
Anhang 1: Naturgefahren

- 1 Einleitung
- 2 Lawinen
- 3 Rutschungen, Erosion, Murgänge
- 4 Steinschlag
- 5 Gerinneprozesse

1

1 Einleitung

Die Erosion von Berghängen (Rutschungen, Murgänge, Steinschlag) ist ein natürlicher geologischer Prozess. Sie kann - auch durch die beste Waldbestockung - nicht grundsätzlich verhindert werden. Die Bestockung kann jedoch die Geschwindigkeit der Prozesse beeinflussen und die dabei auftretenden Energien abdämpfen.

Die Unterlagen basieren auf dem heutigen Stand von Wissen und Erfahrungen. Oft fehlen zu wichtigen Fragen fundierte Forschungsergebnisse. Bei wesentlichen neuen Erkenntnissen müssen die Empfehlungen deshalb überarbeitet werden.

Die Unterlagen zu den einzelnen Naturgefahren sind Hilfsmittel, um Waldbestände in Bezug auf die entsprechende Naturgefahr zielgerichtet zu beurteilen und zu pflegen.

Nicht Gegenstand dieser Texte sind:

- ▶ Das Ausscheiden von Schutzwäldern. Die Informationen helfen aber, innerhalb von Schutzwäldern Prioritäten zu setzen.
- ▶ Die Frage, ob Wald bei Hochwasser und Rutschungen eine bessere Schutzwirkung aufweist als z. B. Weide, ist separat zu beurteilen, ebenso der Entscheid, ob die Waldfläche vergrössert werden soll (z. B. Hochlagenaufforstungen bei Lawinen oder einwachsen lassen von Maiensässen bei Rutschungen).
- ▶ Für den Entscheid, ob die Schutzwirkung des Waldes genügt oder ob zusätzliche Schutzmassnahmen notwendig sind, müssen dem Einzelfall angemessene zusätzliche Abklärungen getroffen werden.

2 Lawinen

- 2.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Lawinen
- 2.2 Entstehung von Lawinen
- 2.3 Potentielle Lawinenschutzwälder
- 2.4 Wirkung des Waldes

1

2.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Lawinen

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet Subalpine und hochmontane Nadelwälder	Gross In Lärchenwäldern ab 30° (58 %) Hangneigung In immergrünen Nadelwäldern¹ ab 35° (70 %) Hangneigung	Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzänge² in Falllinie ≥30° (58 %) → kleiner als 60 m ≥35° (70 %) → kleiner als 50 m ≥40° (84 %) → kleiner als 40 m ≥45° (100 %) → kleiner als 30 m Falls Lückenzänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 15 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzänge² in Falllinie ≥30° (58 %) → kleiner als 50 m ≥35° (70 %) → kleiner als 40 m ≥40° (84 %) → kleiner als 30 m ≥45° (100 %) → kleiner als 25 m Falls Lückenzänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 15 m sein Deckungsgrad > 50 % Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Entstehungsgebiet Ober- und untermontane Laub- und Mischwälder	Mittel ab 35° (70 %) Hangneigung	Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzänge² in Falllinie ≥35° (70 %) → kleiner als 50 m ≥40° (84 %) → kleiner als 40 m ≥45° (100 %) → kleiner als 30 m Falls Lückenzänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzänge² in Falllinie ≥35° (70 %) → kleiner als 40 m ≥40° (84 %) → kleiner als 30 m ≥45° (100 %) → kleiner als 25 m Falls Lückenzänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt

Die Förderung der Oberflächenrauigkeit (z. B. hohe Stöcke, liegendes Holz) in Lücken sowie am Rande von Lawinenzügen reduziert die Wahrscheinlichkeit von Lawinenan-

rissen. Bei genügend Oberflächenrauigkeit können die minimalen Anforderungen betreffend Lückenzängen in der Falllinie auch für die idealen Anforderungen angewendet werden.

¹ In immergrünen Nadelwäldern ist auf Grund der Überschildung durch die Kronen und die allgemeine Rauigkeit am Boden erst ab etwa 35 Grad Neigung mit Lawinenanrissen zu rechnen. Reine Lärchenwälder weisen oft eine grasreiche Vegetation auf, so dass die allgemeine Bodenrauigkeit geringer ist. Es muss deshalb bereits ab etwa 30 Grad Neigung mit Anrissen gerechnet werden muss.

² Lücke: Öffnung von Kronenrand zu Kronenrand im Stangenholz und Baumholz

2.2 Entstehung von Lawinen

An einem Hang treten in der Schneedecke Kriechbewegungen auf und zusätzlich, je nach den Grenzbedingungen zwischen Boden und Schnee, noch Gleitbewegungen auf der Bodenoberfläche. Diese Bewegungen können auch zum Abgleiten der ganzen Schneedecke führen und sind abhängig von der

- ▶ Hangneigung
- ▶ Schneemächtigkeit
- ▶ Bodenrauigkeit
- ▶ Schneebeschaffenheit

Örtliche Veränderungen dieser Faktoren rufen Zonen gesteigerter Zug-, Druck- und Scherspannungen in der Schneedecke hervor.

Schneebrettlawinen entstehen vor allem unter folgenden Bedingungen:

- ▶ Geneigter Hang ab 30° (58 %)
- ▶ Schwache Schichten und/oder Gleitflächen (z. B. eingeschneiter Oberflächenreif, glatte Bodenoberfläche)
- ▶ Schneedecke mit durchgehenden Schichten.
- ▶ Gebundener Schnee
- ▶ Schneeverfrachtung durch Wind fördert lokale Schneeanstimmungen und das Entstehen von gebundenem Schnee

Lockerschneelawinen entstehen vor allem unter folgenden Bedingungen:

- ▶ Geneigter Hang, häufig zwischen 40° (85 %) und 60° (170 %). Steilere Hänge entladen sich kontinuierlich.
- ▶ Schwach gebundener Schnee

Waldlawinen:

Lawinen, deren Anrisszonen (Entstehungsgebiet) sich innerhalb des Waldes befinden, werden als Waldlawinen bezeichnet. Die Lückengröße im Bestand ist ein massgeblicher Faktor für das Ausmass der Schneebewegungen. Da insbesondere in der subalpinen und hochmontanen Stufe Öffnungen im Bestand zu einer naturnahen Struktur gehören und für die Waldverjüngung notwendig sind, können Schneebewegungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Deshalb werden hier nur Ereignisse, welche Bäume ab Stangenholzstufe zu schädigen vermögen, als Waldlawinen bezeichnet. Bäume im Jungwuchs- und Dickungsstadium werden normalerweise eher durch Schneegleiten, Schneekriechen und

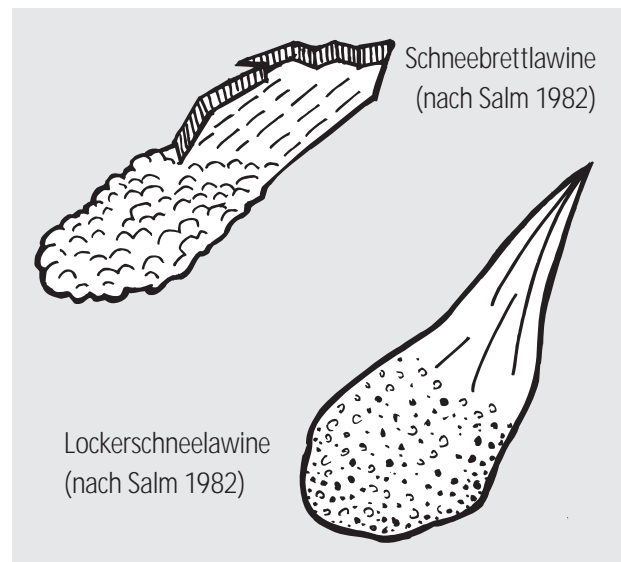


Abb 1: Lawinentypen

Schneesetzen als durch Lawinen beschädigt.

Folgende Wetter- und Schneeverhältnisse begünstigen das Entstehen von Waldlawinen:

- ▶ Kälter als - 4°C, mehr als 80 cm Schnee in 2 Tagen, wenig Wind während dem Schneefall, Schneehöhe über 120 cm, zudem häufig ein leichter Anstieg der Temperatur am Ereignistag.
- ▶ Kälter als - 4°C, mehr als 60 cm Neuschnee in 3 Tagen, wenig Wind während dem Schneefall, starke Erwärmung am Ereignistag.
- ▶ Mehr als 50 cm Neuschnee in 3 Tagen, Schneehöhe über 120 cm, Regen

Je kälter und je weniger Wind während dem Schneefall, desto weniger Neuschnee braucht es für das Entstehen von Waldlawinen.

2.3 Potentielle Lawinenschutzwälder

In Regionen und Höhenlagen mit Schneeverhältnissen, welche die Bildung von grösseren Schneebrettern oder Gleitschneelawinen ermöglichen, sind Wälder an Hängen mit über 30° (58 %) Neigung potentielle Lawinenschutzwälder.

Im Gebiet von Nadelwäldern und in Höhenlagen zwischen 1'600 und 2'200 m über Meer befinden sich die Anrissstellen häufig in den Expositionen Nordost bis Nordwest. An diesen Stellen lösen sich meist trockene Schneebretter. Oft entsteht ein Anriss an Geländekanten (Änderungen der Hangneigung um mindestens 10°).

Im Gebiet von Laub- und Mischwäldern und damit unterhalb von 1'200 m über Meer lösen sich vor allem in sonnigen Expositionen Gleitschnee- oder feuchte Lockerschneelawinen.

Im Bereich der oberen Waldgrenze ist der Wald oft aufgelöst, auf den Rippen ist Wald zu finden, in den Runsen kann wegen Schneebewegungen oder zu langer

Schneebedeckung kein Wald wachsen. Der oberste Bereich des Waldes ist sehr wichtig für die Stabilität des ganzen Waldes. Die Bedingungen dort sind meist extrem. Die Verjüngung ist oft nur im Schutze von alten Bäumen möglich. Falls dieser fehlt, muss mit technischen Massnahmen ergänzt werden.

Die Situation an der Waldgrenze muss bei der Entscheidungsfindung in den Wäldern darunter berücksichtigt werden. Unter Umständen kann auch mit Hochlagenaufforstungen eine Verbesserung erreicht werden. Im Bereich der Waldgrenze nimmt der mögliche Deckungsgrad des Bestandes und damit auch tendenziell die Lawinenschutzwirkung ab. Ist oberhalb der potentiellen Waldgrenze ein Lawinenanrissgebiet vorhanden, so beschränkt sich das Aufkommen des Waldes darunter auf günstige Standorte wie Rippen (vergleiche Abb.2).



Abb.2 Potentieller Lawinenschutzwald: Links im Bild ist der Wald bis zur Krette geschlossen, die Waldgrenze liegt höher als die Krette. In der Mitte ist die Krette höher als die Waldgrenze, oberhalb der Waldgrenze ist noch ein Anrissgebiet für Lawinen vorhanden. Es hat nur noch an besonders günstigen Stellen Wald. Dies muss bei der Entscheidungsfindung im Wald berücksichtigt werden.

2.4 Wirkung des Waldes

Der Wald beeinflusst den Schneedeckenaufbau und damit die Lawinenbildung durch die Interzeption, das Bestandesklima und die durch Bäume, Stöcke und liegendes Holz verursachte Bodenrauigkeit (Abb. 3).

Im Wald wird bei Lawinen eine mittlere statistische Wiederkehrdauer von 30 Jahren angenommen (im Freiland wird bei Lawinenverbauungen mit 100 Jahren gerechnet), da in vielen Fällen Lücken innerhalb von 30 Jahren soweit zuwachsen, dass später keine Waldlawinen mehr anreissen können.

Faktoren, die das Anreissen von Lawinen hemmen:

► Wegen der Interzeption ist die Schneemenge im Wald kleiner als im Freiland. Der Unterschied zwischen Wald und Freiland ist bei kleinen Schneefällen (70 % Interzeption) ausgeprägter als bei Grossschneefällen (30% Interzeption). Bei tiefen Temperaturen während dem Schneefall ist die Interzeption geringer.

► Im Wald wird die durchgehende Schichtung der Schneedecke gestört, z. B. durch herabfallenden Schnee oder Kolke um Baumstrünke.

► Die Abstrahlung ist v. a. im immergrünen Wald geringer, das heisst, es gibt eine geringere Erwärmung während des Tages und eine geringere Abstrahlung während der Nacht. Dadurch entsteht im Wald ein besonderes Klima, das die Umwandlung des Schnees beeinflusst. Deshalb bildet sich weniger Oberflächenreif und Schwimmschnee, und höhere Schneetemperaturen bewirken eine festere Schneedecke. Bei Feuchtschnee können aus dem Wald kleine Lawinen, bei glatter Bodenoberfläche auch Gleitschneelawinen entstehen.

► Im Wald gibt es in Bodennähe weniger Wind und damit weniger Schneeverfrachtungen. In Öffnungen und am Bestandesrand kann der Schnee in Folge Wind konzentriert abgelagert werden.

► Im Wald ist im Vergleich zum Freiland die Bodenrau-

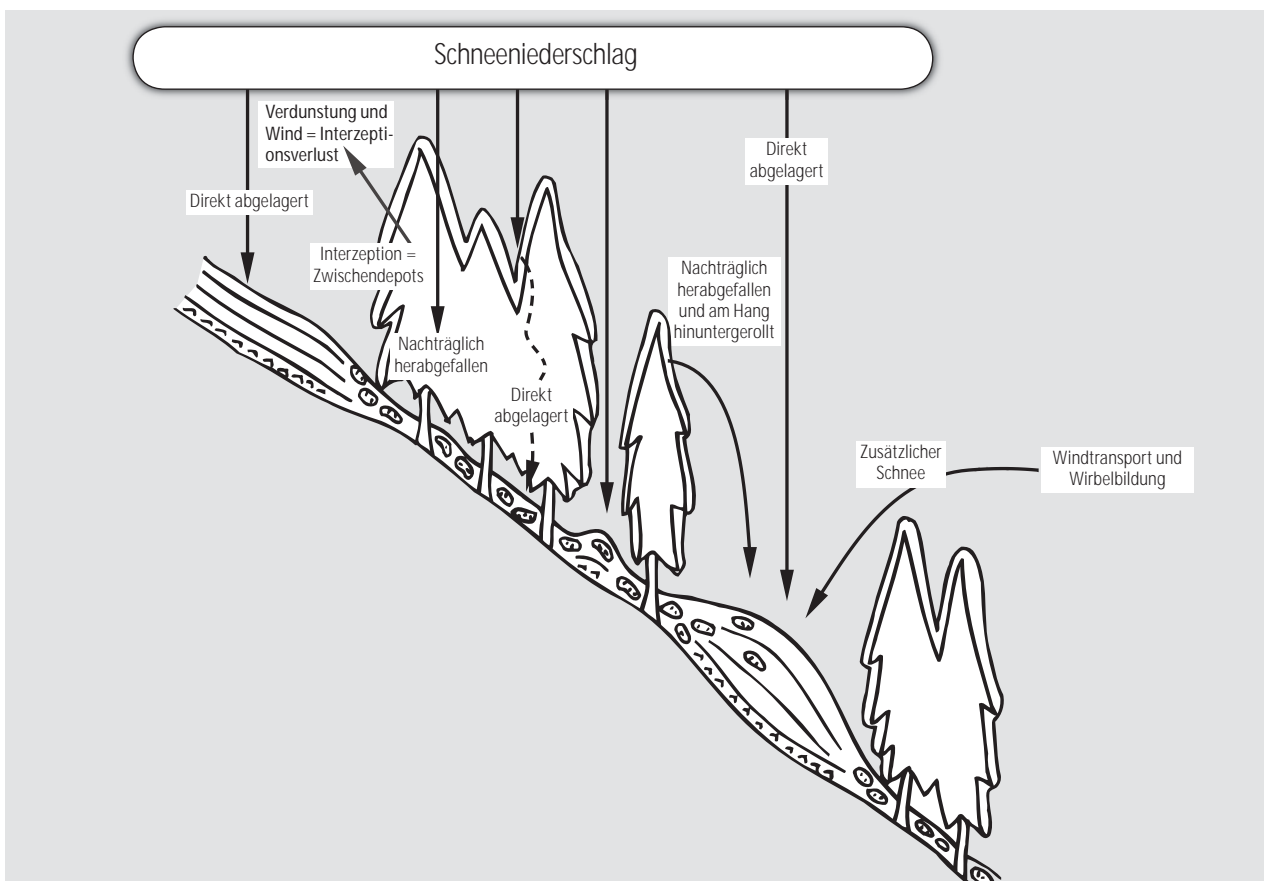


Abb 3: Skizze Schneeablagung (nach Meyer 1987 und Cemagref):

higkeit generell grösser und damit die Gefahr von Schneebewegungen kleiner.

► Aufrechte Stämme und Stöcke, aber auch liegende Bäume erhöhen die Rauigkeit des Bodens und wirken so als stabilisierende Elemente in der Schneedecke. Die Stützwirkung der Bäume alleine genügt aber normalerweise nicht, um einen Lawinenanriss zu verhindern. Damit die Wirkung einem Lawinenverbau entsprechen würde, müssten folgende Stammzahlen (BHD > 8 cm) vorhanden sein: bei 30° (58 %) Hangneigung 500 Stämme/ha, bei 40° (84 %) Hangneigung 1'000 Stämme/ha.

Faktoren, die das Anreissen von Lawinen fördern:

► In schattigen Waldlichtungen und an Waldrändern kann Oberflächenreif entstehen und lange erhalten bleiben. Nach Überschneien kann dieser ein Abgleiten fördern.

Bedeutung der Baumart und Bestandesstruktur:

Durch die allgemeine Wirkung des Waldes reduziert sich das Risiko von Lawinenanrissen auf Hänge mit Neigungen ab 35° (70 %). In offenen Flächen oder in Lärchenbeständen beträgt die kritische Hangneigung hingegen 30° (58 %).

Bäume leisten einen Beitrag gegen das Anreissen von Lawinen, wenn sie die Schneehöhe um mindestens das Doppelte überragen.

Vor allem bei niedrigen Temperaturen ist die Interzeption bei wintergrünen Baumarten grösser als bei winterkahlen Baumarten. Die Abstrahlung von kurz- und langwelliger Strahlung wird unter einem dichten Bestand aus immergrünen Baumarten um bis zu 90 % reduziert, unter einem Bestand mit winterkahlen Baumarten nur bis zu 30 %. (Vergl. Empfehlungen zum Nadelholzanteil in den Anforderungen auf Grund des Standortstyps für die einzelnen Waldgesellschaften.)

Winterkahle Baumarten haben bei kleinen Schneefällen eine gute Wirkung gegen Lawinenanrisse, bei Grossschneefällen ist diese Wirkung eingeschränkt. Auf Buchenlaub gleitet Schnee sehr gut.

Niedrige Bäume, die völlig mit Schnee überdeckt sind (z. B. Grünerle, Legföhre), können die Lawinenbildung durch die elastische Bewegung der Äste fördern. Zudem ist dort die Bildung von Schwimmschnee ausgeprägt. Sind die Bestände

grossflächig ausgebildet, so können die Lawinen im Vergleich zum Freiland etwas weniger häufig aber grösser sein.

Winterkahle Baumarten stehen oft im Randbereich von Lawinenzügen, wo wintergrüne Baumarten wegen dem höheren Luftwiderstand nicht überleben können. In den zentralen Hochalpen sind in diesen Bereichen oft Lärchen (der Rohboden fördert zudem deren Verjüngung) zu finden, in den Voralpen Bergahorne oder Buchen. Hier sind wintergrüne Baumarten nicht zusätzlich zu fördern.

Bei Bäumen mit hohem Kronenansatz kann der herabfallende Schnee Lawinenanrisse verursachen. Bei tief beasteten Bäumen (z. B. Rotten) ist dieses Risiko kleiner.

Bei hohen Bäumen mit grossen Kronen ist der Einfluss auf die Schneedecke grossräumiger als bei kleinen Bäumen.

Bremswirkung des Waldes:

Bei Fliesshöhen von 1 - 2 m, die nur den Stamm betreffen, kann die Lawine durch den Wald verlangsamt werden. Bei hohen Fliesshöhen und hohen Geschwindigkeiten (z. B. Staublawinen) wird der Wald zerstört. Im Auslaufgebiet sind die Geschwindigkeiten oft gering, so dass der Wald eine bessere Bremswirkung haben und die Reichweite von Lawinen reduzieren kann.

Totholz auf Windwurfflächen:

Auf den meisten ungeräumten Windwurfflächen ist das Holz anfangs ein sehr effizienter Schutz gegen Schneebewegungen. Die Oberflächenstrukturen durch Totholzständer, Strünke, Wurzelteller und liegende Stämme bilden einen dichten und hohen Verhau, der die Schneedecke wirkungsvoll am Boden fixiert und die Schneeablagerung während einiger Jahrzehnten günstig beeinflusst. Für typische Lawinenanriss-Lagen (etwa 30 bis 40°) und normale Schneehöhen in der Waldzone bietet solches Holz eine gute Sicherheit. In sehr steilen Lagen und aussergewöhnlich schneereichen Situationen ist allerdings nicht auszuschliessen, dass das Holz der Belastung nicht standhält und die Schneedecke samt Holz in Bewegung gerät. Durch den Holzabbau nimmt diese Gefahr allmählich zu. Dem ist dort Rechnung zu tragen, wo das Schadenpotential gross ist. Durch Räumung wird der Schutz gegen Schneebewegung von Anfang an stark vermindert.

In potentiellen Lawinenanrissgebieten auf den Vivianflächen hat sich gezeigt, dass man bei fehlender Verjüngung mit Pflanzung bezüglich Pflanzenzahl und Grösse einen min-

destens zehnjährigen Vorsprung vor der neu entstehenden Naturverjüngung herausholen kann. Mit Pflanzung kann man so die Lücke in der Schutzwirkung, welche mit der Holzersetzung ab- und mit dem aufkommenden Jungwald zunimmt,

verkürzen und eventuell sogar schliessen. Eine Pflanzung ist auch in ungeräumten Windwurfflächen möglich, wenn auch etwas mühsamer.

Quelle: Die Angaben zu den Lawinen wurden hauptsächlich von Monika Frehner und Werner Frey (SLF) zusammengestellt, mit Beratung durch Peter Bebi (SLF), den Vorstand der FAN, der GWG und dem Cemagref (Frédéric Berger). **Verwendete Literatur:** Frey (1977), de Quervain (1978), Salm (1978, 1982), Meyer-Grass, Imbeck (1985a), Meyer-Grass, Imbeck (1985b), Frey, Frutiger, Good (1987), Imbeck, Ott (1987), Meyer-Grass (1987), Meyer-Grass, Schneebeil (1992), Frey (1993), Kaltenbrunner (1993), Berger (1997), Munter (1997), Pfister (1997), Frey und Leuenberger (1998), Bebi (2000), Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Hrsg.) (2000), Schwitter (2002), Frey, Thee (2002).

3 Rutschungen, Erosion, Murgänge

- 3.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Rutschungen, Erosion und Murgängen
- 3.2 Rutschungen
- 3.3 Oberflächenerosion
- 3.4 Murgänge



3.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Rutschungen, Erosion und Murgängen

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	Gross bei flachgründigen Rutschungen (Rutschhorizont bis 2 m tief) und bei Oberflächenerosion	Gefüge horizontal Lückengrösse ³ max. 6a, bei gesicherter Verjüngung ¹ max. 12a. Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 40\%$ Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt Bei Übergängen im Standortstyp ist die Baumarten-Zusammensetzung des feuchteren / stärker vernässten Typs anzustreben	Gefüge horizontal Lückengrösse ³ max. 4a, bei gesicherter Verjüngung ¹ max. 8a. Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd und kleinflächig $\geq 60\%$ Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt Bei Übergängen im Standortstyp ist die Baumarten-Zusammensetzung des feuchteren / stärker vernässten Typs anzustreben Stabilitätsträger keine schweren und wurfgefährdeten Bäume
	Mittel bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen (Rutschhorizont tiefer als 2 m), wenn der Wasserhaushalt im Bereich des Rutschhorizonts beeinflusst werden kann	Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 30\%$ Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 50\%$ Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Infiltrationsgebiet	Gering bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen (Rutschhorizont tiefer als 2 m), wenn der Wasserhaushalt im Bereich des Rutschhorizonts nur wenig beeinflusst werden kann	Verjüngung nachhaltige Verjüngung gesichert	Verjüngung nachhaltige Verjüngung gesichert Anforderungen auf Grund des Standortstyps ideal erfüllt

¹ Gesicherte Verjüngung: Aufwuchs oder Dichtung in zielgemässer Mischung vorhanden. Subalpin sind grössere Flächen zulässig, wenn sie schlitzförmig angelegt werden; Schlitzbreite max. 20 m.

² Deckungsgrad der Bäume ab Stangenholzaltes (d.h. ohne Berücksichtigung von Jungwuchs und Dichtung).

³ Lücke: Öffnung von Kronenrand zu Kronenrand im Stangenholz und Baumholz

3.2 Rutschungen

Rutschungen werden unter anderem aufgrund der Tiefe ihrer Gleitfläche unterschieden. Bezüglich potentieller Waldwirkung ist insbesondere die Unterscheidung zwischen

flachgründige Rutschungen:

- Tiefe 0-2 m
- meist hohe Rutschaktivität, welche nur kurz andauert (Minuten bis Monate)
- kleinflächig (meist < 0.5 ha)
- entstehen meist an Hängen mit Neigungen ab etwa 25°, können sich jedoch auch bereits in deutlich flacherem Gelände ereignen
- oft charakteristische Ausbrunnischen alter Rutschflächen



Sachseln OW, 15. August 1997

- um 100 m³ Material pro Rutschung
- Niederschlagsdauer zwei Stunden; Rutschereignisse im Zeitraum von Minuten
- Übergang in Hangmuren aufgrund starker Durchnässung

mittel- und tiefgründige Rutschungen:

- Tiefe 2-10 m bzw. > 10 m
- Rutschaktivität meist im Bereich von cm bis dm / Jahr
- grossflächig (meist > 0.5 ha, bis zu mehreren km²)
- Rutschprozess über Jahre bis zu Jahrhunderten andauernd, oft mit Phasen unterschiedlicher Aktivität
- Erkennungsmerkmale im Gelände: Grossbruchränder im Anrissbereich, schiefstehende Bäume oder Bäume mit Säbelwuchs, Bodenrisse, gespannte Wurzeln, Stauchwülste, Versickerungszonen von Oberflächenwasser, Vernässungszonen, Risse und Verformungen an Strassen oder Gebäuden



Sörenberg LU

- mehrere Mio. m³ Material
- In Bewegung seit über 100 Jahren; aktive und passivere Phasen, je nach Witterung
- Murgänge und flachgründige Rutschungen als Folgeereignisse

Abb. 4: Beispiele für Rutschungen

Rutschgefährdete Gebiete

Rutschgebiete (insbes. tiefgründige) sind oft gut bekannt und dokumentiert. Wichtige Beurteilungsgrundlagen sind daher folgende Unterlagen:

- ▶ Gefahrenkarte / Gefahrenhinweiskarte
- ▶ Karte von Boden- und Hanginstabilitäten (Karte der Phänomene)
- ▶ Ereigniskataster / Ereignisdokumentationen
- ▶ Geologische Karte

Flachgründige Rutschungen entstehen teilweise auch spontan, innerhalb des Waldes nicht selten in der Folge eines flächigen Bestandeszusammenbruches.

Ob und - falls ja - in welchen Gebieten sich Rutschungen ereignen, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Am wichtigsten sind jedoch die primären Faktoren Hangneigung und Art des Lockermaterials. Das entscheidende Kriterium bezüglich des Lockermaterials ist der materialspezifische Winkel der inneren Reibung, welcher die Grenzneigung eines Hanges / einer Böschung bezeichnet.

In der folgenden Tabelle sind die vorhandenen Lockergesteinsarten grob in drei Klassen unterteilt worden. Für jede Klasse ist ein Richtwert angegeben für die Hangneigung, ab welcher mit einer flachgründigen Rutschfähigkeit zu rechnen ist (Tab. 1). Ist ein Waldgebiet also flacher als die angegebenen Werte, dann ist dort die Wahrscheinlichkeit von spontanen Rutschungen gering³.

Tab. 1: Richtwerte für die kritische Hangneigung

Lockergesteinsart	Richtwert für kritische Hangneigung
1 mergelreiche Böden tonreiche Böden	ab 25° (47%)
2 mittlere Bodeneigenschaften, ohne starke Vernässungsmerkmale	ab 30° (58%)
3 gut durchlässige Böden Böden mit wenig Feinanteilen (Ton, Silt) sandige, kiesige Böden	ab 35° (70%)

³ Es können u.U. auch bei geringeren Hangneigungen Rutschungen vorkommen. Zu beachten ist insbesondere, ob frühere Ereignisse bekannt sind

Einfluss von Waldbeständen auf das Losbrechen von Rutschungen

Flachgründige Rutschungen: Diese Rutschungen liegen im Einflussbereich des Wurzelraums der Bäume. Dadurch kann der Wald hier einen grossen Einfluss auf die Rutschintensität haben:

- ▶ mechanische Armierung des Bodens durch das Wurzelwerk
- ▶ positive Beeinflussung des Wasserhaushalts des Bodens durch Interzeption, Transpiration und durch die Verbesserung der Bodendurchlässigkeit

Mit einer idealen Waldbestockung lassen sich die Stabilitätsverhältnisse verbessern, so dass mit verminderter Rutschaktivität gerechnet werden kann. Auch bei idealer Waldbestockung können jedoch Rutschungen nicht völlig ausgeschlossen werden. Zudem nimmt die Wirkung des Waldes ab einer Neigung von ca. 40° stark ab.

Beim Sturmwurf grosser Bäume kann der Boden stark aufgerissen werden, was sich in Bezug auf die Rutschgefährdung sowie die Oberflächenerosion negativ auswirken kann.

Bei starkem Wind können auch durch das Bewegen der Bäume Risse im Boden entstehen.

Mittel- und tiefgründige Rutschungen: Die unmittelbare Wirkung des Waldes durch Wurzelarmierung, wie sie bei den flachgründigen Rutschungen im Zentrum steht, tritt bei den mittel- und tiefgründigen Rutschungen stark zurück. Wichtig wird dort die mittelbare Wirkung des Waldes durch die Schaffung des Speicherraumes, der Infiltrationswasser von der Tiefensickerung in eine potentielle Bruchzone zurückhält. Diese Wirkung geht jedoch verloren, wenn der Boden einmal vollständig wassergesättigt ist.

Bezüglich einer mittel- oder tiefgründigen Rutschung kann ein Infiltrationsgebiet definiert werden. Dieses umfasst dasjenige Gebiet, in welchem das Wasser, welches in den Rutschkörper gelangt, in den Boden infiltriert. Teilweise wird dieses Wasser durch die Speicherwirkung des Waldes zurückgehalten. Oftmals ist es allerdings aufgrund fehlender Kenntnis der unterirdischen Wasserwege sehr schwierig, das Infiltrationsgebiet tatsächlich bestimmen zu können. Im Fall fehlender genauere Kenntnisse muss daher meist das oberirdische Einzugsgebiet, welches oberhalb des Rutschungsfusses liegt, als Infiltrationsgebiet angenommen werden.

Auf mittel- und tiefgründige Rutschungen hat das Gewicht von Bäumen keinen Einfluss. «Entlastungsschläge» sind daher nicht sinnvoll.

Instabile Bäume sind jedoch im Einflussbereich eines Gerinnes, wo durch Schwemmholz eine Verklauungsgefahr besteht, problematisch (vgl. Anforderungsprofil Wildbach / Hochwasser).

Bedeutung der Baumart

Wichtig sind Baumarten, welche eine tiefgründige und intensive Durchwurzelung des Bodens erlauben. Dadurch kann einerseits eine gute Armierung des Bodens und andererseits eine optimale Erschliessung des Speicherraumes erreicht werden. Bei gut durchlässigen Böden ist dies für die meisten Baumarten kein Problem. Entscheidend ist das Verhalten auf schweren, verdichteten und temporär vernässten Standorten.

Durch vergleichsweise gute Tiefenerschliessung dichter, vernässter Lehm Böden zeichnen sich folgende Baumarten aus:

Laubbäume: Esche, Ulme, Eiche, Aspe, Schwarzerle
Nadelbäume: Tanne, Föhre, Waldföhre

Die Tanne spielt dabei als im Naturwald weitverbreitete Baumart eine zentrale Rolle.

Bedeutung der Bestandesstruktur

Entscheidend für eine gute Schutzwirkung gegenüber Rutschungen ist eine möglichst umfassende, tiefgründige und intensive **Durchwurzelung des Bodens**.

Diese kann nachhaltig am besten gewährleistet werden durch einen **kleinflächig ungleichaltrigen Bestand mit möglichst hohem Deckungsgrad**. Es kann erwartet werden, dass eine Stufigkeit im Bestand auch ihre Entsprechung in der Durchwurzelung im Boden findet. Auf diese Weise kann auch die Verjüngung nachhaltig gesichert werden, und im Falle eines Bestandeszusammenbruchs (beispielsweise durch Windwurf) ist die Wiederbewaldung bereits vorbereitet.

Grosse Kahlfächen dagegen bilden den ungünstigsten Waldzustand bezüglich Rutschungsgefährdung, da nach einigen Jahren die stabilisierende Wirkung der toten Wurzeln abnimmt, wenn der neue Bestand noch im Jugendalter ist.

Bestandesöffnungen sollten daher so klein als möglich und so gross als nötig (Verjüngung) sein.

Grosse, windwurfgefährdete Bäume können die Hangstabilität nachteilig beeinflussen. Bei Windwurf entstehen oft tiefe Bodenwunden. Dadurch können die Infiltration erhöht und die Verwitterung des darunterliegenden Boden-

materials verstärkt werden. Als Folge können Ausgangspunkte für Erosions- und Rutschungsprozesse entstehen.

Wirkung von Entwässerungen

Die Wirkung von Entwässerungsgräben kann sehr unterschiedlich sein. Eine funktionierende Wasserableitung aus einem aktiven Rutschgebiet kann positiv wirken und zu einer Beruhigung der Rutschbewegung führen. Bei grossflächigen Entwässerungen ergeben sich jedoch oft zahlreiche Schwierigkeiten:

- ▶ Der Unterhaltsaufwand für Entwässerungsgräben ist sehr hoch.
- ▶ Wird der Unterhalt vernachlässigt, können die Entwässerungen kontraproduktiv wirken.
- ▶ Gerade in Gebieten, welche eine mittel- bis tiefgründige Rutschaktivität aufweisen, ist die Gefahr eines Unterbruchs des Entwässerungssystems durch Rutschbewegungen besonders gross.
- ▶ Grossflächige Entwässerungssysteme tragen u.U. zur Erhöhung von Hochwasserabflussspitzen bei.
- ▶ Oftmals kann das gefasste Wasser nicht abgeleitet werden, ohne dass andere potentielle Rutschgebiete dadurch belastet werden.

Aus diesen Gründen muss der Zweck von Entwässerungsanlagen in jedem Einzelfall sehr sorgfältig geprüft und eine Unterhaltsplanung erarbeitet werden.

Liegenlassen von Holz

Das Liegenlassen von Holz stellt in Rutschgebieten dann ein Problem dar, wenn das Holz in den Einflussbereich eines Wildbachgerinnes gelangen kann, wo es zu Verklauungen oder zu Schwemmholz in Murgängen kommen könnte (vgl. dazu das Anforderungsprofil Wildbach / Hochwasser).

Holzernte

Durch unsachgemässe Waldbewirtschaftung kann - insbesondere auf empfindlichen Böden - eine massive Bodenverdichtung verursacht werden. Dabei wird der Wurzelraum, welcher für die Stabilität des Waldbestandes und dessen Wirkung gegenüber Rutschungen entscheidend ist, über Jahrzehnte beeinträchtigt. Der Schaden, der durch eine unsorgfältige Bewirtschaftung verursacht wird, kann den beabsichtigten Nutzen bei weitem überwiegen! Die Suche nach der günstigsten Eingriffsmethode muss daher immer unter Wahrung einer sorgfältigen, bestandes- und bodenschonenden

Holzernte erfolgen. Dies gilt insbesondere auch bei Zwangsnutzungen, wo in kurzer Zeit grossflächige und dauerhafte Schäden angerichtet werden können.

3.3 Oberflächenerosion

Unter Oberflächenerosion wird hier eine schrittweise, oberflächliche Abtragung von Lockermaterial, insbesondere durch Wasser, verstanden (der Übergang zu flachgründigen Rutschungen ist fliessend). Sie stellt im Gegensatz zu Rutschungen und Hangmuren für sich alleine kein Gefahrenpotential dar. Sie kann jedoch längerfristig zur Bereitstellung von Lockermaterial in Gerinnen führen, welches durch einen Murgang mobilisiert werden kann. Zudem wird durch eine fortschreitende Erosion von feinkörnigem Material das Wasserspeicherpotential des Bodens und der Wurzelraum für die Vegetation reduziert.

Die Erosion als solche ist ein natürlicher Prozess, welcher nicht völlig unterbunden werden kann. Sie kann jedoch durch die Art der Landnutzung beschleunigt oder gebremst werden.

Die positive **Waldwirkung** gegenüber Oberflächenerosion ist gut bekannt. Sie beruht im Wesentlichen auf der Armierung des Bodens durch das Wurzelwerk der Bäume und der Krautvegetation. Dadurch wird der Abtrag von Bodenmaterial durch Oberflächenabfluss vermindert. Eine geschlossene Vegetation vermindert zudem die laufende Verwitterung und Destabilisierung des Lockergesteins, welche zu einer verminderten Scherfestigkeit führen und dadurch Erosionsrutschprozesse ermöglichen.

Entscheidend für die Verhinderung von Oberflächenerosion ist also in erster Linie eine weitgehend **geschlossene Vegetationsbedeckung des Bodens**. Der **Zustand des Waldes** spielt dabei eine indirekte Rolle:

- Die Erhaltung einer geschlossenen Vegetationsbedeckung ist langfristig am besten gewährleistet, wenn Phasen des Bestandeszusammenbruchs (z.B. durch

Windwurf) verhindert werden. Dies bedeutet, dass in erster Linie eine Bestockung angestrebt werden muss, welche einen grossflächigen Bestandeszusammenbruch verhindert. Im Mittelpunkt steht dabei ein stufenweiser Bestandesaufbau.

- Oberflächliche Erosionsherde entstehen oft auch infolge von Rutschungen. Insofern wird mit der Pflege von Wald im Hinblick auf Rutschungsgefahr auch eine Prävention vor Oberflächenerosion betrieben.

3.4 Murgänge

Murgänge sind ein schnell fliessendes Gemisch von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil von ca. 30 bis 60%. Sie erfolgen oft schubartig in Wildbachgerinnen. Typisch sind eine grosse Dichte, z.T. hohe Fließgeschwindigkeiten, eine hohe Transportkapazität (Blöcke von mehreren m³ Volumen) und grosse umgesetzte Feststoffvolumina.

Rutschungen und Oberflächenerosion führen zu einer Akkumulation von Lockermaterial in Wildbachgerinnen und tragen damit zur Entstehung von Murgängen bei. Murgänge können zudem durch eine Instabilität im Hang als Hangmure ausgelöst werden.

Im Zusammenhang mit Murgängen besteht die Waldwirkung darin, dass durch die Verminderung von Hangprozessen (Rutschungen, Oberflächenerosion) die Bereitstellung von murgangfähigem Material verlangsamt wird.

Im Auslaufgebiet des Murgangs kann ein Waldbestand zudem eine gewisse Bremsfunktion ausüben, indem er die Entwässerung des Murgangs fördert.

Murgänge werden im nachfolgenden Anforderungsprofil nicht aufgeführt. Es sind die auslösenden Prozesse (Rutschung und Oberflächenerosion) zu berücksichtigen.

Für einen allfälligen negativen Einfluss durch den Wald (Schwemmholz im Gerinne) vgl. das Anforderungsprofil für Wildbach/Hochwasser.

Quellen: Die Angaben zu den Rutschungen wurden durch Kaspar Zürcher (IMPULS) zusammengestellt, mit Beratung durch Albert Böll (WSL), Monika Frehner, Christian Rickli (WSL), dem Vorstand der FAN, der GWG und dem Cemagref (Frédéric Berger). **Verwendete Literatur:** Böll (1997), BRP/BWW/BUWAL (1997), Polomski und Kuhn (1998), Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (2000), BUWAL (2000), Rickli (2001).

4 Steinschlag

- 4.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag
- 4.2 Steinschlagprozess
- 4.3 Entstehungsgebiet
- 4.4 Transitgebiet
- 4.5 Auslauf- und Ablagerungsgebiet
- 4.6 Zusätzliche Hinweise zur Waldwirkung

4.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	Mittel	Stabilitätsträger Keine instabilen, schweren Bäume	
Transit-, Auslauf-, Ablagerungsgebiet	Gross	Stammzahl und Grundfläche	
		Ziel-Grundfläche (ab 8 cm BHD) und die dazugehörigen Stamm-Zahlen pro BHD-Klasse gemäss dem Internet-Tool: http://www.gebirgswald.ch/de/anforderungen-steinschlag.html	
		Diese Beurteilung muss über die ganze bewaldete Hanglänge erfolgen.	
		Bei Öffnungen¹	
		- Stammabstand in der Falllinie < 40 m - Bei Öffnungen grösser als 20 m: hohe Stöcke (ca. 1.30 m) sowie alle 10 Meter mindestens 2 liegende Stämme mit Durchmesser ≥ Steindurchmesser und schräg zur Falllinie	
		Liegendes Holz und hohe Stöcke (ca. 1.3 m) als Ergänzung zu stehenden Bäumen	
		Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt

¹ Öffnung: Öffnung von Stamm zu Stamm im Stangenholz und Baumholz

4.2 Steinschlagprozess

Als Steinschlagprozess wird die Bewegung von stürzenden Steinen sowie deren Interaktion mit der Umgebung verstanden. Die Steine rollen, springen oder gleiten. Diese Bewegungsarten können gut beschrieben werden. Dazwischen treffen die Steine auf den Boden oder auf Hindernisse wie Baumstämme oder Schutzbauten. Dabei verlieren die

Steine Energie.

Der Steinschlagprozess findet in den folgenden Teilräumen statt: Entstehungs-, Transit- sowie Auslauf- und Ablagerungsgebiet. Oft überschneiden sich diese Gebiete.

Neben Steinschlag kann Eisschlag auftreten.

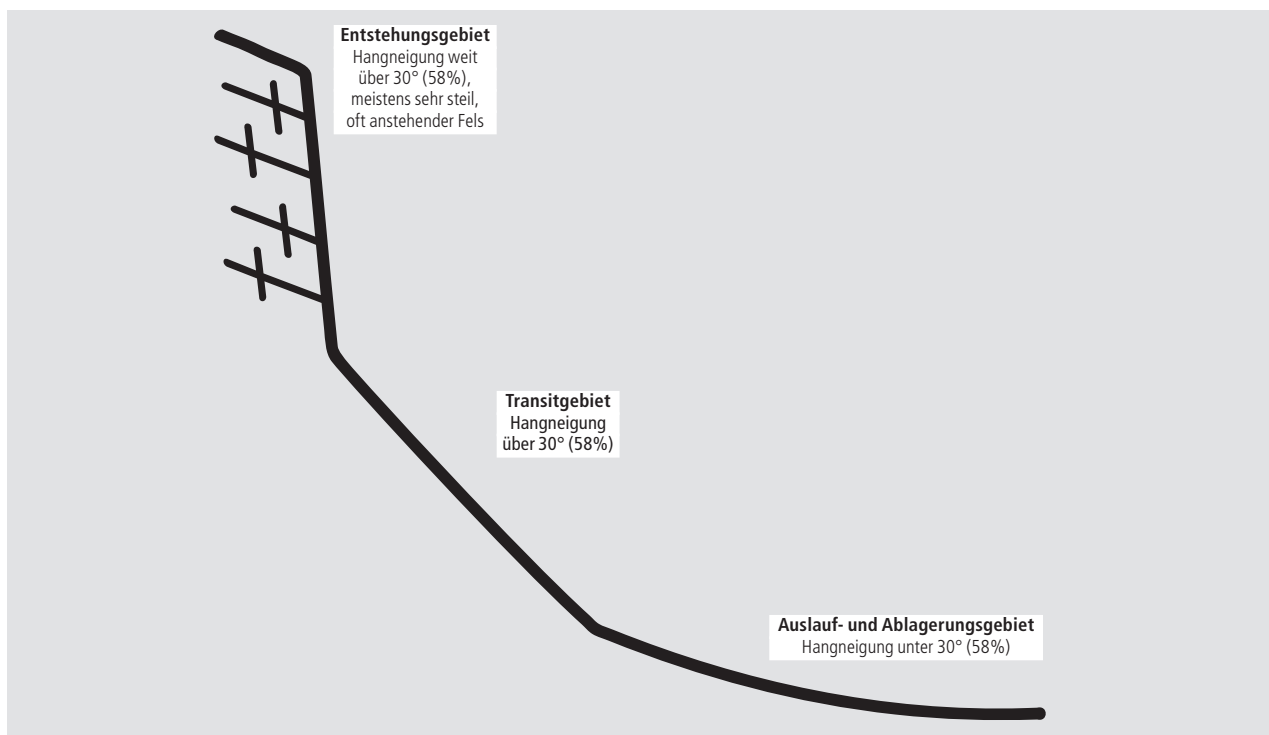


Abb. 5: Schematisches Hangprofil

4.3 Entstehungsgebiet

Bedeutung innerhalb des Steinschlagprozesses

In diesem Bereich lösen sich die Steine. Die Größe und Form der Steine sowie die Häufigkeit des Steinschlages wird beeinflusst durch Gesteinsart, Art der Schichtung des Gesteins, Exposition und Höhenlage. Die Sturzhöhe (Höhe der Felswand) ist sehr bedeutend für die Energie der Steine. (Re-)Mobilisierung von Steinen aus den Boden kann auch zu Steinschlag führen bei Hangneigungen $> 35^\circ$.

Waldwirkung

Die Wurzeln der Bäume halten die Steine zusammen. Sie können aber auch die Verwitterung beschleunigen, indem

organische Säuren aus den Wurzeln und der Nadelstreu die Steine angreifen oder indem die Wurzeln in Risse wachsen und die mechanische Verwitterung fördern. Wenn die Steinschichten hangparallel verlaufen, so wirken die Verwitterungsprozesse stärker als wenn die Steinschichten senkrecht zum Hang verlaufen. Umfallende Bäume können auch Steine losreißen. Vor allem bei Bäumen höher als 20 m kann Wind die Bäume so stark bewegen, dass sich auch die Wurzeln bewegen und somit Steine gelöst werden können.

Die Wirkung des Waldes hängt von der Geologie, der Topografie, der Baumart, dem Baumgewicht, dem Baum Schwerpunkt und der Baumhöhe ab.

4.4 Transitgebiet

Bedeutung innerhalb des Steinschlagprozesses

Zwischen 30° (58%) und 35° (70%) rollen oder gleiten die Steine, über 35° (70%) können sie auch springen. Diese Bewegungen können relativ genau berechnet werden. Beim Kontakt mit dem Untergrund oder mit Hindernissen verlieren die Steine Energie (Energie = Masse x Geschwindigkeit²), sie können auch die Richtung ändern. Zurzeit ist es schwierig zu berechnen, wie gross die Energieverluste sind. Steine können bei diesen Kontakten zum Stillstand kommen, sie können sich nachher aber auch wieder erneut in Bewegung setzen.

Neben Wald und Schutzbauwerken bremsen folgende Faktoren die Steine:

- ▶ Topografie: bei einem ausgeprägtem Relief werden die Steine oft abgelenkt; je flacher das Gelände, desto langsamer die Steine.
- ▶ Oberflächenrauigkeit: besonders wenn die Rauigkeit der Oberfläche in der Grössenordnung der Steingrösse ist, werden die Steine gebremst (Geröllhalde, Schutthalde)
- ▶ Dämpfung: bei weichem Boden werden die Steine gebremst

Runde Steine sind bei sonst gleichen Bedingungen schneller als eckige und längliche Steine.

Länge Transitgebiet

Es ist eine minimale Länge von Transit- und/oder Ablagerungsgebiet notwendig, damit der Wald wirksam sein kann. Bei kurzem Transitgebiet (< 75 m), fehlendem Ablagerungsgebiet, kleinen Steingrössen und geeigneten Baumarten (Buche und andere Laubhölzer) können bei der Verjüngung neben Kernwüchsen auch Stockausschläge empfohlen werden. Waldbestände nahe beim Entstehungsgebiet sind besonders wichtig, damit die Steine gestoppt werden können, bevor sie eine grosse Geschwindigkeit erreichen. Besonders bei kurzen Transitgebieten ist auch der Eisschlag zu berücksichtigen.

Waldwirkung

Der Kontakt mit Bäumen bremst Steine oder bringt sie vorübergehend zum Stillstand. Beim Abbremsen wird neben

der Geschwindigkeit auch die Sprunghöhe reduziert. Die Waldwirkung hängt primär von der Grundfläche ab, der ein Stein auf seiner Sturzbahn begegnet. Diese Grundfläche wird durch die Stammzahl, die Durchmesser- und die bewaldeten Hanglänge bestimmt. Zusätzlich spielt die Energie und -Grösse der Steine eine Rolle:

- ▶ Die Bäume können je nach Energie der Steine (abhängig von Geschwindigkeit und Grösse der Steine) verletzt oder gebrochen werden. Diese Kontakte verringern die Geschwindigkeit und damit die Energie der Steine wesentlich.
- ▶ Sehr dünne Bäume weichen beim Kontakt mit Steinen aus. Für sich alleine haben sie daher nur eine geringe Bremswirkung. Sie sind aber wichtig für eine erhöhte Aufprallwahrscheinlichkeit und können auch grosse Steine zum Stillstand bringen, nachdem sie auf dicke Bäume gestossen sind. Bei geringen Steinenergien (insb. im Auslauf- und Ablagerungsgebiet) können sie jedoch im Verbund (Niederwald) eine hohe Wirksamkeit erreichen und Steine zu Stillstand bringen.
- ▶ Auch bei sehr grossen Blöcken (> 5 m³) ist eine Waldwirkung gegeben; allerdings wird für eine relevante Energie- und Risikoreduktion ein langes bewaldetes Transitgebiet benötigt.
- ▶ Hohe Stöcke begünstigen das Bremsen oder Stoppen von Steinen. Im Steinschlagschutzwald sollen Stöcke so hoch wie möglich (ca. 1.3 m Höhe) belassen werden.

Die *aktuelle Schutzwirkung* des Waldes, die vom Internet-Tool berechnet wird, kann ohne Bezug zur notwendigen Risikoreduktion beim Schadenpotenzial nicht bewertet werden. Es kann z.B. auch eine geringe Schutzwirkung des Waldes ausreichen um das Risiko auf ein tragbares Mass zu senken.

Lückengrösse

Für den Sturzprozess von Steinen sind meistens weniger die Lückenlängen in Hangfalllinie als vielmehr die Anzahl und Verteilung der Hindernisse in der Sturzbahn der Steine massgebend. Diese Faktoren werden mit der Stammzahl, der Durchmesser- und die bewaldeten Hanglänge beschrieben. Bei grösseren Lückenlängen hingegen gibt es einen direkten Einfluss der Lückenlänge auf den Steinschlagprozess. Steine können schon nach 40 m Bahnlänge die

maximale Geschwindigkeit und damit je nach Gelände grosse Sprungweiten erreichen. Das bedeutet, dass für Steine, die nach einer Öffnung in der Falllinie von 40 m im untenliegenden Wald ankommen, der Einfluss des Waldes oberhalb der Öffnung möglicherweise vernachlässigbar ist.

Da die hindernisfreie Strecke innerhalb eines Waldbestandes auf kleiner Fläche immer wieder ändert, wird für den Waldbauer eine zulässige Lückengrösse festgelegt. Diese soll stets so klein wie möglich gehalten werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die bis anhin gültige Festlegung einer maximalen Grösse von 20 m in Falllinie nicht immer eingehalten werden kann (insbesondere im wüchsigen Buchenwald braucht es für die Verjüngung oftmals grössere Öffnungen). Es wird daher zugelassen, dass Öffnungen grösser als 20 m in der Falllinie ausfallen können, unter der Bedingung, dass folgende unterstützenden Massnahmen ergriffen werden:

- ▶ Stammabstand in der Falllinie maximal 40 Meter.
- ▶ Alle Stöcke mit ca. 1.3 m Höhe.
- ▶ Wirksames liegendes Holz: in der Falllinie alle 10 Meter mindestens 2 liegende Stämme mit Durchmesser \geq Steindurchmesser, idealerweise rund 70° schräg zur Falllinie.

4.5 Auslauf- und Ablagerungsgebiet

Bedeutung innerhalb des Steinschlagprozesses

Die Geschwindigkeit der Steine nimmt auch ohne Kontakt mit Hindernissen ab. Zwischen 25° (45%) und 30° (58%) Hangneigung können die Steine ohne Kontakt mit Hindernissen noch lange weiterrollen, bei weniger als 25° (45%) Hangneigung stoppen die Steine meistens rasch. Steine, die gestoppt worden sind, setzen sich hier nicht mehr erneut in Bewegung. Transit- und Ablagerungsgebiet sind überlappend und es wirken die gleichen Faktoren bremsend auf die Steine.

Waldwirkung

Grundsätzlich reagieren die Bäume bei Kontakten mit Steinen gleich wie im Transitgebiet. Eine hohe Anzahl von Bäumen und hohen Stöcken (ca. 1.3 m) führt zu vielen Kontakten zwischen Steinen und Bäumen. Es sind darum die gleichen Waldmerkmale anzustreben wie im Transitgebiet.

4.6 Wirkung von liegendem Holz

Liegendes Holz (gezielt deponiert) wirkt positiv, sofern für das liegende Holz keine Sturzgefahr besteht und sich im Entstehungs- und Transitgebiet keine grösseren Steinansammlungen bilden können. Da die Steine im Auslaufgebiet von einer springenden zu einer rollenden Bewegung übergehen, hat liegendes Holz hier eine besonders grosse Wirkung.

Die Sturzgefahr nimmt mit zunehmender Hangneigung, Aufarbeitung des Holzes (Entasten und Entrinden) und Schneewirkung zu. Falls Sturzgefahr für das Holz besteht, muss es zwingend gesichert werden. Dies ist situativ zu beurteilen. Liegendes Holz muss wie alle anderen Schutzbauten periodisch kontrolliert und unterhalten werden. Gefährliche Steine müssen evtl. sicher deponiert oder allenfalls kontrolliert gesprengt werden.

Liegendes Holz vergrössert die Oberflächenrauigkeit. Dieser Effekt ist am größten, wenn der Stammdurchmesser gleich gross oder grösser ist als der Durchmesser des maßgebenden Blockes. Liegt das Holz schräg zur Falllinie (idealerweise rund 70° schräg zur Falllinie), so werden die Steine gebremst und meistens abgelenkt. In Vergleich zu querliegendem Holz nimmt die Trefferwahrscheinlichkeit zu. Liegendes Holz im Transitgebiet kann den Bestand selber vor Verletzungen schützen. Schräg zur Falllinie liegendes Holz kann dazu beitragen, die Steine zu kanalisieren.

Umgefallene Wurzelteller vergrössern die Rauigkeit des Geländes und wirken deshalb grundsätzlich positiv. Probleme können entstehen, falls im Wurzelteller grössere Steine hängen. Diese lösen sich meistens mit der Zersetzung der Wurzeln und stellen so eine Steinschlagquelle dar (z. B. im Jura häufig). Lose Wurzelteller können sich in Bewegung setzen. Falls beim Absägen des Baumstammes mindestens 4 m des Stammes am Stock bleibt, kann dieses Problem weitgehend vermieden werden.

Asthaufen erhöhen die Dämpfung und verbessern dadurch die Schutzwirkung.

4.7 Zusätzliche Hinweise zur Waldwirkung

Waldpflege - Schutzbauten

Gezielte Pflege von Waldbeständen kann technische Verbauungen ersetzen oder dazu führen, dass die technischen Verbauungen auf geringere Sprunghöhen und weniger Energie dimensioniert werden müssen.

Fäulnis

Verletzte Bäume können von Fäulnis befallen werden (Fichte und Buche etwa nach 10 Jahren). Die Fäule befällt das nach der Verletzung gewachsene Holz nicht.

ausgenützt werden, hier ist liegendes Holz besonders wirksam. Es ist aber auch auf «kleinflächige Entstehungsgebiete» (z. B. labile Schutthalden, kleine Felsköpfe) und auf schmale durchgehende Steinschlagschneisen zu achten.

Stockausschläge

Im Auslauf- und Ablagerungsgebiet sowie bei kleinen Steinen auch im Transitgebiet sind schon Bäume ab 12 cm BHD wirksam. In diesen Fällen kann es bei geeigneten Baumarten und bei kurzem Transitgebiet (< 75 m), günstig sein, auch mit Stockausschlägen zu arbeiten. Diese wachsen in der Jugend sehr schnell und erreichen schon nach wenigen Jahren den schutzwirksamen BHD. Dabei sollten die Stöcke sauber und tief abgeschnitten werden, damit sich die neuen Sprosse möglichst aus den Wurzelanläufen entwickeln. Da bei Öffnungen in der Falllinie der Abstand von Stamm zu Stamm im Bestand nicht zu gross werden soll, können keine flächigen Niederwaldschläge durchgeführt werden, sondern nur Streifen, die in der Falllinie eine maximale Grösse von 20 m haben. Das Arbeiten mit Stockausschlägen erfordert eine intensive Pflege, die Fläche muss regelmässig bewirtschaftet werden und es kann weniger mit den Regulierungskräften der Natur gearbeitet werden als bei stufigen Wäldern. Deshalb wird das Arbeiten mit Stockausschlägen nur in Gebieten mit weniger als 75 m zwischen Steinschlagquelle und dem Ort des Schadenpotentials empfohlen.

Totholz auf Windwurfflächen:

Auf ungeräumten Windwurfflächen ist das Holz ein sehr effizienter Schutz gegen Steinschlag. Die Oberflächenstrukturen durch Totholzständer, Strünke, Wurzelteller und liegende Stämme bilden einen dichten meterhohen Verhau, der für einige Jahrzehnte jegliches Ausbrechen von kleinen und mittelgrossen Steinen verhindert und Steine in Bewegung stoppt. Nur sehr grosse Steine können aufgrund ihres Gewichtes den Verhau durchbrechen. Durch Räumung wird der Schutz gegen Steinschlag wesentlich vermindert.

Topografie

Beim Steinschlagprozess ist auf die topografischen Besonderheiten im Gelände zu achten. Im Transitgebiet können kleinflächige Abflachungen als Ablagerungsstellen

Quellen: Dieses Anforderungsprofil wurde von Luuk Dorren (BAFU), Monika Frehner (ETH) und Werner Gerber (WSL) zusammengestellt (*Überarbeitung März 2014*), mit Beratung durch die GWG, Frédéric Berger (IRSTEA), Kaspar Zürcher und Jean-Jacques Thormann (HAFL-BFH), sowie Markus Huber (WSL).

Verwendete Literatur: Leibundgut (1993), Gsteiger (1995), GWG/FAN-Dokumentation (1998), Dorren et al. (2005), Berger und Dorren (2007).

Gerinneprozesse

Dieses 5. Kapitel des Anhang 1: Naturgefahren wurde 2021 überarbeitet.

Kapitel 1-4 siehe

www.bafu.admin.ch/schutzwald

5 Gerinneprozesse

Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Gerinneprozessen⁽¹⁾

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen aufgrund der Naturgefahr minimal	Anforderungen aufgrund der Naturgefahr ideal
Abflussbereich Murgang / Hochwasser (Zone 1)	Gross bis sehr gering	Wald- und Wasserbauverantwortliche definieren gemeinsam die Ziele, leiten die wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen her und richten sie auf die relevanten Schwachstellen ⁽²⁾ aus.	
Gerinneeinhang (Zone 2) ⁽³⁾	Gross bis gering	Lückenzlänge in Falllinie max. 30 m ⁽⁴⁾ Lückengrösse max. 12 a ⁽⁵⁾ Deckungsgrad dauernd über 50 % ⁽⁶⁾ Höchstens wenig mobilisierbare Bäume und rutschgefährdetes Holz Minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt	Lückenzlänge in Falllinie max. 20 m ⁽⁴⁾ Lückengrösse max. 6 a ⁽⁵⁾ Deckungsgrad dauernd über 60 % ⁽⁶⁾ Keine mobilisierbaren Bäume und kein rutschgefährdetes Holz Ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt

(1): Mit diesem Anforderungsprofil sind auch die Anforderungen bezüglich der hydrologischen Wirkung des Waldes abgedeckt.

(2): Schwachstellen sind Punkte oder Strecken im Gewässerverlauf, von denen eine Gefährdung ausgehen kann. Klassische Schwachstellen sind zu kleine Durchlässe, Engnisse, enge Kurven, Hindernisse oder Gefällsbrüche im Längensprofil.

(3): Gilt, wenn im Gerinneeinhang die Naturgefahren Rutschungen und / oder Lawinen massgebend sind. Das Anforderungsprofil Steinschlag ist nur im Ausnahmefall zu berücksichtigen.

(4): Lücke von Kronenrand zu Kronenrand im Stangenholz und Baumholz (Schrägdistanz)

(5): Wenn aus verjüngungsökologischer Sicht notwendig, sind grössere Flächen zulässig; Lückenzlänge in Falllinie max. 30 m (Schrägdistanz)

(6): Deckungsgrad im Stangen- und Baumholz inkl. Bestandeslücken.

5.1 Gerinnerelevanter Schutzwald

Wälder entlang von Fliessgewässern sind wertvolle Lebensräume für viele Pflanzen- und Tierarten und bieten Erholungsraum für die Bevölkerung. Viele Bäche bedrohen aber auch Menschen und Infrastrukturen durch Murgänge, Übersarungen und Hochwasser. Wälder können wirksam vor diesen Naturgefahren schützen: Sie stabilisieren Ufer, verringern den Geschiebeeintrag ins Gerinne und erhöhen die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Schutzwaldpflege reduziert zudem den Schwemmholzeintrag.

Die Anforderungen an den Schutzwald unterscheiden sich je nach Lage der Wälder im Einzugsgebiet, der Nähe zum Gewässer und der Art der Naturgefahrenprozesse. Um die Schutzwaldpflege optimal auf diese unterschiedlichen Anforderungen auszurichten, werden zwei Bereiche unterschieden (Abbildung 1):

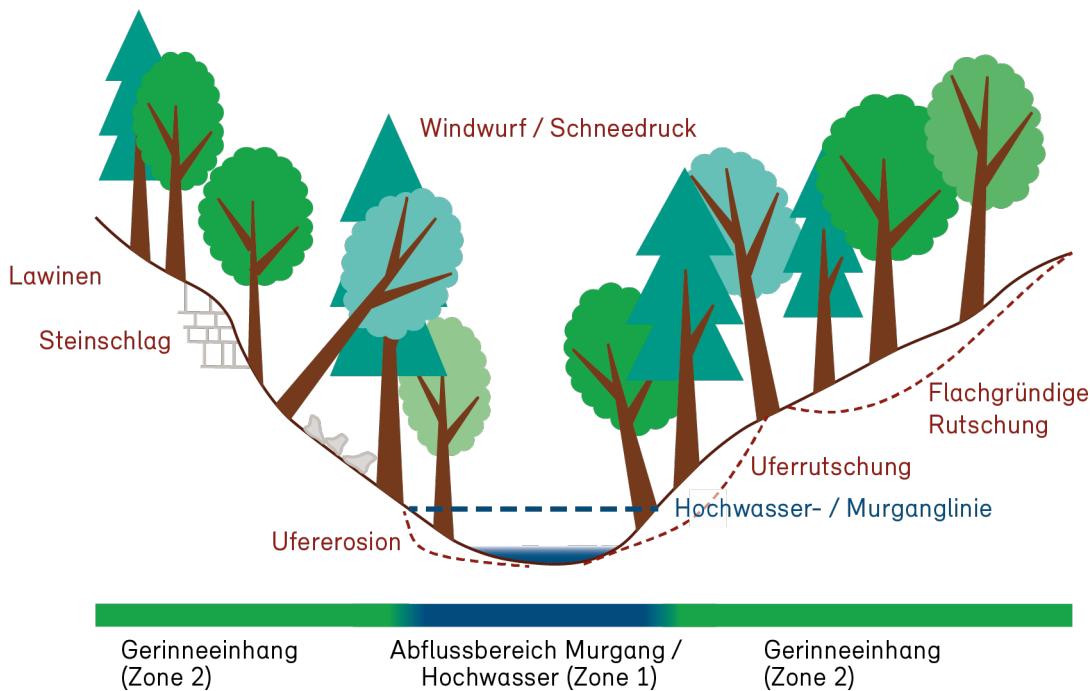
Abflussbereich Murgang/Hochwasser (Zone 1): Abflussbereich von Murgang und/oder Hochwasser entlang des Gewässers¹.

Gerinneeinhang (Zone 2): Bereich im Einzugsgebiet, von welchem durch folgende Prozesse schadenrelevantes Geschiebe und/oder Schwemmholz in den Abflussbereich von Murgang und Hochwasser gelangen kann: Erosion, Rutschungen, Lawinen, Steinschlag, Windwurf und Schneedruck. Der Gerinneeinhang entspricht normalerweise dem gerinnerelevanten Schutzwald im Einzugsgebiet ohne den Abflussbereich von Murgang und Hochwasser (Zone 1).

¹ Ob bei der Zonenausscheidung der Prozess Murgang und/oder Hochwasser berücksichtigt wird, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes ab und muss lokal festgelegt werden

Abbildung 1:

Querprofil im Gerinneschutzwald mit Abflussbereich Murgang/Hochwasser (Zone 1) und den anschliessenden Gerinneeinhängen (Zone 2). Rot: mögliche Prozesse, die Geschiebe oder Schwemmholz eintragen können. Die Hochwasser- bzw. Murganglinie bildet die Grenze zwischen den Zonen 1 und 2.



Exkurs: Gerinnerelevante Schutzwälder

Die Kantone schieden die gerinnerelevanten Schutzwälder gemäss den Kriterien von SilvaProtect-CH aus (Losey & Wehrli 2013).

Zuerst wurden dabei diejenigen Gewässer bestimmt, die durch Murgang oder Übersarung ein Schadenpotenzial gefährden. Gerinne, von denen ausschliesslich eine Hochwassergefahr ausgeht, wurden nicht berücksichtigt.

Als gerinnerelevanter Schutzwald wurden dann diejenigen Flächen ausgeschieden, von denen Naturgefahrenprozesse Geschiebe bzw. Schwemmholz in diese Gewässer eintragen können. Wald, der ausschliesslich den Abfluss günstig beeinflusst (hydrologische Wirkung), entspricht hingegen nicht den Schutzwaldkriterien von SilvaProtect-CH.

5.2 Festlegen der Zonen

Wie breit der Abflussbereich im Gerinne (Zone 1) ausfällt, variiert je nach Naturgefahrenprozess, Relief und Ereignisintensität. Dabei ist der Übergang zum Gerinneeinhang (Zone 2) oft fließend und nicht immer eine scharfe Grenze.

Waldfachleute legen darum in Zusammenarbeit mit Wasserbauverantwortlichen die Grenze zwischen dem Abflussbereich von Murgang/Hochwasser und dem Gerinneeinhang gemeinsam fest. Die berücksichtigte Intensität entspricht dabei etwa einem Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren (HQ300²) bzw. erfolgt gemäss lokaler Einschätzung der Wasserbauverantwortlichen.

Zonengrenzen

Die Grenzen der Zone 1 werden gutachtlich ausgeschieden. Die damit verbundenen Unsicherheiten sind für waldbauliche Entscheide häufig nicht ausschlaggebend: So unterscheiden sich die Fliesstiefen eines HQ100³ für die im Schutzwald relevanten Gewässer oft nur wenig von einem HQ300. Mit einer eher grosszügigen Definition des Abflussbereichs im Gerinne kann gut mit dieser Unsicherheit umgegangen werden. Ausnahmen sind Orte, bei denen das Gewässer bei einem Ereignis über die Ufer treten kann und grössere Flächen durchfließt. Hier sollte Zone 1 sorgfältig definiert werden.

Die obere Grenze des Gerinneeinhangs (Zone 2) entspricht der maximalen Distanz, von der Naturgefahrenprozesse schadenrelevantes Geschiebe/Schwemholz in das Gewässer transportieren können. Normalerweise entspricht dies der oberen Grenze des ausgeschiedenen gerinnerelevanten Schutzwaldes.

Zusammenarbeit von Wald- und Wasserbauverantwortlichen: Die Verantwortlichen für Wasserbau verfügen über die nötigen Fachkenntnisse, um die Prozesse in den Gewässern zu beurteilen. Ausserdem sind sie in vielen Kantonen für die Aufsicht über den Prozessbereich von Murgang und Hochwasser zuständig.

Damit die Schutzwaldpflege in Gerinneeinhängen sinnvoll auf diese Prozesse ausgerichtet werden kann, beurteilen Forst- und Wasserbauverantwortliche gemeinsam das Gerinne und die Naturgefahrensituation. Ebenso formulieren sie im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser (Zone 1) gemeinsam die waldbaulichen Ziele.

Wie diese Zusammenarbeit umgesetzt wird, liegt in der Kompetenz der Kantone. Idealerweise erfolgt die Diskussion zwischen Wald- und Wasserbauverantwortlichen bei jedem Gerinne. Es kann aber auch ziel führend sein, gemeinsam einige repräsentative Gerinne zu charakterisieren und bei der Herleitung waldbaulicher Massnahmen in anderen Gerinnen darauf zu verweisen.

² HQ300: Hochwasser, das statistisch im Durchschnitt einmal in dreihundert Jahren auftritt.

³ HQ100: Hochwasser, das statistisch im Durchschnitt einmal in hundert Jahren auftritt.

5.3 Abflussbereich Murgang/Hochwasser (Zone 1)

5.3.1 Funktionen des Waldes in Zone 1

Im Schutzwald steht der Schutz vor Naturgefahren normalerweise im Vordergrund. Entlang von Bächen haben Bäume und Totholz aber auch wichtige ökologische Funktionen: Gehölze beschatten das Wasser und vermindern so dessen Erwärmung. Das ist wichtig, weil die Wassertemperatur für viele Lebewesen im Wasser ein bedeutender Faktor ist. Totholz bildet in Gewässern kleinräumige Strukturen, die Tieren Schutz, Ruhezonen und Nahrungsquellen bieten. Entlang von Gewässern können auch seltene Waldgesellschaften und Baumarten vorkommen. Erholungssuchende schätzen oftmals das Landschaftsbild, das durch bewaldete Bachufer entsteht. Bei Schutzwaldeingriffen müssen diese Aspekte mitberücksichtigt werden, indem zum Beispiel die verantwortlichen Stellen für Naturschutz und Fischerei beigezogen werden.

5.3.2 Gewässereigenschaften und Naturgefahrensituation

Die jeweiligen Eigenschaften des Gewässers, der Naturgefahrenprozesse im Gerinne, der Schwachstellen und des Schutzguts bestimmen weitgehend, wie ein schutzwirksamer Wald im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser aufgebaut sein soll. Darum ist die vorgängige Beurteilung dieser Eigenschaften zentral. Berücksichtigt werden dabei übergeordnete Merkmale im Einzugsgebiet wie auch lokale Merkmale der Zone 1 (Beurteilungsschritte 1–2 in Tabelle 2).

Checkliste

Um die Verantwortlichen bei der Schutzwaldpflege entlang von Gerinnen zu unterstützen, wurde eine Checkliste erstellt (Tabelle 2). Sie zeigt mögliche Beurteilungsschritte auf, um im Gerinneschutzwald Anforderungen zu definieren, den Handlungsbedarf herzuleiten und die Verhältnismässigkeit abzuschätzen.

Die Checkliste umfasst fünf Beurteilungsschritte und berücksichtigt die Prozesskette von der Eingriffsfläche bis zur Gefährdung des Schutzgutes. Eine Beurteilung der Situation ist grundsätzlich im gesamten gerinnerelevanten Schutzwald wichtig (Zonen 1 und 2). Je nach Lage der Eingriffsfläche im Einzugsgebiet und lokaler Situation sind aber unterschiedliche Beurteilungsschritte ausschlaggebend (siehe Tabelle 2).

Prozesskette ist entscheidend

Entscheidend für die waldbauliche Zielsetzung ist die Wahrscheinlichkeit, dass Geschiebe und Holz von einem bestimmten Ort aus zu Schäden führen kann. Ein Baum, der ins Gerinne fällt, wird nur problematisch, wenn er zu Schwachstellen transportiert wird und an dieser Stelle zu Schäden führt. So kann zum Beispiel eine Ablagerungsstrecke zwischen der Eingriffsfläche und der Schwachstelle dafür sorgen, dass Holz von oberhalb kaum schadenrelevant ist.

Um auf einer Eingriffsfläche sinnvolle waldbauliche Ziele zu definieren und den Handlungsbedarf und die Verhältnismässigkeit zu beurteilen, muss deswegen zwingend die ganze Prozesskette berücksichtigt werden: Vom Geschiebe- und Schwemholzeintrag von der Eingriffsfläche über den Transport im Gerinne zu den Schwachstellen bis hin zur eigentlichen Gefährdung an den Schwachstellen (vgl. Beurteilungsschritt 2 in Tabelle 2).

Eigenschaften Murgang und Hochwasser

Der Zielbestand hängt stark von der Art des massgebenden Naturgefahrenprozesses im Gewässer ab. Damit Murgänge entstehen können, ist ein Mindestgefälle von 25–30 % nötig. Sind Förderfaktoren wie Engstellen, Schwemmholz usw. vorhanden, können Murgänge bereits bei einem Gefälle ab 15 % auftreten. Unter 10 % Gefälle können sich Murgänge normalerweise nicht mehr verlagern und bleiben stehen. Ebenso lagern sie sich ab, wenn sich das Gefälle bei einem Geländeknick stark reduziert (z. B. halbiert). Im Gegensatz zu einem Hochwasser mit Geschiebetransport sind bei Murgängen die Feststoffkonzentration, die Korngrösse, die Dichte, die Abflussspitze und das Gesamtabflussvolumen grösser. Dadurch führt ein Murgang zu stärkerer Erosion als Hochwasser. So kann ein Murgang eine Erosionstiefe erreichen, die 20 % oder sogar mehr von der Gewässerbreite beträgt. Bei Hochwasser mit Geschiebetransport beträgt die Erosionstiefe hingegen selten über 10 % von der Bachbreite. Allerdings sind dies nur Erfahrungswerte, die lokal überprüft werden müssen.

5.3.3 Wirkung von Bäumen in Zone 1

Je nach den Eigenschaften des Einzugsgebiets, der Gefahrenprozesse und des Bestandes wirken sich Bäume unterschiedlich auf die Naturgefahrensituation in Zone 1 aus. Zu den positiven Wirkungen der Vegetation gehören:

- Bäume stabilisieren durch ihre Wurzeln das Ufer und schützen dadurch vor Erosion und Unterspülungen.
- Holz im Bach- und Flussbett verbessert die kleinräumige Struktur und führt zu variablen Abflusstiefen und Fließgeschwindigkeiten.
- Wenn Bäume im Hochwasserbereich umströmt werden, verlangsamen sie den Abfluss, können Erosion reduzieren und als natürliche Schwemmholzrechen dienen.

Ab einer gewissen Strömungskraft können aber auch bestockte Ufer der Erosion nicht mehr standhalten. Die Strömungskraft, ab der die Erosion einsetzt, wird Grenzscheppspannung genannt. Wie hoch diese Grenzscheppspannung ist, hängt von der Art des Ufermaterials (z. B. Korngrößenverteilung) und der Vegetationseigenschaften ab. Hier sind insbesondere die Art des Wurzelsystems und die Dichte des Bestandes wichtig. Da das Ufermaterial und die Bestandeseigenschaften sehr unterschiedlich sein können, variiert die Grenzscheppspannung zwischen unterschiedlichen Standorten stark. Wenn Bäume ins Gewässer gelangen, können sie sich ungünstig auf die Naturgefahrensituation auswirken:

- Bäume werden bei Hochwasserereignissen als Schwemmholz transportiert und verklauen bei Engstellen wie zum Beispiel bei Brücken, Durchlässen oder natürlichen Verengungen eines Baches.
- Der Aufstau kann zu Überschwemmungen bzw. Übersarungen führen.
- Wenn Verklausungen durchbrechen, kann sich der Abfluss kurzzeitig stark erhöhen.
- Murgänge können Bäume mitreissen und damit die Gefahr für Menschen und Sachwerte vergrössern.

Solange Gerinne nicht murgangfähig sind, überwiegt in schmalen Bächen meist die positive Schutzwirkung der Bäume. Dies auch deshalb, weil hier die Transportkapazität für Schwemmholz stark eingeschränkt ist. Bei flachem Gewässerverlauf überwiegt meist auch bei breiteren Gerinnen die positive Waldwirkung, solange die Ufer nicht unterspült werden und der Waldzustand gut ist. Wenn Murgänge auftreten, haben Bäume meist nur dann einen stabilisierenden Effekt, wenn das Gerinne schmal ist und die Einzugsgebietsfläche oberhalb der betrachteten Fläche klein ist.

Uferrutschungen

Hydraulische Prozesse im Bach können auch im Übergangsbereich zum Gerinneeinhang (Zone 2) Rutschungen auslösen (Uferrutschungen, siehe Abb. 1). In der Regel können Gehölze die obersten 50 cm des Bodens gut stabilisieren. Mit zunehmender Tiefe der Gleitschicht und Neigung der Ufer nimmt die Schutzwirkung der Bäume aber ab und die Gefahr von Schwemmholzeintrag gewinnt an Bedeutung.

Wenn ein Ufer bzw. die Gewässersohle bei einem Ereignis tiefer erodiert als der Hauptwurzelraum, nimmt das Risiko für Unterspülungen und Uferrutschungen zu. Diese Prozesse führen oft dazu, dass Schwemmholz und Geschiebe eingetragen werden.

5.3.4 Umgang mit liegendem Holz in Zone 1

Der Umgang mit liegendem Holz ist grundsätzlich in Anhang 7 (Verwendung von Holz an Ort und Stelle) geregelt. Liegendes Holz im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser muss dann entfernt werden, wenn von ihm eine Gefahr ausgeht und die Entfernung verhältnismässig ist. Ob dies der Fall ist, hängt von den Eigenschaften des Gewässers, der Schwachstellen und des liegenden Holzes ab. Gleichzeitig müssen die Gewässerdynamik, die Anliegen des Naturschutzes, der Fischerei sowie weiterer Interessensgruppen berücksichtigt werden. Grundsätzlich soll so viel Totholz wie nötig, aber so wenig wie möglich aus dem Abflussbereich von Murgang und Hochwasser entfernt werden (Interessenabwägung Schutz vor Naturgefahren vs. Naturschutz/Fischerei).

Holz, das aus der Zone 1 entfernt wird, muss abgeführt oder ausserhalb von Zone 1 gelagert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass gelagertes Holz durch Prozesse wie Rutschungen und Schneegleiten nicht wieder in das Gewässer transportiert werden kann.

Schwemmholzmobilisierung und -transport

Ob und bei welchem Wasserstand Schwemmholz transportiert wird, hängt vom Fließregime, von Gewässer-eigenschaften und von der Form und Grösse der Baumstämme ab. Modellversuche zeigten, dass der Transport von glatten Stämmen dann beginnt, wenn die Abflusstiefe dem Stammdurchmesser entspricht. Beistete oder mit Wurzelstöcken versehene Stämme werden hingegen erst bei grösseren Abflusstiefen transportiert. Bei Geschiebeführung sind die für den Transportbeginn erforderlichen Abflusstiefen rund 20–30 % geringer als bei Ereignissen ohne Geschiebe. Als nicht mobilisierungsfähig bei Hochwasserprozessen gelten Schwemmholzstücke, die länger sind als die Breite des Baches im Ereignisfall. Allerdings kann dieses Holz durch natürliche Zerkleinerungsvorgänge (z. B. Verrotten) später transportfähig werden. Murgänge können hingegen auch in Kleingerinnen lange Stammstücke, Wurzelstöcke und sogar ganze Bäume transportieren.

Verklauungen

Die Länge von Schwemmholz ist ein wichtiger Faktor für die Wahrscheinlichkeit von Verklauungen: Kürzere Schwemmholzstücke verklauen weniger. Generelle Empfehlungen besagen, dass potentiell Schwemmholz im Gewässer maximal halb so lang sein sollte wie die Breite der Gewässersohle. In diese Beurteilung müssen aber auch Eigenschaften der Schwachstellen einfließen (z. B. Durchmesser des Durchlasses, Eigenschaften von Rechenanlagen, Abstand von Brückenpfeilern usw.). Wurzelstöcke sind für Verklauungen kritisch: Gegenüber glatten Stämmen ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wurzelstock hängen bleibt, signifikant höher.

Zerkleinern von Holz

Um Verklausungen zu verhindern, wird im Bach liegendes Holz oft zusammengesägt. Gleichförmige Holzstücke mobilisieren sich bei einem Ereignis aber eher gleichzeitig. Das kann zu einem schubweisen Schwemmholztransport führen. Solche Schwemmholzteppiche erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Verklausungen. Zudem wird zerkleinertes Holz weiter transportiert. Die Verantwortlichen müssen darum sorgfältig abwägen, welche Folgen das Zusammensägen auf die Gefahrensituation hat. Evtl. ist es sinnvoller, das Holz auf unterschiedliche Grössen zu zerkleinern bzw. ausserhalb des Gewässerprofils zu lagern.

5.3.5 Anforderungen an den Schutzwald in Zone 1

In der Praxis ist es schwierig zu beurteilen, ob ein bestimmter Baum zum Schutz beiträgt oder ob von ihm – als potentiell Schwemmholz – eine Gefahr ausgeht. Deswegen können im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser keine allgemein gültigen Anforderungen an den Schutzwald definiert werden. Vielmehr müssen Wald- und Wasserbauverantwortliche die Ziele und Massnahmen auf die lokale Situation abstimmen. Die Anforderungen ergeben sich aufgrund der Naturgefahr und des Standortes. Bei der Definition der Ziele und Massnahmen muss die ganze Prozesskette von der lokalen Wirkung des Baumes auf die Uferstabilisierung bis zum möglichen Schaden berücksichtigt werden. Mit waldbaulichen Massnahmen wird die Schutzwirkung der Bäume gestärkt, die Gefahr von Schwemmholz vermindert und die Nachhaltigkeit der Schutzwirkung sichergestellt.

Anforderungen aufgrund Naturgefahr

Die Naturgefahrensituation bestimmt weitgehend die Anforderungen an das Gefüge des Waldes. Wenn bei der Beurteilung die stabilisierende Wirkung der Gehölze überwiegt, sollen waldbauliche Massnahmen diese stärken und nachhaltig sicherstellen. So kann es dann sinnvoll sein, die Durchwurzelung des Bodens zu verbessern. Beispielsweise indem tiefwurzelnde Arten gefördert werden und ein grösserer Zieldurchmesser oder höherer Deckungsgrad angestrebt wird. Stabile Bäume können den einwirkenden Kräften besser widerstehen. Die Stabilität und Durchwurzelung von Bäumen sind deshalb entscheidende Kriterien zur Beantwortung der Frage, ob bei einem Eingriff ein bestimmter Baum entfernt wird oder nicht.

Überwiegt hingegen die Gefahr von schadenrelevantem Schwemmholz, sollen waldbauliche Massnahmen die Gefährdung reduzieren. Dabei muss nicht nur beachtet werden, inwieweit die Bäume das Ufer im Hauptwurzelraum stabilisieren können. Wenn das Gewässer im Ereignisfall zu Tiefenerosion neigt bzw. das Ufer unterhalb des Hauptwurzelraumes unterspült, können Bäume durch Unterspülung bzw. Uferrutschungen unterhalb der Wirkungstiefe der Wurzeln mobilisiert werden. In solchen Situationen ist es z. B. sinnvoll, den Zieldurchmesser zu reduzieren, eine Strauchvegetation zu fördern oder eine waldrandähnliche Struktur vom Abflussbereich im Gerinne zum Gerinneinhang hin anzustreben. Dieser waldrandähnliche Übergang ist auch dann zielführend, wenn Murgänge bzw. Lawinenzüge im Bachbett verlaufen. Damit wird die potentielle Schwemmholzmenge vermindert. Gleichzeitig stabilisieren die Gehölze die Ufer und reduzieren die Erosion.

Ebenso muss beachtet werden, dass Wurzelstöcke die Verklausungswahrscheinlichkeit erhöhen. Waldbauliche Massnahmen sollten darum auch darauf abzielen, dass Wurzelstöcke nicht ins Gerinne gelangen bzw. nicht transportiert werden können.

Anforderungen aufgrund Standort

Um die Schutzfunktion des Waldes nachhaltig zu gewährleisten, wird auch im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser eine standortgerechte, einheimische Baumartenmischung gefördert. Allerdings unterscheiden sich die Umweltbedingungen häufig stark vom umliegenden Wald. Die Anforderungen gemäss Standort können darum meist auch nicht einfach vom Gerinneinhang übernommen werden, sondern müssen unter Berücksichtigung der speziellen Standortsbedingungen beurteilt werden:

- Der Abflussbereich von Murgang und Hochwasser wird periodisch überschwemmt und die Böden sind oft vernässt
- Durch Ufererosion, Geschiebe- und Schwemmholztransport finden Umlagerungsprozesse statt
- Bäume sind im Wirkungsbereich von Murgang und Hochwasser erheblichen Belastungen ausgesetzt. Dazu gehören Überschwemmungen und wassergesättigte oder wechselfeuchte Böden, aber auch mechanische Einwirkungen wie Verletzungen durch Geschiebe / Schwemmholz oder freigelegte Wurzeln

Diese kleinräumigen Eigenheiten werden bei Standortkartierungen in der Regel nicht erfasst. Für die Definition der Ziele und die Herleitung des Handlungsbedarfs sind diese Belastungen und speziellen Standortsbedingungen aber zentral.

5.3.6 Definition nachvollziehbarer waldbaulicher Ziele in Zone 1

Wald- und Wasserbauverantwortliche legen den Zielzustand, d.h. das Anforderungsprofil und die wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen gemeinsam fest. Dabei werden die Naturgefahrensituation, Gerinneigenschaften, die Vegetationswirkung und Standortanforderungen berücksichtigt (siehe Kapitel 5.3.2 bis 5.3.5). Wenn weitere Interessen bestehen, wie zum Beispiel von Naturschutz oder Fischerei, sollen diese in die Entscheidungen einfließen. Auch in Zone 1 werden die Ziele und Massnahmen und deren Herleitung nachvollziehbar dokumentiert. In welcher Form dies geschieht, ist den Verantwortlichen überlassen. Als Orientierung für die Dokumentation kann die Checkliste dienen (Tabelle 2).

Tabelle 1 zeigt mögliche Eigenschaften der Bestockung, für die waldbauliche Ziele festgelegt werden können.

Tabelle 1:

Merkmale der Bestockung im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser (Zone 1) sowie mögliche Kriterien, für welche waldbauliche Ziele festgelegt werden können.

Bestandes- und Einzelbaummerkmale	Mögliche Kriterien
Mischung	Art und Grad der Mischung
Gefüge	Deckungsgrad, BHD-Streuung, maximaler Durchmesser
Stabilität	Schlankheitsgrad, Standfestigkeit, Umgang mit Hängern und unterspülten Wurzeln
Verjüngung	Anzahl und räumliche Verteilung, Baumarten, Umgang mit Konkurrenzvegetation (inkl. Neophyten)
Totholz (stehend und liegend)	Maximaler Durchmesser und/oder Länge, Lage, Umgang mit Totholz und Wurzelstöcken im Gewässer, Umgang mit Astmaterial usw.

5.4 Gerinneeinhang (Zone 2)

5.4.1 Waldwirkung in Zone 2

Wirkung auf Eintrag von Geschiebe und Schwemmholz

Schutzwälder in Gerinneeinhängen werden ausgeschieden, weil sie gegen Naturgefahrenprozesse schützen, die Geschiebe und Holz in Gewässer transportieren (Rutschungen, Erosion, Lawinen, Steinschlag, siehe Kasten in Kapitel 5.1). Dadurch vermindert sich das schadenrelevante Geschiebe- bzw. Schwemmholzvolumen, das bei einem Murgang oder Hochwasserereignis transportiert werden kann.

Die Wirkung des Waldes auf Rutschungen, Erosion, Lawinen und Steinschlag ist in den Anforderungsprofilen für die entsprechende Naturgefahr detailliert beschrieben (Anhang 1 von NaiS). Auf eine Wiederholung dieser Erläuterungen wird an dieser Stelle daher verzichtet.

Hydrologische Wirkung

Wälder wirken sich auch immer auf den Wasserkreislauf aus. Bäume schirmen durch ihre Blätter und Nadeln den Boden bei Regen und Schnee ab. So erreicht ein Teil des Niederschlags den Boden gar nicht, sondern verdunstet direkt wieder (Interzeption). Durch die Transpiration entziehen die Bäume dem Boden Wasser und schaffen so zusätzlichen Speicherraum. Baumwurzeln bilden im Boden ein wirksames Porensystem. Diese Hohlräume verbessern die Infiltration und können oberflächennahen Abfluss vermindern.

Wald erhöht damit gegenüber anderen Landnutzungsformen das Wasserspeichervermögen. Allerdings ist das Ausmass abhängig von Standorteigenschaften, dem Waldzustand, den meteorologischen Vorbedingungen und dem Verlauf eines spezifischen Niederschlagsereignisses.

5.4.2 Anforderungen an den Schutzwald in Zone 2

Besondere Situation in Einzugsgebieten

Prozesse in Gerinneeinhängen weisen gegenüber Naturgefahren, die Menschen und Sachwerte direkt gefährden, einige Besonderheiten auf: Wenn Naturgefahrenprozesse Holz und Geschiebe in einen Bach eintragen, kann dieses Material längere Zeit an Ort und Stelle verbleiben und erst zeitverzögert für Schäden sorgen. Zum Beispiel kann eine Lawine im Winter Holz ins Gerinne transportieren, das erst mit einem nachfolgenden Hochwasserereignis schadenrelevant wird. Langandauernder Niederschlag von mittlerer Intensität kann Rutschungen auslösen und so Geschiebe und Holz in Bäche transportieren, die erst bei einem späteren Starkniederschlag vom Bach transportiert werden. Die Geschiebe- und Schwemmholzeinträge finden aber auch häufig gleichzeitig mit dem schadenrelevanten Ereignis statt. So lösten beispielsweise die Starkniederschläge im Sommer 2005 zahlreiche Rutschungen aus, die Holz in Gewässer transportierten. Dieses Frischholz hat anschliessend als Schwemmholz unmittelbar für Schäden gesorgt.

Anforderungen aufgrund Naturgefahr

Rutschungen und Erosion sind meistens die wichtigsten Prozesse, die Geschiebe und Schwemmholz in Bäche eintragen. In höheren Lagen kommen Lawinen dazu. Steinschlag ist nur in seltenen Fällen der dominante Prozess. Häufig überlagern sich in Gerinneeinhängen mehrere Naturgefahrenprozesse, die unterschiedlich stark Geschiebe und Holz eintragen. Es ist daher in der Praxis teilweise schwierig, den dominanten Naturgefahrenprozess auf einer Eingriffsfläche zu bestimmen. Aus diesem Grund wird im Gerinneeinhang eine Waldstruktur angestrebt, die gleichzeitig möglichst wirkungsvoll gegen Rutschungen, Erosion und Lawinenanrisse schützt. Zu diesem Zweck werden die bestehenden Anforderungsprofile für diese Naturgefahren kombiniert: Lücken sollen nicht zu gross ausfallen und eine bestimmte Länge in Falllinie nicht überschreiten. So können die Wurzeln den

Boden verstärken, Erosion vermindert und Lawinenanrisse verhindert werden. Ein minimaler Deckungsgrad stellt die Wurzelverstärkung über die Fläche sicher und stört einen gleichmässigen Schneedeckenaufbau. Grundsätzlich verbessert ein hoher Deckungsgrad den Schutz vor Naturgefahren. Gleichzeitig darf der angestrebte Deckungsgrad aber nur so hoch sein, dass die Schutzwirkung nachhaltig ist und die Verjüngung aufkommen kann.

In den seltenen Fällen, in denen Steinschlag die Hauptursache für Geschiebeeintrag ist, wird das Anforderungsprofil gemäss der Naturgefahr Steinschlag berücksichtigt.

Anforderungen an die hydrologische Wirkung

Die Anforderungen, die sich aus der Wirkung des Waldes auf den Wasserkreislauf ergeben, decken sich grundsätzlich mit den Anforderungen aufgrund der Naturgefahren Rutschungen, Erosion und Lawinen: Grössere Lücken sind zu vermeiden und eine gewisse Stufigkeit und Baumartendiversität fördert eine intensive Durchwurzelung des Bodens. Mit den definierten Anforderungen wird damit gleichzeitig auch die hydrologische Wirkung optimiert.

Anforderungen an die Stabilität

Stabile Bestände reduzieren das Risiko von grösseren Störungen. Je stabiler Einzelbäume sind, desto geringer ist zudem die Gefahr, dass diese bei Stürmen oder Nassschneeereignissen umstürzen. In sehr steilen Hängen können liegende oder umstürzende Bäume ohne Einwirkung von Naturgefahren abrutschen. Stabile Einzelbäume und Bestände sind in Gerinnehängen darum ein wichtiges waldbauliches Ziel, da dadurch die Schutzwirkung nachhaltig sichergestellt wird und weniger Holz und Geschiebe ins Gewässer gelangt.

Die Anforderungen an die Stabilität unterscheiden sich jedoch je nach Lage der Bäume im Einzugsgebiet. In Bachnähe sind stabile Bäume ein wichtiges Ziel. An Orten, von denen ein umgestürzter Baum das Gewässer kaum erreicht, können instabile Bäume hingegen toleriert werden, solange dadurch die Bestandesstabilität nicht gefährdet wird.

Entlastungsschläge

Die Entlastung des Hanges durch grossflächige Eingriffe hat keine positive Wirkung auf die Hangstabilität. Das Gewicht der Bäume ist gegenüber der Masse des Bodens vernachlässigbar. Häufig wirken Entlastungsschläge sogar destabilisierend: Wenn grosse Bäume flächig entfernt werden, vermindert sich dadurch die Wurzelverstärkung des Bodens und das Risiko für Rutschungen nimmt zu.

5.5 Kriterien für die Verhältnismässigkeit von Massnahmen im Gerinneschutzwald

Wenn die lokalen Verantwortlichen Massnahmen im Gerinneschutzwald herleiten, beurteilen sie auch die Verhältnismässigkeit. Die Grundlagen dazu sind im Anhang 4, Kapitel 2 von NaiS zu finden (Anleitung zu Formular 2). In Gerinneschutzwäldern sind einige Besonderheiten zu beachten:

- Der Wald in Einzugsgebieten schützt Menschen und Sachwerte nicht direkt, sondern durch seine günstige Wirkung auf den Materialeintrag in Gewässer.
- Geschiebe oder Schwemmh Holz erreichen das Gewässer nicht gezwungenermassen von jedem Ort im Gerinneinhang. Beispielsweise sorgen flachere Gebiete oft dafür, dass von dieser Stelle aus kein Material in den Bach eingetragen wird.
- In Flachstrecken von Gewässern kann Holz und Geschiebe abgelagert werden. Dies verringert die Gefahr, dass von oberhalb Material zu den Schwachstellen transportiert wird.
- Eingriffe in Gerinneschutzwäldern sind in schlecht erschlossenen Gebieten häufig mit hohen Kosten verbunden. Es muss darum sorgfältig abgewogen werden, ob der Nutzen den Aufwand gerechtfertigt.
- Die Gefährdung geht manchmal von Schwachstellen aus, die nicht entsprechend dimensioniert sind (z. B. sehr enge Durchlässe). Unter Umständen ist es unverhältnismässig, die forstlichen Massnahmen darauf auszurichten.

Aufgrund dieser Besonderheiten ist es wichtig, die Verhältnismässigkeit von Massnahmen im Gerinneschutzwald sorgfältig zu beurteilen. Ausschlaggebend sind dabei insbesondere die lokale Situation bei der Eingriffsfläche, der Längsverlauf des Gerinnes und die schadenrelevanten Schwachstellen. Weitere Kriterien, die für die Verhältnismässigkeit wichtig sein können, sind in der Checkliste zu finden (Tabelle 2).

Wenn von einer Fläche nur eine geringe Gefahr ausgeht, dass schadenrelevantes Holz und Geschiebe das Gewässer erreichen, eignet sich dieser Ort gut zur Unterstützung der Biodiversität im Schutzwald. Hier kann zum Beispiel liegendes und stehendes Totholz stärker gefördert werden als im restlichen Gerinneschutzwald (vgl. Anhang 7 von NaiS).

Quellen

- BAFU (Hrsg.) 2019: Schwemmholz in Fließgewässern. Ein praxisorientiertes Forschungsprojekt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1910. 100 S.
- Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.) (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707. 215 S.
- Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.) (2008): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825. 429 S.
- Covi, S. (2008): Nachhaltiger Schutzwald entlang von Fließgewässern. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159 (7): 198–204.
- Frei, M., Frick, E., Ammann, M., Jörg, P., Lanker, S., Bigger, T. (2017): Beurteilung von Gerinneabhängungen. Fallbeispiel Schmitzenbach. Unveröffentlichter Schlussbericht zuhanden des BAFU. 134 S.
- Frick, E., Niederer, K., Zahner, F., Jörg, P., Amman, M., Lanker, S. (2018): Überarbeitung NaiS Fallbeispiele Murgang. Unveröffentlichter Schlussbericht zuhanden des BAFU. 134 S.
- Gasser, E., Perona, P., Dorren, L., Phillips, C., Hübl, J., Schwarz, M. (2020): A New Framework to Model Hydraulic Bank Erosion Considering the Effects of Roots. *Water* 2020, 12, 893; doi:10.3390/w12030893
- Gertsch, E., Lehmann, C., Spreafico, M. (2012): Methods for the Estimation of Erosion, Sediment Transport and Deposition in Steep Mountain Catchments. A contribution to the International Sediment Initiative of UNESCO/International Hydrological Programme. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Report No II-21. 69 P.
- Hunziker, G., Berger, C., Berwert-Lopes, J. (2019): Skript Modul WILDBÄCHE. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. V.0.1. 43 S.
- Ingenieure Bart AG (2016): Beurteilung von Gerinneabhängungen – Weiterentwicklung von NaiS. Fallbeispiel Fluppibach, Kanton St. Gallen. Unveröffentlichter Schlussbericht zuhanden des BAFU. 101 S.
- Lange, B., Lüscher, P., Germann, P., Bronstert, A. (2012): Baumwurzeln und Infiltration. *Forum für Wissen* 2012: 83–90.
- Lange, D., Bezzola G.R. (2006) : Schwemmholz. Probleme und Lösungsansätze. *Mitteilungen VAW*, 188, 135 p.
- Losey, S., Wehrli, A. (2013): Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. Bundesamt für Umwelt, Bern. 29 S.
- Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 48: 1104–1108.
- Rickli, C., Bucher, H. (2006): Einfluss ufernaher Bestockung auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen. Projektbericht vom 22.12.2006 zuhanden des BAFU. 94 S.
- Schwarz, M., Hilfiker, K., Dazio, E., Soldati, M. (2018). Was bringen Entlastungsschläge in rutschgefährdeten Hängen? *Wald und Holz*, 2/18: 16–19.
- Schwitzer, R., Bucher, H. (2009): Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? *Wald und Holz*, 6/09: 31–34.

Spreafico, M., Lehmann, Ch., Naef, O. (1996): Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen. Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie GHO, Mitteilung Nr. 4, Bern.

Wasser, B., Perren, B., Fehr, S. (2016): Weiterentwicklung NaiS – Beurteilung von Gerinneabhängigkeiten. Bericht zum Fallbeispiel «Rickebach», Kanton Luzern. Unveröffentlichter Schlussbericht zuhanden des BAFU. 48 S.

Tabelle 2:

Checkliste zur Herleitung waldbaulicher Massnahmen im Gerinneschutzwald. Je nach Ort der Eingriffsfläche (Zone 1 oder 2) und der lokalen Situation sind unterschiedliche Beurteilungsschritte und Leitfragen relevant bzw. weitere Aspekte wichtig.

Beurteilungsschritt	Ort	Mögliche Leitfragen	Grundlagen / Information
1 Übergeordnete Bedeutung Einzugsgebiet (relevant für Zonen 1 und 2)	Gesamtes Einzugsgebiet	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Anforderungen stellen Naturschutz, Fischerei und weitere an das Gewässer? 	<ul style="list-style-type: none"> • Kantonale Fachstellen NaiS-Kapitel 5.1, 5.3.1
2 Gewässereigenschaften und Naturgefahrensituation (relevant für Zonen 1 und 2) Analyse der Naturgefahrenprozesse, der Schwachstellen und der möglichen Prozessketten von der Eingriffsfläche bis zu den Schwachstellen	Einzugsgebiet	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Naturgefahrenprozesse kommen im Gerinne vor (Murgang, Übersarung, Hochwasser)? • Wie gross ist der potentielle Hochwasserabfluss, das Schwemmholz- und Geschiebepotenzial? • Welche Transportkapazität für Geschiebe und Schwemmholz hat das Gerinne? 	<ul style="list-style-type: none"> • Kantonale Fachstellen • Gefahrenkarten inkl. Berichte • Ereigniskataster • Diskussion mit Wasserbau • Lange & Bezzola 2006 • BAFU 2019 NaiS-Kapitel 5.3.2, 5.3.4
	Schwachstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Naturgefahrenprozesse sind schadenrelevant (Murgang, Übersarung, Schwemmholz)? • Welches sind die schadenrelevanten Schwachstellen und welche Eigenschaften haben diese (Fliessquerschnitt, Brückenpfeiler usw.)? • Wie hoch ist das Verklauungsrisiko an den Schwachstellen? • Welche maximale Schwemmholzlänge kann bei den Schwachstellen toleriert werden? • Welches Schutzgut ist betroffen? 	
	Gewässer zwischen Eingriffsfläche und Schwachstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Transportkapazität für Geschiebe und Schwemmholz hat das Gerinne von der Eingriffsfläche zu den Schwachstellen? • Existieren zwischen der Eingriffsfläche und den Schwachstellen Um- und Ablagerungsstrecken, so dass Holz / Geschiebe nicht weiter transportiert wird? 	
	Eingriffsfläche	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Neigung und Breite hat das Gerinne? • Wie hoch liegt die Hochwasser- bzw. Murganglinie? • Wie erodiert das Gerinne bei einem Hochwasser bzw. Murgangereignis (Erodierbarkeit der Sohle, Tiefenerosion, Ufererosion)? • Welche Tiefe hat die Gleitschicht einer möglichen Uferutschung? Liegt diese im oder unterhalb des Hauptwurzelraums? • Welche Prozesse tragen Geschiebe und Schwemmholz in das Gewässer ein? • Kann Schwemmholz und Geschiebe von der Eingriffsfläche ins Gerinne gelangen und von da eine schadenrelevante Schwachstelle erreichen (Naturgefahrenprozesse, Transportkapazität, Umlagerungsstrecken usw.)? 	
3 Wirkung von Bäumen in Zone 1	Eingriffsfläche	<ul style="list-style-type: none"> • Wie gut schützen Bäumen und Sträucher unterschiedlicher Dimensionen gegen Erosion, Uferutschungen und Unterspülung? • Wie gross ist die Gefahr, dass Bäume bei einem Ereignis durch Erosion, Unterspülung oder Uferutschungen in den Bach gelangen (Schwemmholzeintrag)? 	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU 2019 • Diskussion mit Wasserbau NaiS-Kapitel 5.3.3

Beurteilungsschritt	Ort	Mögliche Leitfragen	Grundlagen / Information
<p>4 Anforderungen, waldbauliche Ziele und Handlungsbedarf in Zone 1</p> <p>Definition waldbauliche Ziele, Beurteilung Waldzustand, Herleiten Handlungsbedarf, Beurteilung Verhältnismässigkeit</p>	Eingriffsfläche	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Baumarten sind den Standortbedingungen angepasst und sollen gefördert werden? • Welche Anforderungen ergeben sich aufgrund der Naturgefahrensituation (Beurteilungsschritte 2 und 3)? • Welche Anforderungen werden an die Stabilität gestellt? • Wie soll mit liegendem Holz im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser umgegangen werden (Entfernen, Asthaufen, Zusammensägen)? • Welche möglichen Probleme können durch Neophyten entstehen und wie können diese verhindert werden? • Wie soll der Zielbestand aussehen (unter Berücksichtigung der Beurteilungsschritte 1 bis 3)? • Wie wird der aktuelle Waldzustand beurteilt und wie verläuft die Entwicklung ohne Massnahmen? • Welche wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen führen zum Zielbestand? • Besteht Handlungsbedarf? • Ist der geplante Eingriff verhältnismässig (unter Berücksichtigung der möglichen Prozesskette von der Eingriffsfläche bis zum Schutzgut, Beurteilungsschritt 2)? 	<ul style="list-style-type: none"> • Diskussion zwischen Wald- und Wasserbauverantwortlichen • Diskussion mit kantonalen Fachstellen für Naturschutz und Fischerei • NaiS Anhang 7 (liegendes Holz) • Lange & Bezzola 2006 • BAFU 2019 • Kantonale Strategien zum Umgang mit Neophyten <p>NaiS-Kapitel 5.3.5, 5.3.6, 5.5, Anhang 4</p>
<p>5 Herleitung Handlungsbedarf in Zone 2</p>	Eingriffsfläche	<ul style="list-style-type: none"> • Wie wird der Handlungsbedarf gemäss NaiS-Formular 2 beurteilt? • Ist der geplante Eingriff verhältnismässig (unter Berücksichtigung der möglichen Prozesskette von der Eingriffsfläche bis zum Schutzgut, Beurteilungsschritt 2)? 	<ul style="list-style-type: none"> • Homepage www.nais-form2.ch <p>NaiS-Kapitel 5.4, 5.5, Anhang 4</p>