

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 168 (2017)

Heft: 2

Artikel: Wenn Baumwunden dazu beitragen, Steinschlagmodelle weiterzuentwickeln

Autor: Eichenberger, Verena / McArdell, Brian / Christen, Marc

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097470>

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: 03.05.2026

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

Wenn Baumwunden dazu beitragen, Steinschlagmodelle weiterzuentwickeln

Verena Eichenberger Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Brian McCardell Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Marc Christen WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)
Daniel Trappmann Dendrolab Schweiz und Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève (CH)
Markus Stoffel Dendrolab Schweiz und Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève (CH)

Wenn Baumwunden dazu beitragen, Steinschlagmodelle weiterzuentwickeln

Steinschlag ist eine häufig auftretende Naturgefahr im Gebirge. Weil Steine sich sehr schnell und verschiedenartig talabwärts bewegen und ihr Auslauf durch mehrere Faktoren beeinflusst wird, ist die Abbildung von Steinschlagprozessen in Simulationsmodellen komplex. In diesem Artikel werden die Ergebnisse einer im aktiven Steinschlaggebiet Meretschibach (Kanton Wallis) durchgeführten Untersuchung präsentiert. In deren Rahmen wurde das Steinschlagmodell RAMMS::Rockfall mithilfe von Steinschlagwunden an Bäumen und Steinablagerungen im Gelände validiert. Szenarien mit unterschiedlichen Gesteinscharakteristika wurden definiert und mit verschiedenen Bodenklassen simuliert, um die Sensitivität des Modells auf diese Parameter zu testen. Im Feld gescannte Steine, die in ihrer Form und Volumenverteilung repräsentativ für das Gebiet sind, bildeten die Sprunghöhen besser ab als Steine einheitlicher Grösse (kleine resp. grosse). Auch die RAMMS-Standardsteine, die in ihrer Form und in ihrem Volumen den gescannten Steinen sehr ähnlich waren, zeigten weniger realistische Sprunghöhen als die gescannten Steine. Die besten Simulationen wurden erzielt, wenn der Boden zudem zwei Klassen weicher eingestuft wurde als im Gelände kartiert. Dann betrug der Unterschied zwischen dem simulierten Median der Sprunghöhe und der Höhe der Baumwunden noch 23 cm. Die Studie führte zu einer Weiterentwicklung des Steinschlagmodells RAMMS::Rockfall und dessen Benutzerhandbuch. Sie zeigt zudem die Wichtigkeit der genauen Erhebung der Eingabeparameter im Feld auf, um realistische Steinschlagsimulationen zu erzielen.

Keywords: rockfall, visual scar identification on trees, RAMMS::Rockfall
doi: 10.3188/szf.2017.0084

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail brian.mcardell@wsl.ch

Steinschlag, eine häufig auftretende Naturgefahr im Gebirge, ist ein sehr komplexes Phänomen und ein intensiv bearbeitetes Forschungsthema (Scaioni et al 2008). Vergangene Steinschlagereignisse sind meistens nur dann bekannt und dokumentiert, wenn Infrastrukturen oder Menschen betroffen sind (Dorren et al 2007). Die Bedeutung der Steinschlagforschung hat in den letzten Jahren aufgrund des vermehrten Aufenthalts von Menschen in gefährdeten Zonen stark zugenommen (Volkwein et al 2011). Steinschlag ist schwer prognostizierbar und die mathematische Umsetzung in Modellen, welche für die Risikoabschätzung benötigt werden, ist eine Herausforderung. So sind für die Auslösung von Steinschlag verschiedene Faktoren verantwortlich, die Sturzbahn der Steine wird stark von der Topografie und der Oberflächenbeschaffenheit im Transitgebiet geprägt, und der Ort der Ablagerung der Steine wird durch die Form und das Volumen der Steine selbst beeinflusst (Lambert & Nicot 2011). Das numerische Steinschlagmodell

RAMMS::Rockfall simuliert mithilfe von Kontaktgesetzen jede Berührung von definierten Steinkörpern mit der Geländeoberfläche im dreidimensionalen Raum (Christen et al 2012). Die Trajektorien (z.B. Sprunghöhen) werden mittels statistischer Auswertungen analysiert (Leine et al 2014).

Aktive Steinschlaggebiete ohne technische Verbauungen sind besonders geeignet, um Steinschlagmodelle zu überprüfen. Diese Voraussetzungen bietet das Gebiet des Meretschibachs im Kanton Wallis (Schweiz). Mithilfe von in diesem Gebiet angetroffenen Steinschlagwunden an Bäumen und Gesteinsablagerungen im Gelände wird das Steinschlagmodell RAMMS::Rockfall in vorliegender Untersuchung validiert. Dabei wird im Speziellen analysiert, welche Unterschiede sich in den Sprunghöhen ergeben, wenn präzise gescannte Steine oder vergleichbare Standardsteine, wie sie im Modell zur Verfügung stehen, als Eingangsdaten für die Simulationen verwendet werden und der Parameter «Boden» im Modell verändert wird.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet Meretschibach

Beim Untersuchungsgebiet Meretschibach handelt es sich um eine steile Schutthalde, welche sich an der südlichen Flanke des Rhonetals in den Gemeinden Leuk und Agarn befindet (Abbildung 1a). Mehrere Naturgefahrenprozesse (Steinschlag, Lawine, Murgang, permanente Rutschung) prägen das ca. 1.5 km lange Gebiet, welches vom höchsten Ausbruchspunkt (2200 m ü.M.) bis zum Auslaufgebiet (650 m ü.M.) eine Fläche von ca. 0.65 km² umfasst. Die Steinschlagaktivität ist im westlichen Teil des Gebietes am grössten. Bisher sind jedoch nur wenige Ereignisse dokumentiert worden.

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet im Penninikum und weist Einheiten folgender drei tektonischer Decken auf: Siviez-Mischabel, Zone Houillièrè, Sion-Courmayeur (Gabus et al 2008). Häufigstes Gestein ist Quarzit, der massiv, aber spröde vorliegt und deshalb oft in Blöcken abbricht. Der Steinschlaghang ist von krautiger Vegetation sowie von Wald bewachsen. Im unteren Bereich, nahe des Dorfes Agarn, herrschen die Baumarten Fichte (*Picea abies*) und Lärche (*Larix decidua*) vor, welche ein geschlossenes Kronendach ausbilden. Der Wald ist hier als Schutzwald kartiert. Im oberen Bereich ist der Wald aufgelöst und setzt sich vorwiegend aus Birke (*Betula pendula*), Lärche und Fichte zusammen.

Das nordöstlich ausgerichtete Untersuchungsgebiet ist vom Ausbruchgebiet (39°) bis zum Ablagerungsgebiet (26°) durchschnittlich 35° steil. Seit der letzten Eiszeit verändert sich das Erosionsgebiet permanent (Zumofen 1990). Es sind verschiedene Steinschlagquellen vorhanden, die in die gleiche Transit- und Ablagerungszone einmünden (Teufen 1973).

Feldaufnahmen

Entlang von vier horizontalen und einem vertikal verlaufenden Profil wurden Steinschlagwunden an Bäumen, abgelagerte Steine und charakteristische Standorteigenschaften wie die Ausbruchgebiete, der Wald und der Boden aufgenommen. Jedes Aufnahmeprofil hatte eine Breite von 10 m, um eine möglichst repräsentative Fläche sowohl bezüglich Wald als auch Steinablagerungen und Steinschlagwunden zu untersuchen. Die Länge der Profile variierte zwischen 190 m und 1120 m. Das oberste Profil (Profil 1) liegt auf einer Höhe von 1640 m ü.M. und beinhaltet die obersten Bäume des Steinschlaghanges. Hier wurden naturgemäss die meisten Wunden und Gesteinsablagerungen erwartet. Damit das ganze Transitgebiet erfasst werden konnte, wurde der Abstand zwischen den Profilen von oben nach unten stetig vergrössert (Abbildung 1b). Ein Abstand von 140 Höhenmetern lag zwischen den Profilen 1 und 2, ein solcher von 200 Höhenmetern zwischen den Profilen 2 und 3 und ein solcher von 300 Höhenme-

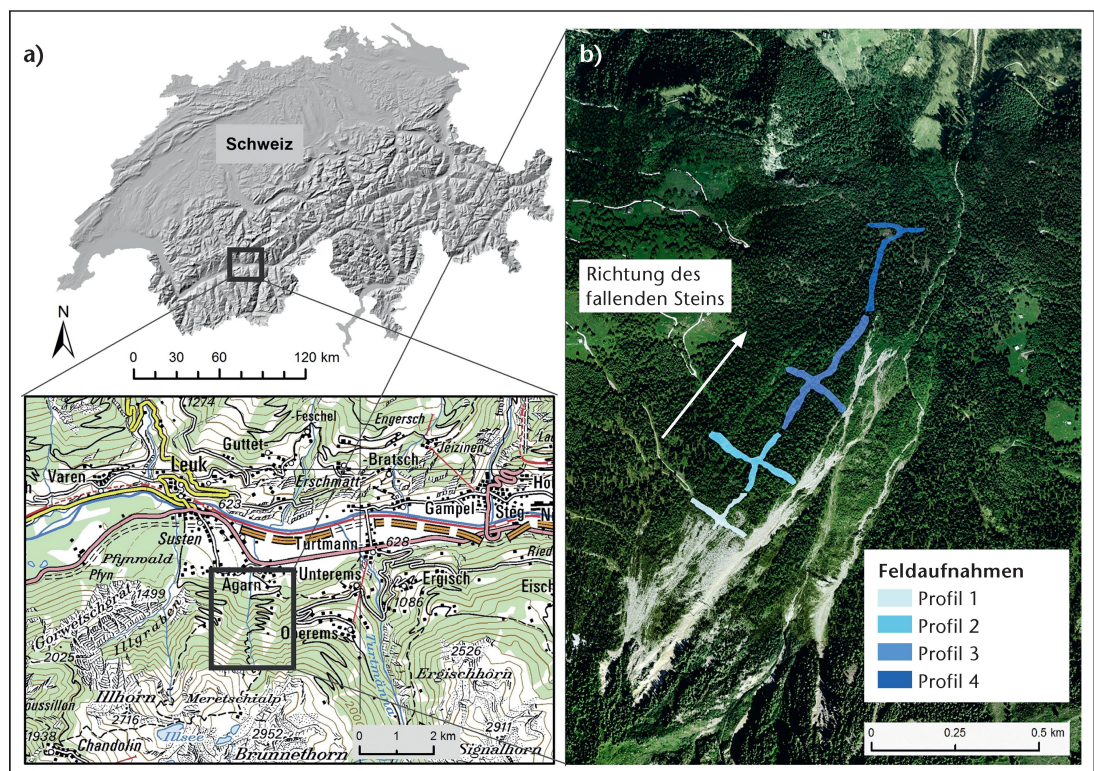


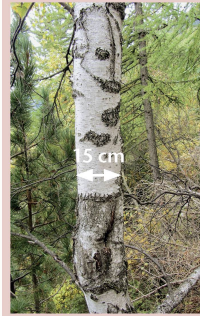





Abb 1 Lage des Untersuchungsgebiets Meretschibach im Kanton Wallis (a) und Darstellung der Aufnahmeprofile (b). Karte und Luftbild: Swisstopo (JD100042).

Baumart	Altersklasse der Wunde		
	Frisch (<5 Jahre)	Mittelalt (5–15 Jahre)	Alt (>15 Jahre)
Birke (<i>Betula pendula</i>)	 <ul style="list-style-type: none"> • Frisch aufgeschürftes Holz • Bastfasern stehen aus der Wunde hervor • Überwallungen sicht- und zählbar 	 <ul style="list-style-type: none"> • Wunde meist leicht verwittert • Überwallungsringe zählbar • Kleine Wunden können bereits geschlossen sein • Massive Wunden sind noch offen 	 <ul style="list-style-type: none"> • Überwallungsringe zählbar • Wunde stark verwittert • Wunde meist geschlossen
Fichte (<i>Picea abies</i>)	 <ul style="list-style-type: none"> • Frisch exponiertes Holz • Spärliche Überwallung • Helles, frisches Harz 	 <ul style="list-style-type: none"> • Verwittertes Holz • Wundüberwallung entwickelt • Grau-gelbliches, festeres Harz 	 <ul style="list-style-type: none"> • Verwitterte Wunde • Wunde meist geschlossen • Dunkles Harz

Tab 1 Merkmale zur visuellen Altersschätzung von Steinschlagwunden an Birke und Fichte in drei Altersklassen. Fotos: Verena Eichenberger

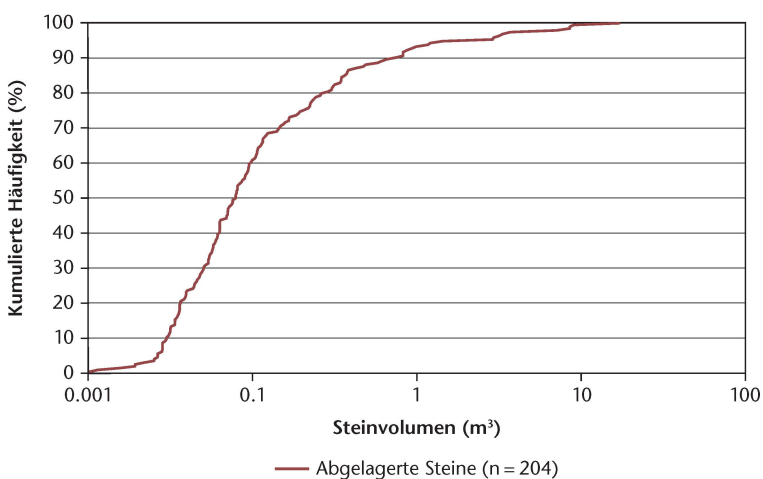


Abb 2 Aufsummierte Häufigkeit der im Untersuchungsgebiet Meretschibach abgelagerten Steinvolumen.

tern zwischen den Profilen 3 und 4. Die auf dem vertikal verlaufenden Profil aufgenommenen Daten wurden für die Analysen jeweils dem nächstgelegenen horizontalen Profil zugeweiht.

Steinschlagwunden an Bäumen

Um Informationen über die räumliche Verteilung von Steinschlag, die Sprunghöhen der Steine und das Alter der Steinschlagereignisse zu erhalten, wurden alle sichtbaren Steinschlagwunden an Bäumen mit mindestens 8 cm Brusthöhendurchmesser innerhalb der Profilflächen erfasst (Anzahl, Höhe ab Boden) und deren Alter geschätzt. Für die Lärche existierte bereits ein Leitfaden für die äusserliche Altersbestimmung von Wunden (Trappmann & Stoffel 2015). Dieser beinhaltet Merkmale wie die Anzahl der Zuwachsringe entlang der Wundüberwallung, die Farbe der Überwallung, die Konsistenz des Harzes und der Zustand des beschädigten Holzes. In Anlehnung an diesen Leitfaden wurde für die vier im Untersuchungsgebiet am häufigsten vorkommenden Baumarten Birke, Fichte, Lärche und Tanne (*Abies alba*) eine Einteilung der Wunden in drei Altersklassen (<5 Jahre, 5–15 Jahre, >15 Jahre) entwickelt. In Tabelle 1 sind die Merkmale für die Birke und die Fichte beschrieben, wobei diese Merkmale zur groben Abschätzung der Wundalter dienen und nicht alle erfüllt sein müssen. Die so erfolgten Altersschätzungen wurden in einer anschliessenden Studie mittels 65 Bohrkernen und Stammscheiben an Birken validiert und zeigten, dass sie stimmig waren. Wie in Trappmann & Stoffel (2015) beschrieben, hängt das äussere Erscheinungsbild der Wunde stark von der Verletzungsstärke, der Baumart, dem Baumalter sowie der Vitalität des Baumes ab. Schwerwiegende, grosse Wunden an alten Bäumen können bis zum Absterben des Baumes gut sichtbar bleiben. Schwache Wunden an jungen Bäumen werden dagegen oftmals innert weniger Jahre geschlossen und sind von aussen nicht länger sichtbar (Stoffel & Perret 2006). Diese Tatsache kann folglich zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Wundzahl führen, wenn eine Untersuchung ausschliesslich auf der äusserlichen Zählung der Schäden beruht (Moya et al 2010).

Abgelagerte Steine

Entlang der Profile wurden alle frischen Steine dokumentiert. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie keinen oder kaum Flechtenbewuchs aufweisen. Zusätzlich wurden in zwei zufällig gewählten Quadraten (10 × 10 m) pro Profil alle Steine erfasst. Bei jedem der 204 erfassten Steine wurde die Länge der drei Achsen gemessen. Aufgrund der Seitenverhältnisse wurden die Form und das Volumen des Steins bestimmt. Die Volumenverteilung der erfassten Steine ist in Abbildung 2 dargestellt.

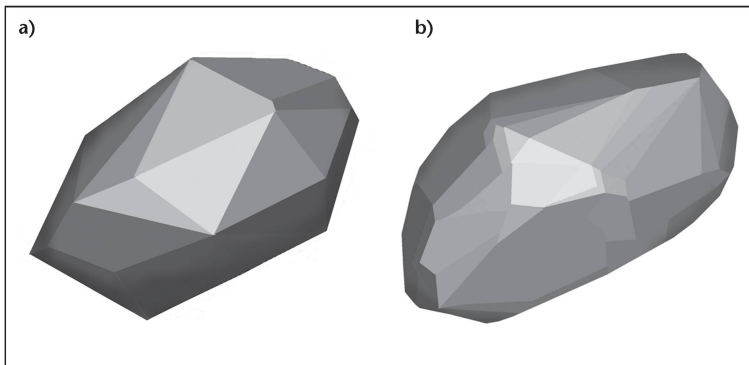


Abb 3 Visualisierung eines RAMMS-Standardsteins (a) und eines im Feld mit einem 3-D-Laserscanner eingemessenen Steins (b). Die beiden Steine (a) und (b) haben das gleiche Volumen sowie eine ähnliche Form.

Steine für die Simulationen

Das Steinschlagmodell RAMMS::Rockfall bietet für die Simulationen Standardsteine zur Auswahl an (Abbildung 3a). Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Steinformen, wie sie im Untersuchungsgebiet vorkommen, zu verwenden (Abbildung 3b). Für die vorliegende Untersuchung wurden zehn repräsentative Steine mit einem 3-D-Laserscanner im Feld eingemessen.

Eingangsparameter Wald und Boden

Die Eingangsparameter zur Charakterisierung von Wald und Boden in RAMMS::Rockfall wurden im Gelände erfasst. Der Wald wurde dabei anhand der Grundfläche in die drei vom Modell vorgegebenen Dichteklassen eingeteilt (offener Wald: 20 m²/ha; mittlerer Wald: 35 m²/ha; dichter Wald: 50 m²/ha). Der Boden wurde gemäss der Bodenklassenbeschreibung in der RAMMS-Anleitung nach den sieben Bodenklassen «extrahart», «hart», «mittelhart», «mittel», «mittelweich», «weich», «extraweich» klassifiziert (Bartelt et al 2015). In Abbildung 4a sind die im Gelände kartierten Bodenklassen dargestellt.

Ausbruchgebiete

Mittels Orthofotos, des Wissens lokaler Experten und Feldbegehungen wurden verschiedene Steinschlagquellen identifiziert. Für die Simulationen wurden die zwei markantesten Ausbruchgebiete ausgewählt (Abbildung 4b): eine Felswand auf 2130 m ü.M., welche als Hauptquelle für grosse Ausbrüche betrachtet werden darf, und eine Erosionsfläche auf 1820 m ü.M., aus welcher kleinere Steine erwartet werden.

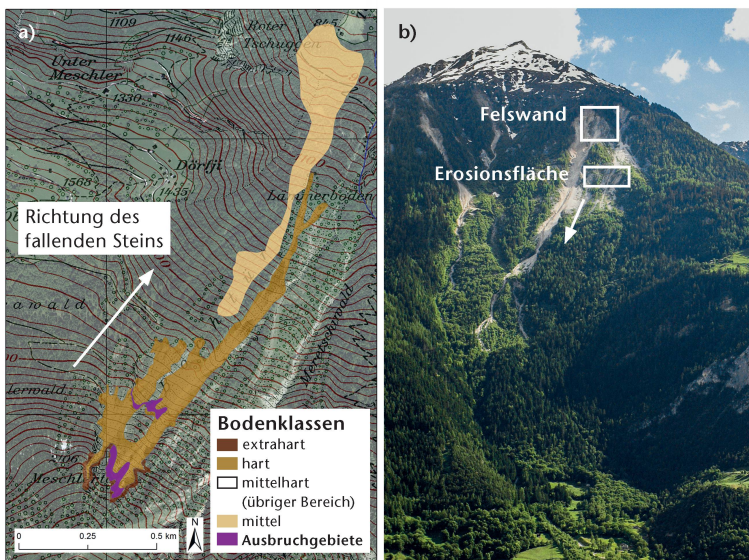


Abb 4 Im Untersuchungsgebiet kartierte Bodenklassen (a) und Ausbruchgebiete (b) als Grundlage für die Simulationen. Kartengrundlage: Swisstopo (ID100042), Foto: Jürg Brechbühl

Simulationen mit RAMMS::Rockfall

Basierend auf Vorstudien, die mit einem einfachen Parameterset in Bezug auf die Steine durchgeführt worden waren, wurden weitere Modelleinstellungen wie die Anzahl Orientierungen eines Steins an der Startposition festgelegt. Drei Szenarien wurden definiert, um den Einfluss der Form und des Volumens der Steine zu untersuchen (Tabelle 2). Szenario 1 bildet einen kleinen Stein (0.1 m³) mit gleichmässigen Seiten ab, der aus der Erosionsfläche ausgelöst wird. Szenario 2 beinhaltet einen grossen Block (2 m³) mit gleichmässigen Seiten, der aus der Felswand losbricht. Szenario 3 umfasst 20 verschiedene Steine, die in Bezug auf die Volumenverteilung (Abbildung 2) und die Form repräsentativ für die im Feld angetroffenen Ablagerungen sind. Als Startgebiete wurden für Szenario 3 sowohl die Erosionsfläche als auch die Felswand gewählt. In allen Szenarien wurde jeder Stein mit 25 verschiedenen Startorientierungen an 20 verschiedenen Startpositionen simuliert (Tabelle 2), was 500 Simulationen in den Szenarien 1 und 2 sowie 10000 Simulationen im Szenario 3 ergibt. In jedem Szenario wurden einerseits die ge-

Szenario	Ausbruchgebiet	Anzahl (a) und Volumen der Steine	Steinform	Anzahl Startorientierungen (b)	Anzahl Startpositionen (c)	Anzahl Simulationen (a × b × c)
1	Erosionsfläche	1 à 0.1 m ³	gleichförmig	25	20	500
2	Felswand	1 à 2.0 m ³	gleichförmig	25	20	500
3	Erosionsfläche und Felswand	3 à 0.05 m ³	gleichförmig	25	20	10000
		3 à 0.05 m ³	länglich			
		3 à 0.1 m ³	gleichförmig			
		3 à 0.5 m ³	gleichförmig			
		2 à 0.1 m ³	flach			
		2 à 0.5 m ³	länglich			
		1 à 1.0 m ³	länglich			
		1 à 2.0 m ³	länglich			
		1 à 4.0 m ³	gleichförmig			
1 à 10.0 m ³	länglich					

Tab 2 Übersicht über die den Szenarien zugrunde gelegten Steincharakteristika und sich daraus ergebende Anzahl Simulationen. Gleichförmig: Alle Seiten haben eine ähnliche Länge. Länglich: eine Seite ist länger als die anderen zwei. Flach: Eine Seite ist kürzer als die anderen zwei.

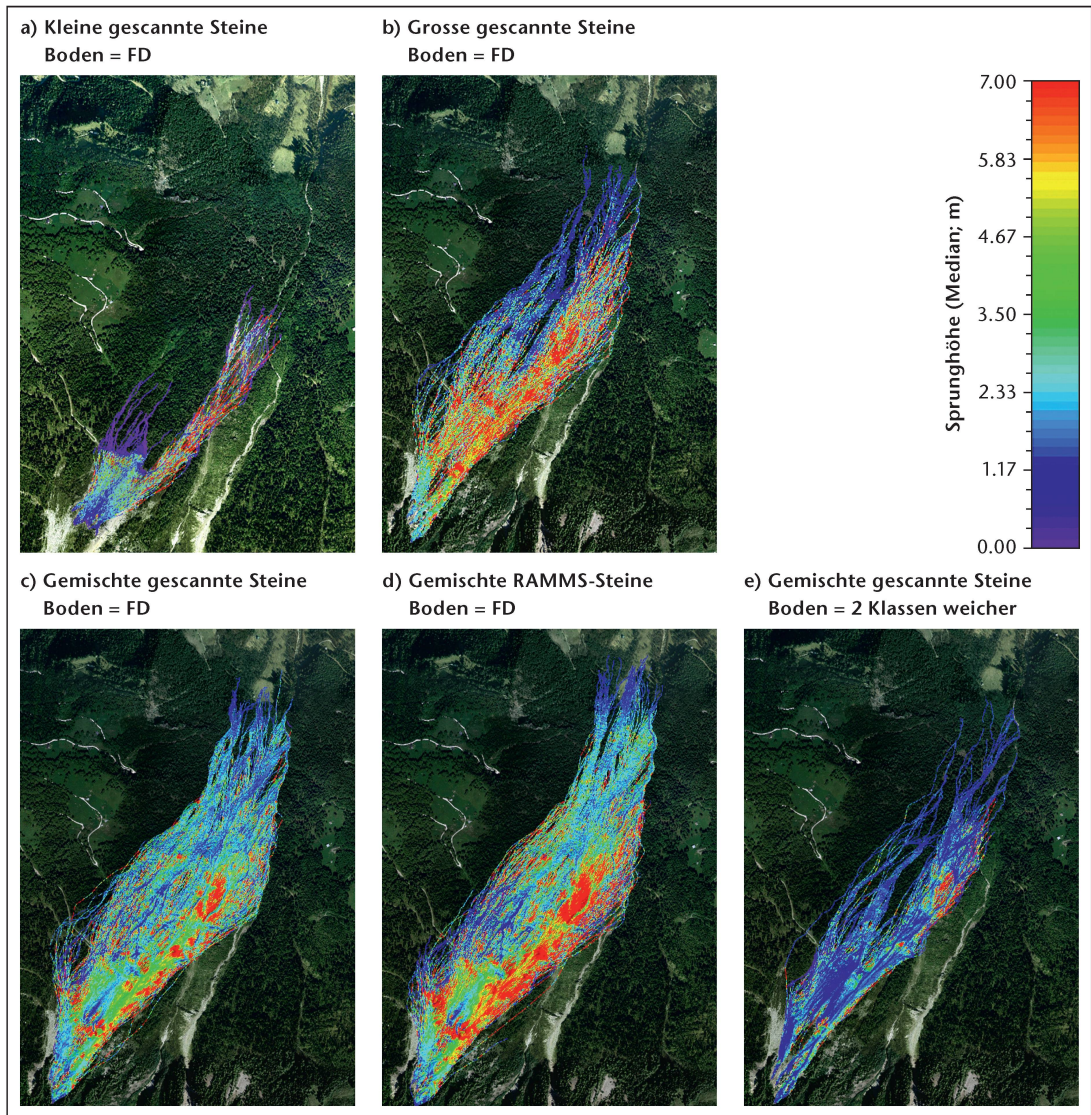


Abb 5 Simulierte Sprunghöhen (Median) von Szenario 1 (a), Szenario 2 (b) sowie Szenario 3 mit gescannten Steinen (c) und mit RAMMS-Standardsteinen (d), jeweils mit den im Feld kartierten Bodenklassen (FD: Felddaten). Szenario 3 mit gescannten Steinen und einem um zwei Klassen weicherem Boden ist in (e) dargestellt. Luftbild: Swisstopo (ID100042)

scannten Steinformen und andererseits vergleichbare RAMMS-Standardsteine verwendet (Abbildung 3). Um die Sensitivität des Modells auf den Bodenparameter zu testen, wurden die Simulationen zuerst mit den im Feld kartierten Bodenklassen (Abbildung 4a) durchgeführt. Anschliessend wurden alle Bodenklassen eine respektive zwei Klassen weicher zugeordnet (z.B. von «extrahart» zu «hart» respektive «mittelhart»). Der Waldparameter blieb unverändert.

Resultate

Simulationen mit RAMMS::Rockfall

Die Auslaufdistanzen der kleinen Steine (Szenario 1; Abbildung 5a), waren in der Simulation viel kürzer als die der grossen Steine (Szenario 2; Abbil-

dung 5b). Sobald die kleinen Steine das bewaldete Gebiet erreicht hatten, kamen sie rasch zum Stillstand. Auch die Sprunghöhe war bei den kleinen Steinen viel geringer als bei den grossen (Median beim obersten Profil 2.4 m resp. 6.3 m für die gescannten Steine). Die Simulation von Szenario 3 mit gemischten Steinen zeigt im obersten Profil eine Sprunghöhe von 3.3 m bei den gescannten Steinen (Median; Abbildung 5c). Die Reichweite der gescannten Steine und der RAMMS-Standardsteine war vergleichbar. Jedoch zeigten die RAMMS-Standardsteine deutlich grössere Sprunghöhen (Median beim obersten Profil: 4.3 m; Abbildungen 5c und 5d). Mit einem um zwei Klassen weicherem Boden verringerte sich im Szenario 3 mit gescannten Steinen die Sprunghöhe auf 1.1 m im obersten Profil 1 (Abbildung 5e).

Steinschlagwunden an Bäumen

Insgesamt wurden 1550 Datensätze zu Steinschlagwunden an Bäumen erfasst. Während nahe der Ausbruchgebiete fast alle Bäume Steinschlagwunden aufwiesen, zeigten die Bäume im untersten Profil kaum solche. Im Profil 1 wurden bis zu 15 Wunden am Einzelbaum erkannt, und die Wunden lagen im Mittel 35% höher am Stamm (1.1 m) als in den restlichen Profilen (0.7 m; Abbildung 6a). Mehr als die Hälfte (53%) aller Wunden wurde als «alt» klassiert, d.h., die Wunden waren älter als 15 Jahre. In Profil 2 wurde eine Wunde an einem Lärchenstamm auf 90 Jahre geschätzt. Frische Wunden waren hauptsächlich in den beiden oberen Profilen zu finden (Abbildung 6b).

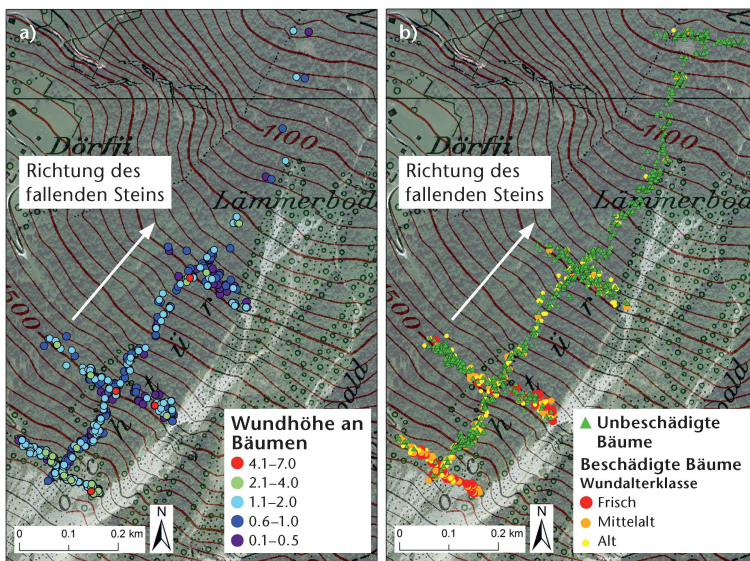


Abb 6 Mittlere Wundhöhe (a) und Wundalter nach Altersklassen (b) gemäss Felddatenerhebungen. Kartengrundlage: Swisstopo (JD100042)

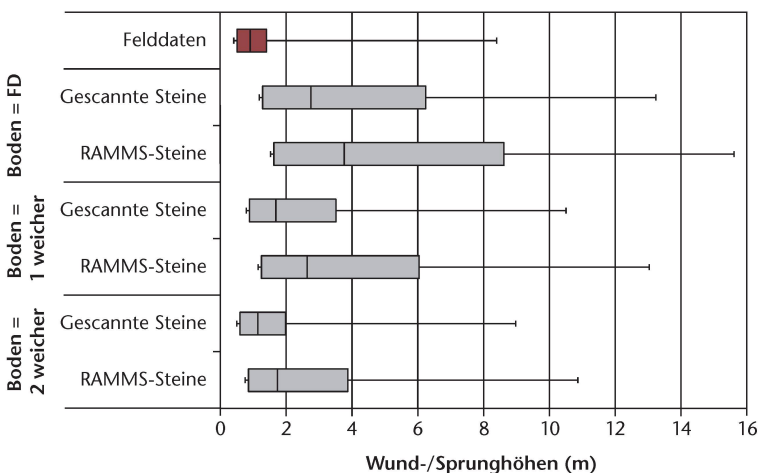


Abb 7 Vergleich der im Feld erfassten Wundhöhen an Bäumen («Felddaten») mit den für das Szenario 3 (gemischte Steine) simulierten Sprunghöhen mit gescannten Steinen und RAMMS-Standardsteinen sowie mit Veränderung der Bodenklassen (FD: Felddaten). Die Box stellt die mittleren 50% der Daten dar, wobei der senkrechte Strich in der Box den Median anzeigt.

Vergleich der Simulationsresultate mit den Felddaten

Der Vergleich der mit Szenario 3 simulierten Sprunghöhen mit den Höhen der Steinschlagwunden an Bäumen zeigt, dass mit RAMMS::Rockfall bessere Resultate erzielt wurden, wenn gescannte Steine statt RAMMS-Standardsteine verwendet wurden (Abbildung 7). Die simulierten Sprunghöhen stimmen mit den gemessenen Wundhöhen am besten überein, wenn zudem der Bodenparameter um zwei Klassen weicher eingestellt wurde als im Feld kartiert. Die Streuung der Daten (Box) wurde dadurch reduziert und der Median der Simulation wich nur noch um 0.23 m von demjenigen der Felddaten ab.

Ebenfalls ausgewertet und verglichen wurden die simulierten Auslaufdistancen mit den in den Profilen abgelagerten Steinen. Dabei waren im Szenario 3 keine klaren Trends bei einer Veränderung der Bodenklassen oder der verwendeten Steinform (gescannte Steine, RAMMS-Standardsteine) erkennbar.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Simulation mit kleinen Steinen (Szenario 1) führte zu viel kürzeren Auslaufdistancen als mit grossen (Szenario 2), was aufgrund der geringeren Energie der kleinen Steine plausibel erscheint. Deren Abbremsen beim Eintreten in den Wald, der sich im Untersuchungsgebiet auch immer durch eine weichere Bodenklasse auszeichnete, war abrupt. Die sehr unterschiedlichen Resultate bei der Simulation von kleinen und von grossen Steinen zeigen deutlich, dass für realistische Simulationen die Steingrößenverteilung den Beobachtungen im Feld entsprechen sollte.

Der – bei vergleichbarer Auslaufdistanz – deutliche Unterschied in den Sprunghöhen (37% tiefere Werte bei Szenario 3 mit gemischten Steinen) bei Verwendung der gescannten Steine statt der Standardsteine zeigt, dass die Steinform einen entscheidenden Einfluss auf die resultierenden Sprunghöhen hat. Diese Erkenntnis legt nahe, in RAMMS::Rockfall möglichst realitätsnahe Steinformen zu verwenden. In dieser Studie führten die Simulationen mit gescannten Steinen unterschiedlicher Grösse mit einem im Vergleich zur Kartierung um zwei Klassen weicher gewählten Boden zu Sprunghöhen, die den an Bäumen angetroffenen Wundhöhen am besten entsprachen. In Bezug auf die Bodenansprache resp. die Implementierung von Bodenparametern in RAMMS::Rockfall besteht somit noch Forschungs- und Entwicklungspotenzial.

Die Aufnahme der Steinschlagwunden an Bäumen entlang von Profilen erwies sich als eine einfach anwendbare Methode zur Erfassung der räumlichen Verteilung und der Sprunghöhen vergangener

Ereignisse. Zur Validierung der Simulationen sind die 1550 dokumentierten Baumaufnahmen ein wertvoller Datensatz. Es ist jedoch zu beachten, dass diese eine Annäherung an der Realität darstellen, weil nicht alle Steine sichtbare Wunden hinterlassen und Wunden zum Zeitpunkt der Aufnahme auch soweit verheilt sein können, dass sie nicht mehr erkannt werden können. Dadurch können etwa extreme Sprunghöhen in den aufgenommenen Wundhöhen nicht abgebildet sein. Im untersten Profil wurden nur wenige Wunden (4% der Bäume verwundet) und nur alte Wunden (älter als 15 Jahre) festgestellt. Dies zeigt, dass in der Vergangenheit nur wenige Steinschläge den untersten Hangbereich erreicht haben dürften. Der Wald hat dabei eine zentrale Rolle gespielt.

Der Ansatz, für die Simulationen eine Verteilung der Steinvolumen zu verwenden, die derjenigen der abgelagerten Steine entspricht, erwies sich mit den realistischsten Sprunghöhen und Auslaufdistancen als richtig. Die Datenmenge von 204 aufgenommenen Steinen reicht jedoch nicht aus, um eine tiefer gehende Validierung der simulierten Auslaufdistancen durchzuführen. Abgelagerte Steine im Feld aufzunehmen, ist eine Herausforderung. Der Einsatz von Drohnen bietet Potenzial zur Vereinfachung dieses Arbeitsschrittes.

Damit zusätzliche Erkenntnisse über das Verhalten unterschiedlicher Steinvolumen und -formen beim Kontakt mit dem Boden gewonnen werden können, sind vergleichbare Studien mit anderen Geländeeigenschaften (Hangneigung, Bodenklassen) notwendig. So kann auch die Definition der Bodenklassen weiter verbessert werden. Genaue Kenntnisse des Gebiets sind Voraussetzung, damit mit RAMMS::Rockfall plausible Resultate erzielt werden. Einerseits müssen die Eingangsparameter sorgfältig aufgenommen werden, andererseits können tatsächliche Steinschlagzeichen wie Wunden oder abgelagerte Steine als wertvolle Kenngrößen zur Überprüfung der Simulationsresultate herangezogen werden.

Ausblick

Eine neue, angepasste Version von RAMMS::Rockfall ist, basierend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit, in der Testphase. Diese macht den Kontaktreibungsterm (μ -min) der Bodenklassen von der Geschwindigkeit der Steine abhängig. Dadurch erfahren schnellere Steine während des Bodenkontakts – und nur während des Kontakts – eine grössere Reibung und verlieren dadurch mehr Energie. Weiter steuert μ -min die Eindringtiefe eines Steins in den Boden. Ein kleinerer μ -min-Wert hat einen kleineren Absprungwinkel und somit eine kleinere Sprunghöhe zur Folge. Die Anwendung dieser Erneue-

erung im Gebiet Meretschibach hatte markant bessere Resultate für die Sprunghöhe und die Auslaufdistanz zur Folge.

Das Vorgehen, mittels Steinschlagwunden die Steinschlagaktivität zu quantifizieren, kann gut auf andere Untersuchungsgebiete übertragen werden. Die Verfeinerung der Altersklasseneinteilung der Steinschlagwunden sowie die Aufnahme der Geosteincharakteristika mithilfe von Drohnen bieten weitere interessante Forschungsthemen. Ähnliche Analysen in Gebieten mit anderen Standortbedingungen können wertvolle Informationen für die Weiterentwicklung von Steinschlagsimulationsprogrammen liefern. Damit tragen sie direkt zu einem besseren Verständnis der Steinschlaggefahr und einer besseren Beurteilung des Steinschlagrisikos bei. ■

Eingereicht: 28. September 2016, akzeptiert (mit Review): 9. Januar 2017

Dank

Wir danken der Sektion Naturgefahren der Dienststelle für Wald und Landschaft des Kantons Wallis, den Gemeinden Leuk und Agarn sowie Forst Region Leuk für die wertvollen Lokalinformationen. Ausserdem sei den Mitarbeitern der WSL und des SLF herzlich für die fachliche Unterstützung gedankt.

Literatur

- BARTELT P, BIELER C, BÜHLER Y, CHRISTEN M, CHRISTEN M ET AL (2015) RAMMS. User Manual v1.6 Rockfall. Davos: WSL-Institut Schnee- Lawinenforschung. 102 p. http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_ROCK_Manual.pdf (28.12.2016).
- CHRISTEN M, GERBER W, GRAF C, BÜHLER Y, BARTELT P ET AL (2012) Numerische Simulation von gravitativen Naturgefahren mit RAMMS (Rapid Mass Movements). Z Wildbach-, Lawinen-, Erosions- Steinschlagschutz 76: 282–292.
- DORREN L, BERGER F, JONSSON M, KRAUTBLATTER M, MOELK M ET AL (2007) State of the art in rockfall-forest interactions. Schweiz Z Forstwes 158: 128–141. doi: 10.3188/szf.2007.0128
- GABUS J, WEIDMANN M, BUGNON P (2008) Atlas géologique de la Suisse, Feuille 1287, Sierre. Bern: Bundesamt Landestopografie.
- LAMBERT S, NICOT F, EDITORS (2011) Rockfall Engineering. London: ISTE. 435 p.
- LEINE R, SCHWEIZER A, CHRISTEN M, GLOVER J, BARTELT P ET AL (2014) Simulation of rockfall trajectories with consideration of rock shape. Multibody Syst Dyn 32: 241–271.
- MOYA J, COROMINAS J, ARCAS J (2010) Assessment of the rockfall frequency for hazard analysis at Solà d'Andorra (eastern Pyrenees). Adv Glob Chang Res 41: 161–175.
- SCAIONI M, AROSIO D, LONGONI L, PAPINI M, ZANZI L (2008) Integrated monitoring and assessment of rockfall. In: Proc Int Conf on Building Education and Research, 11–15 Feb 2008. Heritance Kandalama, Sri Lanka. pp. 618–629.
- STOFFEL M, PERRET S (2006) Reconstructing past rockfall activity with tree rings: some methodological considerations. Dendrochronologia 24: 1–15.

TEUFEN B (1973) Vorprojekt zur Verbauung und Aufforstung des Erosionsgebietes Bochtür, Gemeinde Leuk und Agarn. Brig: Fachstelle Naturgefahren Wallis.

TRAPPMANN D, STOFFEL M (2015) Visual dating of rockfall scars in *Larix decidua* trees. *Geomorphology* 245: 62–72.

VOLKWEIN A, SCHELLENBERGER K, LABIOUSE V, AGLIARDI F, BERGER F ET AL (2011) Rockfall characterisation and structural protection – a review. *Nat Haz Earth Syst Sci* 11: 2617–2651.

ZUMOFEN K (1990) Erosionsgebiet Bochtür Sanierung. Generelles Vorprojekt. Brig: Fachstelle Naturgefahren Wallis, Bericht 88249.

Lorsque les cicatrices sur les arbres contribuent au développement d'un modèle de chute de pierres

Dans les zones de montagne, les chutes de pierres représentent un risque naturel majeur. Étant donné que les blocs se meuvent à grande vitesse, de manière variable et que leur trajectoire est influencée par plusieurs facteurs, la représentation des processus de chute de pierres dans les modèles de simulation est complexe. Cet article présente les résultats d'essais effectués sur le versant du Meretschibach (canton du Valais) dans le cadre desquels la performance du modèle RAMMS::Rockfall a été validée grâce à l'étude des cicatrices laissées par les blocs sur les arbres et des dépôts de blocs dans le terrain. Des scénarios avec différents paramètres pour les blocs et types de sol ont été définis pour tester la sensibilité du modèle. Les blocs scannés dans le terrain, dont la forme et la répartition du volume étaient représentatives pour la région, représentaient les rebonds mieux que les blocs d'une même grandeur (petits et grands) ou les blocs standards de RAMMS qui étaient par leur forme et leur volume similaires aux blocs scannés. Les meilleures simulations ont été obtenues lorsque le sol a été classé deux catégories de dureté en dessous de celle selon la cartographie. Ainsi la différence entre la médiane de la hauteur de rebond simulée et la hauteur des cicatrices comportait encore 23 cm. Cette étude a permis d'améliorer le modèle RAMMS::Rockfall et son manuel. Elle démontre l'importance d'un relevé exact dans le terrain des paramètres d'entrée, afin d'obtenir des simulations réalistes pour les chutes de pierres.

When tree scars contribute to develop rockfall models

Rockfall is an often occurring natural hazard in mountainous areas. Because rocks proceed very quickly with different types of motion, and because their run-out path is influenced by several factors, the implementation of rockfall processes in numerical models is complex. This article presents the methods of visual scar identification on trees and of measuring rock deposits, to validate the accuracy of the RAMMS::Rockfall model within the active rockfall area of Meretschibach (Canton of Valais, Switzerland). Scenarios with different rock shapes and modified terrain parameters were applied to test the sensitivity of the model to these parameters. Using scans of natural rocks from the field site, which are representative in shape and volume resulted in more realistic modelled median jump heights compared to rocks of the same size (small or large), but also to standard RAMMS rocks which were quite similar in shape and volume to the scanned rocks. The best simulations resulted when the terrain type was defined as two classes softer than registered in terrain. In this case, the difference between the simulated median jump height and the height of the scars on trees was just 23 cm. These results led to improvements in the model and handbook. This study highlights the importance of precise field data to better specify input parameters for rockfall modelling.