Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung

# TEIL E: WILDBÄCHE

Albert Böll, Hans Kienholz, Hans Romang



Val da l'Era, Valchava, GR (H. Romang, SLF)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Grundlagen und generelles Vorgehen
Teil B: Lawinen
Teil C: Sturzprozesse
Teil D: Rutschungen
Teil E: Wildbäche
Teil F: Flüsse

# Inhalt


1. Charakteristik der Prozesse 1
   - 1.1 Übersicht 1
   - 1.2 Besonderheiten 2
   - 1.3 Stand der Beurteilungsmethodik 2
2. Übersicht Schutzmassnahmen 4
3. Sperren und Sperrentreppen 7
   - 3.1 Grobbeurteilung 7
     - 3.1.1 Zielsetzung und Abgrenzung 7
     - 3.1.2 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse 7
     - 3.1.3 Grundlagen Schutzmassnahmen 8
     - 3.1.4 Gesamtkonzept 9
     - 3.1.5 Negative Wirkungen 11
     - 3.1.6 Relevanz 12
   - 3.2 Massnahmenbeurteilung 13
     - 3.2.1 Übersicht 13
     - 3.2.2 Grundlagen Prozesse 14
     - 3.2.3 Grundlagen Massnahmen 18
     - 3.2.4 Überprüfung der Tragsicherheit 19
     - 3.2.5 Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit 21
     - 3.2.6 Überprüfung der Dauerhaftigkeit 23
     - 3.2.7 Gesamtsystem 23
     - 3.2.8 Bestimmung der Zuverlässigkeit 24
   - 3.3 Wirkungsbeurteilung 24
     - 3.3.1 Massnahmenbeeinflusste Szenarien 25
     - 3.3.2 Sperren als Sohlensicherung 25
     - 3.3.3 Wildbachsperren als Hangfusssicherung 29
     - 3.3.4 Gesamtbetrachtung 30
4. Geschiebesammler und Feststoffrückhalt allgemein 31
   - 4.1 Grobbeurteilung 31
     - 4.1.1 Zielsetzung und Abgrenzung 31
     - 4.1.2 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse 31
     - 4.1.3 Grundlagen Schutzmassnahmen 32
     - 4.1.4 Gesamtkonzept 33
     - 4.1.5 Negative Wirkungen 33
     - 4.1.6 Relevanz 34

4.2 Massnahmenbeurteilung 35
4.2.1 Übersicht 35
4.2.2 Grundlagen Prozesse 36
4.2.3 Grundlagen Massnahmen 37
4.2.4 Überprüfung der Tragsicherheit 37
4.2.5 Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit 38
4.2.6 Überprüfung der Dauerhaftigkeit 39
4.2.7 Gesamtsystem 40
4.2.8 Bestimmung der Zuverlässigkeit 41
4.3 Wirkungsbeurteilung 41
4.3.1 Massnahmenbeeinflusste Szenarien 42
4.3.2 Wirkungsszenario mit hoher Zuverlässigkeit 43
4.3.3 Wirkungsszenario mit eingeschränkter Zuverlässigkeit 44
4.3.4 Wirkungsszenario mit geringer Zuverlässigkeit und negativer Wirkung 44
5. Fallbeispiel Wildbachverbauung Wilerlibach Kt. Uri 45
5.1 Grobbeurteilung 45
5.2 Massnahmenbeurteilung 48
5.3 Wirkungsbeurteilung 51
6. Beispiel Geschiebesammler Spissibach (Leissigen) 54
6.1 Grundlagen 54
6.2 Grobbeurteilung 58
6.3 Massnahmenbeurteilung 61
6.4 Wirkungsbeurteilung 61
6.5 Empfehlungen zur Umsetzung 63
7. Danksagung 63
Literatur 64

# 1. Charakteristik der Prozesse

## 1.1 Übersicht

**Definition Wildbach**

"Wildbäche sind oberirdische Gewässer mit zumindest streckenweise grossem Gefälle, rasch und stark wechselndem Abfluss und zeitweise hoher Feststoffführung.“ (DIN 19663, 1985). Diese Eigenschaften, v.a. das Gefälle, unterscheiden Wildbäche von flacheren Fliessgewässern, wie sie im Teil F von PROTECT behandelt werden.

**Einflussfaktoren**

Wildbäche werden durch zahlreiche Einflussfaktoren wie Form, Grösse und Lage des Einzugsgebiets, Witterung Geologie, Relief, Bodeneigenschaften etc. charakterisiert. Zusammen mit den zeitlich und räumlich unterschiedlich auftretenden Einzelprozessen ergibt sich eine grosse Vielfalt an möglichen Ausprägungen. Aus diesem Grund ist jeder Wildbach grundsätzlich als Individuum zu betrachten.




*Abb. 1.1: Räumlichen Gliederung eines Wildbaches am Beispiel des Val Cundeas, Samnaun, GR (Romang, 2004).*

**Räumliche Gliederung**

Wildbäche lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten gliedern. Anschaulich ist die räumliche Gliederung in Einzugsgebiet, Gerinne und Schwemmkegel (Abb. 1.1). Das Einzugsgebiet umfasst Hänge und Runsen. Runsen sind eher kleine, meist steile und nur sporadisch wasserführende Rinnen, die dem Gerinnesystem Geschiebe zuführen. Das Gerinnesystem umfasst ein Hauptgerinne mit einem oder mehreren Seitengerinnen. Der Kegelhals bildet den untersten Punkt des Einzugsgebietes. Unterhalb schliesst in den meisten Fällen ein Ablagerungsraum in Form eines Schwemmkegels an, bevor das Gerinne in einen Vorfluter mündet. Sinngemäss, wenn auch vereinfachend, entspricht diese räumliche Unterteilung der prozessorientierten Einteilung in Entstehung, Verlagerung (Transit) und Ablagerung.

## 1.2 Besonderheiten

**In Wildbächen ablaufende Prozesse**

In Wildbächen spielen Hochwasser, Geschiebe- und Schwemmholztransport, Murgänge, Gerinneerosion, Gerinneausbrüche, Oberflächenerosion und Rutschungen eine Rolle. Dies sind Prozesse, die sich in der Regel gegenseitig beeinflussen. Diese Prozessvielfalt und die gegenseitige Beeinflussung sind sowohl bei der Gefahrenbeurteilung wie auch bei der Konzeption von Schutzmassnahmen zu berücksichtigen.

**Massnahmen schützen häufig vor mehreren Prozessen**

Massnahmen haben deshalb häufig Schutz gegen mehrere Prozesse zu bieten. Zudem ist eine Massnahme oft eine notwendige Voraussetzung für eine weitere. So dient eine Wildbachsperrentreppe dem Schutz vor Gerinnerosion und kann gleichzeitig als Hangfusssicherung für einen instabilen Seitenhang wirken.

**Murgänge**

Eine Kernfrage, sozusagen ein ständiger Begleiter bei der Analyse und Beurteilung sowie bei der Konzeption und Ausführung von Schutzbauten in Wildbächen, ist die Frage der Murfähigkeit. Murgänge können nicht nur durch Niederschläge grosser Intensität (Gewitter) oder langer Dauer ausgelöst werden, sondern auch durch den Ausbruch von Gletscherseen oder aufgrund eines temporären Aufstaus im Gerinne (z.B. infolge einer Rutschung aus der Flanke). Sie können in kurzer Zeit grosse Feststoffmengen verfrachten. Bedingt durch die hohen Fliessgeschwindigkeiten und die grössere Dichte entstehen zudem Einwirkungen etwa auf Verbauungen oder auf Gebäude, die vergleichbar sind mit Lawinenlasten.

**Wahrscheinlichkeiten sind schwierig einzuschätzen**

Neben der Beurteilung der Murfähigkeit und damit verbunden der Feststoffkubaturen (Prozessintensität) ist die Angabe von Eintretenswahrscheinlichkeiten eine Voraussetzung für die Gefahrenbeurteilung. Ihre Abschätzung ist bei Geschiebe- und Schwemmholztransport und insbesondere bei Murgängen oder Rutschungen recht schwierig. Die realistische Einschätzung hängt von vielen prozess- und einzugsgebietsspezifischen Merkmalen ab, zu denen die fachlichen Grundlagen zum Teil noch sehr mangelhaft sind. Die Schwierigkeiten der Szenarienbildung und der Abgrenzung von „normalen“ zu Extremszenarien sind ohne und mit Schutzmassnahmen dieselben.

**Wirkungsgebiet von Wildbächen**

Wildbachgefahren wirken sich schliesslich meist auf dem Schwemmkegel aus, abgesehen von lokalen Schäden im Einzugsgebiet (z.B. Unterspülen von Böschungen). Sie können dabei auch das Verhalten des Vorfluters (Talfluss) beeinflussen.

## 1.3 Stand der Beurteilungsmethodik

**Entwicklung verschiedener Szenarien und Gefährdungsbilder nötig**

Die Erkenntnis, dass ein Wildbach mehr ist als die Summe seiner Teile und damit integral betrachtet werden muss, hat sich weitgehend durchgesetzt. Dabei sind ein gutes Prozessverständnis und Vorstellungsvermögen für die Entwicklung von Ablaufszenarien und Gefährdungsbildern wichtig. Im Detail beruht die Beurteilung von Wildbächen aber mehrheitlich auf Ansätzen und Modellen, welche sich (nur) mit Teilaspekten wie Abflussbildung oder Geschiebetransport beschäftigen (Abb. 1.2). Es bleibt im Wesentlichen in der Verantwortung des Gutachters, diese geeignet anzuwenden und zu kombinieren. Dabei kann er heute auf ein Methodenset verschiedenster Qualität und Aussageschärfe zurückgreifen und so die für die Gefahrenbeurteilung und mit Modifikationen bzw. mit Ergänzungen auch für die Beurteilung von Schutzmassnahmen relevanten Grössen bestimmen (Tab. 1.1). Unsicherheiten beispielsweise aufgrund lückenhafter Grundlagen, Interaktionen von Prozessen oder begrenzter Prozesskenntnisse sind dabei ständige Begleiter und der Erfahrung des Bearbeiters kommt eine grosse Bedeutung zu.

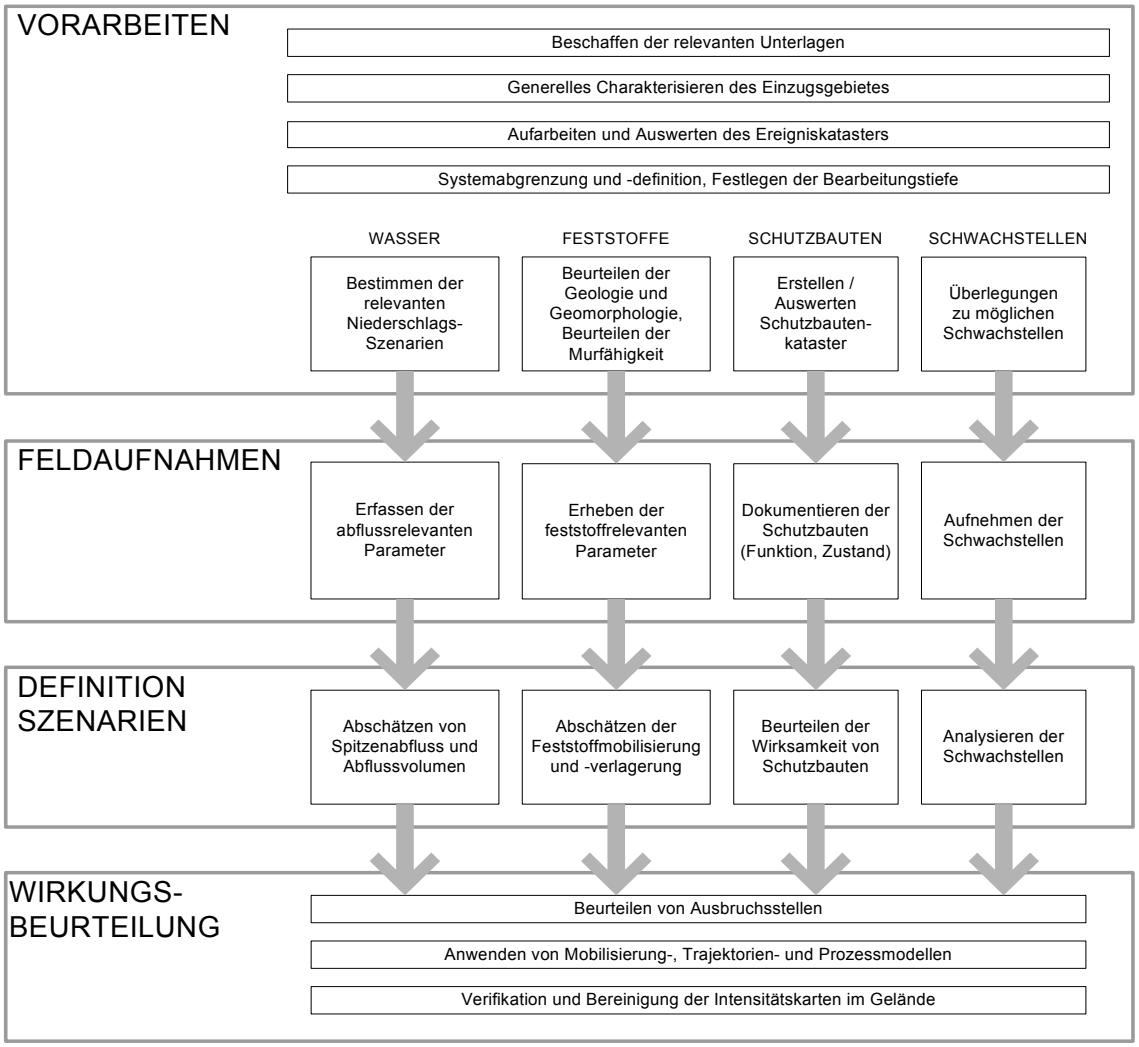



*Abb. 1.2: Schematischer Ablauf einer Wildbachbeurteilung (verändert nach Frick et al., 2008a).*

*Tab. 1.1: Wesentliche Elemente der Prozessbeurteilung in Wildbächen.*

| **Prozessbereich** | **Mögliche Methoden**<br>Für eine Methodenübersicht vgl. Romang (2004) |
|---|---|
| Hangstabilität | Ereigniskataster, geologische und geomorphologische Analyse / Kartierung, geotechnische Überlegungen zu Hangneigung und Scherwinkel, Rutschaktivität |
| Hochwasser $HQ_{(x)}$ (der Jährlichkeit x)<br>- Abflussspitze und -volumen<br>- evtl. Fliessgeschwindigkeit | Ereigniskataster, Beobachtungen im Gerinne, Schätzverfahren bspw. nach BWG (2003), Übertragung von Abflussmesswerten, Fliessgeschwindigkeit nach versch. Verfahren |
| Geschiebe, Murgänge, Schwemmholz<br>- Verlagerungsprozess<br>- Erosion und Ablagerung<br>- Fracht, Volumina<br>- evtl. Fliessgeschwindigkeit | Ereigniskataster, Geomorphologische Betrachtungen, Beobachtungen im Gerinne, Schätz- und Berechnungsverfahren wie Smart und Jäggi (1983), Rickenmann (1990, 1995, 1999), GHO (1996), Frick et al. (2008b), waldbauliche Betrachtungen (Frehner et al. 2005) |
| Ausbruch und Ablagerungen<br>- Schwachstellenanalyse<br>- Ausdehnung, Intensitäten | Ereigniskataster, Beobachtungen im Gerinne, Geomorphologische Betrachtungen, hydraulische Schätz- und Berechnungsverfahren, -d und 2-d Modellierungen |

# 2. Übersicht Schutzmassnahmen

**Massnahmen im Einzugsgebiet, im Gerinne und auf dem Schwemmkegel**

Tab. 2.1 zeigt die bei Wildbächen möglichen Schutzmassnahmen und legt fest, ob sie potenziell bei Gefahrenbeurteilungen für Gefahrenkarten berücksichtigt werden können. Diese Einschätzung ersetzt nicht die konkrete Beurteilung im Einzelfall. In der Tabelle wird zwischen Massnahmen in der Fläche des Einzugsgebietes, solchen im Gerinne und solchen auf dem Schwemmkegel unterschieden. Dabei beeinflussen die Massnahmen in der Fläche und teilweise jene im Gerinne (z.B. Sperren) die Prozesse direkt, während die Massnahmen auf dem Kegel (z.B. Geschiebesammler) und ein Teil der weiteren Massnahmen im Gerinne Schutz vor den Auswirkungen bieten. Bei vielen Massnahmen im Einzugsgebiet und im Gerinne spielt die Lage in Bezug auf das Wirkungsgebiet eine wesentliche Rolle. Dieser Punkt wird in der Tabelle nicht mehr speziell erwähnt. Zu berücksichtigen sind dabei die Distanz und die Frage der möglichen Entkoppelung der Prozesse und der lokalen Wirkung von Massnahmen z.B. durch flache Umlagerungsstrecken zwischen dem Ort der Massnahme und dem Wirkungsgebiet im Schwemmkegelbereich.

*Tab. 2.1: Übersicht über die prinzipielle Möglichkeit der Berücksichtigung der Wirkung von Massnahmen an Wildbächen bei Gefahrenbeurteilung.*

| **Massnahmen im Einzugsgebiet** | | | |
|---|---|---|---|
| Massnahme | Wirkung | Berücksichtigung bei der Gefahrenbeurteilung | Kriterien / Bemerkungen |
| Wald (Waldbau, Schutzwaldpflege) im Einzugsgebiet | Abflussreduktion, Dämpfung von Hochwasserspitzen | Nein | Relevanz für Gefahrenminderung häufig nicht nachweisbar<br>Anforderungen NAIS (Frehner et al., 2005) wichtig |
| Wald (Waldbau, Schutzwaldpflege) auf Gerinneeinhängen und Böschungen | Reduktion der Geschiebelieferung, Reduktion von flachgründigen Rutschungen und Erosion in den Hängen | Nein | Sowohl reduzierende (Erosion) als auch verschärfende Wirkung (Schwemmholz)<br>Generell Unterhalt wichtig => Anforderungen gemäss NAIS (Frehner et al., 2005) |
| Wasserableitung (Entwässerung, Drainage) | Stabilisierung von Hängen gegenüber Rutschungen und Erosion | Differenzierte Betrachtung bzgl. Reduktion der Geschiebelieferung | Ausdehnung, Relevanz des Gebietes<br>Wirkung meist nur im Verbund mit Massnahmen im Gerinne<br>Bei Rutschungen Anwendung der Kriterien gemäss Teil D „Rutschungen“ |
| Technischer Hangverbau | Wie oben | Wie oben | Wie oben |
| Ingenieurbiologie | Wie oben | Wie oben | Wie oben |
| **Massnahmen im Gerinne** | | | |
| Massnahme | Wirkung | Berücksichtigung bei der Gefahrenbeurteilung | Kriterien / Bemerkungen |
| Hochwasserrückhaltebecken | Dosierung des Abflusses, Brechen der Abflussspitze | Differenzierte Betrachtung bzgl. Reduktion des Abflusses | Setzt sehr gute hydrologische Grundlagen / Abklärungen voraus. Vorsicht speziell bei langandauernden Niederschlägen |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wildbach-sperren, Sperrentreppe | Sohlenstabilisierung, Hangfuss-sicherung, Geschieberückhalt, Energieumwandlung | Ja | Anordnung, relevante Ausdehnung, Gesamtkonzept (Vollverbau oder teilweiser Verbau mit Fixpunkten), Stabilität<br>Bauweise der Einzelsperren; Lebensdauer (werkstoffabhängig) |
| Sohlen-pflästerung | Sohlenstabilisierung | Nein, wenn oberhalb des Kegelhalses.<br>Unterhalb s. Kanal. | In steilen Wildbachgerinnen höchstens über kurze Gerinnestrecken von (sehr lokaler) Bedeutung und meistens nur in Kombination mit Wildbachsperren wirksam |
| Blockrampen | Wie oben | Wie oben | Wie oben |
| Längsverbau | Uferschutz, Hangfusssicherung, Leitung des Wassers zur Abflusssektion, Ersatz von Abflusssektionen | Differenzierte Betrachtung bzgl. Sohlenstabilisierung, Hangfusssicherung und Verminderung der Erosion | Geeignet v.a. in flacheren Gerinnen. Allgemein und speziell bei etwas steileren Verhältnissen in der Regel in Kombination mit Sohlensicherung, sonst Unterkolkungsgefahr<br>Beachten des Hangdruckes |
| Murbrecher | Initiierung Prozesswechsel, Geschieberückhalt, Energieumwandlung | Differenzierte Betrachtung bzgl. Prozesswechsel (Stoppen des Murstosses) und Verhalten bei nachfolgenden Murstössen erforderlich | Verhalten von nachfolgenden Murstössen, Ablagerungs- und Ausbruchmöglichkeiten<br>Ergänzende Massnahmen (Dämme, Ausleitungen)<br>Erosionsschutz bzw. Geschiebebewirtschaftung unterhalb |
| Geschieberückhalt am Kegelhals (halboffene Systeme) | Geschieberückhalt, Schwemmholzrückhalt | Ja | Genügend hohe Relevanz (v.a. Volumen)<br>Erosionsschutz bzw. Geschiebebewirtschaftung unterhalb beachten |
| Offener Geschieberückhalt (Dosier- / Sortiersperren), Dosierstrecken | Geschieberückhalt, Schwemmholzrückhalt und dosierte Weitergabe | Differenzierte Betrachtung bzgl. Funktionieren der Dosierung / Sortierung erforderlich | Genügend hohe Relevanz (v.a. Volumen)<br>Öffnungen im Verhältnis zum anfallenden Geschiebe bewerten<br>Erosionsschutz bzw. Geschiebebewirtschaftung unterhalb beachten |
| Holzrückhalt | Schwemmholzrückhalt | Differenzierte Betrachtung erforderlich | Interaktion Schwemmholz - Geschiebe beachten (z.B. Aufstau)<br>In der Regel nur zusammen mit einem Geschieberückhalt zu berücksichtigen |
| **Massnahmen auf dem Schwemmkegel** | | | |
| Massnahme | Wirkung | Berücksichtigung bei der Gefahrenbeurteilung | Kriterien / Bemerkungen |
| Leit- / Ablenkdämme | Umlenken Wasser- und Feststoffabfluss inkl. Murgänge | Ja | V.a. eine Frage der Geometrie (Höhe, Länge, Ablenkwinkel)<br>Vgl. Lawinendämme im Teil B |
| Schale, Kanal | Ableiten von Wasser und Geschiebe | Ja | Querschnitt(-sänderungen), Kapazität, Gefällsänderungen (im Vgl. zu oben, im Kanal selber), Möglichkeit von Ablagerungen / Verklausungen, schlagartiger Zusammenbruch der Transportkapazität beim Ablagerungen auf vorher glatter Sohle oder Aufreissen derselben<br>Vgl. Teil F „Flüsse“ |

Im Folgenden werden die Möglichkeiten und Voraussetzungen der zwei am häufigsten verwendeten Massnahmentypen vertieft behandelt, kommentiert und mit Beispielen illustriert, nämlich Sperren(-treppen) (Kap. 3) und Geschieberückhalteeinrichtungen (Kap. 4). Interaktionen, insbesondere mit instabilen Seitenhängen, werden soweit angesprochen als sie für die Einwirkungen auf diese Massnahmen massgebend sind. Sperren und Geschiebesammler sind neben gut konzipierten und ausreichend dimensionierten Schalen / Kanälen sowie Dämmen auf dem Schwemmkegel diejenigen Verbauungstypen, die bei der Erstellung von Gefahrenkarten am ehesten berücksichtigt werden können. Weitere der in Tab. 2.1 aufgeführten Massnahmen haben häufig eher ergänzenden Charakter. Sie können allerdings für die Sicherheit und Funktion von Sperrenstaffeln (z.B. Hangsicherungen) oder Geschiebesammler (z.B. Murbrecher oder Murbremsen) sehr entscheidend sein.

# 3. Sperren und Sperrentreppen

## 3.1 Grobbeurteilung

### 3.1.1 Zielsetzung und Abgrenzung

Ziel der Grobbeurteilung ist zu entscheiden, ob die Sperren für die Gefahrenbeurteilung relevant sind. Abb. 3.1 zeigt gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A) die bei Wildbachsperren massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text.

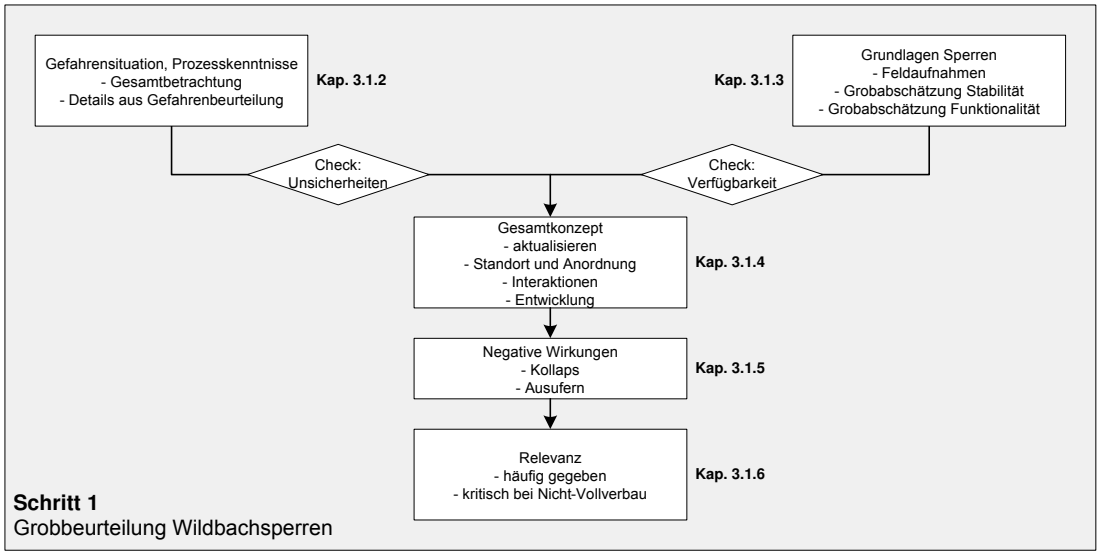



*Abb. 3.1: Arbeitsschema zur Grobbeurteilung von Wildbachsperren.*

**Zwei Fälle: Fokus Sperren oder Fokus verbauter Wildbach**

Hinsichtlich der Gefahrenbeurteilung von Wildbächen unter Einbezug von Sperren bzw. von Verbauungen allgemein können zwei Fälle unterschieden werden:

- Der Fokus der Beurteilung richtet sich explizit auf die Wirkung der Sperren (-treppe). Dies ist häufig im Zusammenhang mit Projektierungen (Unterhalt, Erneuerung, Neubau) der Fall. Hier ist die Relevanz schon von der Definition des Auftrages her gegeben. Die Grobbeurteilung dient dann vor allem dazu, sich einen Überblick über die Gesamtsituation zu verschaffen und die Grundlagen für die folgenden Schritte zu erarbeiten. Trotzdem sind die massgebenden Punkte der Grobbeurteilung kurz abzuchecken.
- Die Beurteilung des Wildbaches als Ganzes steht im Zentrum. Dies ist etwa bei Gefahrenbeurteilungen für Gefahrenkarten der Fall. Die Relevanz von allfälligen Verbauungen ist dann nicht à priori gegeben und muss überprüft werden.

### 3.1.2 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

**Relevanz häufig rasch abschätzbar**

Die Relevanz kann häufig bereits aufgrund von einfachen Informationen zur Gefahrensituation abgeschätzt werden. So lässt sich eine Sperrentreppe vielfach rasch einordnen, wenn sie im Verhältnis zum Gesamtgebiet und zu den massgebenden Prozessräumen (z.B. erosive Gerinneabschnitte, instabile Hänge) sowie mit Kennt-

nissen etwa zur Murfähigkeit oder die Grössenordnung von Abflüssen und Geschiebemobilisierung und -transport betrachtet wird.

Weil aber in der Mehrzahl der Fälle Wildbachsperren die Bedingungen der Grobbeurteilung erfüllen dürften (oder aber sehr rasch herausfallen) empfiehlt es sich, die Abklärung der Gefahrensituation in diesem Schritt nicht auf das minimal Notwendige zu beschränken. Spätere Doppelspurigkeiten können damit vermieden werden. Weiter ergibt es sich schon alleine aus dem Ablauf einer Gefahrenbeurteilung, dass in der Regel wesentlich mehr Informationen als unbedingt nötig zur Verfügung stehen (vgl. Abb. 1.2). So dürften die Feldaufnahmen meist bereits gemacht sein und erste konkrete Vorstellungen über Abflüsse, Geschiebefrachten und Szenarien vorliegen.

**Unsicherheiten sind zu beachten**

Ein besonderes Augenmerk ist in jedem Fall auf die Unsicherheiten zu legen. Möglicherweise konnte der Grundsatz 2 (vgl. Teil A) noch nicht abschliessend beantwortet werden. Deshalb müssen die Prozessinformation mindestens in einer Genauigkeit vorliegen, die es erlaubt zu beurteilen, ob die Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung grösser sind als die Auswirkungen der Massnahme auf den Prozess.

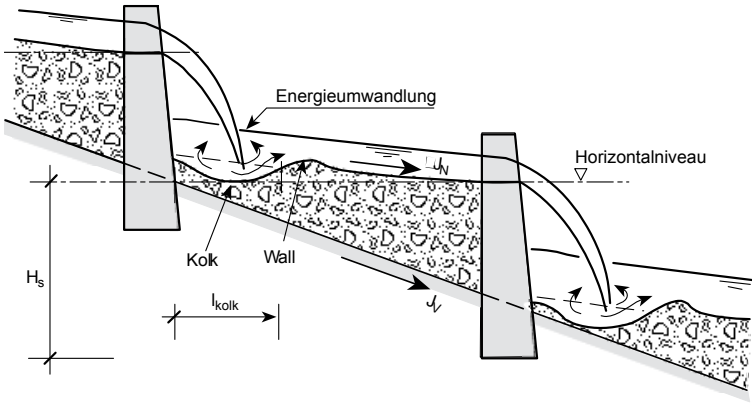
### 3.1.3 Grundlagen Schutzmassnahmen

**i.d.R. Feldaufnahmen nötig**

Zu den Schutzmassnahmen müssen vergleichsweise detaillierte Angaben vorliegen. So müssen nicht nur Lage, Anordnung (z.B. Vollverbau) und Typ der Sperren bekannt sein, sondern auch die Geometrie, die Fundationstiefe, die Baumaterialien, der Zustand sowie Hinweise auf Interaktionen von Prozessen und Bauwerken (z.B. Hinterfüllung oder Überfliessen der Sperrenflügel) sind wichtig. In aller Regel werden diese Informationen nicht nur durch ein Studium von Plänen und allfälligen weiteren Dokumenten beschafft, sondern erfordern auch Feldaufnahmen. Diese dienen dann nicht nur dem Schritt 1, sondern liefern auch die Angaben für den Schritt 2 (Massnahmenbeurteilung).

**Stabilität frühzeitig beurteilen**

Bereits früh stellt sich auch die Frage nach der Stabilität der Bauwerke und des Gesamtsystems. Zwar erfolgt deren Beurteilung (Tragsicherheit) in Schritt 2, erste Hinweise dazu sind aber schon in der Grobbeurteilung möglich und hilfreich. Zu beurteilen ist sie vor allem bei Sperrentreppen, welche die Vollverbaukriterien (Abb. 3.2) nicht erfüllen, oder bei einzelnen Sperrengruppen in einem sonst unverbauten Gerinne. Bezüglich der Stabilität solcher Beispiele liegen unterschiedliche Erfahrungen vor und es sind keine allgemein gültigen Aussagen möglich. Grundsätzlich ist jeder Fall einzeln zu beurteilen. Eine grobe Beurteilung der Sperrenzustände, der Lagerungsbedingungen (z.B. seitliche Einbindungen), des Gerinnezustandes, der Sohlenbeschaffenheit und der Geschiebetransportverhältnisse erlaubt erste Abschätzungen zur Stabilität.

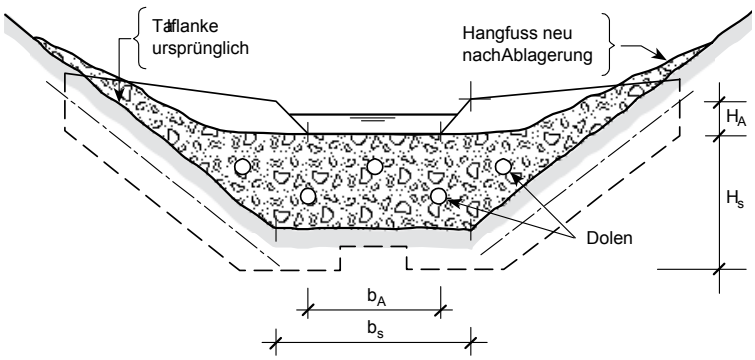



$J_N$: Grenzgefälle
$J_V$: ehemaliges Sohlgefälle
$H_S$: Sperrenkörperhöhe

*Abb. 3.2: Sperrenvollverbau: Längenprofil eines Gerinnes schematisch (Böll, 1997).*

**Sperre mit gerinnespezifischen Massen vergleichen**

Weiter erlaubt auch ein einfacher Vergleich der Sperre mit gerinnespezifischen Merkmalen eine erste Grobeinschätzung. So hängen etwa die Abmessungen von Wildbachsperren-Abflusssektionen (Abb. 3.3) vom Gerinnequerprofil ab (Böll et al. 1999). Vergleiche zwischen den Abmessungen an vorhandenen Sperren (gegeben) oder an projektierten Werken (mögliche Maximalwerte) mit den geschätzten massgebenden Werten (Abfluss, Geschiebe, Murgang) sagen aus, ob ein System grundsätzlich funktionieren kann.




$b_A$: Abflusssektionsbreite
$b_S$: Sohlenbreite
$H_S$: Sperrenkörperhöhe
$H_A$: Abflusssektionshöhe

*Abb. 3.3: Hangfusssicherung durch Wildbachsperre schematisch (Böll, 1997).*

**Unterhalt, Alterung, Lebensdauer**

Besonders zu beachten ist schliesslich der Grundsatz der permanenten Verfügbarkeit (Grundsatz 5, vgl. Teil A). Dieser lässt sich im Voraus ohne genauere Kenntnisse der Werke nicht immer schlüssig beantworten. Wesentliche Aspekte sind hier neben dem Unterhalt die Alterung und die Lebensdauer.

### 3.1.4 Gesamtkonzept

Wildbach-Schutzmassnahmen sind in ein Gesamtkonzept eingebunden. Ihre Relevanz ergibt sich nicht zuletzt aus ihrer Stellung innerhalb dieses Konzepts. Sofern dieses bei bestehenden Verbauungen nicht dokumentiert ist, lässt es sich meistens relativ leicht aufgrund von Gefahrensituation, Prozesskenntnissen, Massnahmen und deren Standorten bestimmen (Abb. 3.4).

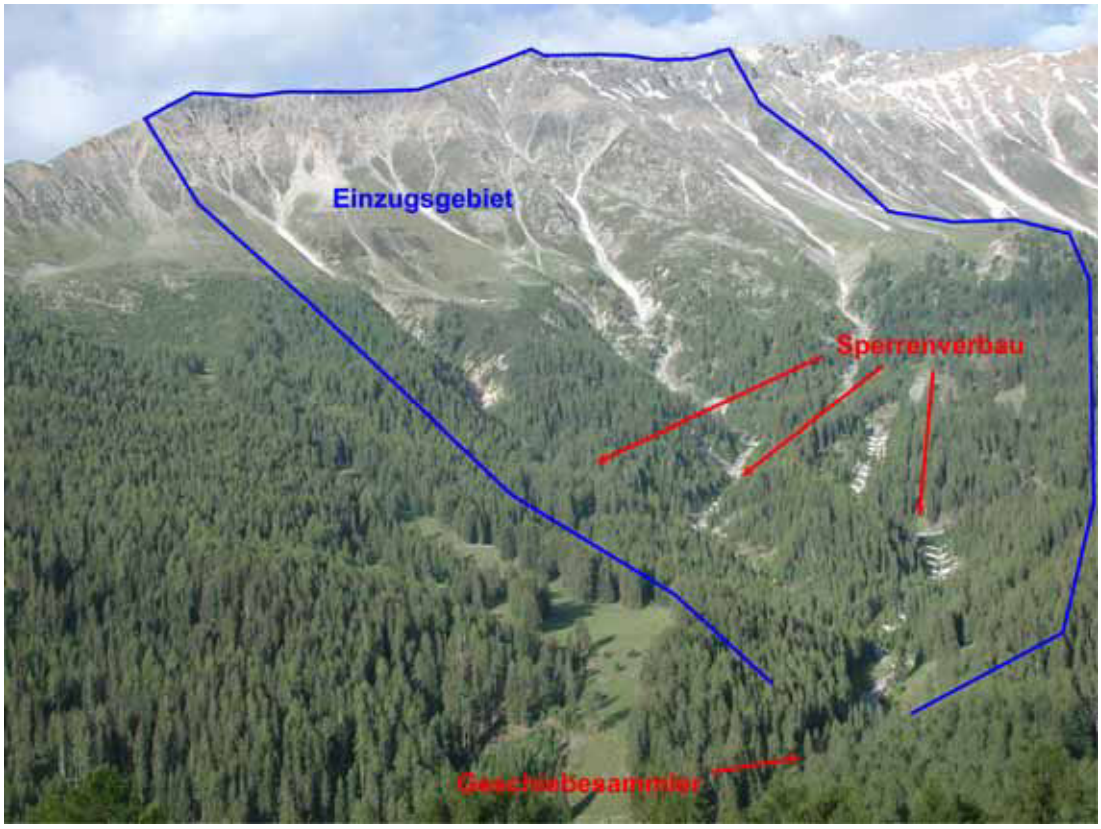



*Abb. 3.4: Die Gegenhangbetrachtung eignet sich sehr gut für einen Überblick über die Gefahrensituation einerseits und für das Verständnis des Gesamtkonzeptes andererseits.*

**Gesamtkonzept bei älteren Verbauungen überprüfen**

Ein vorhandenes Gesamtkonzept ist insbesondere bei älteren Verbauungen anhand der aktuellen Verhältnisse zu überprüfen. Dabei sind folgende Punkte massgebend:

- Als Prozessraum ist das ganze Einzugsgebiet zu betrachten. So genügt es bei einem mit Wildbachsperren verbauten Gerinneabschnitt nicht, nur den oberhalb davon gelegenen Bereich zu untersuchen. Es ist durchaus möglich, dass aus diesem Bereich nur noch unwesentliche Geschiebefrachten resultieren, dass aber unterhalb davon grosse Geschiebemengen bereit stehen.
- Die Verbauziele wie Verminderung von Geschiebe- und Schwemmholzeintrag, Verminderung der Transportkapazität, Geschiebe- und Schwemmholzrückhalt, Verhinderung von Murgängen, Hochwasserschutz oder Hangfusssicherung an Rutschhängen müssen bekannt sein. Falls sie fehlen, lassen sie sich meist anhand des Gesamtkonzeptes rekonstruieren bzw. aktualisieren.
- Zukünftige Entwicklungen etwa der naturräumlichen Bedingungen oder der Verbauungen sind abzuschätzen.
- Die Standorte der Massnahmen spielen im Gesamtkonzept eine wichtige Rolle. Sie geben Hinweise auf die Verbauziele, die möglichen Wirkungen und das Prozessgeschehen sowohl im verbauten als auch im unverbauten Bereich.
- Zu betrachten sind die vielfältigen Interaktionen beispielsweise zwischen den Massnahmen und den massgebenden Prozessen (z.B. Geschieberückhalt in einer Sperrentreppe, Einstoss von Material durch Lawinen oder Rutschungen), zwischen den Massnahmen unter sich (z.B. Sohlenerosion zwischen

Sperren) und Interaktionen mit Massnahmen ausserhalb des Gerinnes (z.B. Stabilisierungsmassnahmen in Seitenhängen und Runsen).

- Da Wildbachsperren meistens auch der Hangfusssicherung dienen, ist zu prüfen, ob sie für sich allein zur Hangstabilisierung genügen. Falls das Gesamtkonzept auch Hangstabilisierungs-Massnahmen umfasst (Ausdehnung flächenhaft) ist die Überprüfung im Rahmen der Grobbeurteilung recht einfach. Andernfalls sollten bereits hier erste Überlegungen zur Stabilität der betreffenden Einhänge bzw. Seitenrunsen (insbesondere Geschiebe- und Schwemmholzeintrag) gemacht werden. Bei einer massgeblichen Interaktion von Sperren und Rutschungen ist meist eine geotechnische Analyse notwendig.

Falls sich bei der Beurteilung des Gesamtkonzeptes aus Anordnung und Ausdehnung der Massnahmen keine Mängel zeigen bzw. sich keine Bedürfnisse nach weiteren Massnahmen ergeben, darf angenommen werden, dass die Werke die Anforderungen in erster Näherung (Grobbeurteilung) erfüllen. Es ist aber zu berücksichtigen, dass sich aus der Art der Anordnung auch Probleme ergeben können (z.B. Gerinneabschnitte unterhalb von Sperrentreppen

### 3.1.5 Negative Wirkungen

**Verstärkung der Gefährdung im Wirkungsbereich**

Unter negativen Wirkungen werden hier solche verstanden, die die Gefährdung im Wirkungsbereich erhöhen. Negative Wirkungen bezüglich lokaler Bedingungen (z.B. Unterspülung eines Sperrenfundamentes) werden erst im Rahmen der Massnahmenbeurteilung (Schritt 2) erfasst.

**Überwachung, Unterhalt und Erneuerung notwendig**

Weil hinter Wildbachsperren (Konsolidierungssperren) Geschiebe zurückgehalten wird, besteht grundsätzlich die Gefahr, dass beim Versagen solcher Systeme grosse Geschiebemengen schwallartig zum Abfluss kommen. Aus der Praxis sind Extremereignisse bekannt, bei denen Staffeln von Wildbachsperren kollabierten. Obwohl die manchmal pauschal geäusserte Aussage, Wildbachverbauungen seien Zeitbomben, eher skeptisch beurteilt wird, ist bei Sperren grundsätzliche Vorsicht angebracht. Auch bei heute guten Verbauungen verändert sich die Situation mit der Zeit. Damit auch in Zukunft die Gefahren einer kontraproduktiven Wirkung gering sind, muss eine systematische Überwachung, ein konsequenter Unterhalt und eine rechtzeitige Erneuerung gewährleistet sein (Böll, 2003).

**Massnahmen ohne Schutzwirkung sind auf negative Folgen zu prüfen**

Sperren und Sperrentreppen, bei welchen bereits in der Grobbeurteilung keine Schutzwirkung erwartet wird, sind unbedingt bezüglich möglicher negativer Folgen zu prüfen. Diese dürften v.a. dann bedeutend werden, wenn die Sperrentreppe aufgrund eines schlechten Zustandes als nicht relevant erachtet wird, trotzdem aber noch ein erhebliches Geschiebepotenzial (Gerinne und Böschungen) zurückhält. Falls Zweifel bezüglich dem Tragverhalten bestehen, sind Untersuchungen erforderlich, die den Rahmen einer Grobbeurteilung sprengen. Sie folgen in der Massnahmenbeurteilung.

Weitere mögliche negative Wirkungen von Sperrentreppen können sich bei weiten Gerinne-Querprofilen durch das Anheben der Gerinnesohle ergeben. Die Folge sind Gerinneausbrüche, deren Auswirkungen entsprechend der Topographie zu beurteilen sind.

### 3.1.6 Relevanz

**Werke mit üblichen Standards erfüllen i.d.R. ihre Aufgaben**

Die Erfahrungen mit Wildbachsperren sind reichhaltig. Sie beruhen sowohl auf erfolgreichen Beispielen als auch auf Schadenfällen. Im Allgemeinen kann heute vorausgesetzt werden, dass nach den üblichen Kriterien angeordnete Werke bei systematischer Überwachung und konsequentem Unterhalt ihre Aufgaben während ihrer vorgesehenen Lebensdauer erfüllen. In der Praxis dürften viele Fälle diesen Vorgaben einigermassen nahe kommen, so dass das Abbruchkriterium bei der Grobbeurteilung (Schritt 1) wohl nicht allzu oft zur Anwendung kommt. Dies umso mehr, als dass auch bei Zweifeln die Fortsetzung mit Schritt 2 empfohlen wird.

Die Relevanz von Sperrentreppen, welche die Vollverbaukriterien nicht erfüllen, kann eingeschränkt sein. Genauer zu beurteilen sind insbesondere Sperren in Gerinnen, welche aufgrund ihrer Geometrie einen Vollverbau zulassen würden. In steilen (Runsen-) Gerinnen lässt hingegen die Geometrie einen Vollverbau nicht immer zu. Falls solche Gerinne gefährliche Geschiebelieferanten sind, werden sie häufig mit kombinierten technisch-ingenieurbiologischen Methoden stabilisiert (Abb. 3.5). Dabei bilden sohlenstabilisierende (Einzel-) Sperren die notwendige Voraussetzung. Deshalb ist hier speziell die Gesamtwirkung des Systems im Rahmen des Gesamtkonzeptes zu beurteilen.



*Abb. 3.5: Buochserrübi NW. Runsenkessel stabilisiert mit kombinierten technisch- biologischen Massnahmen. Im steilen Runsengerinne waren ursprünglich nur einzelne Sperren aus Blocksteinen vorhanden. Das Unwetter im August 1981 führte zu Sohlenabsenkungen zwischen den Sperren, Rutschungen in den seitlichen Hängen und erheblichen Schäden im Siedlungstraum von Buochs. 1983 wurde ein durchgehender Sperrenvollverbau (vorwiegend Stahlbetonsperren) angeordnet, der sich inzwischen sehr gut bewährt hat.*

Lokal angeordneten Sperrengruppen in sonst unverbauten Gerinnen kommt eine grosse Gesamtbedeutung zu, wenn sie beispielsweise als Hangfusssicherung für Rutschflächen oder Seitenrunsen dienen. Da ihre Erstellung recht aufwendig ist, handelt es sich meistens um Rutschflächen oder Runsen von erheblicher Bedeutung für die Geschiebe- oder Schwemmholzlieferung und damit für die Feststoff-

transport-Bilanz in einem Einzugsgebiet (Abb. 3.5). Sie sind in jedem Fall genauer abzuklären. Relevanz darf meist angenommen werden.

**Irrelevante Verbauungen**

In der Regel nicht relevant sind Einzelwerke oder kleine Sperrengruppen mit ausgesprochen lokaler Wirkung ohne nennenswerten Effekt auf erhebliche Feststoffpotenziale.

Bei der Beurteilung der Relevanz sind auch Abklärungen über die weitere Entwicklung der Verbauung und über allenfalls zusätzlich vorgesehene Massnahmen zu treffen. Stabilisierungsarbeiten in Wildbacheinzugsgebieten sind allgemein sehr aufwendig und ihre Erstellung dauert entsprechend lange. Unter Umständen hat sich die Bauherrschaft zusätzliche Massnahmen vorbehalten, die noch nicht im Detail geplant bzw. im Gesamtkonzept enthalten sind.

## 3.2 Massnahmenbeurteilung

### 3.2.1 Übersicht

**Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bestimmen Zuverlässigkeit**

Bei der Massnahmenbeurteilung wird die Zuverlässigkeit der Sperren und des Gesamtsystems (z.B. Sperrentreppe) aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit (Funktionstüchtigkeit) und Dauerhaftigkeit bestimmt (Tab. 3.1). Dabei werden die bauwerksspezifischen Eigenschaften mit den prozessgesteuerten Einwirkungen verglichen. Abb. 3.6 zeigt, gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A), die bei Wildbachsperren massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text.

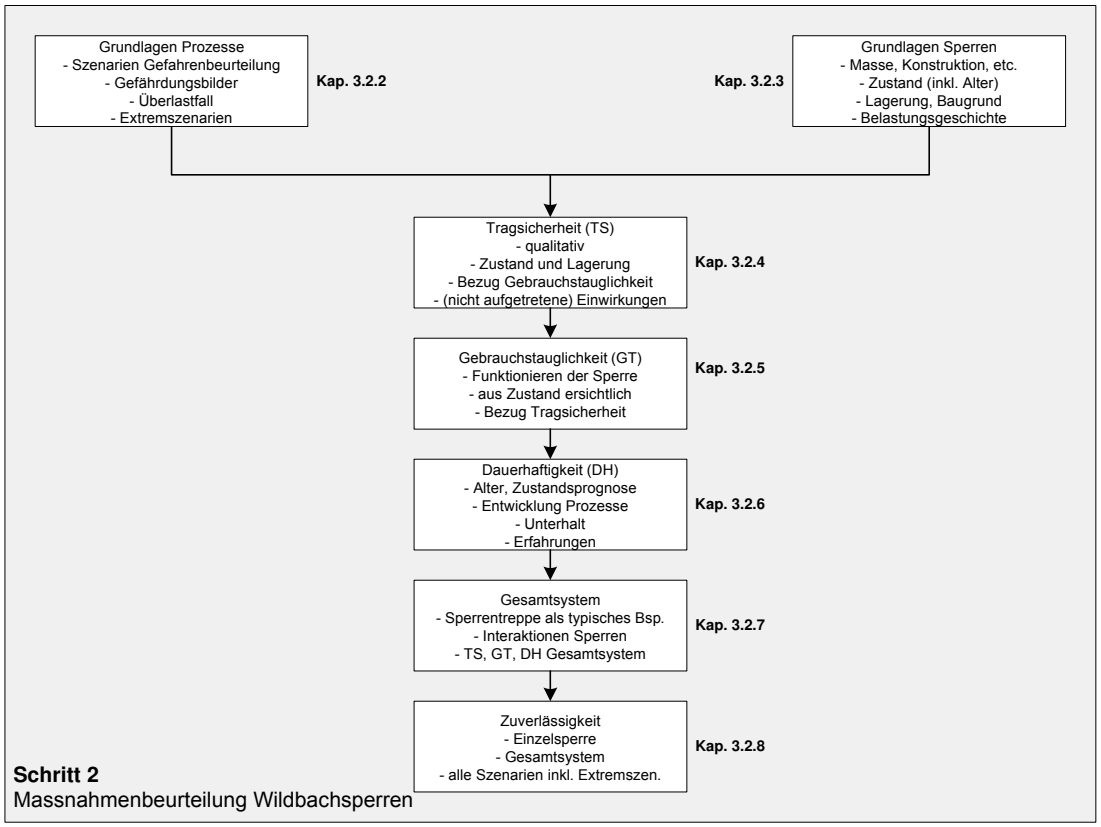



*Abb. 3.6: Arbeitsschema zur Massnahmenbeurteilung von Wildbachsperren.*

*Tab. 3.1: Übersicht über die Beurteilung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Wildbachsperren.*

| **Grundlagen** | **Zu beurteilen (i.d.R. qualitativ)** | **Bedeutung** |
|---|---|---|
| Tragsicherheit | - Tragwiderstand der Sperrenquerschnitte<br>- Stabilität der einzelnen Sperren<br>- Stabilität des Gesamtsystems | Bauwerksspezifische Eigenschaften für den Vergleich mit den prozessgesteuerten Einwirkungen. Beurteilen eines möglichen Versagens |
| Gebrauchstauglichkeit | - Funktion der einzelnen Sperren und des Gesamtsystems<br>- Sohlenlage unterhalb der Verbauung<br>- Durchbiegungen<br>- Risse | Funktionalität der Bauwerke in Bezug auf die sich im Gerinne und dessen Umgebung abspielenden Prozesse. Funktionalität im Vergleich mit den Anforderungen gemäss Schutzkonzept |
| Dauerhaftigkeit | - Langfristige Gewährleistung der Tragsicherheit unter Berücksichtigung der Interaktionen mit der Gebrauchstauglichkeit<br>- Lebensdauer | Eignung bezüglich der zeitlichen Kriterien und Vorgaben |

### 3.2.2 Grundlagen Prozesse

**Relevante Gefährdungsbilder**

Die allgemeinen Grundlagen (z.B. Abfluss und Geschiebe) aus der Grobbeurteilung sind zu ergänzen. Dabei geht es nicht nur um Prozesse, welche für die Gefahrenkarte relevant sind sondern auch um lokale Gefahren (z.B. Umfliessen von Sperren). Die relevanten Einwirkungen werden in Gefährdungsbildern für die Schutzmassnahmen zusammengefasst (Tab. 3.2). Sie lassen sich aus den Ergebnissen der Prozessbeurteilung (z.B. Beurteilung von Geschiebe- und Murgangfrachten oder von Hangprozessen) und den Eigenschaften der Verbauung (z.B. Sperrentyp, Anordnung) herleiten.

*Tab. 3.2: Prozesse und Gefährdungsbilder bzw. Einwirkungen.*

| **Prozess** | **Gefährdungsbilder / Einwirkungen** |
|---|---|
| Hochwasser $HQ_x$ der Jährlichkeit x | - Unterspülen der Sperre, Sperrenkolk<br>- Unterspülen / Erosion der seitlichen Einbindungen, Instabilität der Auflager<br>- Fliessgeschwindigkeit, Schleppspannung, Abflusstiefe<br>- Erosion der seitlichen Einbindungen / Instabilität der Auflager durch Überströmen der Sperrenflügel wegen ungenügender Kapazität der Abflusssektion<br>- Umfliessen der Sperre verbunden mit starker Erosion wegen ungenügender Kapazität der Abflusssektion<br>- Hydraulischer Grundbruch |
| Geschiebe- und Schwemmholztransport | - Stoss auf Sperre<br>- Sohlenlagenveränderungen (Erosion, Ablagerungen), z.B. Auflandungen und Verbreiterungen bspw. mit der Folge des Mäandrierens oder Absenkungen mit der Folge von Setzungen<br>- Erosion der seitlichen Einbindungen / Instabilität der Auflager durch Überströmen der Sperrenflügel wegen Ablagerungen und Einschränkung der Abflusskapazität (insbes. der Abflusssektion)<br>- Umfliessen der Sperre verbunden mit starker Erosion wegen Ablagerungen und Einschränkung der Abflusskapazität<br>- steile Hinterfüllungen mit erhöhtem Erddruck<br>- Vegetation im Gerinne |
| Murgänge | - Stoss auf Sperrenkörper / Sperrenflügel<br>- Übrige s. oben |

| | |
|---|---|
| Rutschungen in den Seitenhängen | - Überdeckung von Sperren mit Einschränkung der Abflusskapazität<br>- Beanspruchung der Sperren durch Hangbewegungen |
| Steinschlag | - Stoss auf Sperrenkörper / Sperrenflügel<br>- Überdeckung von Sperren mit Einschränkung der Abflusskapazität |
| Alterung | - Verlust der Materialfestigkeit |

**In Szenarien unterschiedliche Intensitäten betrachten**

Selbst wenn viele dieser Gefährdungsbilder nur qualitativ oder semi-quantitativ behandelt werden, muss doch darauf geachtet werden, auch verschiedene Szenarien im Sinne unterschiedlich starker Einwirkungen zu betrachten. Dies gilt insbesondere für die eigentlichen Gerinneprozesse Abfluss, Feststoffe und Murgänge. Diese sollen mindestens in einem Bereich entsprechend den für die Gefahrenbeurteilung relevanten Szenarien variiert werden. Zusätzlich sind immer Extremszenarien zu beurteilen.

**I. d. R. Detailuntersuchungen im Gelände erforderlich**

Bei bestehenden Verbauungen sind zur Bestimmung der Gefährdungsbilder und der Einwirkungen in der Regel Detailuntersuchungen im Gelände erforderlich. Bei geplanten Verbauungen sind die Annahmen, welche bei der Projektierung gemacht wurden zu überprüfen bzw. zu verifizieren. Die Untersuchungen bilden die Grundlage, um die kritischen Bedingungen für die Werke bei den zu erwartenden zeitabhängigen Prozessen und Prozesskombinationen durchzudenken und darzustellen.

Bei der Beurteilung von Sperrentreppen sind sowohl die einzelnen Sperren als auch die Sperren im Verband zu beurteilen:

**Bei einzelnen Sperren steht qualitative Beurteilung im Vordergrund**

- In Bezug auf die einzelnen Sperren stehen qualitative und punktuell-quantitative Beurteilungen und Einschätzungen im Vordergrund. Es geht dabei um Faktoren, welche die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit oder die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können (vgl. Kap. 3.2.4 ff).

**Bei Verbausystem stehen quantitative Grundlagen im Vordergrund**

- In Bezug auf Verbausysteme in Wildbächen stehen quantitative Grundlagen im Vordergrund (vgl. Tab. 1.1). In der Praxis beziehen sich diese quantitativen Angaben in der Regel auf die Szenarien der Gefahrenbeurteilung inklusive Extremereignisse. Es ist jedoch zu beachten, dass für das Verhalten von Verbaumassnahmen auch kleinere und kontinuierliche Ereignisse relevant sein können. So können durch kontinuierliches Einschottern von Sperrentreppen die Abflusskapazitäten derart eingeschränkt sein, dass sie im entscheidenden Moment nicht mehr genügen.

### Bemessungsereignis und Überlastfall

**Bis ca. 1980 wurden Wildbachverbauungen auf 100jährliches Ereignis bemessen**

Wildbachverbauungen wurden in der Regel auf ein 100-jährliches Ereignis (oder auf das grösste bisher beobachtete Ereignis) ausgelegt (Bemessungsereignis). Bis etwa in die 1980-er Jahre wurde dies als eine recht strenge Bedingung betrachtet. Strenge Bedingungen rechtfertigen sich dadurch, dass die Sperren beim Überströmen stark gefährdet sind (Abtrag der unterwasserseitigen Böschungen, Abb. 3.7) und kollabieren können, unter Umständen verbunden mit schwerwiegenden Folgen (Versagen für die ganze Sperrentreppe).



*Abb. 3.7: 60-jährige Rundholzsperre bei Hirzel ZH. Die Sperrentreppe musste erneuert werden und einzelne Sperren wurden bezüglich der Holzfestigkeit untersucht (Noetzli et al., 2002). Die Rundholzlagen sind seitlich in die Flanken eingebunden und tragen somit von Flanke zu Flanke. Sofern die Flanken abrutschen, kollabiert eine solche Sperre. Das gleiche gilt sinngemäss auch für Stahlbetonsperren, welche als Balken oder Platten von Flanke zu Flanke tragen.*

**Geschiebe- und Schwemmholztransport sowie Murgänge einbeziehen**

Verschiedene Schadenereignisse haben gezeigt, dass ein Bemessungsereignis, welches auf dem 100-jährlichen Hochwasserabfluss beruht, nur dann eine ausreichende Sicherheit bietet (bzw. einem „wirklichen" 100-jährlichen Ereignis entspricht), wenn die Verhältnisse bezüglich Geschiebe- und Schwemmholztransport sowie Murgängen und allenfalls weiteren Einwirkungen korrekt berücksichtigt wurden. In diesem Sinne sind vor allem bestehende Verbauungen kritisch zu prüfen und bei projektierten Verbauungen sind die Projektannahmen zu verifizieren. Bei letzteren ist zudem zwischen Bau- und Gebrauchszuständen zu unterscheiden; beispielsweise für Murgangstösse oder Steinschlag auf Sperrenkörper bei nicht hinterfüllten Sperren (Abb. 3.8) oder Sperrenflügel (hinterfüllte Sperren).

**Überlastfall entspricht oft nicht berücksichtigten Gefährdungsbildern**

Mögliche Überlastfälle ergeben sich vor allem aus den bei der Bemessung nicht berücksichtigten Gefährdungsbildern. Auf keinen Fall darf der Überlastfall automatisch mit Extremszenario im Sinne von äusserst selten gleichgesetzt werden (s. folgenden Abschnitt). Einwirkungen wie Murgangstoss, steile Sperrenhinterfüllung, Steinschlag oder Rutschung mit Überschüttung der Sperren sowie Sohlenabsenkung mit Freilegung von Fundamenten (Abb. 3.9) können sich durchaus in einem Bereich der Eintretenswahrscheinlichkeiten befinden, welche für die Gefahrenbeurteilung relevant sind. Sie sind deshalb entsprechend zu prüfen und in der Szenarienbildung zu berücksichtigen.

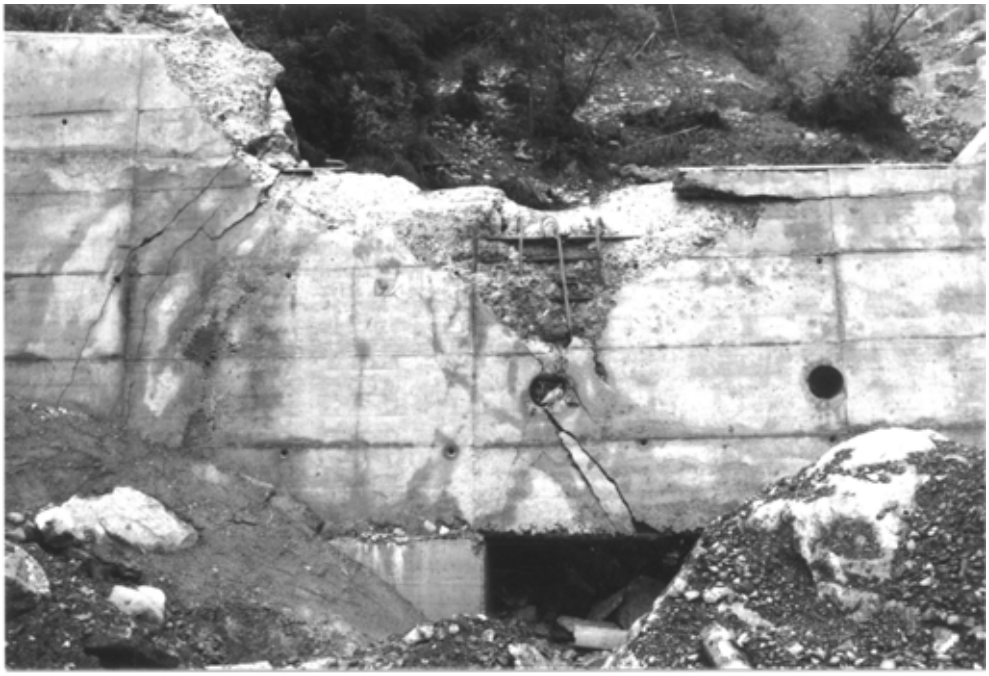


*Abb. 3.8: Wildbachsperre aus Stahlbeton welche im noch nicht hinterfüllten Zustand durch Blockschlag beschädigt wurde. Die Tragsicherheit ist nicht mehr gewährleistet. Die Sperre war dann allerdings noch einige Jahre im Betrieb, bis sie durch Vorbetonieren saniert werden konnte (Aufnahme W. Gerber 1985).*



*Abb. 3.9: Gerade Wildbachsperre aus (Stahl?-) Beton. Nicht nach den Regeln des Vollverbaus angeordnet. Nach einem Hochwasserabfluss hat sich die Gerinnesohle vor der Sperre auf das Grenzgefälle (wenige Prozent) abgesenkt. Dadurch wurde das Sperrenfundament freigelegt.*

**Unsicherheiten bei 300jährlichem Ereignis oft gross**

Für die Gefahrenbeurteilung ist auch das 300-jährliche Ereignis zu beurteilen, welches streng genommen eine Überlastung einer nach obiger Regel bemessenen Sperre darstellt. Im Allgemeinen dürften speziell bei bestehenden Werken die Unsicherheiten sowohl bei der Prozess- als auch bei der Massnahmenbeurteilung zu gross sein, um diese Feinheit berücksichtigen zu können. Die Auswirkungen des 300-jährlichen Ereignisses können deshalb eher ausgehend vom „100-jährlichen Bemessungsereignis“ durch eine Wahl von ungünstigeren Faktoren / Bedingungen abgeschätzt werden.

### Extremszenarien

**Extremszenario übertrifft deutlich Bemessungsszenario**

Die Analyse von Extremereignissen gehört bei der Beurteilung nach PROTECT dazu. Dabei können unter dem Begriff Extremereignis „unerwartete“ respektive „unwahrscheinliche“ Situationen zusammengefasst werden, wozu auch die Kombination verschiedener Ereignisse gehört. Die Wahrscheinlichkeit unterscheidet sie von den Überlastfällen. Jedes Extremszenario übertrifft das Bemessungsereignis deutlich und führt zu einer Überlastung der Massnahmen bzw. der Systeme. Hingegen ist nicht jeder Überlastfall ein Extremszenario.

## 3.2.3 Grundlagen Massnahmen

**Details bei neuen Bauwerken in Projektunterlagen**

Grundlagen für die Beurteilung sind möglichst genaue Angaben über Bauwerksabmessungen, statische Systeme, Werkstoffe, konstruktive Details (z.B. Abflusssektionen, Leitwerke, Bewehrung), vorhandene oder zu erwartende Schäden, Baugrundverhältnisse und Belastungsgeschichte. Bei neueren und projektierten Wildbachverbauungen können diese Angaben meistens aus den Projektunterlagen entnommen werden. Bei vielen bestehenden, insbesondere älteren Verbauungen sind sie meistens nur spärlich oder gar nicht vorhanden und müssen im Feld erhoben werden.

### Zustand der Tragwerke

**Zustandsbetrachtung einzelner Sperren und des Gesamtsystems**

Bei bestehenden Sperren ist der Zustand der Werke eine wichtige Grundlage. Benötigt werden der aktuelle Zustand sowohl der einzelnen Werke als auch des Gesamtsystems Sperrentreppe. Dabei werden insbesondere die Veränderungen und Schäden aufgezeigt, die auf eine erhöhte Gefährdung des Bauwerkes hinweisen können. Es ist zu beachten, dass nicht nur die Bauwerke selbst, sondern auch ihr Umfeld (z.B. Ereignisspuren) einbezogen werden. Wichtig ist ein systematisches Vorgehen, das heisst eine Begutachtung aller relevanten Punkte nach einem gewissen Schlüssel. Empfehlenswert sind dafür beispielsweise bauwerkspezifische Formulare (Romang, 2004; AfW, 2006). Die Zustandserfassung wird primär direkt am Objekt im Feld durchgeführt. Je nach Fragestellung, insbesondere im Hinblick auf genauere Untersuchungen (Zustandsbewertung) kann diese Erhebung durch ein Studium der Bauwerksakten (z.B. Konstruktion, Bauwerksgeschichte, Gutachten, etc.) ergänzt werden.

Neben dem Alter (vgl. Kap. 3.2.6) hängt der Zustand speziell vom Massnahmentyp, von den Lagerungsbedingungen (z.B. Einbindungen, Fundierungstiefe) und von den Einwirkungen bzw. von der Belastungsgeschichte ab.

**Einfacher Zustandstest für Holzkonstruktionen**

- Während z.B. der Zustand 30-jähriger Stahlbetonsperren, die keine grösseren Risse und Verschiebungen aufweisen, im Allgemeinen als gut bezeichnet werden kann, sind die Verhältnisse bei gleichaltrigen Holzkonstruktionen unter Umständen bereits uneinheitlich. Sie können jedoch mit Hilfe eines einfachen Verfahrens abgeschätzt werden: Von der WSL wird der Holzzustand mit Hilfe eines 3-er Schraubenziehers geprüft. Dieser wird von Hand mit „normaler

voller Kraft“ gegen den Holzkörper gedrückt und die Eindringtiefe wird gemessen. Eindringtiefen zwischen 1 mm und 2 mm repräsentieren einen guten Zustand, solche von mehr als 2 mm bis 10 mm einen mittleren und solche von mehr als 10 mm einen schlechten. Am Beispiel der Holzkonstruktionen wird das Problem der Alterung besonders deutlich. Aus baustatischer Sicht weisen die Sperren anfänglich eine hohe Tragsicherheit auf und sind überdimensioniert (Zeller & Röthlisberger 1987, Böll et al., 1999). Im Laufe der Zeit nimmt die werkstoffbedingte Sicherheit ab und wird schliesslich kritisch.

**Lagerungsbedingungen für Tragverhalten massgebend**

- Die Lagerungsbedingungen sind in der Praxis häufig für das Tragverhalten von Wildbachsperren massgebend. So sind Fälle bekannt, wo neuere Stahlbetonsperren (trotz hoher werkstoffbedingter Sicherheit) versagten, weil die Böschungen im Bereich der seitlichen Einbindungen abrutschten.

**Massgebende Einwirkungen oft erst nach einigen Jahren**

- Bei bestehenden Verbauungen ist abzuklären, ob sich die relevanten Gefährdungsbilder bzw. die massgebenden Einwirkungen bereits eingestellt haben. So ist bei Sperrentreppen häufig erst nach einem extremen Hochwasserabfluss mit Sohlenabsenkungen und Rutschungen aus den Böschungen zu rechnen. In murganggefährdeten Gerinnen kann es unter Umständen viele Jahre dauern, bis die massgebenden Einwirkungen auftreten. Die Belastungsgeschichte kann zudem wertvolle Hinweise zur Tragsicherheit liefern: Aus dem Vergleich der Zustände vor und nach einem bedeutenden Ereignis kann oft auf die Einwirkungen geschlossen werden. So kann bei Sperren in Runsengerinnen, welche vor dem Ereignis steil hinterfüllt waren und es danach nicht mehr sind, angenommen werden, dass sie auch in Zukunft Einwirkungen aus steiler Hinterfüllung aufnehmen können (guter Zustand vorausgesetzt).

**Nur sichtbare Bauteile beurteilbar**

Grundsätzlich kann nur aufgenommen und beurteilt werden, was sichtbar ist. Verdeckte Bauteile entziehen sich der Zustandsaufnahme und Kontrolle. So sind bei Stahlbetonsperren mit fehlenden Projektunterlagen keine Aussagen zur Bewehrung möglich. Auch werden die Lagerungsbedingungen im Bereich der Gerinnesohle zur Bemessung nicht immer einheitlich angenommen. Bei grossen Spannweiten wird manchmal für die Plattentheorie (gemäss ASF, 1973) eine Einbindung über die Teile der Sohle angenommen. Falls sich die massgebende Einwirkung bzw. die relevanten Gefährdungsbilder noch nie eingestellt haben, erschweren derartige Aspekte die Aussagen zur Tragsicherheit beträchtlich. In solchen Fällen können Erfahrungen und Vergleiche mit ähnlichen Sperren in vergleichbaren Gerinnen hilfreich sein.

### 3.2.4 Überprüfung der Tragsicherheit

**Gesamtstabilität bei Einwirkungen gewährleisten**

Die Tragsicherheit ist die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile sowie eines Systems einander zugeordneter Schutzbauwerke, die Gesamtstabilität für die anzunehmenden Einwirkungen sowie ausreichende Tragwiderstände zu gewährleisten.

**Bei neueren und projektierten Bauwerken Tragwiderstand i.d.R. bekannt**

Bei neueren und projektierten Verbauungen ist der Tragwiderstand in der Regel bekannt (Beton- und Stahlbetonsperren) oder kann verhältnismässig leicht abgeschätzt werden (Rundholzsperren, Holzkasten- und Drahtsteinkorbwerke). In solchen Fällen ist lediglich noch ein Vergleich der angenommenen Einwirkungen mit den zu erwartenden Gefährdungsbildern erforderlich und die zukünftige Entwicklung der Tragsicherheit ist zu prognostizieren (Alterung, veränderte Lagerungsbedingungen). Dieses Vorgehen entspricht einer pauschalen Beurteilung.

**Bei älteren Sperren i.d.R. qualitativer Ansatz**

Bei bestehenden Wildbachsperren, insbesondere älteren und solchen ohne Projektunterlagen, kommt in der Regel ein qualitativer Ansatz zur Anwendung. Dies weil eine quantitative Überprüfung der Tragsicherheit mangels Daten gar nicht durchgeführt werden könnte. Eine wesentliche Informationsquelle stellt der Zustand des Werkes dar. Der Tragwiderstand von Massnahmen mit einer robusten und bekannten Konstruktionsweise (wie z.B. Wildbachsperren) kann oft durch eine visuelle Beurteilung von Verformungen und Rissen abgeschätzt werden. Zeigen sich keine verdächtigen Mängel oder Schäden, sind erste Voraussetzungen für die Tragsicherheit erfüllt. Bei der möglichst objektiven Einordnung der Schäden können Kriterien weiterhelfen, wie sie in Tab. 3.3 und von Romang (2004) vorgeschlagen werden.

*Tab. 3.3: Schadenbewertung aufgrund verschiedener Kriterien (AfW 2006)*

| Schäden | Dringlichkeit | Konsequenz Tragsicherheit | Zeithorizont Folgeschäden | Konsequenz Gebrauchstauglichkeit | Beispiel |
|---|---|---|---|---|---|
| Alarmierend | Hoch | Sicher | Nächstes Ereignis | Sehr gross | Gekippte Sperre |
| Tolerierbar | Mittel | Wahrscheinlich | 2-5 Jahre | Noch keine | Ausgewaschener Kolkschutz |
| Unbedeutend | Klein | Unwahrscheinlich | > 5 Jahre | Keine | Bewuchs |

Bei der qualitativen Beurteilung der Tragsicherheit ist darauf zu achten (Romang & Margreth, 2007), dass

- mit der erkennbaren, vermuteten oder absehbaren Alterung des Bauwerkes der Tragwiderstand abnehmen kann,
- die massgebende Einwirkung unter Umständen noch gar nicht aufgetreten ist und
- sich die spezielle Bedeutung verborgener und nicht kontrollierbarer Tragwerksteile erst im Schadensfall zeigen kann.

Neben dem Zustand sind auch der Massnahmentyp und die Lagerungsbedingungen für die Abschätzung der Tragsicherheit wichtig. So wird sich beispielsweise je nach Bedingungen (Einwirkungen, Lagerungsbedingungen) eine als Gewichtsmauer konzipierte Wildbachsperre günstiger verhalten als von Flanke zu Flanke tragende Werke.

**Tragsicherheit von Gebrauchstauglichkeit beeinflussbar**

Weiter kann die Gebrauchstauglichkeit die Tragsicherheit beeinflussen. So werden bei eingeschränkter Gebrauchstauglichkeit (z.B. verstopfte Abflusssektionen) die Sperren auf ihrer ganzen Breite überflossen. Dadurch ist die Stabilität der seitlichen Böschungen und damit der Sperren in Frage gestellt.

Die Tragsicherheit von seit mehreren Jahren bestehenden Sperren kann somit vermutet werden,

- wenn der Zustand der Massnahmen inkl. der Lagerungsbedingungen gut ist,
- sich aus der Gebrauchstauglichkeit keine tragsicherheitsrelevanten Einwirkungen ergeben
- und der vermutete Tragwiderstand auch unter Berücksichtigung der oben aufgelisteten Punkte und den zu erwartenden Einwirkungen (Gefährdungsbilder gemäss Tab. 3.2) gewachsen ist.

Soweit möglich erfolgt diese qualitative Beurteilung der Tragsicherheit differenziert für verschiedene Szenarien. Insbesondere Einwirkungen, welche die bekannte oder vermutete Bemessung der Sperren übersteigen, sind ergänzend zu beurteilen. Zu beachten ist in jedem Fall, dass die Beurteilung sehr vorsichtig vorgenommen werden muss, wenn nur wenige Angaben zum Bauwerk oder dessen Belastungsgeschichte vorliegen.

**Qualitative Beurteilungen möglichst für verschiedene Szenarien**

### 3.2.5 Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile sowie eines Systems einander zugeordneter Schutzbauwerke, die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die Naturgefahrenprozesse entsprechend den Gebrauchsgrenzen zu gewährleisten. Die Gebrauchsgrenzen sind dabei die festgelegten Grenzen der Gebrauchstauglichkeit (z.B. Schluckvermögen von Abflusssektionen).

**Funktionstüchtigkeit bei Naturgefahrenprozessen gewährleisten**

Bei neuen Sperren kann die Gebrauchstauglichkeit in der Regel als erfüllt betrachtet werden. Schwachstellen zeigen sich häufig erst nach längeren Zeiträumen v.a. bei ungenügendem Unterhalt. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit äussert sich in der Regel in einer Abnahme der Wirkung auf den Prozess. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit kann aber auch zu neuen, bisher nicht berücksichtigten Gefährdungsbildern respektive Einwirkungen und damit zu einem Verlust der Tragsicherheit führen.

**Schwachstellen meist erst nach längeren Zeiträumen sichtbar**

Dieser direkte Zusammenhang von Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit unterscheidet Wildbachverbauungen von klassischen Ingenieurtragwerken. Während bei diesen die Nachweise in der Regel getrennt und mehr oder weniger unabhängig voneinander ausgeführt werden können, sind die Nachweise bei Schutzmassnahmen in Wildbächen oft miteinander verknüpft. Dies kann an einem Beispiel illustriert werden: Zum Zeitpunkt X werden alle Sperren in Bezug auf ihre Tragsicherheit als gut beurteilt und ebenso für die Zukunft prognostiziert. Falls sich zum Zeitpunkt X+1 ungünstige Schwemmholzablagerungen an den Abflusssektionen einstellen, ist dies als statische Einwirkung vernachlässigbar. Die Funktionstüchtigkeit (schadloses Ableiten eines Hochwasser-Abflusses gegebener Jährlichkeit) ist aber nicht mehr erfüllt: Die Sperrenflügel werden mit entsprechenden Konsequenzen für die Tragsicherheit überflutet.

**Beispiele für Einfluss der Gebrauchstauglichkeit auf die Tragsicherheit**

Ein anderes Schadenbild der Gebrauchstauglichkeit mit sehr engem Bezug zur Tragsicherheit stellt die Rissbildung bei Stahlbetonkonstruktionen dar. Die Rissbreiten im Beton werden durch das Einlegen einer Mindestbewehrung begrenzt. Ist die Hauptbewehrung aber deutlich zu schwach bemessen, besteht die Gefahr eines plötzlichen Bruchs beim Auftreten des ersten Risses durch Versagen des Stahles. Entsprechende Schadenfälle sind aus der Praxis bekannt. Bei Sperren mit bekannter oder vermuteter schwacher Bewehrung, welche noch nie mit der massgebenden Einwirkung beaufschlagt wurden, ist daher besondere Vorsicht geboten. Erfahrungen und Vergleiche mit gleichartigen Sperren in vergleichbaren Gerinnen können hilfreich sein.

In erster Linie bezieht sich die Gebrauchstauglichkeit jedoch auf die Funktion der Schutzmassnahmen. Verhält sich bei den möglichen Einwirkungen das Bauwerk so, wie es erwartet wird? Grundsätzlich gilt, dass die Gebrauchstauglichkeit bei unveränderten Anforderungen aus dem aktuellen Zustand ersichtlich ist. Die Anforderungen an Wildbachsperren ergeben sich aus ihrer Funktionalität bzw. aus ihrer im Schutzkonzept geforderten Wirkung. Insbesondere die Erhaltung der Abflusskapazität ist hier speziell erwähnenswert (Abb. 3.10). Dazu kommen Punkte wie die Energieumwandlung am Überfall, der Gerinnezustand und das Fliessverhalten zwischen den Sperren, die Eignung zur Hangfusssicherung oder die Sohlenlage

**Gebrauchstauglichkeit aus aktuellem Zustand ersichtlich**

unterhalb der Verbauung. Die Überprüfung erfolgt im Allgemeinen qualitativ aufgrund der Zustandsaufnahme vor Ort und der vermuteten Zustandsentwicklung über die nächsten rund 20 Jahre.



*Abb. 3.10: Durch seitliche Einrutschung teilweise verklauste Abflusssektion (E. Frick, tur gmbh).*

**Nachweis der Durchbiegung nur bei sehr schlangen Sperren notwendig**

Der klassische (rechnerische) Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Durchbiegungen wird hingegen bei Wildbachsperren in der Regel nicht geführt. Die Erfahrungen bzw. Nachrechnungen an ausgeführten Bauwerken zeigen, dass bei den üblichen Verhältnissen von Sperrenstärken (statischen Höhen) zu Spannweiten (Stahlbeton) die Durchbiegungen klein sind. Bei sehr schlanken Sperren (z.B. Platten aus Stahlbeton) in Gerinnen mit seitlichen Kriechhängen ist aber Vorsicht geboten.

**Bei eingeschränkter Gebrauchstauglichkeit nur eingeschränkte Wirkung auf Prozess**

Ist die Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllt, ist die Wirkung auf die Prozesse eingeschränkt. Dies kann bis zum so genannt funktionellen Versagen führen. Bei diesem bleibt das Werk als solches erhalten, erfüllt aber aufgrund der Mängel keine Funktion. Ein Beispiel dafür wären vollständig und massiv eingeschotterte Sperren als Sohlensicherung. Das Gerinne präsentiert sich dann wie vor dem Verbau und die Verbauung erfüllt als Sohlensicherung keine prägende Funktion mehr, obwohl sie als Bauwerk nicht versagt. Vielfach führen aber ernsthafte Mängel bei der Gebrauchstauglichkeit wie erwähnt zu Problemen bei der Tragsicherheit und somit zum strukturellen Versagen.

### 3.2.6 Überprüfung der Dauerhaftigkeit

**Mind. 50 Jahre Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit**

Die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Massnahmen sollen im Rahmen der relevanten Gefährdungsbilder und massgebenden Einwirkungen während der nächsten rund 50 Jahren ohne unvorhergesehenen Aufwand für die Instandhaltung erfüllt bleiben.

**Lebensdauer**

Ein wichtiges Kriterium für die Dauerhaftigkeit ist das Alter und die erwartete Lebensdauer der Sperren. Dabei können die folgenden allgemeinen Kennwerte weiterhelfen:

- Die Lebensdauer von Sperren aus Mauerwerk und (Stahl-) Beton wird im Allgemeinen mit etwa 100 Jahren angegeben.
- Falls keine Beschädigungen durch Geschiebe und Schwemmholz zu erwarten sind, gilt für Sperren aus Drahtsteinkörben eine ähnliche Grössenordnung.
- Bei Holzkonstruktionen kann unter günstigen Bedingungen mit einer mittleren Lebensdauer von etwa 40 bis 60 Jahren gerechnet werden (Zeller & Röthlisberger, 1987; Böll et al., 1999).

Diese Werte können im Einzelfall stark variieren. Nicht nur der Typ der Massnahme, sondern auch der Standort, die Bauausführung, die Art und Frequenz der Einwirkungen etc. spielen eine wichtige Rolle. Zudem sind Unterhaltsaspekte von Bedeutung.

**Änderungen im Gebiet**

Weiter müssen die für die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit relevanten Faktoren wie Zustand oder Einwirkungen in die Zukunft übertragen werden. Sind erhebliche Veränderungen zu erwarten? Vorsicht ist besonders in Kriechgebieten bzw. in Gebieten mit schlecht tragfähigem Baugrund geboten (Verschiebungen).

**Qualitative Überprüfung der Dauerhaftigkeit**

Die Überprüfung der Dauerhaftigkeit erfolgt qualitativ und beruht im Wesentlichen auf den bei der Überprüfung der Tragsicherheit angewandten Verfahren unter Berücksichtigung der Interaktionen mit der Gebrauchstauglichkeit. Abgesehen vom erfassten und prognostizierten Zustand der Bauwerke sind auch Überwachungs- und Unterhalts-Konzepte bzw. -Massnahmen zu berücksichtigen bzw. zu fordern. Die Überprüfung basiert stark auf dem Erfahrungsschatz mit der Massnahme und den lokalen Erfahrungen.

### 3.2.7 Gesamtsystem

**Zusammenwirken von Sperren**

Wildbachsperrentreppen sind, zumindest wenn sie nach den Kriterien des Vollverbaus erstellt wurden, das typische Beispiel für das Zusammenwirken von Einzelbauwerk und Gesamtsystem. Aber auch nicht nach den Regeln des Vollverbaus angeordnete Werke können einander beeinflussen, insbesondere in Fliessrichtung. Grundsätzlich sind Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit auch für das Gesamtsystem zu bestimmen bzw. die einzelnen Sperren sind auch unter Einbezug ihrer Nachbarn zu überprüfen. Abb. 3.11 zeigt anschaulich auf, welche Aspekte speziell zu prüfen sind.

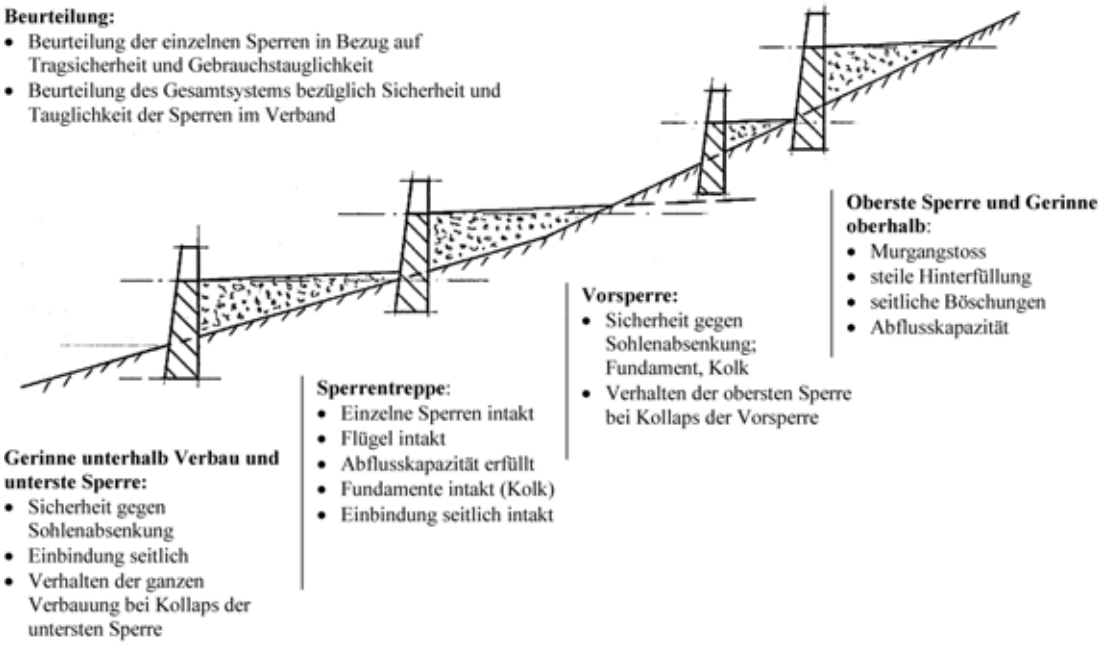



*Abb. 3.11: Beurteilung und wichtigste Beurteilungskriterien schematisch für Wildbachsperren, die nicht durchgehend nach den Regeln des Vollverbaus angeordnet sind (Böll, 2003).*

### 3.2.8 Bestimmung der Zuverlässigkeit

**Zuverlässigkeit für einzelne Sperre und Gesamtsystem bestimmen**

Die Zuverlässigkeit der Massnahmen ergibt sich aufgrund der Beurteilung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für die verschiedenen Gefährdungsbilder, Einwirkungen oder Szenarien. Sie ist sowohl für die einzelnen Sperren zu bestimmen als auch für das Gesamtsystem. Es wird zwischen hoher, eingeschränkter und geringer Zuverlässigkeit (vgl. Teil A) unterschieden.

**Zuverlässigkeit für verschiedene Szenarien bestimmen**

Die Zuverlässigkeit ist bezüglich der verschiedenen Szenarien (inkl. Extremszenario) zu prüfen. Bei Wildbachsperren ist insbesondere zu untersuchen, ob die Bemessung auf die zu erwartenden Gefährdungsbilder und Einwirkungen ausgerichtet ist. Speziell zu beachten sind zudem die Interaktionen zwischen Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit. Unter Umständen lassen sich negative Auswirkungen auf die Tragsicherheit durch Unterhaltsarbeiten ausschliessen. Andernfalls ist von einer geringen Zuverlässigkeit auszugehen.

## 3.3 Wirkungsbeurteilung

**Sohlensicherung und Hangfusssicherung sind Hauptfunktionen**

Sperren erfüllen in Wildbächen zwei Hauptfunktionen: Sohlensicherung (Stabilisierung) und Hang(fuss)sicherung (Konsolidierung). Erstere schliesst die Funktion als Zwischenspeicher für transportiertes Geschiebe mit ein. Der mögliche Einfluss von Sperrentreppen auf den Abfluss von Murgängen (Bremsen, evtl. Stoppen) wird hier als Spezialfall nicht näher betrachtet. Im Folgenden werden die zwei Hauptfunktionen unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit diskutiert und v.a. Vorgehensweisen zur Quantifizierung erläutert. Dabei richtet sich der Fokus mehr auf Sperrentreppen (mit Vollverbau oder nicht) und weniger auf Einzelwerke.

Abb. 3.12 zeigt gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A) die bei Wildbachsperren massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text. Auf den letzten

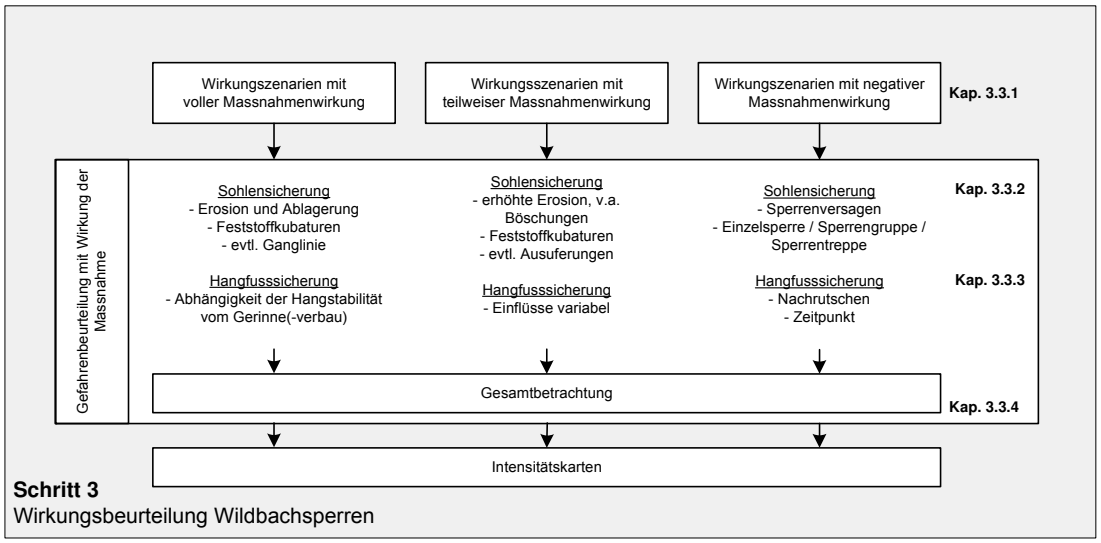



*Abb. 3.12: Arbeitsschema zur Wirkungsbeurteilung von Wildbachsperren.*

Schritt, die Erstellung von Intensitätskarten wird nicht näher eingegangen. Hier unterscheidet sich das Vorgehen nicht von unverbauten Wildbächen.

### 3.3.1 Massnahmenbeeinflusste Szenarien

**Regeln zur Bestimmung der Wirkungsszenarien**

In der Wirkungsbeurteilung werden die Wirkungsszenarien unter Berücksichtigung der Schutzmassnahmen und ihrer Zuverlässigkeit bestimmt. Dabei gelten folgende Regeln:

- Hohe Zuverlässigkeit: Die Sperren sind voll wirksam.
- Eingeschränkte Zuverlässigkeit: Die Sperren haben eine reduzierte Wirkung.
  - Eine eingeschränkte Zuverlässigkeit infolge nicht erfüllter Gebrauchstauglichkeit hat einen Einfluss auf die Prozessintensität.
  - Eine eingeschränkte Zuverlässigkeit infolge nicht erfüllter Dauerhaftigkeit hat einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit.
- Geringe Zuverlässigkeit: Die Sperren haben keine Wirkung. Dieses Szenario wird kombiniert mit dem nachfolgenden thematisiert.
- Geringe Zuverlässigkeit und negative Wirkung: Sperrenversagen führt zu einer erhöhten Gefährdung.

Unsicherheiten im gesamten Beurteilungsverlauf beispielsweise bei den Prozesseingangsgrössen oder bei der Zuverlässigkeit und Wirkung der Massnahmen können bei der Szenarienbildung berücksichtigt werden.

### 3.3.2 Sperren als Sohlensicherung

#### Wirkungsszenario mit hoher Zuverlässigkeit

Die Sperren und die Sperrentreppe sind langfristig stabil und funktionstüchtig. Damit ergibt sich unter anderem eine verhältnismässig klar definierte Gerinnegeometrie mit Sohlenfixpunkten und limitierter Breite. Diese Rahmenbedingungen erleichtern z.B. die Abschätzung von Feststoffvolumina. Diesbezüglich können Sperrentreppen sowohl einen rückhaltenden Effekt haben (Roth et al., 2000; Leitgeb, 2002) als auch in begrenztem Ausmass wiederum Geschiebe bereithalten (Abb. 3.13).

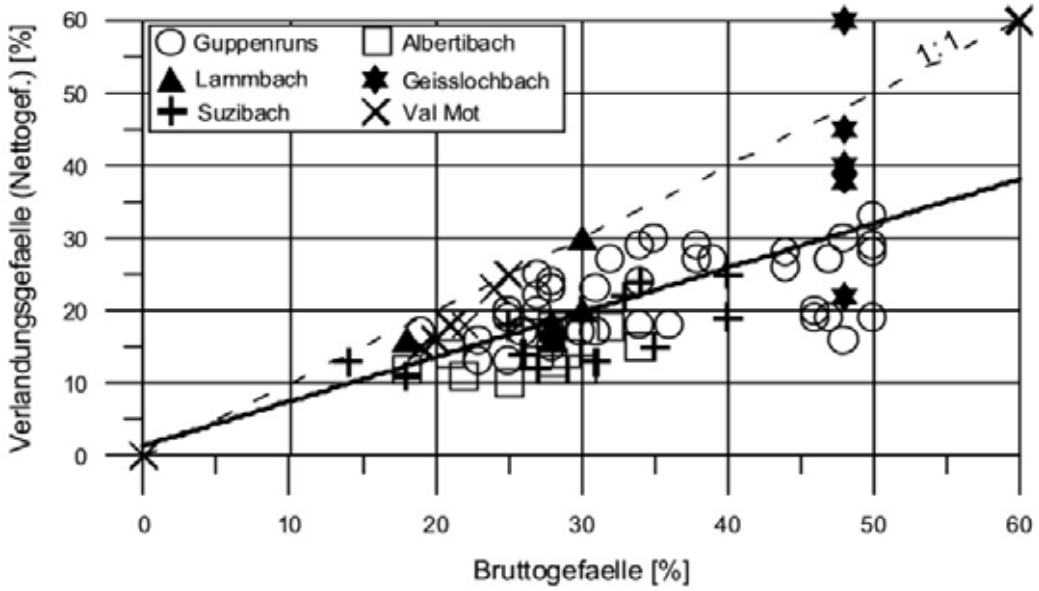



*Abb. 3.13: Vergleich des aktuellen Gefälles (Verlandungsgefälle) in verbauten Wildbächen (Sperrentreppen) mit dem Gefälle vor Verbau (Bruttogefälle). Je steiler das ursprüngliche Bachgefälle (= Bruttogefälle) ist, desto steiler wird sich auch das Verlandungsgefälle (= Nettogefälle) einstellen. Durchschnittlich beträgt das Nettogefälle etwa 2/3 des Bruttogefälles (Romang, 2004).*

**Mobilisierbaren und rückhaltbares Volumen bestimmen Wirkung**

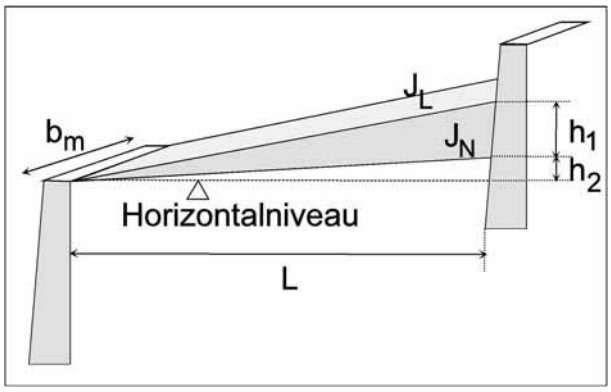
Die Wirkung kann somit durch die Abschätzung der mobilisierbaren oder rückhaltbaren Feststoffvolumina und allenfalls der Feststoffganglinie bestimmt werden. Eine entscheidende Grösse ist dabei das effektive oder angenommene Gefälle innerhalb der Sperrentreppe. Mitentscheidend ist zudem der Input (Wasser, Geschiebe, evtl. Murgang) aus den oberen Gerinneabschnitten sowohl im Ereignis als auch langfristig. Sofern der Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf anhält, ist es insbesondere mit langfristiger Optik häufig angebracht, von einem verbleibenden Erosionspotenzial selbst bei hoch zuverlässigen Sperren auszugehen. Dies gilt speziell bei Sohlensicherungen in eher flacheren Gerinnen (Abb. 3.14).



*Abb. 3.14: Einschotterung der Sperren im Mittellauf (Aua da Mot, St. Maria, GR) (E. Frick, tur gmbh).*

**Feststoffpotenzial durch geometrische Randbedingungen bestimmbar**

Das Feststoffpotenzial zwischen Sperren kann anhand der geometrischen Randbedingungen und einem allfälligen Reduktionsfaktor bestimmt werden (Abb. 3.15). Weiter kann auf die Methoden der Gefahrenbeurteilung verwiesen werden (vgl. Tab. 1.1, S. 3).




Das Volumen V des „Verlandungskeils“ lässt sich nach der Formel für Prismatoide berechnen.

Vereinfacht für Keile gilt: $V = \frac{h}{2} G$

Dies entspricht $V = \frac{L}{2}\left(h_1 \times b_m\right)$ oder $V = \frac{L^2}{2} \times \left(J_L - J_N\right) \times b_m$

$h_1$: Höhe der mobilisierbaren Geschiebeablagerungen ($J > J_N$): $h1 = (L \times J_L) - h_2$

$h_2$: Höhe der nicht mobilisierbaren Geschiebeablagerungen ($J < J_N$): $h_2 = L \times J_N$

L: Sperrenabstand

$J_L$: Verlandungsgefälle (z.B. Schätzung auf 1/2 bis 2/3 des ursprünglichen Sohlengefälles.

$J_N$: Grenzgefälle

$b_m$: Mittlere Gerinnebreite im Ausbauzustand

*Abb. 3.15: Bestimmen der Kubaturen von Ablagerungen in Sperrenfeldern (Romang, 2004).*

### Wirkungsszenario mit eingeschränkter Zuverlässigkeit

**Einschränkungen aus mangelnder Gebrauchstauglichkeit**

Resultiert die Einschränkung aus mangelhafter Gebrauchstauglichkeit, ist in der Regel mit höherem Feststoffaustrag bzw. geringerem Rückhalt zu rechnen als bei hoher Zuverlässigkeit. Dies weil der Grund für den Mangel häufig Geschiebeablagerungen beispielsweise zwischen den Sperren und in der Abflusssektion sind, welche a) mobilisiert werden können und b) den Abfluss ungünstig ablenken können, beispielsweise in die Böschungen .

Reine Sohlensicherungen finden sich zudem häufig auf Gerinnestrecken mit ungünstigen Querprofilen. Dabei lassen die fehlenden Seiteneinhänge nur beschränkte Sperrenhöhen zu bzw. wird die Sohle durch den Verbau soweit angehoben, dass Gerinneausbrüche möglich sind. Sofern nicht gerade ein Versagen eintritt, betrifft auch dieser Fall die Gebrauchstauglichkeit und zusätzliche Erosion scheint zumindest möglich.

Somit kann die Wirkung in diesem Fall analog der hohen Zuverlässigkeit beurteilt werden, wobei die Feststofffrachten mit einem entsprechenden, auf den Fall angepassten Zuschlag zu versehen sind.

**Einschränkungen aus mangelnder Dauerhaftigkeit**

Resultiert die Einschränkung aus der Dauerhaftigkeit sind in Zukunft erhebliche Mängel an der Verbauung bis hin zum Versagen nicht unmöglich. Konkret ist die Tragweite im Einzelfall zu beurteilen. Eine mögliche Annäherung könnte sein, dass mit einem starken Verlust der Funktionsfähigkeit bis hin zum Versagen mit entsprechend hohen Erosionsraten gerechnet wird, diesem aber eine um ein bis zwei Klassen geringere Wahrscheinlichkeit zugeordnet wird (das Szenario wird ja, wenn überhaupt erst in mehr oder weniger ferner Zukunft relevant). Die Bestimmung der Festoffvolumina kann sich in diesem Fall am nachfolgend geschilderten Versagensfall orientieren.

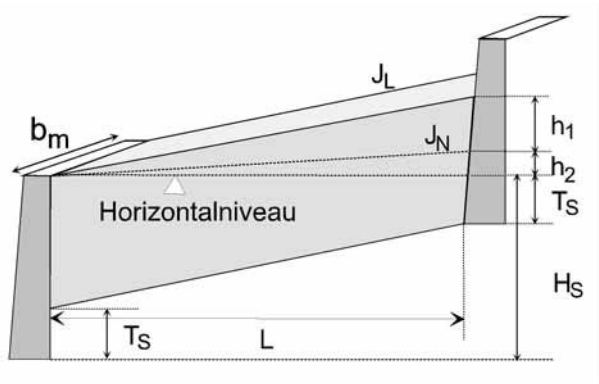
### Wirkungsszenario mit geringer Zuverlässigkeit und negativer Wirkung

**Versagen der Sperre kann zu höherer Mobilisierung führen**

Versagt eine Sperre, kann das dahinter gespeicherte Material mobilisiert werden. Nicht in jedem Fall erfolgt aber eine vollständige Mobilisierung. So wirkt auch die umgestürzte Sperre stabilisierend, der Geschiebekörper selbst ist nicht à priori instabil, liegt doch das Gefälle auch nach Versagen im Bereich des Bachgefälles vor Verbau, oder das Ereignis dauert vielleicht zu kurz, um alles Geschiebe abzutransportieren. In anderen Fällen kann die Mobilisierung noch grösser sein, v.a. durch Aktivierung der durch den Verbau in vielen Fällen konsolidierten Einhänge, teilweise verstärkt durch Abflussumlenkung infolge der liegenden Sperre. Der geometrisch bestimmbare Körper hinter der Sperre soll die Richtgrösse für die Abschätzung darstellen (Abb. 3.16). Anpassungen nach oben (mehr Geschiebe) oder unten (weniger Geschiebe) sind denkbar. Angesichts der ohnehin relativ schwerwiegenden Situation eines Versagens dürfte aber in der Regel die systematische Annäherung genügend genau sein.

**Einzelsperre und Gesamtsystem kann versagen**

Im Zusammenhang mit dem Versagen von Einzelsperren ist das Versagen der gesamten Sperrentreppe zu prüfen. Diese Möglichkeit wurde durch Ereignisse bestätigt. Es war in diesen Fällen dann nicht immer einfach mit Gewissheit festzustellen, ob die Schäden für die Unterlieger merklich höher waren, als dies bei unverbautem Gerinne zu erwarten gewesen wäre. Dies mag einerseits darauf zurückzuführen sein, dass es sich in einigen Fällen um verhältnismässig neue Verbauungen handelte, welche kurz nach einem Extremereignis erstellt worden waren; die Gerinne waren deshalb im entscheidenden Moment noch relativ geschiebearm. Ein anderer wichtiger Einflussfaktor ist zudem die Ereignisdauer.




$h_1$: Höhe der mobilisierbaren Geschiebeablagerungen ($J > JN$)

$h_2$: Höhe der nicht mobilisierbaren Geschiebeablagerungen ($J < J_N$)

$T_S$: Einbindung

$H_S$: Höhe des Sperrenkörpers

L: Sperrenabstand

$J_L$: Verlandungsgefälle

$J_N$: Grenzgefälle

$b_m$: Mittlere Gerinnebreite im Ausbauzustand

Die Kubatur des Geschieberückhaltes hinter einer Sperre lässt sich nach der Formel für Prismatoide berechnen:

$$V = \frac{L}{2} \times b_m (L \times J_L + T_S + H_S)$$

Zahlenbeispiel: L = 30m, $b_m$ = 10m, $J_L$ = 0.15, $T_S$ = 1m, $H_S$ = 3m
➔ V = 1275 $m^3$

*Abb. 3.16: Bestimmen der Kubaturen hinter Sperren (Romang, 2004). Es handelt sich um eine Maximalschätzung.*

**Möglicher Kollaps muss immer betrachtet werden**

Das komplette Versagen der gesamten Sperrentreppe dürfte aber nicht die Regel sein. Nicht jedes Sperrenversagen löst eine Kettenreaktion aus. Kritisch ist die Situation vor allem in relativ steilen Gerinnen und mit engem Bezug zwischen den einzelnen Sperren (Vollverbau) bis hin zur baulichen Verbindung (z.B. Holzsperrentreppen). Ganz klar ist die Möglichkeit des Kollapses immer in Betracht zu ziehen. Die Einschätzung ihrer Wahrscheinlichkeit erfolgt individuell. Pragmatisch scheint es angebracht, bei Versagen einer Sperre ein Folgeversagen von 1 bis 3 Bauwerken oberhalb zu prüfen. Extremere Folgen wären dann eher im Sinne eines Extremereignisses zu behandeln, sollten aber grundsätzlich thematisiert werden.

### 3.3.3 Wildbachsperren als Hangfusssicherung

#### Wirkungsszenario mit hoher Zuverlässigkeit

**Stabilisierung des gesamten Hanges**

Falls die Sperren aufgrund ihrer Anordnung und Zuverlässigkeit die Hangfusssicherung gewährleisten, ist zu untersuchen, ob diese Massnahme zur Stabilisierung des gesamten Einhanges genügt. Sofern dies der Fall ist oder die Hangstabilität durch geeignete zusätzliche Massnahmen sichergestellt ist, darf die Wirkung z.B. bezüglich Geschiebe- und Schwemmholzeintrag in Rechnung gesetzt werden. Die Hangprozesse sind – soweit sie im Einflussbereich des Gerinnes liegen – stark eingeschränkt. Die Gerinneprozesse verlaufen analog wie bei der Sohlensicherung (Kap. 3.3.2). Die Wirkungsbeurteilung kann sich deshalb an denselben Methoden orientieren.

**Hangrutschung ausserhalb des Einflussbereiches**

Falls die Hangrutschung bei gewährleisteter Tragsicherheit der Wildbachsperren trotzdem eintritt, weil sie nicht mehr im Einflussbereich des Gerinnes bzw. des Sperrenverbaus liegt, lässt sich eine Abschätzung des Eintrags aufgrund der Geometrie von Gerinneabschnitt und Hangpartie vornehmen. Allerdings ist auch zu beachten, dass ein solches Szenario die Gebrauchstauglichkeit und eventuell sogar die Tragsicherheit beeinträchtigen könnte. Somit wäre es als Gefährdungsbild bereits in der Massnahmenbeurteilung zu berücksichtigen.

### Wirkungsszenario mit eingeschränkter Zuverlässigkeit

**Reduzierte Wirkung bei mangelnder Gebrauchstauglichkeit**

Bei eingeschränkter Zuverlässigkeit des Systems infolge mangelhafter Gebrauchstauglichkeit ergibt sich eine reduzierte oder fehlende Wirkung. Die Folge ist ein erhöhter Feststoffeintrag ins Gerinne. Das Ausmass hängt aber sehr stark von der jeweiligen Situation ab. Wichtig sind zum Beispiel der Grund und das Ausmass der Einschränkung, der Grad der Abhängigkeit der Hangstabilität vom Gerinneverbau oder ergänzende Hangsicherungsmassnahmen. Sehr ungünstig ist beispielsweise, wenn infolge von Geschiebeablagerungen der Stromstrich an den Hangfuss des instabilen Hanges gedrückt wird.

**mangelhafte Anordnung führt zu mangelnder Gebrauchstauglichkeit**

Als Spezialfall der Gebrauchstauglichkeit kann hier auch die mangelhafte Anordnung (z.B. Vollverbaukriterien nicht erfüllt) betrachtet werden. Vollverbau an sich ist ja keine Voraussetzung für Gebrauchstauglichkeit. Ist aber die Hangsicherung auf einen durchgehenden Verbau angewiesen, haben diesbezügliche Mängel des Gesamtsystems (Sperrentreppe) eine bedeutenden Einfluss auf die Hangstabilität und den Eintrag von Feststoffen ins Gerinne.

Resultiert die Einschränkung aus der Dauerhaftigkeit kann analog der Sohlensicherung (Kap. 3.3.2) vorgegangen werden.

### Wirkungsszenario mit geringer Zuverlässigkeit und negativer Wirkung

**Nach Kollabierung Nachrutschungen möglich**

Falls die Sperren kollabieren oder die Rutschung infolge mangelhafter Anordnung der Sperren eintritt, ist grundsätzlich mit einem Nachrutschen von Hangpartien zu rechnen. Die im Gerinne zu erwartende Kubatur hängt unter anderem von den geotechnischen Eigenschaften des Hanges ab; kritisch sind Hanginstabilitäten mit tief verlaufenden Gleitflächen.

**Hänge mit oberflächennahen Gleitkreisen**

Bei Hängen und Seitenrunsen mit oberflächennahen Gleitflächen ist abzuklären, ob ein Versagen der Hangfusssicherung oder eine mangelhafte Anordnung derselben, während des massgebenden Ereignisses zu erhöhtem Feststoffeintrag ins Gerinne führt. Falls der Hang bzw. die Seitenrunse mit technisch-biologischen Massnahmen stabilisiert ist, und es sich bei den potenziellen Gleitflächen nicht um Böschungsfusskreise handelt, kann es unter Umständen mehrere Jahre dauern, bis die Prozesse für die Gefahrenkarten relevant werden.

## 3.3.4 Gesamtbetrachtung

**Abschliessend distanzierte Betrachtung notwendig**

Während die Massnahmenbeurteilung auf die Schutzbauten fokussiert und die Wirkungsbeurteilung auf die verbauten Abschnitte, gilt es zum Schluss nochmals eine distanziertere Perspektive wahrzunehmen. Zum einen spielt für die Wirkungsbeurteilung neben der Zuverlässigkeit der Massnahmen immer auch deren Anordnung entsprechend des Gesamtkonzeptes eine wesentliche Rolle. Zum anderen ist die Wirkungsbeurteilung hinsichtlich des Schwemmkegels als Wirkungsgebiet erst dann abgeschlossen, wenn auch die Prozesse im Gerinne zwischen verbautem Abschnitt und Kegelhals analysiert wurden. Durch Erosion oder Ablagerung kann das Resultat der Wirkungsbeurteilung nochmals modifiziert werden.

# 4. Geschiebesammler und Feststoffrückhalt allgemein

## 4.1 Grobbeurteilung

### 4.1.1 Zielsetzung und Abgrenzung

**Geschiebesammler i.d.R. relevant**

Ziel der Grobbeurteilung ist zu entscheiden, ob der Geschiebesammler für die Gefahrenbeurteilung relevant ist. In vielen Fällen dürfte diese Frage zu bejahen sein. Ausnahmen betreffen deutlich unterbemessene sowie bereits aufgegebene Bauwerke. Abb. 4.1 zeigt gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A) die bei Wildbachsperren massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text.

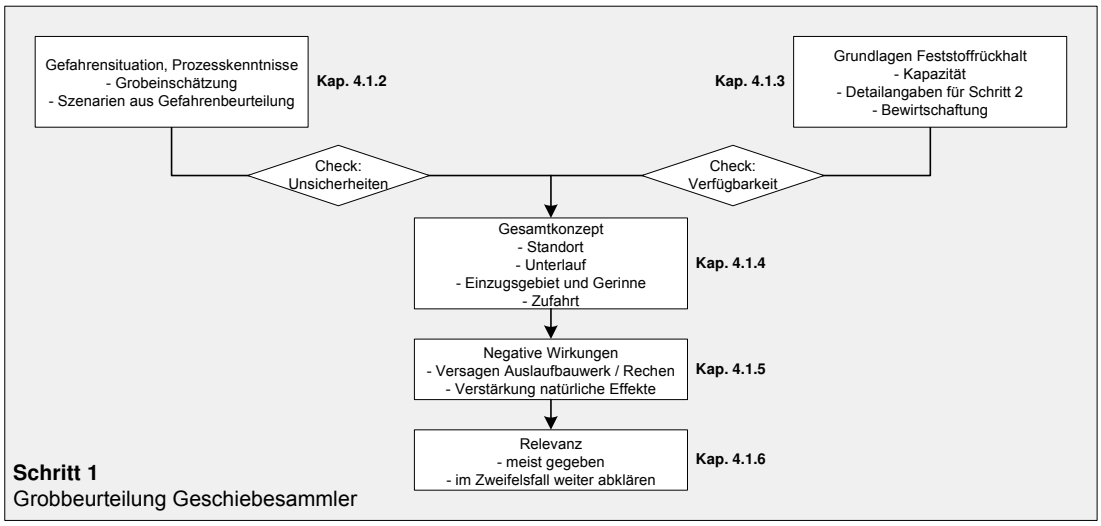



*Abb. 4.1: Arbeitsschema zur Grobbeurteilung von Geschiebesammlern / Rückhaltebauwerken allgemein.*

**Betrachtete Bauwerke**

Die folgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf Geschiebesammler im engeren Sinn als geschlossene Rückhaltebauwerke (Abb. 4.2). Für andere Typen des Feststoffrückhaltes wie Dosier- und Sortiersperren, Bremsverbau (Murbrecher) und Holzrückhalt gelten teilweise ähnliche Kriterien und Vorgehensweisen. Vereinzelt wird im folgenden Text speziell auf diese Werktypen eingegangen. Sie werden aber hier nicht in der gleichen Tiefe behandelt wie die Geschiebesammler.

### 4.1.2 Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

**Erwartete Feststofffrachten und Rückhaltevolumen bestimmen Relevanz**

Zur Abschätzung der Relevanz reichen auf dieser Stufe Richtwerte der zu erwartenden Feststofffrachten und deren Vergleich mit dem Rückhaltevolumen aus. Die Frachten können aufgrund von Ereigniskataster, Erfahrungswerten oder einer ersten Beurteilung des Gebietes auf Karten, Luftbildern oder vom Gegenhang aus angenähert werden. In vielen Fällen werden aber bereits für die Grobbeurteilung Angaben in einer Genauigkeit vorliegen, wie sie dann für die Massnahmenbeurteilung (Schritt 2) notwendig wird. Denn selbst wenn der Geschiebesammler nicht relevant sein sollte, ist doch eine Gefahrenbeurteilung zu machen. In aller Regel werden so die Abklärungen im Einzugsgebiet und Gerinne bereits gemacht sein und die Szenarien (z.B. zu erwartende Feststofffracht am Kegelhals) mehr oder weniger feststehen, bevor der Geschiebesammler überhaupt ein Thema wird.

**Unsicherheiten weniger von Bedeutung**

Nötigenfalls können ergänzend die Unsicherheiten überprüft werden (vgl. Grundsatz 2, Teil A). Bei Geschiebesammlern dürften diese aber von geringerer Bedeutung sein als bei anderen Massnahmen, weil zumindest vom Bauwerk her relativ klare Rahmenbedingungen herrschen und die Wirkung auf den Prozess häufig erheblich sein dürfte.



*Abb. 4.2: Geschiebesammler Tschägibach, Klosters, GR (Aufnahme E. Frick, tur gmbh).*

### 4.1.3 Grundlagen Schutzmassnahmen

**Notwendige Informationen**

Die wichtigste Information zum Geschiebesammler ist seine Kapazität. Für die weitere Beurteilung (Schritt 2) werden aber noch zusätzliche Informationen benötigt. Es bietet sich an, bereits im ersten Schritt alle notwendigen Angaben zu erheben um Doppelspurigkeiten zu vermeiden. Notwendige Angaben sind:

- Standort des Bauwerkes und generell seine Platzierung im Gelände sowie im Längenprofil
- Abmessungen
- Erschliessung für die Räumung
- Statik
- Geotechnik (Baugrund)
- Werkstoffe
- konstruktiven Details (z.B. Ein- und Auslaufbauwerk, Rechen)
- vorhandene oder zu erwartende Schäden
- Belastungsgeschichte

Bei projektierten Sammlern müssen die Projektunterlagen diese Informationen enthalten. Bei bestehenden Sammlern werden sie durch Feldaufnahmen ergänzt (Abb. 4.2).

**Projektunterlagen, Feldbegehungen**

Zudem sollte bereits im ersten Schritt abgeklärt werden, ob Erfahrungen mit Ereignissen bestehen und wie die Organisation der Bewirtschaftung (Leerung) gelöst ist. Wenn der Geschiebesammler beispielsweise bereits durch kleinere Ereignisse zur Hälfte hinterfüllt wird, ist seine Kapazität offensichtlich ungenügend. Wenn er nicht sofort nach Ereignissen geleert wird, etwa weil er als Kiesdepot dient, ist er nicht verlässlich. In beiden Fällen ist die Relevanz nicht gegeben.

**Erfahrungen abklären**

Die erwähnten Punkte gelten sinngemäss auch für andere Typen von Rückhaltebauwerken. Insbesondere den Erfahrungen kommt hier ein grosser Stellenwert zu, weil sie bei Werken wie Murbrechern oder Holzrechen allgemein noch spärlich vorhanden sind.

### 4.1.4 Gesamtkonzept

Allgemeine Aspekte zum Gesamtkonzept wurden bereits bei den Sperren erläutert (Kap. 3.1.4) und haben auch hier ihre Gültigkeit. Wichtig bei einem Geschiebesammler und bei weiteren Rückhaltebauwerken sind dazu insbesondere folgende Punkte:

- Der Standort eines Geschiebesammlers ist mitentscheidend für seine Wirkung. Er trennt den Wildbach in einen oberen und einen unteren Teil. Steht der Sammler beispielsweise am Kegelhals, umfasst der obere Teil das Einzugsgebiet und das Gerinne, der untere Teil das Gerinne bis in den Vorfluter.

  **Standort für Wirkung wichtig**

- Der Teil oberhalb eines Geschiebesammlers liefert die Feststoffmengen, die zurückgehalten werden sollen. Ein Sammler kann ohne weitere Massnahmen oben wirksam sein. Je nach Aktivität des Baches ist es aber sinnvoll, ergänzende Massnahmen, wie z.B. forstliche Massnahmen, vorzusehen, um die Häufigkeit von Geschiebeeinstössen in den Sammler zu verringern und so a) seine Funktionstüchtigkeit zu erhalten und b) Räumungskosten zu sparen.

  **Evtl. weitere Massnahmen oberhalb des Sammlers sinnvoll**

- Der Abfluss unterhalb eines Geschiebesammlers ist wegen des Rückhaltes im Hochwasserfall geschiebearm und neigt zu starker Erosion. Deshalb gehört eine Stabilisierung des Unterlaufs in der Regel zu einem Gesamtkonzept Geschiebesammler dazu.

  **Stabilisierung des Unterlaufs**

- Zu einem Geschiebesammler gehört immer ein Zugang für die Räumung. Je schwieriger dieser ist, desto grösser ist die Gefahr, dass die Räumung etwa bei kleinen Ereignissen unterlassen wird.

  **Möglichkeit der Räumung**

### 4.1.5 Negative Wirkungen

Versagt eine Geschiebestausperre, kann sich das zurückgehaltene Material schwallartig entleeren. Da die Sammler in der Regel nahe an den Siedlungen stehen, könnten die Auswirkungen dramatisch sein. Besonders kritisch kann diesbezüglich der Rechen im Auslaufbauwerk sein. So können die dort häufig verwendeten Hölzer brechen (was auch bei Betonelementen passieren kann) oder eine temporäre Verklausung kann sich speziell bei relativ weiten Abständen (auch offene Sperren und Ähnliches) schlagartig wieder lösen.

**Bei Versagen schwallartige Entleerung möglich**

Abgesehen von sehr sorgfältiger Planung und Projektierung sind systematische Überwachung, konsequenter Unterhalt und rechtzeitige Erneuerung besonders wichtig. Falls Zweifel bezüglich dem Tragverhalten bestehen, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

**Überwachung, Unterhalt, Erneuerung besonders wichtig**

**Sohlenerosion möglich**

Negative Wirkungen können sich weiter aus starker Sohlenerosion und damit verbundener Geschiebeumlagerung unterhalb von Geschieberückhalte-Massnahmen ergeben. Allerdings können diese Prozesse auch ohne Sammler auftreten, wenngleich unter Umständen weniger intensiv.

**Durch überströmte Dämme hohe Intensitäten möglich**

Schliesslich ist der Fall zu nennen, wo ein Geschiebesammler nicht vom gewachsenen Terrain sondern von Dämmen umschlossen ist (Abb. 4.3). Werden diese überströmt, kommt es punktuell möglicherweise zu grossen Intensitäten. Zwar wären die betroffenen Gebiete wohl auch ohne Sammler gefährdet (Schwemmkegel). Weil aber die Gefährdung nun von einem Bauwerk ausgeht, das genau die Einwirkungen verhindern soll, werden sie hier unter den negativen Wirkungen aufgelistet.



*Abb. 4.3: Dieser Geschiebesammler wurde rechtsseitig überflossen. Auch beim Einlaufbauwerk trat bereits Material aus. Schliesslich versagen auch ein Teil des Auslaufrechens (Aufnahme C. Wilhelm, Amt für Wald GR).*

### 4.1.6 Relevanz

Die Relevanz dürfte bei Geschiebesammlern in aller Regel gegeben sein. Mögliche negative Wirkungen oder zumindest Zweifel an der Wirkung begründen ebenfalls die weitere Abklärung, da ein allfälliges Versagen oder Nicht-Funktionieren erhebliche Auswirkungen haben kann.

Aus diesem Grund wird meist auch bei den übrigen Typen von Rückhaltemassnahmen eine nähere Prüfung notwendig sein. Davon können Bauwerke von beschränktem Ausmass ausgenommen sein, die sich bereits als nicht wirksam aber auch nicht als schadenverstärkend erwiesen haben (z.B. kleine Murgangbremsen).

## 4.2 Massnahmenbeurteilung

### 4.2.1 Übersicht

Abb. 4.1 zeigt gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A) die bei Geschiebesammler massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text.

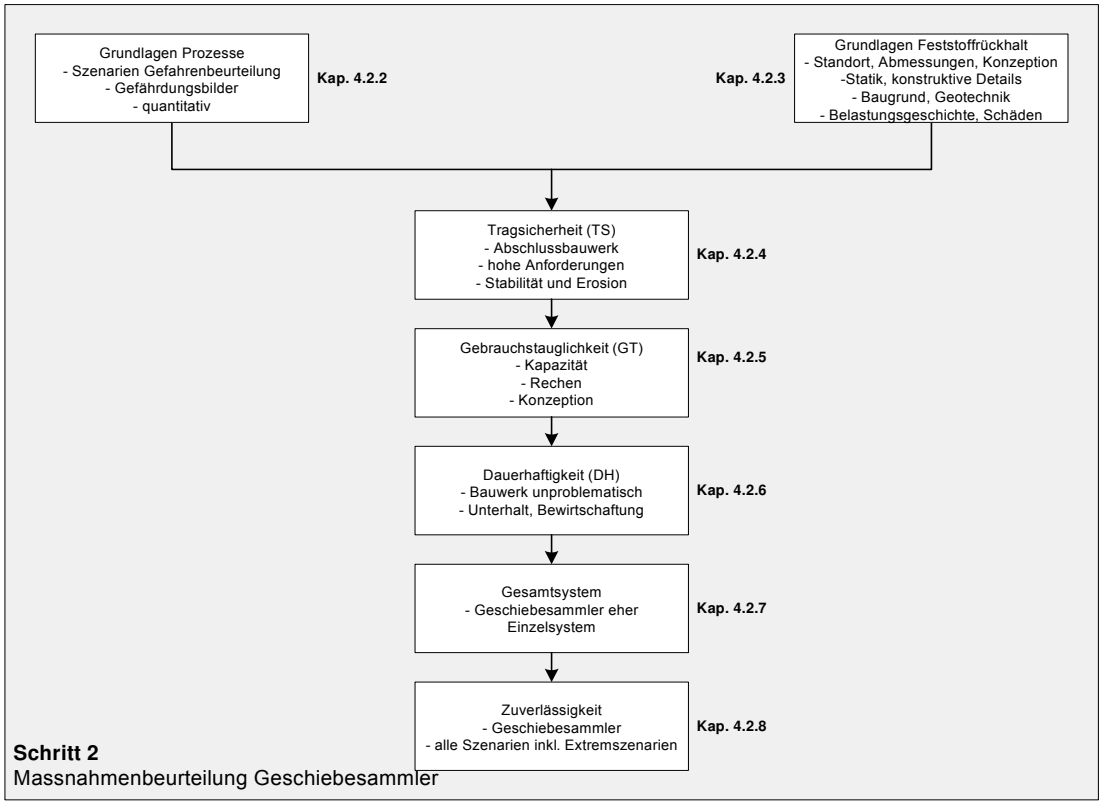



*Abb. 4.4: Arbeitsschema zur Massnahmenbeurteilung von Geschiebesammlern.*

*Tab. 4.1: Übersicht über die Beurteilung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Geschiebesammlern.*

| **Grundlagen** | **Zu beurteilen** | **Bedeutung** |
|---|---|---|
| Tragsicherheit | - Tragwiderstand der Sperrenquerschnitte<br>- Gesamtstabilität der Bauwerke | Bauwerksspezifische Eigenschaften für den Vergleich mit den prozessgesteuerten Einwirkungen |
| Gebrauchstauglichkeit | - Rückhaltekapazität<br>- Dosierte Abgabe von Geschiebe<br>- Verhalten in Bezug auf Schwemmholz<br>- Sohlenlage unterhalb der Massnahme | Funktionalität der Massnahme in Bezug auf die sich im Einzugsgebiet, im Kegelbereich und bei der Einmündung in den Vorfluter abspielenden Prozesse. Funktionalität im Vergleich mit den Anforderungen gemäss Schutzkonzept |
| Dauerhaftigkeit | - Langfristige Gewährleistung der Tragsicherheit unter Berücksichtigung der Interaktionen mit der Gebrauchstauglichkeit<br>- Lebensdauer | Eignung bezüglich der zeitlichen Kriterien und Vorgaben |

### 4.2.2 Grundlagen Prozesse

**Szenarien bilden**

Für die Beurteilung des Geschiebesammlers sind die Szenarien analog der Gefahrenbeurteilung nötig (verschiedene Jährlichkeiten inkl. Extremszenario). Wichtige Angaben sind speziell

- die verlagerte Feststoffkubatur,
- der Verlagerungsprozess (können Murgänge den Sammler erreichen?),
- Korngrössen (z.B. $d_{90}$ für die Beurteilung der Öffnungen),
- Art und Menge von Schwemmholz sowie
- die Ganglinie (wie und wie rasch wird der Sammler gefüllt).

**Gefährdungsbilder bearbeiten**

Ergänzende Gefährdungsbilder sind notwendig (Tab. 4.2). Gute Hinweise dazu können auch dem Teil F „Flüsse“ im Zusammenhang mit Hochwasserdämmen entnommen werden. Für andere Rückhaltebauwerke als Geschiebesammler stelle die Liste eine gute Grundlage dar, die ergänzt werden muss.

*Tab. 4.2: Prozesse und Gefährdungsbilder bzw. Einwirkungen.*

| **Prozess** | **Gefährdungsbilder** / **Einwirkungen** |
|---|---|
| Hochwasser $HQ_x$ der Jährlichkeit x | - Unterspülen des Ein- oder Auslaufbauwerkes, Kolk<br>- Überströmen des Abschlussdammes und luftseitige Erosion<br>- Wasserseitige Instabilität durch Erosion / Unterkolkung<br>- Luftseitige Böschungsinstabilität<br>- Bruch durch innere Erosion<br>- Hydraulischer Grundbruch |
| Geschiebe- und Schwemmholztransport | - Eintrag total und pro Zeit (Fracht)<br>- Stoss auf Abschlussbauwerk / Rechen<br>- Sohlenlagenveränderungen (Erosion, Ablagerungen), z.B. Erosion Unterlauf direkt nach Abschlussbauwerk<br>- Einseitige Ablagerungen und starke Umlenkung Wasserfluss mit der Folge von starker Erosion z.B. des Abschlussdammes<br>- Erd- und Wasserdruck auf das Abschlussbauwerk bei Volleinstau<br>- Überströmen nach Volleinstau infolge zu tiefer Dämme<br>- Überströmen nach Volleinstau infolge Verklausung Überlauf Abschlussbauwerk<br>- Durchströmen des Rechens im Abschlussbauwerk ohne Rückhalt |
| Murgänge | - Stoss auf Abschlussbauwerk / Rechen<br>- Übrige s. oben |
| Rutschungen in den Seitenhängen | - (Einseitiges) Auffüllen des Rückhaltebeckens (vgl. Abb. 4.3)<br>- seitliche Beanspruchung des Abschlussbauwerkes |
| Baugrund | - Instabilität, Setzung<br>- Statischer Grundbruch |
| Alterung | - Verlust der Materialfestigkeit |

Die hauptsächlichen Einwirkungen wie die Feststoffkubaturen liegen für die verschiedenen Szenarien inklusive Extremszenario quantitativ vor. Andere Gefährdungsbilder werden qualitativ oder semi-quantitativ behandelt. Auch bei ihnen sollen aber analog den Szenarien unterschiedlich starker Ausprägungen betrachtet werden.

Bei bestehenden Verbauungen sind zur Bestimmung der Gefährdungsbilder und der Einwirkungen Detailuntersuchungen im Gelände erforderlich. Bei geplanten Verbauungen sind die Annahmen, welche bei der Projektierung gemacht wurden, zu überprüfen bzw. zu verifizieren.

**Detailuntersuchungen im Gelände**

### 4.2.3 Grundlagen Massnahmen

Bei Geschieberückhaltesystemen (insbesondere bei grösseren Geschiebestausperren) kann angenommen werden, dass Projektunterlagen vorhanden sind. Andernfalls müssen die notwendigen Informationen erhoben werden (vgl. Kap. 4.1.3). Bei Verdacht auf Versagen sind umfassendere Angaben erforderlich (z.B. Statik, Geotechnik).

### 4.2.4 Überprüfung der Tragsicherheit

**Gesamtstabilität bei Einwirkungen gewährleisten**

Die Tragsicherheit ist die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Gesamtstabilität für die anzunehmenden Einwirkungen sowie ausreichende Tragwiderstände zu gewährleisten. Die qualitative Abschätzung der Tragsicherheit erfolgt für Geschiebesammler differenziert für verschiedene Szenarien. Genau betrachtet wird der Nachweis der Tragsicherheit nur für die tragenden Elemente eines Geschiebesammlers erbracht, nämlich Abschlussbauwerk und sofern vorhanden Einlaufbauwerk.

**Gefährdungsbilder und Einwirkungen bis zum extremen Bereich**

Bei Geschiebesammler können die Folgen eines schlagartigen Versagens wie erwähnt dramatisch sein. Deshalb ist besondere Vorsicht bei der Tragsicherheitsbeurteilung angebracht. Die Gefährdungsbilder und Einwirkungen sollen durchaus bis in den extremen Bereich hinein variiert werden. Ein plötzliches und totales Versagen sollte auch bei Überlastung unwahrscheinlich sein. Entsteht ein entsprechender Verdacht, ist dieser weiter abzuklären. Anders gesagt: Wird Tragsicherheit postuliert, soll sie mit relativ hoher Sicherheit auch gewährleistet sein.

Neue und projektierte Verbauungen können durch einen Vergleich der angenommenen Einwirkungen mit den zu erwartenden Gefährdungsbildern beurteilt werden. Zu untersuchen ist auch, ob weitere, nicht berücksichtigte Gefährdungsbilder relevant sind.

**Dämme häufig gutmütig**

Für die Beschreibung des Vorgehens bei bestehenden Werken wird hier von Typ „Damm mit integriertem Auslaufbauwerk (Rechen)“ ausgegangen (vgl. Abb. 4.2). Dämme sind hinsichtlich der Tragsicherheit in der Regel gutmütige Werke. Kritisch können a) Stabilitätsprobleme etwa infolge von Einwirkungen aus dem Baugrund und b) Erosionsprobleme beispielsweise beim Überströmen werden. Sind solche Gefährdungsbilder nicht relevant und ist der Zustand des Dammes gut, kann meist von einer erfüllten Tragsicherheit ausgegangen werden.

**Einwirkungen bei Auslauf konzentriert**

Etwas vorsichtiger ist der Auslauf des Sammlers (Rechen) zu betrachten. Verschiedene Einwirkungen treten hier konzentriert und maximiert auf (z.B. Stauhöhe, Fliessgeschwindigkeit). Zudem ist sein Tragwiderstand aufgrund der schlankeren Bauweise meist geringer als jener des Abschlussdammes. Deshalb sind hier, wenn überhaupt, eher Tragsicherheitsprobleme zu erwarten. Massgebend für die Einschätzung sind auch hier in erster Linie der aktuelle Zustand, die relevanten Gefährdungsbilder und die Belastungsgeschichte.

**Weniger Probleme, wenn Einlaufbauwerk versagt**

Ergänzend wird das Einlaufbauwerk überprüft. Hier sind die Grundlagen für die Sperrenbeurteilung massgebend (Kap. 3.2.4). Ein Versagen des Einlaufbauwerks hat in der Regel weniger weit reichende Folgen als ein solches des Auslauf-

bauwerkes. Es kann analog den Sperren zu einem erhöhten Feststoffeintrag ein den Sammler und so seine Kapazität (Gebrauchstauglichkeit) vermindern.

**Abschlussbauwerk wie Sperre behandeln**

Abschlussbauwerke, welche durchgehend bzw. mehrheitlich als Sperre ausgebildet sind, können in Anlehnung an Kapitel 3.2.4 wie übrige Sperren behandelt werden. Idealerweise wurde der Nachweis der Tragsicherheit schon im Projekt oder durch Ereignisse (Volllast) erbracht.

**Regeln für Tragsicherheit**

Generell gilt für Abschlussbauwerke von Geschiebesammlern analog zu den Sperren (Kap. 3.2.4): Die Tragsicherheit von Geschiebesammlern bzw. ihres Abschlussbauwerkes kann im Allgemeinen als erfüllt angenommen werden,

- wenn der Zustand inklusive der Baugrundbedingungen gut ist,
- sich aus der Gebrauchstauglichkeit keine tragsicherheitsrelevanten Einwirkungen ergeben
- und der vermutete Tragwiderstand unter Berücksichtigung aller zu erwartenden Einwirkungen gewachsen ist.

Die Beurteilung muss grundsätzlich sehr vorsichtig vorgenommen werden, wenn nur wenige Angaben zum Bauwerk oder dessen Belastungsgeschichte vorliegen.

**Wenn Versagen möglich, detaillierte Abklärung nötig**

Aufgrund der möglichen Tragweite eines Versagens sind bei entsprechendem Verdacht gründliche Abklärungen nötig. Beispielsweise ist bei Sickerwasseraustritten, Ausschwemmungen von Feinmaterial und Setzungen eine Expertise mit Bodenuntersuchungen, Verschiebungsmessungen, etc. anzuordnen. Die weiteren Abklärungen und ihre Detaillierung sind fallweise festzulegen.

Bei alternativen Rückhaltebauwerken gelten für den offenen Geschiebesammler (Dosier- und Sortiersperren) die oben formulierten Gedanken. Für andere Werke wie Murbrecher und Holzrückhalt ist die Bearbeitungstiefe (z.B. qualitativ, quantitativ) dem Einzelfall anzupassen. Weil es sich häufig um neuere Bauwerke handelt, liegen in der Regel Projektunterlagen vor, die die Abschätzung der Tragsicherheit erlauben. Fehlen diese, ist aufgrund des kleinen Erfahrungsschatzes die Tragsicherheit generell kritischer einzuschätzen.

### 4.2.5 Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die Naturgefahrenprozesse zu gewährleisten. Die Überprüfung erfolgt im Allgemeinen qualitativ aufgrund der Zustandsaufnahme vor Ort und der vermuteten Zustandsentwicklung über die nächsten rund 20 Jahre.

Die Gebrauchstauglichkeit bei Geschieberückhalte-Massnahmen bezieht sich in erster Linie auf

- ihre Rückhaltekapazität bzw. bei entsprechender Konzeption auf die Tauglichkeit zur dosierten Abgabe von Geschiebe,
- das Verhalten in Bezug auf Schwemmholz,
- die Eignung als Murgangbremse,
- die Sohlenlage unterhalb der Massnahme und
- die Konzeption allgemein.

**Gebrauchstauglichkeit aus aktuellem Zustand ersichtlich**

Wie diese Auflistung zeigt, bezieht sich die Gebrauchstauglichkeit in erster Linie auf die funktionalen Aspekte. Verhält sich bei den möglichen Einwirkungen das Bauwerk so, wie es erwartet wird? Grundsätzlich gilt, dass die Gebrauchstauglichkeit bei unveränderten Anforderungen aus dem aktuellen Zustand ersichtlich ist. Immer zu prüfen ist die Kapazität (mit welcher Rückhaltekapazität darf gerechnet werden,

bestehen Vorverfüllungen) und das Verhalten des Rechens in Abhängigkeit des Zwecks der Sperre als geschlossenes oder offenes System. Ein deutlich zu gering bemessener oder bereits vorverfüllter Sammler ist nur eingeschränkt als gebrauchstauglich zu bezeichnen. Ein Rechen darf bei einer geschlossenen Sperre nicht zu viel Material durchlassen (muss trotzdem aber eine gewisse Durchgängigkeit gewährleisten), während er bei einer offenen Sperre einen dosierten Durchfluss ermöglichen soll. Dabei spielen die Korngrösse, der Ereignisverlauf und der Anfall von Schwemmholz eine wichtige Rolle.

Weiter ist die Konzeption des Sammlers als Ganzes für die Gebrauchstauglichkeit bedeutend. Damit ist beispielsweise die Höhe und Neigung der Abschluss- / Umfassungsdämme im Vergleich zur Überlaufhöhe des Rechens angesprochen, die Lage und Form des Sammlers (Zollinger, 1983) oder die Wahl des Abschlussrechens (Neigung, Balkenabstände, etc). Bei der Beurteilung helfen insbesondere ein kritisches Durchdenken der Gefährdungsbilder und Erfahrungen weiter.

**Bei eingeschränkter Gebrauchstauglichkeit eingeschränkte Wirkung auf Prozess**

Ist die Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllt, ist die Wirkung auf die Prozesse eingeschränkt. Typisches Beispiel dafür ist eine reduzierte Kapazität infolge nicht erfolgter Räumung. Dies kann bis zum so genannt funktionellen Versagen führen (z.B. Restrückhaltevolumen unbedeutend klein). Zu prüfen ist bei nicht erfüllter Gebrauchstauglichkeit aber auch ein allfälliger Einfluss auf die Tragsicherheit (z.B. Überströmen der Abschlussdämme, Sohlenabsenkungen)

### 4.2.6 Überprüfung der Dauerhaftigkeit

**ca. 50 Jahre tragsicher, gebrauchstauglich**

Die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Massnahmen sollen während der nächsten rund 50 Jahren ohne unvorhergesehenen Aufwand für die Instandhaltung erfüllt bleiben.

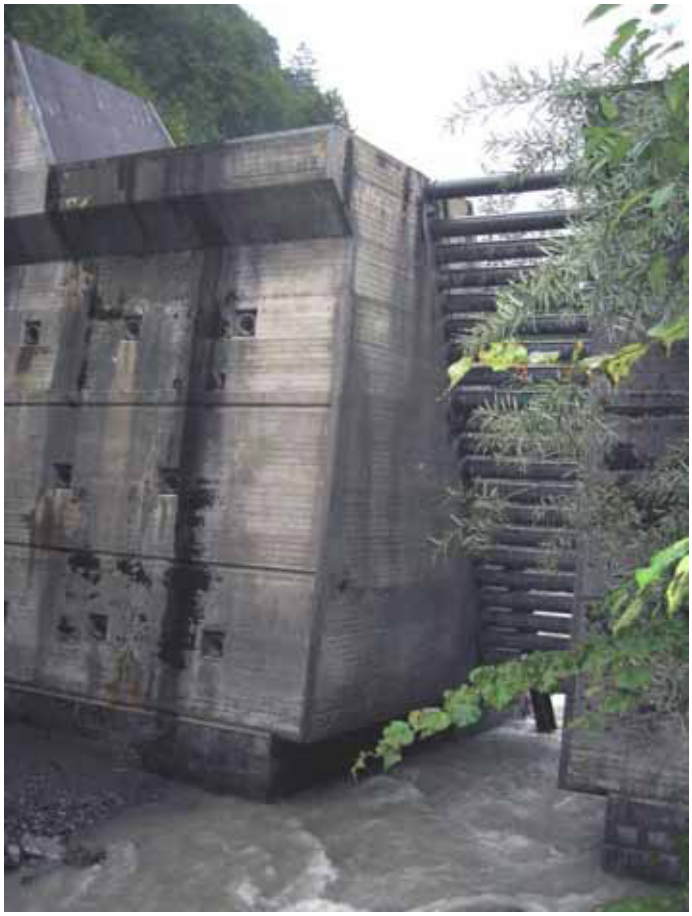


*Abb. 4.5: Geschiebestausperre Stiglissammler im Schächen oberhalb von Bürglen UR. Geschieberückhaltevolumen ca. 100'000 m³ (Aufnahme H. Duss, 2005).*

**Ca. 100 Jahre Lebensdauer**

Geschieberückhaltesperren bestehen in der Regel aus (Stahl-) Beton, eventuell in Kombination mit Erddämmen und Stahlrechen-Konstruktionen (Abb. 4.5). Grundsätzlich kann so von einer Lebensdauer von etwa 100 Jahren ausgegangen werden. Bei Kombinationen mit Erddämmen ergeben sich allenfalls Probleme mit dem Dichthalten bzw. mit Ausschwemmungen von Feinmaterial im Übergangsbereich; diese zeichnen sich jedoch meistens bereits nach kurzer Zeit ab.

**Unterhalt notwendig**

Da Geschiebesammler ihre Aufgabe nur erfüllen können, wenn die erforderliche Rückhaltekapazität ständig gegeben ist, hängt ihre Funktionsfähigkeit und damit ihre Dauerhaftigkeit stark von menschlichen Eingriffen ab. Eine wichtige Voraussetzung ist neben geordneten Unterhaltspflichten die Erschliessung zur Räumung des Rückhalteraumes, so dass das erforderliche Rückhaltevolumen auch bei kurz aufeinander folgenden Ereignissen gewährleistet ist. Geschiebedurchlässige Sperren (Dosiersperren) können das Problem etwas entschärfen aber nicht verhindern. Die Erfahrung zeigt, dass auch solche Konstruktionen unter extremen Bedingungen (Schwemmholz, grobes Geschiebe) nicht oder nur schlecht funktionieren.

### 4.2.7 Gesamtsystem

**Betrachtung hauptsächlich als Einzelbauwerk**

Anders als Wildbachsperren / Sperrentreppen können Geschiebesammler weitgehend als einzelne Werke beurteilt werden. Relevante Interaktionen bestehen nur mit dem unmittelbar angrenzenden Unterlauf. Sohlenabsenkungen dort werden aber

bereits im Rahmen der Gefährdungsbilder aufgegriffen. Deshalb ist meist keine iterative Prüfung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zusammen mit weiteren Schutzbauten notwendig.

**Neue Einwirkungen berücksichtigen**

Im Rahmen der Gesamtbetrachtung ist aber nochmals zu prüfen, ob sich etwa anhand der Massnahmenwirkung im Oberlauf (z.B. Sperren) neue, bzw. bislang nicht berücksichtigte Einwirkungen ergeben (z.B. Mehranfall von Geschiebe infolge Verbauungsversagen). Allenfalls wäre die Beurteilung des Sammlers anzupassen.

### 4.2.8 Bestimmung der Zuverlässigkeit

**Zuverlässigkeit für verschiedene Szenarien**

Die Zuverlässigkeit der Massnahmen ergibt sich aufgrund der Beurteilung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit für die verschiedenen Gefährdungsbilder, Einwirkungen oder Szenarien. Es wird zwischen hoher, eingeschränkter und geringer Zuverlässigkeit unterschieden (vgl. Teil A). Sie ist bei Geschiebesammlern aus den bis hier erarbeiteten Grundlagen abzuleiten.

## 4.3 Wirkungsbeurteilung

**Quantitative Beurteilung bei geschlossener Sperre**

Ein geschlossenes Rückhaltebauwerk (ein Geschiebesammler) weist im Vergleich zu anderen Massnahmen weniger Unsicherheiten auf und eignet sich für die quantitative Beurteilung. Zudem wurden in vielen Wildbächen Sammler gebaut und der Erfahrungsschatz ist recht gross. Die primäre Funktion von Sammlern ist der Rückhalt von Feststoffen. Auf diese Funktion hin wird im Folgenden die Wirkung geprüft.

**Individuelle Abklärung bei offener Sperre**

Offene Sperren werden dabei nicht näher behandelt. „Bei echten offenen Sperren handelt es sich meist um individuelle Bauwerke mit spezifischen Eigenschaften. Allgemein gültige Regeln können hier weniger aufgestellt werden. Es wird auf die wachsende Fachliteratur verwiesen. Besonders in ausländischen Publikationen werden offene Sperrenbauweisen basierend auf Modellversuchen, Erfahrungswerten oder Berechnungen intensiv diskutiert. [Dazu gehören u.a die Holzrückhaltebauwerke (Bezzola, 2001) und Murbrecher (Speerli et al., 2008)]. Der Gedanke der offenen Sperre führt schliesslich zum vollständigen Verzicht von Einbauten im Sinne von Hindernissen, was von Jäggi (2001) am Beispiel von Geschiebedosierstrecken und von Jenni und Reiterer (2002) am Beispiel von Absturzbauwerken geschildert wird.“ (Romang, 2004: 98).

Abb. 4.6 zeigt gestützt auf das allgemeine Vorgehen (vgl. Teil A) die bei Geschiebesammlern massgebenden Arbeiten mit Bezug auf den folgenden Text. Auf den letzten Schritt, die Erstellung von Intensitätskarten wird nicht näher eingegangen. Hier unterscheidet sich das Vorgehen nicht von unverbauten Wildbächen.

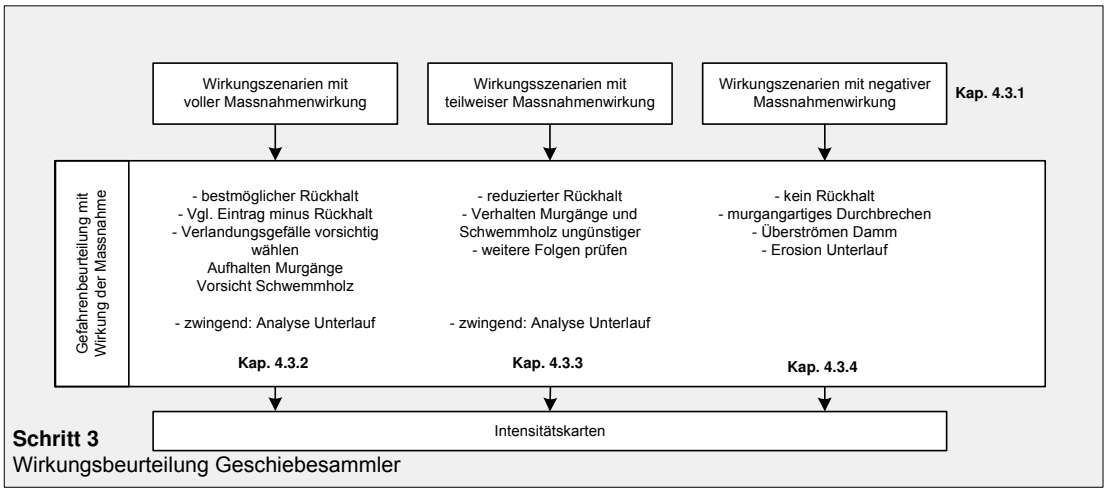



*Abb. 4.6: Arbeitsschema zur Wirkungsbeurteilung von Wildbachsperren.*

### 4.3.1 Massnahmenbeeinflusste Szenarien

In der Wirkungsbeurteilung werden die Wirkungsszenarien unter Berücksichtigung der Schutzmassnahmen und ihrer Zuverlässigkeit bestimmt. Dabei gelten folgende Regeln:

- Hohe Zuverlässigkeit: Der Geschiebesammler ist voll wirksam (maximaler Rückhalt).
- Eingeschränkte Zuverlässigkeit: Der Sammler hat eine reduzierte Wirkung.
  - Eine eingeschränkte Zuverlässigkeit infolge nicht erfüllter Gebrauchstauglichkeit hat einen Einfluss auf die Rückhaltekapazität und damit auf die Prozessintensität im Unterlauf / auf dem Kegel.
  - Eine eingeschränkte Zuverlässigkeit infolge nicht erfüllter Dauerhaftigkeit hat einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit.
- Geringe Zuverlässigkeit: Der Geschiebesammler hat keine Wirkung. Dieses Szenario wird kombiniert mit dem nachfolgenden thematisiert.
- Geringe Zuverlässigkeit und negative Wirkung: Ein Versagen des Sammlers, insbesondere des Auslaufbauwerkes führt zu einer erhöhten Gefährdung.

Unsicherheiten im gesamten Beurteilungsverlauf beispielsweise bei den Prozesseingangsgrössen oder bei der Zuverlässigkeit und Wirkung der Massnahmen können bei der Szenarienbildung berücksichtigt werden.

### 4.3.2 Wirkungsszenario mit hoher Zuverlässigkeit

**mobilisierbares und rückhaltbares Volumen bestimmen Wirkung**

Das Rückhaltevolumen wird verglichen mit dem Geschiebe- und Schwemmholzvolumen, welches bei Ereignissen unterschiedlicher Eintretenswahrscheinlichkeit anfällt. Es wird die Differenz bestimmt, welche in den Unterlauf weitertransportiert wird und dort gefahrenrelevant ist.

**Rückhaltekapazität von Geometrie abhängig**

Die Bestimmung der Rückhaltekapazität ist somit die Schlüsselgrösse. Das Sammlervolumen hängt ab von der Geometrie (z.B. Fläche, Böschungsneigungen), von der Höhe des Auslaufbauwerkes und vom Verlandungsgefälle. Die erstgenannten Grössen sind bei einem bestehenden Bauwerk gegeben, bei der Planung eines neuen häufig durch Rahmenbedingungen (z.B. Topographie) nur eingeschränkt variabel. Die kritische Grösse ist meist das Verlandungsgefälle. Dessen Bestimmung kann vor allem auf Erfahrungswerte abstützen. Gemäss japanischen Untersuchungen ist ein Wert von ½ des ursprünglichen Sohlengefälles vor Ort anzunehmen (Van Dine, 1996). Aus Expertengesprächen ergeben sich einige Hinweise wie „beobachtet 0-15 %, Berechnungsannahmen 4-10 %“ oder „Verlandungsgefälle ca. gleich Bachgefälle“. Generell wird eine zurückhaltende Einschätzung der Rückhaltekubatur gemessen an der realen Ausnützung als richtig empfunden (Romang, 2004). Die Ereignisse in Sachseln 1997 haben gezeigt, dass das Verlandungsgefälle höher sein kann – aber nicht muss – als projektiert (Eicher 2001). Andere Erfahrungen zeigen, dass bei Extrembedingungen das Grenzgefälle, unter dem sich das Geschiebe in Sammlern ablagert, selten grösser als etwa 4 % ist.

**Sensitivitätsanalyse für Verlandungsgefälle**

Für die Wirkungsbeurteilung wird empfohlen, das Verlandungsgefälle vorsichtig anzusetzen und im Sinne einer Sensitivitätsanalyse auch zu variieren. Neben den Erfahrungswerten kann es auch rechnerisch mit Geschiebetransportrechnungen (Gleichgewichtsgefälle) bestimmt werden. Dazu ist eine Kornverteilungskurve mit viel feinem Material anzunehmen.

**Murgänge einbeziehen**

Ein wichtiger Nebeneffekt ist in murfähigen Gerinnen das Abbremsen und Aufhalten von Murgängen. In der Regel darf er dieser bei hoch zuverlässigen und damit voll wirksamen Sammlern in Rechnung gestellt werden, sofern die Rückhaltekapazität genügend gross ist.

**Holzanfall kritisch betrachten**

Vorsichtiger ist der Holzrückhalt zu bewerten. Wenn ein erheblicher Holzanfall aus dem Gebiet zu erwarten ist und der Sammler konzeptionell nicht auf Holzrückhalt ausgelegt ist bzw. konstruktiv (etwa mit einem schrägen Rechen, vgl. Abb. 4.7) vorgesorgt wird, dass das Holz aufschwimmt und den Rechen nicht verklaust, ist mit einem erheblichen Holzeintrag in den Unterlauf zu rechnen. Dieser kann durchaus auch schwallartig auftreten, da sich das Holz beim Aufschwimmen verkeilt und dann paketweise über den Überfall ausgeschwemmt wird.

**Unterlauf ebenfalls beurteilen**

Auch wenn davon nicht direkt die Wirkung des Geschiebesammlers betroffen ist, soll hier auch die notwendige Beurteilung des Unterlaufs betont werden. In Situationen, wo dieser nicht erosionsresistent ausgebildet ist, oder Brücken und andere Hindernisse das allenfalls abgeführte Holz aufhalten, können sich erneute Gefährdungen ergeben, die die Wirksamkeit des Sammlers in der Gesamtbetrachtung wieder stark relativieren. Anders gesagt: Im ungünstigsten Fall entsteht durch die Prozesse im Unterlauf ein ähnlicher Schaden wie er durch den Geschiebesammler verhindert wurde (vgl. Bsp. Sachseln in Petrascheck et al., 1998).



*Abb. 4.7: Rechensperre (Schlitzsperre mit vertikalem schrägem Rechen) in der Guppenruns, Schwanden, GL.*

### 4.3.3 Wirkungsszenario mit eingeschränkter Zuverlässigkeit

**mangelnde Gebaruchstauglichkeit**

Resultiert die Einschränkung aus mangelhafter Gebrauchstauglichkeit, ist in der Regel die Rückhaltekapazität reduziert. Die Restwirkung wird analog Kapitel 4.3.2 beurteilt. Ein nennenswerter Bremseffekt auf Murgänge kann unter Umständen nicht mehr berücksichtigt werden und der Einfluss auf den Holzanfall ist generell ungünstiger. Mit Bezug zu der konkreten Ursache der mangelhaften Gebrauchstauglichkeit (bspw. aus konzeptionellen Gründen) ist zu prüfen, ob weitere unerwartete Konsequenzen wie ein Überströmen des Dammes auftreten können.

**mangelnde Dauerhaftigkeit**

Resultiert die Einschränkung aus der mangelhaften Dauerhaftigkeit ist ernsthaft zu prüfen, ob der Sammler überhaupt noch zu berücksichtigen ist.

### 4.3.4 Wirkungsszenario mit geringer Zuverlässigkeit und negativer Wirkung

**Kollaps des Auslaufbauwerks**

Bei einem schlagartigen Kollaps des Auslaufbauwerkes ist für die Gefahrenbeurteilung auf dem Schwemmkegel die zurückgehaltene Kubatur plus ein allfälliger Zuschlag für den Einstoss aus dem Gebiet zum Zeitpunkt des Versagens einzurechnen. Der Verlagerungsprozesse wäre als murgangartig anzunehmen.

**Massives Überströmen**

Bei einem massiven Überströmen des Dammes an nicht vorgesehener Stelle sind die Mengen abzuschätzen und in der Intensitätskarte abzubilden.

**Folgeschäden im Unterlauf**

Ebenso sind massive Folgeschäden im Unterlauf mit den Methoden der Gefahrenbeurteilung abzuschätzen.

# 5. Fallbeispiel Wildbachverbauung Wilerlibach Kt. Uri

Das Beispiel Wilerlibach wurde gewählt, weil detaillierte Projektunterlagen (Ingenieurbüro DUWAPLAN, Altdorf – Amt für Forst und Jagd Kt. Uri; 2004/2005) zur Verfügung stehen und die Verbauung im Rahmen der Ereignisanalyse nach dem Unwetter vom August 2005 durch die WSL beurteilt wurde. Die Ergebnisse der Ereignisanalyse dienen in erster Linie der Validierung von Aussagen, welche aufgrund der Projektunterlagen (Gefahrenbeurteilung und Schutzmassnahmen), der lokalen Gegebenheiten und der ausgeführten Massnahmen gemacht werden.

**Topographie**

Der Wilerlibach mündet bei Kote 750 m linksufrig in den Schächen. Das Einzugsgebiet beträgt 0,60 km$^2$. Der Wilerlibach verläuft auf einer Länge von rund 350 m von Kote 895 m bis 1035 m in erosionsempfindlichem Lockermaterial. Dieser Bachabschnitt weist ein hohes Gefälle von durchschnittlich 40% auf und war ursprünglich unverbaut. Durch Erosionsprozesse hatte sich der Wilerlibach im Bereich des Lockermaterials im Laufe der Zeit stark eingetieft, was zu steilen, labilen Einhängen führte.

**Verbauung mittels doppelwandiger Holkastensperre**

Zur Stabilisierung der Gerinnesohle und der seitlichen Rutschhänge wurden im Sommer 2005 ab Kote 900 m auf einer Strecke von 100 m 16 doppelwandige Holzkastensperren erstellt (Abb. 5.1). Die Sperrenflügel sind mit Leitwerken aus Rundholz versehen, welche ein Funktionieren bei Murgang sicherstellen (Abb. 5.2).

## 5.1 Grobbeurteilung

### Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

**Bei Unwetter 2005 Sohleneintiefung und Uferrutschung**

Die Hochwasserabflüsse der Unwetter im Jahre 2002 beschleunigten die Prozesse der Sohleneintiefung. In der Folge rutschten die bestockten Uferpartien ab und die labilen Einhänge gerieten in Bewegung. Die rechts- und linksseitige potentielle Rutschkubatur beträgt ca. 30'000 m³.

**Massnahme solle Geschiebeeintrag reduzieren**

Aufgrund der damals herrschenden Situation bestand die Gefahr, dass infolge lang anhaltender Niederschläge oder Starkregen rund 10'000 m³ der Rutschmasse während eines Ereignisses in den Mündungsbereich des Schächens verfrachtet werden konnten. Infolge des murgangartigen Abflusses würde ein solches Ereignis zu einem vorübergehenden Aufstau des Schächens führen. Aufgrund der allgemeinen Gefahrensituation des Schächens war bzw. ist der Geschiebeeintrag aus den Seitenbächen zu minimieren. Die Stabilisierungsmassnahmen im Wilerlibach sind vor allem aufgrund dieses Aspektes zu sehen. Eine Reduktion der Geschiebefracht von ein paar tausend Kubikmetern kann bei einem Grossereignis von grossem Nutzen sein. Mit den projektierten Massnahmen wird indirekt die Ausbruchsgefahr des Schächens bei der Mündung in die Reuss vermindert. Bei der Beurteilung der Wildbachsperren im Wilerlibach geht es jedoch nicht um die Gefahren durch den Schächen sondern in erster Linie um die Wirkung der Verbauung im Zusammenhang mit Geschiebe- und Schwemmholzeintrag (siehe Gesamtkonzept/Schutzziele unten).

**Sperren auf $HQ_{100}$ dimensioniert**

Die Abflusssektionen der Sperren wurden auf einen ca. 100-jährlichen Abfluss (Reinwasser plus Geschiebezuschlag) von 8.8 m³/s ausgelegt. Der Reinwasserabfluss ergab sich als Mittel zwischen den Methoden HAKESCH (BWG, 2003) und Kölla-HQ-meso-CH (Kölla, 1987) zu ca. 6.5 m$^3$/s (spezifischer Reinwasserabfluss ca. 10.8 m³ km$^2$ s$^{-1}$). Der Geschiebeanteil wurde mit 50 % (Raumgewicht des Gesteins 17 kN/m³ unter Wasser gewogen) zu ca. 2.0 m³/s eingesetzt.

**Hanginstabilitäten durch Erosionsprozesse und Infiltration**

Unterhalb der Verbaustrecke verläuft das Gerinne auf Fels. Die Erosionsprozesse im (unverbauten) Bach sowie Infiltration in den Hängen stellten die Hauptgründe für die Hanginstabilitäten dar. Dabei trat an verschiedenen Stellen Ufererosion auf und einzelne übersteile Hangpartien rutschten ins Gerinne ab (Abb. 5.1, Abb. 5.2 und Abb. 5.3).



*Abb. 5.1: Wilerlibach Heli-Aufnahme am 21.10.2005 nach Abschluss der Bauarbeiten (H. Duss).*

## Schutzmassnahmen und Verfügbarkeit

**Charakteristik der Massnahme**

Das Schluckvermögen der Abflusssektionen wurde für ein 100-jährliches Ereignis nachgewiesen. Die Sperrentreppe erfüllt im Wesentlichen die Vollverbau-Kriterien. Die doppelwandigen Holzkasten-Sperrenkörper (Höhe ca. 1.5 m bis maximal 4.0 m) mit aufgesetzten Holzkasten-Flügeln (Höhe 1.25 m) und (Flügel-) Leithölzern sind nach den Regeln der Baukunde ausgeführt (Böll et al., 1999) und können als tragsicher vermutet werden. Diese Vermutung wurde durch die Untersuchungen nach den Unwetterereignissen vom August 2005 bestätigt (Abb. 5.2). Da die Sperrentreppe nach Norden ausgerichtet und von bewaldeten Einhängen umgeben ist, dürfen die Bedingungen für die Lebensdauer als günstig beurteilt werden. Systematische Überwachung und konsequenter Unterhalt vorausgesetzt, kann mit einer permanenten Verfügbarkeit von ca. 40 bis 60 Jahren gerechnet werden.



*Abb. 5.2: Sperrentreppe im Wilerlibach 2005 unmittelbar nach den August-Unwetterereignissen (Aufnahme H. Duss). Starke Geschiebeablagerungen; insbesondere steile Hinterfüllung der Sperrenflügel. Die Erosionserscheinungen an den Ufern waren grösstenteils bereits vor dem Unwetter dokumentiert. Rechts im Bild ist die Schaufel des beim Unwetter zerstörten Schreitbaggers zu erkennen. Die beiden im Gerinne liegenden Kunststoffrohre stammen aus der Wasserhaltung, welche vor und während der Bauarbeiten in Betrieb war.*

## Negative Wirkungen

**Bei Kollaps geringe negative Wirkung**

Bei Versagen einer mit Geschiebe hinterfüllten Wildbachsperrengruppe besteht grundsätzlich die Gefahr, dass grosse Geschiebemengen schwallartig zum Abfluss kommen. Durch die Steilheit des (unverbauten) Gerinnes, die verhältnismässig niedrigen Bauwerke, die geringen Sperrenabstände und die beschränkte Länge der Verbaustrecke wäre die anfallende Geschiebemenge im vorliegenden Fall verhältnismässig gering. Eine grobe und eher konservative Schätzung anhand der Profile ergibt ein potenzielles Geschiebevolumen aus der gesamten Verbaustrecke von etwa 2'400 m³. Unter Berücksichtigung der geringen Wahrscheinlichkeit des Kollapses der ganzen Sperrentreppe und der grossen Geschiebekubaturen, die bei nicht vorhandener Verbauung anfallen würde (siehe Gefahrensituation und Prozesskenntnisse), kann dies vernachlässigt werden. Bei Versagen der Sperrentreppe wäre allerdings noch mit einem Eintrag von Schwemmholz (325 m³ verbautes Rundholz) zu rechnen.

Kritische Zustände durch Sohlenanhebung (Gerinneausbrüche) dürfen aufgrund der Querprofile völlig ausgeschlossen werden.

### Gesamtkonzept

**Einzelne offene Rutschflächen geringer Bedeutung**

Die Wildbachsperren sind in das in den Projektunterlagen skizzierte Gesamtkonzept eingebunden. Abgesehen von den durch die Sperrentreppe beeinflussten Uferanbrüchen und Hanganrissen (Abb. 5.3) gibt es oberhalb und unterhalb der Verbaustrecke einzelne offene Rutschflächen von untergeordneter Bedeutung. Zum Schutz dieser Flächen wurden waldbauliche Massnahmen ausgeführt bzw. in die Wege geleitet.

**Schutzziele**

Die Schutzziele der Verbauung sind: Fusssicherung der Gerinneeinhänge zur Reduktion des Geschiebeeintrages, Reduktion der Geschiebefrachten und des Schwemmholzeintrages in den Schächen sowie Schutz eines oberhalb einer Rutschfläche gelegenen Wohnhauses und zwei Ställen (Abb. 4.5).

**Schutzziele erfüllt**

Das Verbaukonzept gewährleistet grundsätzlich die Erfüllung der Schutzziele. Im Weiteren berücksichtigt es die lokalen Gegebenheiten bezüglich der Sicherheit der Sperrentreppe (Gerinne auf Fels unterhalb der Verbaustrecke). Die Untersuchungen nach den Unwetterereignissen vom August 2005 zeigten dann auch, dass sich die Sperrentreppe unter extremen Bedingungen als Hangfusssicherung bewährt hat. Bezüglich der Hangneigungen ist allerdings Vorsicht geboten. Diese liegen zum Teil bei ca. 38°, was für das anstehende Bodenmaterial (Moräne auf Altdorfer Sandstein) zu lokalen Problemen führen kann. Die Flächen sind zu beobachten und gegebenenfalls sind ergänzende ingenieurbiologische Massnahmen anzuordnen.

### Relevanz

**Hohe Relevanz gegeben**

Die Massnahmen beeinflussen unmittelbar die im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermittelten massgebenden Flächen für Geschiebe- und Schwemmholzeintrag, indem sie die notwendige Voraussetzung zu deren Stabilisierung liefern. Aufgrund dieser Tatsache, der den Gegebenheiten angepassten Sperrenanordnung und der prognostizierten (und im Rahmen der Ereignisanalyse bestätigten) Stabilität der Bauwerke darf eine hohe Relevanz angenommen werden.

Die oben gemachte Bemerkung zu den Hangneigungen bezieht sich in erster Linie auf lokale Hanginstabilitäten. Sie ist im Rahmen der vorgesehenen waldbaulichen Massnahmen und der notwendigen Überwachung (insbesondere langfristig für das Schutzziel Wohnhaus und Ställe) zu berücksichtigen.

### Fazit Grobbeurteilung

Die Massnahmen erfüllen die Kriterien für weitere Abklärungen.

## 5.2 Massnahmenbeurteilung

### Grundlagen Prozesse

Die allgemeinen Grundlagen (Abfluss, Geschiebe, Gerinnesohle unterhalb der Verbaustrecke, Seiteneinhänge) wurden anhand der Projektunterlagen bei der Grobbeurteilung dargestellt und können für die Massnahmenbeurteilung übernommen werden. Bezüglich der Gefährdungsbilder für die Sperren spielen folgende Einwirkungen eine zusätzliche Rolle: Geschiebeeinwirkungen auf die Sperren (-Flügel), Ablagerungen zwischen den Sperren (Geschiebe, Schwemmholz und seitliche Rutschungen), Ufererosion. Abgesehen von der mechanischen Beanspruchung könnte daraus grundsätzlich ein Umfliessen einzelner Sperren resultieren.

Da die Sperrentreppe lediglich eine Teilstrecke des Gerinnes abdeckt, ist mit Geschiebeeintrag, Geschiebeablagerung und Schwemmholz von oben in die Verbaustrecke zu rechnen. Auch Ablagerungen aus seitlichen Rutschflächen sind nicht auszuschliessen. Wie Abb. 5.2 zeigt, war Ufererosion vor dem Bau der Massnahmen ein massgebendes Phänomen. Durch die Verbauung wird dieses weitgehend entschärft. Weil mögliche Ablagerungen zwischen den Sperren die Funktionstauglichkeit beeinträchtigen, könnte aber Ufererosion in Zukunft wieder zu einem Problem werden. Bedingt durch die geringen Sperrenabstände (maximal ca. 8 m) dürfte es sich dabei eher um lokale Probleme zwischen einzelnen Sperren handeln.

**Geschiebe und Schwemmholzeintrag aus Bereichen oberhalb der Verbauung**

Anlässlich der Unwetterereignisse 2005 ergab sich die Haupteinwirkung auf die Sperren tatsächlich aus starker Geschiebeführung (murgangartige Abflüsse) mit entsprechenden Ablagerungen und steiler Hinterfüllung von Sperrenflügeln (Abb. 5.2). Der Schwemmholzanfall war hingegen sehr gering, was vor allem auf die waldbaulichen Massnahmen zurückzuführen war. Die Verbauarbeiten waren damals übrigens noch nicht abgeschlossen. Im Rahmen des Unterhaltes von Gerinne und Einhängen zeitgerecht durchgeführte waldbauliche Massnahmen können auch in Zukunft den Schwemmholzeintrag so gering halten, dass dieser für die Verbauung als Ganzes keine massgebende Gefahr darstellt.

**Hohe Geschiebeführung bei Unwetter 2005**

### Überlastfälle

Die Überlastfälle ergeben sich aus den oben skizzierten Prozessen und treten ein, sofern diese in extremer Weise auftreten und dadurch die Funktionstüchtigkeit der Sperren (insbesondere das Schluckvermögen der Abflusssektionen) stark eingeschränkt ist.

Allgemein darf angenommen werden, dass sich die als Gewichtsmauern konzipierten, mit Leitwerken versehenen und relativ flexiblen Holzkastensperren in Bezug auf die hier relevanten Überlastfälle recht gutmütig verhalten.

**Gutmütiges Verhalten bei Überlastfall**

Da die Seiteneinhänge aus recht standfestem Material bestehen, können tiefgründige Bodenbewegungen, mit Einwirkungen senkrecht zu Gerinnesohle (Knicken der Sperren), ausgeschlossen werden.

**Keine tiefgründigen Bodenbewegungen bei Seiteneinhängen**

Die extremen Einwirkungen anlässlich der Unwetterereignisse 2005 stellten den Überlastfall dar, mindestens was den Abfluss und die Geschiebeeinwirkungen auf die Sperrenkörper (im kritischen Bauzustand) und die Sperrenflügel betrifft. Die Schäden waren gering und konnten leicht behoben werden

**Geringe Schäden bei Unwetter 2005**

### Grundlagen Massnahmen

Die zur Beurteilung der Bauwerke erforderlichen Daten ergeben sich aus den detaillierten Projektunterlagen und der Ereignisanalyse nach den Unwettern 2005 durch die WSL.

### Überprüfung der Tragsicherheit

Wie oben erwähnt, handelt es sich um Holzkastenkonstruktionen. Diese sind nach den Regeln der Baukunde (Böll et al., 1999) ausgeführt und seitlich gut in die Flanken eingebunden. Der Zustand der heute erst etwa zweijährigen Sperren ist sehr gut.

**Tragsicherheit gegeben**

Die Verbauung wurde während der Unwettereignisse 2005 bereits mit extremen Einwirkungen beaufschlagt. Die Tragsicherheit der einzelnen Sperren und der Verbauung als Ganzes war erfüllt und kann, nach Behebung einzelner Schäden, nach wie vor als erfüllt vorausgesetzt werden. Die Schäden betrafen vor allem einzelne Sperrenflügel. Insgesamt erwies sich sowohl die Gesamtstabilität der Holzkasten-Sperrenkörper als auch das Tragverhalten der Holzkasten-Flügel als

**Tragsicherheit bei Unwetter 2005 erfüllt**

unempfindlich auf die Einwirkung aus starker Geschiebeführung. Bedingt durch die sorgfältige seitliche Einbindung waren keine Schäden an den Flanken im Auflagerbereich zu verzeichnen.

**Bei Unterhalt 40-60 Jahre tragsicher**

Da die Sperrentreppe nach Norden ausgerichtet und von bewaldeten Einhängen umgeben ist, dürfen die Bedingungen für die Lebensdauer und damit für die Tragsicherheit als günstig beurteilt werden. Systematische Überwachung und konsequenter Unterhalt vorausgesetzt, kann eine ausreichende Tragsicherheit während etwa 40 bis 60 Jahren prognostiziert werden.

### Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit

**Abfluss soll innerhalb der Abflusssektion bleiben**

Die im Rahmen der Tragsicherheit betrachteten Gefährdungsbilder können sich ungünstig auf die Funktionstüchtigkeit auswirken. Im vorliegenden Fall geht es vor allem um den schadlosen Abfluss innerhalb der Abflusssektionen. Dieser kann durch die oben erwähnten Prozesse eingeschränkt werden bzw. es kann sich Abfluss über die ganze Sperrenbreite einstellen (Überfluten der Sperrenflügel). Daraus resultierende Schäden an den Uferböschungen können schliesslich die Tragsicherheit gefährden und ausserdem zu einem Umfliessen der Sperren führen.

**Umfliessen der Sperren ausgeschlossen**

Die als Gewichtsmauern konzipierten Sperren im Wilerlibach mit ihren weit in die Uferböschungen reichenden Einbindungen sind, wie bereits erwähnt, recht unempfindlich auf Schäden im Auflagerbereich. Durch die Geometrie der Querprofile (steile und hohe Böschungen) ist zudem ein Umfliessen der Sperren praktisch ausgeschlossen.

**Funktionstüchtigkeit bei Unwetter 2005 erfüllt**

Während der Unwetterereignisse 2005 wurde das Schluckvermögen der Abflusssektionen bis zur Kapazitätsgrenze und zum Teil darüber hinaus beansprucht. Dabei wurden verschiedene Sperren auf ihrer ganzen Breite überflossen. Trotz starker Geschiebeführung waren danach bei den meisten Sperren noch beide Flügel vorhanden. Die Funktionstüchtigkeit der einzelnen Bauwerke und der Verbauung als Ganzes war weitgehend erfüllt und kann, nach Behebung einzelner Schäden, nach wie vor als erfüllt vorausgesetzt werden. Systematische Überwachung und konsequenter Unterhalt vorausgesetzt, kann eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit während etwa 40 bis 60 Jahren prognostiziert werden.

### Überprüfung der Dauerhaftigkeit

**Dauerhaftigkeit gegeben**

Der Vergleich der vorhandenen und prognostizierten Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Funktionstüchtigkeit) mit dem für die Schutzziele relevanten Zeitraum von ca. 100 Jahren zeigt, dass die Anforderungen während der vorausgesetzten Lebensdauer (ca. 40 bis 60 Jahre) im Wesentlichen ohne unvorhergesehenen Aufwand für die Instandstellung erfüllt bleiben. Dies betrifft sowohl die einzelnen Sperren als auch die Verbauung als Ganzes.

**Waldbauliche Massnahmen an seitlicher Rutschfläche nötig**

Bezüglich dem Verhalten der seitlichen Rutschflächen (Abb. 5.3) und ihren möglichen Auswirkungen auf die Verbauung und die Erfüllung der Schutzziele, ist diese Aussage allerdings an die Voraussetzung geknüpft, dass die vorgesehenen waldbaulichen Massnahmen durchgeführt und nötigenfalls ergänzende ingenieurbiologische Massnahmen angeordnet werden.

### Bestimmung der Zuverlässigkeit

**Hohe Zuverlässigkeit der einzelnen Sperren und des Gesamtsystems**

Aufgrund der Beurteilung von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit ergibt sich sowohl für die einzelnen Sperren als auch für die Verbauung als Ganzes eine hohe Zuverlässigkeit (Versagenswahrscheinlichkeit $< 10\%$) für ein 100-jährliches Ereignis innerhalb der angegebenen Lebensdauer von 40 bis 60 Jahren. Für das 300-jährliche Ereignis ergibt sich ebenfalls eine hohe Zuverlässig-

keit für die Tragsicherheit der Sperrenkörper. Schäden an den Sperrenflügeln sind jedoch nicht auszuschliessen. Weil die Sperren als Gewichtsmauern konzipiert sind, ist deswegen nicht mit einem Kollaps zu rechnen. Bezüglich des für die Schutzziele relevanten Zeitraums ist die Zuverlässigkeit an die Voraussetzung geknüpft, dass die Sperrentreppe rechtzeitig erneuert wird.

**Bei Überlastfall kein Kollaps**

Wie die Untersuchungen nach den Unwettern 2005 zeigten, berücksichtigt das Bemessungsereignis die tatsächlich zu erwartenden Gefährdungsbilder. Auch im Überlastfall ist kein Kollaps der Sperrentreppe zu befürchten.

**Hohe Zuverlässigkeit als Hangfusssicherung**

Die Verbauung hat sich auch als Hangfusssicherung bewährt. Für die Wirkung der Verbauung als Hangfusssicherung kann ebenfalls eine hohe Zuverlässigkeit angegeben werden. Daraus resultiert auch die notwendige Voraussetzung für den Erfolg der vorgesehen waldbaulichen und nötigenfalls ingenieurbiologischen Massnahmen in den Seiteneinhängen.

### Fazit Massnahmenbeurteilung

Systematische Überwachung, konsequenter Unterhalt und rechtzeitige Erneuerung vorausgesetzt, erfüllen die Sperren die Kriterien für weitere Abklärungen.

## 5.3 Wirkungsbeurteilung

### Massnahmenbeeinflusste Szenarien

**Ziel der Massnahme**

Bezüglich der Wirkung der Massnahmen ist ihr Einfluss auf die für die Schutzziele relevanten Gefahrenprozesse (Szenarien) zu untersuchen. Es geht dabei um:

- Reduktion der Geschiebefrachten in den Schächen um ca. 10'000 $m^3$ (Abb. 5.3);
- Schutz eines Wohnhauses und zweier Ställe, die sich innerhalb der rutschgefährdeten Zone befinden (Abb. 5.3);
- Reduktion des Eintrages von Schwemmholz in den Schächen.

### Prozessbeurteilungen unter Berücksichtigung der Massnahmen

Prozessbeurteilungen unter Berücksichtigung der Massnahmenwirkungen liefern die Grundlagen zur Beurteilung von Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten für die relevanten Szenarien.

### Wildbachsperren als Hangfusssicherung

**Zuverlässigkeit im Bereich der Verbaustrecke gegeben**

Aufgrund ihrer Anordnung und Zuverlässigkeit gewährleistet die Sperrentreppe die Hangfusssicherung im Bereich der Verbaustrecke. Ob die Hangfusssicherung zur Stabilisierung der gesamten Einhänge (in ihrem Einflussbereich) genügt, kann hier nicht abschliessend beurteilt werden. Die Hangstabilitäten und deren zeitliche Entwicklung (Erosions-Rutsch-Prozesse) sind zu überprüfen.

**Bei Kubatur nur grobe Schätzung möglich**

Sofern Hangrutschungen innerhalb der prognostizierten Lebensdauer von ca. 40 bis 60 Jahren bzw. nach erfolgter Erneuerung auch später eintreten, wird sich der Feststofftransport im Gerinne nicht wesentlich erhöhen. Für den Extremfall, bei dem Rutschung und Abtransport im gleichen Ereignis eintreten, wird eine zusätzliche Kubatur von ca. 2'000 $m^3$ bis 3'000 $m^3$ abgeschätzt. Gegenüber der angestrebten Reduktion des Geschiebeeintrages in den Schächen um ca. 10'000 $m^3$ würde dies nur noch eine solche von ca. 7'000 $m^3$ bis 8’000 $m^3$ bedeuten. Es ist hier allerdings klar festzuhalten, dass alle diese Zahlen grobe Schätzungen sind. Gemäss den Projektunterlagen kann bei einem Grossereignis eine Reduktion der Geschiebefracht des Schächens um ein paar tausend Kubikmeter für den Siedlungsraum in

der Reussebene von grosser Bedeutung sein. Ein so modifiziertes Schutzziel wäre demnach immer noch erfüllt.

**Schutz des Wohnhauses nicht beurteilbar**

Für das Schutzziel Wohnhaus und zwei Ställe ist die Hangfusssicherung notwendig. Ob sie auch hinreichend ist, kann hier nicht beurteilt werden (siehe Bemerkungen oben).

**Schwemmholzreduktion von waldbaulichen Massnahmen abhängig**

Die Hangfusssicherung stellt auch für das Schutzziel Reduktion des Schwemmholzeintrages in den Schächen eine wichtige Voraussetzung dar. Die tatsächliche Reduktion bei einem Extremereignis hängt indessen stark von den waldbaulichen Massnahmen ab.



*Abb. 5.3: Wilerlibach mit Einmündung in den Schächen. Aufnahme H. Duss November 2005 (nach den Unwettern). Das Wohnhaus und die zwei Ställe befinden sich in Bildmitte im Bereich der Verbauung, linksufrig und oberhalb der Rutschfläche. Im Einmündungsbereich gab es praktisch keine Geschiebeablagerungen durch die Unwetter.*

### Wildbachsperren als Sohlensicherung

Sohlenversicherung unterhalb Sperre nicht notwendig

Die Funktion der Sperrentreppe als Sohlensicherung dient der Hangfusssicherung. Eine reine Sohlensicherung, wie sie etwa unterhalb von Wildbachsperren bei Gerinnen im Lockermaterial notwendig ist, ist nicht vorhanden und auch nicht erforderlich weil das Gerinne dort auf Fels verläuft.

### Fazit Wirkungsbeurteilung

Schutzziel mit Einschränkung erfüllt

In Bezug auf das Schutzziel „Reduktion der Geschiebefrachten in den Schächen um ca. 10'000 $m^3$“ erfüllt die Verbauung die Kriterien der Wirkungsbeurteilung mit gewissen Einschränkungen bezüglich der Kubatur.

Erfolg von waldbaulichen Massnahmen abhängig

Bedingt durch die Interaktionen zwischen den Einhängen und dem Gerinne, gelten die gleichen Einschränkungen auch für das Schutzziel „Wohnhaus und zwei Ställe“ und ebenso für das Schutzziel „Reduktion des Schwemmholzeintrages in den Schächen“. Der Grund liegt in der längerfristigen Stabilität der seitlichen Einhänge. Diese hängt nicht zuletzt auch von den waldbaulichen Massnahmen und den gegebenenfalls erforderlichen Ingenieurbiologischen Sicherungsarbeiten in den Hängen ab.

### Intensitätskarten, Gefahrenkarten

Auf die Darstellung solcher Karten wird hier aus folgenden Gründen verzichtet:

- Die Gefahrensituation der Siedlungsräume von Schächen und Reuss wird in erster Linie durch das Verhalten dieser Gerinne bestimmt. Wie aus den Schutzzielen hervorgeht, liefern die Massnahmen im Wilerlibach einen zwar nicht unwichtigen, im Gesamtrahmen aber doch recht bescheidenen Beitrag zur allgemeinen Gefahrenreduktion.
- Für den Schächen ist insgesamt mit sehr grossen Geschiebekubaturen zu rechnen. So weist die Geschiebestausperre Stiglissammler im Schächen (Abb. 5.3) oberhalb des Dorfes Bürglen (unterhalb der Einmündung des Wilerlibaches) ein Fassungsvermögen von ca. 100'000 $m^3$ auf. Im Zusammenhang mit den Schutzzielen für den Wilerlibach (gemäöss Projektunterlagen) wird festgehalten, dass der Stiglissammler damit eine beschränkte Kapazität aufweist, und dass deshalb die Geschiebeeinträge der Zuflüsse des Schächens, insbesondere im Mittel- und Unterlauf möglichst zu minimieren sind. Entsprechend ist derzeit ein Hochwasserschutzkonzept Schächen in Bearbeitung.

Massnahmen im Wilerlibach erfüllen Forderungen

Was den Wilerlibach betrifft, konnte hier gezeigt werden, dass diese Forderung durch die Verbauung weitgehend erfüllt ist. Dies konnte übrigens mit einem sehr bescheidenen Einsatz an Mitteln erreicht werden. Gemäss Schlussabrechnung des Unternehmers betrugen die Gesamtkosten für die Sperrenverbauung (ohne Rundholz, Projektierung und Bauleitung) Fr. 138'415,05 was einen durchschnittlichen Betrag pro Sperre von ca. Fr. 8'700.- ergibt.

Unter der Voraussetzung des Eintretens von Ereignissen verschiedener Jährlichkeiten innerhalb der angegebenen Lebensdauer der Verbauung, bzw. nach rechtzeitiger Erneuerung, liefert eine grobe Abschätzung bezüglich der Reduktion des Geschiebeeintrages in den Schächen folgendes:

- Reduktion um ca. 10'000 $m^3$ für 30- bis 100-jährliche Ereignisse;
- Reduktion um ca. 7'000 $m^3$ bis 8'000 $m^3$ für ein 300-jährliches Ereignis.

# 6. Beispiel Geschiebesammler Spissibach (Leissigen)

## 6.1 Grundlagen

### Das Einzugsgebiet

**Topographie**

"Das Einzugsgebiet (siehe Abb. 6.1) erstreckt sich vom Morgenberghorn (2249 m ü. M.) bis hinunter zum Delta in den Thunersee (558 m ü. M.). Es bedeckt eine Fläche von 2.6 km$^2$. Die mittlere Steilheit des Einzugsgebietes beträgt 28°, das Gefälle des Gerinnes im Mittel 18.8°. 45% des Einzugsgebiets sind von Wald bedeckt, 43% mit Weideland oder Feuchtwiesen." (Frick, 2007).

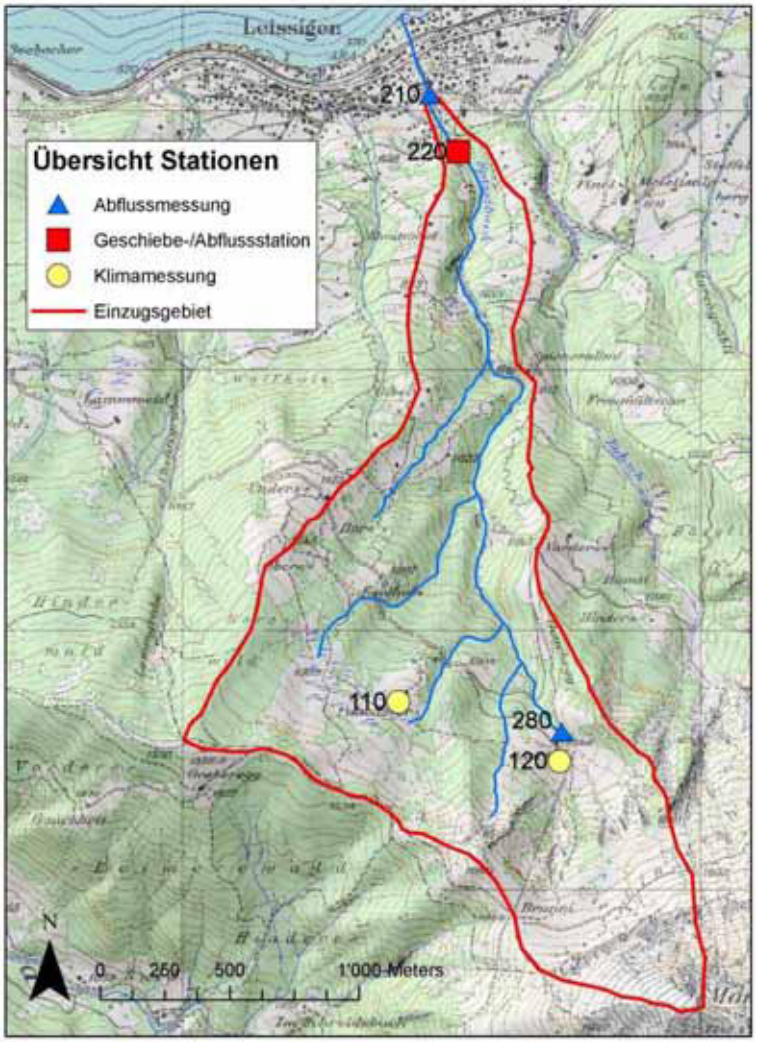



*Abb. 6.1: Das Einzugsgebiet des Spissibachs mit den Messstationen.*
*Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (Ja082265).*

### Geologie und Geomorphologie

**Zahlreiche Hangprozesse**

"Der obere Teil des Einzugsgebiets des Spissibachs liegt im Bereich der Wildhorndecke (Helvetikum), der untere Teil im Ultrahelvetikum. Der Gipfelbereich des Morgenberghorns besteht aus resistenten Kieselkalken, während im daran anschliessenden unteren Teil des Einzugsgebietes verwitterungsanfällige Flysch-

formationen vorherrschen. Diese hohe Erodierbarkeit des Gesteins kombiniert mit dem grossen Sohlengefälle ist als Hauptursache für die zahlreichen Hangprozesse anzusehen. Die Flyschzone vom Baachli (1400 m ü. M.) bis hinunter zum Schuttfächer im See ist teilweise mit glazialen Sedimenten lokaler Gletscher (im oberen Bereich) und des Aaregletschers bedeckt.

**Drei grosse Rutschgebiete**

Das prägende Landschaftselement sind die vielen substabilen bis wenig aktiven Rutschungsflächen, die hauptsächlich auf Talzuschübe zurückzuführen sind. Es können drei grössere Rutschgebiete ausgemacht werden: Gebiet Hinderwald-Lammweid, Gebiet Greberegg-Egelholz und das Gebiet Vorderes Ramsi. In diesen Gebieten sind oder waren die Hänge grossflächig und tiefgründig, mehr oder weniger stark in Bewegung. Zusätzlich kommen in diesen Gebieten auch kleinere, meist jüngere Rutschungen vor. Diese Hauptrutschgebiete sind praktisch auf die Flyschzone beschränkt. In den übrigen Gebieten, weitgehend übereinstimmend mit den Bereichen der Wildhorndecke, treten praktisch nur kleinere Rutschungen auf.

**In Steilhängen Sturzprozesse**

In den steilen Flanken des Morgenberghorns und des Leissiggrates treten als dominante Prozesse Sturzprozesse wie Stein-, Blockschlag und Felsstürze auf. Die Steilhänge sind von zahlreichen Felsbändern durchzogen, aus denen sich Steine und Blöcke lösen können.

Allgemein kann aufgrund der vorherrschenden Geologie im ganzen Untersuchungsgebiet davon ausgegangen werden, dass unterhalb von Felsaufschlüssen Steinschlag auftreten kann.

**Vielfältige Gerinnecharakteristik**

Die Gerinnecharakteristik ist sehr vielfältig. Umlagerungsstrecken wechseln mit erosiven Abschnitten, Akkumulationen und Beharrungsstrecken. Im Siedlungsbereich ist das Gerinne weitgehend verbaut." (Frick, 2007).

### Frühere Ereignisse

**Deutliche Murgangspuren**

Im Kegelbereich finden sich deutliche Spuren früherer Murgänge. Eine Übersicht über frühere Ereignisse gibt Tab. 6.1.

*Tab. 6.1: Dokumentierte Ereignisse im Spissibach (aus Geo7, 2007).*

| | |
|---|---|
| 01.07.1930 | Nach Gewitter mit Hagelschlag führt der Spissibach viel Geschiebe, so dass eine Verstopfung der Bahnbrücke drohte. Ablagerung von ca. 300 $m^3$ Geschiebe. |
| 25.03.1955 | Nach einer Rutschung im sog. Gruebi wurde die Staatsstrasse sowie die Bahngeleise von ca. 10'000 $m^3$ Geschiebe überführt. |
| 27.07.1969 | Durch intensive Gewitterniederschläge tritt der Spissibach über die Ufer. Durch Schlamm und Geröll werden grosse Teile des Dorfes überführt (Bahnhofareal, Staatsstrasse sowie diverse Häuser). |
| 22. / 23.08.1969 | Nach einem Gewitter musste Geröll aus dem Bachbett entfernt werden. |
| 20. / 21.08.1983 | Nach Gewitter musste der überlaufende Geschiebesammler entleert werden (ca. 3000 $m^3$). |
| 06.07.1987 | Der Geschiebesammler (ca. 3000 $m^3$) wurde vollständig gefüllt, der Spissibach drohte nach rechts auszubrechen. |
| 30.06. / 31.07. / 08.08.1993 | 3000 $m^3$ aus Geschiebesammler entnommen ca. 1000 weitere flossen über den Sammler hinweg. |
| 03.07. / 11.07. 1995 | Nach Gewitterniederschlägen musste der Geschiebesammler geleert werden (ca. 1700 $m^3$). |
| 07.08.1995 | Geschiebesammler gefüllt (ca. 3000 $m^3$). |

**1955 Schaden durch Murgang**

Am 25. März 1955 ergoss sich um 18.30 Uhr ein Murgang aus dem Gerinne des Spissibaches ins Dorf. Die Staatsstrasse, sowie das Bahngeleise der BLS wurden überschüttet, da die Durchlässe bei der Strassenbrücke durch grobe Blöcke (2 bis 5 m³ Volumen) und Holz verstopft wurden. Die Strasse wurde auf ca. 60 Metern mit 1.5 bis 2 m Schutt eingedeckt. Die Geschiebeablagerungen wurden auf ca. 10'000 m³ geschätzt. Die Wiederherstellungskosten beliefen sich auf rund 25'000 Fr. Der Murgang wurde durch eine Rutschung im Kummgraben, Kote 850 m linke Einhänge des Spissibachs ausgelöst. Als Ursache wurde die starke Vernässung nach der Schneeschmelze angenommen. Als Sofortmassnahme wurde das Oberflächenwasser im Gebiet 'Grubi' abgeleitet.

**Geschiebesammler 1976/1977 gebaut**

In der Folge des Unwetters vom 27. Juni 1969 wurden die Leissiger Wildbäche verbaut. So wurde im Spissibach 1976/77 der Geschiebesammler (3000 $m^3$) erstellt. In einer weiteren Etappe wurde in den Jahren 1981/82 die Abflussrinne im Unterlauf bis zur Mündung in den Thunersee erneuert und vergrössert.

**Füllung des Geschiebesammlers**

Nach den zwei Ereignissen am 30. Juni und 8. August 1993 wurden dem Sammler insgesamt 2900 m³ Geschiebe, Schwebstoffe und Holz entnommen (mit Lastwagen abgeführte Menge). Beim Ereignis vom 31.7.93 überschritt die Feststofffracht die Kapazität des Sammlers, der von vorangehenden Ereignissen schon recht gut gefüllt war. Aufgrund der Angaben von Anwohnern kann davon ausgegangen werden, dass während etwa einer Stunde Material durch den Sammler hindurch direkt in den Thunersee transportiert wurde. Das dabei verlagerte Feststoffvolumen ist schwer abzuschätzen, dürfte aber mehrere 100 $m^3$ bis wenige 1000 $m^3$ betragen haben. Das Ereignis vom 31.7.93 wies damit die grösste der bis jetzt beobachteten Feststofffrachten auf.

Nach dem Hochwasser am 11. Juli 1995 mussten dem Geschiebesammler 1600-1700 $m^3$ Geschiebe entnommen werden (Angaben anhand Lastwagenfahrten). "Für die Ereignisse vom 3.7. und 11.7.95 konnte nur die gemeinsame Feststofffracht bestimmt werden. Aufgrund der Angaben von Anstössern kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das erste Ereignis deutlich das grössere war. Bei diesen Ereignissen ist der Geschiebesammler nicht vollständig gefüllt worden. Es darf deshalb davon ausgegangen werden, dass nur ein kleiner Teil der aufgetretenen Feststofffracht durch die Öffnungen im Abschlussbauwerk hindurchtransportiert wurde. Die gesamte Feststofffracht wird somit nur wenig über der gemessenen liegen. Beim Ereignis vom 7.8.95 war der Sammler wieder voll ausgebaggert, und die gesamte Feststofffracht konnte, abgesehen vom Verlust durch die Öffnungen im Abschlussbauwerk, zurückgehalten werden." (Kienholz et al., 1998).

### Niederschlag und Abfluss

**Extremniederschläge**

"Gemäss dem hydrologischen Atlas (1997) sind für das Untersuchungsgebiet folgende Extremniederschläge zu erwarten:

- Niederschlagsdauer 1 Stunde; Wiederkehrperiode 2.33 Jahre: 20 mm
- Niederschlagsdauer 1 Stunde; Wiederkehrperiode 100 Jahre: 45 mm
- Niederschlagsdauer 24 Stunden; Wiederkehrperiode 2.33 Jahre: 55 mm
- Niederschlagsdauer 24 Stunden; Wiederkehrperiode 100 Jahre: 110 mm

**schnelle Reaktion des Einzugsgebietes**

Das Einzugsgebiet reagiert im Allgemeinen sehr schnell, so dass eine halbe Stunde nach dem intensivsten Niederschlag bereits die Abflussspitze auftritt. Bei längeren Ereignissen können zwei Abflussspitzen beobachtet werden. Die zweite Spitze stammt wahrscheinlich aus dem Teileinzugsgebiet Baachli (Einzugsgebiet der Station 120 gemäss Abb. 6.1), wo das Wasser in einem Bereich mit Schuttmassen

zwischengespeichert werden kann. Im ansteigenden Teil der Hochwasser-Abfluss-ganglinie reagieren die Teileinzugsgebiete zwar relativ ähnlich, im absinkenden Teil aber ziemlich verschieden. Diese Resultate zeigen die signifikante räumliche und zeitliche Variabilität von Hochwassern in alpinen Wildbächen." (Frick, 2007)

Die meisten der nachfolgenden Angaben basieren auf dem Entwurf zum Bericht Gefahrenkarte Leissigen (Geo7, 2007).

*Tab. 6.2: Abflussspitzen im Spissibach (aus Geo7, 2007).*

| EZG | $HQ_{30}$ | $HQ_{100}$ | $HQ_{300}$ | $hQ_{100}$ |
|---|---|---|---|---|
| 2.6 $km^2$ | 6.5 $m^3/s$ | 11 $m^3/s$ | 14 $m^3/s$ | 3.8 $m^3/s/ km^2$ |

## Abgeschätzte Geschiebefrachten

**Durch Feldbegehung Abschätzung der Geschiebefracht**

Die Geschiebefrachten wurden "aufgrund von Felderhebungen abgeschätzt. Die massgebenden Gerinneabschnitte wurden im Gelände beurteilt und die Erosions-leistung eines 100-jährlichen Hochwasser- und Murgangereignisses abgeschätzt. Dabei wurden die vorhandenen Geschiebeherde (Geschiebeakkumulationen im Gerinne) erfasst sowie mögliche Geschiebelieferungen durch Rutschungen und Erosion der Bacheinhänge abgeschätzt. Geschiebeablagerungen im Einzugsgebiet wurden berücksichtigt. Ein langandauerndes Ereignis mit grosser Geschiebefracht wurde dabei ebenfalls berücksichtigt. Die Verbauungen in den Einzugsgebieten wurden bezüglich ihrer Wirkung auf den Geschieberückhalt beurteilt." (Geo7, 2007).

Generell muss auch mit Schwemmholz gerechnet werden.

*Tab. 6.3: Annahmen bezüglich Geschiebefrachten im Spissibach (aus Geo7, 2007).*

| Geschiebefracht | $G_{30}$ | $G_{100}$ | $G_{300}$ | $G_{EH}$ |
|---|---|---|---|---|
| Hochwasser mit Geschiebetransport | 8'000 $m^3$ | 14'000 $m^3$ | nicht relevant | … |
| Murgang | nicht relevant | 18'000 $m^3$ | 25'000 $m^3$ | 40'000 $m^3$ |

**Kapazität nicht ausreichend**

Weil bei grossen Geschiebemengen bereits oberhalb des Geschiebesammlers (Kote des Abschlussbauwerkes = 615 m), nämlich bei Kote 635 m ein Ausbruch nach rechts auf die alte Schwemmkegeloberfläche möglich ist, wurden bezüglich Geschiebefrachten im Bereich des Geschiebesammlers selbst und unterhalb desselben verschiedene Szenarien berücksichtigt (Tab. 6.4). Bei allen diesen Szenarien ist jedoch klar, dass die Kapazität des Ablagerungsplatzes nicht ausreicht und dass mehr oder weniger grosse Geschiebemengen den Sammler passieren bzw. das Abschlussbauwerk überführen werden.

*Tab. 6.4: Szenarien im Bereich des Geschiebesammlers Spissibach (aus Geo7, 2007).*

| **Szenarium** | **100j. Var. 1** | **100 j. Var. 2** | **300j. Var. 3** | **300 j. Var. 4** |
|---|---|---|---|---|
| Fracht bei Kote 640 | 18'000 $m^3$ | 18'000 $m^3$ | 25'000 $m^3$ | 25'000 $m^3$ |
| Ablagerung im Gerinne | 2'000 $m^3$ | 6'000 $m^3$ | 4'000 $m^3$ | 9'000 $m^3$ |
| Ausbruch bei Kote 635 | 0 $m^3$ | 2'000 $m^3$ | 2'000 $m^3$ | 4'000 $m^3$ |
| Fracht in Sammler | 16'000 $m^3$ | 10'000 $m^3$ | 19'000 $m^3$ | 12'000 $m^3$ |
| Ablagerung Sammler | 5'000 $m^3$ | 5'000 $m^3$ | 6'000 $m^3$ | 6'000 $m^3$ |
| Fracht nach Sammler | 11'000 $m^3$ | 5'000 $m^3$ | 13'000 $m^3$ | 6'000 $m^3$ |

## 6.2 Grobbeurteilung

Am Kegelhals des Spissibaches wurde Ende der 1960er Jahre ein relativ kleiner Geschiebeablagerungsplatz gebaut. Im Winter 1997/98 wurde der Geschiebeablagerungsplatz vergrössert und ein neues Abschlussbauwerk erstellt. Ziel der Grobbeurteilung ist zu entscheiden, ob der Geschiebesammler für die Gefahrenbeurteilung relevant ist (s. Abb. 4.1 bzw. Kap. 4.1).

### Gefahrensituation und Prozesskenntnisse

**Unsicherheiten in Prozessbeurteilung**

Die Gefahrensituation wird im Wesentlichen durch die Geschiebefrachten gemäss Tab. 6.3 und Tab. 6.4 bestimmt. Es wird mit Murgängen bis in den Geschiebesammler und dessen Abschlussbauwerk gerechnet. Wie bei vielen Wildbächen ergeben sich Unsicherheiten in der Beurteilung u.a. aus den Annahmen bezüglich Geschiebeeintrag im Einzugsgebiet und dem Verhalten der verschiedenen Einhänge im Gerinne sowie in den Wahrscheinlichkeiten der berücksichtigten Grundszenarien. Eine weitere Unsicherheit besteht im Verhalten von Murgängen (Ablagerungs- und Ausbruchszenarien) im Kegelhalsbereich. Sie findet Ausdruck in der Tatsache von 2 Varianten für das 300-jährliche Ereignis (siehe Tab. 6.4).

Aber auch unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten dürfen die Prozesskenntnisse in diesem Falle als annähernd vollständig angenommen werden.

### Grundlagen Schutzmassnahmen

**Erweiterung 1997/1998**

Wie erwähnt wurde im Winter 1997/98 der frühere kleine Geschiebesammler vergrössert und ein neues Abschlussbauwerk erstellt. Dieses Abschlussbauwerk weist wesentlich grössere Öffnungen auf als das alte Bauwerk. Das Volumen des Geschiebesammlers wurde auf 5600 $m^3$ erhöht. Die Schwellen zwischen dem Geschiebesammler und der Messstation 210 (Abb. 6.1) wurden ebenfalls durch neue ersetzt. Für den Auffang von Schwemmholz sind keine speziellen Vorkehrungen getroffen worden.

**Dimensionierung des Auslaufbauwerks**

Gemäss Angaben aus Spissibach (1996) ist das Auslaufbauwerk wie folgt dimensioniert worden (s. Abb. 6.4):

- L = 33.20 m
- H = 9.20 m
- d = 1.40 m
- Durchflussöffnung Querschnitt 4.50 / 3.50 m
- max. Durchfluss 33 $m^3/s$
- Die Abschlusssperre wurde talseits beidseitig mit Blockmauern abgestützt
- Dem Abschlussbauwerk wurden folgende hydraulischen Berechnungen zugrunde gelegt:
    - Projektierungswassermenge QP = $HQ_{100}$ = 33 $m^3/s$ (Berechnung nach Müller)
    - Durchlass Rückhaltesperre: b = 4.50 m, h = 3.50 m, n = senkrecht, Q=33$m^3/s$, $h_w$ = 1.76 m
    - Überfallsektion Rückhaltesperre: b = 6.00 m, n = 1:1, Q = 33 $m^3/s$, $h_w$ = 1.28 m, Freibord = 62 cm, h=1.90 m

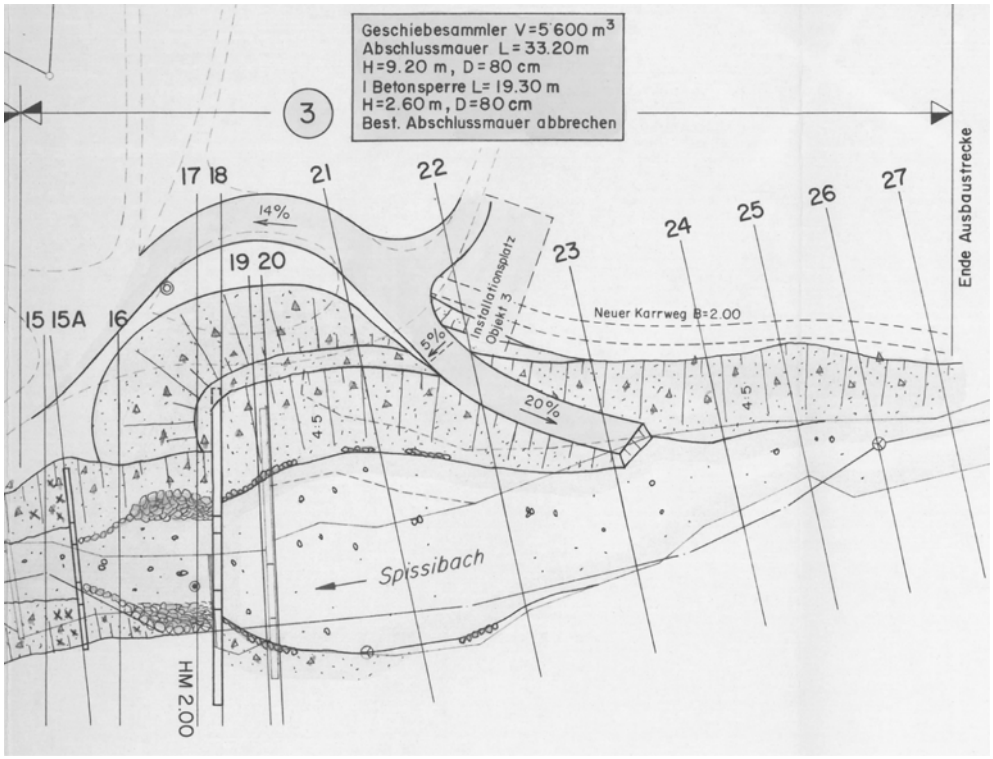



*Abb. 6.2: Grundriss Bereich Geschiebesammler Spissibach mit Auslaufbauwerk bei Profil 18 (aus Spissibach, 1996).*

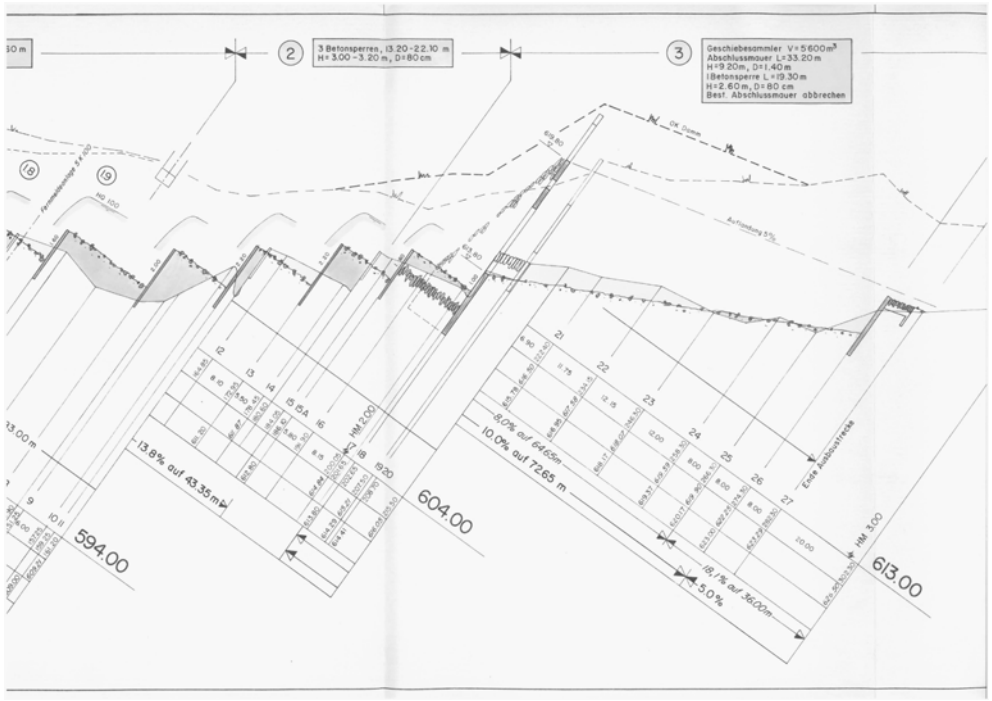



*Abb. 6.3: Längsprofil Bereich Geschiebesammler Spissibach mit Auslaufbauwerk bei Profil 18 (aus Spissibach, 1996).*

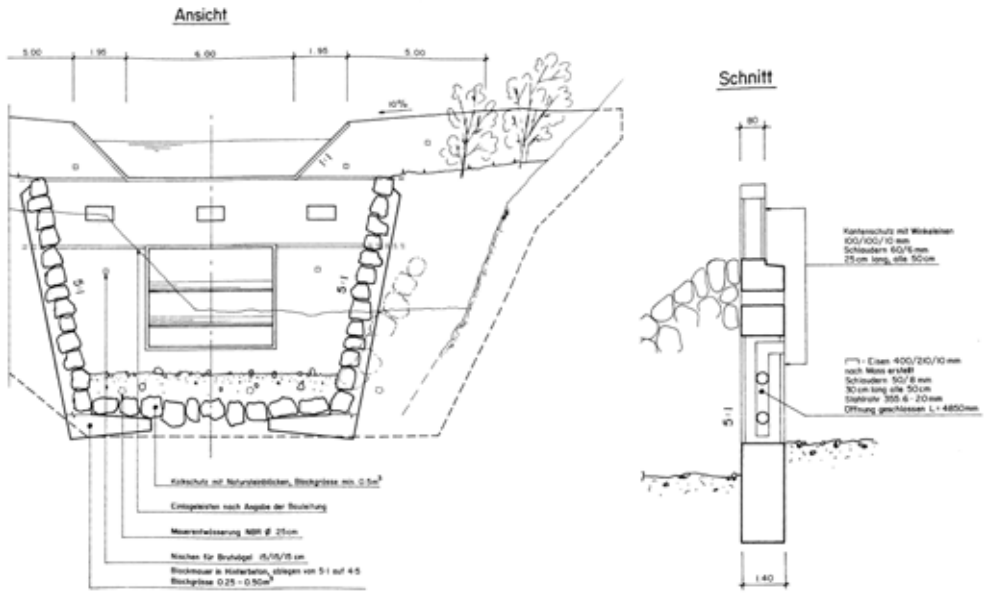



*Abb. 6.4: Aufrisse Auslaufbauwerk Geschiebesammler Spissibach (aus Spissibach, 1996).*



*Abb. 6.5: Geschiebesammler Spissibach von 1998 (Aufnahmestandort im Geschiebesammler): links: Einlaufbauwerk, rechts: Abschlussbauwerk.*

## Beurteilung Gesamtkonzept

**Optimaler Standort des Geschiebesammlers**

Der Standort der Schutzmassnahme (Geschiebeablagerungsplatz mit Einlauf- und Abschlussbauwerk) am Kegelhals, d.h. am unteren Ende des Einzugsgebiets und am oberen Ende des Schuttkegels ist optimal; dies gilt ebenfalls bezüglich der lokalen Geländeverhältnisse und ebenso für die Zufahrt. Der Geschiebesammler ist permanent verfügbar, sofern die speditive Leerung nach Ereignissen gewährleistet ist. Letzteres war in den vergangenen zwei Jahrzehnten immer der Fall. Die Nachhaltigkeit ist unter der Prämisse der regelmässigen Leerungen und des Unterhalts vor allem des Abschlussbauwerkes gegeben.

**Ungenügender Geschieberückhalt**

Der gewährleistete Geschieberückhalt von 5000 bis 6000 $m^3$ ist ungenügend, jedoch nicht unbedeutend.

**Keine nachteiligen Wirkungen**

Nachteilige Wirkungen gehen vom Bauwerk nicht aus. Dank den Querwerken im Gerinneabschnitt unterhalb des Geschiebesammlers und der Schale im eigentlichen

Dorfteil dürfte der Schutz gegen Erosion durch das entlastete Wasser im Gerinne gewährleistet sein.

**Fazit der Grobbeurteilung**

- Konzept, Anordnung und Ausführung des Bauwerks ist grundsätzlich in Ordnung.
- Die Kapazität ist jedoch bereits für ein 30-jährliches Ereignis nicht ausreichend, kann hier aber noch mehr oder weniger schadlos abgeführt werden.
- Bei selteneren Ereignissen kann der Sammler rechtsseitig durch Ausbruch oberhalb umflossen werden. Der Geschieberückhalt ist aber trotzdem bedeutend.
- Der Geschiebesammler ist somit für die Gefahrenbeurteilung relevant.

## 6.3 Massnahmenbeurteilung

Die verfügbaren Grundlagen bezüglich Prozesse und Szenarien sind aufgrund der 2007 erfolgten Gefahrenbeurteilung für die Gefahrenkarte weitgehend in Kap. 6.1 aufgeführt.

*Tab. 6.5: Prozesse und Gefährdungsbilder bzw. Einwirkungen entsprechend Tab. 4.2 in Kap. 4.2.2 konkretisiert für die Situation am Spissibach.*

| **Prozess** | **Gefährdungsbilder / Einwirkungen** | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| Alterung | - Ermüdung, Verlust der Materialfestigkeit für die nächsten 50 Jahre kaum relevant | qualitative Beurteilung |
| Baugrund | - Instabilität / Setzung unwahrscheinlich, bisher keine Anzeichen,<br>- Statischer Grundbruch unwahrscheinlich | qualitative Beurteilung |
| ≥ ca. $HQ_{30}$ | - Unterspülen des niedrigen Einlaufbauwerkes (Messstelle des Geogr. Inst. d. Univ. Bern) möglich, jedoch unproblematisch<br>- Auffüllen des Geschiebesammlers möglich<br>- Durchströmen der Durchflussöffnung oder Abfluss via Abflusssektion schadlos möglich<br>- Das Geschiebe kann mehr oder weniger schadlos abgeführt werden | |
| ≥ ca. $HQ_{100}$ und $G_{100}$ (Murgang) mit Schwemmholz | zusätzlich Überlastfall!<br>- Stoss auf Abschlussbauwerk möglich<br>- Umfliessen des Sammlers durch Ausbruch oberhalb möglich<br>- Unterspülen Auslaufbauwerkes, Kolk nicht auszuschliessen<br>- Erosion im Unterlauf durch Querwerke bzw. Schale begrenzt, dagegen Ausuferung und Erosion im Gelände zu erwarten | Schätzung ohne rechnerischen Nachweis<br>- positive Wirkung des Geschiebesammlers (teilweiser Geschieberückhalt) ist nicht beeinträchtigt<br>- keine negativen Auswirkungen des Geschiebesammlers |
| ≥ ca. $HQ_{300}$ und $G_{300}$ (Murgang) mit Schwemmholz | klarer Überlastfall!<br>zusätzlich<br>- nach Volleinstau Überströmen des rechtseitigen Abschlussdammes, der Zufahrtstrasse zum Geschiebesammler und des Umgeländes möglich<br>- örtliche luftseitige Erosion möglich | Schätzung ohne rechnerischen Nachweis<br>- positive Wirkung des Geschiebesammlers (teilweiser Geschieberückhalt) ist auch in diesem Überlastfall nicht beeinträchtigt |

| Prozess | Gefährdungsbilder / Einwirkungen | Bemerkungen |
|---|---|---|
| | - Böschungsinstabilität durch innere Erosion oder durch hydraulischen Grundbruch eher unwahrscheinlich | - keine negativen Auswirkungen des Geschiebesammlers; allenfalls ein verstärkte Lenkung des Abflusses und Geschiebes in den rechtsseitigen Sektor des Schuttkegels (Richtung Eybach) |

Betreffend Abmessung, Ausführung, Zustand und Bewährung des Geschiebesammlers und im Besonderen des Abschlussbauwerkes lassen sich somit folgende Aussagen machen:

- Das Volumen Geschiebesammlers ist ungenügend.
- Die Abmessungen des Abschlussbauwerkes sind generell gut gewählt.
- Die Dimensionierung gegenüber aufprallenden Blöcken (Murstoss) dürfte genügen.
- Betreffend Schwemmholz sind keine speziellen Vorkehrungen getroffen worden.
- Der Zustand des Abschlussbauwerkes ist gut.
- Der Geschiebesammler wird regelmässig geleert.

**Resultat der Massnahmenbeurteilung**

- Konzept, Anordnung und Ausführung des Bauwerks sind grundsätzlich in Ordnung. Wie weit das Fehlen einer Auffangvorrichtung für Schwemmholz nachteilig ist, ist schwer zu beurteilen.
- Die Ablagerungskapazität des Geschiebesammlers ist bereits für ein 30-jährliches Ereignis nicht ausreichend, kann hier aber noch mehr oder weniger schadlos abgeführt werden.
- Das Abschlussbauwerk ist in seiner Dimensionierung zweckmässig und genügend. Im Überlastfall sind keine nachteiligen Wirkungen zu erwarten.
- Die Massnahmen sind zuverlässig, wenn von der wesentlichen Einschränkung wegen zu geringer Kapazität abgesehen wird.

## 6.4 Wirkungsbeurteilung

Für die Wirkungsbeurteilung muss auf den speziellen Szenarien gemäss Tab. 6.4 basiert werden.

**Bei grossen Ereignissen fliesst grosser Teil über Sperrenkrone**

Es kann davon ausgegangen werden, dass im Sammler 5000 bis 6000 $m^3$ Geschiebe abgelagert werden. Ein Teil der restlichen Mengen passiert im günstigen Fall den Geschiebesammler dosiert durch die Öffnungen zwischen den Balken. Da jedoch mit einem Verstopfen der Öffnungen zu rechnen ist wird der grössere Teil des überschüssigen Geschiebes über die Sperrenkrone verfrachtet werden (bei ca. 30-jährlichen Ereignissen via Abflusssektion).

**Keine nachteilige Wirkung bei Überlastfall**

Bei grösseren Ereignissen (ca. ≥ 100-jährlich) muss somit mit einer Überlastung gerechnet werden. Die Beurteilung ergibt, dass der Überlastfall von der Anlage so bewältigt wird, dass gegenüber einer fiktiven Situation ohne Massnahme keine nachteiligen Wirkungen zu erwarten sind. Im Gegenteil: Dank dem partiellen Geschieberückhalt sind die Auswirkungen im Gebiet unterhalb des Geschiebesammlers gegenüber einem Zustand ohne Geschiebesammler reduziert.

**Intensitätskarte**

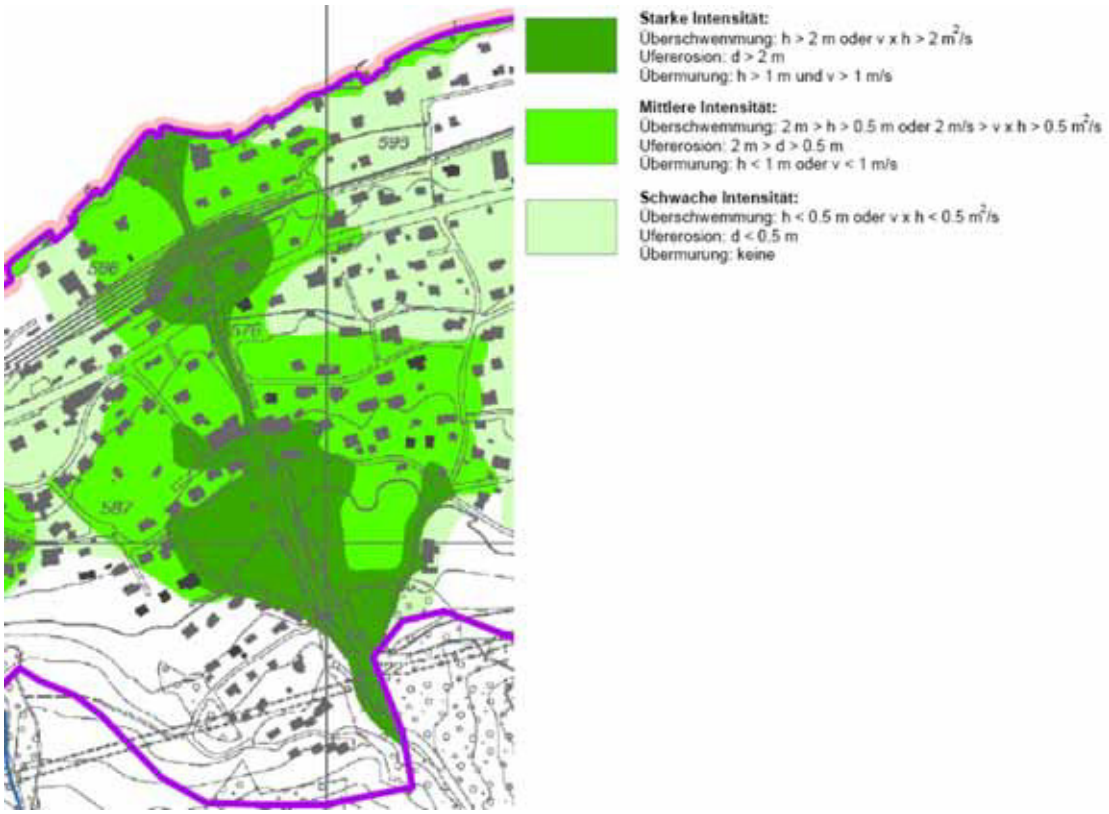



*Abb. 6.6: Intensitätskarte für 300-jährliche Ereignisse des Spissibachs (aus Geo7, 2007).*

## 6.5 Empfehlungen zur Umsetzung

Das Ablagerungsvolumen von 5000 bis 6000 $m^3$ des Geschiebesammlers darf berücksichtigt werden.

Dies ist bei der Ausarbeitung des Entwurfs zu den Intensitätskarte (Abb. 6.6) erfolgt.

# 7. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Beatrice Herzog und Eva Frick für die kritische Durchsicht des Berichtes. Für das Fallbeispiel Wilerlibach geht der Dank an das Ingenieurbüro DUWAPLAN und das Tiefbauamt des Kantons UR, für das Fallbeispiel Spissibach an die Geo7, den Oberingenieurkreis I des Kantons Bern sowie speziell an die Schwellenkorporation Leissigen.

# Literatur

AfW GR (Amt für Wald Graubünden), 2006: Handbuch zur Kontrolle und zum Unterhalt forstlicher Infrastruktur. www.wald.gr.ch/aufgaben/index-kontrolle.htm

ASF, Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (Hrsg.), 1973: Dimensionierung von Wildbachsperren aus Beton und Stahlbeton. Richtlinie 1973, Bern, Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale.

Bezzola G.R., 2001: Schwemmholz – Rückhalt oder Weiterleitung? Wasser-Energie-Luft, 93. Jg., Nr. 9/10: 247-252.

Böll, A., 1997: Wildbach- und Hangverbau: Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL Birmensdorf.

Böll, A., Gerber, W., Graf, F., Rickli, Ch., 1999: Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau. Birmensdorf, Eidg. Forsch.anst. WSL, 60 S.

Böll, A., 2003: Überwachung und Unterhalt von Schutzmassnahmen. Kursunterlagen des Weiterbildungskurses 2003 in Gams SG. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), 28 S.

BWG, 2003: Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Bundesamt für Wasser und Geologie, Berichte des BWG, Serie Wasser, Bern, 118 S.

DIN 19663 (1985): Wildbachverbauung: Begriffe, Planung und Bau. Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im Deutschen Institut für Normung (DIN), Berlin.

Eicher W., 2001: Verlegung des Dorfbaches Sachseln. FAN-Agenda 1/2001.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NAIS). Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Frick, E., 2007: Spissibach Leissigen, Allgemeine Angaben zum SEDEX Workshop vom 15.5.07. Geogr. Inst. d. Univ. Bern.

Frick, E., Hiller, R., Kienholz, H., Romang, H., 2008a: SEDEX - Sediments and Experts – Eine praxisorientierte Methodik zur Beurteilung der Feststofflieferung in Wildbächen. Tiefbauamt des Kantons Bern und Geogr. Inst. d. Univ. Bern.

Frick E., Kienholz H., Roth H., 2008b: SEDEX – eine Methodik zur Beurteilung zur gut dokumentierten Abschätzung der Feststofflieferung in Wildbächen. In: Wasser Energie Luft, 100. Jg., H2:131-136, Baden.

Geo7, 2007: Gefahrenkarte Leissigen, Entwurf zum Bericht. Im Auftrag der Einwohnergemeinde Leissigen, begleitet durch den Oberingenieurkreis I des TBA Kanton Bern.

GHO, Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (Hrsg.), 1996: Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen, Landeshydrol. -geol., Mitt. 4, 186 S.

Jäggi M., 2001: Natürlicher Geschieberückhalt und Geschiebedosierung. Wasser, Energie, Luft, 93. Jg., Nr. 5/6: 133-139.

Jenni A., Reiterer A., 2002: Bewirtschaftung von Murbächen durch Absturzbauwerke. FAN-Agenda 2/2002. Zur Publikation vorgesehen in der Zeitschrift Wildbach- und Lawinenverbau.

Ingenieurbüro DUWAPLAN, Altdorf – Amt für Forst und Jagd Kt. Uri, 2004/2005: Verbauung Wilerlibach Technischer Bericht / Baudokumentation der Verbauung Wilerlibach.

Kienholz H., Keller H.M., Ammann W., Weingartner R., Germann P.F., Hegg C., Mani P., Rickenmann D., 1998: Zur Sensitivität von Wildbachsystemen. Zürich, vdf Hochschulverlag.

Kölla, E., 1987: Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässeren an Stellen ohne Direktmessungen. Versuchsanstalt. Wasserbau Hydrologie und Glaziologie VAW 163 S.

Leitgeb M., 2002: Event documentation – useful tool for risk analysis and proper risk management. International Congress Interprävent 2002 in the Pacific Rim, Band 1: 325-334. Tokyo: Nissei Eblo Co. Ltd.

Liener S., 2000: Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia, G64, Geogr. Inst. d. Univ. Bern

Noetzli, K. P., Frei, M., Böll, A., 2002: Tragsicherheit von Holzkonstruktionen im Wildbachverbau – Ein Fallbeispiel 60-jähriger Wildbachsperren. Schweiz. Z. Forstwes. 10: 377-384

Petrascheck A., Berwert-Lopes J., Mani P., Zarn B., 1998: Ereignisdokumentation Sachseln. Studienbericht Nr. 8/1998 des Bundesamtes für Wasserwirtschaft. Bern: EDMZ.

Rickenmann D., 1990: Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitt. der VAW Nr. 103, Zürich.

Rickenmann, D., 1995: Beurteilung von Murgängen. Schweiz. Ing. Archit. 113, 48: 1104-1108.

Rickenmann, D., 1999: Empirical relationships for debris flows. Natural Hazards, Vol. 19: 47-77.

Romang, H., 2004: Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen. Geographica Bernensia, G 73, 211 pp., Geogr. Inst. d. Univ., Bern ISBN 3-906151-76-X

Romang H., Margreth S., 2007: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Projekt A 3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.

Roth M., Bezzola G.R., Hunzinger L., Fäh R., Minor H.-E., 2000: Risikountersuchung an einem Wildbach bei Luzern (Schweiz). Internationales Symposion Interprävent 2000, Band 2: 293-304. Villach: Kreiner Druck.

Smart, G., Jäggi, M., 1983: Sediment transport on steep slopes. Mitt. der VAW Nr. 64, Zürich.

Speerli, J., Grob, M., Künzi, R., Wyss, P., Zimmermann, M., Pozzi, A., 2008: Glyssibach Brienz, Schweiz: Hochwasser und Murgangereignis vom 22./23. August 2005. In: Tagungsbeilagen Interpraevent 2008, Bd. 1: 489-500 Klagenfurt

Spissibach, 1996: Projekt IV für die Verbauung der Wildbäche in der Gemeinde Leissigen. Projektverfasser Kissling+Zbinden, Bern, im Auftrag der Schwellenkorporation Leissigen.

VanDine D.F., 1996: Debris flow control structures for forest engineering. Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap. 22.

Zeller, J., Röthlisberger, G., 1987: Lebensdauer von Holzsperren am Beispiel der Gamser Wildbäche. Ber. Eidg. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 291, 33 S.

Zollinger F., 1983: Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz. Diss. ETH Nr. 7419. Zürich.