

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.

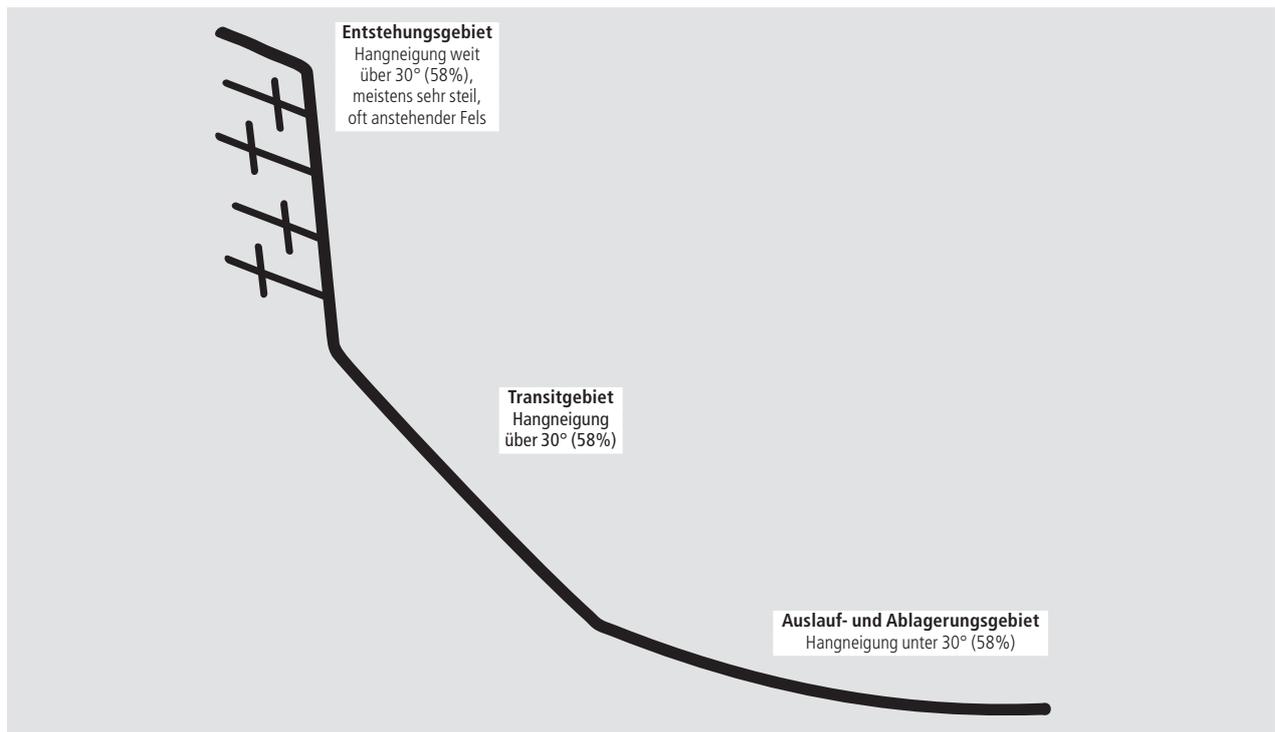


Abb. 5: Schematisches Hangprofil

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).