

SEDEX – eine Methodik zur gut dokumentierten Abschätzung der Feststofflieferung in Wildbächen

■ Eva Frick, Hans Kienholz, Heinz Roth

Zusammenfassung

Die Gefahrenbeurteilung von Wildbächen erfordert die Erhebung und Interpretation zahlreicher Informationen. Ein wichtiges Element dabei ist die Abschätzung der Feststofflieferung.

Sedex (SEDiments and EXPerts) ist eine neue Methodik zur nachvollziehbaren und gut dokumentierten Herleitung der Feststoff-Szenarien für Wildbäche. Mittels eines Manuals mit Checklisten sowie einer dazugehörigen Software führt Sedex den Anwender systematisch durch die Geländeaufnahmen und Auswertungen. Wesentlich dabei sind das strukturierte Vorgehen und die Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit. Dabei soll die Methode trotzdem zeit- und kosteneffizient auf einen Wildbach anwendbar sein, um den Ansprüchen der Praxis gerecht zu werden. Neuerungen finden sich in der strukturierten Herleitung von Kubaturen für Ereignisse unterschiedlicher Grösse bzw. Wahrscheinlichkeit, der Bewertung der bestehenden Unschärfen und Unsicherheiten sowie der systematischen Dokumentation aller möglichen Ereignisszenarien.

Die neue Methodik liegt seit Herbst 2007 im Entwurf vor und wird 2008 fertig gestellt, nachdem im Kanton Bern von Ingenieurbüros noch Testläufe durchgeführt werden.

privaten Ingenieurbüros, welche mit Gefahrenbeurteilungen (für Gefahrenkarten, Verbauungsprojekte) beauftragt sind, sollen die Feststofflieferung besser, vergleichbarer und vor allem mit grösserer Nachvollziehbarkeit für Aussenstehende beurteilen können. Der benötigte Zeitaufwand soll möglichst reduziert werden und maximal gleich hoch sein wie mit bisherigen Methoden.

Für Wasserbaufachleute der Verwaltung soll die neue Beurteilungssystematik eine bessere Nachvollziehbarkeit der Gutachten und eine gut handhabbare Hilfe bei Stichproben im Gelände liefern.

Wer in die Wildbachbeurteilung einsteigt, hat mit dem Manual ein Nachschlagewerk, das mithilfe bestehender Gutachten und deren Herleitung nachvollziehen zu können.

Trotz Anleitungen und Vorgaben bleiben jedoch Ermessensspielräume, die stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig sind. Obwohl Sedex auch für weniger erfahrene Benutzer anwendbar sein soll, sind für die Beurteilung eines Wildbaches umfassendes Expertenwissen und viel Erfahrung unerlässlich.

2. Entwicklung unter Miteinbezug von Experten

Während der Entwicklung der Methodik wurde grosser Wert auf die Praxisnähe gelegt. Bereits in einer frühen Projektphase wurden sieben Workshops mit insgesamt 15 Fachleuten aus Praxis, Verwaltung und Wissenschaft durchgeführt. Auch wurde die Systematik in studentischen Arbeiten geprüft und laufend an Wildbächen mit unterschiedlichen Charakteristika ausgetestet.

Mit diesen verschiedenartigen Testläufen sollte sichergestellt werden, dass Sedex sowohl unterschiedlichen Wildbachtypen sowie verschiedenen Bedürfnissen und Anforderungen der Anwender gerecht wird.

1. Anwendung

1.1 Praxisorientierte Aussagen

Anhand von Analysen der Feststoffmobilisierung und -verlagerung werden mit Sedex die Feststoff-Kubaturen für verschiedene Ereignisszenarien am Kegelhals hergeleitet. Bezüglich Jährlichkeiten orientiert sich die neue Methodik an den Ereignisgrössen, welche in der Praxis für die Gefahrenbeurteilung und Massnahmenplanung angewandt werden, d.h. an Ereignissen mit theoretischen Wiederkehrperioden von bis zu 30, bis 100 und bis 300 Jahren (BWW et al., 1997).

Um Aussagen zur Gesamtbeurteilung eines Wildbaches zu formulieren, müssen die erhobenen FeststoffGrössen mit anderen Methoden wie der Abflussabschätzung, der Schwachstellenanalyse und der Schutzbautenbeurteilung kombiniert werden.

1.2 Vier Teilprodukte

Sedex beinhaltet verschiedene Teilprodukte. Eine konzise Geländeversion des Manuals enthält alle Checklisten und Entscheidungsbäume zur zielgerichteten,

rationellen und nachvollziehbaren Beurteilung der Geländebeziehungen. Eine ausführliche Version des Manuals erläutert das Verfahren detailliert und soll als Nachschlagewerk oder zu Ausbildungszwecken dienen.

Zusätzlich wurde die Methodik in eine eigens entwickelte Software umgesetzt. Ein Erfassungsprogramm für PDAs (Sedex-field) leitet den Benutzer systematisch durch die Erhebungen im Gelände und nimmt ihm die Berechnung der Kubatur ab. Ein dazugehöriges Auswertungsprogramm (Sedex-office) ermöglicht die Überarbeitung und automatische Visualisierung der Geländedaten in Form von Grafiken und Tabellen.

Bei allen Teilprodukten kann die Bearbeitungstiefe angepasst werden. So hat der Anwender die Möglichkeit, den Detaillierungsgrad der Angaben der konkreten Fragestellung oder seiner bevorzugten Arbeitsweise anzupassen.

1.3 Verschiedene Anwendergruppen

Sedex soll für verschiedene Anwendergruppen Nutzen bieten. Fachleute aus



3. Überblick über Beurteilungsschritte

Bild 1 gibt eine Übersicht über die Arbeitsschritte der Methodik, welche sich in Vorarbeiten, Geländeaufnahmen und Auswertungen gliedern. In den nachfolgenden Abschnitten finden sich nähere Erläuterungen zu den zwei letzteren.

4. Geländeaufnahmen

4.1 Abgrenzung der Bachabschnitte

Grundlage für die Beurteilung nach Sedex ist die Unterteilung eines Wildbaches in Abschnitte und Bausteine. Während der Geländebegehung werden somit im ersten Bearbeitungsschritt die Gerinne in Abschnitte unterteilt, welche bezüglich der zu erwartenden Prozesse, deren Aktivität sowie der Feststoffkubaturen möglichst homogen sind.

4.2 Einteilung in Bausteine

Bild 2 zeigt, dass gemäss Sedex jeder Abschnitt aus einem bis fünf Bausteinen besteht, nämlich einem Gerinnebaustein, in der Regel beidseits je einem Böschungsbaustein und oft – seitlich anschliessend – beidseits je einem Hangbaustein. Diese räumlichen Einheiten werden folgendermassen definiert:

- Als Gerinne wird die eigentliche Sohle

des Wildbaches bezeichnet, welche ständig oder zeitweise von Wasser überflossen wird. Hier finden Erosions-, Umlagerungs- oder Ablagerungsprozesse statt.

- Als Böschung wird jener Bereich des Hanges bezeichnet, welcher durch Gerinneprozesse beeinflusst werden kann. Die geschieberelevanten Prozesse in den so definierten Böschungen sind Seitenerosion (innerhalb des Hochwasserprofils) und Rutschungen, welche durch Böschungsfuss-Erosion ausgelöst werden. All diese Prozesse werden unter dem Begriff «Nachböschung» zusammengefasst.
- Im Gegensatz zur Böschung finden in den Hangbereichen vom Geschehen im Gerinne (Hochwasserprofil) unabhängige Prozesse statt. Hier muss beurteilt werden, wie gross der Anteil an mobilisierten Feststoffen ist, der das Gerinne erreichen kann. Hang-Bausteine umfassen Rutschungs- und Runsenprozesse.

Es gibt verschiedene Gerinne-, Böschungs- oder Hangbausteine (siehe Bild 3). Jeder Baustein stellt eine funktionale Einheit im System Wildbach dar. Er steht für einen relativ homogenen Gerinne, Böschungs- oder Hangabschnitt, der durch die gleichen feststoffrelevanten Prozesse dominiert wird und sich im Ereignisfall ähnlich verhält.

Eine wichtige Frage bei allen Bausteinen ist, ob sich die Prozesse in «limitiertem» oder «unlimitiertem» Lockermaterial abspielen. Dementsprechend werden für die jeweils gleiche Prozessgruppe je ein Baustein mit «limitiertem» bzw. «unlimitiertem» Lockermaterial unterschieden (Bild 3). Dies erfolgt in Anlehnung an die Unterteilung von Wildbach-Einzugsgebieten in Altschutt und Jungschuttgebiete (Zimmermann et al., 1997). In limitiertem Lockermaterial (meist Jungschutt) können einzelne Ereignisse sämtliche Feststoffe ausräumen, die Menge der Feststofflieferung ist somit durch das Materialangebot limitiert. Diese Prozesse sind bis zu einem gewissen Grad als einmalig zu klassieren. Bis die gleiche Fläche bzw. der gleiche Gerinneabschnitt erneut geschieberelevant ist, muss sich das entsprechende Feststoffpotenzial erst wieder ansammeln. Unlimitiertes Lockermaterial (meist Altschutt) kann durch ein einzelnes (oder auch mehrere) Ereignisse nicht ausgeräumt werden. Hier ist die Lieferungsrate durch die Transportkapazität limitiert, und diese Feststoffherde sind somit wiederholt von Bedeutung.

Über das ganze Einzugsgebiet gesehen, lassen sich aus der räumlichen Verteilung der Bausteine und der anteilmässigen Feststofflieferung wichtige Informationen über die Charakteristik des

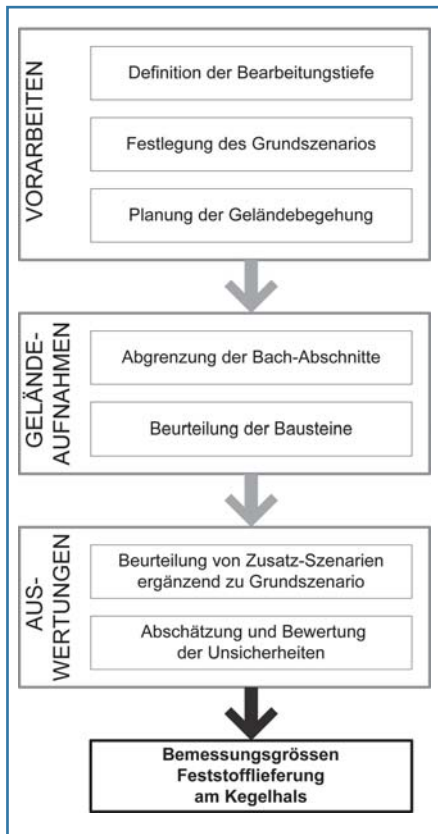


Bild 1. Arbeitsschritte der Beurteilungssystematik.

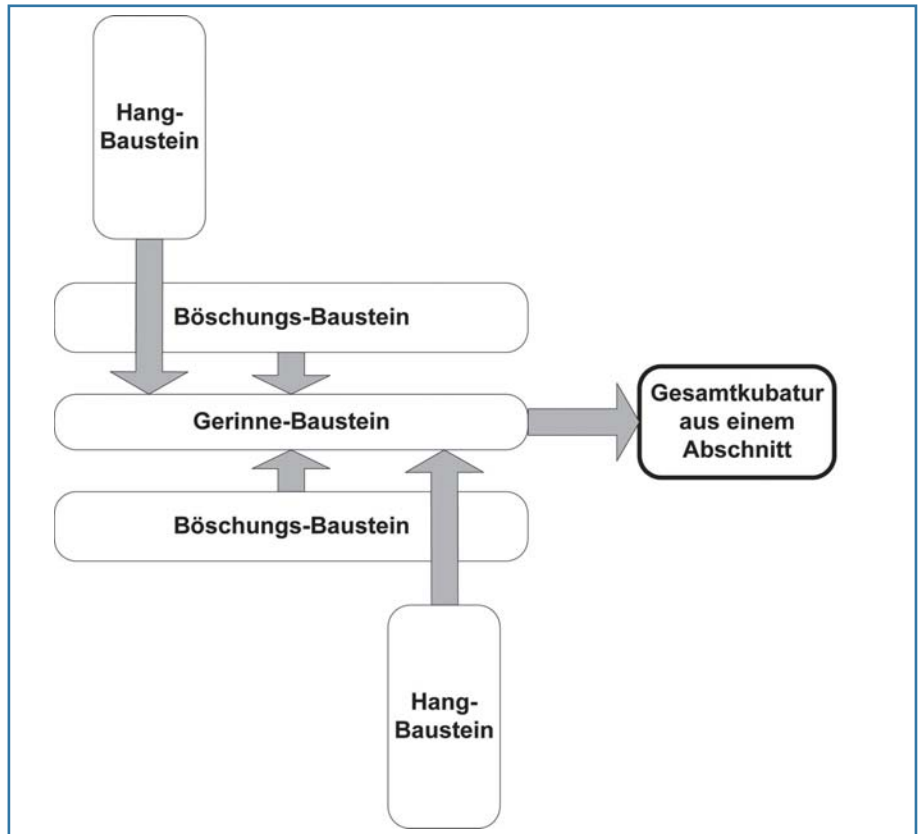


Bild 2. Schematische Darstellung der Feststofflieferung aus den Hang-, Böschungs- und Gerinnebausteinen eines Bachabschnittes.

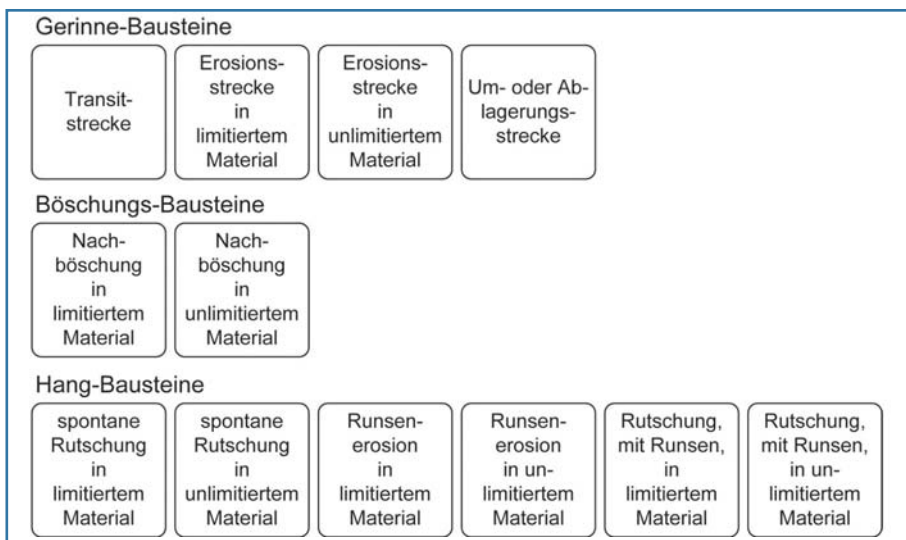


Bild 3. Die zwölf Sedex-Bausteine.

Wildbaches und der möglichen Ereignis-Szenarien ableiten.

4.3 Bestimmung der Aktivierungswahrscheinlichkeit

In einem zweiten Beurteilungsschritt interessiert es, für jeden Baustein die Ereignisgrösse («30-, 100-, 300-jährlich») abzuschätzen, bei welcher als unterer Schwelle eine Aktivierung und damit eine Feststofflieferung erfolgt. Die so genannte Aktivierungswahrscheinlichkeit hängt von der Grunddisposition und dem aktuellen Systemzustand, d.h. der momentanen Stabilität ab, (siehe Beispiele in *Bild 4*).

Die Bestimmung der Aktivierungs-

wahrscheinlichkeit wird in Sedex mit sogenannten Aktivierungs-Checklisten unterstützt.

Die Funktionsweise der Checklisten ist in *Bild 5* illustriert: Die Beurteilungskriterien sind in einer Tabelle aufgeführt. In deren Zeilen befinden sich verschiedene Abstufungen eines Merkmales, welche in drei Stabilitätsklassen unterteilt sind. Je weiter rechts in der Tabelle die Abstufungen pro Merkmal liegen, umso stärker weist das auf Stabilität hin. Im Gelände werden alle beobachtbaren Merkmale markiert. Über den visuellen Schwerpunkt aller Markierungen wird schliesslich bestimmt, welche Aktivierungsstufe dem be-

treffenden Baustein zuzuordnen ist. Sind die beobachteten Merkmale stark verteilt und der visuelle Schwerpunkt nicht eindeutig, gelangt man über einen Vergleich mit dem allgemeinen Eindruck oder über eine subjektive Gewichtung der Merkmale zu einem Resultat.

Indem den Aktivierungsstufen (Spalten der Tabelle) bestimmte Ereignisgrössen (bis zu 30-jährliche, bis zu 100-jährliche, bis zu 300-jährliche) zugeordnet sind, resultiert daraus eine Aussage, ab welchem Ereignis mit einer Aktivierung des betrachteten Bausteines zu rechnen ist.

Diese Checklisten dienen als Beobachtungshilfen, welche den Anwender Schritt für Schritt durch die notwendigen Überlegungen leiten. Sie ermöglichen dem Gutachter eine zusammenfassende Bewertung seiner Beobachtungen, welche er unmittelbar im Gelände mit seinem allgemeinen Eindruck des Standortes vergleichen kann.

4.4 Abschätzung der Feststofflieferung

Schliesslich muss für jede Ereignisgrösse, bei der ein Baustein aktiv ist, abgeschätzt werden, wie viele Feststoffe mobilisiert werden können. Bei Erosionsprozessen oder Nachböschungsprozessen ist diese Kubatur v.a. abhängig von der Widerstandsfähigkeit des Lockermaterials sowie der lokalen Schleppkraft des Gewässers. Bei Rutschungen bestimmen Ei-

Bilder 4a, b, c. Beispiele für Böschungsabschnitte mit unterschiedlicher Aktivierungswahrscheinlichkeit (Fotos tur gmbh).



Beispiel für Böschungsbaustein mit hoher Aktivierungswahrscheinlichkeit. Die Böschungen sind von einem kürzlichen Ereignis durchgehend aufgerissen und destabilisiert. Das feinkörnige Lockermaterial ist leicht mobilisierbar und es sind keine stabilisierenden Elemente vorhanden (Val Mulin, Domat-Ems, GR).



Beispiel für Böschungsbaustein mit mittlerer Aktivierungswahrscheinlichkeit. Entlang dieses Abschnittes kam es lokal zu Nachrutschungsprozessen. Die übrigen Bereiche weisen momentan keine Anzeichen von Aktivität auf. Die Grunddisposition ist jedoch gegeben, so dass bei grösseren Ereignissen weitere Nachböschungen möglich sind (Schauensteinertobel, Cazis, GR).



Beispiel für Böschungsbaustein mit geringer Aktivierungswahrscheinlichkeit. Diese Böschungen zeigen keinerlei Spuren von aktiven Prozessen. Zudem weist die gleichmässige Morphologie darauf hin, dass hier die Grunddisposition für Nachböschungen gering ist (Stadlerbach, Davos, GR).

AKTIVIERUNGS-CHECKLISTE NACHBÖSCHUNG				
	Neigung	mittel (ca. 20-50°)	niedrig (ca. < 20°) hoch (ca. > 50°)	
Stabilität der Böschung	Morphologie	strukturiert	gleichmässig	
	Korngrössen	grösstenteils mobilisierbar	grösstenteils nicht mobilisierbar	
	Verfestigung	unverfestigt, locker	verfestigt	stark verfestigt
	Wasserhaushalt	Wasseraustritte, Vernässungen		
	Vegetation Böschungsfuss	keine Vegetationsdecke Böschungsfuss offen	Vegetationsdecke (fast) geschlossen Böschungsfuss bewachsen	
Erosionskraft	Zuverlässigkeit Bauwerke bei G ₁₀₀	gering	eingeschränkt	hoch
	Böschungsfuss	leicht mobilisierbares Material	meist grosse Blöcke	
	Gerinnelauf	oft deutliche Prallhänge	Gerinne meist gestreckt	
	Gerinnegefälle	steil oder deutlich steiler als in Abschnitt oberhalb	flach oder Verflachung gegenüber Abschnitt oberhalb	
	Gerinnebreite	eng oder Verengung gegenüber oben	breit oder Verbreiterung gegenüber oben	
Prozessspuren	Prozess in Gerinnesohle	starke Tiefenerosion erwartet		
	Anbrüche	offene Anrissflächen	überwachsene Anrissflächen	Geländemorphologie mit Hohlformen
	Unterspülung	unterspült, aktive Gerinnerosion		
	Materiallieferung	nachgerutschtes Material im Gerinne		
	Böschungskant	zahlreiche aktive Anrissränder	einzelne aktive Anrissränder	
		zumindest lokal leicht aktivierbar	über ganzen Böschungsbereich gewisse Stabilität, bei seltenen Ereignissen Aufreissen über Grossteil der Fläche möglich	zumindest lokal sehr hohe Stabilität
		30-jährliches Ereignis	100-jährliches Ereignis	300-jährliches Ereignis

Bild 5. Anwendungsbeispiel Checkliste Nachböschung mit dem Beispiel einer möglichen Beurteilung (markiert).

genschaften des Untergrundes sowie des Wasserhaushaltes das bewegte Volumen. Sedex stellt für die Abschätzung der Feststofflieferung Checklisten zur Verfügung. Die vorgeschlagene Berechnungsart basiert bei allen Bausteinen auf geometrisch einfachen Anriss- und Erosionsformen bzw. vordefinierten Querschnittsflächen, welche die natürlichen Prozesse näherungsweise abbilden.

Die Systematik fokussiert primär auf das seltene – so genannte «100-jährliche» – Ereignis mit einer theoretischen Wiederkehrperiode von bis zu 100 Jahren. Es wird hier als Referenzereignis bezeichnet, wofür die Beurteilung in erster Linie durchgeführt wird. Die Beurteilung der kleineren und grösseren Ereignisse wird meist durch eine Abminderung bzw. Verschärfung der Kubaturen mittels Faktoren von diesem Referenzereignis hergeleitet. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass die Nichtlinearität zwischen den Ereignisgrössen besser abgebildet werden kann, als wenn ein Faktor über den ganzen Wildbach festgelegt wird. Zudem erlaubt die Implementierung der Faktoreingaben im PDA-Programm die Durchführung einfacher Sensitivitätsanalysen durch das Verändern einzelner Faktoren.

Wichtig bei der Betrachtung verschiedener Ereignisgrössen ist, dass dabei nicht nur die Feststoff-Quantitäten angepasst werden, sondern auch andersartige Prozessabläufe in Betracht gezogen werden. So kann beispielsweise in einem Wildbach dem Referenzereignis ein Mur-

gangsszenario zugrunde gelegt werden, während bei einem 30-jährlichen Ereignis allenfalls nur von fluvialen Geschiebetransport ausgegangen wird.

Die Gesamtkubatur aus einem Abschnitt ergibt sich aus der Summe der Feststofflieferungen aller Bausteine (Gerinne, Böschungen, Hänge). Die Aufsummierung der Feststoffkubaturen aus allen Abschnitten eines Wildbaches ergibt ein vorläufiges Resultat für die Feststofflieferung am Kegelhals. Dabei wird berücksichtigt, ob die Transportkapazität in jedem Abschnitt ausreicht, um die Geschiebefracht aus den oberhalb liegenden Abschnitten auch weiterzutransportieren. In transportlimitierten Abschnitten muss die während eines Ereignisses transportierbare Geschiebefracht basierend auf Transportkapazitäts-Formeln berechnet oder vor Ort gutachtlich abgeschätzt werden.

4.5 Beispiel für die Beurteilung eines Bachabschnittes

In Bild 6 wird die schrittweise Beurteilung eines Bachabschnittes gezeigt:

Bestimmen der Bausteine: Im vorliegenden Abschnitt wird das Gerinne als Umlagerungsstrecke beurteilt. Dies ist u.a. belegt durch die Spuren eines kürzlichen Ereignisses, bei dem es sowohl zu Erosions- wie auch zu Ablagerungsprozessen kam.

Beim gleichen Ereignis kam es in der orografisch rechten Böschung zu Seitenerosion. Obwohl hier lokal der Verwitterungsschutt etwas mächtiger ist, kommt über den ganzen Abschnitt gesehen, oft

der anstehende Fels zum Vorschein, d.h., das Lockermaterial wird als «limitiert» beurteilt. Als Böschungsbaustein wird hier dementsprechend der Baustein Nachböschung in limitiertem Lockermaterial verwendet.

Aus dem Hangbereich ging – unabhängig von den Gerinneprozessen – eine flachgründige Rutschung ab. Auch hier wird das vorkommende Lockermaterial als geringmächtig beurteilt, d.h. es handelt sich um den Baustein «spontane Rutschung in limitiertem Material».

Beurteilen der Aktivierungswahrscheinlichkeiten: Aufgrund eines kürzlichen Ereignisses sind in allen Prozessräumen deutliche Zeichen von Aktivität zu sehen. Der Abschnitt weist dementsprechend eine geringere Stabilität als vor dem Ereignis auf. Für die Beurteilung der Aktivierungswahrscheinlichkeit der einzelnen Bausteine bedeutet dies Folgendes: Im Gerinne liegt durch das Ereignis viel leicht mobilisierbares Material, es konnten sich noch keine Sohlstrukturen ausbilden und auch sonst sind kaum stabilisierende Elemente vorhanden. Gemäss der Aktivierungs-Checkliste resultiert für den Gerinne-Baustein dadurch eine hohe Aktivierungswahrscheinlichkeit (Feststofflieferung auch bereits bei kleineren, ca. 30-jährlichen Ereignissen).

Auch im Böschungsbaustein kann aus den offenen Anrissen leicht Material mitgerissen werden oder durch die Instabilität kann ein Nachrutschen erfolgen. Im momentanen Systemzustand kann bereits bei kleineren Ereignissen eine Feststofflieferung erfolgen, und die Aktivierungswahrscheinlichkeit ist somit als hoch zu beurteilen (Feststofflieferung bereits bei kleineren, ca. 30-jährlichen Ereignissen). Diese momentan offenen Anrisse sind jedoch lokal, d.h., über den ganzen Abschnitt gesehen überwiegen die Bereiche, in denen die Vegetationsbedeckung noch intakt und die Stabilität der Böschung dementsprechend höher ist.

Anders verhält es sich beim Hangbaustein. Aus der offenen Rutschfläche sind keine weiteren Rutschabgänge zu erwarten. In den umliegenden Bereichen weist der Hang zwar die Grunddisposition für Rutschungen und in der Morphologie Spuren früherer Rutschabgänge auf. Momentan sind aber keine Anzeichen von hoher Rutschaktivität ersichtlich, die Aktivierungswahrscheinlichkeit wird gemäss der Checkliste als mittel beurteilt (Feststofflieferung ab ca. 100-jährlichem Ereignis).

Abschätzen der Feststofflieferung:

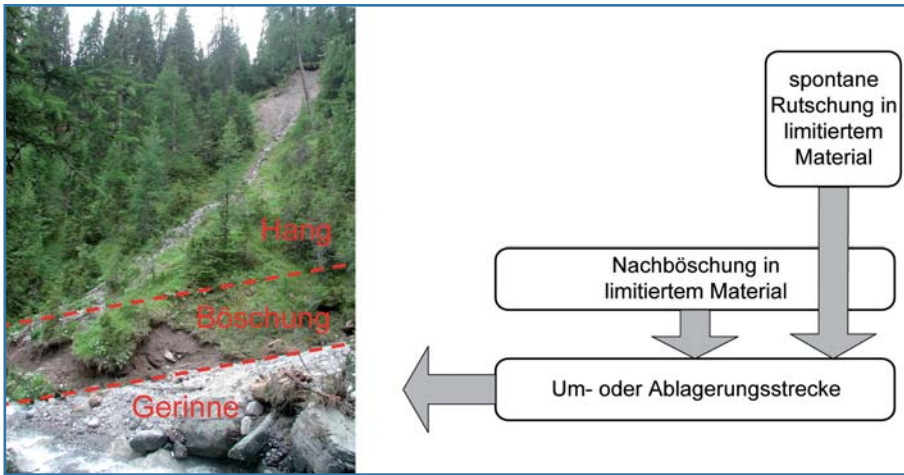


Bild 6. Beispiel zur Beurteilung eines Bachabschnittes mit schematischer Darstellung der vorkommenden Bausteine.

In einem dritten Schritt wird pro Baustein die Feststofflieferung für jede Ereignisgrösse, bei welcher ein Baustein als aktiv beurteilt wurde, bestimmt. Im vorliegenden Fall sind dies für den Gerinne- und Böschungsbaustein (aktiv bei allen drei beurteilten Ereignisgrössen) drei Ereigniskubaturen (G_{30} , G_{100} , G_{300}). Diese werden als zu der Abschnittslänge proportionale Prozesse angesehen; ihre Feststofflieferung wird somit in m^3 pro Gerinnelaufmeter resp. Laufmeter der Böschung entlang angegeben.

Bei den Rutschprozessen, welche bei einem kleinen (ca. 30-jährlichen Ereignis) als noch nicht aktiv angesehen wird, müssen zwei Kubaturen abgeschätzt werden (G_{100} , G_{300}). In Hangbausteinen wird die Feststofflieferung aus Rutschungen und Runsen als punktuelle, einzelne Geschiebeherde betrachtet, d.h., es wird pro Geschiebeherde eine Kubatur (m^3) abgeschätzt.

5. Beurteilen von Zusatz-Szenarien

Um schon zu Beginn der Geländeaufnahmen Feststoffabschätzungen vornehmen zu können, muss der Gutachter von einem vorläufigen «Grundszenario» ausgehen. Dieses definiert er aufgrund der Vorarbeiten und seiner Erfahrung. Erst nach der Begehung des ganzen Einzugsgebietes kann die definitive Festlegung der relevanten Szenarien erfolgen. Das angenommene Grundszenario wird verifiziert und es wird überprüft, ob «Zusatz-Szenarien» berücksichtigt werden sollen (Bild 7).

Für die Beurteilung von Zusatz-Szenarien muss in jedem Wildbach beurteilt werden, ob eines – oder mehrere – der nachfolgenden szenarienrelevanten Elementen vorhanden sind.

- Einzelne Bausteine, bei welchen ver-

schiedene Feststofflieferungs-Szenarien denkbar sind und damit eine relevante Änderung des Ereignisablaufes möglich ist. Das können Geschiebeherde mit sehr hohen Feststoffeinträgen (z.B. tiefgründige Rutschkörper), Abschnitte mit erwartetem Bauwerksversagen und der plötzlichen Freisetzung von hohen Kubaturen oder auch Umlagerungsstrecken mit wechselnder Funktion sein.

- Teilereignisse oder Schwellenprozesse, welche eine deutliche Verstärkung oder Abschwächung der Feststofflieferung zur Folge haben können. Dabei handelt es sich um punktuell zufällige Ereignisse wie Verkläunungen oder das Anhalten/Bremsen eines Murganges. Solche Teilereignisse können anhand von Bausteinen, Bausteinkombinationen oder anderen Charakteristika abgeleitet werden.
- Künftige Veränderung der Disposition eines Wildbaches, welche berücksichtigt werden soll. Darunter fallen z.B. die Erhöhung des Feststoffpotenzials durch sehr aktive Verwitterungsprozesse oder die Stabilisierung resp. Destabilisierung grösserer Geschiebeherde.

Konkret stellt Sedex für sechs Zusatz-Szenarien Beurteilungs-Checklisten zur Verfügung. Die Checklisten sollen in erster Linie ein systematisches Durchdenken der verschiedenen Szenarien ermöglichen. Sie können aber keine abschliessende Anleitung zu deren Auswirkung bieten. Dies muss der Experte – unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse – beurteilen.

Bezüglich der möglichen Auswirkungen auf die Gefahrenbeurteilung ist zu bemerken, dass die betrachteten Zusatz-Szenarien nicht nur eine Erhöhung oder Reduktion der Ereigniskubatur zur Folge haben können. Für die weitere Beurteilung von Ausbruchs-, Ausbreitungs- und Einwirkungs-Szenarien ist gleichermassen von Bedeutung, ob eine relevante Abschwächung oder Verstärkung der Prozessintensität im Kegelbereich möglich ist. Dies kann beispielsweise bei einer Abschwächung oder Verstärkung von Murgängen oder Hochwasserwellen der Fall sein.

6. Abschätzung und Bewertung von Unsicherheiten und Unschärfen

Jeder Arbeitsschritt in der Beurteilung von Wildbachgefahren ist mit Unsicherheiten einzelner Werte, wie beispielsweise den Spitzenabflüssen und Unschärfen, in der Gesamtbeurteilung verbunden.

Bei der Quantifizierung der Feststofflieferung muss sich der Bearbeiter pro Szenario auf einen Wert innerhalb einer oft grossen möglichen Bandbreite festlegen. Um Aussagen über die Qualität dieses Wertes zu machen, ist eine Fehleranalyse im statistischen Sinn nicht anwendbar, da die Bestimmung des möglichen Fehlerbereiches gleich subjektiv ist wie die Festlegung des relevanten Wertes. Generell ist die Qualitätskontrolle eine der Herausforderungen in der Abschätzung von Feststofflieferungen. Es existieren zwar Daten über Ereigniskubaturen von abgelaufenen Wildbachereignissen, die Zuordnung von

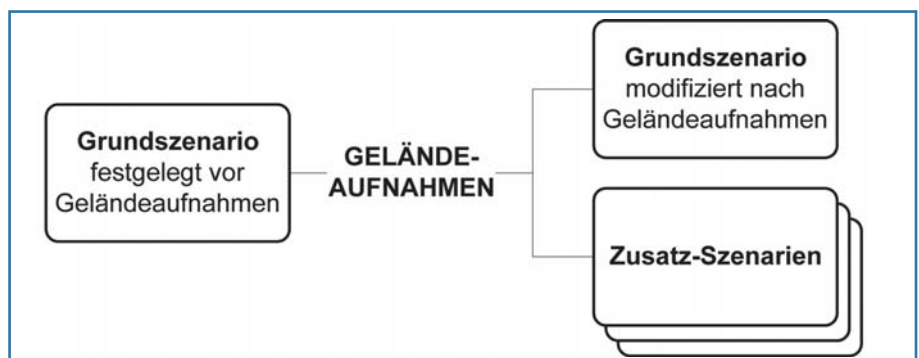


Bild 7. Schematische Darstellung der Modifizierung und Erweiterung des Grundszenarios nach Abschluss der Geländeaufnahmen.

Wiederkehrperioden zu diesen Ereignissen ist jedoch schwierig. Sie erfolgt aufgrund von semiquantitativen Erwägungen und lässt sich kaum hart begründen.

Untersuchungen und eigene Fallbeispiele zeigen jedoch, dass mehrere Gutachten bei der gleichzeitigen Beurteilung desselben Baches zu ähnlichen Resultaten kommen. Bei der Abschätzung der Feststofflieferung eines Abschnittes sind die Ergebnisse durchwegs vergleichbar. Die grössten Unterschiede entstehen durch die Festlegung verschiedener Ereignisszenarien (Herzog et al., 2000).

6.1 Nachvollziehbare Beurteilung

Die entwickelten Tools sollen es dem Experten ermöglichen, den Einfluss der Unsicherheiten auf das Endresultat der Feststofflieferungs-Kubaturen zu beurteilen und die Konsistenz seiner Beurteilung zu überprüfen. Es soll ein standardisiertes Vorgehen angeboten werden, welches die Erkenntnisse ausformuliert und visualisiert, zu denen ein Experte nach seiner Beurteilung gekommen ist.

Bereits auf Bausteinebene kann in Sedex beurteilt werden, wie gross der Unsicherheitsbereich für die abgeschätzte Feststofflieferung ist. Diese Angabe wird als positive und negative Abweichung von der geschätzten Kubatur in % formuliert. Solche Unsicherheitsbereiche sind grundsätzlich besonders hoch bei Bausteinen in unlimitiertem Lockermaterial, bei Bausteinen mit hohen freisetzbaren Kubaturen bedingt durch Bauwerkversagen, bei Hangbausteinen und bei Um- oder Ablagerungsstrecken. Die Unsicherheiten sind auch abhängig von der Ereignisgrösse. Mit zunehmender Ereignisgrösse wird es z.B. bei Bausteinen in unlimitiertem Lockermaterial immer schwieriger abzuschätzen, wie gross der Anteil sein wird, der aus dem unbegrenzt vorhandenen Material mobilisiert wird. Im Gegensatz dazu ist die Beurteilung bei Bausteinen in limitiertem Material für ein grösseres Ereignis sicherer, da hier oft davon ausgegangen werden kann, dass sämtliches bereit liegende Material mobilisiert wird. Aufsummiert über das ganze Einzugsgebiet ergeben die pro Baustein definierten Unsicherheitsbereiche die Bandbreite der möglichen Kubatur für das betrachtete Grundzenario.

Die Plausibilisierung der Feststofffracht muss jedoch auch anhand der unscharfen Erkenntnisse und Folgerungen bezüglich des Ereignisablaufes und der definierten Zusatz-Szenarien erfolgen. Die wichtigsten dieser Unschärfe- und Unsicherheitsfaktoren können in Sedex anhand einer Checkliste nachvollziehbar

beurteilt werden. Daraus resultiert eine qualitative Aussage, ob die Unschärfen und Unsicherheiten «hoch» oder «gering» sind. Werden sie als hoch eingeschätzt, muss der Gutachter beurteilen,

- ob die resultierende Bandbreite der Feststofflieferung weiter eingegrenzt werden kann
- und ob das Resultat den Projektanforderungen genügt oder ob weitere Abklärungen nötig – und fachlich auch möglich – sind.

6.2 Kommunikation von Unschärfen und Unsicherheiten

Bei den Evaluationen von Sedex durch beteiligte Experten bestand ein Konsens, dass die vorhandenen Unsicherheiten offen gelegt und berücksichtigt werden müssen. Man war sich zudem auch einig, dass es in der Verantwortung des jeweiligen Gutachters liegt, aus der möglichen Bandbreite von Ereigniskubaturen einen Wert festzulegen, welcher den Genauigkeitsanforderungen des Projektziels entspricht. Schliesslich ist es der Gutachter selber, der über die besten Entscheidungsgrundlagen verfügt, um die meist grosse Bandbreite – soweit als möglich – einzugrenzen.

7. Neuerungen von Sedex

Bezüglich inhaltlicher Aussagen enthält Sedex folgende Neuerungen:

- Über ein ganzes Einzugsgebiet gesehen, können die für die Feststofflieferung und Ereignisabläufe entscheidenden Bausteine nachvollziehbar und klar identifiziert werden. Diese Informationen dienen auch als Grundlage für die allfällige Planung von Massnahmen.
- Auch für häufige und sehr seltene Ereignisse (30-jährlich, 300-jährlich) werden Aussagen hergeleitet. Dies ist insbesondere von Bedeutung, als dass diese Bemessungsgrössen für die Gefahrenbeurteilung benötigt werden und bisher kaum Anleitungen zu deren Bestimmung bestehen.
- Die Bandbreite von möglichen Szenarien wird systematisch erarbeitet und beschrieben.
- Bei jedem Beurteilungsschritt werden die bestehenden Unsicherheiten mitbewertet. Die Visualisierung der bestehenden Unsicherheitsbereiche ermöglicht deren Reflektion durch den Gutachter sowie eine Grundlage zu deren Kommunikation.

Hinsichtlich der Anwendung wurde angestrebt, dass Sedex in folgenden Ele-

menten zu Verbesserungen führen kann:

- Durch das strukturierte Vorgehen soll bei gleichem – oder geringerem Zeitaufwand – die Qualität der Resultate verbessert werden.
- Das konsequente Vorgehen (wie auch die Datenerfassung im PDA) soll dazu führen, dass die Geländeaufnahmen homogener und weniger fehleranfällig sind.
- Allgemein soll die Transparenz der Gefahrenbeurteilung durch das Vorgehen nach einer klar definierten Beurteilungssystematik erhöht werden.
- Die konsequente Datenerhebung und -abspeicherung erlaubt die automatische Generierung von Tabellen und Grafiken. Damit sollen sämtliche Resultate nachvollziehbar abgelegt werden. Zudem soll die Visualisierung die Kommunikation der Resultate nach aussen erleichtern.
- Das strukturierte und standardisierte Vorgehen soll zu einer besseren Vergleichbarkeit von Gutachten verschiedener Bearbeiter führen. Dies kann insbesondere für die Auftraggeber dieser Expertisen von Vorteil sein.

Literatur

- BWW, BRP, BUWAL (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bern.
- Frick E., Hiller R., Kienholz H., Romang H., in Vorb.: «Sedex – eine praxistaugliche Methodik zur Beurteilung der Feststofflieferung».
- Herzog B., Lehmann C., Spreafico M., 2000: «Fehlerquellen und Ermessensspielraum bei der Beurteilung des Feststoffpotentials in Wildbächen». Internationales Symposium Interpraevent 2000, Klagenfurt.
- Zimmermann M., Mani P., Gamma P., Gsteiger P., Heiniger O., Hunziker G. (1997): «Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz». vdf Hochschulverlag, Zürich.

Anschrift der Verfasser

Eva Frick
tur gmbh, Promenade 129
CH-7260 Davos-Dorf, frick@tur.ch

Hans Kienholz
Geografisches Institut Universität Bern
Hallerstr. 12, CH-3012 Bern
kienholz@giub.unibe.ch

Heinz Roth
Tiefbauamt des Kantons Bern
Fachstelle Hochwasserschutz, CH-3011 Bern
heinz.roth@bve.be.ch