und Parameterumfang: Im Rahmen der Übereinstimmungsuntersuchung sind die im Zuge der Erstuntersuchung ausgewiesenen Parameter zu untersuchen.

Dokumentation: Die Dokumentation der Untersuchungen im Rahmen der Übereinstimmungsbeurteilung hat jeweils in einer ergänzenden Beurteilung zu erfolgen.

Murholz und Sedimentmaterial

Starkregenereignisse führen zu hohen Geschiebefrachten und teilweise auch zum erhöhten Anfall von Murholz im Geschieberückhaltebecken. Diese erhöhten Anteile von Murholz sind je nach hydraulischen Gegebenheiten meist auf bestimmte Flächen im Rückhaltebecken begrenzt, wobei auch dort ein hoher Anteil an Sedimentmaterial zu erwarten ist (Abbildung 3).

Die betroffenen Bereiche müssen im Zuge der mechanischen Räumung getrennt erfasst und ausgehoben werden. Größere Holzteile sind bereits im Zuge des Aushubes vom mineralischen Murmaterial zu trennen. Eine Ablagerung der Sedimente auf einer Bodenaushubdeponie ist auf Grund des Holzanteils nicht zulässig. Es empfiehlt sich daher eine mechanische Abtrennung der Holzteile (zB mittels Siebanlage oder nass-



Abb. 3:
Murholz im
Sedimentmaterial

Fig. 3:
Debris flow material
with a high amount of wood

mechanischer Trennanlage). Das so anfallende (vom Murholz abgetrennte) Sedimentmaterial ist entsprechend der Vorgaben der DVO 2008 „nach Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit“ grundlegend zu charakterisieren und dies in einem entsprechenden Beurteilungsnachweis zu dokumentieren. Die aussortierten Holzabfälle können der Schlüsselnummer 17201-02 „Holzabfälle, nicht verunreinigt“ zugeordnet und einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Die Anforderungen hinsichtlich des zulässigen mineralischen Anteils im abgeseibten Holz sollten mit dem Verwerter im Vorfeld abgeklärt werden. Auch bei einer beabsichtigten Verwendung des mit Holz verunreinigten Sedimentmaterials als Rekultivierungsmaterial im Deponiebau empfiehlt sich eine Abstimmung mit der zuständigen Anlagenbehörde im Vorfeld.

Bisherige Untersuchungsergebnisse

Der ausgewertete Datensatz besteht aus Analyseergebnissen von 20 (Sammel)Proben an Bodenaushubmaterial, welche aus Geschiebebecken in verschiedenen Tiroler Regionen stammen und in den Jahren 2011 bis 2014 gezogen und analysiert

wurden. In nachfolgender Auswertung werden die Grenzwerte für eine Bodenaushubdeponie (DVO 2008 Anhang 1 Tabelle 1, Spalte I, und Tabelle 2) herangezogen und mit den jeweiligen Analysewerten verglichen. Die Darstellung erfolgt mittels Box-Plot-Diagrammen in Prozent des vorgegebenen Grenzwertes (Division des Analysewertes durch den jeweiligen Grenzwert). Die Boxlänge entspricht dem Interquartilbereich und ist unten durch die 25%-Quartile und oben durch die 75%-Quartile begrenzt.

„Ausreißer“ sind jene Werte, welche zwischen dem 1,5 und dem 3-fachen der Boxenlänge vom Rand der Box entfernt sind und werden daher mit einem Ring (°) dargestellt. Werte, die mehr als drei Boxlängen vom Rand der Box entfernt sind, wurden als Extremwerte mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

Gesamtgehalte

Die Gesamtgehalte der 20 untersuchten Proben weisen keine Überschreitungen hinsichtlich der Grenzwerte für Bodenaushubdeponien (DVO 2008 Anhang 1, Tabelle 1, Spalte I) auf.

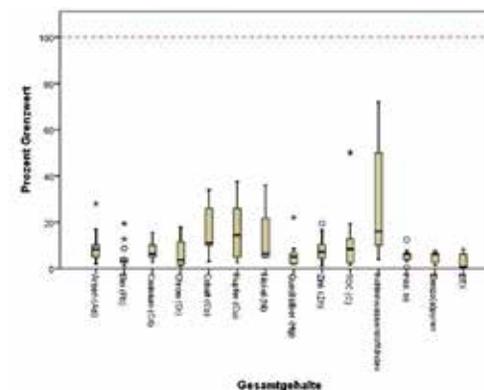


Abb. 4: Analyseergebnisse in % der Grenzwerte der Bodenaushubdeponie (DVO 2008 Anhang 1, Tabelle 1, Spalte I)

Fig. 4: Analysis results of thresholds in % for excavated-soil landfills

Eluatgehalte

Die Eluatgehalte der 20 untersuchten Proben weisen keine Überschreitungen hinsichtlich der Grenzwerte für Bodenaushubdeponien (DVO 2008 Anhang 1, Tabelle 2) auf.

Fazit

Unstrittig ist – nach Ansicht der Autoren – das Vorliegen der Abfalleigenschaft bei Räumgut aus Geschieberückhaltebecken. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass oftmals noch das Bewusstsein und/oder auch das Verständnis für die Anwendung des Abfallrechtes in derartigen Fällen fehlen. Selbstredend ergeben sich aus den abfallrechtlichen Bestimmungen – wie im Beitrag dargestellt – zusätzliche Verpflichtungen. Diese erscheinen jedoch in Hinblick auf den Schutzzweck der Norm und andere, dem Abfallregime unterworfenere vergleichbare Sachverhalte, jedenfalls gerechtfertigt. Abgesehen davon ist der daraus resultierende Mehraufwand nicht unverhältnismäßig hoch. Der gegenständliche Beitrag liefert einerseits einen praktikablen Vorschlag für die Vorgehensweise bei

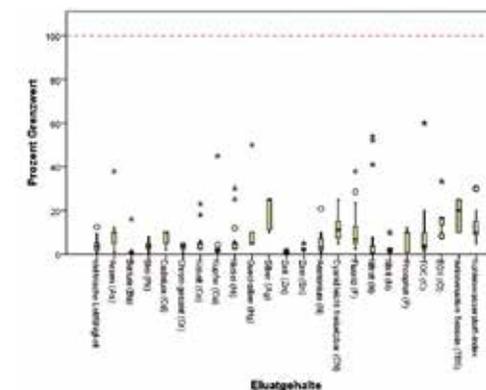


Abb. 5: Analyseergebnisse in % der Grenzwerte der Bodenaushubdeponie (DVO 2008 Anhang 1, Tabelle 2)II)

Fig. 5: Analysis results of thresholds in % for excavated-soil landfills

der Untersuchung des Räumgutes, andererseits eröffnen sich bei Einhaltung gewisser Qualitätsanforderungen mehrere Möglichkeiten der Verwertung. Selbst eine Beseitigung des Räumgutes durch Ablagerung auf einer Bodenaushubdeponie ist – aufgrund dessen, dass im Regelfall die Grenzwerte dafür eingehalten werden – möglich. Abgesehen davon liegt bei rechtskonformer, „zulässiger“ Vorgehensweise in der Regel keine Verpflichtung zur Leistung eines Altlastenbeitrages vor.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Mag. Regine Hörtnagl
Amt der Tiroler Landesregierung,
Abteilung Umweltschutz
Eduard-Wallnöfer-Platz 3
6020 Innsbruck
regine.hoertnagl@tirol.gv.at

DI Rudolf Neurauter
Amt der Tiroler Landesregierung,
Abteilung Umweltschutz
Eduard-Wallnöfer-Platz 3
6020 Innsbruck
rudolf.neurauter@tirol.gv.at

ALBERT PICHLER, THOMAS TARTAROTTI, MARGARETE WÖHRER-ALGE

Lösungsmodelle für die Deponie und Verwertung von Wildbachsedimenten

Solution models for depositing and utilization of torrential sediments

Zusammenfassung:

Besonders nach Katastrophenereignissen stellt die rasche Wiederherstellung der Auffangkapazität von Geschieberückhalteräumen eine große Herausforderung für die Erhaltungsverpflichteten dar. In diesem Beitrag sollen anhand von drei Beispielen aus Vorarlberg, Oberösterreich und Osttirol Lösungsmodelle vorgestellt werden.

In Vorarlberg wurde vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung im Namen der Gemeinden Bludenz und Innerbrasz die wasserrechtliche und naturschutzrechtliche Bewilligung für die Einbringung von Geschiebe aus den Auffangbecken der Brazer Wildbäche in den Vorfluter Alfenz beantragt. Die Bewilligung wurde von der Bezirkshauptmannschaft Bludenz 2015 unbefristet erteilt.

Im Jaidhausgraben in Hinterstoder Oberösterreich konnte trotz des hohen Materialanfalls durch optimiertes Materialmanagement eine kostenintensive Bodenbeprobung und hohe Deponiekosten vermieden werden.

Die Marktgemeinde Sillian betreibt seit 2006 eine abfall-, naturschutz- und forstrechtlich bewilligte Bodenaushubdeponie zur Geschiebebewirtschaftung am Tödterbach. Der Tödterbach ist ein murstoßfähiger Wildbach mit sehr hohem Geschiebepotential und häufigen Ereignissen, die laufende Räumungen der bestehenden zwei Geschieberückhalteanlagen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Schutzbauten erfordern.

Stichwörter :

Sedimentmanagement, Geschiebebewirtschaftung, Beckenräumung, Deponie

Abstract:

Particularly after catastrophic events with bedload transport and debris flow a quick restoration of the storage capacity of sediment retention basins poses a challenge. This article presents solution models of three examples from Vorarlberg, Upper Austria and Eastern Tyrol.

In Vorarlberg the Austrian Service for Torrent and Avalanche Control has applied for the approval according to the Water Act and the Nature Conservation Act for the addition of debris from the sediment retention basins of the Brazer Wildbäche to the Alfenz.

In the torrent Jaidhausgraben in Hinterstoder, Upper Austria, it was possible to optimize the sediment management that expensive sediment sampling and disposal fees could be avoided.

Since 2006 the community of Sillian in Eastern Tyrol operates an approved excavated-soil landfill for the sediment management of the Tödterbach. The Tödterbach is a torrent with very high debris potential and frequent events, which requires continuous removal of solids being deposited by sedimentation to maintain the protective function of the two sediment retention basins.

Keywords:

Bed load retention basin, sediment and bedload management, disposal

Einleitung

Sedimente spielen in Wildbächen eine entscheidende Rolle. Bei Hochwasser können in kürzester Zeit große Mengen an Feststoffen in den Siedlungsraum transportiert werden, andererseits kann ein Sedimentdefizit aber auch Erosionsprobleme verursachen.

Neben anderen Maßnahmen der Geschiebebewirtschaftung erstellt die Wildbachverbauung seit vielen Jahren Schutzbauwerke zum Rückhalt und zur Dosierung des Geschiebes, um den Sedimentüberschuss und die davon ausgehenden Gefahren in den Griff zu bekommen.

Um die Auffangkapazität der Geschieberückhalteanlagen für nachfolgende Ereignisse wieder herstellen zu können, sind wiederholt Räumungen vorzunehmen. Auch in der Fließstre-

cke sind nach Ereignissen häufig Räumungen zur Beseitigung von Abflusshindernissen erforderlich. Insbesondere große bzw. großflächige Katastrophenereignisse stellen die Räumungsverpflichteten vor große Herausforderungen, da in kurzer Zeit große Mengen an Sedimenten umgelagert, verwertet oder deponiert werden müssen. Die nachfolgend beschriebenen Beispiele stellen Konzepte für eine vorausschauende und wirtschaftliche Planung dar.

Wiedereinbringung Alfenz

In der Vergangenheit kam es in den Gemeinden Bludenz, und Innerbrasz in Vorarlberg immer wieder zu schadbringenden Ereignissen durch die sog. Brazer Wildbäche, Zubringern zur Alfenz. Betroffen waren neben Siedlungsgebieten auch die Hauptverbindungswege über den Arlberg

(Westbahnstrecke und Arlbergschnellstraße S 16). Aus diesem Grunde wurden vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung 14 Geschiebeauffangbecken in fünf Bächen mit einem Auffangvolumen von ca. 200.000 m³ errichtet (siehe Abb. 1 und Tab.1). Im Katastrophenfall ist mit einer raschen Verfüllung dieser Becken zu rechnen (in den Jahren 1983 und 1995 wurden beispielsweise bei Mureignissen im Winkelobel jeweils mehr als 100.000 m³ Geschiebe auf den Schwemmkegel transportiert) und eine möglichst rasche Räumung notwendig.

Die Einzugsgebiete dieser Wildbäche liegen in den Nördlichen Kalkalpen und sind aus Arlbergschichten mit darüber liegenden Raibler-

Schichten und Hauptdolomit aufgebaut. Das Geschiebe der Bäche stammt einerseits aus den Verwitterungsprodukten dieser geologischen Formationen (Kalk, Dolomit, Partnachmergel), andererseits aber auch aus Einrutschungen aus den steilen Flanken im Ober- und Mittellauf.

Die Materialqualität des Geschiebes aus Allmeintobel, Mühltobel, Masonbach und Schanatobel ist aufgrund des hohen Anteiles an Partnachmergeln schlecht, sodass eine wirtschaftliche Verwertung des Materials nur in Ausnahmefällen möglich sein wird. Das Geschiebe aus dem Gasteltobel ist aufgrund eines wesentlich höheren Karbonatanteiles zum Teil für die Erzeugung von Frostkoffermaterial geeignet.

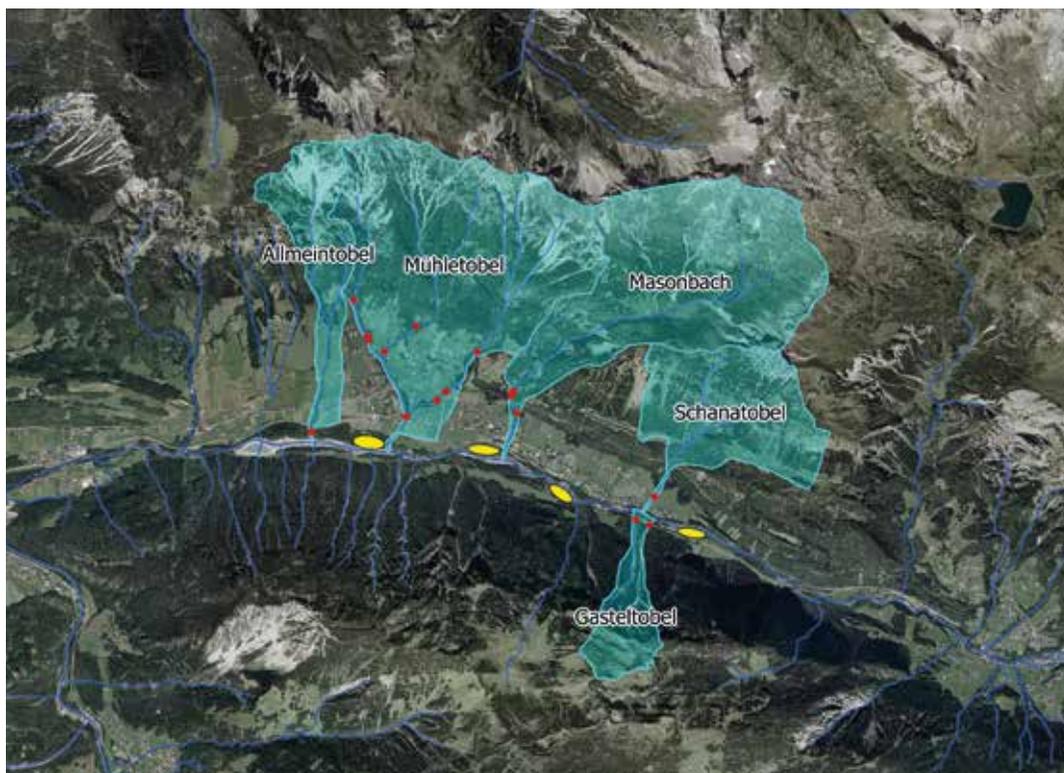


Abb. 1: Lage der Einzugsgebiete

Fig. 1: Location of catchment areas

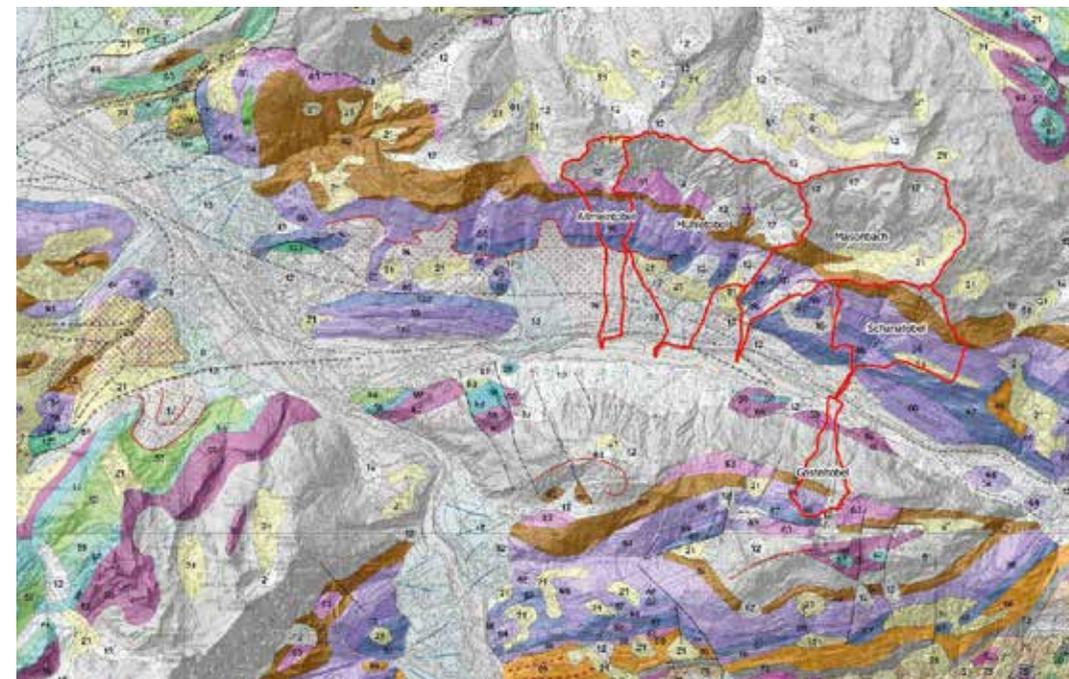


Abb. 2: Geologische Karte

Fig. 2: Geological map

Einzugsgebiet	EZG-Größe [km ²]	GF bei HQ ₁₅₀ [m ³]	GF bei HQ ₃₀ [m ³]	Auffangvolumen [m ³]	Räumhäufigkeit [Jahre]
Allmeintobel	0,65	4.000	2.000	5.000	10
Mühltobel	5,80	200.000	100.000	150.000	3 bis 10
Masonbach	4,80	40.000	20.000	30.000	
Schanatobel	1,30	15.000	10.000	7.000	20
Gasteltobel	0,80	10.000	5.000	4.000	20
Summe	13,35	269.000	137.000	196.000	

Tab. 1: Einzugsgebietsdaten

Tab. 1: Characteristics of the catchments

Von der Gebietsbauleitung Bludenz wurde ein Konzept erarbeitet, welches die Möglichkeit der Umlagerung und schadlosen Einbringung des anfallenden Geschiebes in den Vorfluter Alfenz vorsieht. Dieses Konzept wurde mit der Bundeswasserbauverwaltung und den Sachverständigen für Natur und Umweltschutz intensiv diskutiert und anschließend zur Bewilligung nach dem Wasserrecht und dem Naturschutzrecht bei der Bezirkshauptmannschaft Bludenz eingereicht.

Vorgangsweise nach einem Hochwasserereignis

Eine erforderliche Räumung der Geschiebeauffangeinrichtungen wird schriftlich bei der Bezirkshauptmannschaft Bludenz gemeldet. Mit der Meldung wird bekannt gegeben, wie viel Geschiebe

an welchem Standort zu welchem Zweck durch welches Unternehmen entnommen wird. Es soll kurzfristig ein Begehungstermin mit der Bezirkshauptmannschaft Bludenz sowie mit der Abteilung Wasserwirtschaft des Landes Vorarlberg und dem Wasserwirtschaftlichen Planungsorgan (Seitenspeicher Radin und Alfenzkraftwerk) vereinbart werden. Die Räumung und Umlagerung des Geschiebematerials aus den Auffangbecken in die vorgesehenen Uferbereiche der Alfenz erfolgt erst nach schriftlicher Freigabe durch die Bezirkshauptmannschaft Bludenz.

Der Einbau soll in trockenen Bereichen parallel zur Gewässerachse erfolgen. Die Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, dass es aufgrund der großen Breite des Alfenzbachbettes in den vorgesehenen Einlagerungs-



Abb. 3: Ereignis 2003 – Räumung von Becken und Bachbett sowie Einbau entlang der Alfenz (links unten im Bild).

Fig. 3: Event of 2003 – Removal of sediments from the sediment retention basin and channel and emplacement of the material along the Alfenz river banks (lower left side)

standorten sowie aufgrund der starken Verdichtung des umgelagerten Materials (eingelagertes Material wird von den voll beladenen Mulden überfahren) zu keinen nennenswerten Erosionen und daher Dotierungen der Alfenz kommt. Es wird daher erforderlich sein, bei Hochwässern der Alfenz eine aktive Dotierung mittels Erdbaugeräten vorzunehmen. Die Anschüttungen sind mit einer Höhe von ca. 6 m und einer Kronenbreite von ca. 8–10 m vorgesehen. An der Basis ergibt das eine Breite von ca. 25 m.

Limnologische Vorschriften:

- Die Ablagerung des Materials aus den Geschiebeauffangbecken hat im Uferbereich der Alfenz, auf trockenem Standort zu erfolgen. Hierbei ist ein Abstand zum benetzten Bereich von mindestens 2 m einzuhalten bzw. ist mittels Kieswall der Stromstrich entsprechend umzulegen, so dass die Geschiebeablagerung im Trockenen erfolgen kann.
- Die Beigabe des abgelagerten Materials in die Alfenz darf erst bei Hochwasser, ab einem HQ1 (20 m³/s), erfolgen.

Wasserbau- und gewässerschutztechnische

Vorschriften:

- Der randliche Einbau sowie das Mobilisieren von Geschiebe in die Alfenz hat im Einvernehmen mit der Abteilung Wasserwirtschaft zu erfolgen. Diese ist vor dem Einbau bzw. der Mobilisierung nachweislich zu informieren.
- Bei der Entnahme, dem Transport, dem Einbau und der Mobilisierung des Geschiebes sind die Auflagen des Merkblattes „Allgemeine gewässerschutztechnische Auflagen für den Baustellenbetrieb im Gewässerbereich“ einzuhalten.

- Für jede Geschiebeeinbringung sind der Einbringungsort, der Zeitpunkt der Einbringung, die Kubatur, die Lage, die Materialzusammensetzung, der Zeitpunkt der Mobilisierung sowie die Dauer bis zum vollständigen Abtrag schriftlich zu dokumentieren. Dazu sind vor und nach Einbringung sowie nach der Mobilisierung je 3 Querprofile in der Alfenz im Bereich des eingebrachten Materials aufzunehmen. Die Dokumentation ist der Abteilung Wasserwirtschaft jeweils nach Abschluss zu übermitteln.

Naturschutzrechtliche Vorschriften:

- Das im Bereich der Biotope 10303, 11103 und 11111 zwischengelagerte Geschiebematerial ist ohne unnötigen Verzug an das Gewässer abzugeben. Sollten sich jedoch aus ökologischer Sicht zwingende Gründe (wie z. B. die Brut seltener Vogelarten im Gebiet) ergeben, die Dotierung des hier zwischen gelagerten Materials zu verschieben, so ist hierüber und über die weitere Vorgangsweise das Einvernehmen mit dem zuständigen Naturschutzbeauftragten herzustellen.
- Das zur Dotierung vorgesehene Geschiebe im Bereich der Alfenz ist vollständig in den Bach abzugeben. Das nach Geschiebeeinlagerung in das Wasser verbleibende Gelände ist kuptiert und an die Formen der umgebenden Schotterflächen angepasst auszuformen.
- Die laufenden Räumungen der Becken bei kleinen bzw. mittleren Ereignissen erfolgen nicht über das Bachbett. Die Materialablagerung erfolgt im Trockenen. Die Materialdotierungen erfolgen bei hoher Wasserführung.

Sediment- und Aushubverwertung Rückhaltesperre Jaidhausgraben

Der Jaidhausgraben ist ein rechtsufriger Zubringer zur Steyr am Ortseingang von Hinterstoder. Nach einem Murgangereignis vom März 2012 wurde zum Schutze des Siedlungsraumes am Schwemmkegel als auch zum Schutze der einzigen Talzufahrt ein Schutzprojekt ausgearbeitet. Die auf die Huttererböden führende Mautstraße wurde durch das Ereignis derart schwer beschädigt, dass sie verlegt werden musste. Eine Teilstrecke der Mautstraße war daher aufgrund behördlicher Vorschriften zu renaturieren.

Das Schutzkonzept umfasst primär technische Auffangmaßnahmen zur Verhinderung des Vordringens von Murgängen und stark geschiebeführenden Hochwässern aus dem Jaidhausgraben bis in den raumrelevanten Besiedlungsbereich. Aus diesem Grund wurde am Schwemmkegelhals

ein kombiniertes Filterbauwerk mit Murbrecherfunktion mit einem Rückhaltevolumen von ca. 11.500 m³ hergestellt.

Als Grundgesteine treten von oben nach unten Dachsteinkalk, Gosau-Konglomerate und Breccien, Gosau - Mergel und - Sandsteine, Werfener Schiefer und Haselgebirge auf. In den Talverfüllungen gibt es randlich Kreideflysch.

Die Talmulde wird geologisch vorgezeichnet durch eine Wechsellage von Gosauschichten, Haselgebirge und Kalken der Steinalm - Gutenstein Formation. Diese Substrate sind - mit Ausnahme des Letzteren - sehr instabil und rutschanfällig.

Dementsprechend heterogen ist die Sediment- und Aushubmaterialzusammensetzung.

Im Zuge des Baus traten teilweise sehr weiche, lehmreiche Materialien bis hin zu „klassischen“ grobkörnigen Geschiebeablagerungen auf.



Abb. 4: Filterbauwerk Jaidhausgraben ein Großteil des angefallenen Sediment- und Aushubmaterials konnte zur Einschüttung der Sperrenflügel verwendet werden

Fig. 4: Filter barrier of the Jaidhausgraben. The main part of excavation material could be used to imbed the torrent protection structure

Option Materialabfuhr	Material	Menge	Bemerkung
genehmigte Bodenaushubdeponie	Extrem „schlechtes“, sehr weiches, lehmreiches, nicht weiter verwertbares Lockermaterial	730 t ³ (~385 m ³)	< 2000 to Anfallmenge, daher keine Beprobung notwendig, jedoch Deponiegebühren
Zweckmäßige Eigennutzung durch Grundeigentümer z.B. Renaturierung der Mautstraße	Grobkörniges Geschiebe gemischt mit standfestem Lockermaterial	4.600 m ³	Keine Beprobung, keine Gebühren da Eigennutzung
Materialeinbau am Schutzbauwerkstandort zur Einschüttung der Sperrenflügel	Verwertbares teilw. lehmreiches Lockermaterial sowie grobkörniges Geschiebe	9.500 m ³	Teilweise war eine Aufbereitung mit Cinerit® zur Erlangung der geotechnischen Erfordernisse notwendig

Tab. 2: Optionen der Materialverwertung.

Tab. 2: Options of material utilization.

Im Bereich des Filterbauwerkes ist nur ein sehr schmales öffentliches Wassergut ausgeschieden. Der Großteil des Materialanfalls stammt somit von Grundflächen eines privaten Grundeigentümers. In dessen Eigentum stehen nicht nur die unmittelbar das Bauwerk umgebenden Flächen, sondern auch die oben erwähnte zu renaturierende Mautstraße. Dies eröffnete die Möglichkeit einen Teil des Materials für Eigenbedarf des Grundeigentümers ohne weitere aufwändige Beprobungen etc. zu verwerten.

Für die Verwertung des anfallenden Sediment- und Aushubmaterials wurden folgende drei Optionen genutzt und konnten dadurch teure Beprobungen vermieden und hohe Deponiegebühren minimiert werden:

Bodenaushubdeponie Tödterbach

Am Beispiel Tödterbach in der Marktgemeinde Sillian wird die Bewirtschaftung der bestehenden Geschieberückhalteanlagen dargestellt. Ein sehr

hohes Geschiebepotential und häufige Ereignisse erfordern laufende Räumungen. Für diesen Zweck wird seit 2006 auch die abfall-, naturschutz- und forstrechtlich geregelte Bodenaushubdeponie linksufrig am Schwemmkegel des Tödterbaches genutzt.

Der Tödterbach entwässert ein 3,8 km² großes, S-exponiertes Einzugsgebiet, entspringt in Seehöhe 2.330 m dem Thurntaler See und mündet westlich in Seehöhe 1.110 m in die Drau. Der murstoßfähige Wildbach ist am Schwemmkegel durch ein Geschiebeauffangbecken im Mündungsbereich mit anschließender Unterlaufregulierung bis zum zweiten Geschiebeauffangbecken am Schwemmkegelhals systematisch teilgesichert. Das Grundgestein sind Thurntaler Quarzphillite mit tonigen Kalken und Mergeln.

Im Jahr 2001 hat die Geologische Stelle der Wildbach- und Lawinenverbauung die Geschiebe und Ereignispotentiale am Tödterbach erhoben und in einer Studie veröffentlicht. Nach dieser Studie ist bei einem kritischen 150-jährli-

chen Niederschlagsereignis mit einer Feststofffracht von 85.000 m³ inkl. 20 % Wasseranteil zu rechnen. Bei einem kritischen 30-jährlichen Niederschlagsereignis mit einer Geschiebefracht von 65.000 m³ inkl. 20 % Wassergehalt.

Die bestehenden Geschiebeauffangbecken am oberen und unteren Schwemmkegel mit einer Ablagerungskapazität von insgesamt 45.000 m³ können im Extremfall die zu erwartenden Abflussfrachten von 70.000 m³ nicht aufnehmen. Bei künftigen Großereignissen – zuletzt 2015 – ist deshalb mit Geschiebeeintrag in die Drau zu rechnen.

Geschiebewirtschaftung

Das Geschiebeauffangbecken im Mündungsbereich wurde im Jahr 1974 vom Baubezirksamt Lienz / Wasserbauverwaltung durch Mündungsaufweitung und Einlaufsperrerrichtet und im Jahr 2007 vergrößert, sodass eine Aufnahmekapazität von 20.000 m³ zur Verfügung steht. Das Geschiebeauffangbecken am Schwemmkegel mit einer Aufnahmekapazität von 25.000 m³ wurde im Jahr 1991 von der Wildbach- und Lawinerverbauung Osttirol errichtet. Seit der Kompetenzregelung 2010 liegt der Tödterbach zu Gänze in der Zuständigkeit der Wildbach- und Lawinerverbauung.

Mit Räummaterial aus den Geschiebeauffangbecken am Tödterbach wurden bisher die Uferdämme entlang der Unterlaufregulierung ertüchtigt, erhöht und LKW-fahrbar ausgebaut. Weiters wurde das Geschiebe für Uferbegleitdämme bzw. Dammerhöhungen am Lahnerbach und am Stenkerbach, ebenfalls Wildbäche in der Gemeinde Sillian, verwendet. Auch die grenznahen Gewerbeflächen in Arnbach wurden mit diesem Material aufgeschüttet. Weitere Verwertungen des Räumgutes erfolgten über Erdbauunternehmen durch Aufbereitung des Rohstoffes. Nicht verwertbares oder nutzbares Räummaterial wird der Bodenaushubdeponie linksufrig am Schwemmkegel des Tödterbaches zugeführt. Die Erschließung der bachnahen Deponiefläche wurde im Zuge der Erweiterung des Geschiebeauffangbeckens im Mündungsbereich für notwendig erachtet. Die Deponie ist über den linken bzw. ostseitigen Uferdammweg direkt erschlossen.

Das bei den Murereignissen anfallende Wildholz wird bei der Räumung getrennt und der thermischen Nutzung zugeführt.

Bodenaushubdeponie

Mit Bescheid der Bezirkshauptmannschaft Lienz vom 28.08.2006 wurde der Marktgemeinde Sillian die wasser-, forst- und abfallrechtliche Bewilligung zur Errichtung und zum Betrieb der Bodenaushubdeponie Tödterbach für 32.000 m³ Aushubmaterial aus dem Tödterbach erteilt. Mit Bescheid vom 28.11.2015 wurde die abfallrechtliche Deponierung auf insgesamt 45.000 m³ Räummaterial aus den Geschieberückhaltebecken am Tödterbach erhöht.

Im laufenden Verfahren wird die Erweiterung der Deponie auf einer Fläche von 14.350 m² für ein Schüttvolumen von 60.000 m³ Geschiebe

abfallrechtlich geregelt. Die Errichtung und der Betrieb der Bodenaushubdeponie Tödterbach 2 für die Abfallart Bodenaushub, Schlüsselnummer 31411 lt. ÖNORM S 2100 „Abfallverzeichnis“ soll gleichzeitig auch die Aufbereitung des Bodenaushubs auf einem temporären Zwischenlager von 2.000 m² mit mobiler Sieb- und Brechanlage ermöglichen.

Um den Anforderungen des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002 zu entsprechen, verweist der abfalltechnische Amtssachverständige hinsichtlich eines ordnungsgemäßen Deponiebetriebes auf die geltenden Vorgaben der Deponieverordnung 2008 (Deponie VO 2008) und präzisiert diese folgend:

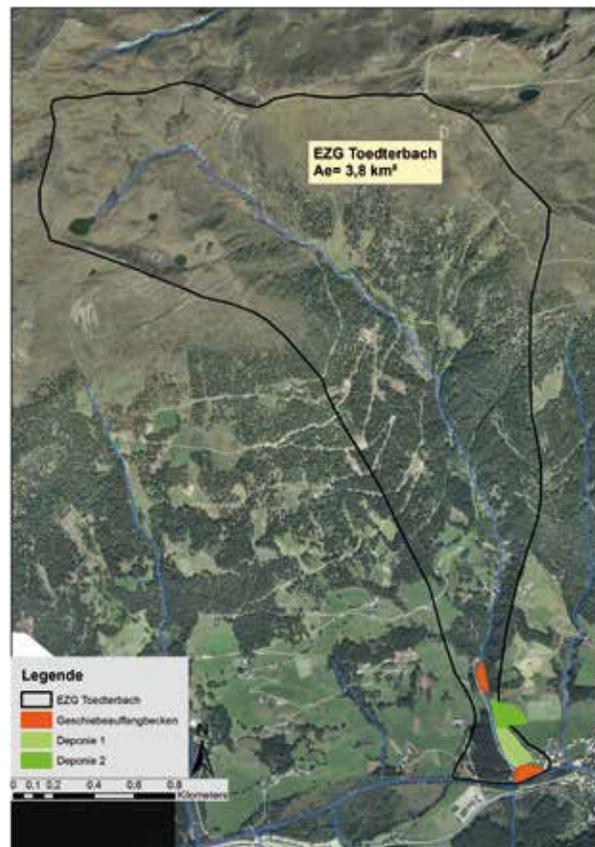


Abb. 5: Einzugsgebiet Tödterbach, Gde. Sillian, mit Geschiebeauffangbecken und Bodenaushubdeponie

Fig. 5: Catchment area of the Tödterbach and location of the sediment retention basin and disposal sites



Abb. 6: Bodenaushubdeponie Tödterbach, anschließend an den LKW-fahrbar ausgebauten und erhöhten linken Uferdamm

Fig. 6: Excavated-soil landfill Tödterbach adjacent to the heightend left embankment of the torrent

SN	Spez	Abfallart	Spezifizierung	Hinweise
31411	29	Bodenaushub	Bodenaushubmaterial mit Hintergrundbelastung	< 2.000 t ohne Analytik > 2.000 t mit Analytik
31411	30	Bodenaushub	Klasse A1	
31411	31	Bodenaushub	Klasse A2	
31411	32	Bodenaushub	Klasse A2G	
31411	33	Bodenaushub	Inertabfallqualität	für Bodenaushub mit Grenzwert II in Tabelle 1 im Anhang 1
31411	34	Bodenaushub	technisches Schüttmaterial, das weniger als 5 Vol-% bodenfremde Bestandteile enthält	

Tab. 3: Abfallart Bodenaushub, Schlüsselnummer 31411 lt. ÖNORM S 2100, „Abfallverzeichnis“

Tab. 3: Categories of waste - classification

Auf der Bodenaushubdeponie dürfen die unter Tab. 1 angeführten Abfallarten abgelagert werden. Bei nicht verunreinigtem Bodenaushubmaterial ist keine analytische Untersuchung erforderlich, wenn

- das gesamte als Abfall anfallende Bodenaushubmaterial eines Bauvorhabens nicht mehr als 2.000 t beträgt;
- auf Basis einer Beurteilung der Vornutzung sowie der lokalen Belastungssituation keinerlei Hinweise auf eventuelle Verunreinigungen vorliegen;
- seitens des jeweiligen Unternehmens, welches den Aushub durchführt, bestätigt wird, dass keine augenscheinlichen Verunreinigungen während des Aushubs wahrgenommen wurden.

Die Vorerhebung gemäß dem Vorerhebungsbogen gilt als grundlegende Charakterisierung ohne analytische Untersuchung im Sinne der Bestimmungen der DeponieVO 2008 und ist bei einer Abfallmenge von über 750 t bis höchstens 2000 t anzuwenden.

Die Eingangskontrolle auf der Deponie hat sowohl bei der Übernahme der Abfälle als auch beim Entladevorgang zu erfolgen. Hierbei ist zu beurteilen, ob es sich um sauberen Bodenaushub im Sinne der vorangegangenen Nebenbestimmung bezüglich der Abfallart und -qualität handelt.

Durch geeignete Maßnahmen (Umzäunung, Absicherung des Geländes und Absperrung der Zufahrt) ist sicherzustellen, dass keine Fremdblagerungen durchgeführt werden können. Falls

Fremdmaterialien festgestellt werden, sind diese händisch auszusortieren, in einem geschlossenen Container zwischen zu lagern und einer ordnungsgemäßen Entsorgung zuzuführen.

Nachdem auf der Deponie eine Bauschuttzubereitungsanlage betrieben werden soll, sind die Sieb- und Brechanlage sowie das Zwischenlager für die aufzubereitenden Abfälle entsprechend den abseits von in Betrieb befindlichen Schüttabschnitten zu situieren. Diese Flächen dürfen nur dann als Schüttfläche genutzt werden, wenn sämtliche Abfälle aufbereitet und entfernt worden sind.

Ausblick

Aus den beschriebenen Beispielen wird deutlich, das in Projekten mit Geschieberückhalteanlagen an Wildbächen grundsätzlich geeignete, bachnahe Deponieflächen für den Einbau von wirtschaftlich nicht verwertbarem Räumgut vorzusehen und ist deren Errichtung und Betrieb rechtlich zu regeln sind. Jenes Räumgut / Geschiebe, das für eine technische Wiederverwertung geeignet ist, soll zwischengelagert bzw. aufbereitet und sodann einer Verwertung zugeführt werden.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

DI Albert Pichler
Wildbach- und Lawinenverbauung
GBL Osttirol
Kärntnerstraße 90, 9900 Lienz
albert.pichler@die-wildbach.at

DI Thomas Tartarotti
Wildbach- und Lawinenverbauung
GBL Oberösterreich Ost
Garnisonstraße 14
4560 Kirchdorf a.d. Krems
thomas.tartarotti@die-wildbach.at

DI Margarete Wöhrer-Alge
Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Vorarlberg
Rheinstraße 32/5
6900 Bregenz
margarete.woehrer-alge@die-wildbach.at

Literatur / References:

DEPONIEVERORDNUNG (DeponieVO), BGBl. II Nr. 39/2008 idF BGBl. II Nr. 104/2014

MÖLK M., SAUSGRUBERT T., STEPANEK L. (2002): Tödterbach Gde. Sillian. Erhebung von Geschiebe- und Ereignispotentialen. Bericht der WLV - Geologische Stelle (Hrsg.): 32 + Anlagen

ÖNORM S 2126: 2010-08-15, Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit.

ÖNORM S 2127: 2011-11-01, Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen

HANNES BADURA, PAUL SALER

Sedimentmanagement für Wasserkraftanlagen in alpinen Einzugsgebieten

Sediment management of hydro power plants in alpine catchments

Zusammenfassung:

Zielsetzung der Wasserkraftnutzung ist die Erzeugung elektrischer Energie aus Wasserkraft sowie der unterbrechungsfreie Abtransport der Energie. Probleme durch Sedimente entstehen für Wasserkraftwerke im Allgemeinen und Kleinwasserkraftanlagen in alpinen Einzugsgebieten im Speziellen durch Anlandungen in Stauanlagen und im Unterwasser und den Einstau von Seitenbächen. Dadurch entstehen hohe Räumungs- und Deponiekosten. Problematisch sind fehlende oder unzureichende Konzepte für Sedimentmanagement bei Einzelanlagen und in Kraftwerksketten. Katastrophenereignisse sind für Kleinwasserkraftbetreiber mit hohem wirtschaftlichem Schaden verbunden, insbesondere durch Erzeugungsverluste, Räumungskosten und erhöhte Instandhaltungskosten. Ziel des Sedimentmanagements ist der reibungslose Betrieb der Anlage und Weitertransport des Sediments aus dem Einzugsgebiet. Der vorliegende Beitrag fasst die geschiebetechnisch relevanten Planungsgrundsätze von Kleinwasserkraftwerken zusammen und geht auf die Erfordernisse der Anlagenbetriebsführung von Wehranlagen sowie auf die Beurteilungsgrundlagen eines behördlichen Sachverständigen ein.

Stichwörter:

Sedimentmanagement, Kleinwasserkraft, Geschiebe

Abstract:

The objective of hydropower is the generation of electrical energy from hydropower and the uninterrupted transportation of energy. Sedimentation processes cause problems for hydropower plants in general, and small hydropower plants in alpine catchments in particular for reservoirs and their inflows, as well as sedimentation of tail waters. Sedimentation increases the operational and disposal costs of a plant due to the lack of adequate concepts for

sediment management at plants and in chains of power plants. Flood events are related to generating losses, evacuation costs and increased maintenance costs. The aim of the sediment management is to consider sediment transport during plant operation and transportation of the sediment from the catchment area thru the plant. This paper summarizes the bedload planning principles of small hydropower plants and addresses the needs of an operation management of weirs during flood events from a hydraulic and authority expert point of view.

Keywords:

Sediment management, small hydropower plant, bed load

Einleitung

Zielsetzung der Wasserkraftnutzung ist die Erzeugung elektrischer Energie aus Wasserkraft sowie der unterbrechungsfreie Abtransport der Energie. Die Energiegewinnung erfolgt durch Wasserfassung oder Stauanlage im Flussbett zur Ausnutzung der motorischen Kraft des Wassers in Fluss- und Ausleitungskraftwerken. Die Energieableitung erfolgt über Erdkabel oder Freileitungen.

Probleme durch Sedimente entstehen für Wasserkraftwerke im Allgemeinen und Kleinwasserkraftanlagen in Wildbach-Einzugsgebieten im Speziellen durch Anlandungen in Stauräumen, im Unterwasser und durch Einstau von Seitenbä-

chen. Dadurch entsteht erheblicher Aufwand in der Räumung. Problematisch sind fehlende oder unzureichende Konzepte für Sedimentmanagement bei Einzelanlagen und in Kraftwerksketten. Katastrophenereignisse sind für Kleinwasserkraftbetreiber mit hohem wirtschaftlichem Schaden verbunden, insbesondere durch Erzeugungsverluste, Räumungskosten und erhöhte Instandhaltungskosten. Wie das Beispiel des Schöttelbaches zeigt (Abbildung 1), ist jedenfalls mit vermehrten Instandhaltungsarbeiten nach Hochwasserereignissen zu rechnen.

Der vorliegende Beitrag erörtert die Planungs- und Betriebsgrundsätze für ein nachhaltiges Sedimentmanagement bei Kleinwasserkraftanlagen. Die planerische Umsetzung eines



Abb. 1: Schöttelbach Unterlauf, Wehranlage (links) und die Suche nach der verschütteten Wehranlage (rechts) nach dem Ereignis im Wölzertal, Juli 2011 (Fotos: Zotter Bau GmbH)

Fig. 1: Lower reaches of the torrent Schöttelbach. Left: weir. Right: buried weir after the event of July 2011. (photo: Zotter Bau GmbH)

funktionierenden Sedimentmanagements bildet dabei die wesentliche Basis und beginnt bei der Kenntniserlangung der Sedimentbeschaffenheit darauf aufbauend die Ausgestaltung des Stauraums, der Wehranlage und der Unterwasserstrecke. Im Artikel wird das Hauptaugenmerk auf die Durchgängigkeit der Sedimente im Anlagenbereich gelegt und planerische Grundlagen dargestellt. Zusätzlich werden Beurteilungsgrundsätze aus Sicht eines wasserbautechnischen Sachverständigen dargelegt.

Grundlagen

In der Regel liegen bereits Dokumente mit Hinweisen der Beschaffenheit des Sediments im Einzugsgebiet vor. Wildbach-Aufnahmeblätter, Gefahrenzonenpläne und geologische Gutachten bilden die Grundlage für eine Abschätzung des Transportpotentials des Bachlaufs. Zumeist fehlen jedoch Informationen zur Kornzusammensetzung im Bachlauf selbst, die als wesentliche Planungsgrundlage und Auslegung des Rückstauraums, der Wasserfassung und der Regelungen in der Betriebsführung gelten.

Methoden zur Bestimmung der Kornverteilung

Zur Bestimmung von Kornverteilungen wird grob zwischen Flächen- und Linienanalysen sowie

Baggererschürfe unterschieden. Zumeist ist eine einfache Methode zur Bestimmung der Kornverteilung ausreichend und kann Anlassbezogen durch Materialentnahmen und Bestimmung der Kornverteilungen im Labor erfolgen. Baggererschürfe lassen sich auch mit der grundlegenden Charakterisierung nach Abfallwirtschaftsgesetz kombinieren, sofern dies aufgrund der Aushubkubatur erforderlich ist. Eine gute Beschreibung der einzelnen Methoden und Auswertung der Erhebung findet sich beispielweise im Arbeitsbehelf für Fließgewässermodellierung (ÖWAV 2011).

Im Zuge einer Begehung des Projektgebietes bilden Flächen- oder Linienanalysen und die Dokumentation des transportierten Größtkorns aussagekräftige Planungsgrundlagen für die weiteren Bearbeitungsschritte in der Planung. Linien und Flächenproben werden an trocken liegenden, repräsentativen Stellen des Gewässersbetts erhoben. Dabei werden Steine ab 1–2 cm Durchmesser der B-Achse fraktionsweise bestimmt. Um eine repräsentative Probemenge zu erhalten, gelten als Richtwert 150 Steine, wobei in den mittleren Fraktionen mindestens 30 Steine erfasst werden sollen. Das Ergebnis wird Vorort in ein vorgefertigtes Formular unter Angabe der Probenahmestandorts, des Beobachters, des Datum und unter Angabe des Größtkorndurchmessers vermerkt. Als Beispiel ist in Abbildung 1 die Linienzahlanalyse angeführt.



Abb. 2: Aufspannen einer zur Fließrichtung parallelen Linie und Erfassung der B-Achsen aller Körner unter der Linie mit Durchmessern größer 1-2cm (aus: Vorlesungsskript Flussbau, ETZ, 2004)

Fig. 2: Transect parallel to the flow direction to collect and measure the b-axis of all particles under the line, which are larger than 1-2 cm.

Bestimmung des kritischen Korndurchmessers und des kritischen Abflusses

Die Sohlschubspannung als maßgebender Parameter für die Bewegung des Geschiebes errechnet sich mit

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad \text{Gl. (1)}$$

wobei ρ die Dichte des Wassers, g die Gravitationskonstante, h die Wassertiefe und I das Energieliniengefälle bezeichnet. Bei Gerinnen mit einem geringen geometrischen Breiten-Höhenverhältnis wie Wildbächen, wird anstelle der Wassertiefe h den hydraulischen Radius R eingesetzt und so der Gerinne-Wandeneinfluss berücksichtigt.

Zur Berechnung des Bewegungsbeginns werden häufig dimensionslose Parameter verwendet. Der dimensionslosen Schubspannung wird eine besondere Rolle zuteil, da sie in fast allen wichtigen Geschiebetransportformeln als maßgebender Parameter eingesetzt wird. Dabei steht die Sohlschubspannung τ im Verhältnis zum charakteristischen Korndurchmesser d_{ch} , zur Dichte des Korns ρ_s unter Auftrieb und zur Gravitationskonstante g . s ist das Verhältnis aus Feststoff- und Wasserdichte. Der charakteristische Korndurchmesser kennzeichnet den für den Geschiebetransport relevanten Korndurchmesser.

$$\theta = \frac{\tau}{(s-1) \cdot \rho_s \cdot g \cdot d_{ch}} \quad \text{Gl. (2)}$$

Wird in Gl. (2) die kritische, dimensionslose Schubspannung θ_{cr} eingesetzt, so kann der charakteristische, kritische Korndurchmesser berechnet werden. θ_{cr} bewegt sich zwischen 0,03 (einzelne Körner in Bewegung) und 0,06 (ausgeprägter Geschiebetransport). Näheres kann in Zanke (1990) nachgelesen werden. Der Wertebereich kann auch abhängig von der Kornform (Rundkorn, Kantkorn, Abplattung) variieren. In

der Literatur wird häufig der Wert 0,047 (Meyer-Peter und Müller, 1948) zitiert.

Zur Bestimmung des kritischen Abflusses kann der Ansatz von Rickenmann (1990) gewählt werden. Rickenmann gibt den kritischen Abfluss und damit den Transportbeginn mit

$$q_c = 0,065 \cdot (s-1)^{1,67} \cdot g^{0,5} \cdot d_{50}^{1,5} \cdot I^{-1,12} \quad \text{Gl. (3)}$$

an, wobei q_c der kritische spezifische Abfluss bei Transportbeginn und d_{50} die charakteristische Korngröße ist.

Stauraum, Wehranlage und Unterwasser in Planung und Betrieb

Mit der Errichtung einer Wehranlage werden die geometrischen, hydraulischen und sedimenthydraulischen Verhältnisse des Gewässers verändert. In vielen Fällen entstehen Gewässeraufweitungen im Stauraum und im Unterwasser durch die Breitenentwicklung der Wehranlage. Aufstau, Änderung der Breitenverhältnisse und Bachbetteintiefungen verringern die Schleppspannungen und in weiterer Folge die Geschiebetransportkapazität. Bereits in der Planung können die damit verbundenen Auswirkungen vermieden werden.

Die Entwicklung der Wehrgeometrie innerhalb der bestehenden, unbeeinflussten Gewässerbettbreite verhindert geschieberückhaltende Aufweitungen und daraus entstehende Anlandungsentwicklungen. Bei Wehranlagen mit Seitenentnahme sind geschiebeabweisende Maßnahmen vor dem Entnahmebauwerk von Vorteil. In Bachkrümmungen soll das Einlaufbauwerk zur Druckrohrleitung nach Möglichkeit im Außenbogen des Gewässers positioniert sein. Durch Buhnen oder Leitwerke kann das Geschiebe gezielt gelenkt und der Durchgängigkeitseffekt verstärkt



Abb. 3: Beispiel für eine Bachfassung mit Tiroler Wehr und angeschlossenen Entsander (Kraftwerk Schöttelbach), links Normalbetrieb, rechts Hochwasserfall (Fotos: Zotter Bau GmbH)

Fig. 3: Example for a Tyrolean Weir with sand trap (hydropower plant Schöttelbach). Left: during normal operation. Right: during a flood event (photo: Zotter Bau GmbH).

werden. Ein Vergleich zwischen den Sohlschubspannungen im Ist-Zustand vor Errichtung der Anlage und dem geplanten Projekt ermöglicht einen aussagekräftigen und beurteilbaren Vergleich der Zustände bereits in der Planungs- und Genehmigungsphase.

Die Sohlschubspannungen im Rückstau, im Nahbereich der Wehranlage und im Unterwasser sollen bei Erreichen des kritischen Abflusses für den Geschiebetransportbeginn nur in geringem Ausmaß von den Sohlschubspannungen vor Errichtung der Wehranlage abweichen. Für Tiroler Wehre ist der Planungsgrundsatz einer geringen Staulänge und geringer gewässerbettverändernder Maßnahmen ausschlaggebend für die Erreichung einer nachhaltigen Geschiebedurchgängigkeit. Ein Beispiel für ein Tiroler Wehr, das dem Durchgängigkeitskonzept entspricht, ist in Abbildung 3 ersichtlich.

Die Standfestigkeit von technischen Sicherungsmaßnahmen ist auf ein festzulegendes Bemessungsereignis mit einem Freibord von 1m auszulegen. In alpinen Einzugsgebieten ist bei Extremereignissen auch ein größeres Freibord oft

nicht ausreichend, sodass im Einzelfall ein Überströmen zugelassen werden kann. Besonders bei kleinen Wasserfassungen lässt sich eine vollständige Überströmung der Wehranlage im Ereignisfall nicht vermeiden (Abbildung 3). Mit erhöhtem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand im Ereignisfall ist entsprechend zu kalkulieren (Abbildung 1). Hauptaugenmerk bei solchen Anlagentypen ist auf die Standsicherheit der Ufersicherungen im Nahbereich der Anlage zu legen, sowie auf die Sicherung der elektro-hydraulischen Anlagenteile.

Bei Anlagen mit beweglichen Verschlussorganen ist zur Erreichung der Geschiebedurchgängigkeit des Stauraums und der Wehranlage ein Absenken des Stauspiegels erforderlich. Nach ÖWAV (2000) kann als Richtwert für den Beginn einer Stauabsenkung der Wert $0,5 \cdot HQ_1$ herangezogen werden. Speziell bei Wildbächen mit kleinen Einzugsgebieten hat die Kornverteilung einen großen Einfluss auf den Bewegungsbeginn, und das Ansprechverhalten auf Hochwasser kann stark variieren. Es wird daher zur Festlegung des Abstaubeginns eine Berechnung nach Gleichung 2 oder Gleichung 3 empfohlen.



Abb. 4: Beispiel für eine Bachfassung mit Seitenentnahme, KW Sallabach (Fotos: Stadtwerke Köflach)

Fig. 4: Example for a structure with side-entry, hydropower plant Sallabach (photos: Stadtwerke Köflach)



Abb. 5: Beispiel für eine Kragplatte am Einlauf als Geschiebeabweiser und geschiebeaktivierende Initialstruktur für eine Spiralströmung zum Grundablass (Kraftwerk Sölk, Bachfassung Kleinsölk, Foto: Verbund)

Fig. 5: Example for a cantilever slab at the inlet to withhold debris and a debris activating structure to initialize a spiral flow in the direction to the outlet. (hydropower plant Sölk, photo: Verbund)

Beurteilungsgrundlagen für ein Behördenverfahren

Jede Wasserkraftanlage bedarf vor ihrer Verwirklichung einer behördlichen Bewilligung. Die für das Verfahren zuständige Behörde (Wasserrechtsbehörde, UVP-Behörde) ergibt sich in erster Linie aus der Anlagengröße (Ausbauleistung bzw. Engpassleistung). Weitere Behördenverfahren sind in Abhängigkeit landesgesetzlicher- bzw. bundes-

gesetzlicher Bestimmungen allenfalls noch erforderlich. Im gegenständlichen Abschnitt werden Anforderungen bzw. die Beurteilungsgrundlagen für ein Wasserrechtsverfahren dargelegt.

Beurteilungsgrundlage für jedes zu beurteilende Vorhaben ist das Wasserrechtsgesetz 1959 in der jeweils geltenden Fassung. Im WRG ist festgelegt, dass jede über den Gemeingebrauch hinausgehende Benutzung öffentlicher Gewässer bewilligungspflichtig ist. Darüber hinaus ist im Rahmen der Bewilligung der Ort, das Maß und die Art der Wasserbenutzung zu bestimmen, wobei bei dieser Bestimmung öffentliche Interessen und bestehende Rechte (Wasserrechte, Grundeigentum) nicht verletzt werden dürfen. Diese im Wasserrecht festgelegten Bewilligungsgrundsätze bilden die Grundlage der technischen Beurteilung. Zusätzlich zur technischen Beurteilung erfolgt in jedem Verfahren zur Bewilligung einer Wasserbenutzungsanlage auch eine gewässerökologische Beurteilung, auf die in diesem Artikel nicht näher eingegangen wird.

Gemäß Wasserrechtsgesetz (§103) ist für eine Wasserbenutzungsanlage ein entsprechendes Projekt von einem Fachkundigen zu erstellen, wobei die gesetzlich vorgegebenen Grundlagen

einzuhalten sind. Für eine Wasserkraftanlage in einem Wildbacheinzugsgebiet sind jedenfalls die oben genannten Grundlagen der Planung und für den Betrieb der Anlagen zu berücksichtigen. Ein weiterer wesentlicher Beurteilungsbereich ist das Hochwasserabflussverhalten des von der Wasserbenutzungsanlage betroffenen Gewässers.

Ausgehend vom festzulegenden Bemessungsereignis ist eine Betrachtung des Hochwasserabflussverhaltens mit und ohne Projekt durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Betrachtung dürfen keine merkbar nachteiligen Auswirkungen auf das Abflussgeschehen verursachen. Bei dieser Betrachtung ist jedenfalls das gegebene Geschiebepotential sowie das vorhandene Transportvermögen des Gewässers zu berücksichtigen.

Die bereits dargelegte und ausreichend bemessene Standsicherheit einer Wasserbenutzungsanlage ist als Voraussetzung einer Beurteilung anzusehen, wobei zusätzlich die Betriebsführung im Normalbetriebsfall und im Betriebsfall „Hochwasser“ für die Sicherheit der Anlage zum Tragen kommen. Jede Wasserkraftanlage ist derart zu bemessen und maschinentechnisch auszulegen, dass ein Geschiebetrieb bei Hochwässern nahezu unbeeinträchtigt erfolgen kann und die Möglichkeit besteht, im Normalbetrieb anfallende Anlandungen bei Hochwasser gefahrlos, ohne Auswirkungen auf öffentliche Interessen und fremde Rechte weiter zu transportieren.

Zusammenfassend kann aus Sicht eines wasserbautechnischen Sachverständigen im Behördenverfahren festgehalten werden, dass zur Beurteilung möglicher Beeinträchtigungen öffentlicher Interessen und fremder Rechte bei Errichtung einer Wasserkraftanlage die Betrachtung des Geschiebehaltens nicht nur in Wildbacheinzugsgebieten von größter Bedeutung ist. Neben

der umfassenden Grundlagenerhebung und der darauf basierenden Planung spielt vor allem der Betrieb einer Wasserkraftanlage eine wesentliche Rolle. Alle oben dargelegten Punkte, sowie weitere notwendige Planungsgrundlagen (Geologie, Geotechnik, Lärmschutz, Ökologie) bilden die Grundlage des im Behördenverfahren zu erstellenden Gutachten.

Anschrift der Verfasser / Authors' addresses:

Dipl.-Ing. Dr. Hannes Badura
VERBUND Hydro Power GmbH
Europaplatz 2, 1150 Wien
hannes.badura@verbund.com

Dipl.-Ing. Paul Saler
Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Abteilung 15
Gewässeraufsicht und Gewässerschutz
Landhausgasse 7, 8010 Graz
paul.saler@stmk.gv.at

Literatur / References:

BEZZOLA G. R. (2004).
Vorlesungsmanskript Flussbau der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Fassung 2004/2005

MEYER - PETER, E. and MÜLLER, R. (1948)
Formulas for bed-load transport. Proc. IAHR, Stockholm, 1948.

ÖWAW (Hrsg.) (2000)
Feststoffmanagement an Kraftwerksketten. Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 137.

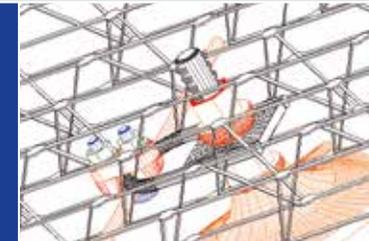
BMFLUW / ÖWAV (Hrsg.) (2011)
Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Feststofftransport und Gewässermorphologie.

RICKENMANN D. (1990).
Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Mitteilung Nr. 103.

ZANKE U. (1990)
Der Beginn der Sedimentbewegung als Wahrscheinlichkeitsproblem. Wasser- und Boden, Heft 1.

Wir sichern und kultivieren die Erde

Steilwälle
Wasserbau
Entwässerung
Sonderkonstruktionen



Hang- u.
Böschungssicherung
Steinschlagschutz
Stützbauwerke



J. Krismer | Bundesstraße 23
A - 6063 Innsbruck - Rum
www.krismer.at | office@krismer.at



Markus Waibel, Stefan Schuster

Regelstatik für Ufermauern aus Grobsteinschichtungen (Regelskizzen für den praktischen Baustelleneinsatz: Ufersicherungen aus Steinschichtungen mit oder ohne Beton sowie Widerlager von Kleinbrücken)

Ufermauern aus Grobsteinschichtungen mit und ohne Beton sind die einfachen und kostengünstigen Klassiker der Längsverbauung in der Wildbach- und Lawinerverbauung.

Im Rahmen des Schutzprojektes Dambach (Garsten, Oberösterreich) waren zahlreiche bestehende Ufermauern abzusenken, zu sanieren, entsprechend den neuen Verkehrslasten zu verstärken oder neu zu errichten. Dies sollte, wo möglich, kostenoptimiert durch Grobsteinschichtungen erfolgen. Dazu wurden im Straßenbereich Grobsteinschichtungen bis 3,5 m Höhe mit angrenzender Verkehrslast errichtet. Um hier auch entsprechende statische Nachweise erbringen zu können, erfolgte die Zusammenarbeit mit dem Büro KMP Ziviltechniker für Bauwesen.

Gemeinsam wurden 11 Regelprofile erstellt, welche alle klassischen Anwendungsfälle abdecken. Die gewählten Grobsteinschichtungen unterscheiden sich

dabei in der Ausführung mit oder ohne Beton, in ihrer Belastung (mit oder ohne Verkehrslast lt. Lastmodell 1 lt. Eurocode EN 1991-2), in ihrer Neigung (2:3, 5:1 und 10:1) und vor allem in ihrer Stärke, die von 80 cm bis 120 cm variieren kann. Grobsteinschichtungen mit Verkehrsbelastung werden dabei immer in Beton ausgeführt. Bei Einhaltung der konstruktiven Vorgaben liegt dabei der Ausführende mit den eher konservativen angenommenen Bodenkennwerten mit einem Reibungswinkel von 27,5°, einer Kohäsion von 5 kN/m² und einem Wandreibungswinkel von 20° tendenziell auf der „sicheren“ Seite.

Ein weiterer Nutzen der Regelstatik besteht darin, dass die dargestellten Ausführungsvarianten für die Verkehrslast mit einer Neigung von 5:1 auch für Brückenwiderlager von Kleinbrücken mit einer Spannweite von max. 10 m verwendet werden können.

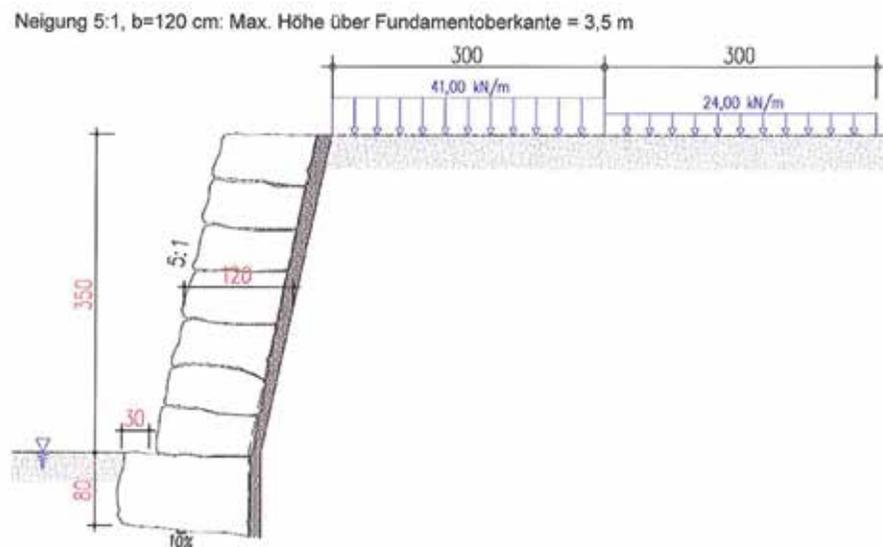


Abb. 1: Der Nachweis für Grobsteinschichtungen mit unterschiedlichsten Belastungen und geometrischen Abmessungen ist durch die vorliegende Regelstatik erbracht worden.

Fig. 1: This publication provides the structural certification for stone pitching implements with different static loads and different geometrical dimensions.

Neigung 10:1, b= 100 cm: Max. Höhe über Fundamentoberkante = 3,0 m

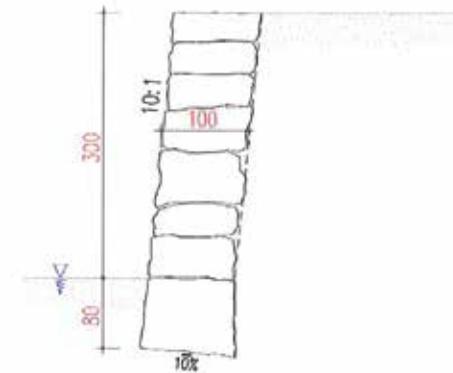


Abb. 2: Ein Bild sagt mehr als 100 Worte: Auf einen Blick erkennt der Praktiker die Vorgaben für die von ihm gewünschte Grobsteinschichtung.
Fig. 2: The publication is easy to use: a picture is worth 1000 words!

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Markus Waibel
Forsttechnischer Dienst für Wildbach-
und Lawinerverbauung
Gebietsbauleitung Oberösterreich Ost
Garnisonstr. 14
4560 Kirchdorf a.d. Krems
markus.waibel@die-wildbach.at

Dipl.-Ing. Stephan Schuster
KMP ZT-GmbH
Kapellenstr. 13
4040 Linz
schuster@kmp.co.at

Doris Bleier, Thomas Glade

Vernetztes Denken: OeRISK „Risikoprävention und Katastrophenmanagement“ – vom beruflichen Alltag zum universitären Masterabschluss

Ob im Beruf oder im Privatleben, Risiken und potenzielle Katastrophen begleiten uns immer. Manchem sind wir uns bewusst, manches trifft uns aber auch überraschend. Hierbei ist es egal, ob wir von Naturprozessen wie Überschwemmung, Erdbeben, Schneelawinen oder gravitativen Massenbewegungen, technologischen Gefahren wie Unfällen und Explosionen oder soziologischen Gefahren betroffen sind. Deshalb ist es wichtig sich intensiver mit den bewussten und unbewussten Gefahren und Risiken auseinanderzusetzen und sich über Managementoptionen inklusive technischer Verbauungen, sozioökonomischen Maßnahmen oder raumplanerischen Präventionen klar zu sein. Dieses Themenfeld verdient es, dass man sich konzeptionell und theoretisch, aber auch praktisch und anwendungsbezogen damit beschäftigt.

VertreterInnen von Regierungen, ArbeitnehmerInnen aus nationalen oder internationalen Organisationen oder freiwillige EinsatzhelferInnen in Katastrophenfällen – alle verbindet ein Höchstmaß an Expertise in ihrem spezifischen Aufgabengebiet. Die Arbeitsabläufe für den Notfall – seien es Naturgefahren, technologische, soziologische oder sonstige Gefahren – liegen bereit. Aber war es das schon?

Der Mensch und die Gesellschaft strebt immer nach Verbesserungen: Wie führen die KollegInnen aus anderen Organisationen die Risikoprävention und das Katastrophenmanagement durch? Wie gut sind wir im internationalen Vergleich? Gibt es Abläufe, die ich oder die wir noch optimieren können? Wie können wir Abläufe zwischen Institutionen oder Ländergrenzen besser organisieren? Kurz: Wie können wir es noch besser machen? Weniger Opfer, geringere Schäden, schnellere Reaktionszeiten, bessere Prävention, eben hin zur sogenannten „Disaster Risk Reduction“.

Auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene gibt es stets Änderungen und Neuerungen - die rechtlichen, politischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen, die Technologien die uns zur Verfügung stehen, die Netzwerke die wir nutzen können, ganz zu schweigen vom Globalen Wandel. Dazu kommt die zunehmende Verflechtung zwischen Natur und Kultur sowie Rückkopplungseffekte die oft nur schwer vorhersehbar sind.

Zwar ist die Anzahl Todesopfer, z.B. von Naturkatastrophen in den letzten Jahrhunderten weltweit (prozentuell) stark gesunken, die Schäden (monetär erfasst) nehmen jedoch zu. Dadurch stellt sich die Frage, wie es zu diesen steigenden Schäden kommt. Dies liegt an Faktoren wie dem Globalen Wandel (u.a. Bevölkerungswachstum, kultureller Wandel, sozioökonomische Veränderungen, Klimawandel) und dessen Auswirkungen in unserer Umwelt (z.B. die räumliche Verteilung der Bevölkerung entlang von Flüssen und Küsten, die ökonomische Entwicklung – unsere Wertgüter, veränderte Bodennutzung und zunehmende Bodenversiegelung, um nur einige Entwicklungen zu nennen). Hierbei sind wir als Gesellschaft sowohl durch von außen wirkenden Prozessen Betroffene, als auch die Treiber von solchen Veränderungen.

Fachspezifische Zugänge oder sehr allgemeine Lösungen und Generalisierungen reichen zunehmend einfach nicht mehr, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden; Kenntnis über theoretische und konzeptionelle Ansätze, sowie praxisorientierte detaillierte Pläne, Modelle und Auswertungsoptionen müssen entwickelt werden, um für alle Eventualitäten gewappnet zu sein. Da zusätzlich auch immer vernetzter gearbeitet und gehandelt wird, sind besonders die EntscheidungsträgerInnen gefordert – es müssen immer mehr Faktoren berücksichtigt werden, neue Konzepte und Techniken

müssen erlernt werden, um auf dem aktuellsten Stand zu bleiben. Die Wahrnehmung von Risiken und potenziellen Katastrophen spielt zunehmend eine Rolle, ebenso die Nutzung von Kommunikationsmedien und Verbreitung von Informationen, z.B. über Online-Plattformen und sozialen Medien. Zudem endet eine Katastrophe oft nicht an der Ländergrenze, somit muss insbesondere die internationale Zusammenarbeit und die Vernetzung von nationalen und internationalen Organisationen auf allen Ebenen verbessert werden um ressourceneffizient und zeitnah zu agieren, aber auch vorausschauend präventiv tätig zu sein.

Der Universitätslehrgang OeRISK „Risikoprävention und Katastrophenmanagement“ am Postgraduate Center der Universität Wien spezialisiert sich genau auf diese Problemstellungen und Herausforderungen. Dieses Thema ist intra-, inter- und multi-, ja sogar transdisziplinär – und genau diese daraus resultierenden breiten Anforderungen aus den verschiedenen Bereichen werden berücksichtigt. Ziel ist es folglich nicht einen weiteren Spezialisten auszubilden, sondern ein übergreifendes und zusammenhängendes Wissen fokussiert auf Risikoprävention und das Katastrophenmanagement aus den rechts-, wirtschafts-, politik-, medien-, natur-, ingenieurs-, sozial- und geisteswissenschaftlichen Bereichen zu vermitteln. Diese werden in Vorlesungen, Seminaren, Übungen und einer Exkursion vermittelt und in allen Lehrveranstaltungstypen immer mit der Praxis verknüpft. Durch die begrenzte Teilnehmerzahl (max. 24 Personen) bleibt auch ausreichend Zeit für Diskussionen, denn jede und jeder Studierende bringt sein und ihr Wissen in den Universitätslehrgang ein. Neben der Fachvermittlung durch die DozentInnen aus Forschung und Praxis ist auch der Anwendungsbezug in die verschiedensten Bereiche vor-

handen. Das Masterprogramm ist mit seiner holistischen Ansatzweise in Österreich einzigartig und vermittelt die Inhalte mit besonderer Berücksichtigung der Vielzahl an Akteuren und Blickwinkel. Die berufsbegleitende Weiterbildung umfasst 90 ECTS und bietet einen MSc – Master of Science Abschluss an.

Anschrift der Verfasser

Mag. Doris Bleier
Universität Wien, Postgraduate Center
doris.bleier@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Thomas Glade
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalforschung
thomas.glade@univie.ac.at

Michael Mitter, Christian Amberger

Schutzwaldverein – Der Verein zur Verbesserung und Erhaltung des Schutzwaldes in Österreich

Der Erhalt und die Verbesserung der Schutzfunktion der Wälder sind seit Jahrzehnten eine zentrale Aufgabe der österreichischen Waldpolitik und der mit Abstand kostengünstigste Beitrag für die Bewohnbarkeit und Entwicklung der österreichischen Berggebiete.

Die Naturgefahrenprävention hat in Österreich eine lange Tradition. Der Schutz vor Naturgefahren zielt dabei insbesondere auf die nachhaltige Sicherung der Daseinsgrundfunktionen, des land- und forstwirtschaftlichen Produktionspotenzials sowie der Wirtschaftsentwicklung in benachteiligten und strukturschwachen ländlichen Gebieten ab, um bestehenden negativen Trends (wie z. B. Urbanisierung, Landflucht, Abwanderung von Betrieben, Überalterung im ländlichen Raum, Ausdünnung der Infrastruktur und Basisdienstleistungen in dezentralen Gebieten) durch eine Steigerung der Attraktivität der Lebens- und Wirtschaftsbedingungen entgegenzuwirken.

Die Bedeutung der Schutzwirkungen der Wälder in Hinblick auf die unterschiedlichen Gefahrenarten wie Wildbäche, Lawinen, Steinschlag, Muren und Erosion rückt somit ins Zentrum volkswirtschaftlicher Betrachtungen, hat aber andererseits auch bisher noch nicht jenen Stellenwert im öffentlichen Bewusstsein erlangt, der aus schutzwaldstrategischen Überlegungen erforderlich erscheint.

Ungefähr 30 % (ca. 1,15 Mio. ha) der österreichischen Waldfläche besitzen gemäß Waldentwicklungsplanes (WEP) erhöhte oder hohe Schutzfunktion, rund 500.000 ha Waldfläche besitzen primäre Objektschutzwirkung. Mehr als die Hälfte der Schutzwaldbestände sind stabil, wobei lokal starke Überalterung zu labil-kritischen bis kritisch-instabilen Beständen führt. Der Anteil durch Wildverbiss geschädigter verjüngungsnotwendiger und verjüngter Flächen im Schutzwald im Ertrag beträgt 76% und im Schutzwald außer Ertrag 68%.

Um dem Schutzwald über die gesetzliche und institutionelle Ebene hinaus eine Stimme zu geben, wurde vor 30 Jahren wurde die ARGE Hochlagenaufforstung und

Schutzwaldsicherung gegründet, aus der sich im Jahr 1996 der Schutzwaldverein in der heutigen Form entwickelte. Der Schutzwaldverein sieht seinen Beitrag zur Erhaltung dieses wertvollen Schutzgutes:

- in der Beschäftigung mit schutzwaldrelevanten Themen auf allen Ebenen,
- in der Bereitstellung von Informationen,
- in der Organisation von Fortbildungsveranstaltungen gemeinsam mit den Schutzwaldreferenten der Bundesländer und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,
- in der Unterstützung anderer Schutzwaldakteure mit Fachkompetenz,
- in der Förderung von wissenschaftlichen Arbeiten,
- in der medialen Unterstützung der Schutzwaldarbeit sowie
- in der Mitwirkung bei der politischen Meinungsbildung.

Mit Öffentlichkeitsarbeit, Sensibilisierung, Mitwirkung, Weiterbildung und Vernetzung gibt der Schutzwaldverein dem Schutzwald eine Stimme. Schließlich ist der Wald die funktionale Klammer unseres Lebensraums.

Der Schutzwaldverein unterstützt zurzeit u. a. eine wissenschaftliche Arbeit über „Schutzwald in der Steiermark, seine öffentliche Wahrnehmung durch neue Auswertungen und Naturgefahrenhinweise im Zuge der 2. Revision der Waldentwicklungspläne“, war in die ÖREK Partnerschaft (Österreichische Raumentwicklungskonzept) zum Thema „Risikomanagement für gravitative Naturgefahren in der Raumordnung“ und in die Erstellung des Handbuchs „Bezirksrahmenpläne Neu“ eingebunden.

Links:

www.schutzwaldverein.at

<https://www.bmlfuw.gv.at/forst/oesterreich-wald/waldstrategie-2020.html>

<http://www.waldwissen.net>



Abb. 1: Der aktuelle Vorstand des Schutzwaldvereines; v.l.n.r.: Dipl.-Ing. Markus Wallner, Obmannstv. Dipl.-Ing. Harald Pirtscher, Obmann Dipl.-Ing. Michael Mitter, Dipl.-Ing. Stefan Spinka, Dipl.-Ing. Christian Amberger, Dipl.-Ing. Franz Klaushofer

Fig. 1: The current Board of Directors for the "protection forest association; Dipl.-Ing. Markus Wallner, Obmannstv. Dipl.-Ing. Harald Pirtscher, Obmann Dipl.-Ing. Michael Mitter, Dipl.-Ing. Stefan Spinka, Dipl.-Ing. Christian Amberger, Dipl.-Ing. Franz Klaushofer (left to right)

Anschrift der Verfasser:

DI Michael Mitter
Landesforstdirektion Salzburg
Fanny-von-Lehnert-Straße 1, 5020 Salzburg
michael.mitter@salzburg.gv.at

DI Christian Amberger
BMLFUW Abteilung Wildbach- und Lawinenverbauung
Marxergasse 2, 1030 Wien
christian.amberger@bmlfuw.gv.at

Paul Braun

22 Barrieren auf einen Streich in Peru

Dieses „Mammut“-Projekt hat wahrlich Geschichte geschrieben: Im Gebiet östlich von Lima, Peru, verursachten in der Vergangenheit jährlich wiederkehrende Regenfälle in Folge des Klimaphänomens El Niño Schlammlawinen und Erdbeben. Seit Ende Februar 2016 schützen nun 22 Murgangbarrieren von Geobrugg Menschen und Infrastruktur in den neun Tälern der Region Chosica.

Nicht nur die schiere Projektgrösse - auch die Umsetzungsdauer ist imposant: Alle 22 Barrieren wurden zusammen mit einem Peruanischen Geobrugg-Partner in sensationell kurzer Zeit installiert. Für die Schweizerischen Spezialisten für Schutzlösungen zur Naturgefahrenabwehr lagen zwischen Auftragseingang Mitte November und der Einweihungsfeier Ende Februar 2016 nur wenige Wochen. Bemerkenswert waren die Transportmittel: per Luftfracht von der Schweiz nach Lima und per Muskelkraft auf den

letzten Kilometern. Bei beiden Transportarten kam der Vorteil des niedrigen Gewichtes der flexiblen Systeme mit hochfesten Stahldrahtnetzen im wahrsten Sinne des Wortes voll zum Tragen.

Die Barrieren wurden mit Hilfe der Bemessungsrichtlinie ISSN 2296-3456 des WSL dimensioniert und für die entsprechende Verwendung konzipiert. Mit Hilfe der Geobrugg internen Berechnungssoftware Deb-Flow wurden die Rückhaltevolumen definiert und in die entsprechende Topographie eingepasst.

Besonders stolz ist Geobrugg auf den Umfang der Sicherungsmassnahmen, die sich über neun Täler erstrecken. „Wir haben hier in Rekordzeit die grösste Murgangschutz-Anlage in Südamerika realisiert“, freut sich Geobrugg Regional Manager Lateinamerika, Gabriel von Rickenbach.



Abb. 1:
Errichtung der Murgangbarrieren in Peru: Bei allen Bildern handelt es sich um UX180-Barrieren mit einer Höhe von 6m. Dieser Typ ist ausgelegt um 180 kN/m/hfl an Murdruck stand zu halten. Wobei der Abstand der HEB 260 Stützen im Bereich von 6-8 m eine ideale Distanz darstellt um den Naturgewalten zu trotzen.

Ein Film (in Spanisch) der lokalen Behörden zeigt die Installation im Detail: <https://www.youtube.com/watch?v=N-FfeLYDGh4&sns=em>

Anschrift der Verfasser

Paul Braun
Geobrugg AG
Aachstrasse 11
CH-8590 Romanshorn, Schweiz
paul.braun@geobrugg.com



Inserentenverzeichnis

Firma	Inserat Seite
MEVA Schalungs-Systeme Ges.mbH/ Alzner Baumaschinen Gesellschaft mbH	6
Alpinfra consulting + Engineering gmbh	13
Geobruigg AG	48
Geolith Consult , Technisches Büro für Geologie	73
Gunz ZT GmbH	37
GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH	25
Heli Austria GmbH	4
Helix Fluggesellschaft mbH	49
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH	8
I.n.n., Ingenieurgesellschaft für Naturraum-Management GmbH & Co KG	25
Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH	59
J KRISMER GmbH	223
MAIR WILFRIED GMBH	73

Firma	Inserat Seite
Mangeng Transporte GmbH	37
Moser/Jaritz & Partner Ziviltechniker GmbH	37
PERZ PLAN Ingenieurbüro	58
ZT Pirker&Visotschnig	85
RECKLI GmbH	85
Rusch Erdbau	153
Skolaut NATURRAUM	97
Sommer GmbH	97
Stadelmann Bau	139
Triplus Beton GmbH & Co KG	97
TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH	171
UNIDATA GEODESIGN GMBH	171
Zech Kies GmbH	U4



**Rundkorn | Rheinkies | Sand | Splitt | Hartsplitt
Betonkies | Frostschutz | Flickschotter
Bruchschotter | Steine | Vorgrunder**