



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

GERINNE-, BÖSCHUNGS- UND HANGTYPEN IN WILDBÄCHEN

ENTWURF FÜR EIN PRAXISTAUGLICHES VERFAHREN ZUR ABSCHÄTZUNG DER FESTSTOFFLIEFERUNG

TYPES OF CHANNELS, EMBANKMENTS AND SLOPES IN MOUN- TAIN TORRENTS

CONCEPT FOR A PRACTICAL METHOD TO ESTIMATE SEDIMENT DELIVERY

Eva Frick¹, Benno Steffen² und Hans Kienholz²

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe eines Sets von Gerinnesohlen- und Böschungstypen wird ein Verfahren entwickelt, das der rationellen Abschätzung der Feststofflieferung von Wildbächen im Gelände dienen soll.

Je nach Grösse und Zugänglichkeit soll die Abschätzung im einzelnen Wildbach durch eine erfahrene Fachperson in einem oder wenigen Tagen erfolgen können, nachdem die notwendigen Vorabklärungen durchgeführt worden sind (allg. Charakter des Baches, Abflussverhältnisse, Aufzeichnungen früherer Ereignisse, Murfähigkeit, usw.).

Das Beurteilungsverfahren basiert auf einer Einteilung des Baches in mehr oder weniger homogene Abschnitte von Gerinne-, Böschungs- und Hangbereichen. Diesen Abschnitten werden in einer mehrstufigen Abfolge definierte Prozesstypen und Aktivitätsstufen zugeordnet. Prozessspezifisch werden dann mögliche Feststofflieferungen abgeschätzt. Abschliessend wird die Feststoffbilanz für die betrachteten Abschnitte und zusammenfassend für den gesamten Wildbach erstellt.

Die Abschätzung der Geschiebelieferung aus Hängen und Böschungen auf der Basis von Typisierungen wurde in verschiedenartigen Wildbächen getestet; die Methodik ist vielversprechend bezüglich Effizienz sowie Qualität und Nachvollziehbarkeit der Resultate. Noch nicht ausgereift und Gegenstand laufender Projekte ist dagegen der Weg über eine Typisierung im Gerinnesohlenbereich.

Key words: Gefahrenbeurteilung, Wildbäche, Abschätzung Feststofflieferung, praxistaugliches Verfahren, Gerinne-, Böschungs- und Hangtypen

¹ tur (Teufen und Romang) gmbh, Promenade 129, CH-7260 Davos Dorf. frick@tur.ch.

² Geographisches Institut der Universität Bern, Gruppe für Angewandte Geomorphologie und Naturgefahren, Hallerstr. 12, CH-3012 Bern. steffen@giub.unibe.ch, kienholz@giub.unibe.ch.

ABSTRACT

This newly developed method for the estimation of the potential sediment delivery in mountain torrents is based on a set of channel, embankments and slope types. Depending on the size and accessibility of a particular torrent, the estimation procedure is designed to be carried out by an expert in one - or maximum - two days, whereby the preparation work such as the description of the general characteristics of the torrent, runoff conditions, records of historic events, capacity of debris flow events is not included. It therefore serves as a handy and very efficient method for experts in the field.

In the field, channel, embankments and slopes are divided into relatively homogeneous sections. According to the method developed these sections are then evaluated step by step, assigning them a type of process, a degree of activity and a potential sediment delivery. The results of the analysis of every single section are merged and used for the assessment of the overall potential sediment delivery in the torrent.

This new method for the estimation of the sediment delivery from slopes and embankments on the basis of classifications has been tested in different torrents. The methodology is very promising as regards the efficiency as well as the quality and comprehensibility of the results. An analogue methodology for the channel bed is not yet matured and subject of current projects.

Key words: hazard assessment, mountain torrents, estimation of potential sediment delivery, comprehensible and rational method, types of channels, embankments and slopes

EINLEITUNG

Die Gefahren, die von einem Wildbach ausgehen, sind vielfältig. Verschiedene Prozesse im Einzugsgebiet, entlang eines Gerinnes und im Gerinne selbst können zu Schäden an Siedlungen und wichtigen Infrastrukturen führen. Eine wichtige, jedoch gleichzeitig schwierig zu beurteilende Grösse sind die erwarteten Geschiebemengen. Deren Abschätzung enthält viele Unsicherheiten. Dennoch sind für eine Massnahmenplanung und die raumplanerische Umsetzung konkrete Aussagen notwendig. Die Fachleute in der Praxis sind deshalb auf effizient anwendbare und bezüglich Umsetzung möglichst aussagekräftige Beurteilungssysteme angewiesen.

FESTSTOFFHAUSHALT IN WILDBÄCHEN

Im Gegensatz zu Kiesbettflüssen im Flachland erfolgt der **Geschiebetransport** in Wildbächen nur während wenigen, seltenen Ereignissen mit sehr hohen Abflusswerten. Zwischen Feststoff- und Abflussmenge besteht oft kein direkter Zusammenhang, insbesondere bei Ereignissen mit kleineren und mittleren Abflusshöhen, wie dies beispielsweise Hegg und Rickenmann (2000) belegen. Diese Streuungen sind mit konventionellen Transportformeln nur beschränkt erklärbar. Ein Ansatz dazu könnte bei der Gerinnemorphologie zu finden sein.

Der **Verlagerungsvorgang** im Gerinne kann vereinfacht in Geschiebe- und Murgangprozess unterschieden werden, wobei letztere oft viel grössere Feststoffmengen zu transportieren vermögen und auch aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeiten und Stosskraft ein viel grösseres Gefahrenpotential darstellen.

Verlässliche **Messungen von transportierten Feststoffmengen** anlässlich von Wildbacher-
eignissen gibt es bisher nur wenige, unter anderem weil während Hochwasser und Murgängen
messtechnisch äusserst schwierige Bedingungen herrschen.

Bezüglich **Feststoffherkunft** haben Untersuchungen nach den Ereignissen von 1987 einen
mittleren Materialanteil aus dem Hang von 16% ermittelt. Der Grossteil der Feststoffe ist
demnach aus den gerinnenahen Bereichen – der Gerinnesohle und den angrenzenden Bö-
schungen – zu erwarten (Lehmann 1993). Die Feststoffrelevanz von nicht durch Gerinnepro-
zesse ausgelösten Hangprozessen ist davon abhängig, ob diese Prozesse auch während des
Ereignisses stattfinden oder nicht. Je nach lokalen Gegebenheiten, Feststoffpotential und Er-
eignisbedingungen kann ihr Anteil an der gesamten Feststofflieferung auch deutlich höher
sein (Romang et al. 2004).

ENTWICKLUNG DES VERFAHRENS – ZIELSETZUNG

Zur Abschätzung der Feststofflieferung in alpinen und voralpinen Wildbächen wird anhand
von Begehungen zahlreicher Wildbäche, von Diskussionen mit Fachleuten sowie unter Mit-
einbezug von Elementen bestehender Methoden ein pragmatisches Beurteilungsverfahren
entworfen. Dabei soll den unterschiedlichen geologischen Verhältnissen, der unterschiedlichen
Einzugsgebietgrösse sowie den verschiedenen vorherrschenden Teilprozessen Rechnung
getragen werden. Das System ist als Teil der Gesamtbeurteilung eines Wildbaches konzipiert,
welche auch Abflussabschätzungen, Schwachstellenanalysen und ein Aufzeigen von Gefähr-
dungen beinhalten muss.

Das Verfahren soll mittels einfacher Hilfsmittel in für die Praxis vernünftigen Zeitaufwand
anwendbar sein. Der Anspruch der Praxistauglichkeit bedingt auch, dass die Aussagen auf die
für die Gefahrenbeurteilung massgebenden Szenarien ausgerichtet werden.

GRUNDSÄTZE DES BEURTEILUNGSVERFAHRENS

Das Beurteilungssystem basiert auf der **räumlichen Einteilung eines Wildbaches in Gerin-
nesohle, Böschungen und Hänge**. Dabei wird eine Böschung als die seitliche Begrenzung
eines Gerinnes definiert, welche noch durch Gerinneprozesse beeinflussbar ist. Böschungs-
prozesse finden also meist während Ereignissen im Gerinne statt.

Die Beurteilung **erfolgt abschnittsweise**: Im Feld werden in Gerinne, Böschungen und Hän-
gen möglichst homogene Abschnitte respektive Bereiche mit gleichen Prozessen definiert.
Dieser Arbeitsschritt erweist sich stets als eine Kompromisslösung zwischen Berücksichti-
gung von kleinräumigen Ausprägungen und der für eine effiziente Beurteilung nötigen Gene-
ralisierung.

Abbildung 1 zeigt das zeitliche Verhältnis von relict und rezent geprägter Morphologie, Pro-
zessen in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft und zukünftig mobilisierbaren Feststof-
fen. Im Folgenden werden Elemente daraus genauer erläutert.

Der **Zeitpunkt der Beurteilung** bestimmt, bei welcher Grunddisposition und bei welchen
Wirkungswegen die Momentaufnahmen erfolgen. Spuren und Informationen von vergange-
nen Ereignissen können nur als Hinweise auf die Zukunft verwendet werden, wenn sich diese
Elemente nicht verändert haben. Ursachen für entscheidende Veränderungen können bei-
spielsweise neue Schutzbauten, sehr seltene Ereignisse, welche zu einer Destabilisierung oder
der Leerräumung von Feststoffherden geführt haben, neue Schwachstellen im Kegelbereich
oder auch die Folgen einer Klimaerwärmung sein. Eine Beurteilung muss deshalb auch eine

Einschätzung beinhalten, ob es möglich oder wahrscheinlich ist, dass sich die Grunddisposition für feststoffliefernde Prozesse und deren Wirkungswege während dem zugrundegelegten Zeithorizont verändern.

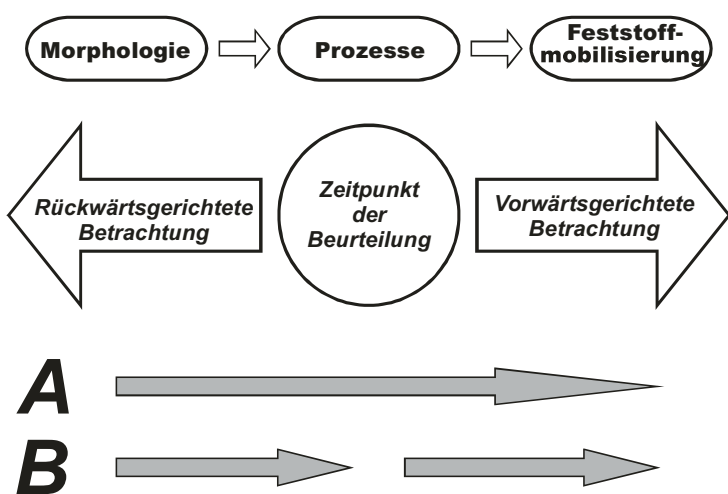


Abb. 1: Rückwärtsgerichtete und vorwärtsgerichtete Indikation bei der Beurteilung der Feststofflieferung
 Fall A : Grunddisposition für Feststofflieferung und Wirkungswege sind unverändert
 Fall B : Grunddisposition und Wirkungswege haben oder können sich in naher Zukunft verändern
"Morphologie": Ausdruck der Bachgenese und Ergebnis früherer Ereignisse
"Prozesse": beobachtete aktuelle Vorgänge und Interpretation rezenter Spuren
"Feststoffmobilisierung": Interpretation von Morphologie, Prozessen und weiteren Feststellungen hinsichtlich künftiger Feststoffmobilisierung bei Hochwasser und Murgängen

Fig. 1: Backward and forward directed indication in the assessment of sediment delivery
 Case A: The disposition for sediment delivery and the chains of processes are unchanged
 Case B: The disposition and the chains of processes have changed or may change in the near future
"Morphologie" = morphology: image of the torrent history, result of former events
"Prozesse" = processes: observed recent processes and interpretation of recent vestiges
"Feststoffmobilisierung" = mobilization of sediments: interpretation of morphology, processes and other observations concerning future mobilization of sediments on the occasion of floods and debris flows

Die **rückwärtsgerichtete Betrachtung** (s. Abb. 1) hilft beim Verständnis der Entstehung der Geländeformen und kann auch Hinweise über zukünftig mögliche Prozesse und deren Ausprägung geben. Dabei muss unterschieden werden zwischen rezenten Prozessen sowie solchen, welche die heutige **Morphologie** geprägt haben, die bei der aktuellen Grunddisposition jedoch nicht mehr vorkommen können (z.B. Einflüsse einer früheren Vergletscherung). Auch ist zu beachten, dass die Entstehung bestimmter **Böschungs- und Hangmorphologien** nicht direkt abhängig von der Grösse der Ereignisse im Gerinne sein muss; d.h. auch bei kleineren Abflüssen können z.B. grössere Uferanbrüche oder Rutschungen stattfinden. Massgebliche **Gerinnemorphologien** hingegen bilden sich oft erst bei Ereignissen mit einer Jährlichkeit von mehr als 50 Jahren (Grant et al. 1990). Die Morphologien der einzelnen Gerinnesohlabschnitte können deshalb bis zu einem gewissen Grad Rückschlüsse auf die Vorgänge während eines Ereignisses geben. Die dabei herrschenden hydraulischen Verhältnisse sind oft anhand der neu entstandenen oder verbleibenden Formen ablesbar.

Bei der **vorwärtsgerichteten Betrachtung** (s. Abb. 1) wird abgeschätzt, wie viele Feststoffe während verschiedener Szenarien mobilisiert und transportiert werden können. In der Schweiz sind für die Gefahrenbeurteilung Zeithorizonte von 30, 100 und 300 Jahren massgebend.

ZUM BEURTEILUNGSVERFAHREN ALS GANZES

Als Hilfsmittel und Beobachtungsanleitung für die Beurteilung und die Aufnahmen von Gerinne-, Böschungs- und Hangparametern wird ein **modulares Aufnahmeinstrumentarium** bestehend aus einem Set von übersichtlichen Formularen entwickelt. Diese Module beinhalten einen kompakten Übersichtsteil, einen detaillierten Felderhebungsteil – getrennt in die Teilbereiche Gerinnesohle, Böschung und Hang – und einen Auswertungsteil, wo die Ergebnisse der einzelnen Abschnitte zusammengefasst werden.

Das Verfahren unterteilt die Beurteilung in einzelne Schritte, in denen die vorkommenden Prozesstypen, deren Aktivierung, die Gerinne-Erreichbarkeit von Prozessen und schliesslich deren mögliche Feststofflieferung betrachtet wird. Abbildung 2 gibt eine Übersicht dazu.

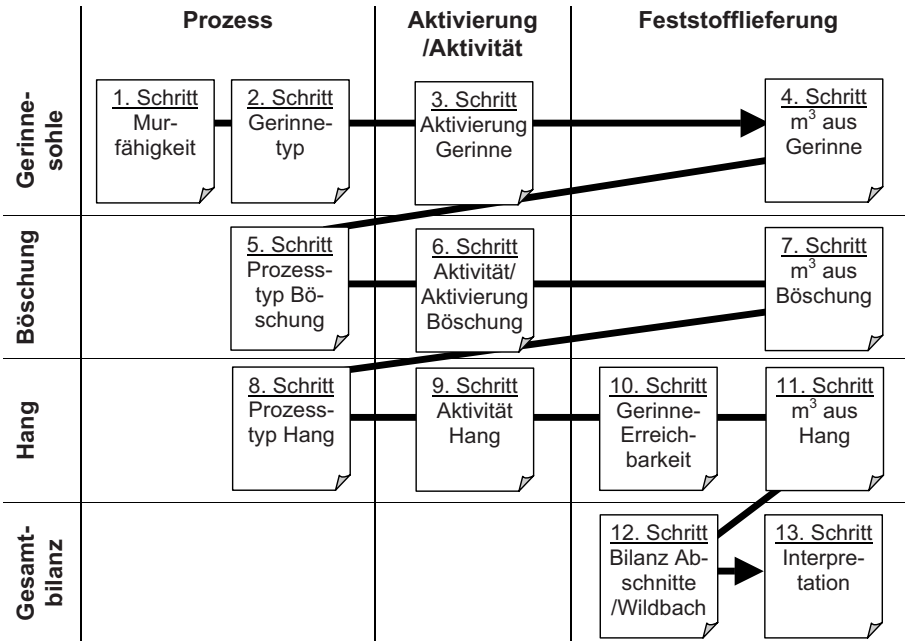


Abb. 2: Übersicht über die verschiedenen Module des Beurteilungsverfahrens
Fig. 2: Overview on the procedure of assessment

Während die Abschätzung der Geschiebelieferung aus Hängen und Böschungen mit Hilfe von Typisierungen bereits als erprobtes Verfahren betrachtet werden kann (Schritte 5 bis 11 gemäss Abb. 2), steht ein analoges Verfahren für den Gerinnesohlenbereich, vor allem der Weg vom 2. Schritt (Gerinnetyp) zum 3. und 4. Schritt noch in Entwicklung und ist Gegenstand eines laufenden Projektes. Dazu sollen Elemente von bestehenden Verfahren mit der Morphologie und der Funktion von Gerinneabschnitten kombiniert werden. Zusammengefasst wird folgendes Vorgehen für den Gerinnebereich erarbeitet:

Für den ersten Schritt, die **Bestimmung der Murfähigkeit**, haben Spreafico et al. (1996) und Rickenmann (1995) Vorgehensvorschläge erarbeitet: Dabei wird die Murfähigkeit anhand von Aufzeichnungen, Luftbildern, „stummen Zeugen“ oder der Topografie ermittelt. Wegen des meist höheren Feststofflieferungsvermögen von Murgängen im Vergleich zu normalem Geschiebetrieb ist dieser Beurteilungsschritt massgebend für die Abschätzung des mobilisierbaren Lockermaterials.

Die Schritte 2 - 4 gemäss Abb. 2 werden gegenwärtig noch mit dem Vorgehen substituiert, das in Spreafico et. al. (1996) beschrieben ist. Das heisst, dass hier eine Abschätzung der im Hochwasserfall erodierbaren Geschiebekubaturen bzw. der allenfalls zur Verfügung stehenden Ablagerungskapazitäten aufgrund der Gerinnegeometrie, der Materialeigenschaften, der Funktionalität des Gerinneabschnittes ("Transitstrecke", "Erosionsstrecke" usw.) und der rechnerischen Abschätzung der Transportkapazität erfolgt. Ziel des weiterführenden Projektes ist es – analog zu den Böschungen und Hängen – die Beurteilungsschritte „Prozesstyp“ und „Aktivierung“ zu entwickeln und zu erproben.

Für die **Typisierung von Gerinnesohlen** (Schritt 2 in Abb. 2) existieren verschiedene Ansätze (z.B. de Jong 1995, Grant et al. 1990), die jedoch anderen Zielsetzungen dienen. Geprüft wird u.a., ob die im Zusammenhang mit Gewässer-ökologischen Massnahmen verwendeten Gerinne(-Sohlen)-Typen (z.B. Schälchli 1991) für die Beurteilung der Feststofflieferung angepasst werden können. Diese Verfahren beziehen sich in der Regel auf Niedrigwasser- und Normalabflüsse in weniger steilen Gewässern. Sie umfassen meist eine Vielzahl von Typen, die für jene Fragestellung sinnvoll und nützlich sind. Eine Kondensation auf wenige, bezüglich Erosionsanfälligkeit und Ablagerungsmöglichkeiten im Hochwasserfall aussagekräftige Typen erweist sich als recht schwierig.

Im dritten Beurteilungsschritt (Abb. 2) soll ein Modul analog zu demjenigen bei den Böschungen und Hängen geschaffen werden, anhand dessen Materialeigenschaften und Mobilisierbarkeit beurteilt werden können. Damit sollen Aussagen ermöglicht werden, bei welchen Ereignisgrössen die **Aktivierung eines Gerinneabschnittes** als möglich oder wahrscheinlich angesehen wird.

Zur Abschätzung der **Feststofflieferung aus einem Gerinneabschnitt** (Schritt 4 in Abb. 2) werden die von Lehmann (1993) anlässlich der Ereignisse von 1987 erarbeiteten Erfahrungswerte beigezogen. Gleichzeitig soll aufgrund von Gerinnetypen und Indikatoren bezüglich Aktivierung bzw. Aktivierbarkeit beurteilt werden, ob diese Erfahrungswerte wegen spezieller lokaler Verhältnisse oder infolge des möglichen Ablaufs der Erosionsprozesse deutlich überschritten werden können.

Im Folgenden wird das bereits gut erprobte Typisierungsverfahren für die Geschiebelieferung aus den Hängen und Böschungen ausführlicher beschrieben.

BEURTEILUNG VON BÖSCHUNGEN UND HÄNGEN

Wie weiter oben erwähnt, wird eine Böschung als die seitliche Begrenzung eines Gerinnes definiert, welche noch durch Gerinneprozesse beeinflussbar ist. Böschungsprozesse finden also meist während Ereignissen im Gerinne statt. Als Hänge bezeichnet werden dementsprechend diejenigen höher gelegenen Bereiche, wo die Gerinneprozesse (Tiefen- und Seitenero-

sion) keine direkten Auswirkungen mehr haben, wo es somit um selbständige Hangprozesse geht.

Schritte 5 und 8 (Abb. 2): Prozesstyp in Böschungs- und Hangabschnitten

Jedem Böschungs- oder Hangabschnitt wird ein Prozesstyp zugeordnet. Dazu wurden insgesamt 32 Typen von Seitenerosion, Runsenerosion, Rutschungen und Sturzprozessen definiert. Die Unterteilung erfolgt in Entscheidungsbäumen aufgrund im Feld beurteilbarer Kriterien. Diese Kriterien wurden so ausgewählt, dass sie bezüglich der Feststofflieferung möglichst aussagekräftig, im Feld rasch und mit einfachen Hilfsmitteln bestimmbar und weitgehend unabhängig von Wetter und Jahreszeit sowie der Subjektivität des Beurteilenden sind. In der Tabelle 1 werden die Unterscheidungskriterien aufgelistet, anhand derer die Entscheidungsbäume aufgebaut wurden.

Tab.1: Unterscheidungskriterien Prozesstypen Böschungen und Hänge
 Tab. 1: Criteria to differ types of embankments and slopes

Prozess	Unterteilungskriterien Prozesstypen	Informationsgehalt
Seitenerosion	Genese des Lockermaterials	→ Lockermaterialeigenschaften → Geschiebepotential
Runsenerosion	Ausbildung der Sohle	→ Häufigkeit von Ereignissen → vorkommendes Lockermaterial versus Transportkapazität → Geschiebepotential → Wahrscheinlichkeit der Aktivierung
	Runsen-Querschnitt	→ Entstehungsart → vorkommende Prozesse → zukünftig mögliche Prozesse
	Murfähigkeit	→ mögliche Erosionsmächtigkeiten → Transportkapazität
Rutschungen	auslösende Faktoren	→ Wahrscheinlichkeit, dass Rutschung während Hochwasser stattfindet → allg. Prozesswahrscheinlichkeit
	Hangmorphologie	→ Prozesswahrscheinlichkeit → Geschiebepotential
	Gründigkeit	→ Prozesswahrscheinlichkeit → auslösende Faktoren → Geschiebepotential
Sturzprozesse	Komponentengrösse	→ Geschiebepotential → Möglichkeit der Beeinflussung des Ereignisablaufes
	Gesteinsart	→ Prozesswahrscheinlichkeit → Geschiebepotential

Abbildung 3 zeigt eine Böschung im Schipfenbach (Silenen, CH), in dem auf etwa der Hälfte der Gesamtgerinnellänge Seitenerosionsprozesse stattfinden. Spuren von kürzlichen Ereignissen bezeugen die Tatsache, dass in diesem Wildbach häufig Murgänge stattfinden. Die etwa 10 m hohe Böschung ist aus unterschiedlichem Lockermaterial aufgebaut. Im unteren Bereich

dominieren kleinere Korngrößen. Darauf liegen Grossblöcke mit B-Achsen von bis zu 3 m. Diese wurden durch Sturzprozesse abgelagert, währenddem es sich im unteren Bereich vermutlich um Moränenmaterial handelt. Für die Einteilung in einen Prozesstyp, der bei Seitenerosion durch die Genese des Lockermaterials bestimmt wird, ist das Material am Böschungsfuss massgebend. Darüberliegendes Material wird ungeachtet seiner Ausprägung nachstürzen. Mit der Einteilung in den Prozesstyp „*Seitenerosion in Moränenmaterial*“ wird vereinfachend beschrieben, dass – im Gegensatz zu z.B. Seitenerosion in häufig geringmächtigem „*Gehänge- und Verwitterungsschutt*“ – ein oft unlimitiertes Feststoffpotential vorhanden ist. Auch die Lockermaterialeigenschaften können generell charakterisiert werden.



Abb. 3: Beispiel zu aktiver Seitenerosion mit Ereignisspuren in mächtigen Sedimenten (Schipfenbach, CH)
Fig. 3: Example of active lateral erosion with traces of past events in thick sediments (Schipfenbach, CH)

Schritte 6 und 9 (Abb. 2): Zuteilung einer Aktivitäts-/ Labilitätsstufe pro Böschungs- und Hangabschnitt

Durch die Beobachtung der Disposition und der Aktivität wird jedem Abschnitt eine **Aktivitäts- und Labilitätsstufe** zugeordnet. Prozessspezifisch sind dazu grafische Checklisten entwickelt worden. Darin sind verschiedene Merkmale aufgelistet. Ihre Abstufungen sind jeweils so platziert, dass je weiter rechts sie sich befinden, umso höher ihre Aktivität oder Labilität ist. Im Feld beobachtete Merkmale werden von der beurteilenden Person markiert. Anschliessend wird die Kolonne bestimmt, in welcher sich der visuelle Schwerpunkt der festgestellten Merkmale befindet. Daraus ergibt sich eine von vier Aktivitäts- oder Labilitätsstufen. Diesen Stufen sind Aussagen über Hochwasser bestimmter Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Zusammenfassend kommt man schliesslich zur Aussage, welche Böschungen und Hänge bei „seltenen“ oder „sehr seltenen“ Ereignissen aktiviert werden.

Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Checkliste für Seitenerosion mit der Beurteilung der Böschung aus Abbildung 3.

Korngrößen- verteilung	schlecht sortiert, oder v.a. grosse Korngrößen			gut sortiert, oder v.a. kleine Korn- größen
matrix-/ komp.- gestützt	komponenten- gestützt			matrixgestützt
max. Korngrös- se	Grossblöcke Blöcke	Steine	Kies Sand	siltiges oder ton- niges Material
Form der Mehr- heit der Kom- ponenten	blockige Kom- ponenten			schiefrige Kom- ponenten
Verfestigung	stark verfestigt	verfestigt		unverfestigt
Wasser- haushalt				Wasseraustritte, Vernässungen
Böschung- fuss	im Anstehenden	grosse Blöcke		
Vegetation am Böschungsfuss	bis ans Gerinne bewaldet	bis ans Gerinne bewachsen	mehr als 70 % bewachsen	offen
Lage im Gerinne	Gleithang	Gerinne +/- ge- rade		Prallhang
Breite des Ge- rinnes	relative Verbrei- terung			relative Verengung
Funktion des Gerinne- abschnittes	Umlagerungs- strecke mit Ak- kumulation	Transitstrecke		Umlagerungs- strecke mit Ero- sion
Sohlenzustand	im Anstehenden, Residualblöcke, Zeichen längerer Stabilität	Gerinnesohle abgepflästert		Gerinnesohle nicht ab- gepflästert
Böschungs- neigung	gering, hoch	mittel		
Böschungs- morphologie	gleichmässige Neigung	Verflachung ge- gen Gerinne		
Spuren von Ak- tivität	keine frischen Erosionsspuren		aktive Erosion, Unterspülung	
„nicht aktiv“ „relikt“		„wenig aktiv“ „stabil“		„aktiv“
„sehr aktiv“ „instabil“				
nicht oder nur bei „sehr seltenen“ (etwa 300-jährlichen Ereignissen) aktiv		bei „seltenen“ (etwa 100-jährlichen Ereignissen) aktiv		

Abb. 4: Checkliste zur Beurteilung der Aktivität bei Seitenerosion mit beispielhafter Beurteilung
 Fig. 4: Checklist for the assessment of the activity of lateral erosion with an example of a possible assessment

Die Auswahl der Merkmale und deren Platzierung in den Checklisten erfolgte nach theoretischen Kriterien und einer Überprüfung und „Eichung“ im Feld. Die Arbeit mit graphischen Checklisten nach einem in Kienholz (1977) entwickelten Muster trägt unter anderem den Umständen Rechnung, dass

- die Kombination von Faktoren und nicht (nur) deren Einzelwirkung entscheidend ist,
- situationsangepasste Gewichtungen notwendig sind, da die einzelnen Merkmale nicht bei allen Lokalitäten gleich relevant sind,

- die Vergleichbarkeit gewährleistet sein muss, auch wenn nicht an allen Standorten die gleichen Faktoren beurteilbar sind.

Die Checkliste für Seitenerosion beinhaltet Merkmale über

- Lockermaterialeigenschaften, welche die Widerstandsfähigkeit beeinflussen,
- die Ausprägung des Böschungsfusses, als dem Angriffspunkt der erosiven Kräfte,
- die Ausprägung des Gerinnes, welche lokal über das Ausmass der erosiven Kräfte bestimmt,
- die Böschungsmorphologie an sich
- sowie über Spuren von aktiven Prozessen.

Bei der Böschung aus Abbildung 3 handelt es sich gemäss der Beurteilung dieser Merkmale um einen „*sehr aktiven*“ Abschnitt, wo Erosion auch bei Ereignissen mit geringer Wiederkehrdauer stattfindet. Beim Szenario eines etwa 100-jährlichen Ereignisses wird davon ausgegangen, dass diese Böschung in bedeutendem Ausmass zur Feststofflieferung beiträgt.

Schritt 10 (Abb. 2): Beurteilung der Gerinne-Erreichbarkeit von Hangprozessen

Bei den selbstständigen Hangprozessen folgt in einem dritten Schritt die Beurteilung der Gerinne-Erreichbarkeit. Hier wird abgeschätzt, ob überhaupt ein Anteil des im Hang mobilisierten Materials aufgrund seiner Eigenschaften und der Hangmorphologie ins Gerinne gelangen kann und wenn ja, wie gross dieser ist.

Dazu wurde ein Modul im Sinne von prozessspezifischen Beobachtungsanleitungen erstellt. Es basiert auf Kriterien der Hangneigung und des Sohlengefälles (bei Runsen), der Längsprofile, der Oberflächenbeschaffenheit und Rauigkeit sowie Spuren von früheren Prozessen.

Schritt 7 und 11 (Abb. 2): Abschätzung der Feststofflieferung aus Böschungen und Hängen

Prozessspezifisch müssen schliesslich im letzten Beurteilungsschritt Feststoffpotentiale und mögliche Feststofflieferungen abgeschätzt werden.

Dabei ergeben sich prozessspezifische Schwierigkeiten, die das Ausmass der Unsicherheit bei der Abschätzung bestimmen:

Bei der Seiten- und Runsenerosion werden für die Bestimmung der Erosionsmächtigkeiten die Erfahrungswerte nach Lehmann (1993) beigezogen. Dabei muss auch beurteilt werden, ob diese anlässlich der Ereignisse von 1987 bestimmten Mittelwerte durch spezielle geotechnische Bedingungen, das Zusammenspiel verschiedener Prozesse oder durch Mehrfachereignisse überschritten werden können.

Bei Rutschungsprozessen müssen zu der Gründigkeit auch die Ausdehnung in der Fläche, die Gerinneerreichbarkeit sowie möglicherweise der mobilisierbare Anteil der Rutschmasse abgeschätzt werden. Durch die Anzahl der abzuschätzenden Parameter kann sich die Unsicherheit in der Abschätzung erhöhen. Wichtig ist die Unterscheidung zwischen selbstständig aus dem Hangbereich sowie durch Gerinneprozesse mitausgelösten Rutschungen.

Stein- und Blockschlag dürften nur in wenigen Fällen für die Feststofflieferung massgebend sein. Einerseits durch oft geringe mobilisierbare Materialmengen, andererseits weil es sich um nicht durch Gerinneprozesse ausgelöste, meist kontinuierliche Prozesse handelt. Anders ist dies bei Felstürzen, welchen hohe Kubaturen liefern können und auf den Ereignisablauf (Verklausungen, Aufstau) Einfluss nehmen können.

GESAMTBILANZ

Schritt 12 und 13 (Abb. 2): Bilanzierung und Interpretation der erhobenen Feststofflieferungen

Die geschätzten Feststofflieferungen von Gerinne, Böschungen und Hänge werden für jeden Gerinneabschnitt zusammengefasst und anschliessend in eine **Schlussbilanzierung** für den ganzen Bach integriert. Dabei wird einerseits zwischen reinem Geschiebetrieb und Murgangereignissen und andererseits zwischen „seltenen“ (etwa 100-jährlichen Ereignissen) und „sehr seltenen“ (etwa 300-jährlichen Ereignissen) unterschieden.

Für die Analyse können die dokumentierten Bacheigenschaften wichtige Hilfsmittel darstellen: Die **Prozesstypen** enthalten zahlreiche Informationen über auslösende Faktoren, mögliche Feststoffpotentiale und die Wahrscheinlichkeit von Prozessen. Diese Informationen der Prozesstypen können für eine allgemeine Charakteristik des Einzugsgebietes und die Formulierung von Szenarien weiterverwendet werden.

Bei den Gerinneabschnitten müssen die für den Geschiebehalt relevanten **Schlüsselstrecken** identifiziert werden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Abschnitte mit aussergewöhnlich grossen Feststoffpotentialen, lange Felsstrecken, welche als Sohlenfixpunkte die Erosionsbasis im Längenprofil bilden, oder ausgeprägten Flachstrecken. Bei letzteren muss mit der Berechnung der Transportkapazität z.B. nach Smart und Jäggi (1983) abgeschätzt werden, wie viel Material in untenliegende Abschnitte weitertransportiert werden kann. Dies kann auch bei anderen Abschnitten zur Validierung der abgeschätzten Feststoffmengen durchgeführt werden. Bei der Interpretation ist Möglichkeit von Mehrfachereignissen miteinzubeziehen.

Solche Überlegungen müssen bei der Analyse berücksichtigt werden. In jedem Fall gilt es anzumerken, dass es sich bei den erhobenen Werten nicht um absolute Zahlen, sondern nur um **Bereiche oder Bandbreiten möglicher Feststofflieferungen** handelt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND OFFENE FRAGEN

Das entworfene Beurteilungsverfahren liefert Ansätze, wie ein solches System in der Praxis umgesetzt werden kann. Das vorliegende System für Böschungen und Hänge wurde in unterschiedlich ausgestatteten Wildbächen getestet und hat sich in den Grundsätzen bewährt. Die einzelnen Beurteilungselemente erwiesen sich als übersichtlich und gut anwendbar. Eine Erhebung kann innerhalb von ein bis zwei Tagen erfolgen. Besonders wichtig erscheint, dass durch die strukturierten Aufnahmen eine gute Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit gewährleistet wird. Die relativ detaillierten Beobachtungsanleitungen ermöglichen es auch, das System für Ausbildungszwecke zu verwenden. Erfahrenere Fachleute können eine individuell vereinfachte Anwendung wählen.

Das System liefert nicht allein die erwarteten Feststofflieferungen verschiedener Ereignisgrössen. Durch die Dokumentation der Prozesstypen und der Aktivität bestehen Möglichkeiten, die abgeschätzten Kubaturen hinsichtlich Prozessauslösungen, Prozessverhalten und Prozesswahrscheinlichkeit zu interpretieren und zu bewerten. Dadurch wird es bei einer systematischen Formulierung der Szenarien möglich, deren Einfluss auf mögliche Feststofflieferungen abzuschätzen. So können Aussagen gemacht werden, wie gross der Anteil an der gesamten Feststofflieferung ist, der z.B. durch langanhaltende Niederschläge statt kurzem Starkregen als auslösendem Faktor erhöht oder vermindert werden kann.

Weiterentwicklungspotential besteht bei der Normierung und Quantifizierung des Einflusses von Schlüsselstellen auf die zu erwartenden Geschiebemengen. Allgemein sollen die erhobenen Grundlagen dazu dienen, die Bedeutung der räumlichen Abfolge von Abschnitten mit einbeziehen zu können.

In einem anlaufenden Projekt wird auf eine praxistaugliche Methodik zur systematisierten und transparenten Szenarienbildung unter Berücksichtigung der verschiedenen möglichen Raumsequenzen von Gerinneabschnitts-, Böschungs- und Hangtypen hingearbeitet.

LITERATUR

- De Jong C. (1995):** "Temporal and spatial interactions between river bed roughness, geometry, bedload transport and flow hydraulics in mountain streams – examples from Squaw Creek (Montana, USA) and Lainbach / Schmiedlaine (Upper Bavaria, Germany)". *Berliner Geographische Abhandlungen, Heft 59*. Im Selbstverlag des Instituts für Geographische Wissenschaften der Freien Universität Berlin.
- Frick E. (2001):** „Typisierung von Böschungen und Hängen bezüglich ihrer Feststofflieferung ins Gerinne“. *Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern*. Unveröffentlicht.
- Grant G.E., Swanson F.J., Wolman M.G. (1990):** "Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon". *Geological Society of America Bulletin*, 102, S. 340-35.
- Hegg Ch., Rickenmann D. (2000):** „Geschiebetransport in Wildbächen - Vergleich zwischen Feldmessungen und einer Laborformel“. *In: Interpraevent, Tagungspublikation, Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung*, Klagenfurt. Bd. 3, S. 117-128.
- Kienholz H. (1977):** „Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10'000 von Grindelwald“. *Geographica Bernensia G4*. Universität Bern.
- Lehmann Ch. (1993):** „Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen. Grundlagen und Anleitungen“. *Geographica Bernensia, G 42*, Bern.
- Rickenmann D. (1995):** „Beurteilung von Murgängen. Schweiz“. *Ingenieur und Architekt*, Nr. 48.
- Romang H., Krummenacher B., Frick E., 2004:** „Unwetterereignisse im November 2002, Graubünden, Schweiz“. *Internationales Symposium Interpraevent 2004*, (in print).
- Schälchli U. (1991):** „Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen“. *Mitteilung Nr. 113 der VAW-ETH*, Zürich.
- Smart G.M., Jäggi M.N.R. (1983):** "Sedimenttransport in steilen Gerinnen". *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 64*, Zürich.
- Spreafico M., Lehmann C., Naef O. (1996):** „Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen“. *Teil I und II, Mitteilung Nr. 4 der Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie, Landeshydrologie und -geologie*, Bern.
- Steffen B. (2003):** „Gerinnesohlentypisierung und -monitoring in Wildbächen“. *Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern*. Unveröffentlicht.