Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 144 (1993)

Heft: 2

Artikel: Steinschlagschutzwald : ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung

Autor: Gsteiger, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767083

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Steinschlagschutzwald

Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung

Von *Peter Gsteiger*

FDK 424.1: 624.4: 907.32

1. Problemstellung

Die Schutzwirkung des Waldes vor Steinschlägen ist erwiesen. Untersuchungen von *J. Jahn*, 1988, zur Schutzwirkung des Waldes belegen, dass die Ablagerungsrate in einem bestockten Steinschlaghang markant höher ist als in einem vergleichbaren, waldfreien Hang. Steinschläge in bestockten Hängen erleiden neben den Energieverlusten beim Aufprall auf den Boden (Bodenkontakt) auch Energieverluste bei der Kollision mit Bäumen (Baumkontakt). Bewaldete Steinschlaghänge bieten somit die Möglichkeit, Sturzprozesse mittels forstlicher Eingriffe zu beeinflussen. Dabei stellen sich folgende Probleme:

1. Bestockungen, die Steinschlagschutz zu gewähren haben, müssen erkannt und abgegrenzt werden. Informationen über Häufigkeit und Intensität der Steinschlagereignisse werden für die Planung von Schutzmassnahmen und Festlegung von Prioritäten benötigt.
2. Ist das Schutzwaldareal ausgeschieden, muss die Schutztauglichkeit der aktuellen Bestockung erfasst und beurteilt werden.
3. Zur Optimierung der Schutzwirkung müssen die für die Schutzerfüllung wesentlichen Parameter und ihre Wirkungsweise in verschiedenen Bestandestypen bekannt sein.

Der vorliegende Aufsatz diskutiert die Probleme der Abgrenzung, Beurteilung und Gestaltung von Steinschlagschutzwäldern. Anhand der Resultate zweier Diplomarbeiten (*P. Gsteiger*, 1989, und *A. Zinggeler*, 1989, beide unveröffentlicht) werden zu jedem der drei Problemkreise Lösungen oder Lösungsansätze vorgestellt. Beide Arbeiten wurden unter der Leitung von PD Dr. H. Kienholz am Geographischen Institut der Universität Bern verfasst.

2. Die Abgrenzung von Steinschlagschutzwald im Gelände – Aspekte der Gefahrenbeurteilung

Steinschlaggefahr manifestiert sich im Gelände durch Spuren unterschiedlicher Art, die Rückschlüsse auf die räumliche Verbreitung und Intensität des Prozesses zulassen: Felshänge sind bei Hangneigungen grösser 32° mögliche Sturzquellen. Als Schutthalde oder Einzelblock abgelagertes Sturzmaterial dokumentiert den Wirkungsbereich der Sturzgefahr und das Spektrum der Stein- und Blockgrössen. Bei Sturzprozessen im Wald liefern Steinschlagwunden an Bäumen Informationen, die für die Abgrenzung von Steinschlagschutzwald und die Beurteilung der Steinschlaggefahr genutzt werden können:

1. Sie ermöglichen Aussagen zur Häufigkeit von Sturzprozessen.
2. Ihre räumliche Anordnung ist ein Abbild des steinschlaggefährdeten Perimeters.
3. Sie dokumentieren mögliche Sprunghöhen.

Wegen des hohen Informationspotentials von Steinschlagwunden wurden im Rahmen der genannten Untersuchungen vorerst Steinschlagwunden auf ihren Informationswert hin untersucht. Anschliessend wurden Methoden zur Abschätzung von Steinschlaghäufigkeiten und zur Kartierung der Steinschlaggefahr entwickelt. Die Untersuchungen zum Informationsgehalt von Steinschlagwunden und die Methoden zur Nutzung der gefahrenrelevanten Informationen werden im folgenden präsentiert.

2.1 Steinschlagwunden

Um den Informationsgehalt von Steinschlagwunden in der Gefahrenbeurteilung zu untersuchen, wurden insgesamt 25 Querschnitte aus drei Buchen- und vier Fichtenstämmen makroskopisch analysiert. Dabei wurde folgenden Fragen nachgegangen:

1. Wie sehen Steinschlagwunden aus?
2. Wieviele Steinschlagwunden verwachsen nach der Verletzung, so dass sie bei der Betrachtung des Stammes nicht mehr erkennbar sind?
3. Besteht ein Zusammenhang zwischen Wundengrösse und Verheilungschancen?
4. Wie reagieren die betroffenen Bäume auf die wiederholte Einwirkung von Steinschlägen?

Die Resultate der makroskopischen Analysen und deren Interpretation dürfen wegen der geringen Stichprobenzahl nur als vorläufige Befunde gewertet werden. Sie müssen durch weitere Untersuchungen statistisch erhärtet werden.

Wie sehen Steinschlagwunden aus?

Steinschläge verursachen an Baumstämmen ein breites Spektrum von Schäden: freigelegter Holzkörper (*Abbildung 1*), Holzkörperrisse und Leisten, Harzfluss, Bruch oder auch nur Kratzer an der Rinde. Um eine beobachterunabhängige Identifikation der Verletzungen zu gewährleisten, wurde nur bei den Verletzungsbildern «freigelegter Holzkörper», «Holzkörperriss» und «Harzfluss» Steinschlag als Verletzungsursache diagnostiziert. Andere Verletzungsbilder blieben unberücksichtigt, aufgrund der Annahme, dass gefahrenrelevante Sturzprozesse auch deutliche Verletzungen hinterlassen.

Abbildung 1. Steinschlagwunden an einer Buche.

Wieviele Steinschlagwunden verwachsen nach der Verletzung, so dass sie bei der Betrachtung des Stammes nicht mehr erkennbar sind?

An den 25 Stammquerschnitten wurde die Zahl der auf der Stammoberfläche erkennbaren Steinschlagwunden mit der Zahl der im Stammquerschnitt erkennbaren Wunden verglichen (*Tabelle 1*). Durch das Zählen von Baumwunden an der Stammoberfläche wird im Durchschnitt aller Beobachtungen rund die Hälfte der effektiv vorhandenen Verletzungen erfasst. Rund 50 % aller Wunden sind verheilt und äussern sich auf der Stammoberfläche nicht mehr.

Tabelle 1. Anteil verheilter Steinschlagwunden.

	Anzahl Verletzungen	*davon verheilt und an der Oberfläche unsichtbar*	%
Buchen	37	22	59 %
Fichten	19	7	37 %
Total	56	29	52 %

Besteht ein Zusammenhang zwischen Wundengrösse und Verheilungschancen?

Die Grösse jeder Steinschlagwunde wurde in Prozenten des Stammumfanges zum Verletzungszeitpunkt erfasst (*Tabelle 2*). Die Untersuchung zeigt, dass Steinschlagverletzungen, die mehr als 15 % des Stammumfanges umfassen, nicht mehr verheilen. Kleine Verletzungen hingegen haben hohe Heilungschancen.

Tabelle 2. Wundengrösse und Heilungschancen von Steinschlagwunden.

verletzter Anteil des Stammumfanges	*Anzahl Verletzungen*	*davon verheilt*	%
0– 5 %	31	25	80 %
5–10 %	9	3	33 %
10–15 %	6	1	17 %
15–20 %	5	keine	0 %
20–25 %	2	keine	0 %
25–30 %	4	keine	0 %

Wie reagieren die untersuchten Bäume auf die wiederholte Einwirkung von Steinschlägen?

An den untersuchten Querschnitten wurden die folgenden biologischen Phänomene beobachtet:

Einerseits besteht die Tendenz, die Wunde durch Überwallung zu schliessen. Im Wundrandbereich setzt nach der Verletzung sehr ungestümes, wucherndes Wachstum ein. Der Wachstumsverlauf (Dickenzuwachsrate) ausserhalb des Wundbereichs zeigt hingegen auch bei mehreren gleichzeitig erfolgten Verletzungen keine augenfällige Beeinflussung durch die Verletzungen.

Andererseits setzen ausgehend vom freigelegten Holzkörper Verfärbungen und Fäulen ein, die sich zum Stammzentrum hin ausdehnen. Baumwunden sind also eine Einlasspforte für holzzerstörende Mikroorganismen. Von den Verletzungen an Buchen wiesen 27 % Fäulnisbildung auf, bei den Fichten 37 %.

An den Wunden mit Fäulnisbildung wurden die nach der Verletzung gebildeten Jahrringe gezählt. Fäulen im Bereich des freigelegten Holzkörpers waren bei den Buchen frühestens 9 Jahre nach der Verletzung ausgebildet – bei den Fichten frühestens 10 Jahre nach der Verletzung. Von Steinschlagwunden ausgehende Fäulen befallen jedoch immer nur das vor der Verletzung gebildete Holz. Das nach der Verletzung gewachsene Holz ist vor älteren Fäulen durch eine biologische Barriere geschützt, wie die Untersuchungen von *A. Shigo*, 1977, zeigen. Wiederholte Verletzungen mit anschliessender Fäulnisbildung können dazu führen, dass im Stamm ein Hohlraum entsteht und der Baum anfällig auf Windwurf wird. *Abbildungen 2* und *3* illustrieren das breite Spektrum möglicher Reaktionen.

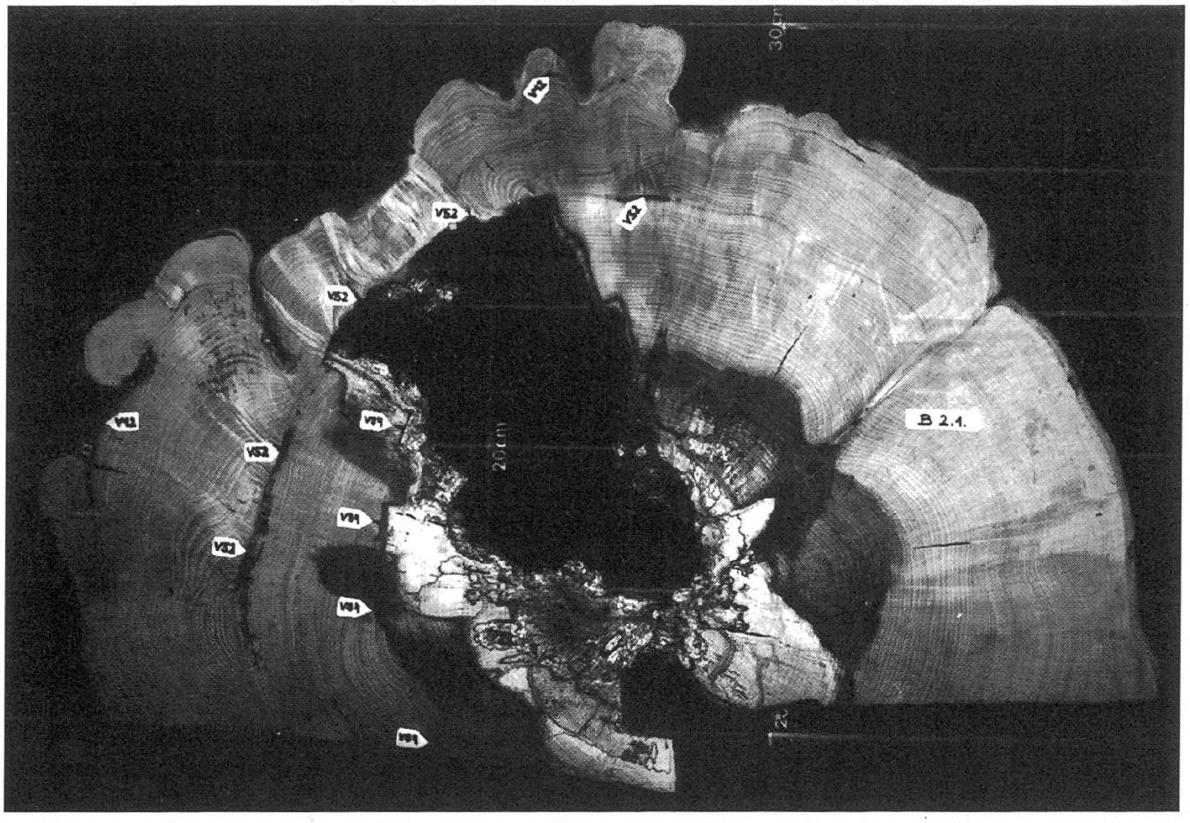

Abbildung 2. Stammquerschnitt einer steinschlagversehrten Buche.

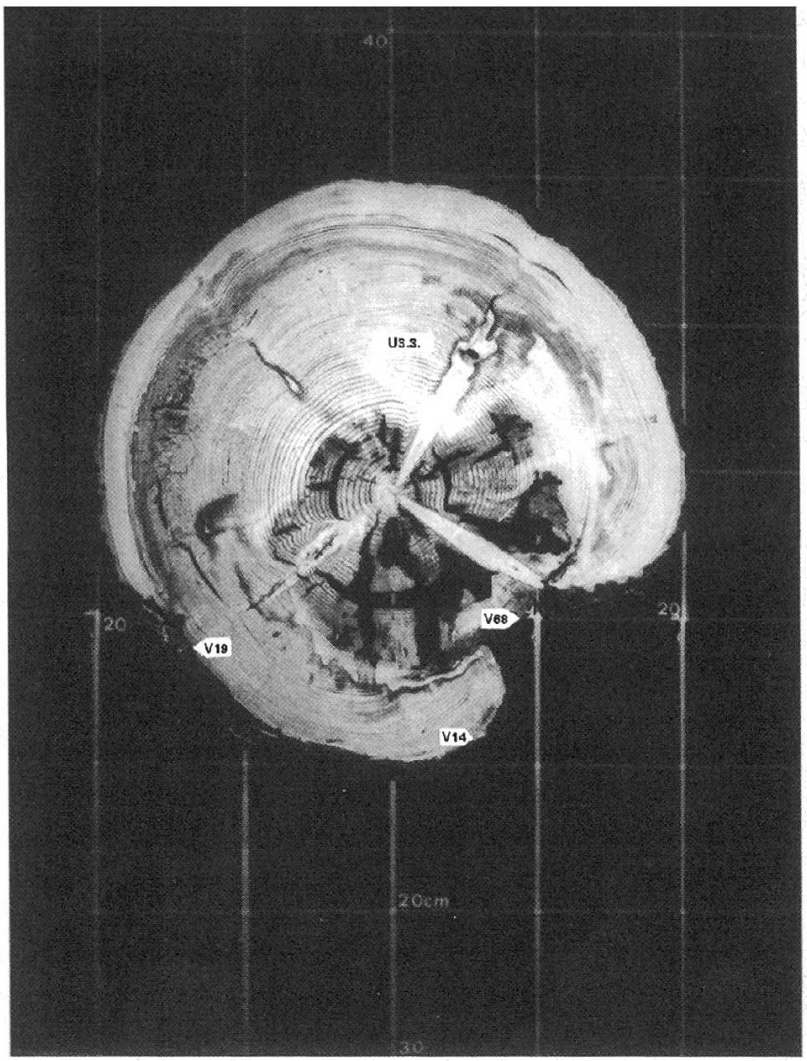

Abbildung 3. Stammquerschnitt einer steinschlagversehrten Fichte.

2.2 *Die Schätzung von Steinschlaghäufigkeiten anhand von Steinschlagwunden an Bäumen*

Angaben zur Steinschlaghäufigkeit sind schwierig zu erlangen, da die Messung und Beobachtung des Sturzprozesses sehr aufwendig ist und die Messresultate in der Regel nicht ohne weiteres auf Gebiete mit anderen geologischen und klimatischen Voraussetzungen übertragen werden können (*A. Pancza*, 1985).

Bewaldete Steinschlaghänge bieten die Möglichkeit, anhand von Baumwunden auf Häufigkeit von Sturzprozessen zu schliessen:

Steinschläge in bestockten Hängen hinterlassen Baumwunden, die den Prozess langfristig dokumentieren. Die Zahl der Wunden, die an einem Baum geschlagen werden, steigt bei gleichbleibender Steinschlagaktivität proportional zum Alter des Baumes. Alle Steine verursachen Wunden, deren Sturz im

Sektor der Breite Stammdurchmesser + Steindurchmesser erfolgt, wie *Abbildung 4* zeigt.

Der Zusammenhang zwischen der Steinschlaghäufigkeit einerseits und der Anzahl Baumwunden, dem Steindurchmesser, dem Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter andererseits wird hier an einem Beispiel dargelegt:

Stammdurchmesser (BHD): 50 cm
Anzahl Steinschlagwunden (W) an diesem Stamm: 10
Baumalter (A): 70 Jahre
Durchschnitt der Steindurchmesser SD (aus Ablagerungen): 0,3 m

Unter der Voraussetzung zeitinvariater Steinschlagaktivität erlauben diese Daten folgenden Schluss: Den Sektor der Breite BHD + SD = 0,8 m haben in den vergangenen 70 Jahren 2W = 20 Steine passiert (die Zahl der Passagen ist doppelt so gross wie die Zahl der Baumwunden, da im Mittel der vergangenen

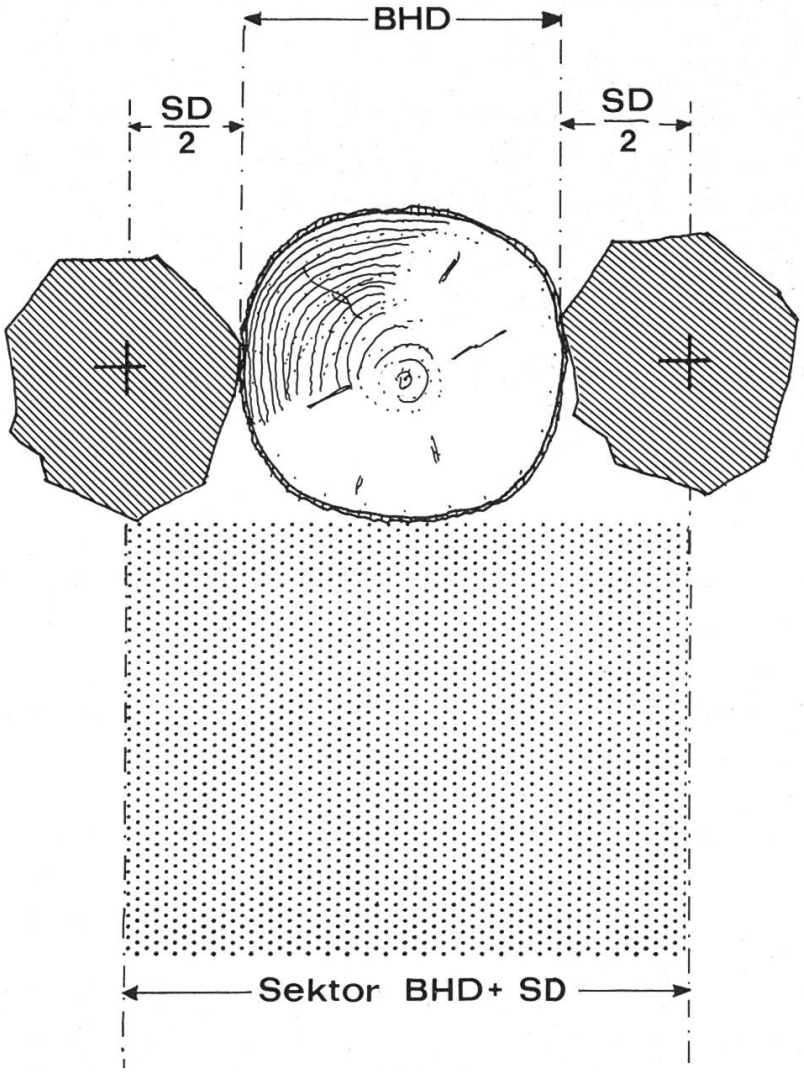

Abbildung 4. Stürze innerhalb des Sektors mit Breite BHD + SD hinterlassen Wunden am Stamm.

70 Jahre die vorhandene Stammbreite BHD/2 betrug). Extrapoliert auf einen Sektor von 10 Metern Breite ergibt dies 250 Steine in 70 Jahren oder 3 bis 4 Steine pro Jahr. Die Steinschlaghäufigkeit kann also für die Sektorbreite BHD+SD nach folgender Beziehung berechnet werden:

$H_{(BHD+SD)} = 2W/A$ Steine pro Jahr

Die genannte Beziehung ermöglicht es, vor Ort unter Zuhilfenahme eines Jahrringbohrers relativ rasch eine Schätzung der Steinschlaghäufigkeit zu erlangen. Da insbesondere kleine Steinschlagwunden verheilen können und sich so der Identifikation entziehen, liefert die genannte Beziehung Mindesthäufigkeiten.

2.3 Die Abgrenzung von Steinschlaggebieten in bewaldeten Hängen

Die Gliederung des Reliefs und das Vorhandensein von Felsablösungsgebieten steuern den Steinschlag und somit das Auftreten von Baumwunden in der Fläche. Die räumliche Verteilung von Steinschlagwunden an Bäumen ist somit ein Abbild des steinschlaggefährdeten Perimeters. Mit einer geeigneten Methode zur Kartierung von Steinschlagwunden können Bestockungen eingegrenzt werden, die Steinschlagschutz zu gewähren haben.

Im folgenden wird ein Verfahren skizziert, das die rasche Feldaufnahme steinschlaggeschädigter Bestände erlaubt und somit die Abgrenzung von Steinschlagschutzwald gestattet:

An Baumgruppen von jeweils 10 Stämmen wird die Zahl der Stämme, die Steinschlagwunden aufweisen, erhoben. Der prozentuale Anteil beschädigter Stämme dient dabei als Mass für die Steinschlagaktivität. Er wird mittels einer Isoliniendarstellung in eine Karte umgesetzt, welche die räumliche Verteilung der Steinschlagaktivität in bewaldeten Steinschlaghängen abbildet. Eine Anwendung des Verfahrens ist dort sinnvoll, wo es gilt, vor Ort eine flächendeckende Schutzwaldabgrenzung vorzunehmen.

Das Kartierungsbeispiel (*Abbildung 5)* verdeutlicht, dass bereits eine geringe Gliederung des Hanges den Wirkungsbereich des gefährlichen Prozesses konzentriert und damit auch den Bereich einschränkt, in welchem die Bestockung eine Schutzfunktion übernehmen muss.

2.4 Sprunghöhen

Zur Kalibrierung seines Steinschlagmodells hat A. Zinggeler, 1990 anhand von Geländespuren (Aufschlagspuren und Baumwunden) verschiedene Sturzbahnen rekonstruiert und die während des Sturzprozesses bei springender Bewegung der Blöcke auftretenden Geschwindigkeiten, Sprungweiten und

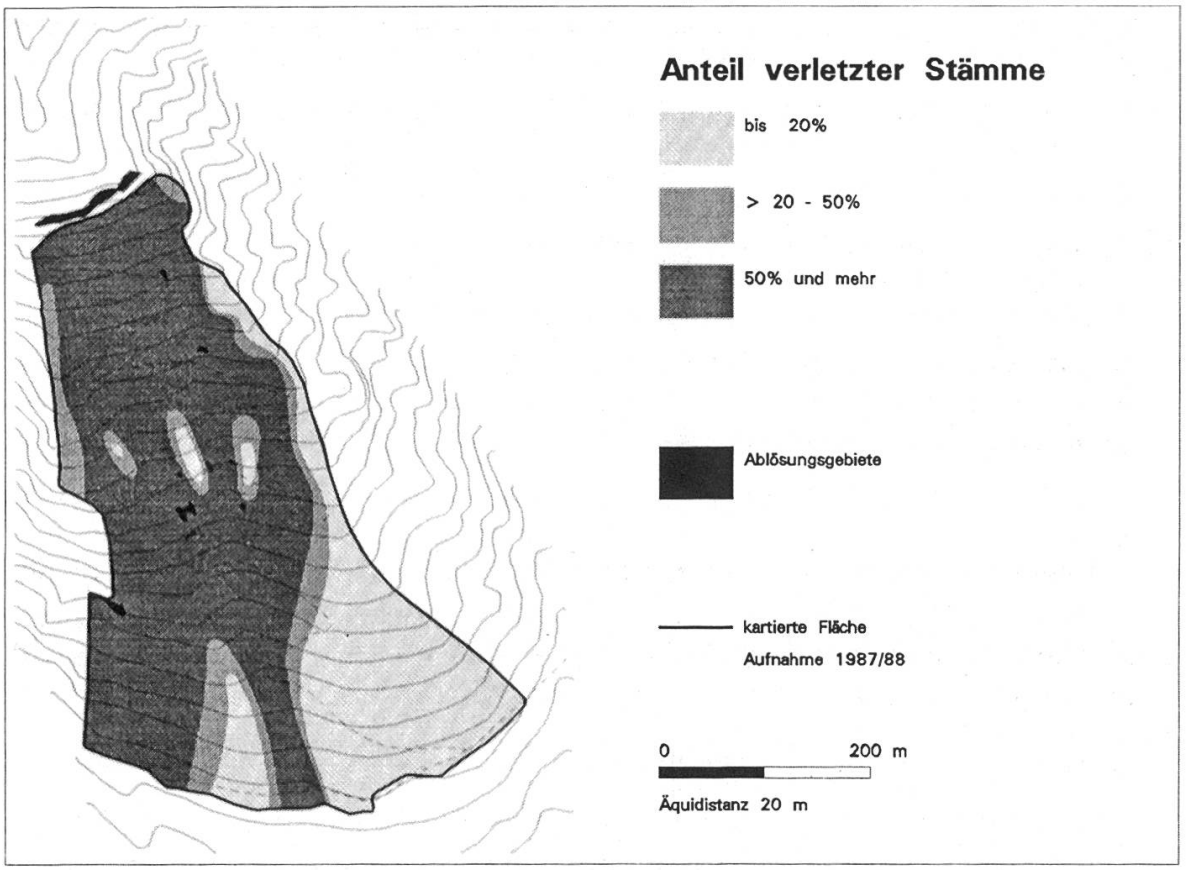

Abbildung 5. Kartierung der Steinschlagaktivität im Haaggenwald (rechtes Brienzerseeufer).

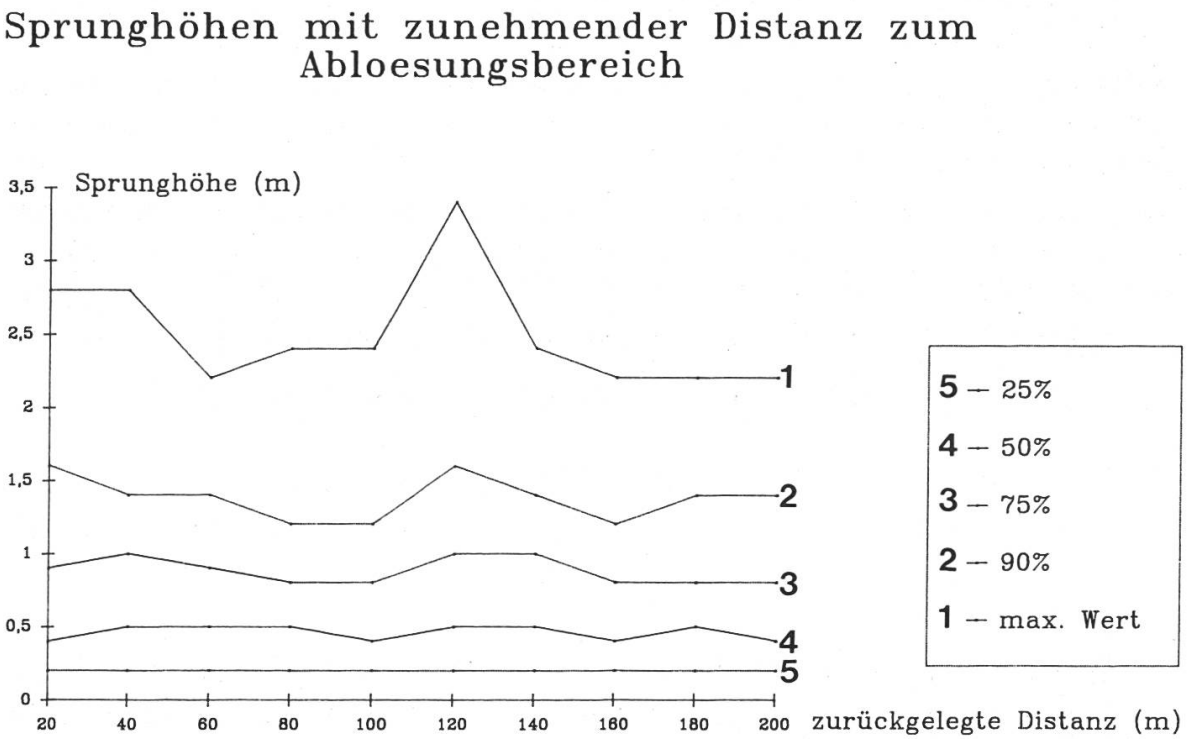

Abbildung 6. Vertikale Verteilung der Steinschlagwunden auf einer Strecke von 200 m Länge bei 40° Hangneigung.

Sprunghöhen berechnet. Die Resultate der Sturzbahnanalysen seien an dieser Stelle kurz zusammengefasst:

Bei bezüglich Hangneigung und Bodenrauhigkeit gleichbleibenden Bedingungen erreicht ein stürzender Block schon nach der kurzen Distanz von etwa 40 Metern eine Maximalgeschwindigkeit. Die Sturzgeschwindigkeiten betragen bei Hangneigungen zwischen 33° und 38° 15 bis 25 m/s. Die Sprunghöhen bleiben bei gleichmässigem Gefälle konstant niedrig und bewegen sich zwischen 1 und 2 Metern. Geländestufen und Hindernisse bewirken grössere Sprunghöhen.

Die geringen Sprunghöhen wurden bestätigt durch die Vollerhebung der Steinschlagwunden in einem Feld von 20 m Breite und 200 m Länge, orientiert in Fallrichtung bei 40° Hangneigung. Das Untersuchungsgebiet weist keine ausgeprägte Bodenrauhigkeit auf (schiefe Ebene). Die Darstellung ausgesuchter Quantile in Abhängigkeit von der Distanz zur Sturzquelle zeigt, dass bei 40° Hangneigung in einem gleichmässig geneigten Hang mit Lockermaterialbedeckung ungefähr 90 % aller registrierten Sprunghöhen 1,5 m nicht überschreiten (*Abbildung 6*).

3. Die Erfassung und Beurteilung der Schutztauglichkeit von Steinschlagschutzwald

3.1 Die Erfassung der Schutztauglichkeit

Bei Sturzprozessen wird die potentielle Energie des Steins im Ursprungsort umgesetzt in kinetische Energie. Letztere wird während des einzelnen Sprunges erhöht (Fallbeschleunigung), beim Aufprall auf den Untergrund zum Teil vernichtet. Erfolgt ein Sturzprozess im Wald, treten, bedingt durch Baumkontakte, zusätzliche Energieverluste auf.

Zwei Überlegungen liefern die Grundlage zur Beurteilung der Schutztauglichkeit von Steinschlagschutzwald:

1. Die Wahrscheinlichkeit eines Baumkontaktes steigt mit dem zurückgelegten Weg.
2. Die mittlere Länge der zwischen zwei Baumkontakten zurückgelegten Strecke ist abhängig von Stammzahl und Durchmesserverteilung der Bestockung sowie dem Steindurchmesser.

Die Beurteilung der Tauglichkeit von Beständen, die Steinschlagschutz zu gewähren haben, basiert auf dem Konzept der «*mittleren baumfreien Strecke*» (P. Gsteiger, 1989, Diplomarbeit, unveröffentlicht). Diese wird definiert als «die Strecke, die ein Stein im Mittel zwischen zwei Baumkontakten zurücklegt». Die Länge der Strecke ist abhängig von Stammzahl und Durchmesser-

verteilung des zu beurteilenden Bestandes und dem Steindurchmesser. Die mittlere baumfreie Strecke (mbS) kann nach folgender Beziehung berechnet werden: $mbS = F/[(stz*SD) + \sum BHD]$

dabei sind:

F	Fläche des beurteilten Bestandes
stz	Zahl der Stämme in F
SD	Steindurchmesser (aus Ablagerung zu bestimmen)
∑BHD	Summe der Brusthöhendurchmesser aller Stämme in F

In der genannten Beziehung wird die Fläche, auf welcher der zu beurteilende Bestand stockt, dividiert durch die Summe aller möglichen Hindernisbreiten. Dabei besteht eine mögliche Hindernisbreite jeweils aus der Summe BHD+SD. Die auf diese Art berechnete «mittlere baumfreie Strecke» ist kürzer, als die in Wirklichkeit zwischen zwei Baumkontakten zurückgelegte Strecke, da sich die Stämme zum Teil gegenseitig in der Falllinie abschirmen. Dieser Sachverhalt wird jedoch in den folgenden Ausführungen nicht weiter berücksichtigt.

Tabelle 3. Mittlere baumfreie Strecke bei Steindurchmesser 50 cm.

Bestandes-typ	*Stammzahl pro ha*	*d50 (m)*	*∑BHD (m)*	*mbS (0,5) (m)*
121 Dickung	3283	0,09	409,7	4,9
231 Stangenholz	2575	0,11	346,2	6,1
321 Baumholz I	3104	0,12	452,8	5
421 Baumholz II	1070	0,16	207,8	13,5
512 Baumholz III	928	0,15	216,4	14,7
621 Gebirgsplenterwald	2284	0,14	397,0	6,5

Tabelle 3 zeigt, welche Werte die «mittlere baumfreie Strecke» in verschiedenen kluppierten Beständen annimmt. Berechnet wurde die mbS für einen Steindurchmesser von 0,5 m. d50 ist der mittlere Stammdurchmesser (50 % Quantil) aus der Durchmesserverteilung. Die *Abbildungen 7* und *8* zeigen zwei der kluppierten Bestände.

3.2 Die Beurteilung der Schutztauglichkeit

Über die mittlere baumfreie Strecke können Bestände identifiziert werden, die gar keinen Steinschlagschutz zu gewähren vermögen. Wie die Sturzbahnanalysen von A. Zinggeler, 1990, zeigen, erreichen Steinschläge bereits nach 40 Metern Bahnlänge ihre Endgeschwindigkeit. Bestände, deren mbS 40 Meter übersteigt, vermögen demnach den Sturzprozess nicht wirksam

Abbildung 7. Stangenholz (Ebligen, Brienzersee).

zu bremsen, da die Strecken zwischen zwei Baumkontakten so lang sind, dass wieder die Endgeschwindigkeit erreicht wird. Die Unterteilung in schutztauglich respektive -untauglich anhand dieser 40-Meter-Limite ist sehr grob. Sie muss differenziert werden, wie die folgenden Beobachtungen und Überlegungen zeigen sollen: Dünne Stämme werden von grösseren Steinen in der Sturzphase (bei Hangneigungen grösser 32°) zur Seite geschoben – sie sind also in der Sturzphase nicht schutzwirksam. Beim Absturz grosser Blöcke bietet Wald keinen Schutz – sie durchdringen jede Bestockung praktisch unbeeinflusst. Bei Baumkontakt wird der Stamm abgeschert.

Effektiv schutzwirksam sind demnach in der Sturzphase nicht alle vorhandenen Stämme, sondern nur die stärkeren. Es gibt demnach einen schutzwirksamen Mindeststammdurchmesser. Dieser ist abhängig von der Grösse des stürzenden Blockes. Die mittlere baumfreie Strecke darf streng genommen nur anhand der schutzwirksamen Stämme berechnet werden. Untersuchungen zum hier postulierten schutzwirksamen Mindeststammdurchmesser wurden im Rahmen der vorgestellten Arbeiten nicht ausgeführt. Eine differenziertere Beurteilung der Schutztauglichkeit anhand der mittleren baumfreien Strecke bedarf weiterer Untersuchungen. Die Schutztauglichkeit von Bestockungen auf Steinschlaghängen kann anhand der mittleren baumfreien Strecke somit vorerst nur grob beurteilt werden. Der Parameter eignet sich jedoch dazu, in

Abbildung 8. Starkes Baumholz (Ebligen, Brienzersee).

Simulationen die Beeinflussung des Sturzprozesses durch unterschiedliche Bestandestypen zu analysieren und auf diese Weise Aussagen über die Gestaltung von Steinschlagschutzwald zu erarbeiten.

4. Gestaltung und Bewirtschaftung von Steinschlagschutzwald

4.1 Steinschlagsimulationen in einer geneigten Fläche mit variierender Bestockung

Im Rahmen des Steinschlagmodells von A. Zinggeler, 1990, wurde ein Teilmodell entwickelt, in welchem unter Verwendung folgender Parameter die Kontaktreaktion zwischen Block und Baumstamm simuliert wird:

Stammdurchmesser
Masse des Steins
Aufprallgeschwindigkeit des Steins
Aufprallwinkel am Stamm
Trefferhöhe am Stamm
an der Kontaktreaktion beteiligte Masse des Stammes
mechanische Eigenschaften des Holzes

Mittels Steinschlagsimulationen wurde versucht, unter Verwendung des Konzeptes der mittleren baumfreien Strecken zu verstehen, wie variierende Bestockungen in der Sturzphase den Sturzprozess beeinflussen. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden hier vorgestellt und interpretiert.

Alle Sturzprozesse wurden mit folgender Parameterkonstellation gerechnet:

Hangneigung 35°
Blockgrösse 0,5x0,4x0,3 m
10 simulierte Stürze

Die Resultate der Simulationen von jeweils 10 Stürzen pro Bestandestyp wurden in Diagramme umgesetzt, die den relativen Vergleich des Einflusses variierender Bestockungen auf die Aufprallgeschwindigkeit, die Sprunghöhe und die seitliche Auslenkung des Steins erlauben (*Abbildung 9*).

Diskussion der Simulationsresultate

Stangenholz:

Im Stangenholz erreicht der Block vergleichsweise hohe Geschwindigkeiten und Sprunghöhen. Die seitliche Ablenkung, die auch mit Energieverlusten verbunden ist, ist gegenüber den anderen Bestandestypen vergleichsweise niedrig: Die schwachen Stämme weichen dem Block in der Sturzphase elastisch aus, ohne viel Energie zu absorbieren.

Schwaches Baumholz:

Das schwache Baumholz weist gegenüber dem Stangenholz eine höhere Stammzahl und eine höhere Durchmessersumme auf. Der mittlere Durchmesser ist stärker. Diese Faktoren reichen aus, um den Block allmählich zu bremsen und schliesslich zu stoppen. Die Sprunghöhen sind wegen der vergleichsweise geringen Geschwindigkeit niedrig.

Mittleres und starkes Baumholz:

Das mittlere und starke Baumholz weisen eine deutlich tiefere Stammzahl auf als das schwache Baumholz. Wegen der längeren baumfreien Strecken

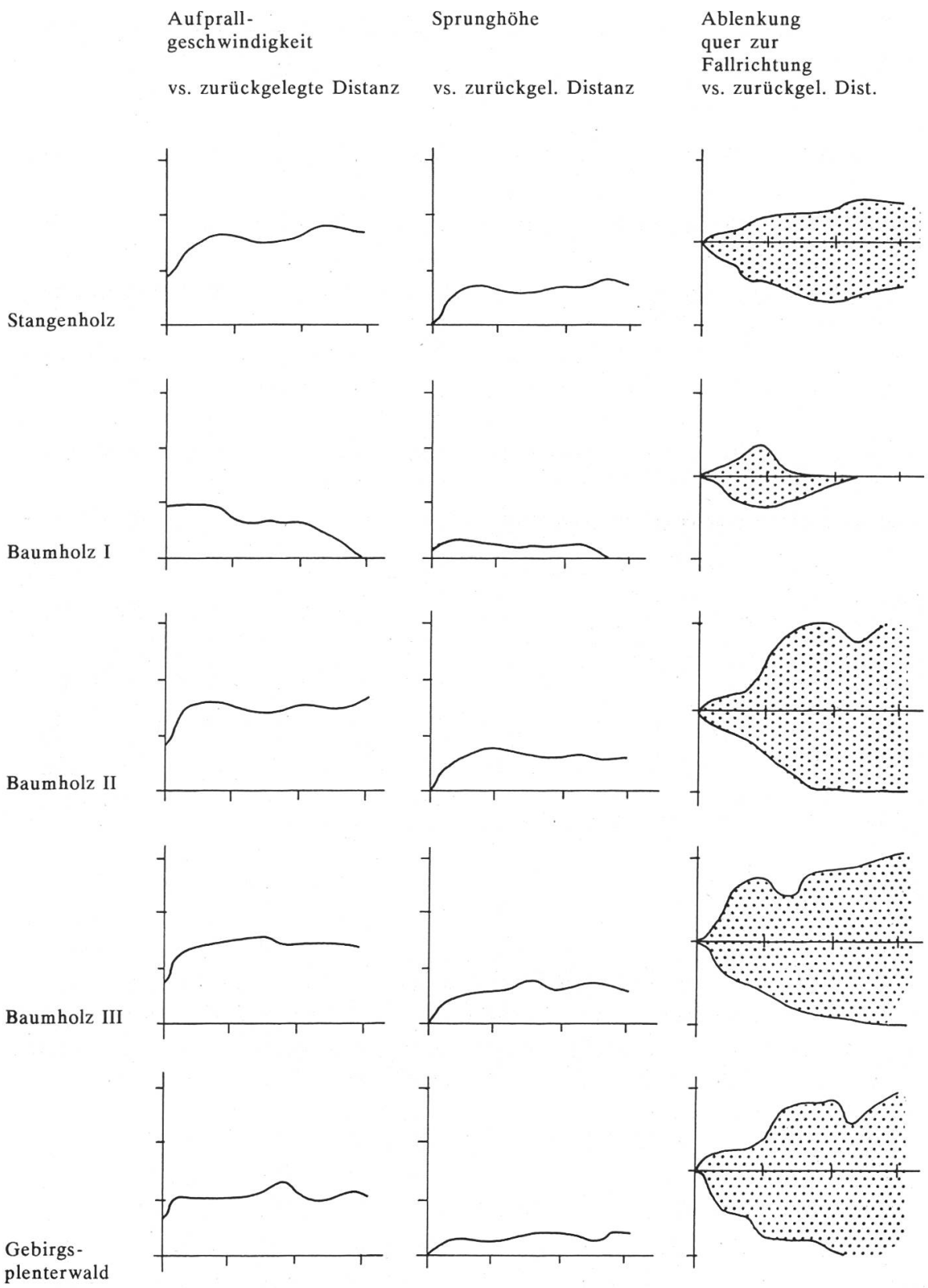

Abbildung 9. Die Beeinflussung des Sturzprozesses durch verschiedene Entwicklungsstufen (relative Darstellung).

erreichen die Blöcke zwischen den Baumkontakten eine höhere Geschwindigkeit und entsprechend höhere Sprunghöhen. Die starken Stämme weisen gegenüber dem Stangenholz eine grössere Massenträgheit auf, was zu grösseren seitlichen Ablenkungen der Blöcke führt.

Gebirgsplenterwald:

Der Bestandestyp weist eine hohe Stammzahl und hohe mittlere Stammdurchmesser auf. Der Gebirgsplenterwald bewirkt vergleichsweise geringe Aufprallgeschwindigkeiten, geringe Sprunghöhen und eine starke seitliche Auslenkung der Blöcke.

Obschon die Simulationsresultate auf einer geringen Anzahl Berechnungen beruhen, lassen sie die für die Schutzerfüllung in der Sturzphase wesentlichen Parameter erkennen. Die folgenden Eigenschaften einer Bestockung vermögen Sturzprozesse wirksam zu dämpfen:

hohe Stammzahl
hohe mittlere Stammdurchmesser

Die Schutzerfüllung ist in der Sturzphase nur gewährleistet, wenn der fragliche Bestand sowohl eine hohe Stammzahl, wie auch einen hohen mittleren Stammdurchmesser aufweist. Eine hohe Stammzahl ist in der Sturzphase nur eine notwendige, allein aber nicht ausreichende Bedingung zur Erfüllung der Schutztauglichkeit, da schwache Stämme aus der Sturzbahn gedrängt werden. Hohe mittlere Stammdurchmesser sind ebenfalls nur eine notwendige, allein aber nicht ausreichende Voraussetzung zur Gewährung von Steinschlagschutz, da sie nur wirksam werden, wenn die zwischen zwei Baumkontakten zurückgelegte Strecke kurz gehalten werden kann.

4.2 Konsequenzen für die Gestaltung von Steinschlagschutzwald

4.2.1 Absturzbereich (Hangneigungen grösser als 32°)

Steinschlagschutzwald mit hohem Schutzgrad muss im Absturzbereich hohe Stammzahlen und hohe mittlere Stammdurchmesser aufweisen. Bei den diskutierten Simulationen weisen «schwaches Baumholz» und «Gebirgsplenterwald» diese Eigenheiten auf. Beide Bestände bewirken eine markante Dämpfung der Aufprallgeschwindigkeiten und der Sprunghöhen. Der Gebirgsplenterwald bewirkt überdies eine deutliche seitliche Auslenkung der Blöcke, was zusätzliche Energieverluste zur Folge hat.

Hat die Schutzfunktion des Bestandes Priorität, so muss die Bewirtschaftung des Bestandes die Erhaltung und Optimierung der Schutztauglichkeit zum Ziel haben. Dichte, stufige Bestände sind gemäss den präsentierten Simulationsergebnissen gut geeignet, Sturzprozesse im Absturzbereich wirkungsvoll zu bremsen. Der stufige Aufbau ermöglicht es, den hohen Schutzerfüllungsgrad langfristig aufrecht zu erhalten.

4.2.2 Auslaufbereich (Hangneigungen geringer als 32°)

Im Auslaufbereich bewirkt die abnehmende Hangneigung zunehmende Energieverluste. Der Sturzprozess verliert im Auslaufbereich – bedingt durch das Relief – an Intensität. Die Sprünge werden flacher und kürzer, die Bewegung geht ins Rollen über. Hohe mittlere Stammdurchmesser sind im Auslaufbereich nicht mehr eine notwendige Voraussetzung für die Schutzerfüllung, da hier die Dämpfung der Sturzbewegung durch das Relief bewirkt wird. Bestände, die wegen der hohen Stammdichte häufige Baumkontakte bewirken und somit Komponenten zur Ablagerung bringen, vermögen den Auslaufbereich von Sturzprozessen zusätzlich zu verkürzen. Ein Bestandestyp, der diese Eigenart aufweist, ist das Stangenholz. Durch Niederwaldbewirtschaftung (Stockausschläge) kann ein sehr dichter, strauchartiger Bestand mit soliden Strünken erreicht werden, der geeignet ist, ausrollende Blöcke zu stoppen und zurückzuhalten.

5. Schlussfolgerungen, Zusammenfassung

Abgrenzung und Beurteilung der Steinschlaggefahr

Die punktuelle Erfassung von Steinschlagwunden an Bäumen liefert vor Ort einfach zu beschaffende Informationen über Steinschlaghäufigkeiten und Sprunghöhen. Steinschlaghäufigkeiten können über eine einfache Beziehung mit Hilfe eines Jahrringbohrers für bestockte Hangsektoren geschätzt werden. Über die flächendeckende Erfassung steinschlagversehrter Stämme können Bestockungen ausgeschieden werden, die Steinschlagschutz zu gewähren haben. Diese Art der Schutzwaldansprache ist dort sinnvoll, wo die Gefahrenausscheidung auf Hinweisstufe differenziert werden muss.

Die Beurteilung der Schutztauglichkeit von Beständen

Durch Berechnung des Parameters «mittlere baumfreie Strecke» auf der Basis forstlicher Stichproben können Bestände ohne jegliche Schutzwirkung erfasst werden. Eine differenziertere Beurteilung der Schutztauglichkeit anhand der «mittleren baumfreien Strecke» erfordert die Kenntnis schutzwirksamer Mindeststammdurchmesser in Abhängigkeit vom Steindurchmesser. Diese sind heute noch nicht hinreichend bekannt.

Unter Verwendung des Parameters «mittlere baumfreie Strecke» in einem Steinschlagmodell kann die Beeinflussung von Sturzprozessen durch verschiedene Bestandestypen simuliert werden. Der Vergleich der Simulationsresultate erlaubt es, die für die Schutzerfüllung wesentlichen Parameter zu nennen. Unter Einbezug waldbaulicher Überlegungen sowie Resultaten von Sturzbahnauswertungen können für den Sturz- und Auslaufbereich von Steinschlaggebieten Bestände mit vergleichsweise hohem Schutzerfüllungsgrad bezeichnet werden: In der Sturzphase bewirken Gebirgsplenterwald und schwaches Baumholz eine markante Dämpfung des Sturzprozesses. Im Auslaufbereich vermag Stangenholz in Niederwaldbewirtschaftung den Auslaufbereich von Stürzen zu verkürzen und Sturzmaterial zurückzuhalten.

Résumé

Forêt de protection contre les chutes de pierres

Dans des versants boisés, des mesures forestières peuvent influencer les éboulements de pierres. Pour concevoir de telles mesures, visant à optimiser l'efficacité protectrice de la forêt, il faut délimiter la forêt en question et évaluer son aptitude protectrice. L'article ci-dessus expose la manière dont on peut tirer des informations de troncs atteints par des chutes de pierres; ces informations permettent de délimiter les peuplements à fonction protectrice. En simulant la chute de pierres dans différents types de peuplements, on identifie les caractéristiques importantes pour l'efficacité protectrice de la forêt. Les résultats des simulations permettent l'identification de types de peuplements à haute efficacité protectrice pour la zone accélératrice et la zone décélératrice de la chute. Pour les deux zones, deux méthodes sylvicoles sont esquissées; chacune permet d'obtenir une forêt de haute efficacité protectrice.

Literatur

Gsteiger, P., (1989): Steinschlag – Wald – Relief. Diplomarbeit, unveröffentlicht. Geographisches Institut der Universität Bern.

Jahn, J., (1988): Entwaldung und Steinschlag. Internationales Symposium Interprävent 1988 Graz. Tagungspublikation, Band 1, S. 185–198. Graz.

Pancza, A., (1985): Régime des chutes de pierres dans une paroi rocheuse du Jura. Physische Geographie. Vol.16, p. 85–94, Geographisches Institut der Universität Zürich.

Shigo, A., (1977): Compartmentalization of decay in trees. Agriculture Information Bulletin No. 405. Washington D.C. US Department of Agriculture, Forest Service.

Zinggeler, A., (1989): Die Modellierung der Steinschlaggefahr in Gebirgswäldern. Diplomarbeit, unveröffentlicht. Geographisches Institut der Universität Bern.

Zinggeler, A., Kienholz, H., Krummenacher, B., (1990): Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern. Berichte und Forschungen Geographisches Institut Freiburg/CH, Vol. 3, Modelle in der Geomorphologie – Beispiele aus der Schweiz. Fachtagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft Freiburg, 22.–23. Juni 1990.

Verfasser: Peter Gsteiger, lic. phil. nat., Geograph, Büro Geo7, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern.