

Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie

Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO)

Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 4

Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen

TEIL I

HANDBUCH

BERN, 1996

Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie

Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO)

Gruppo di lavoro per l'idrologia operativa

Mitteilung - Communication - Comunicazione Nr. 4

Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen

Teil I

HANDBUCH

Redaktion:

M. Spreafico

Ch. Lehmann

O. Naef

BERN, 1996

Herausgabe und Vertrieb:

Edition et distribution:

Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern

Service hydrologique et géologique national, 3003 Berne

Vorwort

Die topographischen und hydrologischen Gegebenheiten der Schweiz, verbunden mit einer hohen Dichte an Siedlungen und Infrastrukturen bedingen eine grosse Anfälligkeit der Menschen und Sachwerte gegenüber Hochwasser. Neben dem eigentlichen Hochwasser verursachen die mitgeführten Feststoffe grosse Schäden. Die Abschätzung des Erosionspotentials von Wildbachgebieten und des Transportvermögens von Wildbächen stellen für die Planung von Schutzmassnahmen eine äusserst wichtige Grundlage dar. Leider bestehen gerade bei dieser Grundlagenbeschaffung grosse Unsicherheiten und Kenntnislücken. Um einen Beitrag zur Verbesserung dieser Situation zu leisten, haben die Landeshydrologie und -geologie (LHG) beim Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft und das Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) zusammen mit der Abteilung Physische Geographie des Geographischen Institutes der Universität Bern (GIUB) eine Empfehlung für die Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen erstellt. Die Empfehlung basiert hauptsächlich auf Vorarbeiten, welche im Rahmen einer Dissertation von Ch. Lehmann am Geographischen Institut ausgeführt wurden. Bei der Empfehlung wurde versucht, das heutige Wissen in eine praktische Anleitung für Fachleute einzubauen, welche mit geologischen, geomorphologischen und wasserbaulichen Fragestellungen vertraut sind und Problemstellungen in Wildbachgebieten zu lösen haben. Es ist vorgesehen, die Empfehlung anzupassen, sobald sich der Kenntnisstand über die ablaufenden Prozesse verbessert hat.

Die Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen umfasst zwei Bände. Im "Teil I, Handbuch" ist das praktische Vorgehen beschrieben. Im "Teil II, Theorie und Fallbeispiele" finden sich ausgesuchte Hintergrundinformationen zum Verfahren sowie Fallbeispiele und ein Glossar. Teil II muss nur beigezogen werden, soweit es dem Anwender als notwendig erscheint. Gegenwärtig wird ein Computerprogramm erstellt, welches dem Anwender die notwendigen Berechnungen erleichtern soll.

Die Empfehlung ist ein Gemeinschaftswerk von LHG, BWW, GIUB und der GHO. Sie wurde von den Herren Ch. Lehmann, M. Spreafico und O. Naef erstellt. Die Arbeiten wurden begleitet durch die Herren H. Kienholz, A. Götz und H.P. Willi. Die Eidg. Forstdirektion leistete wertvolle Mitarbeit. Für Hinweise und Informationen oder für das Testen des Verfahrens wird den folgenden Personen gedankt: H. Aschwanden, R. Bart, J. Berwert, A. Bettschen, F. Forster, A. Geissel, P. Greminger, B. Herzog, J. Hess, R. Hunziker, M. Jaeggi, A. Jakob, R. Loat, F. Naef, A. Petrascheck, D. Rickenmann, C. Rickli, B. Schädler, M. Schweizer, G.M. Semadeni, R. Weingartner, J. Zeller, M. Zimmermann. Für die Reinschrift sei Frau E. Schneider gedankt.



Prof. Dr. Ch. Emmenegger
Präsident der Gruppe für
operationelle Hydrologie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
2. Übersicht über das Verfahren	9
3. Vorarbeiten	13
3.1 Überblick über die Vorarbeiten	13
3.2 Die Ausführung der Vorarbeiten	13
3.2.1 Beschaffung von Unterlagen	13
3.2.2 Studium und Interpretation der Unterlagen	13
3.2.3 Karten- und Luftbildinterpretation.....	15
3.2.4 Erste Beurteilung des Wildbaches	18
3.2.5 Massgebende Hochwasserspitze und Hochwasserganglinie.....	21
4. Feldaufnahmen	23
4.1 Überblick und benötigtes Material	23
4.2 Abklärung der Murfähigkeit im Gelände	26
4.2.1 Untersuchung des Kegelbereiches	26
4.2.2 Untersuchungen im Einzugsgebiet.....	27
4.3 Generelles Vorgehen zur Abschätzung des Feststoffpotentials.....	28
4.4 Abschätzung möglicher Feststoffablagerungen im Gerinneabschnitt.....	34
4.5 Aufnahmen in nicht murfähigen Wildbächen	34
4.5.1 Aufnahme der Parameter für die Berechnung der Transportkapazität.....	34
4.5.2 Erfassung der mobilisierbaren Kubaturen.....	36
4.6 Aufnahmen in murfähigen Wildbächen mit Ablagerungsmöglichkeiten für Feststoffe	36
4.6.1 Vorgehen für die Abschätzung von Murgängen, die im Gerinne entstehen.....	36
4.6.2 Vorgehen zur Beurteilung von Murgängen aus dem Hang	37

4.7 Aufnahmen in murfähigen Wildbächen ohne Möglichkeit der Zwischenlagerung von Feststoffen	37
4.8 Aufnahmen in eventuell murfähigen Wildbächen.....	37
4.9 Beurteilung des Wildbaches	37
5. Auswertung der Feldaufnahmen	38
5.1 Auswertung bei nicht murfähigen Wildbächen.....	38
5.1.1 Analyse des Sohlenmaterials	38
5.1.2 Berechnung der Feststoffbilanz für jedes Querprofil	38
5.2 Auswertung bei murfähigen Wildbächen mit Möglichkeiten der Zwischenlagerung von Feststoffen	45
5.3 Auswertung bei murfähigen Wildbächen ohne Möglichkeiten der Zwischenlagerung von Feststoffen	46
5.4 Durchführung von Plausibilitätskontrollen und Sensitivitätsanalysen	46

Anhang

Formular für die Erhebung von Linienzahlanalysen

Tabelle "Vorschläge zur Abschätzung des Feststoffpotentials"

Aufnahmeblatt für einen Gerinneabschnitt

Aufnahmeblatt "Beurteilung der Murfähigkeit eines Wildbaches"

Aufnahmeblatt "Gesamteindruck über das Einzugsgebiet"

1. Einleitung

Die auf einem Bachkegel anfallende Feststofffracht wird einerseits durch das vorhandene Feststoffpotential, andererseits durch den Transportprozess im Wildbach beeinflusst.

Als Feststoffpotential wird hier diejenige Feststoffmenge bezeichnet, welche während eines zu definierenden Bezugseignisses mobilisiert werden kann. Unter diesem Begriff wird also nicht das gesamte vorhandene Lockermaterial im Einzugsgebiet verstanden. Die Abschätzung des Feststoffpotentials im Gelände wird anhand einer Klassifikation der für die Feststofflieferung relevanten Feststoffherde durchgeführt. Die Herkunft der mobilisierbaren Feststoffe ist somit von entscheidender Bedeutung: die Feststoffe stammen zu einem grossen Teil aus dem Gerinne selbst sowie aus den angrenzenden Böschungen. Nur ein kleiner Teil des gesamten Einzugsgebietes gibt somit Feststoffe an das Gerinne ab.

Beim Transportprozess wird unterschieden zwischen Geschiebetransport und Murgang. Murgänge verlagern vielfach höhere Feststoffmengen und richten im gefährdeten Gebiet im allgemeinen auch grössere Zerstörungen an. Murgänge sind zudem im Vergleich zum Geschiebetransport weniger erforscht und können rechnerisch nur ungenügend erfasst werden. Bei der Verwendung des Begriffes Murgang ist im folgenden auch die Möglichkeit mehrerer Murschübe eingeschlossen, wie sie in der Natur sehr häufig vorkommen.

Wichtig sind ferner Ablagerungsstellen in und neben dem Gerinne, wo sich während des Ereignisses Feststoffe ablagern. In diesem Falle erreicht das abgelagerte Material den Wildbachkegel nicht.

Die Feststofffracht am Kegelhals ist demzufolge eine Funktion

- des Feststoff-Verlagerungsprozesses (Geschiebetransport oder Murgang),
- des Feststoffpotentials und
- der Ablagerungen oberhalb des Wildbachkegels.

Beim vorliegenden Verfahren wird die Feststofftransportkapazität in Teilabschnitten des Wildbaches aufgrund einer gewählten Hochwasserganglinie berechnet, beispielsweise derjenigen eines "100-jährlichen" Hochwassers. Unter Berücksichtigung des Feststoffpotentials sowie der Ablagerungen oberhalb des Wildbachkegels wird die Feststofffracht in Teilabschnitten und am Wildbachkegel berechnet.

Das Verfahren wurde in der Schweiz für Kleineinzugsgebiete bis ca. 50 km² erarbeitet. Es ist auch für grössere Einzugsgebiete und andere Regionen anwendbar. Hierzu müssten aber bei den Parameterwerten (Abflussprozess, Geologie) Anpassungen vorgenommen werden.

Das Verfahren beschränkt sich auf die Ermittlung des Feststoffpotentials und der Transportprozesse im Gerinne sowie der Feststofffracht. Es stellt, für sich alleine genommen, keine umfassende Beurteilung eines Wildbachgebietes dar.

Die Empfehlung zur Abschätzung der Feststofffracht in schweizerischen Einzugsgebieten richtet sich in erster Linie an Fachleute, welche Problemstellungen in Wildbachgebieten zu lösen haben. Es werden Kenntnisse in folgenden Sachgebieten und Methoden vorausgesetzt:

-
- Karten- und Luftbildinterpretation (Erhebung von Gebietskennwerten wie Einzugsgebietsgrösse, Relief, Beschaffenheit von Gerinnen, Merkmale des Bodens sowie erste Eindrücke von Geologie und Hydrologie)
 - Hydrologie und Geomorphologie (Wasserhaushalt, Feststofftransport)
 - Interpretation von Spuren im Gelände
 - Anwendung von EDV-Programmen.

2. Übersicht über das Verfahren

Das Verfahren sieht gemäss Fig. 1 drei Hauptarbeitsschritte vor:

1. Vorarbeiten

Die Vorarbeiten werden weitgehend im Büro durchgeführt und umfassen:

- Eine erste Abklärung des Transportprozesses, d.h. Feststellung der Murfähigkeit des Wildbaches, soweit dies anhand von Dokumenten, aufgrund der Beschreibung abgelaufener Ereignisse sowie von Karten und Luftbildern möglich ist (Kapitel 3.2.2 bis 3.2.4).
- Eine Vorselektion der wichtigen Geschiebeherde anhand von Karten- und Luftbildmaterial (Kapitel 3.2.3).
- Bei nicht murfähigen Wildbächen und falls keine Messungen vorhanden sind: Konstruktion einer vereinfachten Abflussganglinie im Hinblick auf die Berechnung der Feststoff-Transportkapazität im Gerinne (Kapitel 3.2.5).

Der zeitliche Aufwand für die Vorarbeiten ist abhängig vom Umfang der verfügbaren Unterlagen und der Grösse des Einzugsgebietes. Als Erfahrungswert für geübte Anwender ist mit einem Nettoaufwand (ohne Materialbeschaffung) von ca. 1 bis 2 Tagen zu rechnen.

2. Feldaufnahmen

Die Feldaufnahmen umfassen die folgenden Arbeitsschritte, für welche im Anhang von Teil I spezielle Aufnahmeblätter beigelegt sind:

- a) Abschätzung der Murfähigkeit des Gerinnes, falls diesbezüglich noch keine Klarheit besteht (Kap. 4.2; Aufnahmeblatt "Murfähigkeit". Pro Einzugsgebiet ist ein Aufnahmeblatt vorgesehen).
- b) Einteilung des Wildbaches in Gerinneabschnitte. In jedem Gerinneabschnitt wird folgendes durchgeführt:
 - Schätzung des Feststoffpotentials der massgebenden Geschiebeherde (Kap. 4.3)
 - Schätzung möglicher Ablagerungen (Kap. 4.4)
 - Aufnahmen von "Querprofilen" mit Gefälle, Gerinnebreite und d_{90} , d_{50} , d_{30} der Sohle für nicht murfähige Wildbäche (Kap. 4.5).Pro Gerinneabschnitt wird je ein Aufnahmeblatt "Gerinneabschnitt" verwendet.
- c) Zusammenfassende Beurteilung des Einzugsgebietes unmittelbar nach der Begehung (Aufnahmeblatt "Beurteilung des Einzugsgebietes").

Voraussichtlicher Zeitbedarf für die Feldaufnahmen: ca. 1 bis 3 Tage.
(Erfahrungswert für Einzugsgebietsgrössen bis ca. 5 km²).

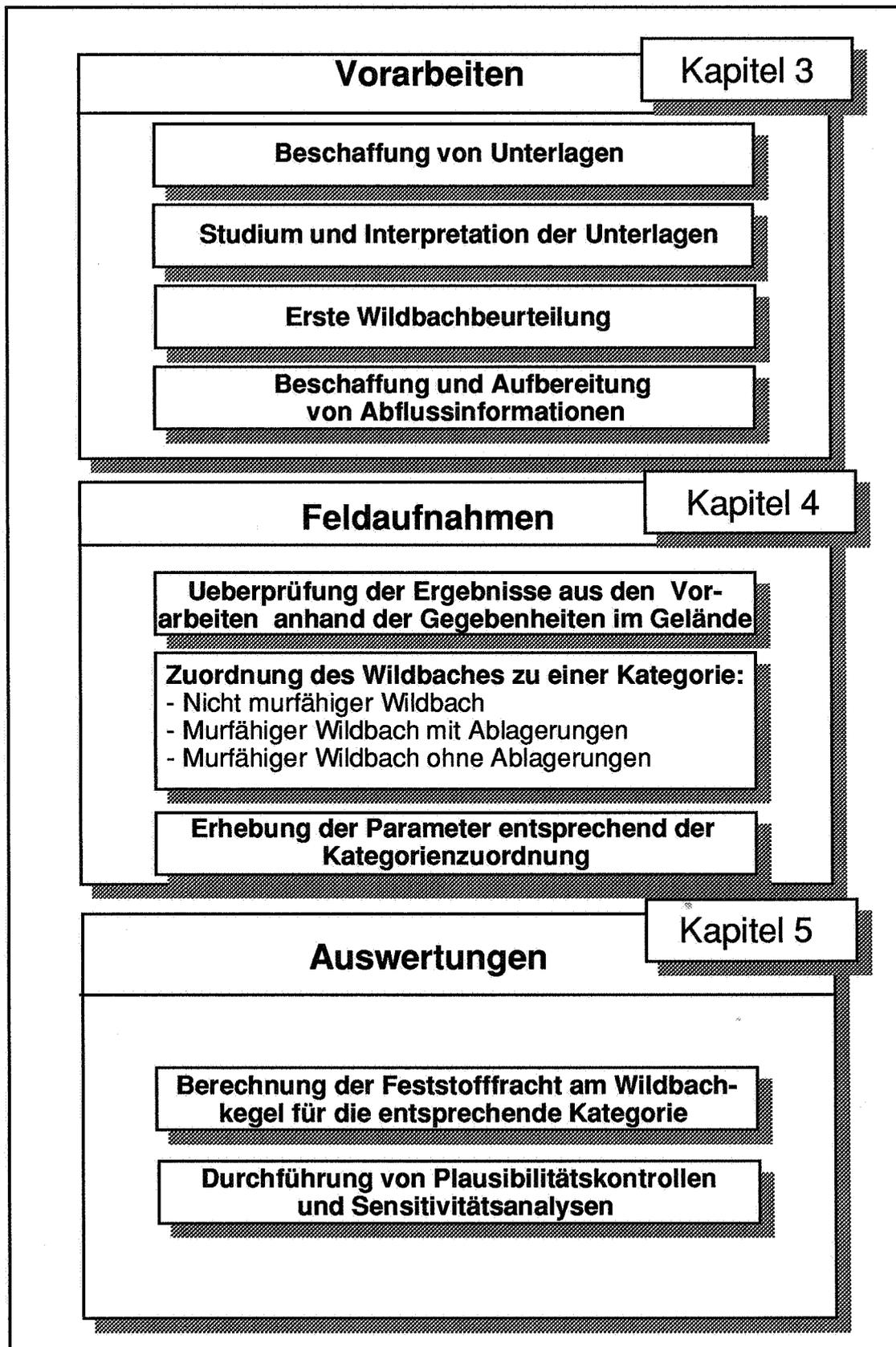


Fig. 1: Übersicht über die einzelnen Arbeitsschritte zur Abschätzung der Feststofffracht

3. Auswertungen

Die Auswertungen erfolgen im Büro und umfassen nebst der detaillierten Berechnung der Feststofffracht die Überprüfung der Felduntersuchungen (Plausibilitätskontrollen).

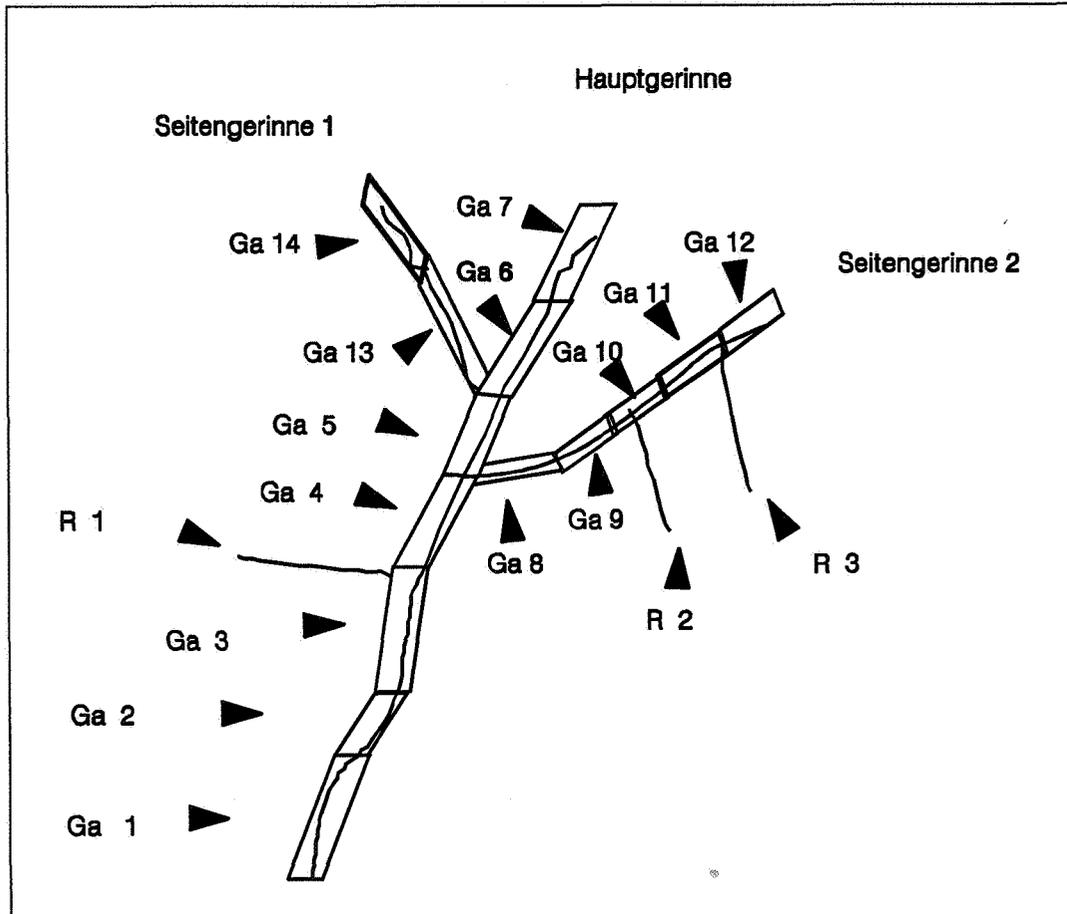


Fig. 2: Gerinnesystem mit Einteilung in Gerinneabschnitte zur Ermittlung der Feststofffracht in Wildbächen

Das schematisch aufgezeichnete Beispiel eines Wildbaches weist ein Hauptgerinne und zwei Seitengerinne sowie drei Rensen (R 1, R 2 und R 3) auf. Durch die einzelnen Gerinneabschnitte (Ga) wird das Material unter Berücksichtigung allfälliger Ablagerungen bachabwärts transportiert. Die Feststofffracht aus dem Seitengerinne 1 und den beiden obersten Gerinneabschnitten des Hauptgerinnes (Ga 6 - Ga 7) gelangt dabei in Ga 5. Dessen Feststofffracht gelangt nun zusätzlich mit derjenigen von Seitengerinne 2 und der beiden Rensen R 2 und R 3 in Ga 4 usw. Das Feststoffpotential der Rensen wird dem entsprechenden Gerinneabschnitt zugeteilt (R 1 zu Ga 3, R 2 zu Ga 10 usw.). In diesem Beispiel benötigt der Anwender entsprechend der Anzahl Gerinneabschnitte 14 Aufnahmeblätter "Gerinneabschnitt".

Für jeden Gerinneabschnitt wird berechnet:

- das Feststoffpotential
- die Feststoff-Transportkapazität unter Verwendung der Abflussganglinie (gilt für nicht murfähige Wildbäche)
- das Volumen möglicher Ablagerungen
- zusätzlich wird, für jedes Querprofil, fortlaufend bachabwärts die jeweilige Differenz von Feststoffpotential und Transportkapazität unter Berücksichtigung der Ablagerungen berechnet und aufsummiert, d.h. eine Feststoffbilanz erstellt (Fig. 3). Am untersten Querprofil erhält man die Kubatur der Feststofffracht am Kegelhals (Kap. 5.1).
- für murfähige Wildbäche mit Ablagerungen wird eine Feststoffbilanz für jeden Gerinneabschnitt erstellt (Kap. 5.2)
- für murfähige Wildbäche ohne Ablagerungen wird das Feststoffpotential jedes Gerinneabschnitts addiert (Kap. 5.3)
- Zum Schluss werden Plausibilitätskontrollen der berechneten Feststofffracht anhand Fig. 14 und Tab. 2 sowie Sensitivitätsanalysen durch Variation der verwendeten Parameter (Abflüsse, Feststoffpotential) vorgenommen (Kap. 5.4).

Die Berechnungen erfolgen zweckmässigerweise mit Hilfe eines Rechenprogrammes. Ein solches kann ab 1996 beim Herausgeber des Handbuches bezogen werden.

Zeitaufwand für die Auswertungen: ca. 1 - 2 Tage.

Es sollte für einen erfahrenen Anwender möglich sein, Vorarbeiten, Felddaufnahmen und Auswertungen in kleineren Einzugsgebieten bis ca. 5 km² innerhalb einer Woche vorzunehmen.

Für grössere Einzugsgebiete ist ein entsprechender Zeitzuschlag vorzusehen.

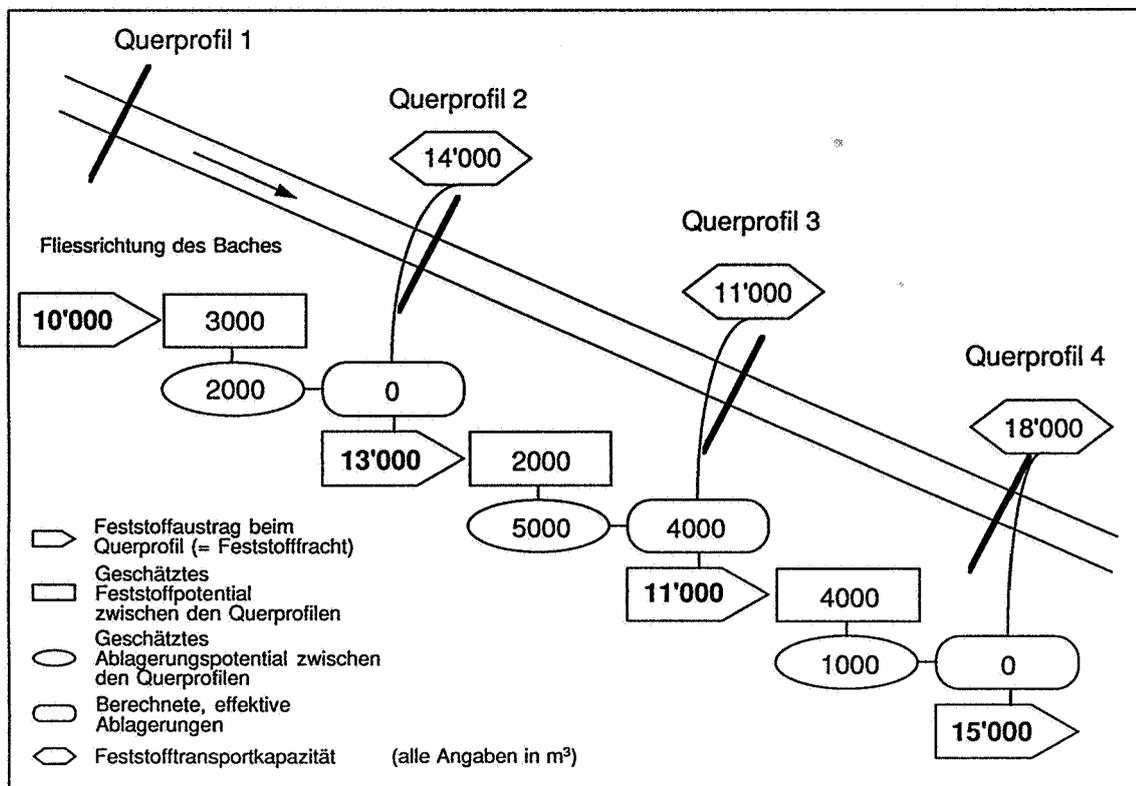


Fig. 3: Prinzip der Ermittlung der Feststofffracht in Wildbächen

3. Vorarbeiten

Ziel der Vorarbeiten ist ein erstes Kennenlernen des Gebietes und eine Beurteilung der darin ablaufenden Prozesse. Die Frage, ob der Bach murfähig ist oder nicht, spielt dabei eine besondere Rolle. Zusätzlich sind, falls noch nicht vorhanden, die abflussrelevanten Grundlagen bereitzustellen.

3.1 Überblick über die Vorarbeiten

Die in der Folge beschriebenen Arbeitsschritte sind in Fig. 4 dargestellt und können je nach Aufgabe, Arbeitsplan, Ausrüstung und Vorkenntnissen über das Einzugsgebiet stärker gewichtet, nur teilweise ausgeführt oder ganz weggelassen werden. Die Reihenfolge ist nicht starr, sondern kann den Umständen angepasst werden.

3.2 Die Ausführung der Vorarbeiten

3.2.1 Beschaffung von Unterlagen

Eine Liste mit einer Auswahl nützlicher Unterlagen ist in Tab. 1 aufgeführt.

3.2.2 Studium und Interpretation der Unterlagen

Hier sind folgende Fragen wichtig:

- Sind frühere Ereignisse dokumentiert (Datum, Anzahl der Ereignisse, Schäden und insbesondere Angaben über Erosion, Feststoffablagerungen und -frachten)? Kann auf Aussagen von Anwohnern abgestützt werden?
- Bestehen Hinweise auf den Verlagerungsprozess, sind Murgänge erwiesen?
- Sind Verbauungen oder sonstige Massnahmen (Aufforstungen, Entwässerungen, Ableitungen für Kraftwerke usw.) ausgeführt worden, welche den Wasser- oder Feststoffhaushalt im Einzugsgebiet beeinflussen? Kann der heutige Zustand des Gerinnes / des Einzugsgebietes mit früher verglichen werden, sind allfällige Aussagen betreffend Murgänge heute noch gültig?

Die Angaben dienen als Grundlage für eine erste Wildbachbeurteilung (⇒ Kap. 3.2.4).

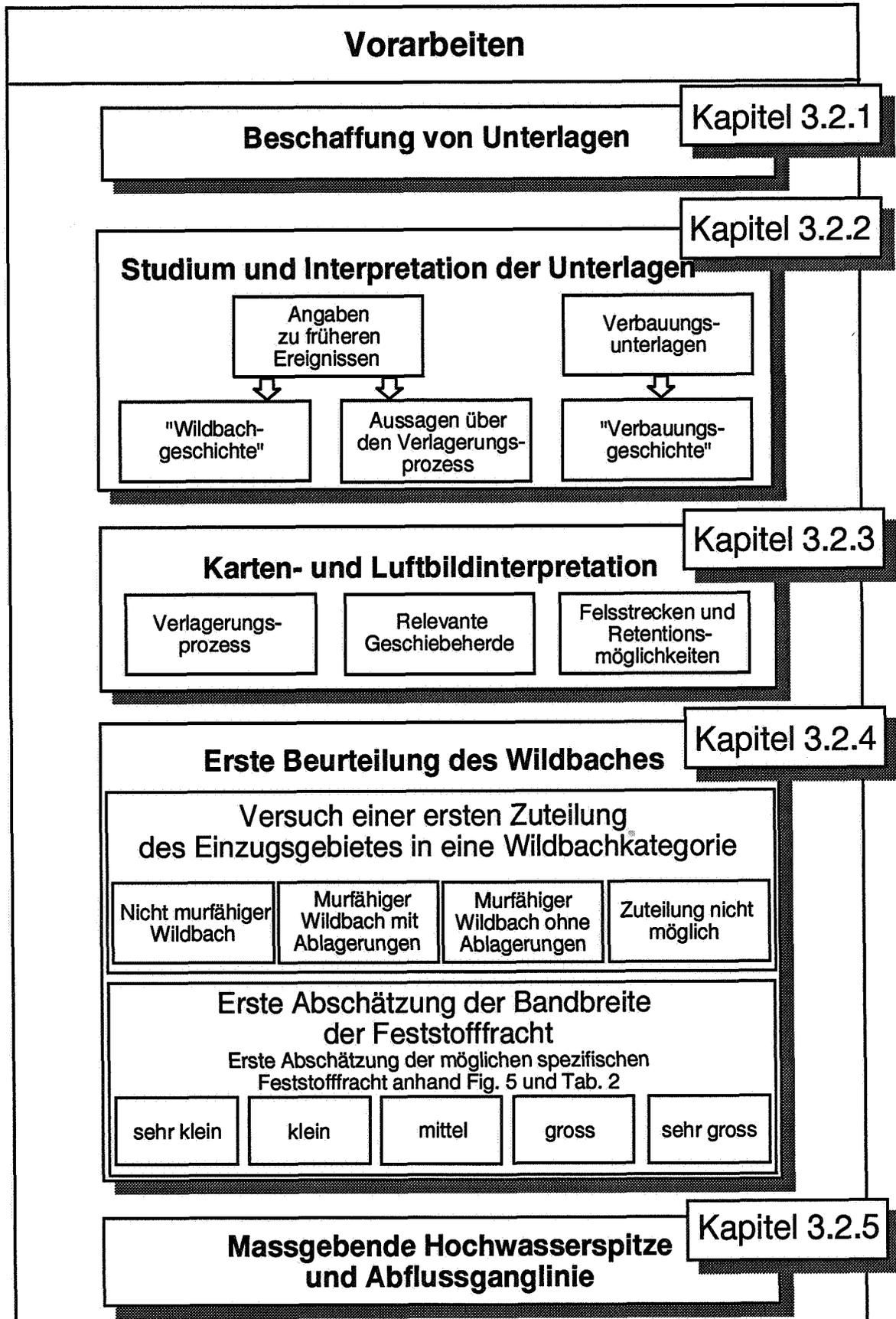


Fig. 4: Überblick über die Vorarbeiten

Tab. 1: Liste nützlicher Unterlagen zur Durchführung der Vorarbeiten

Unterlagen	Erhältlich bei
LK 1:25'000	Landestopographie, 3003 Bern
Übersichtspläne 1:10'000	Kant. Vermessungsämter; zuständige Geometer
Luftbildmaterial	Landestopographie, 3003 Bern
Bodeneignungskarte der Schweiz	Bibliotheken; EDMZ, 3003 Bern
Geologische und tektonische Karten	Geologische Dokumentation Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern; Bibliotheken
Unterlagen zu Hochwassergeschichte und Verbauungsprojekten des betreffenden Einzugsgebietes	Kant. Ämter; Gemeinden; Bachkorporationen
Hydrologischer Atlas der Schweiz	EDMZ, 3003 Bern
Bde. 1 - 7 der Reihe "Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes" und Bde. 8 und 9 "Starkniederschläge im Schweizer Mittelland und Jura"	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 8903 Birmensdorf
Hydrographische Jahrbücher	Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern

3.2.3 Karten- und Luftbildinterpretation

Mittels Karten- und Luftbildinterpretation soll vor allem der aktuelle Zustand des Wildbacheinzugsgebietes erfasst werden. Der Beizug von Luftbildern empfiehlt sich deshalb, weil daraus Informationen gewonnen werden, welche auf der Landeskarte oder auf dem Übersichtsplan signaturmässig generalisiert oder nicht erfasst sind.

Als Beispiele für zusätzliche Hinweise auf das Abflussgeschehen oder den Feststoffhaushalt des Wildbaches sind zu nennen:

- Breite des Gerinnes
- Grösse von Seitengerinnen und Runsen
- Geländeformen (z.B. Unebenheiten eines Kegels, Spuren von Prozessen wie Lockermaterialakkumulationen, Hangbewegungen, Vernässungen, usw.)
- Wasserbauliche Massnahmen und Eingriffe der Forstwirtschaft.

Die Karten- und Luftbildinterpretation soll Anhaltspunkte zum Verlagerungsprozess von Feststoffen im Einzugsgebiet, zu den Geschiebeherden, zu Felsstrecken und Retentionsmöglichkeiten liefern. Die Zahlenangaben in der folgenden Auflistung sind als Richtwerte aufzufassen.

1) Verlagerungsprozess

Gibt es auf der Karte oder im Luftbild Hinweise für das Auftreten von Murgängen?

Kriterien hierzu sind:

a) Hangneigung bzw. Gefälle des Gerinnes

Für die Entstehung und Fortbewegung von Murgängen sind einige Erfahrungswerte aus der Praxis bekannt:

- $> 27^\circ$ (= $>50\%$) im Hangbereich resp. 25% im Gerinne (ungefähres Grenzgefälle für Sohlenverflüssigung) als Kriterien für die Entstehung von Murgängen.
- $> 20\%$ Durchschnittsgefälle des Hauptgerinnes ermöglicht die Fortbewegung von Murgängen.
- Längere Strecken mit geringem Gefälle (deutlich unter 20%) können einen Murgang 'verhungern' lassen. D.h. es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass er zum Stillstand kommt.

⇒ Abschätzen der Hangneigung und des Gerinnegefälles auf der Karte resp. im Übersichtsplan.

b) Grösse des Einzugsgebietes

Murgänge können nur entstehen, wenn genügend Lockermaterial und Wasser vorhanden sind (hierzu ist eine Einzugsgebietsfläche von mindestens einigen Hektaren notwendig).

⇒ Bestimmung der Grösse des Einzugsgebietes oberhalb von Stellen, bei denen die Möglichkeit der Entstehung von Murgängen gegeben ist.

c) Spuren früherer Murgänge

Spuren von Murgängen sind eine wichtige Hilfe bei der Abklärung der Murfähigkeit eines Gerinnes.

⇒ Auf dem Luftbild sind Hinweise der folgenden Art zu suchen:

- Unregelmässiges Relief der Kegeloberfläche
- Murrinnen, oft mit beidseitigen Wällen. Das Aussehen der Murrinnen an den Hängen und in Schutthalden gleicht oft einer Bobbahn
- Offene oder überwachsene Levées und Murköpfe.

Ist die Entstehung von Murgängen zwar grundsätzlich möglich, aber vom Gelände her ist es unwahrscheinlich, dass diese zum Kegel gelangen, wird der betreffende

Wildbach als nicht murfähig eingestuft. Ist aufgrund der vorliegenden Kriterien noch keine Zuordnung möglich, gilt der betreffende Wildbach vorerst als eventuell murfähig.

2) Geschiebeherde

Die Relevanz von Geschiebeherden, soweit sie anhand von Karte und Luftbild beurteilt werden kann, ergibt sich aus zwei Kriterien:

a) Materialzusammensetzung

Geschiebeherde aus Lockermaterial sind wichtig. Solche aus anstehendem Fels, mit Ausnahme von leicht erodierbaren und schiefrigen Gesteinen, haben untergeordnete Bedeutung, da die Feststofflieferung in das Gerinne (z.B. durch Stein-schlag) nicht direkt an ein Hochwasserereignis im Wildbach gebunden ist.

b) Lage des Geschiebeherdes und Transportweg des Materials in das Gerinne

Im Gerinnebereich liegende Geschiebeherde aus Lockermaterial werden während des Ereignisses erodiert und sind somit von vorrangiger Bedeutung. Wildbäche mit grossen Geschiebeherden im Gerinnebereich haben zudem die Tendenz, besonders aktiv zu sein. Hier sind in der Regel auch grosse Feststoffkubaturen zu erwarten. Bei der Begehung sollten solche Geschiebeherde detailliert untersucht werden.

Bei *Geschiebeherden ausserhalb des Gerinnebereiches* ist der Transportweg in das Gerinne von Bedeutung; grosse Geschiebeherde wie Schutthalden, offene Anbrüche usw. sind wichtig, wenn deren Material via Seitengerinne oder Runse auf direktem Weg in den Wildbach gelangen kann.

Bei Geschiebeherden, welche nicht über einen direkten Verbindungsweg zum Gerinne verfügen, ist die Hangneigung ein wichtiger Faktor. Beträgt die Hangneigung über 30° (= 58%, 1:1.7), ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass ein Feststoffeintrag in das Gerinne während des Hochwasserereignisses erfolgt. Ist die Hangneigung kleiner, bleibt das Material häufig irgendwo im Hang liegen und wird erst zu einem späteren Zeitpunkt wiederum erodiert.

⇒ Die voraussichtlich relevanten, d.h. auf Karte oder Luftbild auffälligen Geschiebeherde, sind für die Feldbegehung vorzumerken.

Ein Beispiel:

Auf der Karte 1:25'000 weist ein Hang von mindestens 30° innerhalb 1 cm (= 250 m Länge) eine Höhendifferenz von 145 m (0.58×250 m) auf. Dies sind bei einer Äquidistanz von 20 Metern mindestens 7 Höhenlinien. Geschiebeherde, deren Transportwege über den Hang diese Bedingung erfüllen und welche auf der Karte als Signatur deutlich sichtbar und/oder im Luftbild eine sehr auffällige Erscheinung sind, können viel Material in das Gerinne eintragen. Eine weitere Bedingung dafür ist allerdings, dass sich das Gerinne direkt am Hangfuss befindet. Falls dies zutrifft, sind die Geschiebeherde später bei der Begehung besonders zu beachten.

Unter dem Kriterium 'grosse Geschiebeherde' in Fig. 5 sind sowohl auf der Karte wie auch im Luftbild deutlich sichtbare Lockermaterialakkumulationen im gerinnenahe Bereich zu verstehen.

3) Felsstrecken und Retentionsmöglichkeiten für Feststoffe

Auf Felsstrecken wird praktisch kein Material erodiert, auf Ablagerungsstrecken reduziert sich die Feststofffracht. Aufgrund praktischer Erfahrungen sind in Wildbächen mit hohem Anteil an Felsstrecken und/oder ausgeprägten Retentionsmöglichkeiten nur vergleichsweise kleine Feststofffrachten zu erwarten.

'Längere Felsstrecken' (siehe Fig. 5) bedeuten folgendes:

- bei Kleinst Einzugsgebieten von weniger als 1 km² Fläche eine Summe von Gerinnestrecken mit Felssohle von mindestens 200 bis 300 Metern.
- Bei grösseren Einzugsgebieten sollte die Summe der Felsstrecken mindestens 20 bis 30% der Hauptgerinnelänge umfassen.

Retentionsmöglichkeiten sind anhand von Karte und Luftbild nur schwer quantifizierbar. Ablagerungen sind jedoch dort wahrscheinlich, wo eine deutliche Gefällsreduktion und Raum hierfür zu erkennen sind. Als Retentionsräume können auch die Verlandungsstrecken grosser Geschiebesperren wirken. Das Kriterium 'Grössere Retentionsmöglichkeiten' in Fig. 5 ist erfüllt, wenn ein beträchtlicher Anteil (mind. 30%) des mobilisierten Materials zurückgehalten werden kann.

Die Karte resp. das Luftbild gibt Auskunft über die Lage und Länge von Felsstrecken. Durch die grobe Abschätzung des Gefälles ergeben sich Anhaltspunkte über die Lage von Ablagerungsstrecken sowie Retentionsräumen ausserhalb des Gerinnes.

Das Karten- und Luftbildstudium kann durch eine Übersichtsbegehung ergänzt oder allenfalls ersetzt werden. Damit wird der Zeitaufwand für die Vorarbeiten zwar etwas höher, was aber durch die zusätzlichen Eindrücke über das Einzugsgebiet kompensiert wird.

3.2.4 Erste Beurteilung des Wildbaches

Mit der Zusammenfassung der Befunde aus den Vorarbeiten ist eine erste Beurteilung des Wildbaches möglich. Anhand von Dokumenten werden die bisherigen Wildbachereignisse sowie allfällige Massnahmen im Gerinne und im Einzugsgebiet erfasst. Damit entsteht ein erstes Bild primär über die historischen Aspekte des Wildbaches (siehe Aufnahmeblatt "Murfähigkeit"). Erste Kenntnisse über den gegenwärtigen Zustand und das aktuelle Prozessgeschehen werden mittels Karten- und Luftbildauswertung erarbeitet. Damit kann eine erste Bestimmung des Verlagerungsprozesses erfolgen, das Vorgehen bei den Feldbegehungen geplant und auch eine Grobabschätzung der Feststofffracht anhand Fig. 5 durchgeführt werden. Nach den Vorarbeiten sind vier Ergebnisse möglich (die untenstehenden Ziffern entsprechen denjenigen in Fig. 5):

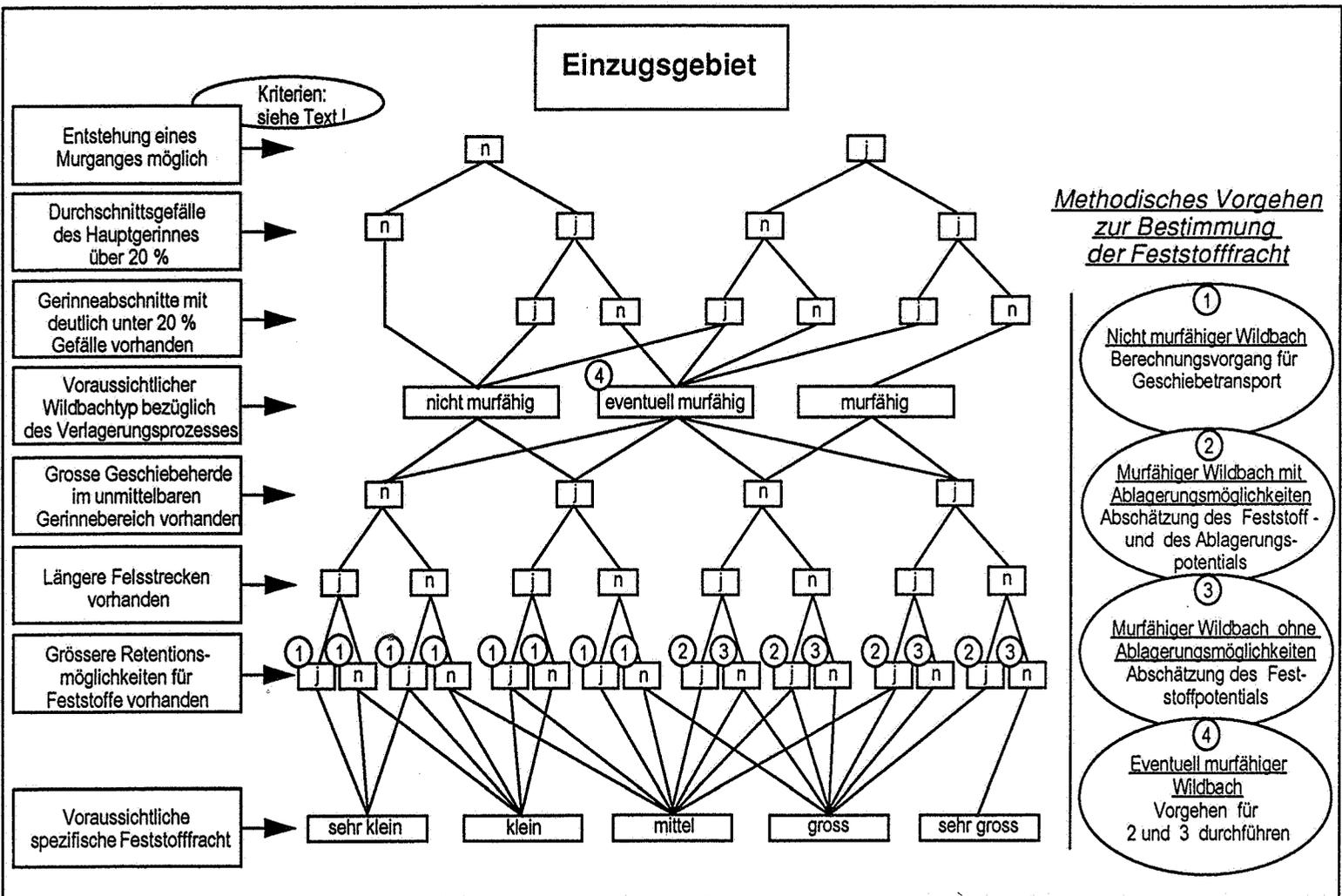


Fig. 5: Entscheidungsbaum zur ersten Bestimmung des Verlagerungsprozesses, zur Wahl des Vorgehens im Gelände und zur Grobabschätzung der spezifischen Feststofffracht

Der fragliche Wildbach ist ein

- **1 nicht murfähiger Wildbach**
⇒ Berechnung des Feststoffpotentials, des Ablagerungspotentials und der Transportkapazität gemäss Kap. 4.3 bis 4.5.
- **2 murfähiger Wildbach mit Ablagerungsmöglichkeiten**
D.h. ein Wildbach mit Gefällsstufen und allfälligen Möglichkeiten der Zwischenlagerung von Feststoffen entlang des Gerinnes
⇒ Vorgehen zur Abschätzung der Murenfracht unter Berücksichtigung möglicher Ablagerungen gemäss Kap. 4.6.
- **3 murfähiger Wildbach ohne Ablagerungsmöglichkeiten**
D.h. ein Wildbach mit einem Gefälle von praktisch nie unter 20% und ohne eigentliche Gefällsstufen
⇒ Abschätzung des Feststoffpotentials entlang des Gerinnes gemäss Kap. 4.7.
- **4 eventuell murfähiger Wildbach**
⇒ Der Verlagerungsprozess kann noch nicht festgelegt werden. Bis zur endgültigen Zuordnung des Wildbaches zu einer Kategorie werden im Gelände die Verfahren für *nicht murfähige* als auch für *murfähige* Wildbäche durchgeführt (Kap. 4.8).

Eine erste Abschätzung der spezifischen Feststofffracht kann mit Hilfe von Fig. 5 und Tab. 2 vorgenommen werden. Die spezifische Feststofffracht wird in fünf Grössenklassen unterteilt:

- 'sehr klein'
in der Regel bei nicht murfähigen Wildbächen ohne grosse Geschiebeherde mit Retentionsräumen für Geschiebe und/oder längeren Felsstrecken. Durchschnittliches Gefälle $\leq 20\%$.
- 'klein'
nicht murfähige Wildbäche ohne grosse Geschiebeherde, mit jedoch weniger ausgeprägten Retentionsräumen und/oder Felsstrecken.
- 'mittel'
in der Regel bei nicht murfähigen Wildbächen mit grossen Geschiebeherden ohne grössere Retentionsräume und ohne längere Felsstrecken. Ebenfalls bei murfähigen Einzugsgebieten ohne grosse Geschiebeherde, aber mit Retentionsräumen und/oder Felsstrecken.
- 'gross'
bei murfähigen Wildbächen mit grossen Geschiebeherden, aber mit Retentionsräumen und / oder Felsstrecken.
- 'sehr gross'
bei murfähigen Wildbächen mit grossen Geschiebeherden ohne längere Felsstrecken und ohne Retentionsräume.

Mit dieser ersten Schätzung der Feststofffracht soll sich der Anwender bereits vor der Begehung ein möglichst differenziertes Bild über den Feststoffhaushalt zusammenstellen. Dieser erste Gesamteindruck ist dann bei der in Kapitel 5 beschriebenen Überprüfung den Ergebnissen aus der detaillierten Analyse gegenüber zu stellen.

Tab. 2: Spezifische Feststofffracht eines grossen Wildbachereignisses in Abhängigkeit von der Geologie und der Einzugsgebietsgrösse.

(Alle Werte in m^3/km^2 Einzugsgebietsgrösse. Die erste Zahl in Tab. 2 bezieht sich auf ein ca. 10 km^2 grosses Einzugsgebiet, die zweite auf ein solches von ca. 1 km^2 . Für Einzugsgebietsgrössen zwischen 1 und 10 km^2 sind entsprechende Interpolationen vorzunehmen).

Spez. Fracht	Molasse	Flysch	Kalk	Kristallin
m^3/km^2	$10 \text{ km}^2 - 1 \text{ km}^2$		$10 \text{ km}^2 - 1 \text{ km}^2$	$10 \text{ km}^2 - 1 \text{ km}^2$
sehr klein	20 - 100	150	200 - 800	400 - 3'000
klein	50 - 200	1'500	500 - 1'000	800 - 5'000
mittel	150 - 500	5'000	1'000 - 5'000	1'500 - 15'000
gross	500 - 1'500	10'000	2'000 - 10'000	3'000 - 30'000
sehr gross	(800 - 3'000)	20'000	3'000 - 30'000	8'000 - 80'000

In Molasse-, Kalk- und Kristallingebieten nimmt die spezifische Feststofffracht mit zunehmender Einzugsgebietsfläche ab. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten gilt dies für Flyschgebiete nicht (vgl. Teil II). Die Multiplikation des aus der Tabelle interpolierten Wertes mit der Einzugsgebietsfläche ergibt die Grössenordnung der möglichen Feststofffracht. Beispielsweise dürften für ein 5 km^2 grosses Einzugsgebiet in den Kalkalpen, welchem aufgrund von Fig. 5 eine "kleine" spezifische Feststofffracht zugeordnet wurde, 3750 m^3 (gerundet ca. 4000 m^3) ein realistischer Wert sein (aus Spalte "Kalk" der Zeile "klein" ergibt sich ein Wert von ca. $750 \text{ m}^3/\text{km}^2$). Extrapolationen für Einzugsgebietsgrössen über 10 km^2 sind nur unter Vorbehalt durchzuführen. Unter eine Einzugsgebietsfläche von 1 km^2 sollte man nicht extrapolieren. Diese Grobabschätzung soll primär als Kontrollmöglichkeit für das Ergebnis aus der Felderhebung dienen. Unter keinen Umständen darf die Verwendung der Fig. 5 und 14 sowie Tab. 2 eine Felderhebung ersetzen !

3.2.5 Massgebende Hochwasserspitze und Hochwasserganglinie

Für die Berechnung der Transportkapazität in nicht murfähigen Wildbächen benötigt man eine Hochwasserganglinie. Sie wird am besten durch Abflussmessungen bestimmt. Wo keine Abflussmessungen zur Verfügung stehen, ist zu überprüfen, ob für 1 bis 3 Jahre eine einfache Messstelle eingerichtet werden kann. Die so beschafften

Grundlagen können für die Kalibrierung und Verifizierung von Modellrechnungen dienen.

Ist die Einrichtung von Messstellen nicht möglich, müssen Schätzverfahren für die Hochwasserabflussspitzen oder den Verlauf von Hochwasserganglinien herangezogen werden. Hierfür sind die relevanten Speicherungs- und Translationsprozesse im Einzugsgebiet zu beschreiben und mit Modellen die gesuchten Hochwassergrößen zu bestimmen. Leider kann wegen der Vielfalt der hochwasserbildenden Prozesse und den unterschiedlichen Gebietseigenschaften kein allgemein gültiges Modell propagiert werden, welches für alle kleinen Einzugsgebiete in der Schweiz gute Resultate liefert. Es bleibt deshalb dem Fachmann überlassen, dasjenige Verfahren auszuwählen, welches in der Lage ist, die wichtigsten Prozesse im Einzugsgebiet wiederzugeben.

Als Entscheidungshilfe können dem Anwender des Handbuches die folgenden Hinweise dienen:

- In der Schweiz wurden für die Bestimmung der Hochwasserspitze oft einfache empirische Schätzformeln (Hofbauer, Kürsteiner usw.) verwendet. Diese Formeln sind grundsätzlich ungeeignet.
- Verschiedentlich wurden in der Schweiz für die Bestimmung der Hochwasserspitze Laufzeitverfahren resp. das Verfahren von Koella erfolgreich angewendet. Beides sind einfach zu handhabende Verfahren und können in vielen Gebieten zu brauchbaren Abschätzungen führen. Beim Laufzeitverfahren ist zu beachten, dass die Konzentrationszeiten nicht zu kurz angesetzt werden, damit nicht unrealistisch hohe Abflussspitzen erzeugt werden. Das Koella-Verfahren ist in kleinen Einzugsgebieten unter ca. 2 km² nicht oder nur mit Vorsicht zu verwenden. In Teil II des Handbuches findet sich eine Kurzbeschreibung der beiden Verfahren.
- In vielen Einzugsgebieten gibt es Bereiche, welche rasch auf Niederschläge reagieren und solche, in denen die Reaktion langsamer oder abgeschwächt erfolgt. Eine entsprechende Unterteilung in rasch und langsam reagierende Teilgebiete gibt daher wertvolle Hinweise auf das Abflussverhalten des gesamten Einzugsgebietes. Der Abflussbildungsprozess kann so effizienter modelliert werden.

4. Feldaufnahmen

Die Feldaufnahmen dienen folgenden Zielen:

- Abklärung der Murfähigkeit des Wildbaches im Gelände, sofern diese nicht bereits anhand der Vorarbeiten zweifelsfrei feststeht
- Aufnahme der Ausgangsdaten für die Berechnung der Feststoff-Transportkapazität (bei nicht murfähigen Wildbächen)
- Abschätzung des Feststoffpotentials der massgebenden Geschiebeherde
- Abschätzung des Volumens möglicher Ablagerungen entlang des Gerinnes.

4.1 Überblick und benötigtes Material

Die Erhebungsdaten werden in speziell für diesen Zweck konzipierte Aufnahmeblättern (siehe Ende Teil I) eingetragen. Für die Abklärung der Murfähigkeit steht ein spezielles Aufnahmeblatt zur Verfügung. Die benötigten Daten zur Berechnung der Transportkapazität, der Abschätzung des Feststoffpotentials und der Ablagerungsmöglichkeiten können ins Aufnahmeblatt "Gerinneabschnitt" eingetragen werden. Zur Ermittlung der für die Transportberechnungen notwendigen Korngrößen d_{90} , d_m , d_{50} und d_{30} wird die Methode der Linienzahlanalyse vorgeschlagen, für welche ebenfalls ein Erhebungsblatt am Ende von Teil I beigefügt ist.

Unmittelbar nach Beendigung der Arbeit im Gelände empfiehlt es sich, sozusagen als Zusammenfassung der Eindrücke aus den Feldaufnahmen, das zusätzliche Aufnahmeblatt "Gesamteindruck über das Einzugsgebiet" auszufüllen. Dieses Blatt dient vor allem als Checkliste zum Festhalten weiterer Merkmale des Einzugsgebietes.

Bei der Erhebung der Daten werden erfahrungsgemäss bessere Resultate erzielt, wenn der Wildbach aufwärts anstatt in Fliessrichtung begangen wird. Das Gerinne wird während der Begehung laufend in einzelne Abschnitte eingeteilt. Die Erhebungen erfolgen jeweils für diese einzelnen Gerinneabschnitte getrennt.

Die Gerinneabschnitte werden so gewählt, dass sie annähernd einheitliche Strecken von ca. 100 bis 300 m Länge umfassen und bezüglich des Transportprozesses, der Sohlenbeschaffenheit, der Gerinnebreite und des Gefälles möglichst homogen sind. Die Gerinneabschnittsgrenzen werden also jeweils bei markanten Veränderungen des Gerinnecharakters (Übergang Felsgerinne - Lockermaterial), der Gerinnegeometrie und des Gefälles festgelegt (vgl. Fig. 7).

Handelt es sich um einen nicht murfähigen Wildbach, d.h. um einen Wildbach, bei welchem die Transportkapazität berechnet werden kann, sind "Querprofile" auszumessen. Darunter sind nicht Aufnahmen der detaillierten Gerinnegeometrie wie im Flussbau zu verstehen. In der Regel genügt es, die Bachbreite und die Böschungswinkel zu messen. Zusätzlich ist das Gefälle zu bestimmen. Für die Transportberechnung müssen auch Informationen über das Sohlenmaterial beschafft werden. Die Stellen, an welchen die "Querprofile" aufgenommen werden, sind für die spätere Berechnung der Feststofffracht massgebend. Je mehr "Querprofile" aufgenommen werden, desto detaillierter wird die Aussage über die Transportprozesse entlang des Gerinnes sein.

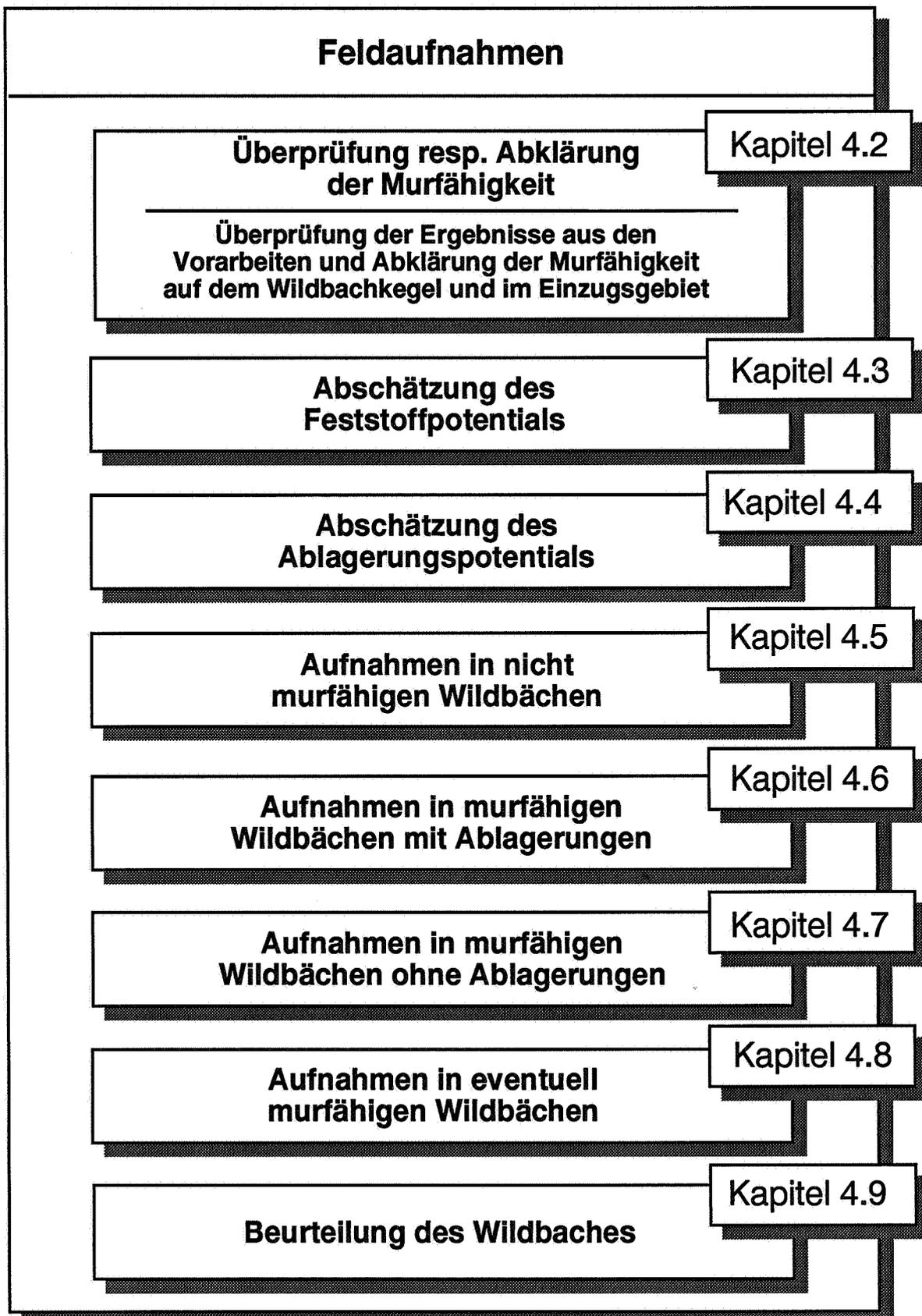


Fig. 6: Übersicht über die Feldaufnahmen

Der Wildbach muss mindestens bis zu der Stelle begangen werden, an welcher

- sich der oberste relevante Feststoffherd befindet
- von weiter oben im Einzugsgebiet kein grösserer Materialeintrag, z.B. infolge einer längeren Flachstrecke oberhalb einer Karschwelle, mehr möglich ist
- das Einzugsgebiet in bezug auf das Feststoffpotential überblickbar ist und somit nicht vollständig begangen werden muss
- sich das Gerinne in viele kleine Runsen aufteilt, welche ihrerseits nur ein geringes Feststoffpotential zu mobilisieren vermögen und deshalb nur punktuell zur Kontrolle begangen werden müssen
- die voraussichtliche Transportkapazität nicht ausreicht, die Feststoffe abzutransportieren (z.B. längerer Streckenabschnitt mit geringem Gefälle).

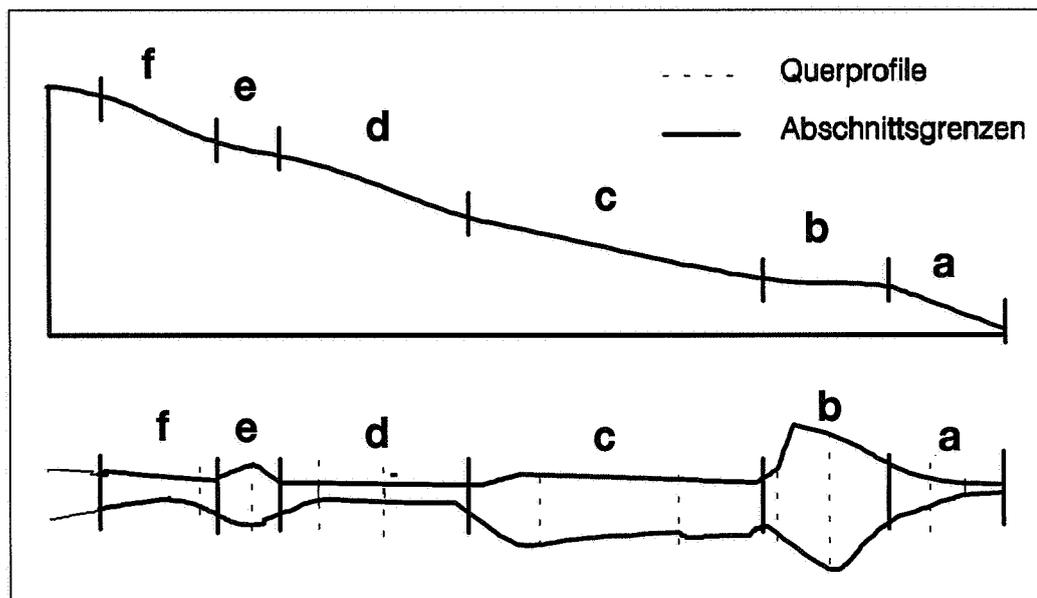


Fig. 7: Schematische Darstellung der Wahl möglicher Gerinneabschnittsgrenzen

Bis Klarheit über den voraussichtlichen Verlagerungsprozess im Gerinne herrscht, wird empfohlen, das Aufnahmeblatt "Murfähigkeit" parallel zu den übrigen Arbeitsschritten zu führen. Es wird empfohlen, während der gesamten Begehung auf entsprechende Spuren zu achten.

In einigen Fällen kann der Verlagerungsprozess auch im Gelände nicht eindeutig bestimmt werden. In diesem Falle sind für den gesamten Bach sowohl das Aufnahmeverfahren für murfähige als auch das Aufnahmeverfahren für nicht murfähige Wildbäche durchzuführen. Anhand der Ergebnisse kann dann die Kubatur der Feststofffracht abgeschätzt werden. Besteht immer noch eine Unsicherheit, ist vom ungünstigeren Falle auszugehen.

Die für die Arbeit im Gelände empfohlene Feldausrüstung umfasst

- Messband oder Telemeter
- Doppelmeter, z.B. für Linienproben des Sohlenmaterials
- Neigungsmesser, evtl. Geologenkompass
- Höhenmesser
- Feldstecher
- Landeskarte 1:25'000 und mehrere Kopien des Übersichtsplanes (am besten 1:5'000) zum Eintrag von Gerinneabschnittsgrenzen, Lage der Querprofile, wichtigen Geschiebeherden und weiteren Beobachtungen
- Eine genügende Anzahl Kopien der Aufnahmeblätter für die einzelnen Gerinneabschnitte, je eine Kopie des Aufnahmeblattes "Murfähigkeit", "Gesamteindruck über das Einzugsgebiet" sowie mehrere Kopien für die Durchführung von Linienzahlanalysen.
- Feldbuch
- evtl. Taschenrechner.

Nicht zuletzt aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, die Erhebungen im oft schwierigen Gelände mindestens zu zweit durchzuführen.

4.2 Abklärung der Murfähigkeit im Gelände

4.2.1 Untersuchung des Kegelbereiches

Wichtige Hinweise auf die Murfähigkeit des Wildbaches können bereits auf dem Bachkegel gefunden werden:

a) Gefälle

Das Gefälle muss mindestens 5% aufweisen

b) Längenprofil des Kegels

Das Längenprofil vor allem der kleineren Kegel ist konvex gewölbt. Konkave Kegel und flaches Gefälle sind Hinweise auf nicht murfähige Fließgewässer bzw. dafür, dass die betreffenden Stellen bisher von Murgängen nicht erreicht worden sind.

c) Struktur der Kegeloberfläche

Murkegel weisen oft ein ausgeprägtes Relief auf und sind stark strukturiert. Diese Merkmale können aber auch von andern Prozessen, z.B. Bergsturz, herrühren!

d) Ausprägung der Rinnen auf dem Kegel

Murrinnen sind oft wieder überwachsen. Sie sind oft tief eingeschnitten und meistens an einem U-förmigen Querschnitt erkennbar. Falls sie nicht oder nur wenig eingetieft sind, weisen Murrinnen als besondere Merkmale seitliche parallele Wälle, sog. Levées auf. Zwischen den beiden Levées von rezenten Ereignissen ist die Vegetation oft praktisch unversehrt.

e) Form der Ablagerungen

Die Ablagerungen von Murgängen sind längsausgerichtet, zungenförmig und weisen zur Umgebung eine klare Begrenzung auf. Charakteristisch ist eine steile Ablagerungsfront (Murkopf).

f) Material

Im Gelände finden sich oft überdurchschnittlich grosse und kantengerundete Blöcke.

Sind die Ablagerungen eines Murganges noch sehr jung und die Spuren noch unversehrt, sind folgende zusätzliche Merkmale typisch:

- Meistens besteht eine sehr scharfe Grenze der Feststoffablagerungen zur unversehrten Umgebung.
- Die einzelnen Komponenten sind weder vertikal noch horizontal geschichtet, wie dies bei fluvialen Ablagerungen der Fall ist. Korngrößenabnahmen gegen den Rand der Ablagerungen hin gibt es nicht.

4.2.2 Untersuchungen im Einzugsgebiet

Die wichtigsten Merkmale, die auf die Murfähigkeit des Gerinnes hinweisen, sind:

a) Spuren im Gerinne

- *Levéés*, d.h. seitliche wallförmige Ablagerungen von grobblockigem unsortiertem Material
- Ablagerung *grösserer, kantengerundeter Blöcke parallel auf beiden Seiten des Gerinnes, am Böschungsrand* oder auf Böschungswällen (also deutlich über der Sohle).
- *Einzelne kantengerundete Blöcke* im Gerinne, welche sichtbar grösser als das übrige Sohlenmaterial sind. Obwohl das Gerinne nach einem Murgang oft leergefegt ist, kann es vorkommen, dass einzelne grössere Blöcke liegen geblieben oder später aus den *Levéés* herausgekollert sind. Blöcke ohne gerundete Kanten sind in der Regel durch Hangprozesse (Rutschung, Sturz) ins Gerinne gelangt.
- *Kantengerundete Blöcke* in Aufschlüssen der Bachböschung. Die Blöcke sind Teil einer Murschuttmasse.
- *Murköpfe*, d.h. die steile Front grobblockiger Ablagerungen, welche sich nach dem Stillstand eines Murganges ergibt.
- Meist deutlich erkennbare U-Form des Querprofils.

b) Spuren ausserhalb des Gerinnes

Ausserhalb des Hauptgerinnes sind Hinweise auf Murgänge besonders in Hangbereichen und grösseren Lockermaterialakkumulationen zu beachten (Gletschervorfelder, Schutthalden, Moränen usw.).

- Typische Murgangrinnen
- *Levéés*. Sie können nur noch teilweise erhalten (Überprägung durch andere Prozesse, Abtrag) oder überwachsen sein.
- *Murköpfe*
- U-förmige Querprofile von Seitengerinnen und Runsen.

c) Spezielle Merkmale

Neben der Beurteilung von Spuren ist die Erfassung von Risikofaktoren notwendig, welche die Wahrscheinlichkeit von Murgängen erhöhen können.

Hierzu gehören:

- Gletscherseen mit der Möglichkeit von Ausbrüchen
- Sperren mit erhöhter Bruchgefahr. Dies ist besonders bei älteren und schlecht unterhaltenen Bauwerken zu beachten. Murgänge treten vor allem dann auf, wenn mehrere Sperren praktisch gleichzeitig brechen.
- Verklausungsmöglichkeiten (Engnisse, Wildholz usw.).

4.3 Generelles Vorgehen zur Abschätzung des Feststoffpotentials

Die Aufnahmen der Parameter für die Erfassung des mobilisierbaren Feststoffpotentials, für die Berechnung der Transportkapazität und für die Abschätzung der möglichen Feststoffkubaturen sind in jedem Gerinneabschnitt durchzuführen. Die Analyse des Sohlenmaterials kann wegen des grossen Aufwandes meistens nicht für jeden Gerinneabschnitt durchgeführt werden, so dass die bereits gemessenen Werte aus andern Gerinneabschnitten zu übernehmen oder allenfalls zu schätzen sind.

Zur Abschätzung der Feststofffracht müssen die wichtigen Feststoffherde festgelegt und deren beitragende Feststoffvolumina bestimmt werden. Eine Zusammenstellung verschiedener Feststoffherde mit Vorschlägen zur Berechnung des Feststoffpotentials findet sich im Anhang. Die Feststoffherde sind in erster Linie nach ihrer *Lage* in bezug auf das Hauptgerinne, in zweiter Linie nach *technisch-gesteinskundlichen Merkmalen* klassiert.

Während der Begehung des Gerinneabschnittes wird das Feststoffpotential gemäss Tabelle "Vorschläge zur Abschätzung des Feststoffpotentials" im Anhang und der nachfolgenden Beschreibung geschätzt. Soweit möglich sollen Pauschalschätzungen und nicht zu detaillierte Aufnahmen durchgeführt werden. Auf dem Aufnahmeblatt "Gerinneabschnitt" werden die Kubaturen aus Gerinnesohle, Böschungen und einzelnen Geschiebeherden gesondert eingetragen. In der Rubrik "einzelne Geschiebeherde" sollen nur sehr markante Geschiebeherde gesondert erfasst werden. Der Feststoffeintrag aus kleinen Geschiebeherden ist nach Möglichkeit in der Rubrik "Böschungen" zu verrechnen.

Es ist wie folgt vorzugehen:

1) Festlegen der Feststoffherde

Wichtig sind nur Feststoffherde aus Lockermaterial. Es ist zu entscheiden, inwieweit der betreffende Geschiebeherd überhaupt in einem Zusammenhang mit dem Gerinne steht, resp. ob dessen Material das Gerinne während des Hochwassers erreicht.

Es werden drei Gruppen unterschieden, deren Bedeutung für die Feststofflieferung in Teil II näher erläutert wird:

- Sohle
- Böschung

Diese Geschiebeherde befinden sich im Einflussbereich des Hochwassers. Das Material wird direkt erodiert oder rutscht infolge Unterspülung nach.

– Hangbereich

Diese Geschiebeherde befinden sich nicht im direkten Einflussbereich des Hochwassers. Das Material gelangt durch selbständige Hangprozesse wie Rutschungen oder durch Runsen in das Gerinne. Hier ist besonders zu prüfen, ob das Material während des Ereignisses das Gerinne erreicht.

2) Abschätzung der massgebenden Erosionskubaturen

Für jeden Geschiebeherd ist das Volumen des mobilisierbaren Materials zu schätzen. Da aber erfahrungsgemäss nicht die gesamte Kubatur des Geschiebeherdes verlagert wird, sondern infolge von Hindernissen Material liegen bleibt, wird die Kubatur des Geschiebeherdes mit einem Reduktionsfaktor abgemindert. Bei Sohle und Böschungen ist zudem zu berücksichtigen, dass Murgänge tendenziell eine höhere Erosionskraft aufweisen und dadurch grössere Kubaturen erodiert werden können.

a) Erosionskubaturen aus der Sohle

Für die Gerinnesohle ist zur Festlegung der mobilisierbaren Kubaturen folgendermassen vorzugehen:

- ◆ Festlegen der Länge des Gerinneabschnittes L_{GA}
Die Länge des Gerinneabschnittes ist abzuschätzen oder zu messen.
- ◆ Bestimmen der Breite der Sohle im Gerinneabschnitt
Hier ist eine durchschnittliche Breite über den gesamten Gerinneabschnitt anzunehmen (vgl. Fig. 8).

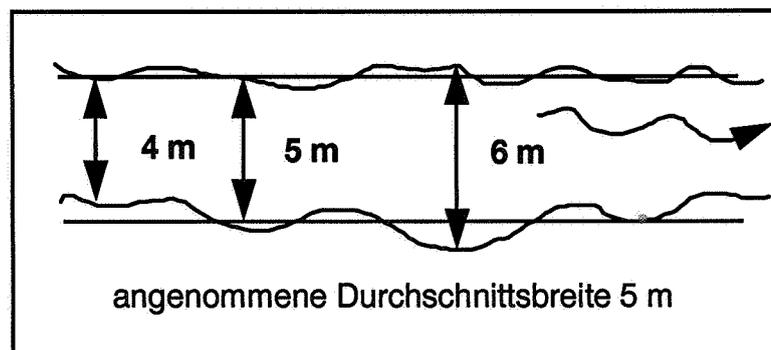


Fig 8: Ermittlung der durchschnittlichen Breite eines Gerinneabschnittes

- ◆ Bestimmen der Erosionstiefe d
Die Erosionstiefe kann lokal sehr unterschiedlich sein. Im Verfahren wird deshalb ein Pauschalwert für die Erosionstiefe verwendet. Erfahrungswerte für die Erosionstiefe sind:
 - Für Murgänge: Im Gerinne kann das Verhältnis Eintiefung zu Gerinnebreite etwa 1:5 betragen. In Hangpartien sind Eintiefungen im Verhältnis bis zu 1:3 eine realistische Annahme. Es gilt zu beachten, dass dies sehr pauschale Werte sind und jeweils den lokalen Verhältnissen entsprechend angepasst werden müssen (Gefälle, Hindernisse).

- Für Geschiebetransport: Im Gerinne ist je nach lokalen Bedingungen mit einem Verhältnis Eintiefung zu Gerinnebreite von ca. 1:10 bis 1:12 zu rechnen. Diese Werte sind abhängig vom Sohlenmaterial und dem Gefälle. Die Erfahrung zeigt, dass die Tiefenerosion auch etwa dem Wert von d_{90} des Sohlenmaterials entsprechen kann.
- Festlegen eines Reduktionsfaktors
Der Reduktionsfaktor k_{S0} oder k_B wird eingesetzt, wenn nicht die gesamte Länge L der Sohle resp. der Böschung im Gerinneabschnitt erodiert werden kann:

$$k_{S0}, k_B = \frac{\text{Länge der erodierbaren Strecke}}{\text{Länge des Gerinneabschnittes}} = \frac{L_e}{L_{GA}}$$

Im Gelände wird die genaue Länge des Gerinneabschnittes nicht immer bekannt sein. Sie wird deshalb oft erst im Verlauf der Auswertungen aus der Karte ermittelt.

Bei Annahme eines Gerinneabschnittes mit der Länge $L_{GA} = 300$ m und einem Felsanteil von 100 m, in welchem praktisch kein Material erodiert wird, würde demnach die erodierbare Länge der Sohle 200 m betragen. Damit ergibt sich ein k_{S0} von 0.667 oder gerundet von 0.7.

Vorschläge für die Verwendung des Reduktionsfaktors sind in Tab. 3 zu finden.

Für die Abschätzung des erodierbaren Volumens aus der Sohle wird folgende Beziehung verwendet:

$$V_{\text{Sohle}} = k_{S0} * L_{GA} * b * d$$

V_{Sohle}	=	Erodierbares Volumen aus der Sohle	[m ³]
k_{S0}	=	Reduktionsfaktor für die Sohle	[-]
L_{GA}	=	Länge des Gerinneabschnittes	[m]
b	=	Mittlere Breite der Sohle	[m]
d	=	Mittlere Erosionstiefe	[m]

Beispiel: In einem 200 m langen und 8 m breiten Gerinneabschnitt besteht die Sohle auf ca. 80 m Länge aus Fels (d.h. 120 m oder 60% der Strecke sind erodierbar). Bei Geschiebetransport und der Annahme, keine grösseren Hindernisse seien vorhanden und die Erosionstiefe betrage $1/10$ der Bachbreite, kann das mobilisierbare Feststoffpotential folgende Kubatur haben (vgl. Tab. 4):

$$V_{\text{Sohle}} = k_{S0} * L_{GA} * b * d = 200 \text{ m} * 0.6 * 8 \text{ m} * 0.8 \text{ m} = 768 \text{ m}^3$$

b) Erosionskubatur aus der Böschung

Für die Böschung werden die mobilisierbaren Kubaturen links und rechts des Gerinnes getrennt geschätzt.

Es wird wie folgt vorgegangen:

- ◆ Bestimmen der Länge des Gerinneabschnittes L_{GA}

Tab.3: Erfahrungswerte aus den Ereignissen 1987 und andern Ereignissen für die Längenwahl der erodierbaren Strecke im Gerinneabschnitt. Die angegebenen Werte sind als Vorschläge zu betrachten und können selbstverständlich variieren.

OBJEKT	Reduktionsfaktoren k_{so} für den Verlagerungsprozess	
	Geschlebetransport	Murgang
Stellenweise felsige Sohle	$\frac{L_{GA} - L_F}{L_{GA}}$	$\frac{L_{GA} - L_F}{L_{GA}}$
Blöcke > d_{90}	$\frac{L_{GA} - L_B}{L_{GA}}$	1
Übergrosse Blöcke 1)	$\frac{L_{GA} - L_{BL}}{L_{GA}}$	$\frac{L_{GA} - L_{BL}}{L_{GA}}$
Holzsperrentreppe, Zustand gut	0.3 - 0.5	0.8 - 1 ²⁾
Holzsperrentreppe, Zustand mangelhaft 2)	0.8 - 1	1
Sperrn aus Mauerwerk, Zustand gut	0.3 - 0.5	0.5 - 0.8
Sperrn aus Mauerwerk, Zustand mangelhaft	0.5 - 0.8	0.8 - 1
Betonsperrentreppe	0.3 - 0.5	0.5 - 0.8 ³⁾
Bei Gefahr von Verkläusungen	0.6 - 0.8	1

1) z.B. aus Hangprozessen (Bergsturzmaterial)

2) Annahme Sperrnbruch

3) Annahme Bruch einzelner Sperrn, jedoch nicht der gesamten Treppe

L_{GA} = Länge de Gerinneabschnittes

L_F = Länge der Felsstrecke

L_B = Länge der Strecke mit Blöcken > d_{90}

L_{BL} = Länge der Strecke mit übergrossen Blöcken (z.B. Bergsturzmaterial)

- ◆ Festlegen der Höhe der erodierbaren Böschung
Häufig wird das Material bis zur Böschungsoberkante erodiert, vorausgesetzt, diese ist nicht zu weit vom Gerinne entfernt. Man orientiert sich am besten an den vorhandenen Spuren älterer Uferanbrüche. Realistische Durchschnittswerte dürften bis etwa 6 Meter, in Einzelfällen auch mehr, betragen. Es sind dabei immer auch die lokalen Verhältnisse (etwa das Vorhandensein stabilisierender Bäume oder Fels) zu beachten.
- ◆ Abschätzen der Erosionsmächtigkeit
Die Erosionsmächtigkeit hängt vor allem vom Material der Böschung ab sowie vom Einfluss stabilisierender Elemente (Bäume, grobblockiges Material usw.) Es ist zu beachten, dass Murgänge auch bei den Böschungen grössere Kubaturen als normaler Geschiebetransport erodieren können.
 - Für Murgänge können keine Absolutwerte angegeben werden, da die Erosionsmächtigkeit stark materialabhängig ist. Bis zu einem halben Meter höhere Werte als bei normalem Geschiebetransport kommen jedoch ohne weiteres vor.
 - Bei Geschiebetransport dürften im Durchschnitt 50 cm nicht überschritten werden, auch wenn lokal weit höhere Werte vorkommen.
- ◆ Festlegen des Reduktionsfaktors
Uferanbrüche entstehen meistens in Prallhanglage. Die gesamte beidseitige Böschungslänge wird praktisch nur bei Murgängen erodiert (etwaige Hindernisse berücksichtigen!).

Die Erosionskubatur aus der Böschung wird folgendermassen berechnet :

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

wobei

$V_{\text{Böschung}}$	=	mobilisierbares Volumen aus der Böschung	[m ³]
k_B	=	Reduktionsfaktor für Böschungserosion	[-]
$L_{\text{Böschung}}$	=	Länge der betrachteten Böschung des Gerinneabschnittes entlang der Fliessrichtung des Wildbaches gemessen	[m]
h	=	erodierbare Höhe der Böschung	[m]
d	=	erodierbare durchschnittliche Mächtigkeit	[m]

c) Berechnung des erodierbaren Volumens eines einzelnen Geschieberherdes

Die Berechnung des erodierbaren Volumens eines einzelnen Geschieberherdes ist praktisch gleich wie bei der Böschung. Oft kann die Fläche eines Geschieberherdes auch mit einer Dreiecksform angenähert werden (Fig. 9).

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

k_{GH}	=	Reduktionsfaktor	[-]
V_{GH}	=	mobilisierbares Volumen aus dem Geschiebeherd [m ³]	
L_{GH}	=	Länge des Geschiebeherdes	[m]
h	=	erodierbare Höhe des Geschiebeherdes	[m]
d	=	erodierbare durchschnittliche Mächtigkeit	[m]

Beispiel:

Ein typischer parabelförmiger Uferanbruch hat folgende Ausmasse: 50 m entlang des Gerinnes, 25 m hoch, erodierbare Mächtigkeit im Durchschnitt 0.3 m. Dies ergibt ein Volumen von 187.5 m³. Infolge stabilisierender Wirkung von Vegetation und Blöcken werden davon nur ca. $\frac{2}{3}$ dem Gerinne zugeführt.

$$V_{GH} = k_{GH} \cdot \frac{L_{GH} \cdot h}{2} \cdot d = 0.7 \cdot \frac{50 \cdot 25}{2} \cdot 0.3 = 131 \text{ m}^3$$

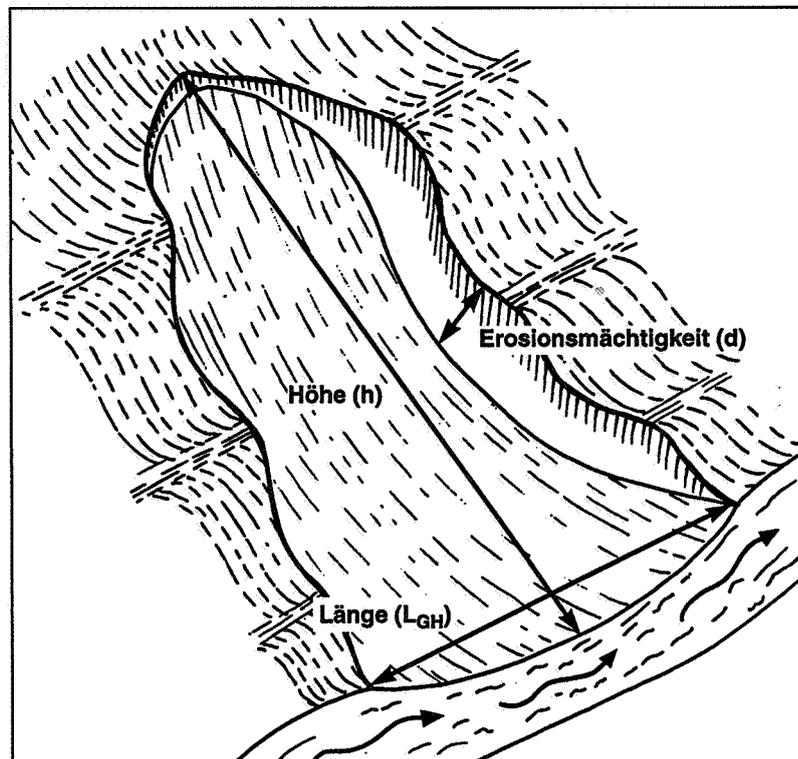


Fig. 9: Schematische Darstellung eines Geschiebeherdes mit Längsmassen

4.4 Abschätzung möglicher Feststoffablagerungen im Gerinneabschnitt

Die Ablagerungskubatur im Gerinneabschnitt ergibt sich aus dem Produkt der Länge der Ablagerungsstrecke mit der Ablagerungsbreite und der durchschnittlichen Ablagerungsmächtigkeit. Ablagerungen sind bei einer Zunahme der Gerinnebreite oder bei Stellen mit reduziertem Gefälle zu erwarten. Es muss von Fall zu Fall abgeschätzt werden, wieviel Platz für Ablagerungen zur Verfügung steht. Es ist ferner daran zu denken, dass durch Ablagerungen das Sohlengefälle zunimmt und sich das abgelagerte Material weiter bachaufwärts erstrecken kann. Es sind sowohl die möglichen Kubaturen innerhalb des Gerinnes (als Zwischendeponien), als auch ausserhalb des Gerinnes einzurechnen.

4.5 Aufnahmen in nicht murfähigen Wildbächen

4.5.1 Aufnahme der Parameter für die Berechnung der Transportkapazität

In der Schweiz wurden die Formeln von Smart/Jaeggi (1983) und Rickenmann (1990) zur Berechnung der Transportkapazität in steilen Gerinnen erfolgreich eingesetzt. Für Wildbäche mit einem Gefälle $> 5\%$ wird letzterer Formel der Vorzug gegeben, weil diese ein schlammartiges Transportmedium, ähnlich wie es in Wildbächen vorkommen dürfte, berücksichtigt. Weist der Wildbach über längere Strecken ein Gefälle von $< 5\%$ auf, wird empfohlen, die Formel von Smart/Jaeggi zu verwenden, da deren Anwendungsbereich auch kleine Gefälle unter 5% abdeckt.

Beide Formeln finden sich in Kapitel 5.1.2 und erfordern die Kenntnis der folgenden Parameter:

- | | |
|--|----------------------|
| – Gerinnebreite | [m] |
| – Gefälle des Gerinnes | [%] |
| – Spezifisches Gewicht des Materials | [g/cm ³] |
| – Massgebliche Geschiebekorngrössen d_{90} , d_m , d_{50} , d_{30} | [m] |
| – Abfluss | [m ³ /s] |
| – Böschungsneigung (für die Formel von Smart/Jaeggi) | [°] |

a) Gerinnebreite

Da die Gerinnebreite in Wildbächen stark schwankt, ist diese an mehreren Stellen zu vermessen. Die Wahl der Stellen, an welchen die Breite zu messen sind, soll nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Klar definiertes Profil, welches sich während eines Hochwassers möglichst wenig verändert. Die Böschungen sollten stabil sein.
- Die Sohle muss aus Lockermaterial bestehen.
- Im Nahbereich soll kein Gefällsknick und auch keine Kurve vorhanden sein.
- Die Stelle soll zudem ausserhalb des Einflussbereiches von Hindernissen wie Felsvorsprüngen, grobblockigem Material (d.h. Blöcke mit mehreren Metern Durchmesser) in der Sohle, Verstopfungsstellen, Durchlässen und Kolkbereichen von Abstürzen usw. zu liegen kommen.

Die Stellen sind so zu wählen, dass der Transportprozess möglichst wenig beeinflusst wird und damit als repräsentativ für eine gewisse Bachstrecke gelten kann.

Wenn möglich sollten die folgenden Stellen innerhalb des Gerinneabschnittes erfasst werden:

- Unterste Stelle des Gerinneabschnittes
(Feststoffeintrag in den nächst unteren Gerinneabschnitt)
- Steilste oder schmäleste Stelle, da hier die Transportkapazität vermutlich am höchsten ist
- "Flachste" oder breiteste Stelle, da hier die Transportkapazität vermutlich am kleinsten ist.

b) Gefälle des Gerinnes

Die Messung hat an der Stelle, wo die Gerinnebreite aufgenommen wird, zu erfolgen. Das Gefälle ist über ca. 20 bis 30 m bachauf- und bachabwärts zu messen, damit es - falls notwendig - über eine längere Strecke gemittelt werden kann. Bei treppenförmigen Längsprofilen, sog. "Step-pool Sequenzen", entspricht das "mittlere Gefälle" in keiner Weise den wirklichen Verhältnissen. Hier ist das Sohlengefälle der Flachstrecke zwischen zwei Abstürzen zu messen.

c) Spezifisches Gewicht des Materials

Es wird ein Richtwert von 2.65 t/m³ empfohlen (Smart/Jaeggi 1983, Rickenmann 1990).

d) Erhebung der massgebenden Geschiebekorngrössen d_{90} , d_{50} , d_{30}

Das Sohlenmaterial kann je nach Gesteinsart und Herkunft sehr unterschiedlich sein. Geschiebeanalysen sind zeitaufwendig und müssen von mindestens zwei Personen durchgeführt werden, wobei das Verfahren an verschiedenen Stellen im Gerinne zu wiederholen ist (z.B. oberhalb des Kegels, im Bereich der dichtesten Querprofilabfolge, unterhalb der Mündung eines wichtigen Zubringergewässers und möglichst weit oben im Hauptgerinne).

Gängige Erhebungsmethoden sind Linien-, Flächen- und Volumenproben. Für die speziellen Verhältnisse in Wildbächen wird empfohlen, die Linienzahlanalyse mit dem Ansatz nach Fuller zusammenzulegen, wie es bei Fehr (1987) beschrieben ist. Das Vorgehen im Gelände sieht wie folgt aus:

1. Wahl der Probenahmestelle

- Die Ablagerungen an der Probenahmestelle sollten jüngeren Datums sein und sich ausschliesslich aus Bachschutt zusammensetzen. Das Feinmaterial sollte möglichst wenig aus der Ablagerung ausgewaschen sein.
- Der Gerinnequerschnitt soll genügend breit sein, damit mehrere Linienproben nebeneinander durchgeführt werden können. Es sind an einer Probenahmestelle mindestens zwei Linienzahlanalysen durchzuführen.

2. Auslegen eines Messbandes oder einer Schnur möglichst parallel zur Fliessrichtung, wobei sowohl grobes wie auch Feinmaterial überspannt werden sollte. Die Länge der Probe ist so zu wählen, dass mindestens 200 Steine ausgemessen werden können.

3. Jeder unter dem Messband liegende Stein wird vermessen (b-Achse) und der entsprechende Wert in ein vorbereitetes Formular eingetragen (Fig.15, Anhang). Die Länge der Feinmaterialfraktionen (Durchmesser deutlich unter 1 cm) wird gemessen und als Streckenanteil in das Formular eingetragen.

4. Messung der für die 200 Steine benötigten Streckenlänge sowie Eintrag der Grösse des grössten erfassten Komponenten.

Die Auswertung der Linienzahlanalyse erfolgt im Büro anhand der Anleitung in Teil II.

e) Abflussganglinie

Die für die Transportberechnungen benötigte Abflussganglinie wird gemäss Kap. 5.1.2 ermittelt.

4.5.2 Erfassung der mobilisierbaren Kubaturen

Die Erfassung des Feststoffpotentials im Gelände erfolgt nach dem in Kap. 4.3 beschriebenen Verfahren.

4.6 Aufnahmen in murfähigen Wildbächen mit Ablagerungsmöglichkeiten für Feststoffe

Der Wildbach ist murfähig, jedoch ist es wahrscheinlich, dass der Murgang aufgrund des Längenprofils einen gewissen Materialverlust erleidet. Prinzipiell ist das Vorgehen dasselbe wie in nicht murfähigen Wildbächen, mit dem Unterschied, dass die Berechnung der Transportkapazität wegfällt.

4.6.1 Vorgehen für die Abschätzung von Murgängen, die im Gerinne entstehen

- 1) Festlegung der einzelnen Gerinneabschnitte
- 2) Abschätzung des Gefälles
Ist das Gefälle im Gerinne höher als ca. 25%, können Murgänge im Gerinne selbst entstehen.
- 3) Abschätzung des mobilisierbaren Feststoffpotentials für jeden Gerinneabschnitt
Die Abschätzung erfolgt wie unter Kapitel 4.3 beschrieben.
- 4) Festlegung von möglichen Ablagerungsstrecken. Die Wahrscheinlichkeit für Murablagerungen ist hoch in Gerinnestrecken, deren Gefälle höchstens die Hälfte beträgt bzw. deren Gerinnebreite doppelt so gross ist wie die des nächstoberen Gerinneabschnittes. Hier wird auch angenommen, dass kein weiteres Material erodiert wird.
- 5) Abschätzung der möglichen Ablagerungskubatur bei den unter 4) erwähnten Stellen. Hier kann man einen Massenverlust annehmen, welcher etwa dem Volumen der Levées auf beiden Seiten des Gerinnes entspricht.
- 6) Abschätzung, ob der Murgang den Kegelhals erreicht.
Es ist zu überprüfen, ob das mittlere Gefälle von möglichen Anrisspunkten bis zum Kegel pauschal über 19% beträgt und ob in flacheren Gerinneabschnitten nicht die gesamte Kubatur des Murganges abgelagert werden kann.

4.6.2 Vorgehen zur Beurteilung von Murgängen aus dem Hang

Entsteht der Murgang vermutlich nicht im Gerinne, sondern irgendwo im Hangbereich, geht man folgendermassen vor:

- 1) Beurteilung der Wahrscheinlichkeit, dass der Murgang das Gerinne erreicht.
Bei gestreckten Hangpartien mit stark erosivem Vorfluter ('V-Täler') ist die Wahrscheinlichkeit bei genügend hoher Neigung ($> 10^\circ$ oder ca. 18%) gross, dass der Murgang das Gerinne erreicht.
Nimmt die Hangneigung gegen den Hangfuss hin stetig ab (z.B. bei stark U-förmigem Talquerschnitt) ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass der Murgang zum Stillstand kommt.
- 2) Ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Murgang das Gerinne erreicht, ist die Möglichkeit abzuschätzen, ob er im Hauptgerinne weiterfliessen kann.
Bei spitzem Einfallswinkel des Murganges in das Gerinne dürfte die Wahrscheinlichkeit der Fortbewegung hoch sein.
Bei deutlicher Abnahme des Gefälles (z.B. von 30 auf 10%) kann der Murgang zum Stillstand kommen. Ist das Gefälle jedoch konstant höher als 20%, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sich der Murgang fortbewegt. Er kann jedoch an Stellen mit dem geringsten Gefälle an Masse verlieren, sofern dort Platz vorhanden ist.

4.7 Aufnahmen in murfähigen Wildbächen ohne Möglichkeit der Zwischenlagerung von Feststoffen

In diese Kategorie Wildbäche fallen vornehmlich steile Zubringer von grösseren Vorflutern. Das Material erreicht beinahe vollumfänglich den Kegel. Die Frage nach möglichen Ablagerungen stellt sich hier also nicht. Die Aufnahmen im Gelände beschränken sich deshalb auf die Schätzung des Feststoffpotentials entlang des Gerinnes.

Vorgehen:

- 1) Einteilung des Gerinnes in einzelne Gerinneabschnitte
- 2) Abschätzung des Feststoffpotentials für jeden Gerinneabschnitt, wie in Kapitel 4.3 beschrieben.

4.8 Aufnahmen in eventuell murfähigen Wildbächen

Die Erhebungen in Wildbächen, bei denen nicht feststeht, ob sie murfähig sind oder nicht, werden gemäss den Kapiteln 4.2 bis 4.6 ausgeführt. Während der Begehung ist primär auf Hinweise auf Murgänge zu achten (Kapitel 4.2). Es ist so vorzugehen, dass neben dem Verfahren für murfähige Wildbäche (Kap. 4.6) auch Querprofile und Ablagerungspotential (Kap. 4.5) aufgenommen werden. So besteht die Möglichkeit, später bei den Auswertungen beide Varianten durchzurechnen.

4.9 Beurteilung des Wildbaches

Um den frischen Eindruck aus der Felderhebung festzuhalten, ist nach Beendigung der Arbeiten das Aufnahmeblatt "Gesamteindruck über das Einzugsgebiet" auszufüllen (siehe Anhang).

5. Auswertung der Felddaten

Die einzelnen Schritte der Auswertung sind in Fig. 10 dargestellt. Die Auswertungen sind unterschiedlich für nicht murfähige und murfähige Wildbäche. Für die Auswertung der Felddaten steht ab 1996 ein WINDOWS-lauffähiges EDV-Programm zur Verfügung, mit welchem die erforderlichen Berechnungen durchgeführt werden können.

5.1 Auswertung bei nicht murfähigen Wildbächen

5.1.1 Analyse des Sohlenmaterials

Die Bestimmung der charakteristischen Korngrößen d_{90} , d_{50} und d_{30} kann mittels Zusammenlegung der Linienzahlanalyse mit einer Verteilung nach Fuller erfolgen. Das Verfahren wird in Teil II, Kapitel 5.1.1 beschrieben.

5.1.2 Berechnung der Feststoffbilanz für jedes Querprofil

Bei der Berechnung der Feststoffbilanz für jedes Querprofil ist wie folgt vorzugehen:

- 1) Zuordnung des Feststoffpotentials zu jedem Querprofil:
 - a) Zuerst ist die exakte Länge der einzelnen Gerinneabschnitte anhand der Aufzeichnungen auf den Aufnahmeblättern oder auf dem Übersichtsplan zu ermitteln. Dazu werden die Meereshöhen der unteren und oberen Grenzen der Gerinneabschnitte und die Länge auf dem Übersichtsplan festgehalten und die schiefe Länge berechnet.
 - b) Das Feststoffpotential aus Sohle, Böschung und einzelnen Geschiebeherden kann nun für jeden Gerinneabschnitt berechnet werden.
 - c) Das Feststoffpotential im Gerinneabschnitt wird auf die Querprofile verteilt.

Beispiel:

Das Feststoffpotential in einem Gerinneabschnitt beträgt 2000 m^3 . Im Feld wurden vier Profile in regelmässiger Abfolge ausgemessen. Bei der Annahme, die Kubatur verteile sich ungefähr gleichmässig innerhalb des Gerinneabschnittes, können nun die 2000 m^3 gleichmässig auf die vier Profile verteilt werden, d.h. 500 m^3 pro Profil. Kann das Feststoffpotential nicht regelmässig auf die Querprofile verteilt werden oder ist ein einzelner grosser Geschiebeherd speziell zu berücksichtigen, wird die Feststoffkubatur gemäss Fig. 11 den jeweiligen Querprofilen zugeordnet.

- 2) Addition des Feststoffpotentials bachabwärts. Am Wildbachkegel erhält man das gesamte Feststoffpotential.
- 3) Zuordnung des geschätzten Ablagerungsvolumens. Wie beim Feststoffpotential wird jedem Querprofil auf die oben beschriebene Weise das im Gelände geschätzte Ablagerungsvolumen zugeordnet.

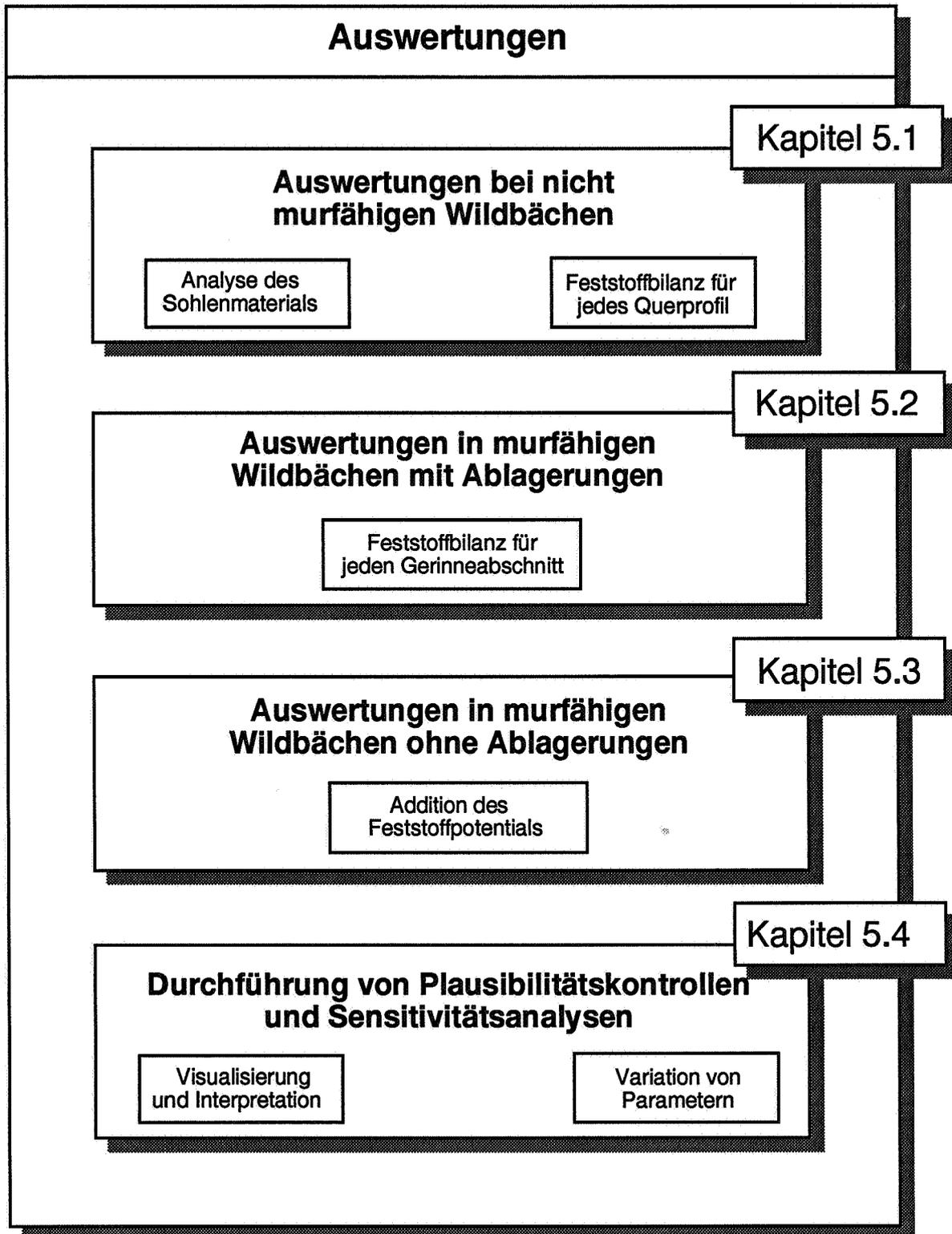


Fig. 10: Übersicht über die Auswertungen

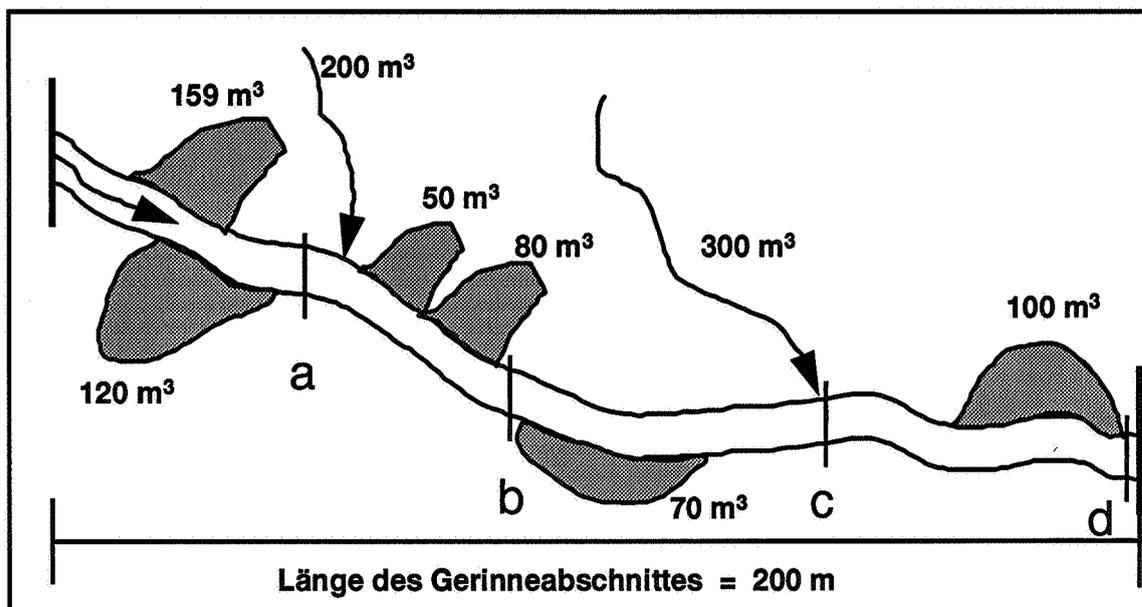


Fig. 11: Verteilung des Feststoffpotentials im Gerinneabschnitt. Bei Fließrichtung des Baches nach rechts beträgt das Feststoffpotential bei Querprofil a 279 m³, bei b 330 m³, bei c 370 m³ und bei d 100 m³.

4) Ermittlung der Abflussganglinie für jedes Querprofil.

Am besten geht man von gemessenen Ereignissen am Wildbach aus und schätzt dann die Ganglinie im Querprofil ab. Bestehen keine Messungen und können auch keine Messungen durchgeführt werden, müssen Schätzverfahren angewendet werden. Ein mögliches Verfahren ist dasjenige von Koella, welches im entsprechenden Kapitel im Teil II beschrieben ist. Wird die Hochwasserspitze nach Koella bestimmt, wird die 'Kumulative Gerinnelänge' (vgl. Glossar resp. Kapitel 3.2.5 in Teil II) und die Einzugsgebietsgröße oberhalb jedes Querprofils benötigt. Wurden viele Querprofile erhoben, erfordert die Ermittlung dieser beiden Parameter einen beträchtlichen Aufwand. Man kann ihn reduzieren, indem man die 'Kumulative Gerinnelänge' und die Einzugsgebietsgröße nur an wichtigen Stellen entlang des Wildbaches misst, beispielsweise bei einer größeren Bachverzweigung, bei einer Strassenbrücke und selbstverständlich am Kegelhals. Für die zwischenliegenden Querprofile können die Werte interpoliert werden. Sind Konzentrationszeit und Hochwasserspitze bekannt, kann die Abflussganglinie vereinfachend als Dreieck mit Hilfe des Abflussbeiwertes definiert werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- a) Abschätzen des Gesamtniederschlages für das betrachtete Ereignis, des Abflussbeiwertes, der Konzentrationszeit und der Hochwasserspitze der Jährlichkeit x beispielsweise nach Koella (vgl. Teil II).
- b) Bestimmen des Abflussvolumens

$$V_{\text{tot}} = (TR_x * \varphi) \quad [\text{m}^3]$$

c) Berechnen der gesamten Zeitdauer der Abflussganglinie t_G (Fig. 12):

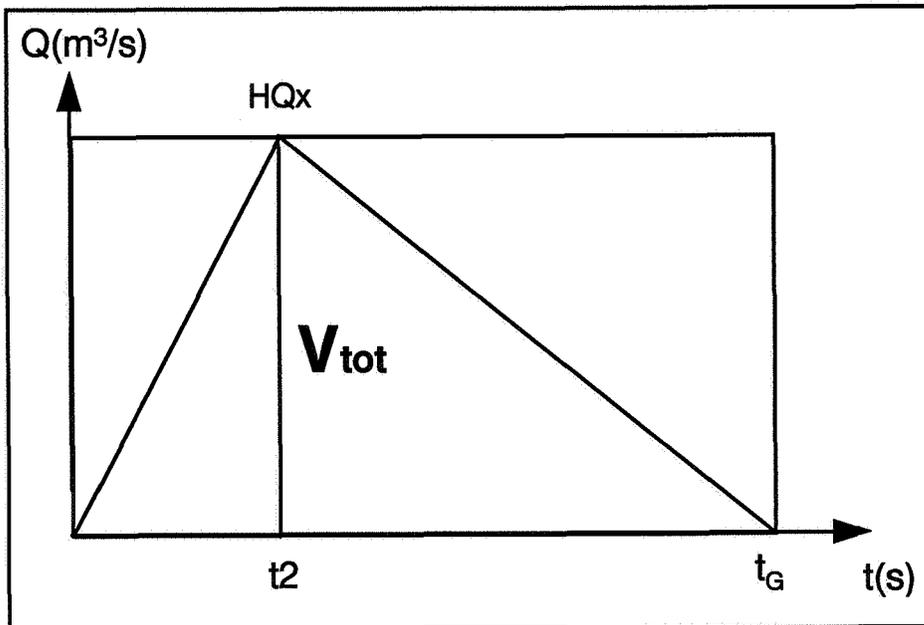


Fig. 12: Schematische Abflussganglinie als Grundlage zur Berechnung der Transportkapazität

$$t_G = \frac{2V_{\text{tot}}}{HQ_x} \quad [\text{s}]$$

Es bedeuten:

V_{tot}	=	Gesamtvolumen des Abflusses	$[\text{m}^3]$
TR_x	=	Gesamtniederschlag	$[\text{m}^3]$
φ	=	Abflussbeiwert	$[-]$
t_G	=	Gesamtzeitdauer der Abflussganglinie	$[\text{s}]$
t_2	=	"Konzentrationszeit"	$[\text{s}]$
HQ_x	=	Hochwasserspitze der Jährlichkeit x	$[\text{m}^3/\text{s}]$

5) Berechnung der Transportkapazität für jedes "Querprofil" mit der Formel von Smart/Jaeggi:

$$q_B = \frac{4}{(s-1)} \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} q_J^{1.6} \left(1 - \frac{\theta_{\text{cr}}(s-1)d_m}{h_m J} \right) \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Bei Verwendung der Formel von Rickenmann (1990) für die Berechnung der Transportkapazität muss zuerst der kritische Abfluss für den Transportbeginn ermittelt werden. Hier kann zwischen zwei Verfahren ausgewählt werden.

1. Shields:

$$q_{cr} = 0.065(s-1)^{1.67} g^{0.5} d_{50}^{1.5} J^{-1.12} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

2. Berechnung der Zerstörung einer Blockrampe:

$$q_{cr} = 0.143(s-1)^{1.67} g^{0.5} d_{50}^{1.5} J^{-1.167} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Aufgrund von Erfahrungswerten in der Schweiz wurde d_{65} aus der Originalpublikation durch d_{50} ersetzt. Das Resultat kann in die eigentliche Transportformel eingesetzt werden:

$$q_B = \frac{12.6}{(s-1)^{1.6}} \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} (q - q_{cr}) J^{2.0} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Es bedeuten dabei:

θ_{cr}	=	Kritischer Shieldsfaktor bei Transportbeginn, als Wert ist 0.05 einsetzbar	[-]
q_{cr}	=	Kritischer Abfluss bei Transportbeginn	[m ³ /s]
s	=	Verhältnis zwischen der Dichte des Feststoffes und der Dichte der Flüssigkeit. Bei einer mittleren Dichte des Feststoffes von 2.65 t/m ³ und einer angenommenen Dichte der Flüssigkeit von 1.15 t/m ³ ergibt der Ausdruck [s-1] in der Formel den Wert von 1.3	[t/m ³]
g	=	Gravitationskonstante	[9.81 m/s ²]
h_m	=	Abflusstiefe des Wasser- und Feststoffgemisches	[m]
d_m	=	Mittlere Korngrösse	[m]
d_{90} , d_{50} , d_{30}	=	charakteristische Korngrössen, bei welchen 90%, 50% resp. 30% Gewichtsanteile des Sohlenmaterials kleiner sind	[m]
J	=	Sohlengefälle	[-]
q	=	Abfluss pro m Gerinnebreite	[m ³ /s m]
q_B	=	Feststofftransportkapazität pro m Gerinnebreite	[m ³ /s m]

Das Verhältnis d_{90}/d_{30} sollte für die Anwendung der Formel den Faktor 10 nicht überschreiten. Da in Wildbächen dieses Verhältnis meistens grösser ist, ergibt

sich für die praktische Berechnung die Vereinfachung, dass primär das d_{50} in die Berechnung einfließt.

6) Feststellung der Dauer des transportfähigen Abflusses durch Konstruktion der Geschiebeganglinien für jedes Querprofil (vgl. Fig. 13):

Hier müssen einige vereinfachende Annahmen getroffen werden:

- Der kritische Abfluss bei Transportbeginn entspricht demjenigen bei Transportende
- Die höchste Transportkapazität tritt zeitgleich mit der Hochwasserspitz auf.
- Die Geschiebeganglinie verläuft parallel zur Abflussganglinie.

a) Zuerst sind die Zeitpunkte für den Beginn des Geschiebetransportes, der Geschiebetransportspitze sowie für das Ende des Geschiebetransportes festzustellen. Der Zeitpunkt der Geschiebetransportspitze entspricht der Konzentrationszeit bei der Niederschlag-Abfluss-Modellierung.

- Transportbeginn (siehe Fig. 13):

$$t_{QB, \text{Beginn}} = \frac{t_2 * Q_{cr}}{Q_{max}}$$

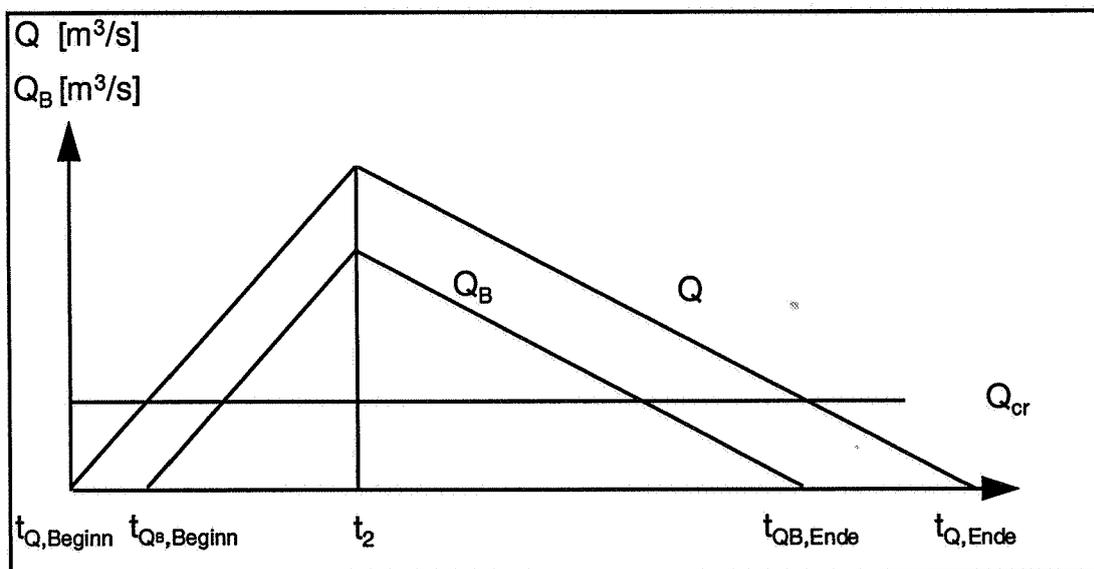


Fig. 13: Verwendete Beziehung zwischen Hochwasser- und Feststoffganglinie

$t_{Q, \text{Beginn}}$	=	Zeitpunkt des Beginns der Abflussganglinie
$t_{QB, \text{Beginn}}$	=	Zeitpunkt des Beginns des Geschiebetransportes
t_2	=	Konzentrationszeit, identisch mit der Zeit bis zum Erreichen des maximalen Geschiebetransportes
$t_{QB, \text{Ende}}$	=	Zeitpunkt des Endes des Geschiebetransportes
$t_{Q, \text{Ende}}$	=	Zeitpunkt des Endes der Abflussganglinie
Q_{cr}	=	Kritischer Abfluss bei Transportbeginn

Der Zeitpunkt des Transportendes berechnet sich mit:

$$t_{QB,Ende} = \frac{Q_{Bmax} * (t_{Q,Ende} - t_2) * Q_{cr}}{Q_{max}} + t_2$$

Damit kann die Zeitdauer des Feststofftransportes t_B bestimmt werden.

b) Nun sind die transportierten Geschiebevolumina V_{QB} zu bestimmen:

$$V_{QB} = \frac{t_B * Q_{Bmax}}{2}$$

7) Berechnung der tatsächlichen Ablagerungen bei jedem Querprofil

Es gibt drei Bedingungen, damit Ablagerungen stattfinden:

- a) Verfügbarer Platz im Gelände. Dies ist der Schätzwert aus den Erhebungen im Gelände. Ist der tatsächlich verfügbare Platz für Ablagerungen zwischen zwei Querprofilen kleiner als das errechnete Ablagerungsvolumen, wird das überschüssige Material zum nächstunteren Querprofil weitertransportiert.
- b) Die Transportkapazität ist geringer als die anfallende Feststofffracht. Die Differenz wird abgelagert.
- c) Die Transportkapazität beim betrachteten Querprofil ist kleiner als beim nächstoberen Querprofil.

8) Überprüfung der berechneten Feststoffkubatur am Kegelhalbs mittels Fig. 14 und Tab. 2

Fig. 14 zeigt die spezifische Feststofffracht der einzelnen Wildbachereignisse. Deshalb muss das vorliegende Resultat ebenfalls durch die Einzugsgebietsgrösse geteilt werden. Danach ist das Gebiet einer der vier geologischen Einheiten zuzuteilen und das Ergebnis kann mit Fig. 14 verglichen werden. Bei nicht murfähigen Wildbächen sollte die spezifische Feststofffracht etwa einem mittleren Wert in Fig. 14 entsprechen.

9) Durch Veränderung einzelner Parameter wie Sohlenmaterial, Abfluss, Feststoffpotential, usw. sind Sensitivitätsanalysen durchzuführen. Dadurch kann die Bandbreite der möglichen Feststofffracht besser abgeschätzt werden.

10) Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Feststoffabschätzung sind von vielen Faktoren abhängig, die ihrerseits wiederum auf Schätzungen beruhen. Das Ergebnis ist diesen Unsicherheiten entsprechend zu interpretieren.

In Fig. 14 sind die spezifischen Feststofffrachten als Funktion von Einzugsgebietsgrösse und Geologie dargestellt. Es werden dabei die vier geologischen Hauptgruppen Molasse, Flysch, Kalk und Kristallin unterschieden (vgl. auch Tab. 2). Die Zuteilung des Einzugsgebietes zu einer dieser Hauptgruppen kann anhand der Tektonischen und Geologischen Karte der Schweiz vorgenommen werden. Es ist zu erwarten, dass die grossen spezifischen Feststofffrachten eher das Ergebnis von

Murgängen, die kleineren eher das Ergebnis von "normalem" Geschiebetransport sind. Zudem dürften in der Molasse, nicht zuletzt aufgrund der topographischen Verhältnisse, hohe spezifische Feststofffrachten kaum je vorkommen. Es gilt aber zu beachten, dass Fig. 14 aufgrund der Log-Log-Darstellung vorsichtig interpretiert werden sollte.

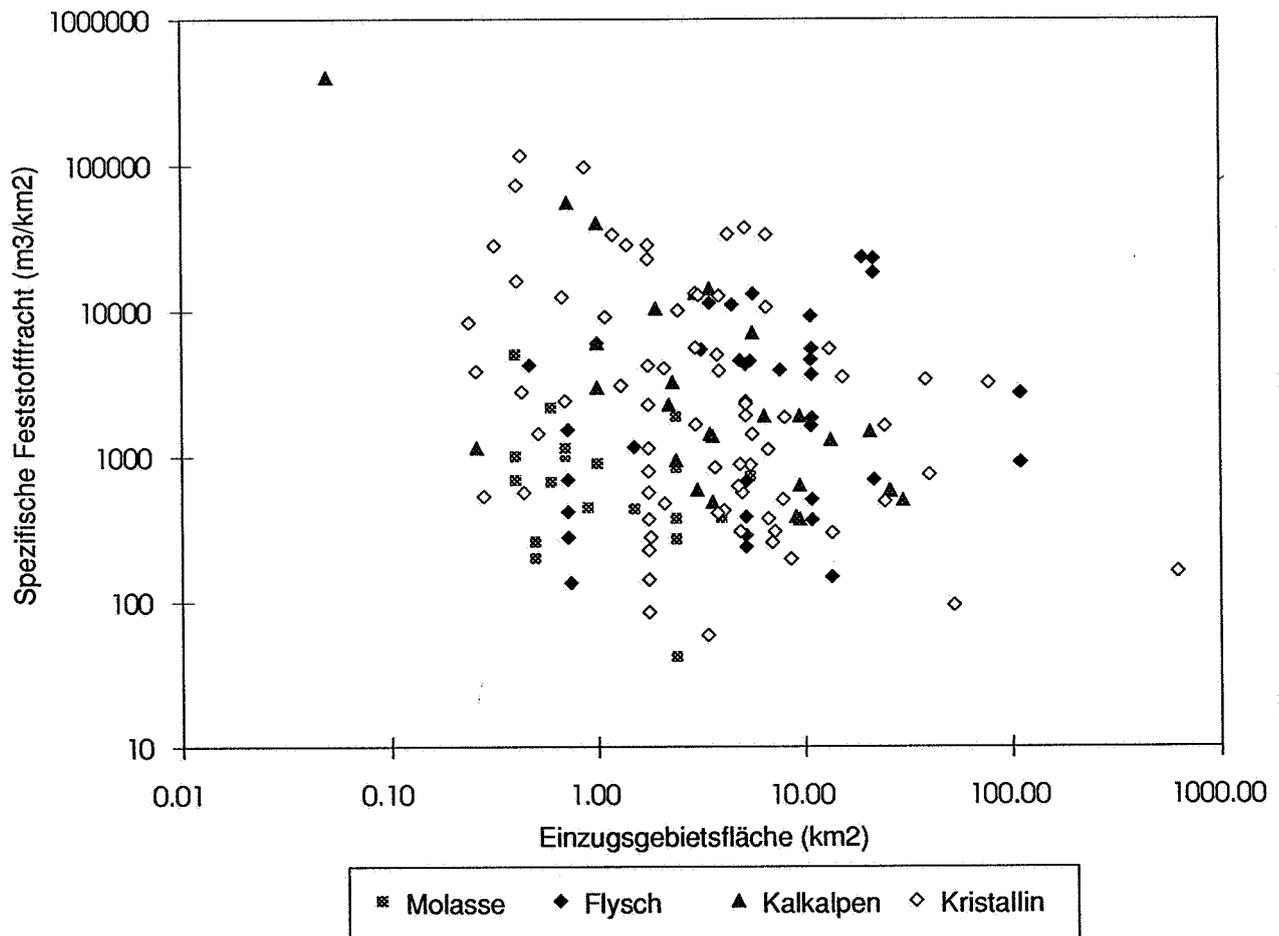


Fig. 14: Ereignisfrachten im schweizerischen Alpenraum

5.2 Auswertung bei murfähigen Wildbächen mit Möglichkeiten der Zwischenlagerung von Feststoffen

Die Berechnung der Transportkapazität fällt weg. Die Auswertungen umfassen die folgenden Punkte:

- 1) Überprüfung der Länge der Gerinneabschnitte anhand des Kartenmaterials.
- 2) Berechnen des Feststoffpotentials für jeden Gerinneabschnitt (Summe aus den Aufnahmeblättern).
- 3) Aufsummierung des Volumens möglicher Ablagerungen entlang des Gerinnes.

- 4) Berechnung der Murenfracht aus der Differenz des Feststoffpotentials und der Ablagerungen.
- 5) Interpretation und Kontrolle des Ergebnisses anhand von Fig. 14 und Tab. 2.

5.3 Auswertung bei murefähigen Wildbächen ohne Möglichkeiten der Zwischenlagerung von Feststoffen

- 1) Ausmessung der Länge der Gerinneabschnitte.
- 2) Aufsummieren des Feststoffpotentials für jeden Gerinneabschnitt.
- 3) Aufsummierung des Feststoffpotentials sämtlicher Gerinneabschnitte. Das Ergebnis entspricht der Murenfracht am Kegelhals.
- 4) Interpretation und Kontrolle des Ergebnisses anhand von Fig. 14 und Tab. 2.

5.4 Durchführung von Plausibilitätskontrollen und Sensitivitätsanalysen

Die Ergebnisse sind graphisch darzustellen. Im Hinblick auf die Interpretation und Plausibilitätskontrollen ist dies von Vorteil. Fig. 14 und Tab. 2 können hierzu, neben der im Rahmen der Vorarbeiten erstellten Wildbachgeschichte, wertvolle Dienste leisten.

Mittels Durchführung von Sensitivitätsanalysen kann die Bandbreite der möglichen Ergebnisse abgeschätzt werden. Die Variation beispielsweise der Abflüsse oder die Eingabe eines andern Feststoffpotentials entlang des Gerinnes oder nur an einzelnen Stellen ist zu empfehlen. Dadurch können verschiedene Szenarien durchgespielt werden. Graphische Darstellungen der Ergebnisse sind dabei unentbehrlich (siehe Teil II).

10/16/17

A N H A N G

Geschiebeanalyse _____ Datum _____
 Linienzahlanalyse Nr. _____ Beobachter _____
 Standort _____

Fraktion [cm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	N	Δ%
≤ 1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-6												
6-8												
8-10												
10-12												
12-15												
15-20												
20-25												
25-30												
30-35												
35-40												
40-50												
50-60												
60-80												
80-100												
100-120												
120-150												
150-200												
>200												

dmax= _____ cm Feinmaterial < 1 cm _____ m
 Gesamtlänge der Probe _____ m

Fig. 15: Formular für die Linienzahlanalyse (ergänzt und verändert nach Fehr 1987)

Vorschläge zur Abschätzung des Feststoffpotentials einzelner Geschiebeherde (Angaben für Höhe und Mächtigkeit in [m])

Lage des Geschiebeherdes	Art des Ausgangsmaterials	Typ	Charakterisierung des Feststoffeintrages in das Gerinne	Erosionsbetrag (für l, b, h und d in [m]) (Vorschläge für Werte von k, l, b oder h und d; wo kein Wert angegeben ist, ist fallweise zu entscheiden)					Bemerkungen	Relevanz ¹
				k	l	b	h	d		
Bachsohle	Lockermaterial	'Bachschutt'	Ge/F	G	k	l	b	d	G: $d = d_{90}$ oder 1/10 Gerinnebreite M: $d = \text{ca. } 1/5$ Gerinnebreite	sehr gross
				M	k	l	b	d		
Bachsohle	Anstehender Fels	-	Ge/F	⇒					vernachlässigbar	gering
Bachsohle	Veränderlich fest	-	Ge/F	⇒					vernachlässigbar	gering bis mässig
Böschung	Lockermaterial	eiszeitl. Talverfüllung	Ge/F		k	l	h	1	als Prallhang entlang Gerinne	gross
					k	l	h	0.5		
Böschung (entlang des Gerinneabschnitts)	Lockermaterial	Moräne, verfestigt	Ge/F	G	0.3 - 0.5	l	h	0.3 - 0.5		gross
				M	0.5 - 0.8	l	h	0.5 - 1		
Böschung (einzelner Geschiebeherd)	Lockermaterial	Moräne, verfestigt	Ge/F	G	(1/2) k	l	h	0.3 - 0.5		mässig
				M	(1/2) k	l	h	0.5 - 1		
Böschung	Lockermaterial	Terrassenränder (= alte Ablagerungen von Bach- und Murschutt)	Ge/F	G	0.3 - 0.5	l	3 - 6	0.3 - 0.5		gross
				M	0.3 - 0.5	l	3 - 6	0.5 - >1		
Böschung	Lockermaterial	Gehängeschutt/ Verwitterungsschutt	Ge/F	G	0.3 - 0.5	l	2 - 5	0.3 - 0.5		gross
				M	0.5 - 0.8	l	3 - 6	0.5 - 1		
Hangbereich	Lockermaterial	Gehängeschutt/ Verwitterungsschutt	Ge/F	R _f	k	l	h	0.3 - 0.5		mässig
				R _f	k	l	h	>2		
Böschung	Lockermaterial	grobblockiger Sturzschutt	Ge	G	0.2 - 0.5	l	2 - 5	0.2 - 0.5		mässig
				M	0.5 - 0.7	l	3 - 6	0.5 - 1		
Böschung	Lockermaterial	Bachschutt/ Murschutt	Ge/F	G	0.3 - 0.5	l	2 - 5	0.2 - 0.5		gross
				M	0.5 - 0.8	l	3 - 6	1 - 1.5		
Böschung	Lockermaterial	Schwemmkegel (vorw. Bachschutt)	Ge/F	G	0.3 - 0.5	l	2 - 5	0.3 - 0.5		gross
				M	0.5 - 0.8	l	3 - 6	1 - >2		

Lage des Geschiebeherdes	Art des Ausgangsmaterials	Typ	Charakterisierung des Feststoffeintrages in das Gerinne	Erosionsbetrag (für l, b, h und d in [m]) (Vorschläge für Werte von k, l, b oder h und d; wo kein Wert angegeben ist, ist fallweise zu entscheiden)					Bemerkungen	Relevanz ¹
				k	l	b oder h	d			
Böschung	Anstehender Fels (ohne Boden, vegetationslos)	-	Ge/F	⇒					vernachlässigbar	gering
Hangbereich	Anstehender Fels (ohne Boden, vegetationslos)	-	Ge/F	⇒					vernachlässigbar	gering
Böschung	Veränderlich-fester Fels (ohne Boden, vegetationslos)	-	F	⇒					vernachlässigbar	gering
Hangbereich	Veränderlich-fester Fels (ohne Boden, vegetationslos)	-	F	⇒					vernachlässigbar	gering
Böschung	Anstehender Fels (mit Boden und Vegetation)	-	F	k	l	h	0.1 - 0.2		mässig	
Hangbereich	Anstehender Fels (mit Boden und Vegetation)	-	F	⇒					wie Runse / Rutschung	mässig
Böschung	Veränderlich-fester Fels (mit Boden und Vegetation)	-	F	k	l	h	0.1 - 0.2		mässig	
Hangbereich	Veränderlich fester Fels (mit Boden und Vegetation)	-	F	⇒					wie Runse / Rutschung	mässig
Hangbereich	Lockermaterial	Moräne , verfestigt	Ge/F	R _f	k	l	h	0.3 - 0.5		mässig
				R _t	k	l	h	> 2		
Hangbereich	Lockermaterial und Fels	Verwitterungsschutt	Ge/F	⇒					wie Verwitterungsschutt, ohne Fläche des Felses	mässig
Hangbereich	Zwischendeponie in Runse auf Fels	Murschutt/Verwitterungsschutt	Ge/F	k	l	b	d		k*I mit Erosionsquerschnitt multiplizieren	gering
Hangbereich	Zwischendeponie in Runse im Lockermaterial	Murschutt/Verwitterungsschutt	Ge/F	k	l	b	d		k*I mit Erosionsquerschnitt multiplizieren	gering

¹ in bezug auf die Feststofffracht am Kegelhals

Legende: Ge = vorwiegend Geschiebe, F = vorwiegend Feinmaterial, Ge/F = Geschiebe und Feinmaterial, l = Länge, des Gerinneabschnittes, der Böschung oder eines einzelnen Geschiebeherdes, k = Längen- oder Reduktionsfaktor, b = Breite, h = Höhe, d = Mächtigkeit; G = Erosion bei Geschiebetransport, M = Erosion bei Murgang, R_f = flachgründige Rutschung, R_t = Mittel- und tiefgründige Rutschung, GA = Gerinneabschnitt, GH = Geschiebeherd

Bachname: Kanton:

Datum:

I) Abklärung des Transportprozesses im Rahmen der Vorarbeiten**a) Abklärung des Transportprozesses anhand von Dokumenten**

Sind in Dokumenten Hinweise auf Murgänge vorhanden?

 ja nein Murgänge haben den Kegel erreicht**b) Karten- und Luftbildinterpretation**Erscheinen aufgrund des *Kartenmaterials* Murgänge möglich? ja nein Hohes Gefälle des Gerinnes (> 25 %) Hangneigung (> 27° oder > 50%)Sind anhand der *Luftbildinterpretation* Hinweise auf Murgänge erkennbar? ja neinHinweise auf Murgänge *auf dem Kegel*: Stark reliefierte/strukturierte Oberfläche¹ Spuren von Murrinnen² (überwachsene) Murzungen Murköpfe Levées Einzelne sehr grosse BlöckeHinweise auf Murgänge *entlang des Gerinnes / im Einzugsgebiet*: Murköpfe Levées (überwachsene) Murzungen Spuren von Murrinnen einzelne sehr grosse Blöcke tief Lockermaterial eingeschnittene Runsen¹ v. a. sichtbare Strukturen der Oberfläche +/- entlang der Falllinie des Kegels² Rinne mit beidseitig parallelen Wällen, ähnlich einer Bobbahn

c) Veränderungen der Situation im Einzugsgebiet / am Gerinne

Haben Veränderungen stattgefunden, welche den Transportprozess im Hinblick auf ein neues Ereignis beeinflussen könnten?

ja

nein

Veränderungen, welche die Murganggefahr reduzieren dürften

- Stabilisierung von Geschiebeherden
- Neue Verbauungen im Gerinne
- Hangverbau
- Aufforstungen
-

Veränderungen, welche die Murganggefahr erhöhen dürften:

- Entstehung neuer bedeutender Geschiebeherde
- Schlecht unterhaltene Verbauungen
- Destabilisierung von Hängen
- Freilegung von Schutthalden
- Forstliche Ursachen
-



d) Fazit und erste Beurteilung des Wildbaches anhand von Dokumenten

Anhand der vorhandenen Unterlagen sind Murgangaktivitäten

erwiesen

möglich

nicht nachweisbar

keine Aussage möglich

Haben Murgänge den Kegel erreicht oder können ihn erreichen?

ja

nein

keine Aussage möglich

Aufgrund der ersten Beurteilung des Wildbaches im Handbuch, Teil I, Kapitel 3.2.4, wird dieser nach den Vorarbeiten der folgenden Kategorie zugeordnet:

nicht murfähig

murfähig mit Ablagerungen

murfähig ohne Ablagerungen

eventuell murfähig

2. Kriterien im Gerinne

Hinweise auf Murgänge anhand verschiedener Merkmale

Querschnittsform des Gerinnes als Hinweis für Murgangaktivität:

- U-Form
- V-Form mit deutlichen Hinweisen auf Nachböschungsvorgänge¹
- keine Hinweise

Spuren, welche auf Murgänge hinweisen:

- vereinzelte überdurchschnittlich grosse, zugerundete Blöcke:

GA ² :.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....
Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....
- Murköpfe

GA:.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....
Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....
- Levées

GA:.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....	GA:.....
Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....	Kote:.....
-

Engnisse (Verstopfungs-/Verklausungsgefahr), wo sich allenfalls Murgänge bilden können

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> vorhanden | <input type="checkbox"/> nicht vorhanden |
| <input type="checkbox"/> Felsvorsprung | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> Felsblock | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> Seitlicher Materialeintrag | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> Seitengerinne/Runsen mit Materialeintrag | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> Brücken | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> Durchlässe | Kote:..... |
| <input type="checkbox"/> | |

Besteht die Gefahr von Verklausungen durch Wildholz?

- ja nein

Befinden sich die erwähnten kritischen Objekte an Stellen im Gerinne, von wo aus ein Murgang bis zum Kegel fließen könnte?³

- ja nein

¹ Hinweise auf starke Tiefenerosion, z. B. infolge Murgang

² GA = Gerinneabschnitt

³ z. B. Gefälle von deutlich über 20%, keine Gerinneerweiterung unmittelbar unterhalb, Materialeintrag aus spitzem Winkel usw.

3. Hinweise auf Murgänge an der Böschung

Merkmale der Lockergesteine an der Böschung:

- zugerundet unsortiert vereinzelt grobblockig
 deutliche Spuren von Levées
 undeutliche/verwischte Spuren von Levées

4. Vorläufiger Befund aus Merkmalen an Gerinne und Böschung

Anhand der Spuren und Hinweise zwischen Kegelhals und Kote..... sind Murgangaktivitäten

- erwiesen möglich unwahrscheinlich

5. Hinweise ausserhalb des Gerinnebereiches

Lockermaterialakkumulationen mit deutlichen Spuren von Murgängen:

wo:

- Gletschervorfeld
 Schutthalde
 Moräne
 überwachsener Hangbereich

was:

- Murrinne ("Bobbahn")
 Murköpfe
 Levées
 sonstige Hinweise aus Ablagerungen

Lockermaterialakkumulationen mit möglichen Spuren von Murgängen:

wo:

- Gletschervorfeld
 Schutthalde
 Moräne
 überwachsener Hangbereich

was:

- Murrinne ("Bobbahn")
 Murköpfe
 Levées
 sonstige Hinweise aus Ablagerungen

Bestehen Hinweise darauf, dass die Murgänge das Gerinne erreichen können:

- erwiesen (Spuren) potentiell⁴ nein

Weitere Entstehungsmöglichkeiten für Murgänge:

- Gletschersee mit Ausbruchmöglichkeit
 Bruchgefahr von hinterfüllten Verbauungen
 andere Möglichkeiten:.....
 erwiesen potentiell

⁴ z. B. Hangneigung weitgehend > 20°

III. Beurteilung der Entstehung und Fortsetzung von Murgängen

a) Mögliche Auslöseszenarien:

 Sohlenverflüssigung

Kote:.....

 das Gefälle einzelner Streckenabschnitte beträgt über 25% Gerinne verläuft zum grössten Teil im Lockermaterial⁵ Längsprofil des Hauptgerinnes weist keine grösseren Stufen auf (v.a. gestrecktes Profil) Ausbruch infolge seitlicher Materialzufuhr

Kote:.....

 Transformation Rutschung - Murgang

Kote:.....

b) Kriterien für Bedingungen, unter welchen sich ein Murgang bis zum Kegelhals fortsetzen kann:

Bezüglich der Verhältnisse ausserhalb des Hauptgerinnes: Fortsetzung eines Murganges aus Runsen:

Kote:.....

 Falllinie des Hangbereichs/seitlichen Zubringers in spitzem Winkel zu Gerinne Hohes Gefälle (über 20%) im Mündungsbereich des Zubringers eindeutige Spuren der Fortsetzung vorhanden anderes..... Fortsetzung eines Murganges aus dem Hangbereich:

Kote:.....

 Gletschervorfeld Schutthalde

Kote:.....

 andere Möglichkeiten.....

Kote:.....

⁵ Dieser Hinweis bedingt an sich keine Murfähigkeit, ist jedoch aber in Verbindung mit den Gefällsangaben von Bedeutung.

Bezüglich der Verhältnisse im Hauptgerinne:

Fortsetzung des Murganges möglich:

- Durchschnittsgefälle über längere Strecken > 20%
- Pauschalgefälle zu möglichen Auslösestellen⁶ über 20%
- keine signifikante Verbreiterung des Gerinnes
- keine Hindernisse grösseren Ausmasses (Blöcke, Felsvorsprung)
- Anteil der möglichen Ablagerung am Gesamtvolumen klein

Fortsetzung unwahrscheinlich (weitgehend alles Material bleibt liegen):

- Gefälle deutlich unter 20%
- Pauschalgefälle unter 20%
- Gefälle beträgt höchstens die Hälfte des nächsthöheren Gerinneabschnittes
- Gerinneverbreiterung um das Doppelte
- Hindernisse vorhanden
- Anteil Ablagerung am Gesamtvolumen gross

Bezüglich Verbauungen (Sperrentreppen):

Wahrscheinlichkeit der Fortsetzung gross: Wahrscheinlichkeit der Fortsetzung klein!

- alte Sperren (in schlechtem Zustand)
- neue oder gut unterhaltene Bauwerke

c) Ablagerungsmöglichkeiten für Murgänge neben dem Gerinne

- erwiesen
- möglich
- unwahrscheinlich

IV. Fazit

Der untersuchte Wildbach gilt anhand der Kriterienliste als

- murfähig (In diesem Fall muss mit Murgängen bis zum Kegel gerechnet werden)
- nicht murfähig⁷.

⁶ Pauschalgefälle = Gefälle, gemessen vom untersten Ende der möglichen Ablagerung in der Flachstrecke bis zu einer möglichen Auslösestelle

⁷ im Zweifelsfall Entscheidung für die "sichere Seite", d.h. Murfähigkeit.

Bachname Kanton.....
 Datum..... Bezeichnung Gerinneabschnitt.....
 Kote des Gerinneabschnittes von..... m ü. M. bism ü.M.

A) Allgemeine Angaben zum Gerinneabschnitt

Sohlengefälle:

min.....% Durchschnitt% max%

Sohlenbreite:

min.....m Durchschnitt.....m maxm

Längsprofil:

konvex gestreckt konkav abgetrept

Querprofil:

V-Form U-Form Trapez Rechteck

Anhand des Aufnahmeblattes "*Murfähigkeit*" ist der voraussichtliche Transportprozess im Gerinneabschnitt:

- Murgang (erwiesen) Geschiebetransport
 Murgang (möglich) noch nicht bestimmbar



(in diesen zwei Fällen sind die Abschätzverfahren für Murgänge und Geschiebetransport parallel durchzuführen)

B) Voraussichtliche Erosion im Gerinneabschnitt

1. Sohlenerosion

	Korr. faktor	Länge	Höhe	Mächtigkeit	Kubatur
bei Geschiebetr.	.....m	x.....m	x.....m	x.....m	=m ³
bei Murgang	.....m	x.....m	x.....m	x.....m	=m ³

2. Böschungserosion

	Korr. faktor	Länge	Höhe	Mächtigkeit	Kubatur
<u>links</u>					
bei Geschiebetr.	.....m	x.....m	x.....m	x.....m	=m ³
bei Murgang	.....m	x.....m	x.....m	x.....m	=m ³
<u>rechts</u>					
bei Geschiebetr.	.....m	x.....m	x.....m	x.....m	=m ³

bei Murgangm x.....m x.....m x.....m = _____m³

3. Erosion einzelner Geschiebeherde

<u>Bezeichnung</u>	Korr. faktor	Länge	Höhe	Mächtigkeit	Kubatur
_____	(1/2) x	x.....m	x.....m	x.....m	= _____m ³
_____	(1/2) x	x.....m	x.....m	x.....m	= _____m ³
_____	(1/2) x	x.....m	x.....m	x.....m	= _____m ³
_____	(1/2) x	x.....m	x.....m	x.....m	= _____m ³

C) Ablagerungspotential

Entlang des Gerinneabschnittes:

Korr. faktor Länge Höhe Mächtigkeit Kubatur
m x.....m x.....m x.....m = _____m³

oder pauschal _____m³

davon *neben* dem Gerinne _____m³.

D) Zusätzliche Informationen

1. Sohlenbeschaffenheit

- Lockermaterial.....%
- Felsgerinne fest.....%; veränderlich fest.....%
- künstliche Sohle (gepflästert, betoniert usw.)%

2. Sohlenmaterial

Dominierende Korngrößen im Gerinne und Grösstkorn

- < 0.05 m 0.05 - 0.20 m 0.20 - 0.50 m > 0.50 m
- Grösstkornm

Massgebende Korngrößen für die Berechnung des Geschiebetransportes:

- d₉₀.....m Schätzung
- d_m.....m Korngrößenanalyse
- d₅₀.....m
- d₃₀.....m

3. Funktion des Gerinneabschnittes bezüglich der Feststoffe

Sohlenfunktion während des Ereignisses

- v. a. Akkumulation
- v.a. Akkumulation mit Umlagerung

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

4. Böschungsuntergrund

	<u>links</u>	<u>rechts</u>
Untergrundmaterial	<input type="checkbox"/> Fels.....%	<input type="checkbox"/> Fels.....%
	<input type="checkbox"/> Lockermaterial%	<input type="checkbox"/> Lockermaterial.....%

Massgebende Querprofile (in Fließrichtung)

Querprofil Nr., Kotem ü. M.

Böschung links

Böschung rechts

Breite =m

Gefälle aufw. =	.....m	d_{90} =	.....m
Gefälle abw. =	.....m	d_{50} =	.....m
Ablagerungspotential =	.....m ³	d_{30} =	.....m

Querprofil Nr., Kotem ü. M.

Böschung links

Böschung rechts



Breite =m

Gefälle aufw. =m

d_{90} =m

Gefälle abw. =m

d_{50} =m

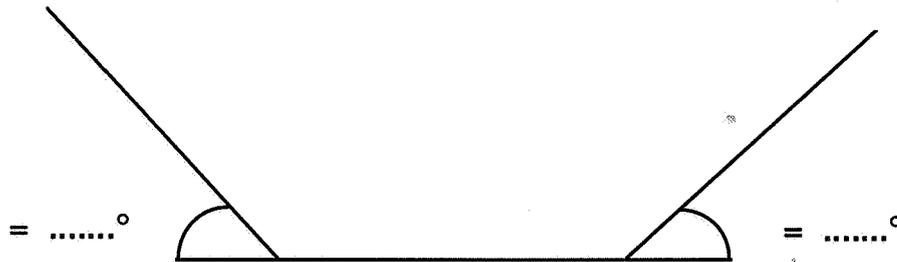
Ablagerungspotential =m³

d_{30} =m

Querprofil Nr., Kotem ü. M.

Böschung links

Böschung rechts



Breite =m

Gefälle aufw. =m

d_{90} =m

Gefälle abw. =m

d_{50} =m

Ablagerungspotential =m³

d_{30} =m

Bachname Kanton
 Datum Bearbeiter/in:
 Für die Felderhebung aufgewendete Zeit:Tage

(Das Aufnahmeblatt sollte anschliessend zu den Felderhebungen ausgefüllt werden)

1. Allgemeine Angaben

Einzugsgebietsgrösse: km²
 Waldanteil:% Gletscheranteil:%

Geologie/Tektonische Einheit:

Photos:

Angaben über frühere Ereignisse:

vorhanden nicht vorhanden nicht bekannt

2. Angaben zu Gerinne und Böschungen

a) Gerinneverhältnisse¹

1. Verbauungen

Gerinne ist
 verbaut stellenweise verbaut unverbaut

Sperren Holz ca. Anzahl.....
 Beton ca. Anzahl.....
 Mauerwerk ca. Anzahl.....

Beurteilung der Wirksamkeit in bezug auf das erwartete Ereignis:

gut eingeschränkt gering
 eher kontraproduktiv

¹ ohne Kegel

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Längswerke | <input type="checkbox"/> Holz
ca. Anzahl Laufmeter.....links.....rechts |
| | <input type="checkbox"/> Mauer
ca. Anzahl Laufmeter.....links.....rechts |
| | <input type="checkbox"/> Blockwurf
ca. Anzahl Laufmeter.....links.....rechts |
- Zustand:
- | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> gut | <input type="checkbox"/> mittelmässig | <input type="checkbox"/> mangelhaft |
|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|

2. Charakteristik der Bachsohle

Anteil Lockermaterialstrecken.....% Anteil Felsstrecken.....%
 Durchschnittliche Korngrössen im Hauptgerinne:
 d_{90}m d_{50}m d_{30}m

3. Ausprägung des Längsprofils des Hauptgerinnes

- | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> gestreckt | <input type="checkbox"/> abgetrept | <input type="checkbox"/> konkav | <input type="checkbox"/> konvex |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
- Gefälle:
 minimal.....% durchschnittlich.....% maximal.....%

4. Zwischenablagerungsmöglichkeiten für Feststoffe

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> v. a. im Gerinne | <input type="checkbox"/> ausserhalb des Gerinnes |
| <input type="checkbox"/> grössere Erosionsbasen ² vorhanden | |
| Ablagerungen bei Gefällen < ca.% | |
| <input type="checkbox"/> erwiesen | <input type="checkbox"/> möglich |
| Ablagerungspotential entlang des Baches: | |
| <input type="checkbox"/> gross (>50% der Erosionen) | <input type="checkbox"/> durchschnittlich (ca. 20 - 50% der E.) |
| <input type="checkbox"/> gering | |

5. Querprofil des Hauptgerinnes

Sohlenbreite des Hauptgerinnes im Mittellauf:
 minimal.....m; durchschnittlich.....m; maximal.....m

Mehrheitliche Form des Querprofils:

<input type="checkbox"/> V-Form	<input type="checkbox"/> U-Form	<input type="checkbox"/> Trapez	<input type="checkbox"/> Rechteck
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

² Karschwellen, grössere Felsriegel etc.

6. Potentielle Schlüsselstellen entlang des Hauptgerinnes:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Engnisse ³ | <input type="checkbox"/> Stellen mit grösserem seitlichen Materialeintrag ⁴ |
| <input type="checkbox"/> Durchlässe | <input type="checkbox"/> Brücken |

7. Wildholz im Gerinne

Allgemeine Situation:

- | | | |
|--|---|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> viel Wildholz vorhanden | <input type="checkbox"/> wenig Wildholz vorhanden | |
| <input type="checkbox"/> vor allem grosse Stämme | <input type="checkbox"/> eher kleinere Stämme, Äste | |
| ⇒ die Verstopfungsgefahr durch Wildholz ist | | |
| <input type="checkbox"/> gross | <input type="checkbox"/> mittelmässig | <input type="checkbox"/> gering |

b) Charakteristika der Böschungen des Hauptgerinnes1. Böschungsuntergrundlinksseitig

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Fels.....% | <input type="checkbox"/> Lockermaterial.....% |
| <input type="checkbox"/> fest.....% | <input type="checkbox"/> Moräne.....% |
| <input type="checkbox"/> veränderlich fest.....% | <input type="checkbox"/> Hangschutt.....% |
| | <input type="checkbox"/> Sturzschutt.....% |
| | <input type="checkbox"/> Bachschutt/Murschutt.....% |

rechtsseitig

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Fels.....% | <input type="checkbox"/> Lockermaterial.....% |
| <input type="checkbox"/> fest.....% | <input type="checkbox"/> Moräne.....% |
| <input type="checkbox"/> veränderlich fest.....% | <input type="checkbox"/> Hangschutt.....% |
| | <input type="checkbox"/> Sturzschutt.....% |
| | <input type="checkbox"/> Bachschutt/Murschutt.....% |

³ grosse Blöcke, Felsvorsprung

⁴ aus Böschungen, Seitengerinne, Runsen

2. Böschungsvegetation

- vollständig vorhanden teilweiser Bewuchs weitgehend vegetationslos

Zusammensetzung der Vegetation:

mehrheitlich

- Wald
 Einzelbäume
 Sträucher
 Gras

zusätzlich

- Wald
 Einzelbäume
 Sträucher
 Gras

c) Beurteilung der allg. Hangstabilität im Einzugsgebiet

- geringe Hangstabilität sehr unterschiedliche H. grosse H.

Mögliche Prozesse während eines Ereignisses:

- tiefgr. Rutschungen mittelgr. Rutschungen flachgr. Rutschungen
 Nachböschungsvorgänge Hangmurgänge

3. Spuren früherer Ereignisse

- Spuren vorhanden keine Spuren vorhanden
 Spuren von Murgängen Hochwasserspuren nicht bestimmbar
 Vermutliches Alter:
 neue Spuren wenige Jahre ca.Jahre
 Dokumentation über das betreffende Ereignis vorhanden?
 ja nicht bekannt nein
 Vermuteter Spitzenabfluss inkl. Feststoffe ca.m³/s

Weisen die betreffenden Spuren auf ein Ereignis hin, welches ...

- kleiner etwa gleich gross grösser

als das angenommene Ereignis ist, und kann es in bezug auf

- Auslösung Verlagerung Feststoffherkunft
 Ausmass andern Gründen

verglichen werden?

Bemerkungen:.....

4. Angaben zur Feststoffherkunft

(während des angenommenen Ereignisses)⁵

Voraussichtliche Feststoffherkunft:

- Gerinne.....% Böschungen.....% Runsen.....%
 Rutschungen.....% anderes.....%

Wichtige Lockermaterialakkumulationen:

- Talverfüllungen Schutthalden Gletschervorfelder
 Moränen anderes.....

5. Angaben zur Feststoffverlagerung

Entstehung von Murgängen

- möglich eher unwahrscheinlich

Fortsetzung der Murgänge bis zum Kegelhals

- möglich eher unwahrscheinlich

6. Beurteilung des Kegels

Grösse des Kegels:m³

Spuren von Murablagerungen:

- eindeutig unsicher keine

Aufgrund der Gerinne- und Verbauungsverhältnisse⁶ auf dem Kegel wird die Feststofffracht

- grösstenteils nur teilweise

zurückgehalten⁷

weitertransportiert⁸

Besteht die Gefahr des Rückstaus an einem Hindernis auf dem Kegel:

- ja nein

⁵ Eindruck aus der Felderhebung, ohne Detailsauswertung

⁶ Möglichkeiten von Gerinneverstopfungen mit anschliessendem Ausbruch usw. sind zu berücksichtigen

⁷ Durch einen Geschiebeablagerungsplatz

⁸ Durch einen Kanal

Der potentielle Schaden auf dem Kegel ist

- gross (d.h. Gefährdung von Menschenleben, Siedlung, längere Abschnitte von wichtigen Verkehrswegen)
- mittelmässig (z. B. vorwiegend Kulturland, nicht als Wohnbauten genutzte Gebäude)
- gering (d.h. vorwiegend extensiv genutzte Flächen wie Wies- und Weideland, Wald)

7. Abschliessende Beurteilung

Beurteilung der vorgängigen Berechnung des Hochwasserabflusses HQ_x^9 aufgrund der Begehung. Der abgeschätzte Spitzenabfluss ist

- realistisch zu hoch zu tief

Aufgrund der Erhebungen *im Einzugsgebiet und auf dem Kegel* ist der Wildbach

- erwiesenermassen murfähig potentiell murfähig
- nicht murfähig eventuell murfähig (= keine abschliessende Beurteilung möglich)

Mögliche Auslöseszenarien für das Ereignis:

- Gletscher / Gletschervorfeld "Hangexplosion"
- Sohlenverflüssigung
- "Durchbruch" infolge lateraler Materialzufuhr mit temporärem Rückhalt
- Hochwasser
- andere Möglichkeiten.....

Weitere Objekte, welche ein künftiges Ereignis bezüglich Auslösung und Ablauf beeinflussen könnten¹⁰:

- Forststrassen/Alpstrassen Gerinneverbauungen
- Hangverbauungen/Entwässerungen Planierungen
- Hochbauten
- andere.....

Eindruck aufgrund der Felderhebung:

Der betreffende Wildbach ist hinsichtlich des Schadenpotentials sowie bezüglich der Feststofffracht als

- äusserst gefährlich gefährlich eher weniger gefährlich¹¹

⁹ Aus den Vorarbeiten; wenn nicht anders vermerkt, in bezug auf den Kegelhals; Einschätzung aufgrund der Felderhebung

¹⁰ v.a. durch Rutschungen, welche das Gerinne erreichen

¹¹ Schadenserwartung im Bereich des Kegels gering