

Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie

Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO)

Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa

---

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 5

# **FESTSTOFFVERLAGERUNG IN STEILEN FLIESSGEWÄSSERN**

## **ERHEBUNG UND DOKUMENTATION NACH UNWETTEREREIGNISSEN**

BERN, 1999

---



Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie

Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO)

Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa

---

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 5

# **FESTSTOFFVERLAGERUNG IN STEILEN FLIESSGEWÄSSERN**

## **ERHEBUNG UND DOKUMENTATION NACH UNWETTEREREIGNISSEN**

**Ch. Lehmann**

**M. Spreafico**

**BERN, 1999**

---

**Herausgabe und Vertrieb:** Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern  
**Edition et distribution:** Service hydrologique et géologique national, CH-3003 Berne  
**Edizione e distribuzione:** Servizio idrologico e geologico nazionale

## Vorwort

Hochwasser und Murgänge verursachen im Alpengebiet regelmässig Schäden an Siedlung und Infrastruktur. Obwohl seit vielen Jahren Massnahmen gegen Unwetterereignisse getroffen werden, ist es nicht möglich, diese vollständig einzudämmen. Hier sind einerseits technische und ökonomische Limiten zu nennen, andererseits bestehen aber auch noch grundsätzliche Wissenslücken, bezüglich der Entstehung, dem Ablauf und den Auswirkungen verschiedener unwetterbedingter Prozesse.

Ein wichtiges Mittel zum Verständnis der bei einem Unwetter abgelaufenen Prozesse ist die Zusammenstellung der Fakten über das Ereignis. Die Kenntnis dieser Fakten ist ein wichtiger Bestandteil der Beurteilung einer allfälligen Restgefahr unmittelbar nach dem Ereignis, für die Einleitung von Sofortmassnahmen und leistet zudem für die Planung von langfristigen Massnahmen einen wertvollen Beitrag. Leider werden solche Erhebungen unmittelbar nach Unwetterereignissen nur selten durchgeführt. Dies hat seinen Grund oft darin, dass die betroffenen Körperschaften voll in Rettungs- und Aufräumarbeiten integriert sind, welche zu diesem Zeitpunkt selbstverständlich Priorität geniessen. Durch die Aufräumarbeiten gehen Spuren verloren, die für das Prozessverständnis wichtig sind. Die Spurenaufnahme sollte deshalb möglichst unmittelbar nach dem Ereignis erfolgen.

Die nun vorliegende Broschüre „Feststoffverlagerung in steilen Fließgewässern - Erhebung und Dokumentation nach Unwetterereignissen“ wendet sich an öffentliche und private Institutionen, welche sich sowohl mit Katastrophenmanagement als auch mit Planung und Koordination von wasserbaulichen, forstlichen und raumplanerischen Massnahmen befassen.

Die Broschüre versteht sich als Hilfsmittel und Checkliste, um nach Unwetterereignissen Spuren der verschiedenen Prozesse von Erosion, Feststofftransport und Ablagerung systematisch zu erfassen und letztlich auch zu interpretieren. Die in der Publikation beschriebenen Erhebungen und Dokumente sind als Bestandteil einer umfassenden Ereignisdokumentation zu verstehen, wo neben Feststoffen u.a. auch meteorologische Faktoren und infrastrukturelle Schäden erhoben und analysiert werden.

In diesem Sinne fügt sich die Publikation ein in bereits bestehende Aktivitäten und Publikationen, welche sich mit Erfassung und Abschätzung von Feststoffen befassen. Die Landeshydrologie und -geologie betreibt seit vielen Jahren ein Messnetz für die Erhebung von Schwebstoffen und führt die Datenbank "Geschiebefrachten in Geschiebesammlern" der Gruppe für operationelle Hydrologie (GHO). Andererseits besteht die GHO-Mitteilung „Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen“, welche die Beurteilung von Prozessabläufen und die Abschätzung von Feststofffrachten von zukünftigen Ereignissen zum Inhalt hat. Ferner wurde kürzlich der informatikgestützte Ereigniskataster der Eidgenössischen Forstdirektion beim BUWAL aufgebaut, wo aufgetretene Ereignisse nach den einzelnen Prozessarten erfasst werden. Erhebungen und Dokumentationen nach Unwetterereignissen sollen sowohl in die GHO-Datenbank wie auch in den Ereigniskataster Eingang finden.

Den Mitgliedern der GHO-Arbeitsgruppe Feststoffbeobachtung, insbesondere den Herren Prof. Dr. H. Kienholz vom Geographischen Institut der Universität Bern, H.P. Willi vom Bundesamt für Wasserwirtschaft und Dr. D. Rickenmann von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft sei hier für ihre wertvollen Beiträge herzlich gedankt. Speziellen Dank gebührt Dr. Ch. Lehmann von der Landeshydrologie und -geologie für den Entwurf und die Redaktion der Publikation.

Der Präsident der GHO  
Landeshydrologie und -geologie  
Der Direktor a.i.



Prof. Dr. M. Spreafico



## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Anleitung zum Vorgehen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Wichtige Erhebungen.....	9
2.2 Vorbereitung.....	9
2.3 Durchführung eines Übersichtsfluges.....	11
2.4 Erhebungen im Ablagerungsgebiet .....	11
2.4.1 Erheben der abgelagerten Feststoffkubatur .....	11
2.4.2 Beurteilen der Ausbruchsstelle .....	15
2.4.3 Bestimmen des Transportprozesses .....	16
2.5 Erhebungen im Einzugsgebiet.....	16
2.5.1 Verifizieren des Transportprozesses.....	17
2.5.2 Erheben der Spuren für die Schätzung des Abflusses .....	17
2.5.3 Analyse des Gerinnes und der Geschiebeherde .....	25
2.5.4 Erstellen der Feststoffbilanz.....	27
2.5.5 Erfassen der Schäden an Verbauungen und Infrastruktur.....	30
2.5.6 Auslösung und Ablauf des Ereignisses.....	30
2.5.7 Zusätzliche wichtige Beobachtungen .....	31
2.6 Erstellung der Spezialkarte.....	31
<b>3. Weiterleitung der Information .....</b>	<b>33</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>35</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>37</b>



## 1. Einleitung

### Die Erfassung

- abgelaufener Prozesse nach einem Unwetterereignis
- der Geschiebeherde
- der erodierten Kubaturen
- der Ablagerungen und
- der Schlüsselstellen

im Gerinne hilft nicht nur Sofortmassnahmen möglichst sachgerecht zu planen, sondern trägt auch zum Prozessverständnis bei, welches im Hinblick auf die Erarbeitung von längerfristigen Schutzmassnahmen unabdingbar ist. Die Dokumentation der feststoffrelevanten Prozesse und der umgesetzten Feststoffvolumina nach Unwettern bildet daher einen wesentlichen Teil einer umfassenden Ereignisdokumentation.

Da die Spuren durch Aufräumarbeiten und Eingriffe im Rahmen von Sofortmassnahmen rasch verwischt werden, ist deren Erfassung möglichst unmittelbar nach dem Ereignis unumgänglich. Die verantwortlichen Behörden sind nach einem Unwetter durch organisatorische und Hilfeleistungsmassnahmen stark beansprucht. Vorgängige Überlegungen, wer eine solche Erhebung durchführt und wie der Auftrag lautet, sind daher von Nutzen. Es empfiehlt sich jedoch, die Erhebung von Feststoffen durch qualifizierte Fachleute durchführen zu lassen. Die Erhebungen im Gelände sollten aus Sicherheitsgründen wenigstens zu zweit durchgeführt werden.

Die beigezogenen Fachleute müssen die nötigen Kompetenzen erhalten wie beispielsweise

- Zutritt zum Einzugsgebiet in dem das Unwetterereignis aufgetreten ist. Dies bedingt, dass die verantwortlichen Stellen über das Mandat unterrichtet sind.
- Anfordern eines Übersichtsfluges mit Helikopter.

Ereignisabhängig ist ausserdem zu entscheiden, ob und über welchem Gebiet Luftbilder erstellt werden sollen. Beispielsweise führt die Koordinationsstelle für Luftaufnahmen (KSL) ohne speziellen Auftrag Bildflüge durch, wenn das Ereignis von nationalem Interesse ist. Bundesstellen (Eidg. Forstdirektion beim Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Wasserwirtschaft) sowie kantonale Behörden können die Dienste der KSL in Anspruch nehmen. Allenfalls ist auch eine Unterstützung durch das Militär möglich.

Die vorliegende Broschüre vermittelt eingangs einige Ratschläge zur Organisation der Arbeiten und soll dem Praktiker helfen, die Erhebung zielgerichtet und effizient auszuführen. Ferner soll sie sicherstellen, dass die Aufnahmen von den Fachpersonen möglichst einheitlich durchgeführt werden, damit später von den einzelnen Ereignissen untereinander vergleichbare Ergebnisse vorliegen.

Eine Erhebung über Feststoffe nach Unwettern kann allerdings nie als vertiefte und abschliessende Studie gelten. Sie ersetzt deshalb in keinem Fall detaillierte Untersuchungen oder Projektunterlagen über abgelaufene Prozesse und für mögliche zukünftige Schutzkonzepte. Es sollen vielmehr raschmöglichst die wichtigsten Fakten über die abgelaufenen Prozesse und deren Auswirkungen zusammengetragen werden (siehe Landeshydrologie und -geologie 1995).

Zuerst sind jeweils die vorhandenen Spuren möglichst lückenlos festzuhalten und zu dokumentieren:

- Spuren im Gerinne und ausserhalb davon, anhand welcher Rückschlüsse auf den Hochwasserstand, Erosions- und Ablagerungskubaturen möglich sind.
- Ferner sind die Spuren festzuhalten, welche Rückschlüsse auf abgelaufene Prozesse erlauben.

Sofern dies im Auftrag enthalten ist und nicht anderweitig erhoben resp. durchgeführt wird:

- Feststellung von Schäden an Verbauungen und Infrastruktur
- Grobbeurteilung des Momentanzustandes des Einzugsgebietes mit einer Einschätzung der neuen Gefahrensituation.

Aufgrund der Spuren im Gelände können Interpretationen der wichtigen feststoffbezogenen Abläufe und Prozesse des Ereignisses vorgenommen werden:

- Die Hochwasserspuren erlauben die Rekonstruktion des Durchflussquerschnittes. Mit der Annahme einer plausiblen durchschnittlichen Fliessgeschwindigkeit kann eine grobe Abschätzung des Spitzenabflusses, meistens inklusive der mitgeführten Feststoffe, vorgenommen werden.
- Die Schätzung von durchschnittlichen Erosionstiefen, von Ablagerungsflächen und -mächtigkeiten ermöglicht Rückschlüsse auf umgesetzte Feststoffkubaturen.
- Transportprozesse können ebenfalls mit Hilfe der Spuren beurteilt werden.

Zusammen mit der Schadensaufnahme und der Einschätzung der neuen Gefahrensituation sind die Ergebnisse eine wichtige Entscheidungshilfe für die Anordnung von Sofortmassnahmen und längerfristig für die Planung adäquater Schutzmassnahmen.

Die Ergebnisse der Erhebungen müssen so bald als möglich den interessierten Stellen zugänglich sein. Auf Verlangen sind auch provisorische Ergebnisse zur Verfügung zu stellen, damit die Dokumentation möglichst früh von Nutzen ist. Dabei können auch noch unvollständig gezeichnete Karten, grobe Abschätzungen des Abflusses, vorläufige Geschiebebilanzen usw. unter Umständen hilfreich sein. Damit werden frühzeitig einige wichtige Entscheidungsgrundlagen für Sofortmassnahmen, besonders im wasserbaulichen Bereich, eingebracht. Die kantonale Wasserbaufachstelle sollte regelmässig über den Stand der Arbeiten informiert werden, damit diese bereits vorhandene Ergebnisse direkt verarbeiten kann.

Die Dokumentation erfüllt ihren Zweck nur, wenn sie innerhalb nützlicher Frist fertiggestellt und an die interessierten Stellen übergeben wird. Deshalb sind ungefähr die folgenden Fristen einzuhalten:

- |  |     |        |                   |
|--|-----|--------|-------------------|
| • Präsentation der wichtigsten, auch provisorischen Ergebnisse (v. a. für Sofortmassnahmen): | 1-2 | Tage   | nach dem Ereignis |
| • Abgabe eines provisorischen Berichtes mit Berechnungen usw.:                               | 1-2 | Wochen | "                 |
| • Abgabe Schlussbericht:   | 2-4 | Wochen | "                 |

Nach Bedarf sind ausführlichere Interpretationen und Studien (insbesondere im Hinblick auf die Massnahmenplanung) zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen (vgl. BWW / BUWAL 1991a, 1991b, BWW 1998, LHG 1994, VAW 1992).

## 2. Anleitung zum Vorgehen

### 2.1 Wichtige Erhebungen

Im Rahmen der Erhebungen sollte mindestens das Folgende aufgenommen werden:

- **Schätzung der Abflussspitze** (inkl. Feststoffe).  
Da in den meisten Fällen keine Messungen vorliegen, braucht man für die Schätzung:
  - Energieliniengefälle
  - Durchflussquerschnitt (Höhe der Hochwasserspuren über der Sohle und Bachbreite zum Zeitpunkt des Durchflusses)
  - Angaben über die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit.
- **Schätzung der Feststoffkubaturen** von Erosionen und Ablagerungen:
  - Erosionsmächtigkeiten in der Sohle
  - durchschnittliche Erosionsbreite der Sohle
  - durchschnittliche Ablagerungsmächtigkeiten
  - Ablagerungsflächen
- **Festlegung des Transportprozesses** (Geschiebetransport oder Murgang):
  - Erfassung der Spuren zur Erkennung des Transportprozesses (siehe GHO 1996)
- **Erhebung der Materialzusammensetzung:**
  - Linien- oder Flächenproben auf Ablagerungen
  - Linienproben an verschiedenen Stellen im Gerinne.

### 2.2 Vorbereitung

Für die Erhebung wird folgendes Material benötigt:

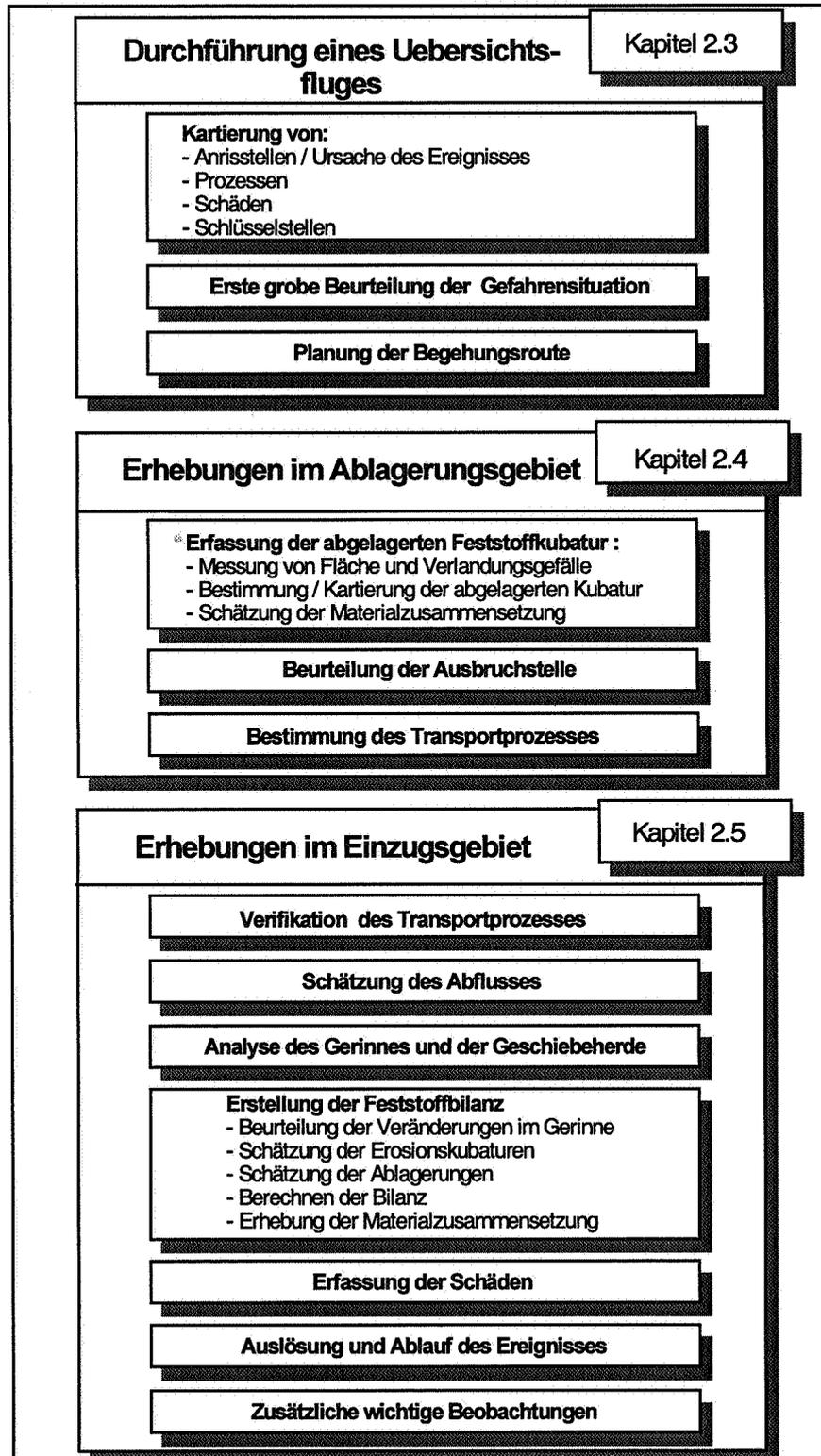
- Karte 1:25'000
- Übersichtspläne sofern vorhanden (Massstab 1:10'000 oder 1:5'000)
- Fotoapparat mit genügend Filmmaterial, ev. Videokamera
- Inklinometer
- Höhenmesser
- Messband
- Schreibmaterial.

Die Verwendung von Checklisten oder vorbereiteten Erhebungsblättern wird empfohlen. Auf diese Weise ist ein möglichst standardisiertes Vorgehen gewährleistet. Man kann je ein Erhebungsblatt für den Kegelbereich (Ablagerungs- bzw. Schadensgebiet), für das Gerinne und für die Erfassung von Phänomenen im Einzugsgebiet (Hangbereich) kreieren. Vorschläge für Erhebungsblätter sind im Anhang beigelegt.

Alle wichtigen Beobachtungen, besonders aber die Ablagerungen auf dem Kegel sowie relevante Erosions- und Schadenstellen im Einzugsgebiet sind mit Fotos zu belegen.

Vor dem Betreten des Schadensgebietes ist die Einsatzleitstelle über die bevorstehende Tätigkeit zu informieren. Dies ist vor allem wichtig, damit jederzeit bekannt ist, wer, wo und wann im Einzugsgebiet tätig ist. So besteht für die Erhebungsgruppe von Anfang an auch ein Ansprechpartner.

Das Vorgehen für die Erhebungen ist ab Kapitel 2.3 beschrieben sowie in Figur 1 schematisch dargestellt.



Figur 1 Durchführung der Erhebung von Feststoffen und weiteren Unwetterspuren nach Schadenereignissen

## 2.3 Durchführung eines Übersichtsfluges

Helikopter stehen unmittelbar nach Unwetterereignissen häufig im Einsatz. Ein Übersichtsflug sollte möglichst vor Beginn der eigentlichen Erhebung durchgeführt werden können. Aus der Luft kann das Folgende erkannt resp. beurteilt werden:

- Anrissstellen und das ungefähre Ausmass der Erosionen, wichtige Geschiebeherde und Ablagerungsgebiete, Schlüsselstellen sowie etwaige infrastrukturelle Schäden
- Allenfalls noch vorhandene Restgefahr
- Die Begehbarkeit des Gebietes und die Begehungsroute.

Während des Fluges sind die Beobachtungen soweit möglich zu kartieren. So entsteht eine erste Grobübersicht über das Ereignis, welche zusätzlich mit Fotos zu illustrieren ist.

Bei der Kartierung sind festzuhalten:

- Anrisspunkt oder erkennbare Hinweise auf die möglichen Ursachen des Ereignisses
- Beobachtungen über die abgelaufenen Prozesse (Murgänge, Rutschungen usw.)
- Erosions- und Ablagerungsgebiete oder -strecken, Transitstrecken
- Bereits sichtbare Schäden
- Soweit möglich allfällige Schlüsselstellen, d. h. Stellen, an welchen der Ablauf des Ereignisses entscheidend beeinflusst worden ist
- Weitere Phänomene, welche von Bedeutung sein können.

## 2.4 Erhebungen im Ablagerungsgebiet

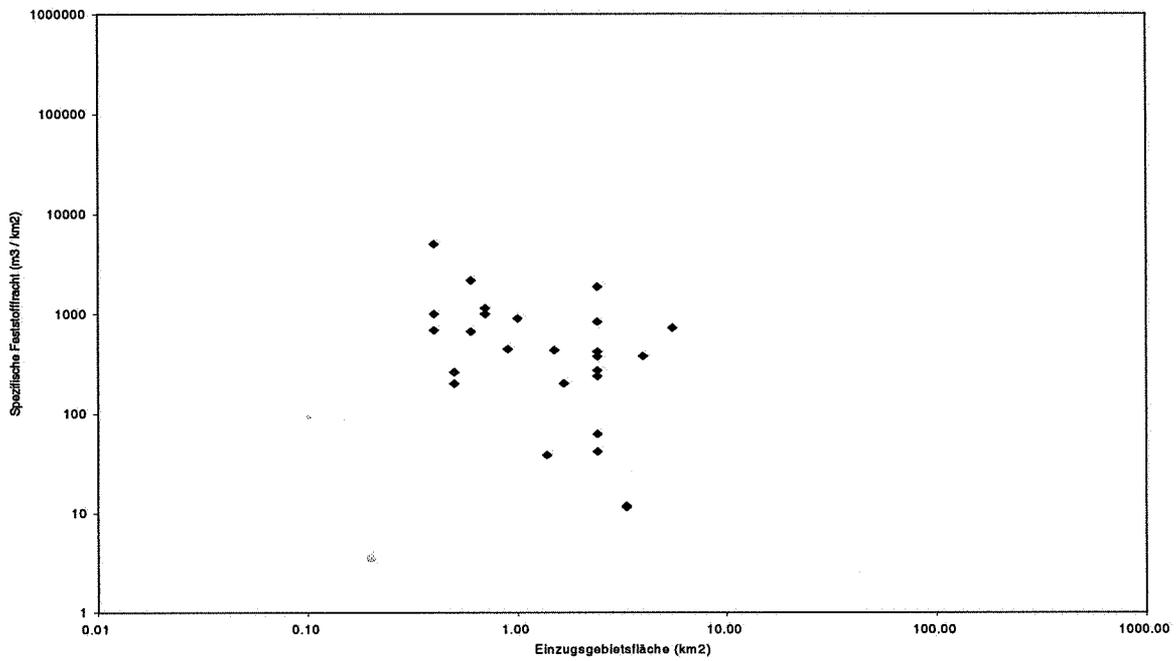
Hier interessieren vor allem die abgelagerten Feststoffkubaturen und die Ausbruchstellen im Bach. Von grosser Wichtigkeit ist zudem die Kenntnis des abgelaufenen Prozesses. Die Materialzusammensetzung der abgelagerten Feststoffe ist ebenfalls soweit möglich zu erfassen.

### 2.4.1 Erheben der abgelagerten Feststoffkubatur

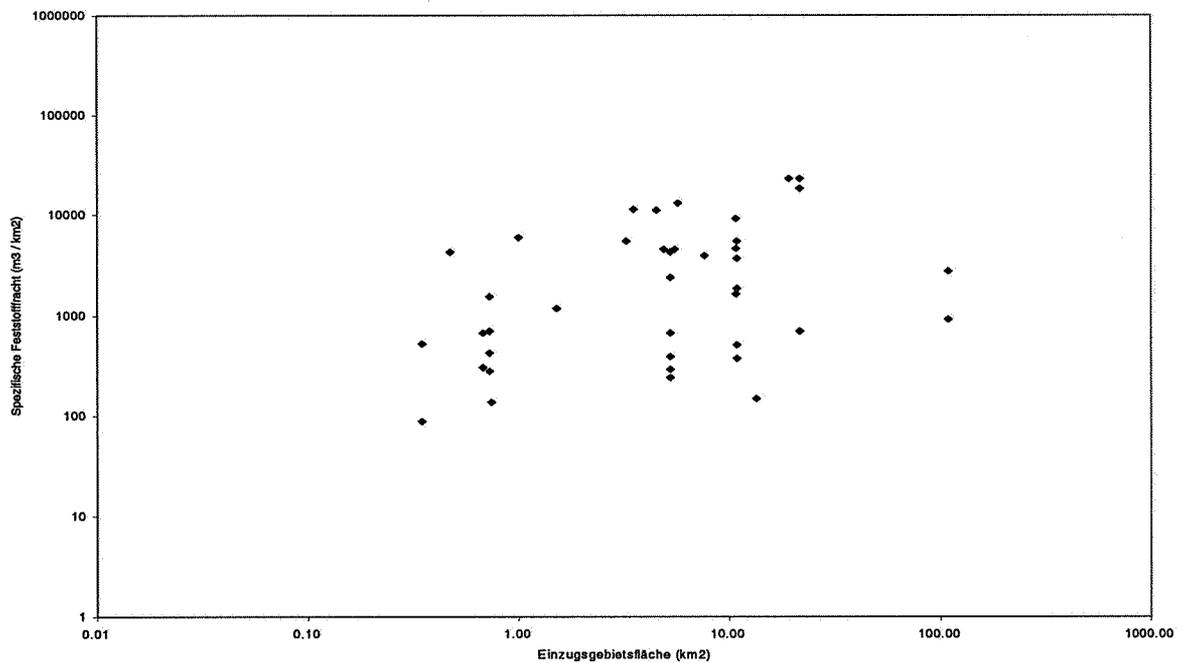
Die abgelagerten Feststoffkubaturen sind, soweit es Siedlungsgebiet betrifft, relativ einfach zu erheben.

Als erstes sind die wichtigsten noch vorhandenen Spuren festzuhalten (siehe Figur 6). Wo die Ablagerungen bereits weggeräumt sind, dienen Schmutzränder an Gebäuden oder Mauern usw. als Referenzpunkte. Damit lässt sich auf die Ablagerungsmächtigkeit schliessen. Wo Ablagerungen noch vorhanden sind und die Ablagerungshöhen nicht gemessen werden können, dienen beispielsweise Fenster und Türen als Referenz. Die Ablagerungsspuren sind an möglichst vielen Stellen zu erfassen, um das Ablagerungsvolumen möglichst präzise zu bestimmen.

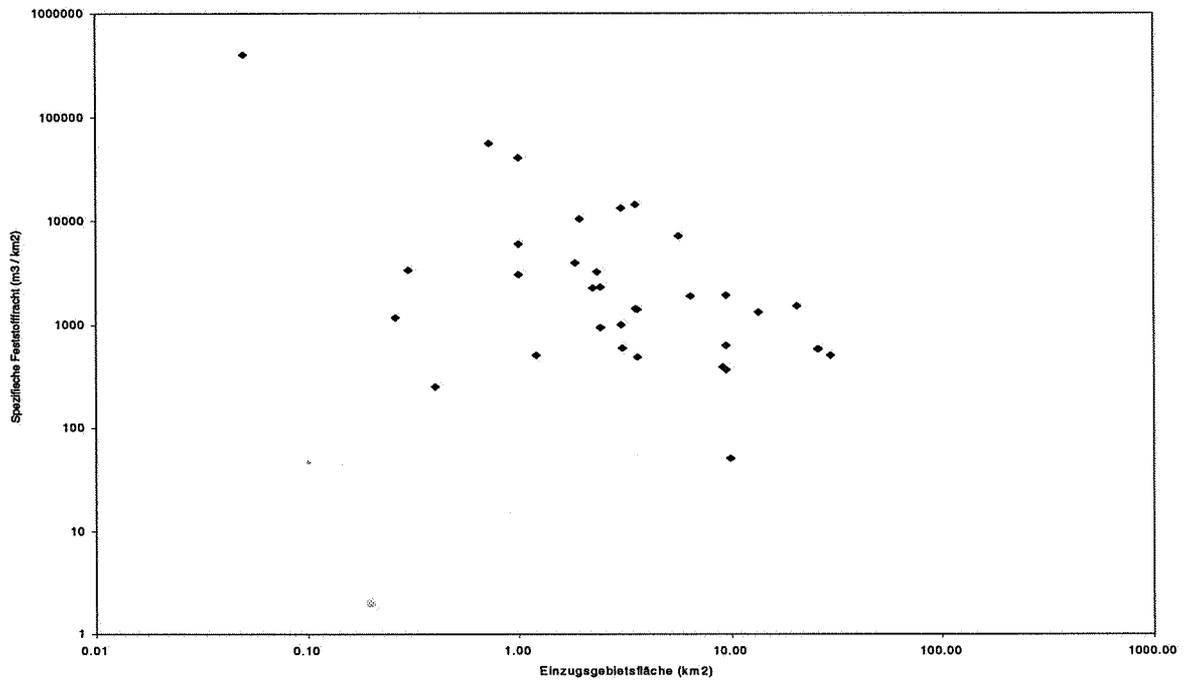
Dabei wird die Ablagerungsfläche mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit multipliziert. Dieses Verfahren ist schnell und überschaubar. Hilfreich ist die Aufteilung der Ablagerungsfläche in Sektoren mit allenfalls unterschiedlichen Mächtigkeiten (z.B. Fläche links des Baches, Fläche unterhalb der Kantonsstrasse usw.). Die Ablagerungsmächtigkeiten sollten punktuell verifiziert werden.



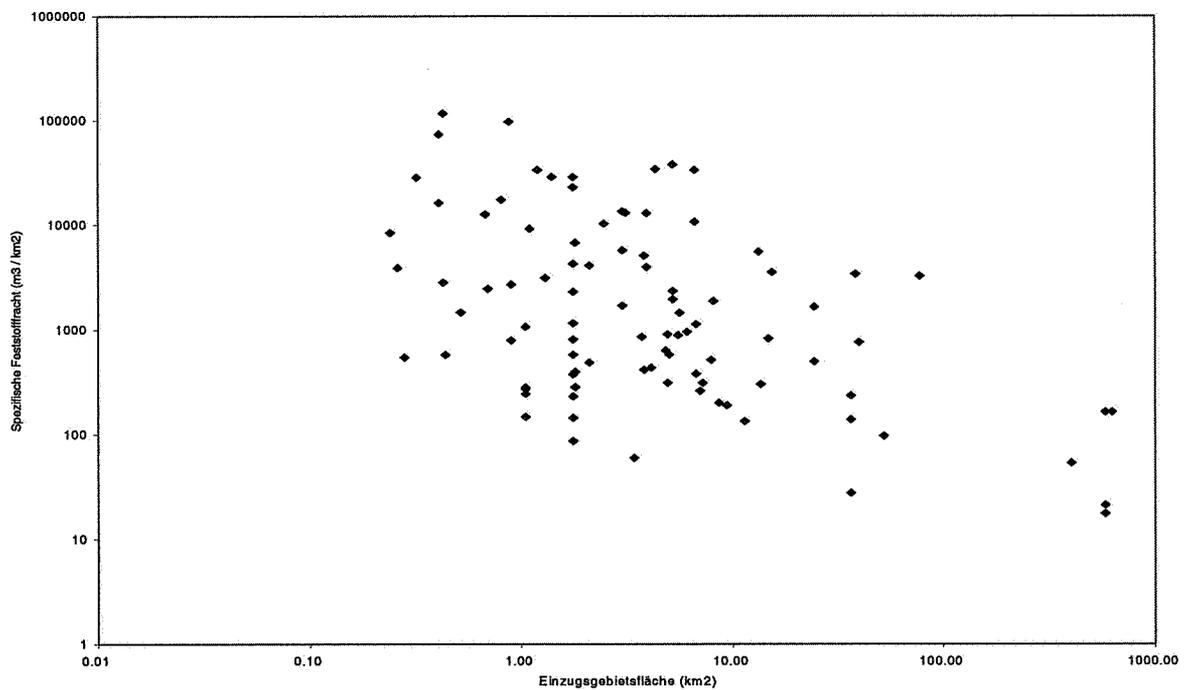
Figur 2 Spezifische Ereignis-Feststofffrachten im Molassegebiet der Schweiz  
(Fig. 2 bis 5 verändert und ergänzt nach Lehmann, 1993 und GHO, 1996)



Figur 3 Spezifische Ereignis-Feststofffrachten im Molassegebiet der Schweiz



Figur 4 Spezifische Ereignis-Feststofffrachten in Kalkgebieten der Schweiz



Figur 5 Spezifische Ereignis-Feststofffrachten in Kristallingebieten der Schweiz

Die Ablagerungsfläche ist für spätere Zwecke unbedingt zu kartieren, am besten sektoriell nach Ablagerungsmächtigkeiten unterteilt. Die geschätzte abgelagerte Kubatur bleibt somit für spätere Untersuchungen nachvollziehbar.

Sowohl bei der Messung als auch beim Schätzverfahren erhält man meistens zu hohe Kubaturen. Dies hat verschiedene Gründe wie geringe Dichte der Ablagerungen, nicht sichtbare Hohlräume, Annahme vereinfachender geometrischer Formen zur Volumenberechnung usw. Das Bewusstsein über diesen Mangel ist wichtig im Hinblick auf die Kontrolle der aufgestellten Feststoffbilanz (Vergleich der Erosionen im Einzugsgebiet mit den Ablagerungskubaturen auf dem Kegel).

Die per Lastwagen abtransportierten Kubaturen können als Vergleichsgrößen für die geschätzten Ablagerungen dienen. Das auf diese Weise ermittelte Volumen ist oft nicht genauer als eine Feldschätzung, da manchmal Fahrten mit Lastwagen unterschiedlichen Fassungsvermögens oder Fahrten mit unterschiedlichem Füllungsgrad durchgeführt werden. Häufig sind die Abrechnungen über die durchgeführten Lastwagenfahrten, welche oft erst viel später vorliegen, sehr pauschal zusammengefasst. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die effektiven Kubaturen durch Zählung der Lastwagenfahrten eher überschätzt werden. Man erhält aber trotzdem eine Grobkontrolle über die Größenordnung der eigenen Schätzungen.

Neben dem Ablagerungsvolumen sind auch Angaben über die Materialzusammensetzung wichtig. Wenn möglich sind im Bachbett Korngrößenanalysen durchzuführen. Zusätzlich sind Schätzungen über die Kornverteilung der Ablagerungen ausserhalb des Bachbettes vorzunehmen (z.B. Schätzung des Feinanteiles, Suche nach dem grössten Block usw.). Die entsprechenden Ergebnisse sind u.a. für eine spätere Berechnung des Geschiebetransportes, nicht zuletzt im Hinblick auf die Massnahmenplanung, von Bedeutung. Hierzu bietet sich die Linienprobe als einfaches Mittel an. Wie diese gemacht wird und worauf bei der Stellenwahl zu achten ist, kann anhand der Literatur ersehen werden (beispielsweise Fehr 1987, GHO 1996).

Sind die erwähnten Erhebungen der Spuren und Interpretationen auf dem Kegel abgeschlossen, kann oft bereits ein grobes Bild über die Grösse des Ereignisses erstellt werden. Die abgelagerte Kubatur ist jedoch immer im Verhältnis zur Einzugsgebietsgrösse und zum naturräumlichen Charakter des Einzugsgebietes zu sehen. Hierzu sind Figuren 2 bis 5 hilfreich, anhand derer grob abgeschätzt werden kann, ob es sich um ein eher durchschnittliches oder um ein Grossereignis handelt. Kubaturen, welche in Berücksichtigung der Einzugsgebietsgrösse und der zugehörigen „Geologie“ in den Figuren 2 bis 5 im oberen Bereich zu liegen kommen, dürften eher einem seltenen Ereignis entsprechen. Diese Zuteilung ist zwar sehr pauschal und sollte auch unter dem Gesichtspunkt anderer Faktoren erfolgen, kann aber einen ersten, qualitativen Eindruck über die Grösse des Ereignisses vermitteln. Es ist hingegen nicht ratsam, ausschliesslich aufgrund der Figuren 2 bis 5 eine Jährlichkeit für das betreffende Ereignis abzuleiten.



Figur 6 Ablagerungen auf dem Kegel des Nant du Pissot, Villeneuve, Ereignis vom 14. August 1995

#### 2.4.2 Beurteilen der Ausbruchsstelle

Neben der Bestimmung der Ablagerungskubatur auf dem Kegelbereich ist die Ausbruchsstelle aufzusuchen. Falls es mehrere solcher Stellen gibt, ist bei jeder einzelnen Ausbruchsstelle die Ursache des Ausbruches zu prüfen. Es kommen gewöhnlich etwa folgende Gründe in Frage:

- Ungenügender Gerinnequerschnitt
- Zu kleiner Durchlass
- Verklausung von Holz beim Durchlass oder bei einer Brücke
- Gefällsbruch (reduziertes Transportvermögen)
- Geschiebeakkumulation im Bachbett (Erhöhung der Sohle) beispielsweise infolge Veränderung der Gerinnegeometrie, der Reibungswiderstände, des allgemeinen Fliessverhaltens oder infolge Rückstaus vom Vorfluter her.

Die Ausbruchstellen sind zu fotografieren (Dokumentation der Spuren), zu kartieren und die Ursache der Ausbrüche sind zu bezeichnen. Falls die Ursache der Ausbrüche nicht gleich festgestellt werden kann, sind die vorhandenen Spuren für eine spätere Interpretation möglichst detailliert zu beschreiben. Die Gefälle und Gerinnequerschnitte sind an der betreffenden Stelle zu vermessen. An einer geeigneten Stelle ist im Hinblick auf Folgeuntersuchungen auch eine Korngrössenanalyse (2 bis 3 Linienproben) durchzuführen.

### 2.4.3 Bestimmen des Transportprozesses

Der abgelaufene Transportprozess sollte möglichst bald identifiziert werden. Dies erleichtert die Vorstellung über die möglichen Abläufe des Unwetterereignisses wesentlich. So sind die Ablagerungen auf folgende Frage hin zu untersuchen:

#### **Stammen die Ablagerungen von einem Murgang oder handelt es sich um rein fluviale Ablagerungen?**

Die vorhandenen Spuren im Ablagerungsgebiet sind oft von verschiedenen Prozessen geprägt, was eine Prozessbestimmung erschwert. Wie die Erfahrung zeigt, ist in Wildbächen oft kein Transportprozess eindeutig vorherrschend. Eindeutige Spuren lassen sich demnach nicht immer finden. Ist auch anhand von Zeugenaussagen keine Klärung möglich, ist im Gelände den untenstehenden Fragen nachzugehen. Falls sie in Bezug auf das vorangegangene Ereignis mehrheitlich bejaht werden können, ist dies ein Indiz für Murgänge:

- Ist das Ablagerungsmaterial unsortiert, d.h. erfolgt keine kontinuierliche Korngrößenabnahme gegen den Rand der Ablagerungen hin?
- Sind Levéebildungen<sup>\*</sup> erkennbar?
- Liegen vereinzelt grosse Blöcke herum?
- Besteht eine klare Grenze zwischen den Ablagerungen und der unversehrten Umgebung?
- Sind an Verbauungen, insbesondere Sperrern, einzelne Elemente wie Flügel oder Abflussektionen stark abgeschliffen oder gar abgeschlagen?
- Sind die Ablagerungen eher zungenförmig angeordnet?
- Sind Murköpfe erkennbar?

## 2.5 Erhebungen im Einzugsgebiet

Verfügt man bereits über eine grobe Übersicht über den Zustand des Einzugsgebiets (Heliflug), können die Schwerpunkte für die Begehung entlang des Baches festgelegt werden. Im Prinzip ist es am günstigsten, geradewegs entlang des Baches bergwärts zu gehen. Auf diese Weise kann die Geschiebebilanz laufend erstellt werden. Aufgrund des Übersichtsfluges weiss man auch, welche Geschiebeherde oder Runsen relevant gewesen, wo allfällige infrastrukturelle Schäden entstanden und wo nun die Schwerpunkte der Erhebungen zu setzen sind.

Ist die Zeit knapp, sind Prioritäten festzulegen. Zuerst sind Schlüsselstellen und akute Gefahrenherde zu beurteilen, weil dort aus Sicherheitsgründen zuerst Massnahmen getroffen werden. Danach sollten Stellen im Gerinne / Einzugsgebiet erfasst werden, wo die Spuren oft rasch geräumt werden. Solche Stellen sind meistens bei den Verkehrswegen (Brücken, Durchlässe, Furten) und in Siedlungsnähe zu suchen. Dies bedeutet vielleicht ein weniger logisches Vorgehen. Die Sicherheit steht aber im Vordergrund und allfällige wichtige Spuren sind noch nicht verwischt.

Die in den folgenden Abschnitten 2.5.1 bis 2.5.4 beschriebenen Untersuchungen sind in der Regel parallel, d.h. anlässlich einer einzigen Begehung durchzuführen.

Für die meisten Fälle lohnt es sich, das Gerinne in einzelne Abschnitte zu teilen und die Erosionen der einzelnen Geschiebeherde resp. Ablagerungen abschnittsweise zu erheben. Ein Vorschlag für ein entsprechendes Erhebungsblatt ist im Anhang beigelegt.

### 2.5.1 Verifizieren des Transportprozesses

Entlang des Gerinnes sind Spuren der Feststoffverlagerung in der Regel leichter zu identifizieren als im Ablagerungsgebiet. Handelte es sich um einen Murgang, können mindestens einige der folgenden Fragen positiv beantwortet werden:

- Finden sich Levées?
- Sind an den Böschungen grössere Blöcke abgelagert?
- Finden sich einzelne grössere kantengerundete Blöcke im Gerinne?
- Lässt sich ein U-förmiger Gerinnequerschnitt erkennen? Wenn nicht, besteht ein tief eingeschnittenes Gerinne, allenfalls in schmaler Trapez- oder in V-Form (bedingt durch bereits nachgesackte Böschungen, die das Gerinne teilweise aufgefüllt haben)?
- Finden sich Murköpfe?
- Hat es ungeordnete Ablagerungen?
- Fehlen Terrassen oder sind sie unter dem abgelagerten Material insgesamt nicht prädominant?
- Sind einzelne Elemente von Verbauungen stark abgeschliffen oder abgeschlagen?
- Sind die Beschädigungen an Verbauungen und Infrastruktur derartig, dass Wasser und Geschiebe allein nicht solche Schäden verursacht haben könnten?
- Besteht ein eindeutiger Anrisspunkt im Gerinne / im Einzugsgebiet, von wo aus der Verlauf des Murganges nachvollzogen werden kann?

### 2.5.2 Erheben der Spuren für die Schätzung des Abflusses

#### A) Abfluss mit Geschiebetransport

##### Wahl der Erhebungsstandorte

Vermutlich sind zum Zeitpunkt der Begehung noch keine oder höchstens rudimentäre Niederschlagsinformationen vorhanden. Man wird aber wissen, ob das Unwetter ein Ergebnis eines heftigen Gewitters oder eines langanhaltenden Niederschlagsereignisses gewesen ist. Man wird auch einige Vorstellungen über die vergangene Witterungsperiode haben (Meteodaten, Wetterradar).

Eine Schätzung des Spitzenabflusses ist immer wichtig, nicht zuletzt deshalb, weil fast nie gemessene Werte zur Verfügung stehen. Es lohnt sich, eine möglichst genaue Schätzung zu anzustreben, weil diese Schätzung als Hilfsgrösse für die spätere Verwendung von Niederschlag-/Abflussmodellen dienen wird. Es wird empfohlen, die Abflussspitze an möglichst vielen Stellen zu schätzen, damit das Ergebnis anhand einer genügend grossen Anzahl Werte eingemittelt werden kann. Die Qualität der Schätzungen kann später auch überprüft werden: die Schätzwerte des Spitzenabflusses sollten bachabwärts kontinuierlich ansteigen.

Für die Bestimmung der Abflussspitze wird der Durchflussquerschnitt mit der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit multipliziert.

Bei der Abflussschätzung ist ein bestimmter Anteil Feststoffe zu berücksichtigen, welcher ohne weiteres 10% oder mehr an der Gesamtwasserfracht ausmachen kann. Bei der Rekonstruktion des Abflusses ist die getroffene Annahme über den Anteil Feststoff auszuweisen, auch wenn sich die Grössenordnung der Berechnungen nicht gross verändert.

Zuerst sind geeignete Stellen mit gut sicht- und interpretierbaren Spuren für die Rekonstruktion des Abflusses zu suchen. Zuverlässige Abflussspuren finden sich

primär in möglichst geraden Strecken, welche durch das Hochwasser wenig verändert worden sind, beispielsweise:

- Nicht eingeschotterte Kanalstrecken
- Felsstrecken, allenfalls mit bewachsenen Böschungen
- Gerade Bachstrecken mit wenig Erosionen / Ablagerungen.

Kurvenreiche Bachstrecken sind wenn möglich zu meiden. Vorsicht geboten ist ferner an Stellen im Bereich eines Hindernisses, bei einer Veränderung von Gefälle oder Gerinnecharakter sowie bei Sperren. Hier verändert sich die Abflusshöhe innerhalb weniger Meter und die Unsicherheit der Schätzung wird dadurch erhöht.

Die Stelle, an der der Abfluss rekonstruiert werden soll, weist am besten deutliche und parallele Spuren an beiden Böschungen auf.

Wenn immer möglich sollten Abflussschätzungen an folgenden Orten entlang des Baches durchgeführt werden:

- auf dem Kegel, unmittelbar oberhalb der Ausbruchstelle
- zwischen dem Kegelhals und einem allfälligen grösseren Zufluss (mehrere Querprofile)
- in jedem hochwasserführenden Seitengerinne
- bei den bzw. oberhalb der ersten Erosionsspuren (geschiebeloser Abfluss; dadurch kann der Abfluss für den Transportbeginn grob eingemittelt werden).

Der durchflossene Querschnitt kann gemäss Figur 7 gemessen werden. Der so gemessene Querschnitt repräsentiert nur den letzten Gerinnezustand nach dem Ereignis. Deshalb sollte man zu rekonstruieren versuchen, ob die betreffende Stelle beim Ereignis tendenziell erodiert oder aufgefüllt wurde, oder ob die Sohle noch etwa in der gleichen Lage wie vor dem Ereignis ist.

Die Erfahrungen mit dem Messnetz der Hochwassergrenzwertpegel zeigen, dass eine Abflussschätzung an Überfällen oft gute Resultate liefert. Die Abflussschätzung kann bestimmt werden mit

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2gh^{1.5}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$h = h_u + \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}]$$

$\mu$	=	Überfallbeiwert (0.5-0.8)	[-]
$b$	=	mittlere Breite	[m]
$g$	=	Erdbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	=	Höhe der Energielinie	[m]
$h_u$	=	Abflusstiefe, bei der Überfallkante gemessen	[m]
$v$	=	Fliessgeschwindigkeit im Oberwasser	[m/s]

Es ist immer zu prüfen, ob der errechnete Abfluss realistisch ist. Wird der Bach beispielsweise wenige Sekunden lang vollständig gestaut, schwellt der Abfluss unterhalb der Bruchstelle schlagartig an und kann ein mehrfaches dessen erreichen, was aufgrund der hydrologischen Bedingungen möglich ist. Tritt ein solcher Fall ein,

ist dieser anhand der vorhandenen Spuren meistens leicht erkennbar, und zwar anhand der plötzlich eintretenden Vergrößerung des Durchflussquerschnitts und einer möglicherweise lokal erhöhten Erosion.

### Messung des Durchflussquerschnitts

Soweit möglich ist der Gerinnequerschnitt an mindestens zwei bis drei Stellen im Bachlauf mittels Abstichen zu messen (Figur 7). Hierfür wird beispielsweise ein Messband auf der Höhe des Hochwasserspiegels quer zur Fließrichtung horizontal über das Gerinne gespannt und die Vertikaldistanz zum Bachbett alle 0.5 bis 1m z.B. mit dem Doppelmeter gemessen. Auf diese Weise erhält man eine recht genaue Querschnittsfläche, indem man zum Beispiel sektoriell vorgeht und jeweils die Teilflächen zwischen den einzelnen Abstichen berechnet und aufaddiert.

Die Fläche des Abflussquerschnittes  $F$  kann gemäss Figur 7 auch mittels Trapezform näherungsweise berechnet werden mit:

$$F = \frac{(b_{ws} + b_s)}{2} * h \quad [m^2]$$

$b_{ws}$	=	Breite des Hochwasserspiegels	[m]
$b_s$	=	Breite der Sohle	[m]
$h$	=	Höhe des Abflussgemisches	[m]

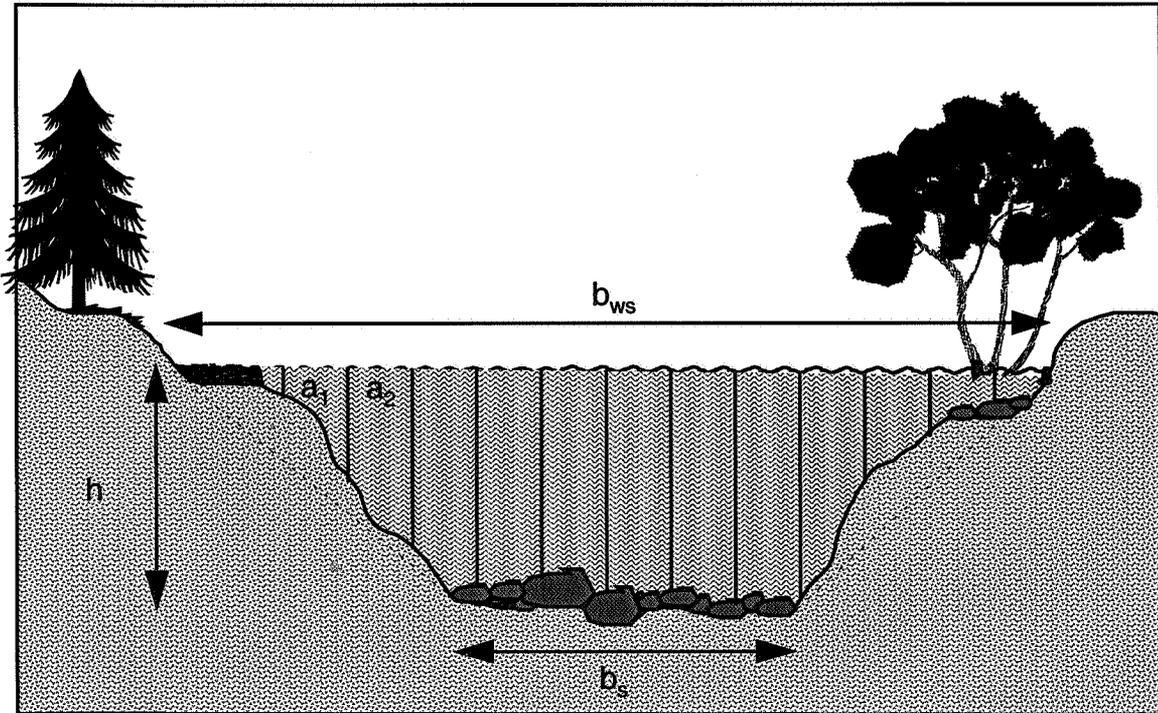
Der Behelf mittels Trapezform kann an Stellen angewendet werden, welche nicht leicht zugänglich sind. Wurde mehrere Querprofile mittels Abstichen vermessen, kann er als Grobkontrolle der bisherigen Schätzungen dienen.

Dort, wo die Spuren nicht sehr eindeutig sind oder wo die Sohlenlage während des Ereignisses nicht bestimmt werden kann, genügt eine Schätzung des Durchflussquerschnittes, ansonsten hier eine zu hohe Genauigkeit vorgetäuscht wird, welche die Qualität einer späteren Abflussberechnung in keiner Weise verbessert.

Ist der Durchflussquerschnitt  $F$  bekannt, kann für den Abfluss  $Q$  ein erster Näherungswert beispielsweise nach Ruf (1988) abgeschätzt werden. Die Korngrösse  $d_{70}$  entspricht dabei etwa dem Mittelwert von  $d_{90}$  und  $d_{50}$ :

$$Q = 1.513 \frac{F^2 J}{d_{70}} \quad [m^3/s]$$

$J$	=	Gefälle	[-]
$d_{70}$	=	Korngrösse, 70% des Gewichtsanteils des Sohlenmaterials sind kleiner	[m]



Figur 7 Schematische Darstellung eines Durchflussquerschnitts mit Hochwassermarken (links: „Terrasse“, welche eine Sohlenlage repräsentiert; am Baum rechts kann beispielsweise die Baumrinde beschädigt sein) und zwei Möglichkeiten der Vermessung:  
 1. Grobe Annäherung der Querschnittsform mittels Trapez (gestrichelte Linien)  
 2. Detaillierte Aufnahme des Querschnitts mittels Abstichen  $a_1$ ,  $a_2$ , usw.

### Schätzung der Durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit

Messungen der Fließgeschwindigkeit von Hochwasserabflüssen sind in Wildbächen praktisch nicht vorhanden. Die Schätzung der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit ist daher von vielen Unsicherheiten geprägt. Die mittlere Fließgeschwindigkeit dürfte in den meisten Fällen etwa zwischen 1.5 und 3 m/s liegen, wobei diese Werte je nach Bachgerinne sehr verschieden sein können. Höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten kommen in Wildbächen bei der sehr turbulenten Wasserführung und mit dem relativ hohen Geschiebeanteil sowie dem Luftenfluss wohl kaum vor. Die Anwendung der Formel von Strickler führt erfahrungsgemäss oft zu unrealistisch hohen Fließgeschwindigkeiten, wenn der K-Wert zu hoch angesetzt wird:

$$v = K * R^{2/3} * J^{1/2}$$

v	=	mittlere Fließgeschwindigkeit	[m/s]
K	=	Reibungsbeiwert	[m <sup>1/3</sup> /s]
R	=	Hydraulischer Radius	[m]
J	=	Energieliniengefälle	[-]

Berechnet man die Fliessgeschwindigkeit nach Strickler, was für den Feldeinsatz in der Regel am einfachsten ist, sollte ein K-Wert für einen Wildbach von ungefähr zwischen 8 bis 12 verwendet werden. Besteht die Sohle aus Fels oder rechnet man in einem Kanal, kann der K-Wert etwas höher gewählt werden. Durchschnittliche Fliessgeschwindigkeiten von ca. 4 - 6 m/s stellen aber auch in Kanälen eine obere Grenze dar.

Der K-Wert kann nach Rickenmann (1998) auch rechnerisch bestimmt werden mit

$$K = \frac{0.97g^{0.41}Q^{0.19}}{J^{0.19}d_{90}^{0.64}} \quad [m^{1/3}/s]$$

Das Problem ist meistens die Unkenntnis von Q, welches auf iterativem Weg gefunden werden muss.

Für den praxistauglichen Gebrauch werden aufgrund von Erfahrungen mit Messungen der LHG die folgenden Werte für die mittlere Geschwindigkeit eines Hochwassers vorgeschlagen:

- Gerinne mit natürlicher Sohle und step-pool Sequenzen: bis 2 m/s
- Gerinne mit hohem Gefälle ohne step-pool Sequenzen: bis 3 m/s
- Felsgerinne mit gestrecktem Längenprofil: 3 bis 4 m/s
- glatte Kanäle: 4 bis 6 m/s

Verwendet man Formeln für die Berechnung der Fliessgeschwindigkeit, ist zu kontrollieren, dass die Ergebnisse nicht zu sehr von den oben aufgeführten Werten abweichen. Sind die entsprechenden Parameter bekannt, kann die Fliessgeschwindigkeit beispielsweise anhand der Formeln in Tabelle 1 errechnet werden.

Tabelle 1 Formeln für die Berechnung der Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen

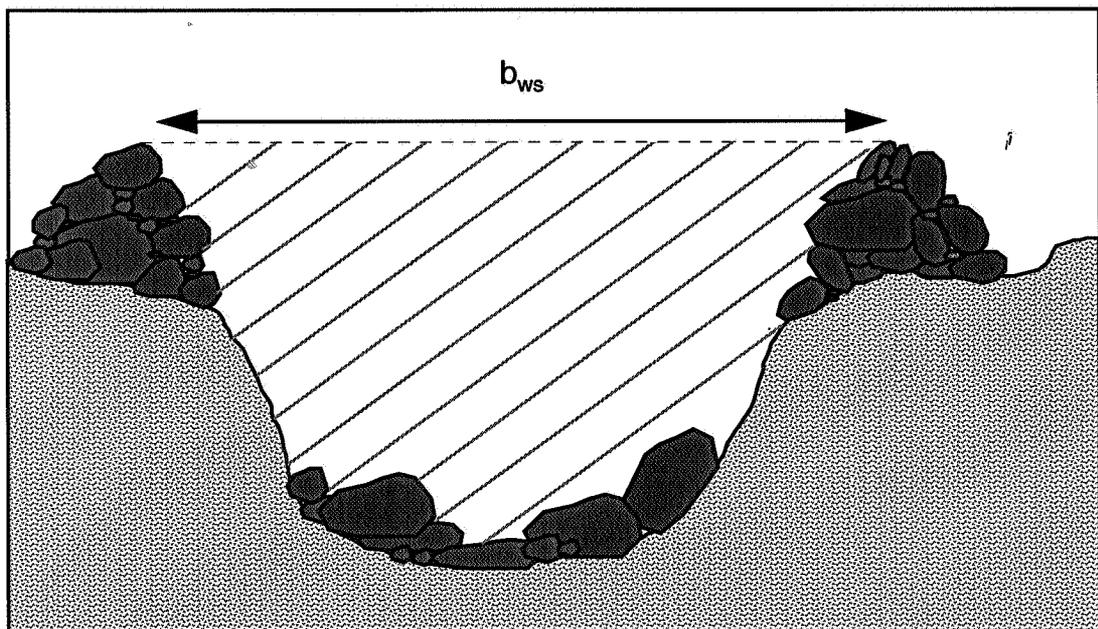
Autoren	Formel	Parameter	Probleme
Smart/Jaeggi (1983)	$v = 2.3(g h_m J)^{0.5} (1 - \exp(-0.05 \frac{Z_{90}}{J^{0.5}}))^{0.5} \ln(8.2 Z_{90})$	g, d <sub>90</sub> , h <sub>m</sub> , Z <sub>90</sub>	Z <sub>90</sub> = h <sub>m</sub> / d <sub>90</sub> ; Bestimmung des h <sub>m</sub> , welches möglichst exakt bekannt sein sollte. Kenntnis des d <sub>90</sub> setzt Kornverteilungskurve voraus (Schätzungen sind oft ungenau)
Ruf (1988)	$v = 1.23 \left( \frac{QJ}{d_{70}} \right)^{0.5}$	Q, J, d <sub>70</sub>	Bestimmung von Q, d <sub>70</sub> (d <sub>70</sub> als Mittelwert von d <sub>90</sub> und d <sub>50</sub> )
Rickenmann (1998), Hager (1998)	$v = \left( \frac{0.67}{e^{1.26J}} \right) \left( \frac{g^{0.33} Q^{0.33} J^{0.33}}{d_{90}^{0.33}} \right)$	g, Q, J, d <sub>90</sub>	Bestimmung von Q, d <sub>90</sub>
Rickenmann (1996, 1998), Hager (1998)	$v = \frac{0.37g^{0.33} Q^{0.34} J^{0.2}}{d_{90}^{0.35}}$	g, Q, J, d <sub>90</sub>	Bestimmung von Q, d <sub>90</sub>

Ist man gezwungen, den Hochwasserabfluss an einer Stelle zu rekonstruieren, wo neben dem eigentlichen Gerinne auch das Umland überflutet wurde, ist der erfasste Durchflussquerschnitt aufgrund der unterschiedlichen Abflusstiefen und Rauigkeiten unbedingt in Gerinne- und Umlandsektionen zu unterteilen.

## B) Murgänge

Die Rekonstruktion eines Murgangabflusses erfolgt gemäss Figur 8.

Die Querschnittsfläche kann auch hier näherungsweise mit einem Trapez bestimmt werden, auch wenn die Spuren nicht immer sehr eindeutig sind (Fig. 8).



Figur 8 Schematischer Gerinnequerschnitt nach einem Murgang. Beidseitig des U-förmigen Gerinnes sind Levées als typisches Merkmal erkennbar. Häufig besteht die Sohle aus sehr grobblockigem Material.

### Abschätzung der Fließgeschwindigkeit des Murganges

Es ist wünschenswert, an einigen Stellen Durchschnittsgeschwindigkeit und allenfalls die mögliche Dauer des Prozesses der Feststoffverlagerung kontrollhalber durchzuführen. Kennt man die ungefähre Durchschnittsgeschwindigkeit des Murganges, kann die Kubatur anhand des Durchflussquerschnitts und der geschätzten Dauer des Vorganges grössenordnungsmässig bestimmt werden. Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit eines Murganges gibt es verschiedene Wege:

- Angaben von Augenzeugen. Hier ist Vorsicht am Platz, da ungewohnte Ereignisse oft überzeichnet wahrgenommen werden. Die Qualität der Aussagen kann mittels weniger Kontrollfragen abgeschätzt werden.
- Schätzung anhand von Querprofilen ähnlich wie beim geschiebeführenden Hochwasser. Hier ist immer zu kontrollieren, ob die vorhandenen Spuren nicht durch mehrere Murgangschübe hinterlassen worden sind.

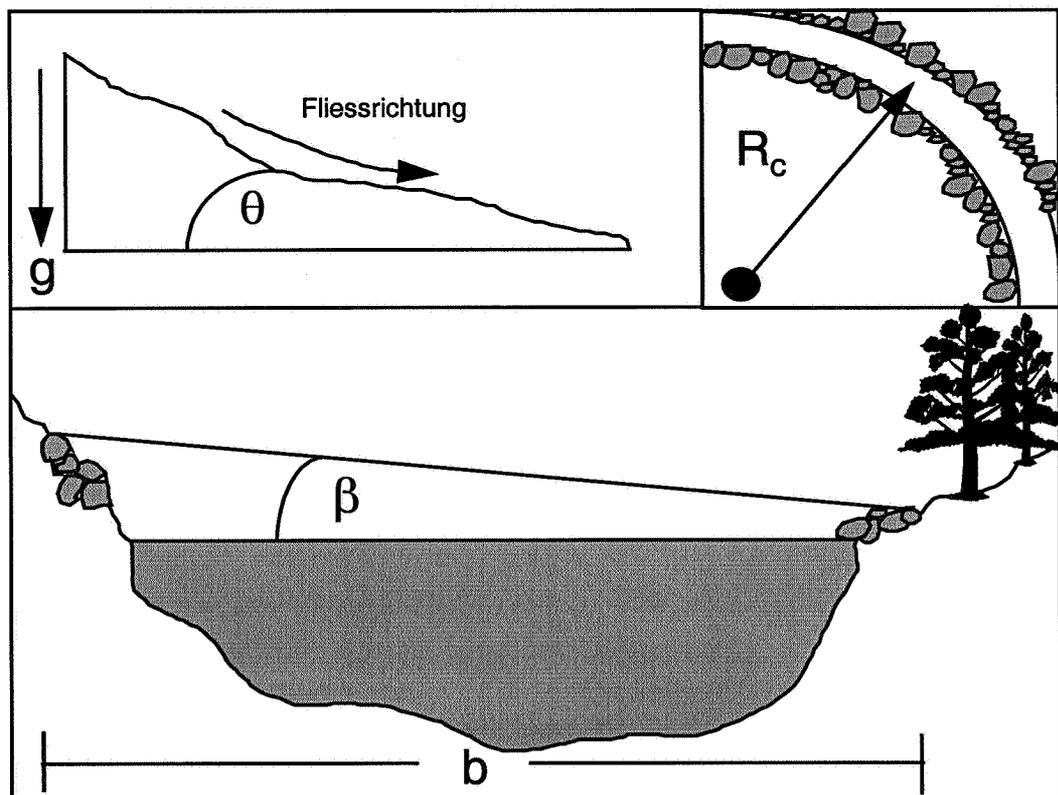
- Berechnung anhand von empirisch hergeleiteten Formeln. Die bekannteste Art ist diejenige der Kurvenüberhöhung (Figur 9).

Die Fließgeschwindigkeit anhand der Kurvenüberhöhung berechnet sich wie folgt:

$$v = \sqrt{g \tan \beta R_c \cos \theta} \quad [\text{m/s}]$$

wobei  $g$  = Erdbeschleunigung [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ],  $\beta$  = Neigung der Kurvenüberhöhung [ $^\circ$ ],  $R_c$  = Kurvenradius [m],  $\theta$  = Gerinneneigung [ $^\circ$ ].

Die Genauigkeit der Berechnung der Fließgeschwindigkeit eines Murganges anhand der Kurvenüberhöhung darf nicht überschätzt werden. Die Berechnungsmethode erfordert einige Erfahrung in der Anwendung. Infolge der Massenträgheit der Front des Murganges fließt sie bei einer Kurve vorerst weiter geradeaus und steigt die Böschung hinauf, um erst danach die Kurvenbewegung einzuleiten. Hier besteht neben der Erhebung der Parameter (Fig. 9) ein hohes Fehlerpotential bei der Abschätzung von Fließgeschwindigkeiten, welches zu unsinnigen Resultaten führen kann.



Figur 9 Schematische Darstellung zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit von Murgängen anhand der Kurvenüberhöhung

Die Fließgeschwindigkeit kann auch anhand der Höhe des Aufstaus an einem umflossenen Hindernis berechnet werden:

$$v = \sqrt{2g\Delta H} \quad [\text{m/s}]$$

wobei  $\Delta H$  = die Auflaufhöhe [m] auf ein Hindernis ist.

Bei der Verwendung der genannten Formeln ist immer zu prüfen, ob die errechneten Werte für die betreffende Stelle realistisch sind. Murgänge erreichen oft höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten als Reinwasserabflüsse, wobei es auch hier stark auf das Gerinne und das Fließverhalten des Murganges ankommt.

Fließgeschwindigkeiten im Bereich von ca. 5 - 15 m/s dürften in vielen Fällen realistisch sein, wobei der höhere Wert eher idealen Fließbedingungen für den Murgang entspräche. Eine Faustregel für die Praxis besagt, dass die Geschwindigkeit eines Murganges „von einem rüstigen Mann“ mitgehalten werden kann. Diese Vorstellung dürfte für eine Abschätzung im Gelände als grober Anhaltspunkt dienen.

Im Sinne der oben genannten Werte können die folgenden Angaben eine Orientierungshilfe sein:

- |  |   |
|--|---|
| - Kleine Geschwindigkeiten<br>(bis ca. 5 m/s)        | geringes Gefälle, abgetreptes Gerinne, hohe Gerinnerauhigkeiten   |
| - Mittlere Geschwindigkeiten<br>(bis ca. 8 - 10 m/s) | geringes Gefälle niedriger Rauigkeit, mittleres Gefälle und regelmässiges Längenprofil                        |
| - Hohe Geschwindigkeiten<br>(über 10 m/s)            | regelmässiges Längenprofil einer Transitstrecke mit mittlerem bis hohem Gefälle, geringe Gerinnerauhigkeiten. |

Aufgrund fehlender Vergleichsmessungen in der Natur können vorläufig keine präziseren Werte angegeben werden. Bei der Interpretation der Spuren im Gelände ist immer zu prüfen, inwieweit diese allenfalls mehreren Murschüben zugeordnet werden können.

Da die Fließgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren abhängig ist und deshalb auf dem Weg bachabwärts variieren kann, sollten wenn möglich Abschätzungen an verschiedenen Stellen vorgenommen werden. Einerseits wird damit die Qualität der Aussage etwas erhöht, andererseits kann die eigene Schätzung besser überprüft werden.

### Schätzung des Abflusses

In der Praxis kann nur der Abfluss des Feststoff-Wassergemisches geschätzt werden. Der Wasseranteil oder die durchschnittliche Dichte des Murganges sind in der Regel nicht sofort rekonstruierbar. Eine näherungsweise Bestimmung ist mittels spezieller Laboruntersuchung möglich, sofern repräsentative Proben möglichst kurz nach dem Ereignis entnommen werden können.

Die Auswahl der Stellen zur Schätzung des Murgangabflusses richtet sich teilweise nach speziellen Kriterien. Zur Abflussberechnung eignen sich im Gegensatz zum Reinwasser vor allem Kurven. Anhand der Kurvenüberhöhung kann die Fließ-

geschwindigkeit näherungsweise rekonstruiert und der Abfluss grob geschätzt werden (Fig. 9). Es ist in besonderem Masse darauf zu achten, nur Stellen mit deutlichen Spuren auszuwählen (vgl. auch Fig. 10).

### 2.5.3. Analyse des Gerinnes und der Geschiebeherde

Für die Erstellung der Feststoffbilanz sollten einige Kenngrößen des Gerinnes und der Geschiebeherde bekannt sein. Dies erleichtert die spätere Interpretation. Es wird empfohlen, die Fakten auf den Erhebungsblättern (siehe Anhang) festzuhalten. Die wichtigen Beobachtungen (beispielsweise Erosionsstrecken, wichtige Geschiebeherde, Anrissgebiete, grössere Rutschungen) werden mit Vorteil gleichzeitig kartiert.



Figur 10 Bachbett mit seitlichen Wällen, welche jedoch nicht eindeutig als Levées identifiziert werden können (Sandbach Grindelwald, Ereignis vom August 1989)

### Gerinneabschnitte

Für die Analyse und für die Erstellung einer Feststoffbilanz wird das Gerinne am besten in einzelne Abschnitte aufgeteilt. Für jeden dieser Abschnitte kann die Bilanz separat erhoben und anschliessend für den gesamten Bach aufgerechnet werden.

Die Gerinneabschnitte werden mit Vorteil so gewählt, dass sie in bezug auf die abgelaufenen Prozesse jeweils möglichst homogen sind, d.h. man grenzt eine reine Erosionsstrecke von einer Umlagerungsstrecke ab oder fasst eine Strecke mit hoher Rensenaktivität zusammen. Die Abschätzungen und Beobachtungen sollen gerinneabschnittsweise separat auf den jeweiligen Erhebungsblättern vermerkt werden.

Für jeden Gerinneabschnitt ist folgendes festzuhalten:

- Bezeichnung zur späteren Identifikation
- untere und obere Kote
- minimale, maximale und mittlere Bachbreite
- horizontale Länge
- mittleres Gefälle
- Grobklassifikation (Gerinneabschnitt mit Erosion, Umlagerung, Ablagerung, Transitstrecke)
- Schätzwerte für Erosionen und Ablagerungen
- Beobachtungen über Besonderheiten (Murköpfe, Verklausungen, unterspülte Querwerke usw.)

### Geschiebeherde

Oft sind die Aktivitäten von Geschiebeherde und Sohle eng miteinander verknüpft. Es ist deshalb nicht immer leicht, die Spuren der einzelnen Prozesse auseinander zu halten (siehe Figur 11). Für die Geschiebeherde sollten die folgenden Angaben erhoben werden:

- Lage und Bezeichnung des Geschiebeherdes und des dazugehörigen Gerinneabschnittes (Identifikation)
- Erodierete Fläche des Geschiebeherdes
- Durchschnittliche Mächtigkeit der erodierten Kubatur
- Allfällige Besonderheiten (Materialbeschaffenheit, generelle Relevanz usw.)

Eine klare Trennung von Erosions-, Umlagerungs- und Ablagerungsstrecke ist oft nicht möglich, da Erosions- und Ablagerungsprozesse örtlich wie zeitlich abwechslungsweise auftreten können.

Als zweckmässig hat sich eine Unterteilung der Gerinneabschnitte in sechs Typen erwiesen

- Erosionsstrecken (E)  
Hier finden sich praktisch keine Ablagerungen, das Gerinne hat sich aber deutlich eingetieft, evtl. verbunden mit Böschungserosion.
- Umlagerungsstrecken mit mehrheitlich Erosion ( $U_E$ )  
Die Erosion überwiegt gegenüber den Ablagerungen.
- Umlagerungsstrecken (U)  
Die Geschiebebilanz ist ausgeglichen.
- Transitstrecken (T)  
Hier fand nur Transport statt (i. d. R. Felsstrecken oder abgepflästerte Strecken).

- Umlagerungsstrecken mit mehrheitlich Akkumulation ( $U_A$ )  
Ablagerungen überwiegen gegenüber der Erosion.
- Akkumulationsstrecken (A)  
Es finden sich praktisch nur Ablagerungen. Erosion spielt eine untergeordnete Rolle



Figur 11 Hangaktivitäten in der Zavragia, Vorderrheintal, Ereignis vom 19. Juli 1987

## 2.5.4 Erstellen der Feststoffbilanz

### A) Beurteilen der Veränderungen im Gerinne

Zuerst ist festzustellen, welche Veränderungen das Unwetter am Gerinne und in den Böschungen verursacht hat. Da der Zustand vorher meistens nicht genau bekannt ist, sind stumme Zeugen oft die einzigen Anhaltspunkte, um das Ausmass der Veränderungen festzustellen.

Ein wichtiger Hinweis ist die Veränderung der Sohlenlage. Hat sich die Sohle beispielsweise eingetieft, ist zuerst zu prüfen, ob die Erosion nur lokal oder über eine längere Strecke stattgefunden hat. Das Ausmass der Sohleneintiefung oder -erhöhung an einer bestimmten Stelle wird folgendermassen festgestellt:

- Schätzung bzw. Vermessung von Gerinnequerschnitten und Sohlenlagen:
  - a) Gerinne vor dem Ereignis (beispielsweise anhand von Pflanzen mit freigelegten Wurzeln oder eingeschotterten Stämmen)
  - b) heutiger Bachquerschnitt und momentane Sohlenlage
  - c) vermutliche maximale Sohleneintiefung während des Ereignisses aufgrund der Gerinnegeometrie, z.B. durch Ermittlung der maximal möglichen Eintiefung ohne Nachrutschen der Böschung unter Berücksichtigung der Böschungsmaterialeigenschaften.

- Vergleich der verschiedenen Sohlenlagen:  
Wo davon auszugehen ist, dass gegen Ende des Hochwasserereignisses oder später Ablagerungen erfolgt sind, liegt der gesuchte Wert im Bereich zwischen der Differenz aus b) und a) bzw. derjenigen aus c) und a).

Prozesse in der Sohle und aus der Böschung sind soweit möglich auseinander zu halten.

## B) Schätzen der Erosionskubaturen

Die Schätzung der Erosionskubaturen kann gemäss der GHO-Mitteilung Nr. 4, Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen (GHO 1996) erfolgen.

### Gerinnesohle

Die Erosion der Gerinnesohle erfolgt meistens sehr unregelmässig (Hindernisse, unregelmässige Feststoffführung usw.). Eine detaillierte Erfassung der Erosion entlang des Gerinnes ist daher meistens nicht möglich. Man behilft sich deshalb am besten mit der Schätzung eines Pauschalbetrages im betreffenden Gerinneabschnitt.

Die Erosionskubatur aus der Gerinnesohle berechnet sich zu

$$E_{\text{Sohle}} = k_{\text{So}} * L_{\text{GA}} * b * d$$

$E_{\text{Sohle}}$	=	Erodierte Kubatur aus der Sohle	[m <sup>3</sup> ]
$k_{\text{So}}$	=	Reduktionsfaktor für die Sohle	[-]
$L_{\text{GA}}$	=	Länge des Gerinneabschnittes	[m]
$b$	=	Mittlere Breite der Sohle	[m]
$d$	=	Mittlere Erosionstiefe	[m]

Der Reduktionsfaktor wird verwendet, wenn beispielsweise infolge eines Hindernisses, einer stellenweise grobblockigen Abpflasterung der Sohle usw. nicht die Gesamtlänge des betrachteten Gerinneabschnittes erodiert worden ist (z.B.  $k_{\text{So}} = 0.7$  bei Erosion von ca.  $\frac{2}{3}$  der Bachstrecke, siehe GHO 1996).

Auf diese Weise erhält man eine genügend genaue Schätzung für die Erosionskubatur. Die erodierte Kubatur pro Gerinneabschnitt kann aber auch einzeln geschätzt und aufaddiert werden. Dieses Vorgehen erfordert aber einen höheren Zeitaufwand und ist für kleine Einzugsgebiete unter Umständen auch sinnvoll. Das Ausmessen der erodierten Kubatur hingegen dürfte für die Mehrzahl der Fälle zu aufwendig sein.

### Böschung

Für die Böschung werden die erodierten Kubaturen links und rechts des Gerinnes getrennt geschätzt. Böschungserosion erfolgt häufig nach dem Muster nacheinander auftretender Uferabbrüche. Die erodierte Kubatur aus den Böschungen kann folgendermassen geschätzt werden:

$$E_{\text{Böschung}} = k_B * L_{\text{Böschung}} * h * d$$

wobei

$E_{\text{Böschung}}$	=	mobilisierte Kubatur aus der Böschung	[m <sup>3</sup> ]
$k_B$	=	Reduktionsfaktor für Böschungserosion	[-]
$L_{\text{Böschung}}$	=	Länge der betrachteten Böschung des Gerinneabschnittes entlang der Flussrichtung des Wildbaches gemessen	[m]
$h$	=	Erodierte Höhe der Böschung in der Falllinie gemessen	[m]
$d$	=	Erodierte durchschnittliche Mächtigkeit senkrecht zur Gleitfläche gemessen	[m]

### Geschiebeherd

Die Berechnung der Erosion eines einzelnen Geschiebeherdes erfolgt praktisch gleich wie bei der Böschung. Oft kann die Fläche eines Geschiebeherdes auch mit einer Dreiecksform angenähert werden.

War nur ein Teil des Geschiebeherdes aktiv, oder war ein Teil der mobilisierten Feststoffe im Geschiebeherd liegen geblieben, so kann, ähnlich wie für die Sohlenerosion, der Anteil der effektiv mobilisierten Kubatur angegeben werden.

$$V_{\text{GH}} = k_{\text{GH}} * \frac{L_{\text{GH}} * h}{2} * d$$

$V_{\text{GH}}$	=	mobilisierte Kubatur aus dem Geschiebeherd	[m <sup>3</sup> ]
$k_{\text{GH}}$	=	Reduktionsfaktor	[-]
$L_{\text{GH}}$	=	Länge des Geschiebeherdes	[m]
$h$	=	Erodierte Höhe des Geschiebeherdes	[m]
$d$	=	Erodierte durchschnittliche Mächtigkeit	[m]

### C) Schätzen der Ablagerungen

Die Ablagerungen entlang des Gerinnes werden, in jedem Gerinneabschnitt einzeln erhoben. Ihre Fläche und durchschnittliche Mächtigkeit werden gemessen und die Gesamtkubatur einzeln aufaddiert. Auflandungen im Gerinne sind häufig anhand eines leicht konvexen Querschnitts zu erkennen (Figur 12).

### D) Berechnen der Bilanz

Die Feststoffbilanz wird am besten gerinneabschnittsweise erstellt. Für jeden Abschnitt wird die Gesamterosion der Ablagerungskubatur gegenübergestellt. Die Addition der Einzelbilanz der Gerinneabschnitte bis zum Kegel ergibt die im betreffenden Ereignis umgesetzte Feststofffracht.



Figur 12 Auflandungen im Ri di Bedretto, Val Bedretto, Ereignis vom 24. August 1987

### 2.5.5 Erfassen der Schäden an Verbauungen und Infrastruktur

Je nach Auftrag sind neben der Feststoffbilanz die erkennbaren Schäden an Verbauungen und Infrastruktur ebenfalls zu erfassen. Wichtig sind vor allem:

- Schutzbauten, welche infolge der Beschädigung oder Zerstörung eine Destabilisierung von Gerinneabschnitten und / oder Hangbereichen bedeuten
- Schutzbauten, welche bei einem kleineren Nachfolgeereignis vollends zerstört werden und so eine potentielle Gefahr darstellen könnten
- beschädigte oder zerstörte Strassen, Wege, Brücken usw.

Neben der Erhebung der Schäden sollten auch Hinweise über negative Einflüsse der vorhandenen Wasserbauten oder der beschädigten Infrastruktur auf das Ereignis festgehalten werden.

### 2.5.6 Auslösung und Ablauf des Ereignisses

Wichtig für die Beurteilung des Baches für künftige Ereignisse ist die Kenntnis der Ursache des abgelaufenen Ereignisses. Die Stelle der Auslösung muss deshalb dokumentiert und der auslösende Prozess soweit möglich bestimmt werden. Dies lässt auch Rückschlüsse auf das Niederschlagsgeschehen zu. So ist es wichtig zu unterscheiden, ob das Ereignis aufgrund einer einzigen Rutschung oder aufgrund von Hochwasser in den Runsen des gesamten Einzugsgebietes entstanden ist.

Eine erste Rekonstruktion des vermuteten Ablaufs des Ereignisses sollte Bestandteil der Berichterstattung sein. Die Rekonstruktion sollte mindestens folgendes beinhalten:

- Prozess der Ereignisauslösung (z.B. Rutschung, Abgehen eines einzelnen Murganges, evtl. verschiedene Prozesse gleichzeitig)
- Beschreibung der Stelle(n) des Erosionsbeginns
- Skizzierung des Ereignisablaufes im Hauptgerinne bis zum Kegel unter Einbezug des Einflusses der Topographie, möglicher Hindernisse, Verbauungen, Infrastruktur, Verkläusungen usw.

### **2.5.7 Zusätzliche wichtige Beobachtungen**

Jedes Ereignis zeigt Erscheinungen und Eigenheiten, welche auch für die Wissenschaft interessant sind. Neben der allgemeinen Forschung sind die Erfahrungen aus abgelaufenen Ereignissen ein wichtiger Bestandteil im Hinblick auf die Verbesserung der Katastrophenprävention. Es ist deshalb wesentlich, Beobachtungen, welche neben der Praxis auch für die Wissenschaft von Belang sein könnten, zu erfassen und zu dokumentieren. Bei jedem Ereignis können Prozessbeobachtungen helfen, bestehende Vorstellungen und Modelle zu verbessern, was wiederum der Prävention zugute kommt. Auch scheinbar Unwesentliches kann wichtig sein.

### **2.6 Erstellung der Spezialkarte**

Die räumliche Wirkung des Ereignisses ist soweit möglich kartographisch festzuhalten. Fürs erste genügt eine Übersichtskarte mit folgenden Angaben:

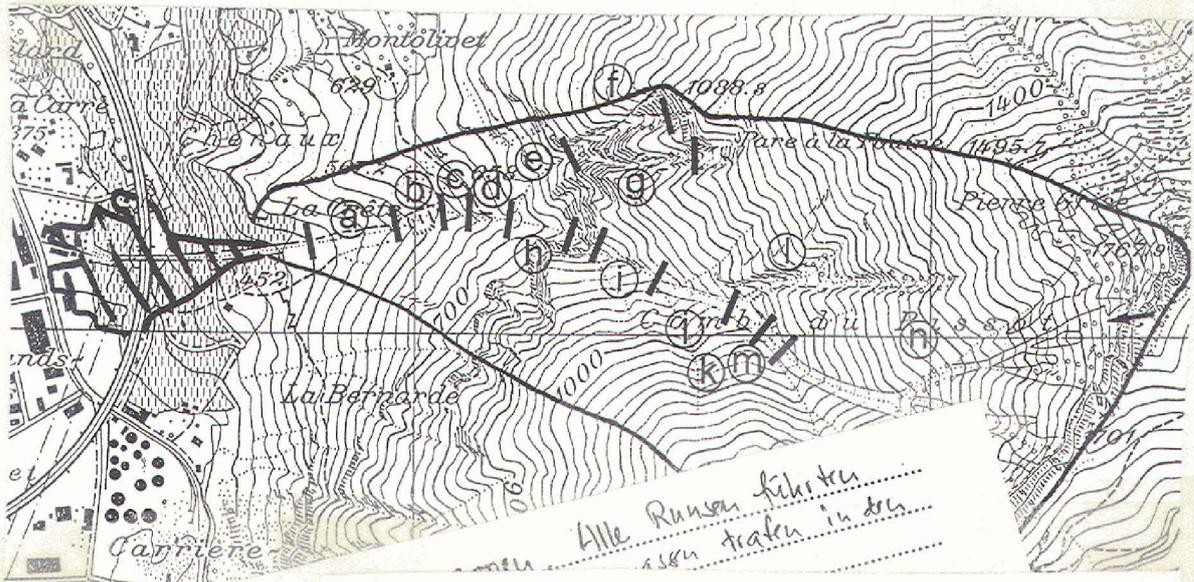
- Ablagerungsfläche auf dem Kegel und / oder im Schadensgebiet
- Ausbruchstellen
- Lage der einzelnen Gerinneabschnitte und Geschiebeherde
- Geschieberelevante Prozesse (Angabe derjenigen Flächen, welche beim Ereignis eine signifikante Veränderung erfahren haben inkl. Gerinnecharakterisierung mit Erosions-, Transit- und Ablagerungsstrecken)
- Schlüsselstellen, bei welchen der Verlauf des Ereignisses beeinflusst worden ist.

Bei der Erstellung der Karte sollen die in der Praxis üblichen Signaturen geomorphologischer / geologischer Karten verwendet und keine eigenen kreiert werden. Für Signaturen gibt es den „Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene“ (BWW/BUWAL 1995).



### 3. Weiterleitung der Information

Je schneller die Dokumentation über die Feststoffe zur Verfügung steht, desto erheblicher ist ihr Nutzen. Die aufgrund der Erhebungen zusammengestellten Informationen sind deshalb so bald als möglich den interessierten Stellen zugänglich zu machen. Mindestens eine Kopie des Berichtes sollte an die Führungsgruppe, an die kantonalen Wasserbau- und Forstämter sowie an die Bundesbehörden überwiesen werden. Die Dokumentation sollte neben den involvierten Führungsgremien auch den mit der Prävention beschäftigten Institutionen übergeben werden.



Auslösezzone  
 Beschreibung: ..... mehr Hoch

Grünau auf leicht

Fließzzone  
 Beschreibung: ..... E

Ablagerungszone

Mächtigkeit der /  
 Gesamtvolumer  
 Beschre

Erosion du pissot, le 13. août 1995

Sectic altitude	altitude								
GA	dessous (m)	dessus (m)	k (-)	l (m)	b (m)	d (m)	Vol. (m3)	m3/GA	
a	500	570	0.5	200	3.5	2	700		
al			0.8	200	4	2	1280		
ar			0.8	200	3	2	960	2940	
b	570	615		100			1000		
bl							0		
br							0	1000	
c	615	630		80			1500		
cl							0		
cr							0	1500	
d	630	670	1	150	10	6	9000		
dl			1	150	2	4	1200		
dr			0.5	150	1	3	225	10425	
e	670	790	0.9	250	5	3	3375		
							0		
							0	3375	

**NANT DU PISSOT, COMMUNE DE VILLENEUVE (VD)**  
 Laves torrentielles du 13/14 août 1995  
 DOCUMENTATION DE L'EVENEMENT



## Literatur

- BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft), 1998: Ereignisdokumentation Sachseln. Unwetter vom 15. August 1997. Studienbericht Nr. 8. Bern.
- BWW / BUWAL (Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1991a: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Schlussbericht. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4/Mitt. der Landeshydrologie und -geologie Nr. 14. Bern.
- BWW / BUWAL (Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1991b: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 5 / Mitt. der Landeshydrologie und -geologie Nr. 15, Bern.
- BWW / BUWAL (Bundesamt für Wasserwirtschaft / Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1995: Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene. Bern.
- Fehr, R. 1987: Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren. Mitt. Nr. 92 der VAW-ETH, Zürich.
- GHO (Gruppe für operationelle Hydrologie), 1996: Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen, Teil I und II. Bern.
- Hager, W. H. 1998: Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. Diskussionsbeitrag zum Aufsatz von D. Rickenmann. Wasser, Energie, Luft 90, H. 5/6, 131 - 132.
- LHG (Landeshydrologie und -geologie), 1994: Die Hochwasser 1993 im Wallis und Tessin. Messdaten und ausgesuchte Auswertungen. Mitt. Nr. 19, Bern.
- LHG (Landeshydrologie und -geologie), 1995: Nant du Pissot, Commune de Ville-neuve (VD): Laves torrentielles du 13/14 août 1995. Documentation de l'événement. Unveröff. Bericht. Bern
- Lehmann, C. 1993: Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen. Geographica Bernensia G42, Bern.
- Rickenmann, D. 1996: Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. Wasser, Energie, Luft 88, H. 11/12, 298 - 304.
- Rickenmann, D. 1998: Fliessgeschwindigkeit in Wildbächen und Gebirgsflüssen. Antwort auf den Diskussionsbeitrag von W. H. Hager. Wasser, Energie, Luft 90, H. 5/6, 133 - 134.
- Ruf, G. 1988: Neue Ergebnisse über die Fliessgeschwindigkeit in sehr rauen Gerinnen (Wildbächen). Interpävent Bd. 4, 165 - 176.
- Smart, G.M., Jaeggi, M.N.R. 1983: Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie Nr. 64, Zürich.
- VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich) 1992: Murgänge 1987. Dokumentation und Analyse. Bericht Nr. 97.6, Zürich.



## **Anhang**

### **Erhebungsblätter**

Bachname..... Kanton..... Bearbeiter/in:.....  
 Datum des Ereignisses: ..... Datum der Erhebung .....

## ABLAGERUNGEN AUF DEM KEGEL

### 1. Angaben über das Gerinne

#### a. Angaben über Verbauungen

<input type="checkbox"/> Kanal	<input type="checkbox"/> Geschiebeablagerungsplatz
<input type="checkbox"/> Querwerke	<input type="checkbox"/> natürliches Gerinne
<input type="checkbox"/> Leitwerke	<input type="checkbox"/> gepflastertes Gerinne
<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> eingedohlttes Gerinne
<input type="checkbox"/> .....	<input type="checkbox"/> .....

#### b. Querschnittsfläche des Gerinnes

minimal.....m<sup>2</sup>      durchschnittlich.....m<sup>2</sup>      maximal.....m<sup>2</sup>  
 ... bezieht sich auf den Zustand:  
 vor dem Ereignis       während dem Ereignis       nach dem Ereignis

#### c. Längenprofil

gestreckt       abgetrept       konkav       konvex

Gefälle:  
 minimal.....%      durchschnittlich.....%      maximal.....%

### 2. Angaben zur Feststoffkubatur

#### a. Betroffene Flächen / Infrastruktur

<input type="checkbox"/> Siedlung	<input type="checkbox"/> Landwirtschaftliche Flächen
<input type="checkbox"/> Verkehrswege	<input type="checkbox"/> .....

#### b. Abgelagerte Kubaturen einzelner Teilflächen

Bezeichnung auf Karte	Korr. faktor	Länge	Breite	Mächtigkeit	Kubatur	Anteil Feinmat
.....	.....	x..... m	x..... m	x..... m	=.....	m <sup>3</sup> .....%
.....	.....	x..... m	x..... m	x..... m	=.....	m <sup>3</sup> .....%
.....	.....	x..... m	x..... m	x..... m	=.....	m <sup>3</sup> .....%
.....	.....	x..... m	x..... m	x..... m	=.....	m <sup>3</sup> .....%
<b>Total</b>					<b>=</b>	<b>..... m<sup>3</sup></b>

c. Erhebungsmethode

Die Kubaturen wurden

- gemessen                       geschätzt                       .....

**3. Angaben zur Materialzusammensetzung und schadenverursachender Prozess**

Dominierende Komponente(n) der Ueberschwemmung / Uebersarung:

- Wasser                                       Geschiebe  
 Feinmaterial (Sand und kleiner)       Holz

Dominierender Prozess

- Geschiebetransport                       Murgang  
erkennbar an:.....                      erkennbar an:.....  
 beides                                       nicht bestimmbar

Optisch dominierende Gesteinsgrößen bei den Ablagerungen

- < 0.01 m               0.01 - 0.05 m               0.05 - 0.20 m               > 0.20 m

Grösster Block ca. ....m

Erhebung der Materialzusammensetzung:

- Schätzung                                       Korngrößenanalyse

**4. Ausbruchstellen**a. Objekte / Stellen der Ausbrüche

- Kegelhals  
 Brücke (Kote oder Lage).....               Offener Kanal (Kote oder Lage).....  
 Durchlass (Kote oder Lage).....               .....

b. Mögliche Gründe des Ausbruchs

- zu kleiner Kanalquerschnitt               Auflandung im Gerinne  
 zu kleiner Durchlass                       Holz  
 Gefällswechsel                               Hindernis.....  
 Aenderung der Gerinnerauhigkeit       .....

Bachname .....	Kanton .....
Datum des Ereignisses .....	Datum der Erhebung .....
Bezeichnung Gerinneabschnitt .....	
Kote des Gerinneabschnittes von .....	m. ü. M. bis .....
	m. ü. M.

## ERHEBUNGEN IM GERINNEABSCHNITT

### 1. Angaben zum Gerinneabschnitt nach dem Ereignis

#### a. Gerinnegeometrie

<b>Sohlengefälle:</b>		
min.....%	Durchschnitt .....	max .....
	%	%
<b>Sohlenbreite:</b>		
min.....m	Durchschnitt.....m	max .....
		m

<b>Längsprofil:</b>			
<input type="checkbox"/> konvex	<input type="checkbox"/> gestreckt	<input type="checkbox"/> konkav	<input type="checkbox"/> abgetrept
<b>Querprofil:</b>			
<input type="checkbox"/> V-Form	<input type="checkbox"/> U-Form	<input type="checkbox"/> Trapez	<input type="checkbox"/> Rechteck

#### b. Funktion des Gerinneabschnittes während des Ereignisses

<input type="checkbox"/> v. a. Akkumulation	<input type="checkbox"/> v.a. Umlagerung mit Akkumulation
<input type="checkbox"/> v. a. Umlagerung	<input type="checkbox"/> Transit
<input type="checkbox"/> v. a. Umlagerung mit Erosion	<input type="checkbox"/> v. a. Erosion

### 2. Transportprozess im Gerinneabschnitt

<input type="checkbox"/> Murgang	<input type="checkbox"/> Geschiebetransport
erkennbar an:.....	erkennbar an:.....
<input type="checkbox"/> beides	<input type="checkbox"/> nicht bestimmbar

### 3. Schätzungen des Abflusses

Die nachstehenden Erhebungen beziehen sich auf:		
<input type="checkbox"/> Murgangabfluss	<input type="checkbox"/> Wasser und Geschiebe	<input type="checkbox"/> Reinwasser
<input type="checkbox"/> nicht bestimmaren Abfluss		

<u>Profilbezeichnung</u>	<u>Fliessquerschnitt</u>	<u>Ø Fliessgeschwindigkeit</u>	<u>Abfluss</u>
(s. Skizzen)			
.....	m <sup>2</sup> .....	m/s	.....m <sup>3</sup> /s
.....	m <sup>2</sup> .....	m/s	.....m <sup>3</sup> /s
.....	m <sup>2</sup> .....	m/s	.....m <sup>3</sup> /s
.....	m <sup>2</sup> .....	m/s	.....m <sup>3</sup> /s

**4. Erosionskubaturen im Gerinneabschnitt**

**a. Sohle**

Bezeichnung	Korr. faktor	Länge	Breite	Mächtigkeit	Kubatur
.....	.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>

**b. Böschungserosion**

Bezeichnung	Korr. faktor	Länge	Höhe	Mächtigkeit	Kubatur
.....	.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>
Bezeichnung	.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>

**c. Erosion einzelner Geschiebeherde im Abschnitt**

Bezeichnung	Korr.-faktor	Länge	Höhe	Mächtigkeit	Kubatur	Anteil Feinm.	Relevanz*
.....	(1/2).....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>	.....%	.....
.....	(1/2).....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>	.....%	.....
.....	(1/2).....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>	.....%	.....
.....	(1/2).....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>	.....%	.....
<b>Total</b>					<b>=.....m<sup>3</sup></b>		

\* Relevanz für den Feststofftransport im Ereignis: h = hoch, m = mittel, g = gering

**Total der Erosionen im Gerinneabschnitt (Summe aus a bis c) =.....m<sup>3</sup>**

**5. Ablagerungen im Abschnitt**

Bezeichnung	Korr. faktor	Länge	Breite	Mächtigkeit	Kubatur
.....	x.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>
.....	x.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>
.....	x.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>
.....	x.....x.....	m	x.....m	x.....m	=.....m <sup>3</sup>

**Total der Ablagerungen im Gerinneabschnitt =.....m<sup>3</sup>**

davon *ausserhalb* des Gerinnes (Ausbruch) =.....m<sup>3</sup>

**6. Feststoffbilanz im Abschnitt**

**Total der Erosionen minus total der Ablagerungen (auch neben dem Gerinne) =.....m<sup>3</sup>**



