
Anhang 1: **Naturgefahren**

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

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 Lückenzlänge² 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 Lückenzlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 15 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt | Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzlänge² 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 Lückenzlänge 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 Lückenzlänge² in Falllinie ≥35° (70 %) → kleiner als 50 m ≥40° (84 %) → kleiner als 40 m ≥45° (100 %) → kleiner als 30 m Falls Lückenzlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt | Gefüge horizontal Hangneigung Lückenzlänge² in Falllinie ≥35° (70 %) → kleiner als 40 m ≥40° (84 %) → kleiner als 30 m ≥45° (100 %) → kleiner als 25 m Falls Lückenzlänge 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

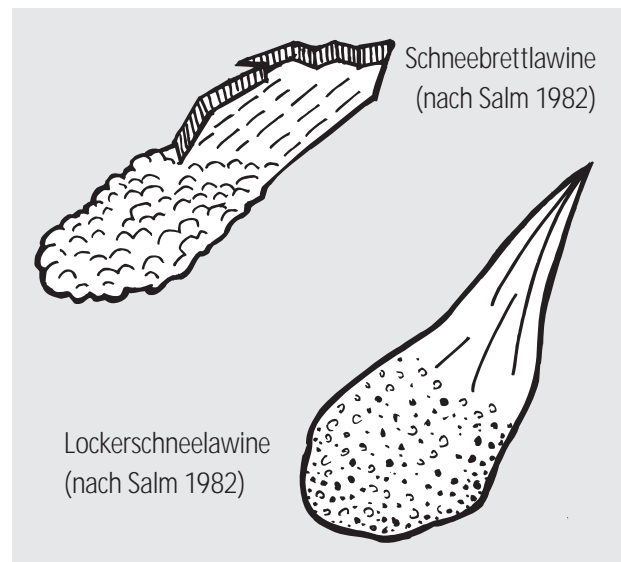


Abb 1: Lawinentypen

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 Krete geschlossen, die Waldgrenze liegt höher als die Krete. In der Mitte ist die Krete 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-

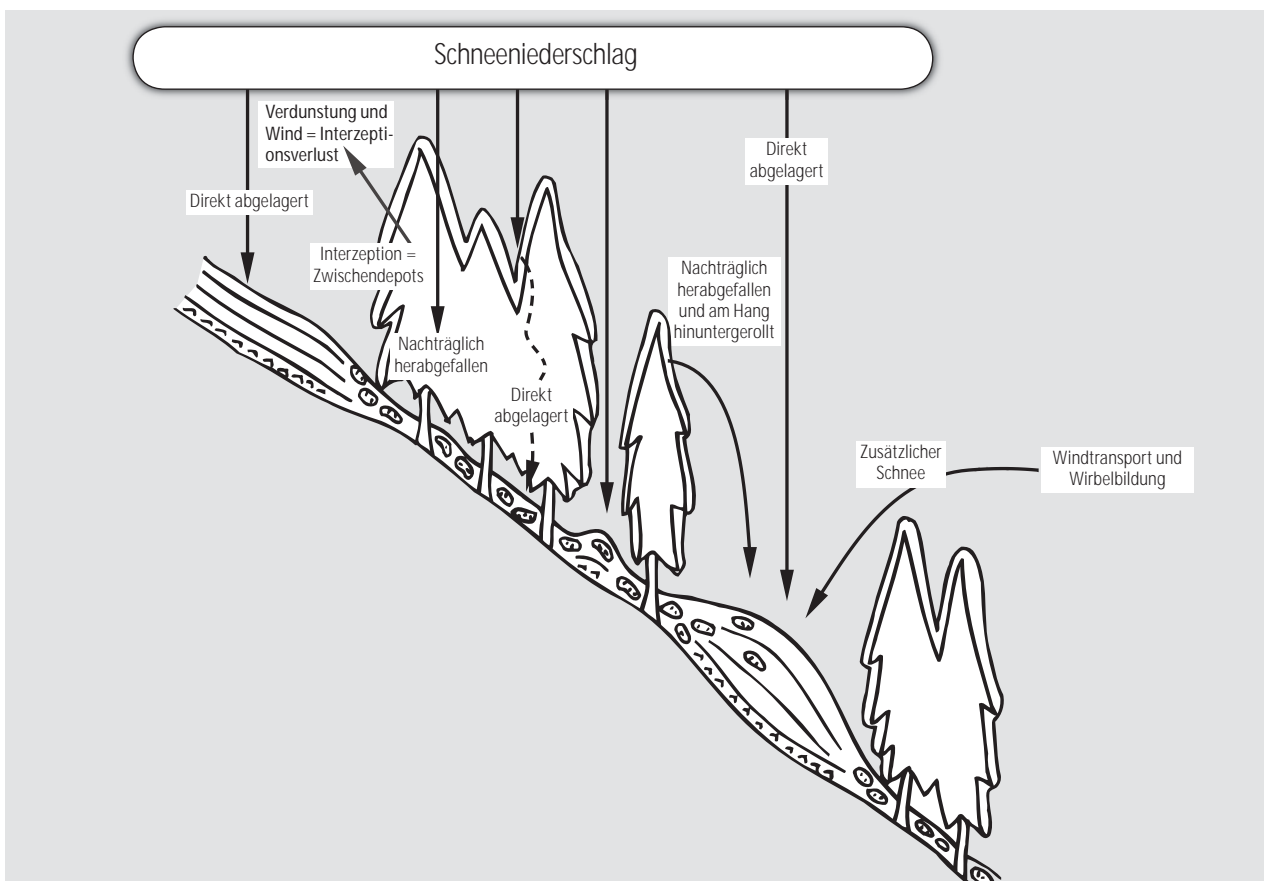


Abb 3: Skizze Schneeablagung (nach Meyer 1987 und Cemagref):

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 Ausbruchnischen 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 | <p style="text-align: center;">Stammzahl und Grundfläche</p> <p>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</p> <p>Diese Beurteilung muss über die ganze bewaldete Hanglänge erfolgen.</p> <p style="text-align: center;">Bei Öffnungen¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stammabstand in der Fallinie < 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 <p style="text-align: center;">Liegendes Holz und hohe Stöcke (ca. 1.3 m) als Ergänzung zu stehenden Bäumen</p> | |
| | | 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.

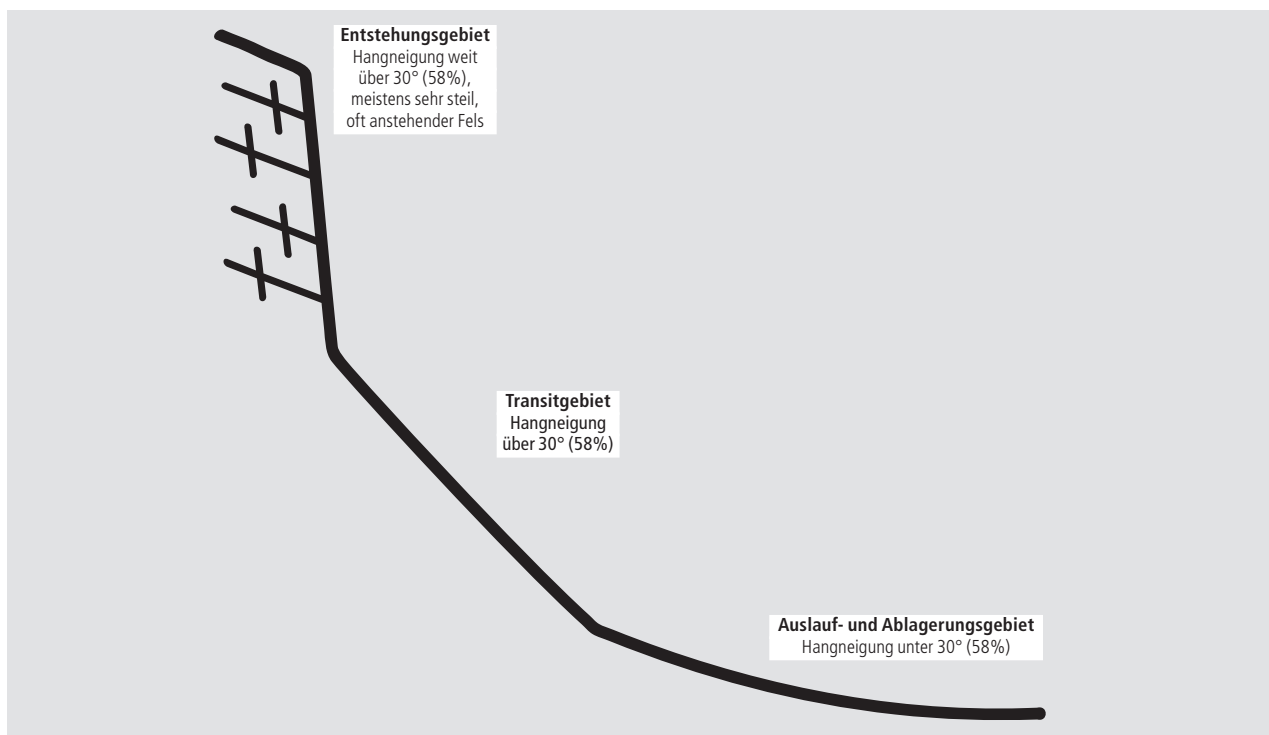


Abb. 5: Schematisches Hangprofil

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).

5 Wildbach, Hochwasser

- 5.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Wildbach, Hochwasser
- 5.2 Bedeutung der Waldes in Abhängigkeit der Situation
- 5.3 Einfluss von Waldbeständen auf den Wasserhaushalt
- 5.4 Bedeutung des Standortstyps
- 5.5 Bedeutung einzelner Faktoren des Waldzustandes
- 5.6 Wald in Gerinneabhängigkeiten
- 5.7 Klassierung der Standortstypen

1

5.1 Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Wildbach, Hochwasser

| Ort | Potentieller Beitrag des Waldes | Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal | Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal |
|--|--|--|--|
| Einzugsgebiet Beeinflussung Hochwasser-Abflussspitze in der Fläche | gross auf Standortstypen der Klasse 1 ¹ | Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 60\%$ minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt | Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 70\%$ ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt |
| | mittel auf Standortstypen der Klasse 2 ¹ | Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 50\%$ minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt | |
| | gering auf Standortstypen der Klasse 3 ¹ | Verjüngung nachhaltige Verjüngung gesichert | Gefüge horizontal Deckungsgrad ² dauernd $\geq 50\%$ ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt |
| | sehr gering auf Standortstypen der Klasse 4 ¹ | keine Anforderungen | |
| Wald in Gerinneabhängigkeiten Verhinderung negativer Wirkungen von Holz im Gerinne | gering bis gross je nach Bedingungen im Gerinne (potentielle Verklausungsstellen etc.) | Weiteres keine instabilen Bäume oder rutschgefährdete Stämme | Weiteres keine instabilen Bäume oder rutschgefährdete Stämme ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt Pioniervegetation auf waldfreien und nicht bestockbaren Flächen |

¹ vgl. Klassierung der Standortstypen im Anhang.

² Deckungsgrad der Bäume ab Stangenholzhalter, d.h. ohne Berücksichtigung von Jungwuchs und Dichtung.

In Gebieten, in denen nebst der Hochwassergefahr auch Rutschprobleme auftreten, müssen die Anforderungen aufeinander abgestimmt werden. Bei flachgründigen Rutschungen haben in der Regel die Anforderungen bezüglich Rutschungen

Vorrang; bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen dagegen muss eine Beurteilung von Fall zu Fall vorgenommen werden.

5.2 Bedeutung der Waldes in Abhängigkeit der Situation

Stabiler, standortgerechter Wald stellt je nach Ausgangsbedingungen die günstigste Art der Bodennutzung dar, um einen möglichst hohen Wasserrückhalt bei Starkniederschlägen zu erreichen. Ob der Zustand des Waldes auch einen wesentlichen Einfluss auf das Abflussgeschehen in einem Einzugsgebiet haben kann, hängt von folgenden grundlegenden Umständen ab:

Anteil und Lage der Waldfläche im gesamten Einzugsgebiet

Der Einfluss auf den gesamten Abfluss eines Einzugsgebiets ist naheliegenderweise umso grösser, je grösser der mit Wald bestockte Anteil des Einzugsgebiets ist. Zudem muss berücksichtigt werden, welche Lage das Waldareal in einem Einzugsgebiet aufweist. Oftmals stockt der Wald auf den gerinnenahen Flächen (Bacheinhänge etc.), welche am stärksten zur Abflussbildung beitragen. Dadurch kann dem Wald eine grössere Bedeutung zukommen, als allein aufgrund seines Flächenanteils zu erwarten wäre.

Massgebendes Niederschlagsereignis

Die Wasserhaushaltsbetrachtung hängt entscheidend vom zugrundegelegten Niederschlagsereignis ab. Kurze Regengüsse werden im Wald bei trockener Ausgangssituation fast vollständig durch Interzeption aufgefangen; nur ein geringer Teil gelangt überhaupt auf den Boden. Bei grösseren Regenfällen ist bedeutungsvoll, ob es sich um ein kurzes, heftiges Gewitter oder um einen schwachen, aber lange dauernden Nieselregen handelt. In beiden Fällen kann die **Niederschlagsmenge** die selbe sein. Auf Grund der unterschiedlichen **Intensität** ist aber im ersten Fall die Infiltrationskapazität des Bodens möglicherweise ungenügend, und es entsteht Oberflächenwasserabfluss, was im zweiten Fall weniger zu erwarten ist.

Eine sehr bedeutende Rolle spielt auch der Niederschlagsverlauf in der Zeit vor einem Extremereignis. Wenn der Boden aufgrund der Schneeschmelze oder vorangegangener Niederschläge schon weitgehend gesättigt ist, so steht nur noch ein Teil der Speicherkapazität zur Verfügung.

Vereinfachend kann von folgenden drei typischen Szenarien ausgegangen werden³:

- 1 Kurze, heftige Niederschläge auf einer relativ kleinen Fläche
- 2 Länger dauernde Starkregen über einem grösseren Gebiet
- 3 Grossräumige Niederschläge bei hoher Bodenwassersättigung (z.B. während der Schneeschmelze)

Die Bedeutung des Waldes bzw. der Vegetation ist dann am grössten, wenn der Bodenwasserspeicher zum Zeitpunkt des Ereignisses möglichst leer ist. Im Falle von Szenario 1 ist die Bedeutung des Waldes also deutlich grösser als bei Szenario 3; Szenario 2 liegt irgendwo dazwischen.

Beim Ausscheiden von Wald mit Hochwasser-Schutzfunktion ist zu berücksichtigen, welche Ereignis-Szenarien für das entsprechende Gebiet von Bedeutung sind.

5.3 Einfluss von Waldbeständen auf den Wasserhaushalt

Der Einfluss des Waldes im Falle von Extremniederschlägen beruht vor allem auf der indirekten Wirkung, welche durch den Wald mittel- bis langfristig auf die Bodeneigenschaften und deren Zustand ausgeübt wird⁴. Die Bodeneigenschaften werden jedoch auch durch das Ausgangsgebiet, das Klima und das Relief geprägt. Von diesen drei Bodenbildungsfaktoren hängt es ab, ob die Möglichkeiten einer Beeinflussung durch den Wald grösser oder geringer sind.

Eine grosse Bedeutung kann der Wald bezüglich der **Intensität und Tiefe der Durchwurzelung** haben. Die Durchwurzelung schafft ein fein verästeltes Hohlraumsystem und dadurch die Voraussetzung für eine gute Durchlässigkeit des Bodens. Je intensiver und tiefgründiger die Durchwurzelung im Boden ist, desto besser kann die vorhandene **Wasserspeicherkapazität** des Bodens bei einem Ereignis ausgenutzt werden.

Daneben können auch die **Bedingungen an der Bodenoberfläche**, welche eine wichtige Rolle für die **Infiltrationskapazität** des Bodens spielen, durch den Waldbestand beeinflusst werden. Wenn der Boden oberflächlich verdichtet ist (z.B. durch Befahren mit Maschinen oder durch Viehtritt), kann weniger Wasser innert nützlicher Frist infil-

³ nach Zimmermann (2001), abgeändert

⁴ Während die oberirdische Vegetation durch Interzeption und Transpiration einen erheblichen Einfluss auf den Jahresverlauf des Abflusses ausübt, ist ihre Bedeutung bei einem einzelnen, extremen Ereignis sehr gering.

trieren; dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von oberflächlichem Wasserabfluss. Umgekehrt kann die Infiltrationskapazität durch eine günstige Humus- und Oberbodenform und durch eine intensive Kraut- und Mooschicht wesentlich verbessert werden.

5.4 Bedeutung des Standortstyps

Der Boden, insbesondere der Wurzelraum, ist die Schlüsselgrösse, über welche der Wald einen Einfluss auf den Wasserhaushalt ausüben kann. Die Bodeneigenschaften können zwar an einem Punkt durch Bodenprofile oder Bohrungen gut festgestellt werden. Die Variation und Verteilung der Bodeneigenschaften über die Fläche ist jedoch sehr schwierig zu erfassen. Da jeder Waldstandortstyp ein bekanntes Spektrum von Bodeneigenschaften beinhaltet, kann er die Grundlage für eine flächige Beurteilung der Bodeneigenschaften bilden⁵.

Auf diese Weise lässt sich auch beurteilen, wie stark der Waldzustand das Hochwassergeschehen an einem bestimmten Ort beeinflussen kann und ob allenfalls waldbaulicher Handlungsbedarf besteht. In der nachstehenden Grafik wird dieser Sachverhalt schematisch verdeutlicht: Auf dem Standort A wird die höchste absolute Speicherwirkung erreicht; der Einfluss des Waldes auf die Speicherwirkung dagegen ist auf dem Standort C am grössten. Standorte des Typs C haben daher bei der Waldpflege höchste Priorität. Dabei handelt es sich insbesondere um Standorte mit periodischer Vernässung. Im Gegensatz zu gut durchlässigen Böden, wo der Waldzustand eine geringere Bedeutung hat, können auf staunassen Böden tiefwurzelnde Baumarten die Speicherwirkung wesentlich erhöhen, indem der vorhandene Speicherraum besser erschlossen wird. Gering ist der Einfluss auf sehr flachgründigen Böden, und auf Böden mit stark durchlässigem Untergrund (Typ D).

5.5 Bedeutung einzelner Faktoren des Waldzustandes

Baumart:

Bäume weisen eine art- und standortspezifische Wurzelbildung auf. Je nach Profilaufbau und Ausbildung der Bodeneigenschaften kann dadurch die Durchwurzelung des Bodens durch verschiedene Baumarten sehr unterschiedlich ausfallen.

In der Literatur sind nur wenige und ungenaue Angaben zur Durchwurzelung in verschiedenen Böden zu finden. In erster Linie finden sich Angaben über die maximale **Durchwurzelungstiefe**. Entscheidend ist hier insbesondere die Fähigkeit einzelner Baumarten, temporär vernässte Horizonte zu erschliessen. Von den Hauptbaumarten der ober- und hochmontanen Höhenstufe ist diese Fähigkeit bei der Tanne am stärksten ausgebildet. Aber auch die Buche kann diese Horizonte besser als die Fichte erschliessen. Von den Nebenbaumarten weisen diesbezüglich insbesondere Esche und Ahorn gute Eigenschaften auf.

Bezüglich der baumartenspezifischen **Intensität der Durchwurzelung**, welche mindestens ebenso entscheidend ist, weist die Fichte ebenfalls schlechtere Werte als Tanne und Buche auf⁶.

Aus der Sicht der **Infiltrationsbedingungen** sind Baumarten mit einer gut abbaubaren Streu (Laubbäume, insb. Esche und Ahorn) erwünscht. Ungünstig sind wasserabstossende organische Auflagehorizonte, welche das Eindringen des Wassers in den Boden erschweren.

⁵ Dass der Waldstandortstyp ein brauchbares Instrument zur Beurteilung der Oberflächenabflussbildung ist, zeigen Untersuchungen auf Strumschadenflächen (Badoux et al 2003; Hegg 2004).

⁶ Lüscher (2000)

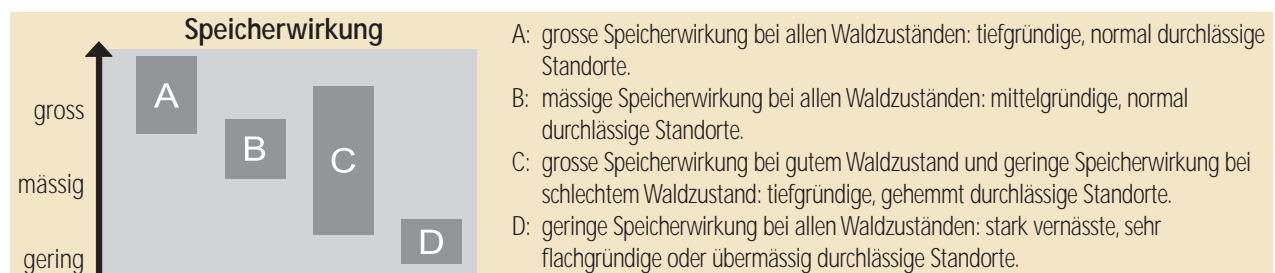


Abb. 6: Bandbreite der Speicherwirkung bei Starkniederschlägen (schematisch). Die Balken stehen für die Bandbreite verschiedener Waldstandorte: Der untere Rand bezeichnet die Speicherwirkung im schlechtesten Fall (z.B. nach einem flächigen Windwurf), der obere Rand die Wirkung bei einem ideal aufgebauten Waldbestand.

Bestandesstruktur:

Es ist naheliegend, dass die Durchwurzelungsintensität im Boden mit der Dichte der Bestockung zunimmt. Für eine möglichst intensive Durchwurzelung ist daher ein hoher Deckungsgrad anzustreben.

Zudem ist eine gute Verteilung der Durchwurzelung über den gesamten potentiellen Wurzelraum entscheidend, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung.

- ▶ Horizontal bedeutet dies, dass die Fläche von Bestandeslücken klein gehalten werden soll. Dabei ist nicht so sehr die Grösse einer einzelnen Lücke von Bedeutung; entscheidend ist vielmehr die Gesamtfläche der Lücken.
- ▶ In vertikaler Richtung besteht das Ziel in einer möglichst gleichmässigen Durchwurzelung der gesamten Wurzelraum-Tiefe. Es wird davon ausgegangen, dass eine stufige Bestockung, welche den Luftraum gleichmässig ausnutzt, auch im Wurzelraum einen ähnlichen Effekt hat.

Die ideale Bestandesstruktur ist also kleinflächig stufig, mit hohem Deckungsgrad und gleichmässig verteilt.

Bodenverdichtung:

Durch unsachgemässes Befahren des Bodens (v.a. bei der Holzernte) können massive Bodenverdichtungen verursacht werden. Diese führen zu einer langfristigen Verschlechterung der Infiltrationsbedingungen, der Durchlässigkeit und der Speicherkapazität des Bodens. So sollten beispielsweise bei der Räumung von Schadenflächen das Entstehen von zusammenhängenden linearen Strukturen in der Falllinie vermieden werden.

5.6 Wald in Gerinneeinhängen

Der ausgleichenden Wirkung des Waldes auf den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet eines Wildbachs stehen unerwünschte Wirkungen von Bäumen bzw. Holz im Bereich der Gerinne gegenüber. Holzstämme, die sich im Einflussbereich

des Hochwasserprofils befinden, können durch ein Hochwasser oder einen Murgang mitgerissen werden. An verengten Stellen (Felsvorsprünge, Bachbiegungen, Brückendurchlässe) kann es dann zu Verklausungen kommen.

Verklausungen sind äusserst ungünstig, da sich hinter ihnen eine Akkumulation von Geschiebe ergeben kann, das später in Form eines Murgangs mobilisiert werden kann. Bei einem Hochwasser kann es an einer Verklausungsstelle zu einem Gerinneausbruch und anschliessender Überschwemmung, Übersarung oder Übermurgung kommen. Aus diesem Grund müssen Verklausungen dort, wo ein relevantes Schadenpotential betroffen ist, verhindert werden.

Unmittelbarer Gerinnebereich

Der unmittelbare Gerinnebereich umfasst denjenigen Bereich, welcher durch ein extremes Hochwasser oder einen Murgang beansprucht wird.

In den meisten Kantonen fällt die Aufsicht über diesen Bereich in den Kompetenzbereich der Wasserbau- bzw. Tiefbauorgane. Massnahmen im unmittelbaren Gerinnebereich sind daher unter den zuständigen Ämtern zu koordinieren.

Wald in Gerinneeinhängen

Damit ist diejenige Waldfläche gemeint, von welcher aus Holz in den unmittelbaren Gerinnebereich gelangen kann.

In Gerinneeinhängen besteht das primäre waldbauliche Ziel darin, eine stabile Bestockung zu erhalten, damit kein Holz in das Gerinne gelangt, welches zu Verklausungen führen könnte. Wichtigste Massnahme ist daher die gezielte Entfernung instabiler Bäume (und Wurzelstöcke). Da es sich dabei oft um schlecht zugängliche Stellen handelt, kommt anstelle der Räumung u.U. auch eine Zerkleinerung in kurze Riegel in Frage. Die Grösse der Riegel richtet sich nach den Verhältnissen an den möglichen Verklausungsstellen im Gerinne.

Durch eine stabile Bestockung kann hier zudem oftmals eine Destabilisierung der Böschung und Oberflächenerosion verhindert werden. In diesem Fall ist zusätzlich das Anforderungsprofil Rutschungen zu beachten.

Quellen: Die Angaben wurden durch Kaspar Zürcher (IMPULS) zusammengestellt.

Verwendete Literatur: Badoux et al. (2003), Hegg (2004), Kolla (1986), Lüscher (2000), Ott et al. (1997), Polomski und Kuhn (1998), Richard und Lüscher (1987), Zimmermann (2001), Zürcher et al. (2000), Lüscher P., Zürcher K. (2003), Zürcher (2003).

5.7 Klassierung der Standortstypen

Die Standortstypen werden prinzipiell aufgrund der drei bodenkundlichen Merkmale Gründigkeit, Vernässung und

Durchlässigkeit eingeteilt, welche für die Böden aller Standortstypen bekannt sind (die Bodeneigenschaften der einzelnen Standortstypen sind in Anhang 2A beschrieben):

| Gründigkeit | Vernässung | | Durchlässigkeit | | |
|--------------------------|----------------|---|--|-------------|--|
| | stark vernässt | gehemmt | normal | übermässig | |
| sehr flachgründig | stark vernässt | sehr flachgründig | | | |
| flach- bis mittelgründig | | flach- bis mittelgründig, gehemmt durchlässig | flach- bis mittelgründig, normal durchlässig | übermässig | |
| mittel- bis tiefgründig | | mittel- bis tiefgründig, gehemmt durchlässig | mittel- bis tiefgründig*, normal durchlässig | durchlässig | |

Legende: **Klasse 1** waldbaulicher Einfluss gross
Klasse 2 waldbaulicher Einfluss mittel
Klasse 3 waldbaulicher Einfluss gering
Klasse 4 waldbaulicher Einfluss sehr gering

Abb. 7: Klassierung der Standortstypen auf Grund der Bodeneigenschaften

* im Untergrund stauend

In einigen Fällen muss von diesem Prinzip abgewichen werden:

Standorte mit geringer waldbaulicher Einflussmöglichkeit

Die Möglichkeit der Einflussnahme durch den Waldbau auf die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens ist nicht auf allen Standortstypen gleich. Insbesondere in den höheren Lagen (Subalpinstufe) nimmt der Einfluss generell ab. Als Baumart steht meist nur noch die Fichte zur Verfügung, die Vorgänge sind generell langsamer, der Deckungsgrad und damit die Durchwurzelungsintensität sind geringer. Aber auch auf anderen Standorten (z.B. reine Eschen-Standorte) sind die waldbaulichen Möglichkeiten aufgrund der fehlenden Baumartenauswahl eingeschränkt. Diese Standorte werden daher einer tieferen Klasse zugeordnet.

- Beispiele: 26 Ahorn-Eschenwald
 53 Zwergbuchs-Fichtenwald
 57 Alpenlattich-Fichtenwald

Standorte mit breitem Bodenspektrum

Einige wichtige und weit verbreitete Standortstypen weisen ein sehr breites Spektrum an Bodeneigenschaften auf, welches je nach Gebietsverhältnissen (insbesondere Geologie) beträchtlich variieren kann. Diese Standortstypen können daher nicht für die ganze Schweiz einer einzigen Klasse zugeordnet werden. Ihre Zuteilung muss je nach Gebiet unterschiedlich erfolgen und begründet werden. Sie werden daher in der nachstehenden Liste einer eigenen Klasse (Klasse E = im Einzelfall zu beurteilen) zugeordnet. Für diese Standortstypen werden in der nachfolgenden Tabelle Hinweise gegeben, unter welchen Bedingungen sie

welcher Klasse zugeordnet werden können. Zur konkreten Einteilung sind immer ergänzende Bodenuntersuchungen im Wald notwendig (Hegg et al., 2004).

| Standortstyp | Klasse 1 | Klasse 2 | Klasse 3 | Klasse 4 |
|-----------------------------|--|---|---|---|
| 7a, 8a, 18, 19, 50, 50P, 51 | wenn deutliche Vernässungsanzeichen vorhanden sind (oft auf Flyschböden) | wenn keine oder kaum Vernässungsanzeichen vorhanden sind | | |
| 11, 12S, 46 | wenn tiefgründig (oft in Mittelland und Voralpen) | wenn flachgründig (oft im Jura) | | |
| 12a, 46M | | wenn tiefgründig (oft in Mittelland und Voralpen) | wenn flachgründig (oft im Jura) | |
| (42)-34A, Rob | | wenn Braunerde oder Kryptopodsol | Wenn Ranker | |
| 26 ho, 49 | | wenn Anteil Muldenstandorte (Standorte mit Nässezeigern) < 60% der Fläche | wenn Anteil Muldenstandorte (Standorte mit Nässezeigern) > 60% der Fläche | wenn Anteil Muldenstandorte (Standorte mit Nässezeigern) < 80% der Fläche |

Abb. 8: Klassierung der Standortstypen mit breitem Bodenspektrum

Hinweise zum Umgang mit der Klassierung der Standortstypen

- ▶ Bei Vorhandensein einer standortkundlichen Kartierung lässt sich mit Hilfe der vorliegenden Klassierung eine Prioritätenkarte erstellen. Die Klassen aufgrund des Standortstyps müssen mit der Dringlichkeit und Wirksamkeit waldbaulicher Eingriffe in den einzelnen Beständen gewichtet werden. So kann ermittelt werden, wo waldbauliche Eingriffe den grössten Einfluss auf die Wasserrückhaltekapazität des Bodens haben.
- ▶ In begründeten Fällen kann von der Klassierung, wie sie in der nachfolgenden Liste gemacht wird, abgewichen werden. Dies kann beispielsweise dann angezeigt sein, wenn sich aufgrund der Geologie Abweichungen bezüglich der Gründigkeit oder der Durchlässigkeit eines bestimmten Standortstyps ergeben.
- ▶ Auf einer Standortskarte sind meist nicht nur reine Einheiten kartiert; oftmals finden sich auch Übergänge

oder ein Mosaik von verschiedenen Standortstypen. In diesem Fall ist abzuwägen zwischen der Einteilung der verschiedenen Einheiten.

Beispiel: Eine Fläche wurde kartiert als Übergang 18(20). 18 (Waldschwingel-Tannen-Buchenwald) kann je nach dem zur Klasse 1 oder 2 gehören, 20 (Hochstauden-Tannen-Buchenwald) gehört zur Klasse 1. Diese Fläche wird demnach der Klasse 1 zugeteilt.

Bei waldbaulichen Massnahmen im Zusammenhang mit dem Hochwasserrückhalt ist nicht der einzelne Bestand oder die einzelne Standortstyp-Fläche wichtig, sondern vielmehr der Waldzustand im ganzen Einzugsgebiet. Aus diesem Grund müssen nebst den Überlegungen zum Standortstyp und zum Waldzustand auch weitere Überlegungen wie z.B. zur Holzerntetechnik etc. in die Planung einfließen, um ein bestmögliches Resultat erreichen zu können.

5.7 Klassierung der Standortstypen

Klasse 1 waldbaulicher Einfluss gross

gehemmt durchlässige Böden, mittel- bis tiefgründig

| | |
|-----|---|
| 7S | Feuchter Waldmeister-Buchenwald |
| 8S | Feuchter Waldhirschen-Buchenwald |
| 8* | Waldhirschen-Buchenwald mit Rippenfarn |
| 19f | Waldsimsen-Tannen-Buchenwald auf Pseudogley |
| 20 | Hochstauden-Tannen-Buchenwald |
| 20E | Waldgersten-Tannen-Buchenwald |
| 20* | Hochstauden-Buchenwald mit Ahorn und Tanne |

Klasse 2 waldbaulicher Einfluss mittel

gehemmt durchlässige Böden, flach- bis mittelgründig

| | |
|-----|---|
| 9w | Wechselfeuchter Lungenkraut-/Platterbsen-Buchenwald |
| 10w | Wechselfeuchter Lungenkraut-/Platterbsen-Buchenwald |
| 18v | Buntreitgras-Tannen-Buchenwald mit Rostsegge |
| 18w | Typischer Buntreitgras-Tannen-Buchenwald |
| 46* | Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald mit Torfmoos |

normal durchlässige Böden, mittel- bis tiefgründig

| | |
|----------|--|
| 3mL-4L | Mesophiler Buchenwald mit Stechpalme |
| 4 | Farnreicher Schneesimsen-Buchenwald |
| 9a | Typischer Lungenkraut-/Platterbsen-Buchenwald |
| 18M | Typischer Karbonat-Tannen-Buchenwald |
| 19L | Typischer Goldregen-Tannen-Buchenwald |
| 25A-34mA | Eichen-Kastanienwald mit Linde und Kirsche auf saurer Unterlage |
| 25Am-33m | Mesophile Kastanienwälder mit Farn und Mischwälder mit anspruchsvollen Arten |
| 25AB-33B | Mesophile Kastanienwälder mit Farn und Mischwälder auf neutraler bis basischer Unterlage |
| 25AF | Schluchtwald, saure Ausbildung |
| 50* | Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit kahlem Alpendost |
| 51C | Labkraut-Tannen-Fichtenwald mit Hasel |
| 52 | Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit Weisssegge |
| 55 | Ehrenpreis-Fichtenwald |

Klasse 3 waldbaulicher Einfluss gering

normal durchlässige Böden, flach- bis mittelgründig

| | |
|----------|--|
| 1h | Artenarmer Waldsimsen-Tannen-Buchenwald |
| 3 | Typischer Schneesimsen-Buchenwald |
| 3VL | Nährstoffarmer Buchenwald mit Stechpalme |
| 10a | Lungenkraut-/Platterbsen-Buchenwald mit Immenblatt |
| 12w | Wechselfeuchter Bingelkraut-/Zahnwurz-Buchenwald |
| 12*h | Kalkbuchenwald der insubrischen Gebirge |
| 13a | Typischer Linden-Buchenwald |
| 24* | Ulmen-Ahornwald |
| 33AV-33A | Saure Kastanienwälder mit Farn |
| 34B | Eichen-Kastanienwald mit Linde auf neutraler bis basischer Unterlage |
| 36 | Hagebuchen-Hopfenbuchen-Eichenmischwald |
| 37 | Trockener Hopfenbuchen-Eichenwald |
| 47 | Typischer Wollreitgras-Tannen-Fichtenwald |
| 47D | Farnreicher Wollreitgras-Tannen-Fichtenwald |
| 47M | Wollreitgras-Tannen-Fichtenwald mit Wachtelweizen |

Standorte mit geringer waldbaulicher Einflussmöglichkeit, mittel- bis tiefgründige Böden

| | |
|-----|--|
| 21 | Ahorn-Buchenwald |
| 21* | Grünerlen-Vogelbeerwald |
| 26 | Ahorn-Eschenwald |
| 26h | Ahorn-Eschenwald, Höhengestaltung |
| 47* | Alpenrosen-Lärchen-Tannenwald |
| 54 | Typischer Perlgras-Fichtenwald |
| 57C | Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras |
| 57M | Alpenlattich-Fichtenwald mit Waldwachtelweizen |
| 57V | Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere |
| 59V | Lärchen-Arvenwald mit Heidelbeere |
| 60 | Typischer Hochstauden-Fichtenwald |
| 60A | Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwaldfarn |
| 60* | Buntreitgras-Fichtenwald |

Klasse 4 waldbaulicher Einfluss sehr gering**Standorte mit sehr geringer waldbaulicher Einflussmöglichkeit, mittel- bis tiefgründige Böden**

| | |
|-------|---|
| 53 | Zwergbuchs-Fichtenwald |
| 53* | Erika-Fichtenwald |
| 57S | Alpenlattich-Fichtenwald mit Torfmoos |
| 57Bl? | Alpenlattich-Fichtenwald, Blockausbildung |
| 58 | Typischer Preiselbeer-Fichtenwald |
| 58C | Priselbeer-Fichtenwald mit Wollreitgras |
| 58L | Priselbeer-Fichtenwald mit Laserkraut |
| 59 | Lärchen-Arvenwald mit Alpenrose |
| 59A | Hochstauden-Lärchenwald |
| 59C | Steinmispel-Arvenwald |
| 59E | Lärchen-Arvenwald mit Erika |
| 59J | Wacholder-Lärchenwald |
| 59L | Lärchen-Arvenwald mit Laserkraut |
| 59* | Alpenrosen-Lärchenwald |
| 60E | Hochstauden-Fichtenwald mit Schachtelhalm |
| 72 | Nordalpen-Arvenwald |

stark vernässte Böden

| | |
|-------|---|
| 27 | Bach-Eschenwald |
| 27h | Bach-Eschenwald, Höhengestaltung |
| 27* | Hochstauden-Weisserlen-Ahornwald |
| 33-27 | Mischwälder auf feuchtem Untergrund und Schwarzerlenwälder mit Königsfarn |
| 49* | Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald mit Rostsegge |
| 56 | Moorrand-Fichtenwald |
| 71 | Torfmoos-Bergföhrenwald |

sehr flachgründige Böden

| | |
|-----|--|
| 12e | Trockener Bingelkraut-/Zahnwurz-Buchenwald |
| 12* | Mesophiler insubrischer Kalkbuchenwald |
| 14 | Seggen-Buchenwald mit Weissegge |
| 14* | Trockener insubrischer Kalkbuchenwald |
| 15 | Seggen-Buchenwald mit Bergsegge |
| 17 | Eiben-Buchenwald / Steilhang-Buchenwald mit Reitgras |
| 18* | Karbonat-Tannen-Buchenwald mit Weissegge |
| 61 | Pfeifengras-Föhrenwald |
| 62 | Orchideen-Föhrenwald |
| 65 | Erika-/Strauchwicken-Föhrenwald |
| 65* | Hauhechel-Föhrenwald |
| 67 | Erika-Bergföhrenwald |

| | |
|-----|---------------------------|
| 68 | Heidekraut-Föhrenwald |
| 68* | Preiselbeer-Föhrenwald |
| 69 | Steinrosen-Bergföhrenwald |
| 70 | Alpenrosen-Bergföhrenwald |

übermässig durchlässige Böden

| | |
|-------|--|
| 13e | Trockener Linden-Buchenwald |
| 13eh | Trockener Alpendost-Buchenwald |
| 13h | Typischer Alpendost-Buchenwald |
| 22 | Hirschzungen-Ahornwald |
| 23 | Mehlbeer-Ahornwald |
| 25 | Typischer Turinermeister-Lindenwald |
| 25B | Insubrischer Turinermeister-Lindenwald |
| 25* | Ahorn-Lindenwald / Trockener Turinermeister-Lindenwald |
| 42R | Eichen-Kastanienwald auf Fels |
| 42C/Q | Nährstoffarmer Eichen-Kastanienwald |
| 42V | Eichen-Kastanienwald mit Heidelbeere |
| 47H | Zypressenschlafmoos-Fichtenwald |
| 48 | Blockschutt-Tannen-Fichtenwald |
| 55* | Schneesimsen-Fichtenwald |

Klasse E waldbaulicher Einfluss variabel (im Einzelfall beurteilen)

Standorte mit breitem Bodenspektrum

| | |
|----------|---|
| 7a | Typischer Waldmeister-Buchenwald |
| 8a | Typischer Waldhirschen-Buchenwald |
| 11 | Aronstab-Buchenwald |
| 12a | Typischer Bingelkraut-/Zahnwurz-Buchenwald |
| 12S | Feuchter Bingelkraut-/Zahnwurz-Buchenwald |
| 18 | Waldschwingel-Tannen-Buchenwald |
| 19 | Typischer Waldsimsen-Tannen-Buchenwald |
| (42)-34A | Nährstoffarme Eichen-Kastanienwälder in Entwicklung |
| 46 | Typischer Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald |
| 46M | Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald auf Podsol |
| 49 | Typischer Schachtelhalm-Tannen-Fichtenwald |
| 50 | Typischer Hochstauden-Tannen-Fichtenwald |
| 50P | Hochstauden-Tannen-Fichtenwald mit Pestwurz |
| 51 | Typischer Labkraut-Tannen-Fichtenwald |
| Rob | Robinienwälder auf saurer Unterlage |



