

Vegetation und Naturgefahren



Totholz an der Zuflg unterhalb Oberlangenegg, BE. Foto: E. Gasser

Inhalt

Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen	3
Beurteilung der Wirkung biologischer Objektschutz-Massnahmen: Anwendungsbeispiel des Modells SOSlope	9
Projekt "Risikoreduktion Steinschlag": Welchen Einfluss hat der Schutzwald auf das Steinschlag-Risiko?	13
GIS-Modellierung des Schwemmholzpotentials in alpinen Einzugsgebieten	20
Soglie pluviometriche per le frane superficiali in Svizzera: definizione e valutazione	24
Retour d'expérience sur l'assainissement du Quartier des Roches à Vully-les-Lacs (VD) entre 2001 et 2015	28
Neue Fachinformationen und Hilfsmittel für den Gebäudeschutz vor Naturgefahren	33

Herausgeber / Editeur

FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz

Offizielle Adresse / Adresse officielle

Nils Hählen, Abteilung Naturgefahren
Schloss 2
3800 Interlaken
Tel. 031 633 12 01, E-Mail: nils.haehlen@vol.be.ch

**Sekretariat, Administration, Kurswesen /
Secrétariat, administration, cours**

FAN Sekretariat c/o geo 7, Ursula Stettler
Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern
Tel. 031 300 44 33
E-Mail: kontakt@fan-info.ch
Internet: <http://www.FAN-Info.ch>

**Redaktion FAN-Agenda /
Rédaction Agenda-FAN**

Jean-Jacques Thormann, HAFL, Zollikofen
Sonja Zraggen, Amt für Tiefbau, Kanton Uri
Alexandre Badoux, WSL, Birmensdorf
Martin Frei, MFrei Infra GmbH, Amriswil

**Meldungen, Beiträge und Anfragen FAN-Agenda an:
Informations, contributions et demandes à
l'adresse suivante:**

Jean-Jacques Thormann, Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissen-
schaften HAFL, Fachgruppe Gebirgswald & Naturgefahren
Länggasse 85, 3052 Zollikofen
Tel. 031 910 21 47, Fax 031 910 22 99,
E-Mail: jean-jacques.thormann@bfh.ch

Zielsetzung der FAN

Die Tätigkeit der FAN steht im Dienste der Walderhaltung und dem Schutz vor Naturgefahren. Sie widmet sich insbesondere dem Thema Weiterbildung bezüglich Lawinen-, Erosions-, Wildbach-, Hangrutsch- und Steinschlaggefahren. Die ganzheitliche, interdisziplinäre Beurteilung und Erfassung von gefährlichen Prozessen sowie die Möglichkeiten raumplanerischer und baulicher Massnahmen stehen im Zentrum.

Mitgliedschaft bei der FAN

Die Mitglieder der FAN sind Fachleute, welche sich mit Naturgefahren gemäss Zielsetzung der Arbeitsgruppe befassen. Total umfasst die FAN über 400 Mitglieder aus der ganzen Schweiz. Mitgliedschaftsanträge sind an den Präsidenten oder Sekretär zu richten. Die Mitgliedschaft in der FAN kostet Fr. 100.– / Jahr und steht allen Fachleuten aus dem Bereich Naturgefahren offen. Bedingung ist zudem, dass jeweils innerhalb von drei Jahren einmal vom Kursangebot Gebrauch gemacht wird.

Objectif de la FAN

La FAN est au service de la conservation des forêts et de la protection contre les dangers naturels. Elle se consacre en particulier au thème du perfectionnement dans le domaine des dangers que représentent les avalanches, l'érosion, les torrents, les glissements de terrain et les chutes de pierres. Elle met aussi l'accent sur deux aspects importants: des évaluations et des relevés globaux et interdisciplinaires des processus dangereux, et les mesures possibles en matière d'aménagement du territoire et de génie forestier.

Adhésion à la FAN

Les membres de la FAN sont des spécialistes qui s'occupent de dangers naturels conformément aux objectifs du groupe de travail. La FAN comprend au total plus de 400 membres, répartis dans toute la Suisse. Les demandes d'adhésion doivent être adressées au président ou au secrétaire. L'adhésion à la FAN coûte fr. 100.– / an. Elle est ouverte à tous les spécialistes des dangers naturels. Une seule condition imposée est de fréquenter tous les trois ans au moins l'un des cours proposé.

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser der FAN-Agenda

Zur Prävention von Naturgefahrenereignissen steht im integralen Risikomanagement eine breite Massnahmenpalette zur Verfügung. Biologische Massnahmen wie Schutzwald oder Hangbegrünungen sind für den Schutz vor Naturgefahren von grosser Bedeutung. Im Gegensatz zu technischen Schutzbauten sind sie aber an natürliche Abläufe gebunden, wirken oft multifunktional und stehen in Wechselwirkung mit unterschiedlichen Prozessen. Klassische Ingenieuransätze können für «grüne» Massnahmen deshalb nur beschränkt angewendet werden. Um deren Wirkung analog derjenigen von technischen Massnahmen eruieren zu können, sind Methoden nötig, welche auf die Eigenschaften natürlicher Systeme eingehen. In der vorliegenden Ausgabe der FAN Agenda werden einige Ansätze zur Beurteilung und Anwendung biologischer Massnahmen vorgestellt. Dabei werden unterschiedliche Herangehensweisen zur Beurteilung der Pflanzenwirkung, insbesondere von Wäldern, zum Schutz vor Naturgefahren am Beispiel von Rutschungen, Hangmuren und Steinschlag vorgestellt und mit umgesetzten Massnahmen aus der Praxis ergänzt. Ein weiterer Beitrag befasst sich mit dem Potenzial von Niederschlagsschwellenwerten für die Vorhersage von Rutschungen. Ein ganz anderer Aspekt des Waldeinflusses – nämlich das Schwemmholzpotenzial bei Hochwasserereignissen – wird im Artikel zur GIS-Modellierung der zu erwartenden Schwemmholzfracht in alpinen Einzugsgebieten behandelt.

Wo biologische und technische Massnahmen keine zielführende Risikominderung erreichen können, spielen Gebäudeschutzmassnahmen zur wirksamen Prävention von Elementarschäden eine Rolle. Im letzten Beitrag wird eine neue Informationsplattform vorgestellt, welche alle beteiligten Personen dabei unterstützt, die richtigen baulichen Massnahmen umzusetzen und das Schadenpotenzial damit zu reduzieren.

Nicht nur thematisch bietet die zweite Ausgabe der FAN-Agenda 2017 interessante Ein- und Ausblicke – dieses Mal dürfen Sie sich auf Artikel in drei der vier Landessprachen freuen!

Zum Jahresende wünschen wir Ihnen eine erholsame Zeit und viel Spass bei der Lektüre

Das Redaktionsteam

Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen

Christian Rickli¹ (christian.rickli@wsl.ch)
 Anil Yildiz^{1,2,3} (anil.yildiz@slf.ch)
 Peter Bebi² (bebi@slf.ch)
 Frank Graf² (graf@slf.ch)

¹ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

² WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

³ Institut für Geotechnik ETH, Zürich

Résumé

L'objectif du projet SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards) est de quantifier, de la façon la plus fiable possible, l'efficacité de la protection offerte par les plantes, et notamment les forêts, contre des glissements de terrain superficiels, ainsi que les effets concomitants des champignons symbiotiques (mycorrhizes). Des études dans des zones sinistrées par les intempéries, et des évaluations de données sur des glissements superficiels, ont démontré que l'on pouvait tabler sur un potentiel de protection maximal dans des forêts de bonne diversité aérienne et souterraine. Celle-ci est alors présente à plusieurs niveaux: mélange des essences, structures horizontale et verticale, structure d'âge, enracinement et architecture racinaire. Quant à la résistance au cisaillement direct, elle a été testée sur des échantillons de sols de grande dimension. Les résultats de ces essais montrent que les sols couverts de végétation ont une résistance nettement supérieure à ceux qui en sont dépourvus. Un procédé éliminatoire à trois niveaux a été développé. Il permet d'expliquer rétrospectivement une grande partie des glissements de terrain lors d'intempéries antérieures, et propose des moyens pour la prévision de probabilités de glissements futurs.

Zusammenfassung

Ziel des Projekts SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards) war es, die Wirkungen von Pflanzen und insbesondere von Wäldern zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen sowie

die begleitenden Effekte von Symbiosepilzen (Mykorrhiza) möglichst zuverlässig zu quantifizieren. Untersuchungen in Unwetterschadensgebieten und Auswertungen von Daten zu flachgründigen Rutschungen ergaben, dass das höchste Schutzpotenzial in Wäldern mit guter ober- und unterirdischer Vielfalt bezüglich der Baumartenmischung, der horizontalen, vertikalen und Alters-Struktur, sowie bezüglich der Durchwurzelung und Wurzelarchitektur erwartet werden kann. Direkt-Scherversuche an grossen Bodenproben hatten bei bewachsenen Böden deutlich höhere Scherfestigkeiten zum Ergebnis als bei unbewachsenen. Ein dreistufiges Ausscheidungsverfahren wurde entwickelt, mit dem ein grosser Anteil von Rutschungen früherer Ereignisse rückwirkend erklärt werden kann und das auch Möglichkeiten bietet im Rahmen einer Vorhersage von Rutschungswahrscheinlichkeiten.

Einleitung

Bei Unwetterereignissen verursachen Erosion und Rutschungen in der Schweiz immer wieder grosse Schäden. Der Schutz vor derartigen Gefahren und die Verbesserung der Vorhersage sind deshalb wichtige Anliegen. Von 2013 bis 2017 wurde das Projekt „Soil stability and natural hazards: from knowledge to action (SOSTANAH)“ bearbeitet, welches im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 68 finanziert war. Ziel war es, die Wirkungen von Pflanzen, insbesondere von Wäldern, auf die Hangstabilität möglichst zuverlässig zu quantifizieren. Dazu wurden Aspekte der Bodenmechanik, der Vegetation sowie der

Waldbewirtschaftung und Landnutzung berücksichtigt und der praxistauglichen Umsetzung der Resultate grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse von SOSTANAH und weiterer Untersuchungen dargestellt.

Vegetationswirkungen im Allgemeinen

Pflanzen üben sowohl als Individuen wie auch im Verbund der Vegetationsdecke entscheidende Funktionen aus und beeinflussen verschiedene Prozesse, welche sich positiv auf die Hangstabilität auswirken. Zu nennen sind dabei zum einen die Bodenentwässerung und Regulierung des Wasserhaushalts durch Interzeption und Evapo-Transpiration. Zum anderen werden durch Stoffwechselprodukte der Pflanzen Bodenaggregate gebildet und chemisch zementiert, was eine Verbesserung der Bodenstruktur bewirkt. Weiter findet aufgrund der Wurzelverstärkung (Armierung) auch eine mechanische Stabilisierung des Erdreiches statt. Mit dem Eintrag von organischem Material in den Boden treiben die Pflanzen schliesslich den Nährstoffkreislauf an und fördern die Sukzession und Artenvielfalt (Graf et al., 2017).

Wirkungen des Waldes

Sowohl die biologische Bodenstabilisierung als auch die hydrologischen Wirkungen des Waldes sind umso höher, je vollständiger und vielfältiger der Wurzel- und Kronenraum von unter- und oberirdischen Baumteilen durchdrungen wird. Die Bedeutung der Vielfalt für

die Bodenstabilität kommt vor allem dann zum Ausdruck, wenn der Wald als dynamisches Ökosystem betrachtet wird, nämlich als Lebensraum, der sich ständig weiterentwickelt und seinerseits von natürlichen oder anthropogenen Störungen immer wieder verändert wird. In einer Momentaufnahme wirkt ein Wald mit einer hohen Stammzahl und möglichst grosser Vielfalt bezüglich Baumarten, Vertikalstruktur und Wurzeltypen besonders stabilisierend. In höher gelegenen Schutzwäldern sollten jedoch die Bäume nicht zu dicht stehen, da sonst die Verjüngung in Frage gestellt ist. Aber wie gross dürfen Waldlücken sein, damit Waldverjüngung noch möglich ist, jedoch keine flachgründigen Rutschungen auftreten? In St. Antönien wurde im Rahmen von Studentenarbeiten dieser Frage nachgegangen (Mattli 2014, Moos 2014). Dabei wurden Informationen zur Waldstruktur und anderen möglichen Einflussfaktoren auf ehemaligen Rutschungsflächen erhoben und mit entsprechenden Daten aus Kontrollflächen verglichen, welche vergleichbare Bedingungen bezüglich Bestandesdichte (Kronendeckungsgrad) und Hangneigung aufwiesen (Abb. 1).

Es hat sich gezeigt, dass Rutschungen vor allem in Waldlücken mit einer Länge von über 20 m in der Falllinie ausgelöst wurden. Die Breite von Waldlücken spielte eine untergeordnete Rolle (Abb. 2). Dieses Resultat ist insofern plausibel, als die Wurzelverstärkung in Hangfalllinie mit zunehmender Distanz von Bäumen stärker abnimmt als parallel zum Hang, und da auch die Wasserflüsse im Boden vorwiegend in Hangrichtung erfolgen. Die Erhebung der Durchwurzelung in unterschiedlichen Distanzen zu Bäumen in den gleichen Waldbeständen ergab, dass die Verhinderung von Rutschungen mindestens teilweise mit dem Grad der Wurzelverstärkung erklärt werden kann. Die berechneten Werte für Wurzelverstärkung wurden mit zunehmender Distanz von Bäumen kleiner und waren in den Rutschflächen



Abbildung 1: Beispiel einer flachgründigen Rutschung in einer Waldlücke (Unwetter vom 22. August 2005 in St. Antönien).

kleiner als in den nicht gerutschten Kontrollflächen (Mattli 2014, Moos et al. 2016).

Die Resultate der Fallstudie St. Antönien zur Waldwirkung dürfen jedoch nicht verallgemeinert werden. Ähnliche Untersuchungen in Rutschflächen von 1997 in Sachseln deuten darauf hin, dass dort auch Störungen einen grossen Einfluss hatten. Denn die Rutschungen in Sachseln erfolgten namentlich in Be-

ständen, die vorgängig bereits durch Windwurf (1970 und 1990) und/oder nachfolgende Borkenkäferkalamitäten beeinträchtigt waren (Rickli 2001, Moos 2014). Nach solchen Störungen muss aufgrund des Absterbens der Restdurchwurzelung mit erhöhter Rutschungsgefährdung gerechnet werden bis die nachwachsende Baumgeneration die Schutzfunktion wieder übernehmen kann (Bebi et al.

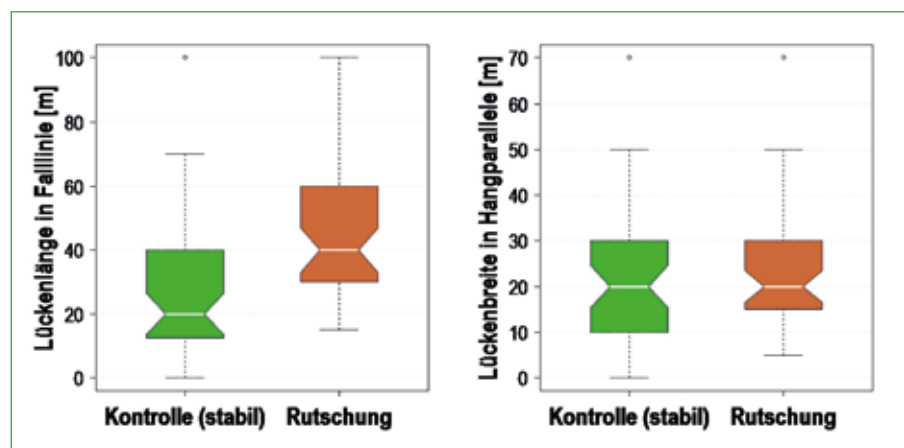


Abbildung 2: Verteilung von Lückenlängen (links) und Lückenbreiten (rechts) der jeweils grössten Lücken in Waldflächen von St. Antönien, die stabil waren (grün) sowie in den entsprechend instabilen Rutschungsflächen (braun). Der Unterschied für die Lückenlänge ist signifikant, für die Lückenbreite jedoch nicht.

2015). Deshalb ist eine fortwährende Förderung von Verjüngungsansätzen bereits unter dem Schirm des Altbestandes, respektive in der subalpinen Stufe auch in eigens dafür geschaffenen Bestandesöffnungen, äusserst wichtig.

Mit waldbaulichen Eingriffen kann die Vielfalt und die Struktur eines Waldes und damit auch dessen Anfälligkeit gegenüber flachgründigen Rutschungen wesentlich beeinflusst werden (Bebi et al. 2013, 2016). Solche Eingriffe sollten jedoch keine Lücken hinterlassen, die in der Falllinie länger als ca. 20-30 m sind. Dies steht in Einklang mit den Vorgaben der NaiS-Profilen für Rutschungen, Lawinen und Steinerschlag (NaiS: Nachhaltigkeit im Schutzwald, BAFU, Frehner et al. 2005).

Bodenmechanische Untersuchungen

Die positiven Effekte der Vegetation auf die Hangstabilität konnten bereits in frühen Arbeiten nachgewiesen werden, und zwar im Rahmen von triaxialen Scherversuchen mit Moränenmaterial aus dem Rutschungsgebiet Hexenrubi (Dallenwil), das auch für die weiter unten beschriebenen Direkt-Scherversuche verwendet wurde. Bepflanzt mit Grauerle, ergab die Berechnung der Scherparameter im Vergleich zu unbepflanzten Kontrollen eine mittlere Erhöhung des Reibungswinkels Φ' von 5° ($\Phi'_{\text{unbepflanzt}} = 34.3^\circ$; $\Phi'_{\text{bepflanzt}} = 39.4^\circ$) ohne Kohäsion ($\Delta c' = 0$). Ein bepflanzter Hang auf Moräne wäre also auch bei 5° steilerer Neigung als es das reine Bodenmaterial aus geotechnischer Sicht zulässt noch stabil (Graf et al. 2009).

In SOSTANAH wurde im Hinblick auf eine angemessene und realitätsnahe Quantifizierung der Wurzelwirkungen auf die Bodenstabilität eigens ein neigbarer Direkt-Scherapparat für grosse Proben von bis zu $50 \times 50 \times 40$ cm entwickelt (Abb. 3). Damit war es möglich, die Vorteile von herkömmlichen Feld- und Labor-

methoden optimal zu kombinieren: gut kontrollierbare und beliebig oft wiederholbare Versuche sowie grosse Proben, welche die Natur angemessen repräsentieren.

Mit dieser Einrichtung wurden zahlreiche Direkt-Scherversuche durchgeführt (Yildiz et al. 2015), und zwar mit:

- zwei Bodenmaterialien mit $D_{\text{max}} < 20$ mm; der Feinanteil < 0.074 mm beträgt beim Material „Hexenrubi“ 11% und beim Material „Prättigau“ 40%
- zwei Pflanzenkombinationen: „niedrig“ mit Weisserle, Rotklee, Wiesen-Rispengras; „hoch“ mit zusätzlich Nebenblättrige Weide, Gemeine Schafgarbe und Gemeiner Wundklee
- mit/ohne Mykorrhizapilzen
- je drei Normalspannungen pro Pflanzen-Bodenkombination: 6, 11 und 16 kPa

Der positive Effekt von Pflanzen und Mykorrhizapilzen auf die Boden- und Hangstabilität konnte mit diesen Versuchen bestätigt werden. Je stärker durchwurzelt das Bodenmate-

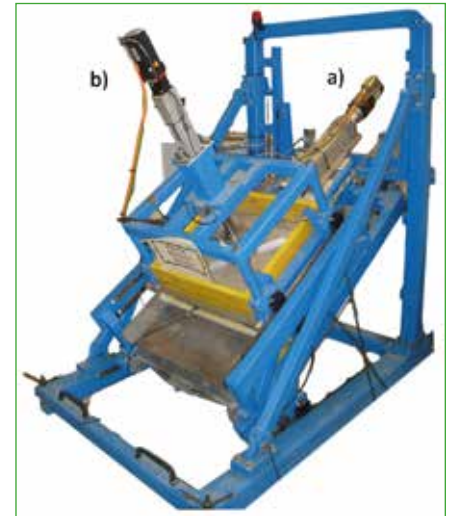


Abbildung 3: Bis zu 45° neigbarer Direkt-Scherapparat für grosse Proben von $50 \times 50 \times 40$ cm mit Linear-Antrieben zum Aufbringen der Scher- (a) und Normalkraft (b).

rial war, desto fester war der Boden und desto höher auch die Hangstabilität. Boden einer Rutschfläche, welcher bepflanzt und inokuliert wurde, zeigte nach 6 Monaten Wachstum im Direkt-Scherversuch gegenüber unbepflanztem Boden eine erhöhte Scherfestigkeit – im Mittel ca. 6 kPa (Wurzel-Wirkung: $c_{Rr} = 6.05 \pm 3.8$ kPa, Abb. 4 und 5a).

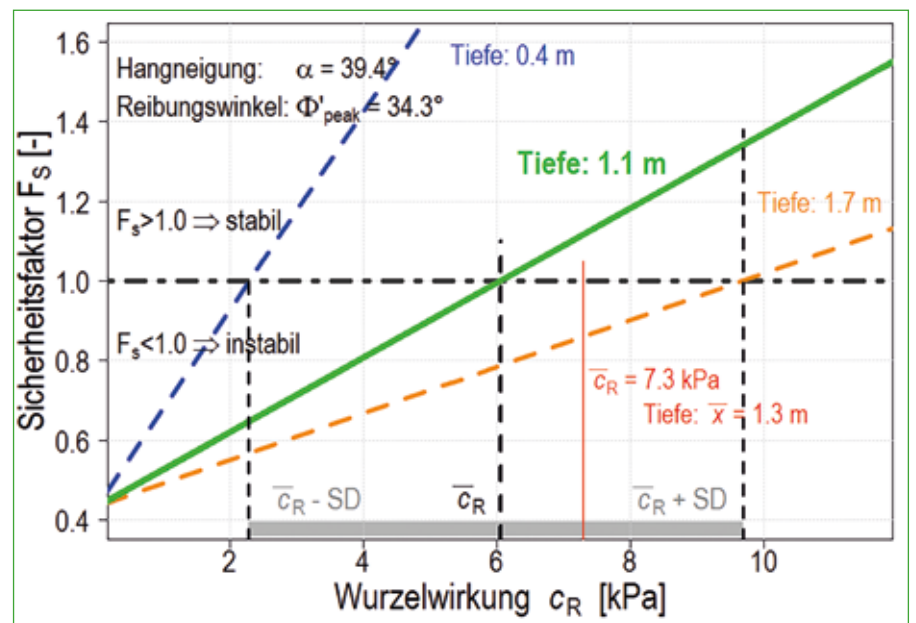


Abbildung 4: Sicherheitsberechnungen für einen um 5° steileren Hang (a) als der kritische Reibungswinkel ($\Phi' = 34.3^\circ$ aus den triaxialen Scherversuchen) mit unterschiedlicher Wurzelwirkung (Mittelwert $[c_{Rr}] \pm$ Standardabweichung $[SD]$) unter Berücksichtigung der Tiefe der Gleitschicht. Berechnungen nach dem Verfahren für Grenzgleichgewicht einer unendlich langen Böschung mit hangparalleler Sickerströmung. Mit einer Wurzelwirkung von 7.3 kPa erreicht man einen Sicherheitsfaktor von 1 in einer Tiefe von $\bar{x} = 1.3$ m, was dem Mittelwert der Gleitschichttiefe von über 200 analysierten Waldrutschungen entspricht.

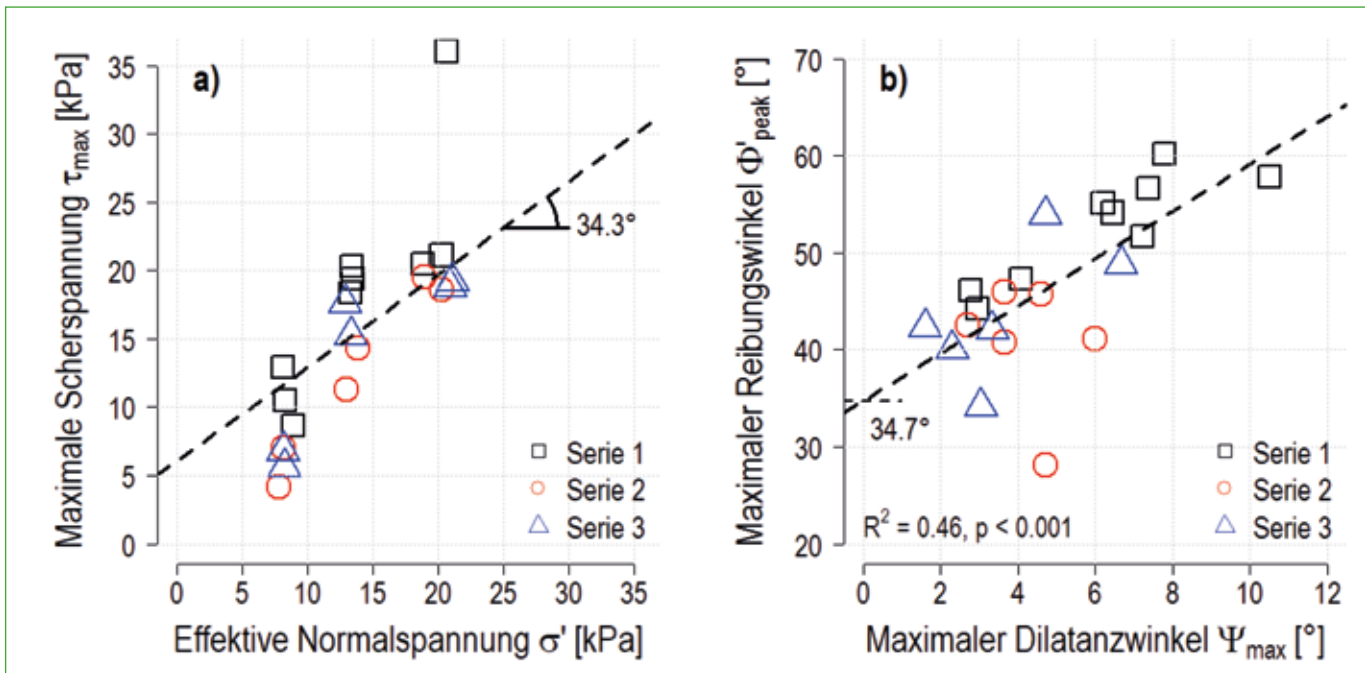


Abbildung 5: a) Beziehung zwischen maximaler Scherspannung (τ_{max}) und effektiver Normalspannung (σ') mit einer Regressionsgeraden unter Verwendung des fixen Reibungswinkels $\Phi' = 34.3^\circ$. Die Daten stammen aus drei verschiedenen Versuchsserien (Yildiz et al. 2015), welche sich bezüglich Anzahl Pflanzenarten und Wachstumsdauer unterscheiden: Serie 1 (3 Arten, 6 Monate), Serie 2 (6 Arten, 6 Monate), Serie 3 (6 Arten, 12 Monate).
 b) Regressionsanalyse mit signifikanter und positiver Korrelation zwischen maximalem Reibungswinkel Φ'_{peak} und maximalem Dilatanzwinkel Ψ_{max} mit $\Phi'_{peak} = 34.7^\circ$ für $\Psi_{max} = 0^\circ$ (Yildiz et al. 2017, eingereicht).

Die Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass es nicht ausreichend ist, wie bis anhin nur den Reibungswinkel und die Kohäsion zu berücksichtigen. Um die biologischen Stabilisierungseffekte generell und im speziellen jene durch die Wurzeln induzierten angemessen zu quantifizieren, hat sich die Dilatanz (Ψ) als weitere entscheidende Grösse erwiesen (Yildiz et al. 2017, eingereicht). Dilatanz bezeichnet die Eigenschaft eines Bodenmaterials, sein Volumen unter Einwirkung von Scherkräften durch Auflockerung zu vergrössern. Es zeigt sich, dass je höher der Dilatanzwinkel ist, desto höher wird der maximale Reibungswinkel und desto höher die mobilisierten Wurzel-Zugkräfte. Entsprechend kann erwartet werden, dass Dilatanz nicht nur einen direkten Effekt auf den maximalen Reibungswinkel hat, sondern diesen auch indirekt beeinflusst, da auch die Wurzelwirkung beeinflusst wird,

wenn die Wurzeln auf Zug belastet werden. Die Regressionsanalyse mit den maximalen Scherspannungen der Direkt-Scherversuche und dem Reibungswinkel $\Phi' = 34.3^\circ$ (Steigung der Geraden), welcher von den triaxialen Scherversuchen übernommen und auch für die Sicherheitsberechnung in Abbildung 4 verwendet wurde, ergibt für den Stabilisierungsbeitrag der Wurzeln einen Wert von 6.05 kPa (Intercept der Geraden in Abb. 5a). Abbildung 5b zeigt, dass der maximale Reibungswinkel Φ'_{peak} positiv und signifikant mit dem maximalen Dilatanzwinkel Ψ_{max} korreliert ist. Dies gilt sowohl für das reine als auch für das von Wurzeln durchwachsene Bodenmaterial. Das bedeutet, dass bei einer Dilatanz von $\Psi = 0^\circ$ der Reibungswinkel Φ' (34.7°) mit dem Reibungswinkel aus den triaxialen Scherversuchen ($\Phi' = 34.3^\circ$) sehr gut übereinstimmt. Weitergehende statistische Analysen bekräf-

tigten, dass die Dilatanz bei Auswertungen von Scherparametern bewurzelter Bodenproben zu berücksichtigen ist.

Analyse von Rutschungsdaten mit einem 3-Stufen-Filter

In den letzten Jahren entwickelte die WSL in Zusammenarbeit mit dem BAFU eine Datenbank zu flachgründigen Rutschungen und Hangmuren (Rickli et al. 2016). Auf einen Teil der Daten wurde ein dreistufiges Ausscheidungsverfahren (3-Stufen-Filter) angewendet. Der seriell angewendete Filter (Abb. 6, Graf & Grunder 2017) berücksichtigt Aspekte der Bodenmechanik (Scherparameter, Hangneigung), Vegetation (Kriterien für optimalen Schutz vor flachgründigen Rutschungen nach NaiS in Frehner et al. 2005 sowie Erkenntnisse nach Rickli et al. 2002 und Moos et al. 2016) und Topographie (Geländeformen nach

Rickli et al. 2008).

Die Anwendung des Filters ergab: mit dem bodenmechanischen Kriterium konnten nahezu 50%, mit jenem der Vegetation weitere 40% und mit der Topographie zusätzlich 7% der Ereignisse, d.h. insgesamt 212 von 218 Rutschungen erklärt werden (Abb. 6). Gut strukturierte Wälder halten demnach bis zu 5° steilere Hänge standfest als es aus bodenmechanischer Sicht für das reine Bodenmaterial zu erwarten ist. Solche Wälder sind möglichst reich an Arten und Wurzelstruktur, zu mehr als 60% bedeckt (Baumschicht $\geq 40\%$) und gut abgestuft bezüglich Baumhöhe und -alter. Diese Kriterien waren bei den untersuchten Ereignissen bezüglich Vegetation in ~40% der Fälle nicht erfüllt.

Damit diese Methode für eine Vorhersage der Rutschungswahrscheinlichkeit angewendet werden kann, sind für fragliche Gebiete neben einer Waldzustandsbeurteilung auch Informationen zum Scherwinkel des Bodenmaterials nötig. Im Verlauf von SOSTANAH wurde für das Fallbeispiel Sachseln mit einem statistischen Verfahren ein Wert für einen sogenannten „verstärkten“ Reibungswinkel hergeleitet. Dieser Wert entspricht einem Reibungswinkel für Böden, auf welchen hinsichtlich flachgründigen Rutschungen optimal aufgebaute Waldbestände stocken (Graf & Grunder 2017, Graf et al., 2017). Im Rahmen künftiger Arbeiten soll dieses Verfahren für andere Gebiete überprüft und weiterentwickelt werden, damit die Auswirkungen von Veränderungen der Waldstruktur auf die Anfälligkeit für flachgründige Rutschungen besser beurteilt werden können.

Folgerungen

Im Rahmen von SOSTANAH konnten zahlreiche Erkenntnisse zu Pflanzenwirkungen in Bezug auf flachgründige Rutschungen gewonnen werden. Dazu gehören unter anderem die grosse Bedeutung des Waldzustandes (Alters-

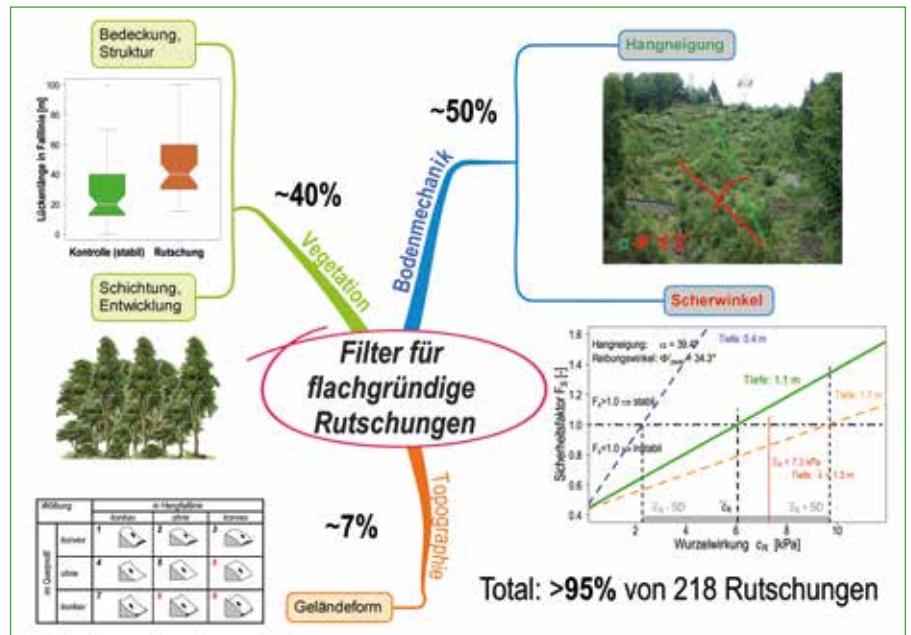


Abbildung 6: Erklärungspotential des 3-Stufen-Filters zur Analyse flachgründiger Rutschungen mit den Kriterien Bodenmechanik, Vegetation und Topographie. Die Kriterien des seriell verwendeten Filters sind 1) Bodenmechanik: Hangneigung α nicht mehr als 5° steiler als der Reibungswinkel Φ' 2) Vegetation (Wald):

- mehrschichtige Bestände; gute Abstufung von Baumhöhe und -alter
- Gesamt-Deckungsgrad > 60% (Baumschicht > 40%)
- Nadelholzanteil < 80%
- möglichst artenreiche Bestände in Entwicklungsstufen Stangen- oder Baumholz

3) Topographie:
Geländeform (Falllinien-Horizontal-Profil) ist nicht konvex-flach, flach-konkav oder konvex-konkav

und Artenmischung, Struktur, Lückengrösse) und damit auch die Wichtigkeit von Pflegemassnahmen in Schutzwäldern. Mit bodenmechanischen Untersuchungen an bepflanzen Bodenproben mit dem eigens entwickelten Scherapparat liess sich nachweisen, dass die Vegetation einen erheblichen Beitrag zur Bodenstabilität leistet. Durch die Auswertung von Rutschungsdaten konnten schliesslich Hinweise auf die Bedeutung verschiedener Kriterien auf die Hangstabilität gewonnen und neue Grundlagen für ein Verfahren für die Prognose der Stabilität erarbeitet werden.

Referenzen

Bebi, P., Krumm, F., Brändli, U.B., Zingg, A., 2013. Dynamik dichter, gleichförmiger Gebirgsfichtenwälder. Schweiz. Z. Forstwes. 164: 37–46.

Bebi, P., Putallaz, J.M., Fankhauser, M., Schmid, U., Schwitter, R., Gerber, W., 2015: Die Schutzfunktion in Windwurfflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 166: 168–176.

Bebi, P., Seidl, R., Motta, R., Fuhr, M., Firm, F., Krumm, F., Conedera, M., Ginzler, C., Wohlgemuth, T., Kulakowski, D., 2016. Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. Forest Ecology and Management, 388, 43-56.

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

- Graf, F., Frei, M., Böll, A., 2009. Effects of vegetation on the angle of internal friction of a moraine. *FOSNOLA* 82: 61-78.
- Graf, F., Bebi, P., Braschler, U., De Cesare, G., Frei, M., Greminger, P., Grunder, K., Hählen, N., Rickli, C., Rixen, C., Sandri, A., Springman, M.S., Thorman, J.-J., von Albertini, N., Yildiz, A., 2017. Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen. *WSL Ber.* 56: 42 S.
- Graf, F., Grunder, K., 2017. Shallow landslides: lessons from Sachseln 1997. *EGU General Assembly 2017. Geophys. Res. Abstr.* 19, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-2719>, pdf: http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/poster_egu17_graf_grunder.pdf
- Mattli, J., 2014. Quantifizierung der Wurzelverstärkung im Schutzwald, Bachelor Thesis. University of Applied Sciences, Berne, 79 S.
- Moos, C., 2014. How Does Forest Structure Affect Landslide Susceptibility? *Statistical Prediction Models for Shallow Landslides Integrating Forest Structure*, Master Thesis. ETH Zurich, 97 pp.
- Moos, C., Bebi, P., Graf, F., Mattli, J., Rickli, C., Schwarz, M., 2016. How does forest structure affect root reinforcement and susceptibility to shallow landslides? *Earth Surface Processes and Landforms*, 41, 951-960.
- Rickli, C. (Red.), 2001. Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.
- Rickli, C., Zürcher, K., Frey, W., Lüscher, P., 2002. Wirkungen des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153, 11: 437-445.
- Rickli, C., Raetzo, H., McArdeell, B., Presler, J., 2008. Hanginstabilitäten. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) *Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen*. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 97-116.
- Rickli, C., McArdeell, B., Badoux, A., Loup, B., 2016: Database shallow landslides and hillslope debris flows. [Abstract] In: Koboltschnig, G. (ed) *13th Congress Interpraevent 2016*. 30 May to 2 June 2016, Lucerne, Switzerland. Extended Abstracts. *Living with natural risks*. Luzern, International Research Society Interpraevent. 242-243.
- Yildiz, A., Askarinejad, A., Graf, F., Rickli, C., Springman, S.M., 2015. Effects of roots and mycorrhizal fungi on the stability of slopes. *Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*, Edinburgh, 1693-1698.
- Yildiz, A., Graf, F., Rickli, C., Springman, S.M., 2017: Determination of the shearing behaviour of root-permeated soils with a large-scale direct shear apparatus. *Catena* (submitted).

Beurteilung der Wirkung biologischer Objektschutz-Massnahmen: Anwendungsbeispiel des Modells SOSlope

Massimiliano Schwarz^{1,2} (massimiliano.schwarz@bfh.ch)
 Denis Cohen^{2,3} (denis.cohen@gmail.com)
 Klaus Louis⁴ (info@louis-weggis.ch)

¹ Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen

² EcorisQ, International Association for natural hazard risk management, ecorisq.org

³ COSCI LCC, Lemitar, USA

⁴ Louis Ingenieurgeologie GmbH, Weggis

Résumé

L'évaluation des mesures biologiques pour la prévention des risques liés aux dangers naturels est souvent difficile à comprendre. Par conséquent, des méthodes quantitatives sont nécessaires pour tenir compte des effets de ces mesures au niveau des analyses des risques. Dans cet article, un nouveau modèle de stabilité des pentes (SOSlope) est utilisé pour tester l'effet d'une mesure biologique de protection d'objet. Les résultats montrent comment et dans quelle mesure le renforcement racinaire des arbres peut réduire la probabilité des coulées boueuses. Le modèle SOSlope est en constante évolution pour permettre une application aussi large que possible afin de prendre en compte les différentes essences d'arbres et conditions de sol.

Zusammenfassung

Die Beurteilung von biologischen Massnahmen zur Prävention von Naturgefahren-Risiken ist oft schwer nachvollziehbar; deswegen sind quantitativen Methoden gefragt, um die Wirkung dieser Massnahmen in risikobasierenden Analysen zu berücksichtigen. In vorliegendem Artikel wird ein neues Hangstabilitätsmodell verwendet (SOSlope), um die Wirkung einer biologischen Objektschutz-Massnahme zu prüfen. Die Resultate zeigen, wie und in welchem Ausmass die Wurzelverstärkung der Bäume die Eintretenswahrscheinlichkeit von Hangmuren reduzieren kann. Das Modell SOSlope wird für eine möglichst breite Anwen-

dung in der Praxis laufend weiterentwickelt, damit verschiedene Baumarten und Bodenbedingungen berücksichtigt werden können.

Einleitung

Das Bauernhaus Tannen (Morschach SZ) wurde 1341 erbaut und zählt zu den ältesten Holzhäusern Europas. Im Jahr 2015 begann die Stiftung „Ferien im Baudenkmal“ mit der Planung von Sanierung und Umbau des Gebäudes. Gemäss der Gefahrenkarte befindet sich das Haus am südöstlichen Rand eines kleinflächigen Gefahrenbereiches mit mittlerer Gefährdung durch Hangmurenprozesse (HM5) (Abb. 1). Im gesamten Perimeter zwischen Morschach und Länggasse wurden „Hänge mit Moränenbedeckung“ pauschal als potentielle Gefahrenquelle für Hangmuren ausgeschieden (Louis Ingenieurgeologie GmbH und Ingenieure Bart AG, 2012). Bei dieser Gefahrenquelle ist eine Prozessaus-

lösung von Hangmuren generell ab einem kritischen Hangneigungswinkel von ca. 31° möglich; eine erhöhte Disposition für Prozessauslösungen besteht bei Hangneigungen von 33-38°. In diesem Bereich der „mittleren Gefährdung“ sind Baubewilligungen an gewisse Auflagen zum Schutz der Bewohner geknüpft. Die Morphologie des Hanges in Tannen weist auf mögliche vergangene Ereignisse hin. Doch obwohl das Haus seit mehr als 675 Jahren steht, ist es schwierig abzuschätzen, ob es schon von kleineren Ereignissen betroffen war oder sogar teilweise repariert wurde. Zusätzlich lässt sich nicht mehr beurteilen, wie sich die Landnutzung mit den Jahren geändert hat und wie gross der Einfluss dieses Faktors auf die Disposition von Hangmuren ist (der Flurname „Tannen“ deutet darauf hin, dass der Hang früher einmal bewaldet war). Die Planung einer Objektschutzmassnahme war nötig, um das Umbauprojekt genehmigen



Abbildung 1: Ausschnitt aus der Prozess-Gefahrenkarte Spontanrutschung / Hangmure und Bild des Hauses Tannen. Rot markiert ist die Lage des Hauses am südöstlichen Rand des blauen Gefahrenbereiches (Louis Ingenieurgeologie GmbH und Ingenieure Bart AG, 2012). Bildquelle: www.gataric-fotografie.ch.

zu können. Das Haus Tannen ist ein kleines und relativ leichtes Holzhaus, das ohne starke Verbindung / Verzahnung auf unvermörtelten Trockensteinmauern steht. Es vermag daher grundsätzlich keine grossen seitlichen Belastungen aufzunehmen. Aufgrund der speziellen Baukonstruktion muss eine Objektschutzmassnahme so ausgelegt sein, dass sie den direkten Aufprall einer Hangmure an die Gebäuderückwand verhindert. In einer ersten Phase wurde vorgeschlagen, eine Winkelstützmauer entlang der Gebäuderückseite oder ein Hangmuren-Schutznetz oberhalb des Hauses zu erstellen. Diese Massnahmen wurden vor allem aufgrund der negativen ästhetischen Auswirkung auf das Landschaftsbild abgelehnt. Auch von Drainagemassnahmen wurde aufgrund grosser Unsicherheiten der Wirkung auf die Stabilität des Hanges abgesehen. Als weitere Option wurde eine Aufforstung des Hanges vorgeschlagen, wobei diese mit dem Landbesitzer zu diskutieren war. Schliesslich einigte man sich auf den Kompromiss, einzelne Obstbäume zu pflanzen. Zu diesem Zeitpunkt stand die Frage offen, wie gut diese Massnahme den Hang stabilisieren und ob diese Lösung überhaupt ausreichenden Schutz gewähren würde.

In vorliegendem Artikel werden die Resultate der Anwendung des Hangstabilitätsmodells SOSlope präsentiert, welches die Kräfte im Boden während unterschiedlicher Niederschlagsereignisse simuliert und die mechanische Wirkung der Wurzelverstärkung einer biologischen Massnahme berücksichtigen kann.

Das Modell SOSlope

Das SOSlope Model („Self Organized Slope“, www.ecorisq.org) ist ein Diskrete-Elemente-Modell, welches Verformungen und Kräfte in Rutschhängen simuliert. Die Haupt-Charakteristika dieses Modells sind: die Berechnung von ungesättigter Hydrologie und Bodenme-

chanik (Cohen und Schwarz, 2017), die Berücksichtigung der passiven Erddruckkräfte (Schwarz et al., 2015) sowie der räumlichen Verteilung von basaler und lateraler Wurzelverstärkung (Schwarz et al., 2012). Die Anwendung von SOSlope erfordert folgende Arbeitsschritte:

1. Ausscheidung der Einzugsgebiete, welche potentiell die hydrologischen Bedingungen des Hanges beeinflussen können.
2. Berechnung des „TWI“ („topographic wetness index“) der Einzugsgebiete.
3. Erstellung eines Höhenmodells (DHM) des Hanges.
4. Bestimmung des Niederschlagsereignisses für eine bestimmte Eintretenswahrscheinlichkeit (Intensität und Dauer).
5. Schätzung der bodenmechanischen Eigenschaften (effektive Scherwinkel und Kohäsion des Bodens).
6. Wenn Vegetation vorhanden ist, kann man ein sogenanntes „treefile“ als input-Datensatz erstellen, der die Positionen (x, y) und die Dimensionen (BHD) der Bäu-

me definiert. In der aktuellen Version von SOSlope kann zwischen vier Baumarten unterschieden werden: Fichte, Tanne, Buche und Edelkastanie.

Als Resultate der Berechnung mit SOSlope werden folgende Daten in Form von .asc-Files gespeichert: 1) mögliche Tiefe der Gleitfläche der Rutschungen, 2) Verformungen des Bodens und 3) Position und Volumen der Rutschungen.

Gefahrenbeurteilung und Vorschlag für eine biologische Massnahme

In der Fallstudie von Tannen wurde das Lockermaterial in einem Sondierschacht an der potentiellen Gleithorizontfläche als siltiger Kies klassiert (GM-GL), mit einem Reibungswinkel von 35° , einer Kohäsion von 0.5 kPa und einer Bodendichte von 1.7 t/m^3 . Nach dem Prinzip der Partialsicherheitsfaktoren wurden die Koeffizienten 1.2 für den Tangens des drainierten Reibungswinkels und 1.5 für die drainierte Kohäsion verwendet. Für die Wurzelverstärkung

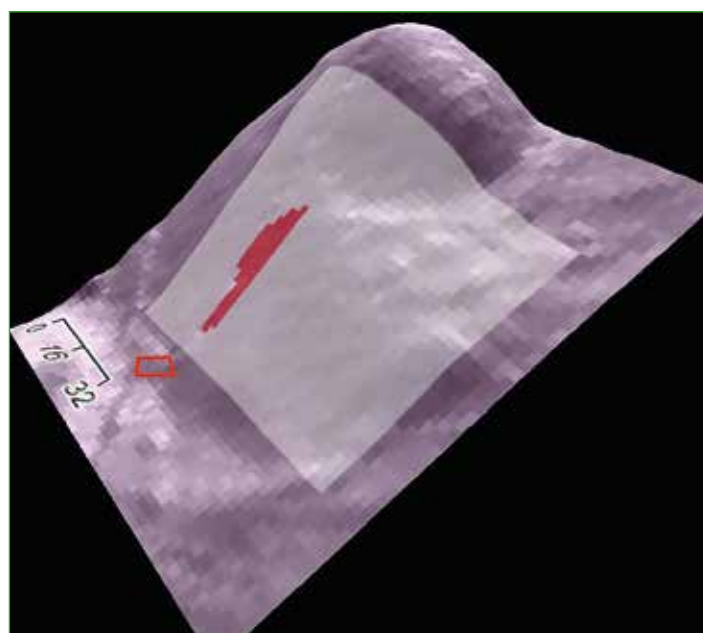


Abbildung 2: Ergebnis der SOSlope-Simulation für ein extremes Niederschlagsereignis. Die rote Fläche entspricht der ausgelösten Rutschfläche. Das rote Viereck stellt den Grundriss des Hauses Tannen dar (Quelle: M. Schwarz).

wurde die Weibull-Überlebensfunktion benutzt, um die Partialsicherheit dieses Faktors zu berücksichtigen (Schwarz et al., 2013). Als Niederschlagsereignisse wurden verschiedene Szenarien getestet: Lediglich bei der Simulation eines Ereignisses mit einer Niederschlagsintensität von 120 mm innerhalb einer Stunde wurde der Hang instabil; dies entspricht ungefähr einem seltenen Ereignis mit einer 100-300 jährlichen Wiederkehrdauer. Bei den Simulationen mit geringeren Niederschlagsintensitäten resultierten zwar Verformungen, jedoch noch keine Rutschauslösung und die gesamte Stabilität des Hanges ergab sich durch die Aktivierung der passiven Erddruckkräfte.

Abbildung 2 zeigt die Position und Dimension der einzigen Rutschung, welche sich bei einem sehr seltenen Ereignis ergeben könnte. Die simulierte Rutschung hat ein Volumen von 140 m³, eine Breite von 8 m, eine Länge von 28 m und eine Mächtigkeit von 1.0 bis 1.5 m. Auf Basis der Simulationsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass das Ereignis mit einer Mächtigkeit M von ca. 1 m eine mittlere Intensität und eine geringe Wahrscheinlichkeit hat (Wiederkehrperiode 100-300J). Gemäss Gefahrenstufendiagramm kann der Bereich als HM4 eingestuft werden, womit die blaue Gefahrenstufen aufgrund der Landnutzung und Position des Hauses also bestätigt werden kann.



Abbildung 3: Plansituation der Position der gepflanzten Bäume (grüne Punkte), welche als biologische Objektschutzmassnahme geplant sind. Das rote Viereck zeigt die Position des Hauses Tannen (Quelle: swisstopo, eigene Darstellung).

Als mögliche biologische Massnahmen wurde eine minimale Variante im Detail untersucht, welche durch den Effekt der Wurzelverstärkung einer keilförmigen Waldfläche oberhalb des Hauses wirkt. Abbildung 3 zeigt die Position der Bäume (grüne Punkte) oberhalb des Hauses, welche ca. 40-50 Jahre nach ihrer Pflanzung die Schutzwirkung erfüllen sollten. Es wurde vorgeschlagen, die Bäume so zu pflegen, dass die Baumhöhe nie grösser als der Abstand der einzelnen Bäume zum Haus ist. Als Baumart wurde der Nussbaum (*Juglans regia*) aufgrund des Standortes und des Landschaftsbildes vorgeschlagen. Da von dieser Baumart nur wenige technische Daten bezüglich Wurzelverstärkung vorhanden sind, wurden die SOSlope-Simulationen mit den Werten für die Buche (*Fagus sylvatica*) durchgeführt.

Quantifizierte Bewertung der biologischen Massnahme

Die Resultate von SOSlope zeigen, unter welchen Bedingungen die Auslösung einer Hangmure möglich ist (z.B. Porenwasserdruck) und sie quantifizieren die mechanische Wirkung der Wurzeln.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Porenwasserdrücke und der passiven Erddruckkräfte im Boden im Zuge der Auslösung einer Rutschung bei dem oben beschriebenen Starkniederschlagsereignis. Der maximale Porenwasserdruck, welcher vom Modell simuliert wurde, ist in flachen Gebieten erreicht, beziehungsweise dort, wo sich der Zwischenabfluss konzentriert (rosa Farbe in der Abbildung). Innerhalb der potentiellen Rutschung erreicht er Werte, welche einem Wasserspiegel von ca. 0.2-0.3 m Höhe oberhalb der Rutschgleitflä-

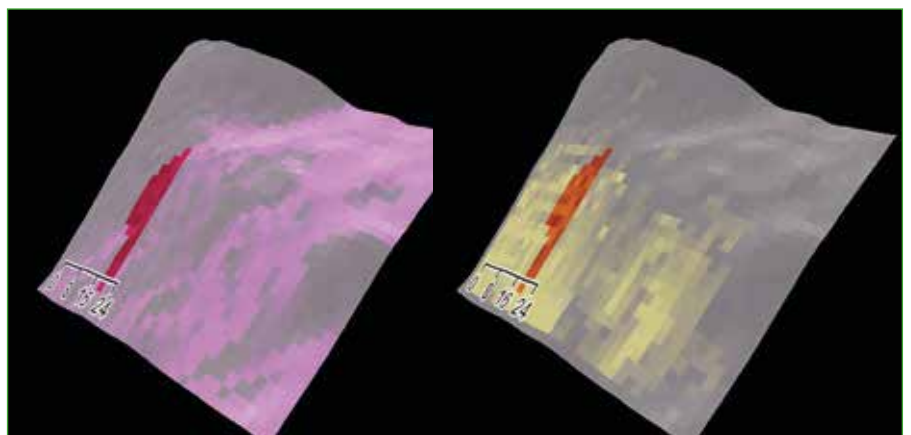


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der Modell-Resultate für Porenwasserdruck (rosa Farbe) und passive Erddruckkräfte (gelbe Farbe), mobilisiert bei der Auslösung einer Rutschung (Quelle: M. Schwarz).

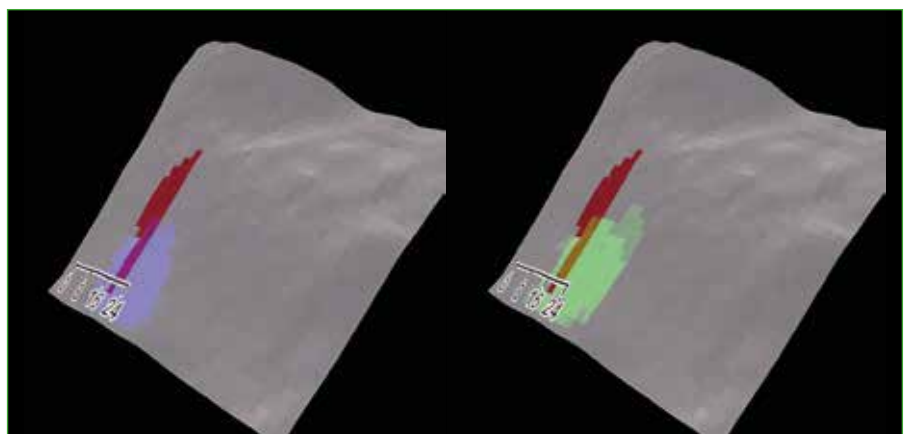


Abbildung 5: Resultate der Berechnung der aktivierten Wurzelverstärkung unter Druck (violette Farbe) und Zug (grüne Farbe) während eines Starkniederschlagsereignisses (Quelle: M. Schwarz).

che entsprechen würden. Die gelbe Farbe in Abbildung 4 zeigt, dass unter diesen Bedingungen grosse passive Erddruckkräfte in der Grössenordnung von maximal 31 kN/m im steilen Bereich des Hanges mobilisiert werden.

Die mechanische Wirkung der Wurzeln wird für Zug, Druck und Scherbelastungen in SOSlope aufgrund der Positionen und Dimensionen der Bäume berechnet. Abbildung 5 zeigt die aktivierte laterale Wurzelverstärkung unter Zug und Druck. Die Zugkräfte sind vor allem senkrecht zur Falllinie aktiviert, während die Druckkräfte vermehrt entlang der Falllinie wirken. In dem simulierten Szenario reicht diese Wurzelverstärkung aus, um die potentielle Rutschung zu stabilisieren (rote Fläche in der Abbildung). Die maximale mobilisierte Wurzelverstärkung unter Druck ist 2 kN/m und die unter Zug 10 kN/m.

Die Resultate von SOSlope unterstützen die ursprüngliche Gefahrenbeurteilung und sie zeigen, dass eine geeignete biologische Massnahme die Wahrscheinlichkeit von Hangmuren langfristig deutlich reduzieren kann. Damit kann der Hang oberhalb des Hauses Tannen auf HM1 herabgestuft werden.

Diskussion

In dieser Fallstudie wurde nur die Wirkung der Wurzelverstärkung berücksichtigt, wobei aber auch noch andere positive Vegetationswirkungen erwähnt werden können: 1) Das Wurzelwerk am Hangfuss wirkt drainierend und reduziert damit den Porenwasserdruck während intensiver Niederschläge. 2) Die Evapotranspiration der Bäume ist höher als bei der Alpweide, wodurch die Wassersättigung des Bodens vor einem Niederschlag reduziert wird. 3) Die Interzeption (von Wasser und Schnee) reduziert die Menge Wasser, welche in den Boden infiltrieren kann, vor einem intensiven Niederschlag. 4) Eine gesunde und stabile Bestandsstruktur wirkt schützend gegen den Anprall von kleinen flachgründigen Hangmuren (bis ca. 100 m³ Volumen) oder Schneedruck. Die Erweiterung und Anwendung von Modellen wie SOSlope zielt darauf ab, ein möglichst breites Spektrum von Baumarten und Standorten zu berücksichtigen, damit die Unsicherheiten bei den Berechnungen reduziert werden können. Eine möglichst genaue Quantifizierung von biologischen Massnahmen ist grundlegend für die Implementierung dieser Präventionsmassnahmen in der risikobasierten Strategie des Bundes nach den Grundsätzen von Protect-Bio.

Referenzen

- Cohen D., and M. Schwarz (2017). Tree-roots control of shallow landslides. *Earth Surface Dynamics*. doi:10.5194/esurf-2017-10.
- Louis Ingenieurgeologie GmbH, Ingenieure Bart AG (2012): Kanton SZ, Naturgefahrenkarte Morschach (Teil Süd). Proj. Nr. 10-19, März 2012.
- Schwarz, M., Rist, A., Cohen, D., Giadrossich, F., Egorov, P., Büttner, D., Stolz, M., Thormann, J.-J. (2015). Root reinforcement of soils under compression. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* 120, 2103–2120. doi:10.1002/2015JF003632.
- Schwarz, M., Giadrossich, F., D. Cohen (2013). Modeling root reinforcement using root-failure Weibull survival function, *Hydrological Earth System Sciences*, HESS, 17: 4367–4377, doi:10.5194/hess-17-4367-2013.
- Schwarz, M., D. Cohen, D. Or (2012). Spatial characterization of lateral root reinforcement, *Geomorphology*. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.05.020.

Forschungsprojekt „Risikoreduktion Steinschlag“: Welchen Einfluss hat der Schutzwald auf das Steinschlag-Risiko?

Daniel Trappmann ^{1,2} (daniel.trappmann@lwf.bayern.de)
 Christine Moos ³ (christine.moos@bfh.ch)
 Luuk Dorren ³ (luuk.dorren@bfh.ch)
 Markus Stoffel ³ (markus.stoffel@unige.ch)

¹ Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, Genève

² Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF, Freising (ab 1.5.2017)

³ Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen

Résumé

Objectifs: L'article décrit les principales conclusions du projet de recherche "Réduction des risques de chutes de pierres", réalisé pour le compte de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) de 2015 à 2017 au dendrolab.ch, situé à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université de Genève. L'objectif principal du projet était de développer des méthodes permettant d'inclure les effets de la protection des forêts dans l'analyse quantitative des risques liés aux processus de chute de pierres.

Résultats: Les méthodes développées sont basées sur les quatre étapes suivantes: i) définition de scénarios, ii) simulations des chutes de pierres dans des situations "avec forêt" et "sans forêt", iii) dérivation de paramètres pour quantifier l'effet forestier à partir des résultats des simulations et iv) analyse quantitative des risques. Les paramètres pertinents pour la prise en compte de l'effet de la forêt sont l'intensité (énergie) des blocs et les probabilités qu'ils atteignent des ouvrages de protection ou s'y déposent.

Conclusions: Sur la base des méthodes développées, la réduction du risque de chute de pierres par la forêt peut être incluse sur la base des concepts déjà existants (ASTRA, RIKO) et quantifiée en CHF par an. L'effet de la forêt peut ainsi être directement comparé à l'efficacité des mesures techniques. De plus,

une étude de variantes avec des conditions forestières différentes peut être utilisée pour déterminer l'effet des interventions sylvicoles sur la protection offerte par les forêts. Dans l'ensemble, on peut trouver une combinaison optimisée de mesures techniques et biologiques, ce qui permet une utilisation efficace des ressources financières.

Zusammenfassung

Ziele: Der Beitrag beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „Risikoreduktion Steinschlag“, das im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU von 2015-2017 am dendrolab.ch des Institut des Sciences de l'Environnement der Universität Genf durchgeführt wurde. Übergeordnetes Projektziel war es dabei, Methoden zu erarbeiten, die den Einbezug von Schutzwaldeffekten in die quantitative Risikoanalyse bei Steinschlagprozessen ermöglichen.

Ergebnisse: Die erarbeiteten Methoden beruhen auf den vier Teilschritten i) Szenarienbildung, ii) Steinschlagsimulation der Situationen „Mit Wald“ und „Ohne Wald“, iii) Herleitung von Parametern zur Quantifizierung der Waldwirkung aus Simulationsresultaten und iv) quantitative Risikoanalyse. Die relevanten Parameter zum Einbezug der Waldwirkung sind dabei die Intensität (Energie) der Sturzkörper und die Wahrscheinlichkeiten, dass Sturzkörper Schutzobjekte erreichen oder dort abgelagert werden.

gert werden.

Schlussfolgerungen: Basierend auf den erarbeiteten Methoden kann die Reduktion des Steinschlagrisikos durch den Wald aufbauend auf bestehenden Konzepten (ASTRA, RIKO) einbezogen werden und in CHF pro Jahr quantifiziert werden. Damit kann die Waldwirkung direkt mit der Wirkung technischer Massnahmen verglichen werden. Zudem kann durch ein Variantenstudium mit unterschiedlichen Waldzuständen der Effekt von waldbaulichen Eingriffen auf die Schutzleistung von Wald ermittelt werden. Insgesamt kann so eine optimierte Kombination aus technischen und biologischen Massnahmen gefunden werden, was einen effizienten Einsatz finanzieller Mittel ermöglicht.

Einleitung

Der Schweizer Wald leistet als biologische Schutzmassnahme vielerorts einen hohen Beitrag zum Schutz vor alpinen Naturgefahren. Vor Sturzprozessen allein schützen 8 % dieser Wälder (Losey und Wehrli 2013). Die Grundlage für eine risikobasierte Strategie im Umgang mit Naturgefahren wurde mit dem Leitfaden Risikokzept (RIKO; Bründl 2009) geschaffen. Im Projekt PROTECT (Romang 2008) wurde die Grundlage für den Einbezug technischer Schutzmassnahmen in das integrale Risikomanagement geschaffen. Bezüglich biologischer Schutzmassnahmen,

insbesondere bei Wald, strebt das Bundesamt für Umwelt mit dem Projekt „Protect Bio“ an, biologische Schutzmassnahmen grundsätzlich analog zu technischen Massnahmen im Risikokzept zu berücksichtigen (Wasser und Perren 2014). Mit Protect Bio II (Kalberer 2011) wurden grundlegende Methoden zur Beurteilung von Schutzwald als Schutzmassnahme gegen Steinschlaggefahren erarbeitet. An bewaldeten Steinschlaghängen kann Wald als bestehende Schutzmassnahme angesehen werden. Waldeffekte auf Steinschlag im Rahmen des integralen Risikomanagements explizit zu berücksichtigen ist sinnvoll, denn so können Steinschlag-Risiken realistischer bewertet werden. Allfällige ergänzende technische Massnahmen können anschliessend optimiert geplant werden. Für grössere Schutzprojekte ist oft die Durchführung von Wirksamkeits-Studien erforderlich, die Nutzen und Kosten der Massnahmen betrachten. Der Nutzen von Wald kann hierbei in Form von Risikoreduktion ermittelt werden. Durch ein Variantenstudium mit unterschiedlichen Waldzuständen können zudem Aussagen zum Nutzen-Kosten-Verhältnis von waldbaulichen Eingriffen gemacht werden. Dadurch kann der zusätzliche Nutzen durch Schutzwaldpflege ermittelt und dem Nutzen technischer Schutzmassnahmen gegenübergestellt werden. Das hier dargestellte Forschungsprojekt „Risikoreduktion Steinschlag“ befasst sich damit, wie die Waldwirkung auf Steinschlagprozesse adäquat in bestehenden Risikokzepten (Bründl, 2009; ASTRA, 2012) berücksichtigt werden kann. Die Ergebnisse ermöglichen es, die Waldwirkung bei Sturzprozessen einheitlich, transparent und faktenbasiert zu erfassen und in Risikoanalysen umzusetzen. So kann eine ideale Kombination von technischen und biologischen Schutzmassnahmen gefunden werden, was einen effizienten Einsatz von finanziellen Mitteln ermöglicht.



Abbildung 1: Blockschlag gestoppt im Schutzwald (Foto: D. Trappmann).

Wie wirkt Wald auf Steinschlag?

Im Transit- und Ablagerungsgebiet besitzen Schutzwälder eine steinschlaghemmende Wirkung. Durch Baumkontakte wird die Energie der Sturzkörper abgebaut. Wie effektiv die Schutzwirkung ist, hängt insbesondere von der Grundfläche des Bestandes, der bewaldeten Hanglänge, der Durchmesser- und der horizontalen Waldstruktur (z.B. Lücken in der Falllinie) ab (Moos et al., 2017a; Dorren et al., im Druck). Relevant für die Risikoanalyse ist, dass im Wald durch Baumkontakte Sturzkörper gebremst oder auch komplett gestoppt werden. Damit hat Schutzwald bei Steinschlag eine sehr ähnliche Wirkungsweise wie Steinschlagnetze oder Dämme: Wald verringert zum einen die Energie der Sturzkörper. Zum anderen wirkt sich Wald auf die Anzahl der Sturzkörper aus, die einen bestimmten Punkt erreichen. Dadurch verändert Wald die Wahrscheinlichkeit, dass Sturzkörper ein Schutzobjekt (z.B. Wohnhaus) erreichen und die Wahrscheinlichkeit, dass Sturzkörper auf einem Schutzobjekt (z.B. Strasse) abgelagert werden.

Die Rolle der Szenarien

Bestehende Risikokzepten für Naturgefahren (RIKO, ASTRA) basieren auf Szenarien, bei denen einer bestimmten Frequenz eine jeweilige Ereignis-Magnitude zugeordnet wird. Grundsätzlich kann zwischen Ablöseszenarien (Wie häufig brechen welche Blockgrössen im Liefergebiet aus?) und Eintretensszenarien (Wie häufig treten welche Blockgrössen am Schutzobjekt auf?) unterschieden werden. Je nach Qualität der Datengrundlagen können Ablöseszenarien oder Eintretensszenarien festgelegt werden. Massenbewegungen wie Steinschlag wiederholen sich üblicherweise nicht periodisch und sind oftmals dürftig dokumentiert (Trappmann et al., 2014). Hierdurch wird die Herleitung nachvollziehbarer und plausibler Szenarien, insbesondere die Bestimmung der Ausbruchshäufigkeiten, zu einer grossen Herausforderung (Raetzo 2002; Liniger 2006).

Die Magnitude von Steinschlagereignissen wird üblicherweise über die Blockgrösse der Sturzkörper beschrieben. Sturzereignisse können als Ausbruch und Absturz einzelner Sturzkörper erfolgen. An vielen Standorten

lösen sich jedoch auch zusammenhängende Felspakete, die während des Prozessablaufs in mehrere Teilstücke zerbrechen. Um solche Stürze und die Waldwirkung durch Risikoanalysen angemessen abzubilden, wurde im vorliegenden Projekt ein neuer Ansatz zur Szenarienbildung verfolgt. Die hier verwendeten Szenarien werden als Szenarien jET bezeichnet, wobei j für die Blockgrösse steht und ET („Ereignistyp“) die Anzahl der Sturzkörper einer Blockgrösse beschreibt. Über die Szenarien jET wird berücksichtigt, dass unterschiedliche Blockgrössen zum Risiko durch ein Sturzereignis beitragen. Dadurch ergeben sich Vorteile in der Risikoanalyse: Ereignisse bestehend aus unterschiedlichen Blockgrössen können realistischer abgebildet werden, als durch die Verwendung von nur einer Blockgrösse. Beispielsweise werden durch Verschneidung der Simulationsergebnisse unterschiedlicher Blockgrössen die Ablagerungsmuster eines gesamten Ereignisses abgebildet, anstelle von Ablagerungsmustern einer einzelnen Blockgrösse. Um dies zu verdeutlichen, soll ein Ausbruch an einem fiktiven Hang angenommen werden, in dem 0,05 m³ und 1 m³ grosse Sturzkörper gemeinsam stürzen (vgl. Abb. 2 b). Werden nur die 1 m³ Blö-

cke als Szenario simuliert, überspringen diese möglicherweise die am Hang verlaufende Strasse; es besteht kein Risiko durch Auffahrunfälle. Das reale Ereignis und das Risiko aus unterschiedlichen Blockgrössen werden nicht angemessen abgebildet, weil die 0,05 m³ - Steine vernachlässigt werden, die sich auf der Strasse ablagern würden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Szenariendefinition eine entscheidende Grundlage darstellt, um Steinschlagrisiken und die Waldwirkung realistisch abzubilden.

Welche Parameter zur Beschreibung der Waldwirkung können aus Simulationen abgeleitet werden?

Steinschlag-Simulationsmodelle besitzen das Potential, Sturzprozesse realitätsnah zu simulieren. Modelle wie Rockyfor3D (Dorren 2012) können die Positionen von Bäumen im Modell berücksichtigen und Kontaktreaktionen bei Baumtreffern naturgetreu abbilden. Um die Wirkung des aktuellen Waldbestandes abzuleiten, wird einmal die Situation mit Wald (MW) im Modell abgebildet und einmal die Situation Ohne Wald (OW) angenommen. Anschliessend werden beide Situationen bei ansonsten

gleichbleibenden Eingangsdaten und Einstellungen simuliert. Die Differenz beider Simulationsergebnisse bildet den Effekt des Schutzwaldes ab, was die Grundlage bildet um das jeweilige Steinschlagrisiko zu berechnen. Aus der Differenz der Risiken MW und OW ergibt sich der Nutzen durch die Schutzmassnahme Wald in Form einer Risikoverminderung.

Ein relevanter Parameter um die Waldwirkung in Risikoanalysen einzubeziehen, ist die Energie der Sturzkörper, die am Schutzobjekt auftreten. Die Energie für die jeweils betrachtete Blockgrösse j in der Risikoanalyse kann für die Situation MW und OW direkt aus Simulationsergebnissen übernommen werden.

Eine grosse Anzahl an Simulationen erlaubt Rückschlüsse auf Wahrscheinlichkeiten. Bäume können Sturzkörper abbremsen oder gar stoppen und beeinflussen so die Wahrscheinlichkeit, dass ein stürzender Stein ein Objekt erreicht. Diese „Erreichens-Wahrscheinlichkeit“ $p(eri,i,j)$ ist für das Schadensbild „Direkttreffer“ relevant.

$$p(eri,i,j) = \frac{\text{Anzahl Steindurchgänge } (i,j)}{\text{Anzahl Steine } (total j)} \quad (1)$$

Dabei ist die *Anzahl Steindurchgänge (i,j)* die Anzahl simulierter durchgehender Sturzkörper des Volumens j am Objekt i. Die *Anzahl Steine (total j)* bezeichnet die totale Anzahl simulierter Steine des Volumens j (Anzahl Startzellen * Anzahl Simulationen pro Startzelle).

Bei Steinschlagprozessen kann sich der vom Ereignis bestrichene Bereich deutlich vom Ablagerungsbereich unterscheiden: Steine können über weite Strecken den Hang durchlaufen oder gar Verkehrswege überspringen, ohne dort relevante Ablagerungen zu hinterlassen. Bei Schadensbildern wie beispielsweise „Verschüttung“ wird das Risiko durch Ablagerungen auf einem Schutzobjekt hervorgerufen. Hier sind diejenigen Steine von Interesse, die sich dort ablagern. Die zugehörige

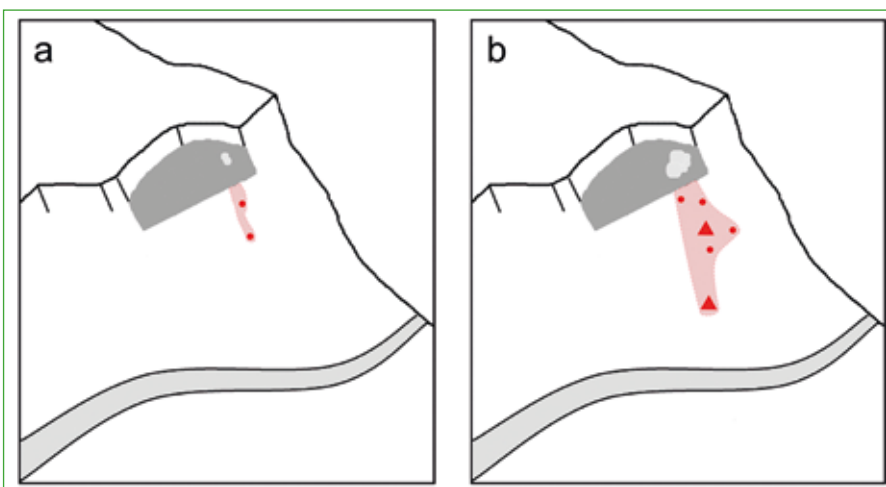


Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Bildung der Szenarien jET. Steine sind als ausgefüllter Kreis dargestellt, Blöcke als Dreieck. Beispiel: Szenario a) mit Wiederkehrperiode T= 10 Jahre wird von zwei Steinen gebildet (j=0,05 m³, Ereignistyp (ET)=2). Szenario b) mit T= 100 Jahre wird von vier Steinen (j = 0,05 m³, ET = 4) sowie zwei Blöcken (j=1 m³, ET = 2) gebildet.

Wahrscheinlichkeit wird als „Ablagerungs-Wahrscheinlichkeit“ $p(abl,i,j)$ bezeichnet.

$$p(abl,i,j) = \frac{\text{Anzahl Ablagerungen } (i,j)}{\text{Anzahl Steine } (total j)} \quad (2)$$

Dabei ist die *Anzahl Ablagerungen* (i,j) die Anzahl simulierter abgelagerter Sturzkörper des Volumens j auf einem Schutzobjekt i (z. B. Strasse).

Für spezielle Schadensbilder für Transportlinien - z.B. „Auffahrnfall“ oder „Sperrung nach einem Ereignis“ - ist weniger relevant wie viele Sturzkörper sich ablagern, sondern ob überhaupt eine Ablagerung auf einem Schutzobjekt stattfindet. Hierfür kann aus den Ablagerungs-Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Blockgrößen j weiter die „Verschüttungs-Wahrscheinlichkeit“ eines Szenarios jET abgeleitet werden.

Wie können die Parameter in Risikoanalysen einbezogen werden?

Risiken für die Situationen MW und OW können aufbauend auf bestehenden Konzepten (ASTRA 2012; Bründl 2009; Bründl et al. 2015) berechnet werden. Hierzu wurden Formelvorschläge für Risikoformeln bei ver-

schiedenen Schadensbildern erarbeitet und in einem Bericht zum Projekt zusammengestellt (Trappmann und Stoffel 2017). Die Formelvorschläge beinhalten je nach Schadensbild die Parameter Energie, Erreichens-Wahrscheinlichkeit, Ablagerungs-Wahrscheinlichkeit und/ oder Verschüttungs-Wahrscheinlichkeit. Als Beispiel wird das Schadensbild „Direkttreffer“ auf Verkehrswegen mit Ablöseszenarien dargestellt. Die Erreichens-Wahrscheinlichkeit wird über die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit $prA(err,jET,i,j)$ berücksichtigt. Diese wird mit der Erreichens-Wahrscheinlichkeit $p(err,i,j)$ für jede Blockgröße j analog zu Bickel und Hodel (2016) für Teilabschnitte mit Länge $l(TAI)$ berechnet.

$$prA(err,jET,i,j) = \frac{p(err,i,j) * ET * d(j)}{l(TAI)} \quad (3)$$

Dabei ist ET der Ereignistyp und $d(j)$ der Durchmesser der Sturzkörper. Der Parameter Energie fließt über die Letalität ein. Die Einzelrisiken $R(i,j,jET)$ durch jedes Blockvolumen j werden daher zunächst getrennt berechnet:

$$R(i,j,jET) = p(jET) * \frac{DTV * l(TAI)}{vmax * 24 * 1000} * \beta * \lambda(j) * GK * prA(err,jET,i,j) \quad (4)$$

Dabei ist $p(jET)$ die Häufigkeit des Ablöseszenarios jET , DTV der durchschnittliche täglicher Verkehr, $vmax$ die signalisierte Höchstgeschwindigkeit, β der mittlere Besetzungsgrad der Fahrzeuge, $\lambda(j)$ die Letalität und GK die Grenzkosten. Das Risiko eines Szenarios jET wird aus der Summe der Einzelrisiken aller Blockgrößen j berechnet.

Praktische Anwendung der Ansätze an einem Fallbeispiel

Das Untersuchungsgebiet des Fallbeispiels Orvin befindet sich am nördlichen Rand der Ortschaft Orvin, BE im Berner Jura. Eine langgestreckte Felswand bildet das Quellgebiet für Sturzprozesse. Darunter liegt ein hauptsächlich mit Rotbuchen bewachsener Hang. Im unteren Bereich des Hanges verläuft eine Gemeindestrasse, für die das Risiko ermittelt wird.

Die Herleitung der Szenarien basiert für das Fallbeispiel auf einer Frequenz-Magnitude (F/M)-Beziehung, die mit einem Potenzgesetz angenähert wurde (engl. power law). Dieses beschreibt mathematisch die Häufigkeitsverteilung einzelner Volumenklassen. Es wurde anhand von abgelagerten Sturzkörpern im Transit- und Ablagerungsbereich (Welche

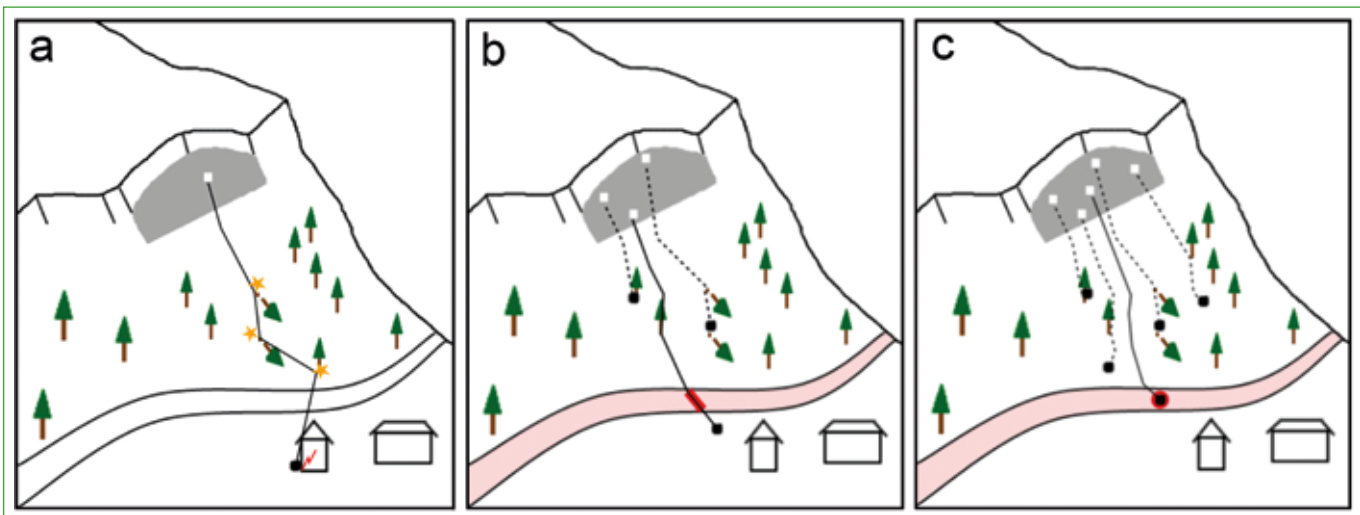


Abbildung 3: Relevante Parameter zur Beschreibung der Wirkungsweise des Waldes: a) Reduktion der Energie durch Baumkontakte, b) Reduktion der Erreichens-Wahrscheinlichkeit und c) Ablagerungs-Wahrscheinlichkeit am Schutzobjekt durch Zurückhalten von Sturzkörpern im Wald.

Blockgrößen werden erwartet?) in Kombination mit Baumtrefferdaten und Jahringanalysen nahe des Ablösegebietes (Wie häufig werden sie erwartet?) erstellt. Anhand der F/M-Beziehung wurden sechs Dimensionierungsblöcke ermittelt (0,05 – 4,5 m³) und deren jährliche Ablöse-Frequenz berechnet.

Durch Bildung der Szenarien jET wurde anschliessend festgelegt, welche und wie viele Dimensionierungsblöcke j zusammen ein Ausbruch-Szenario mit einer definierten Wiederkehrperiode (1, 10, 30, 100, 300 Jahre) bilden. Hierzu wurde zunächst die gesamte Anzahl an Dimensionierungsblöcken, wie sie innerhalb des gesamten Zeitraumes über 300 Jahre erwartet werden, anhand des Potenzgesetzes ermittelt (Abb. 4). Anschliessend wurde diese gesamte Anzahl an Sturzkörpern auf Szenarien aufgeteilt. Dabei wurde so vorgegangen, dass i) die grösseren Dimensionierungsblöcke nur in den selteneren Ausbruchsszenarien vorkommen, ii) die kleineren Dimensionierungsblöcke als Fragmente in allen Szenarien vertreten sind, und iii) die Ausbruchskubatur des gesamten Szenarios mit zunehmender Wiederkehrdauer ansteigt.

Steinschlagsimulationen der Dimensionierungsblöcke erfolgten mit dem Modell RockyFor3D v5.2.4 (Dorren 2012) auf Basis eines Gelände-modells mit 2m x 2m Auflösung (Abb. 5). Anhand von aktuellen Luftbildern wurden homo-

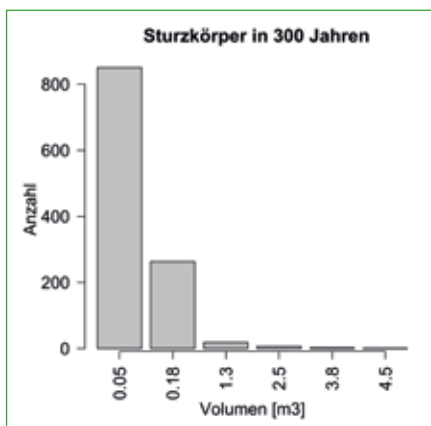


Abbildung 4: Rechnerisch ermittelte Anzahl an ausbrechenden Dimensionierungsblöcken im Zeitraum von 300 Jahren.

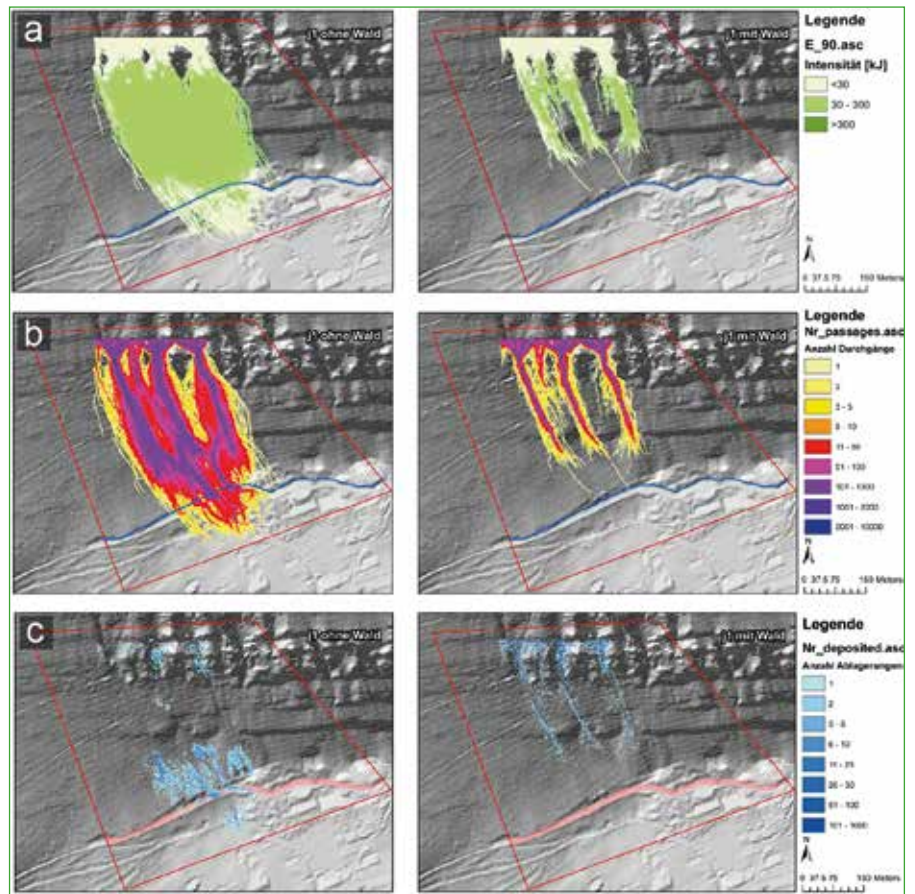


Abbildung 5: Simulationsergebnisse zur Herleitung der Parameter für die Risikoanalyse jeweils ohne Wald (links) und mit Wald (rechts). Volumen der Dimensionierungsblöcke: 0,05 m³. a) Intensität (kinetische Energie), b) Anzahl Steindurchgänge, c) Anzahl Ablagerungen.

gene Bestände ausgeschieden, anhand derer die Daten aus den Probeflächen auf den gesamten Hang übertragen wurden. Baumfreie Bereiche (Schneisen, Schutthalden) wurden dabei ausgenommen. Zur Charakterisierung des aktuellen Waldbestandes (MW) wurden im Gelände auf insgesamt 8 Probeflächen (20 m x 20 m) die Verteilung der Baumdurchmesser in Brusthöhe (BHD) mit Mittelwert und Standardabweichung, die Bestandesdichte und der Anteil an Nadelhölzern an der Baumartenverteilung ermittelt. Anhand dieser Daten werden in RockyFor3D Bäume zufällig platziert und zur Berechnung der Baum-anpralle verwendet. Der so implementierte Baumbestand hat im Untersuchungsgebiet einen mittleren BHD von 22 cm (Standardabweichung 14 cm), wo-

bei die Werte von 1 bis 109 cm reichen. Die Bestandesdichte aller Bäume beträgt 1380 Stämme/ha. Die durchlaufene Waldstrecke beträgt von den Startzellen bis zum Schadenpotential durchschnittlich ca. 420 m. Die Risikoanalyse erfolgte für das Schadensbild Direkttreffer in Teilabschnitten je 20 m Länge. Dies ermöglicht es, Risiko-Hotspots zu ermitteln und etwaige zusätzliche technische Massnahmen zielgerichtet zu planen. Die Resultate können auch nach der Blockgrösse aufgeschlüsselt werden. Zur Berechnung der Personenrisiken beim Schadensbild „Direkttreffer“ werden Personenschäden monetarisiert (ASTRA, 2012). In Abbildung 6 zeigt sich, dass die grösste Waldwirkung bei den beiden kleinsten Volumenklassen besteht. Der aktu-

elle Waldbestand reicht aus, um die kleineren Dimensionierungsblöcke so gut wie komplett zurückzuhalten. Mit grösser werdenden Volumen nähern sich die Risiken Mit und Ohne Wald zunehmend an, weil die Waldwirkung abnimmt. Trotzdem ist auch noch beim grössten Volumen von 4,5 m³ eine Risikoreduktion erkennbar. So aufgeschlüsselte Resultate können ebenfalls bei der Optimierung allfälliger Massnahmen behilflich sein: Sie zeigen gegen welche Volumenklassen der Wald ausreichend schützt und für welche Volumenklassen zusätzliche Massnahmen in Betracht kommen. Risiken wurden im Fallbeispiel für die Schadensbilder „Direkttreffer“, „Auffahrunfall“, „Sperrung“ und „Verschüttung“ berechnet (ASTRA 2012; Trappmann und Stoffel 2017). Es zeigt sich, dass der Wald das Risiko bei allen Schadensbildern massiv senkt. Das Gesamtrisiko über alle Schadensbilder und Szenarien beträgt mit Wald 429 [CHF/a]. Ohne Wald würde sich das Risiko mit 7385 [CHF/a] in etwa auf das 17-fache belaufen. Die gesamte jährliche Risikoreduktion durch Wald über alle Schadensbilder beläuft sich auf 6955 [CHF/a] (94 %). Für das 10 ha grosse Untersuchungsgebiet entspricht dies einer Risikoreduktion von rund 700 CHF pro Jahr und Hektar.

Diskussion und Schlussfolgerung

Mit geeigneten Steinschlagmodellen kann die Waldwirkung auf Steinschlagprozesse abgebildet werden. Eine große Anzahl an Simulationsdurchgängen ermöglicht Rückschlüsse, wie Wald die Energie, die Erreichens-Wahrscheinlichkeit und die Ablagerungs-Wahrscheinlichkeit der Sturzkörper beeinflusst. Mit diesen Parametern können Steinschlagrisiken unter Berücksichtigung der Waldwirkung ermittelt werden. Wie effektiv der Schutzwald das Risiko reduziert, ist neben dem Wald-

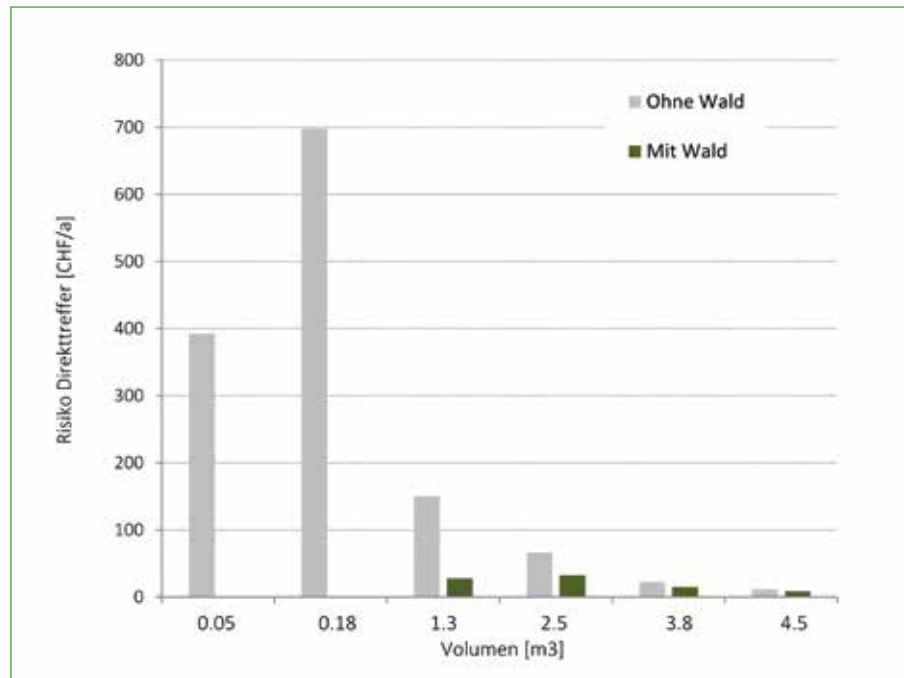


Abbildung 6: Personenrisiko durch Direkttreffer, nach Volumenklassen unterteilt.

zustand auch von den Gegebenheiten des Standortes, der Szenarienbildung und den betrachteten Schadensbildern abhängig.

Generell hat sich herausgestellt, dass Wald bei kleineren Sturzkörpern besonders wirksam das Risiko vermindern kann. Am Fallbeispiel Orvin, wo etwa 90 % der Sturzkörper Volumen unter 0,5 m³ besitzen, beträgt die Risikoreduktion je nach Szenario rund 60-100 %. Eine deutliche Risikoreduktion kann es an anderen Standorten auch für grössere Volumen geben. Zum Beispiel reduziert der Wald in Täsch (VS) bei Blockvolumen zwischen 5 m³ und 20 m³ das Risiko um durchschnittlich 30-70 % (siehe Moos et al. 2017b).

Das hier beschriebene Forschungsprojekt zeigt auf, wie sich die Wirkungsweise von Schutzwald basierend auf 3D-Trajektorienmodellen auf lokaler bis regionaler Ebene quantifizieren lässt. Wie die Schutzwirkung durch Wald für den gesamten Alpenraum ermittelt werden kann, wird im Interreg-Projekt

RockTheAlps (<http://www.alpine-space.eu/projects/rockthealps/en/home>) erforscht. Mit den Ergebnissen des vorliegenden Projekts kann die Wirkung des Waldes im Rahmen von Risikoanalysen genauso wie die Wirkung von technischen Schutzmassnahmen quantifiziert werden. Damit wird ein transparenter und objektiver Vergleich zwischen biologischen und technischen Massnahmen ermöglicht, was letztlich dazu beitragen kann, ideale Massnahmenkombinationen bei Schutzkonzepten zu finden.

Dank

Die Autoren danken all jenen, die mit ihren Diskussionsbeiträgen zu den Forschungsergebnissen beigetragen haben. Die Projektnehmer der Universität Genf danken dem Bundesamt für Umwelt BAFU für die Finanzierung des Projektes.

Literatur

- ASTRA. 2012. Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept. ASTRA Dokumentation 89001. Bern.
- Bickel, T., Hodel, M. 2016. Planning of Risk-Based Rockfall Mitigation Measures Using 3D Rockfall Simulations - Risiko-Basierte Massnahmenplanung Gegen Steinschlag Mittels 3D Steinschlagsimulationen. Interpraevent 2016 - Conference Proceedings 716–24.
- Bründl, M. et al. 2015. EconoMe - Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Formelsammlung. Bründl, M. Ed. 2009. Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden. Bern.
- Dorren, L. 2012. Rockyfor3D (V5.1) Enthüllt - Transparente Beschreibung des kompletten 3D-Steinschlagmodells. ecorisQ Paper (www.ecorisq.org) 32.
- Dorren, L., Moos, C., Stoffel, M., Trappmann, D. Im Druck. Wirkung des Waldes bei Steinschlag. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz.
- Kalberer, M. 2011. Protect Bio II Fallbeispiel Steinschlag. Massnahmenbeurteilung, Wirkungsbeurteilung und Massnahmenbewertung von Steinschlagschutzwäldern, dargestellt am Beispiel Gruobenwald, Klosters. TUR GmbH. Davos.
- Liniger, M. 2006. Die Herausforderung der Gefahrenprognose bei Massenbewegungen: Rutsch- und Sturzprozesse. Bulletin für angewandte Geologie 11.
- Losey, S., Wehrli, A. 2013. Schutzwald in Der Schweiz. 1–29.
- Moos, C., Dorren, L., Stoffel, M. 2017a. Quantifying the effect of forests on frequency and intensity of rockfalls. 291–304. doi:10.5194/nhess-17-291-2017.
- Moos, C., Fehlmann, M., Trappmann, D., Stoffel, M., Dorren, L. 2017b. Integrating the mitigating effect of forests into quantitative rockfall risk analysis - Two case studies in Switzerland. International Journal of Disaster Risk Reduction. 10.1016/j.ijdr.2017.09.036.
- Raetzo, H., Lateltin, O., Bollinger, D., Tripet, J.P. 2002. Hazard Assessment in Switzerland - Codes of Practice for Mass Movements. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 61(3):263–68.
- Romang, H. (Ed.) 2008. Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren. PLANAT. Bern.
- Trappmann, D., Stoffel, M. 2017. Abschlussbericht zum Projekt Risikoreduktion Steinschlag. Unveröffentlichter Bericht z.Hd. BAFU. dendrolab.ch. Universität Genf.
- Trappmann, D., Stoffel, M., Corona, C. 2014. Achieving a more realistic assessment of rockfall hazards by coupling three-dimensional process models and field-based tree-ring data. Earth Surface Processes and Landforms 39 (14): 1866–75. doi:10.1002/esp.3580.
- Wasser, B. Perren, B. 2014. PROTECT Bio Methodik zur Beurteilung der Wirkung biologischer Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen. IMPULS AG - NaturDialog. Thun.

GIS-Modellierung des Schwemmholtzpotentials in alpinen Einzugsgebieten

Nicolas Steeb¹ (steeb@wsl.ch)
 Benjamin Kuratli^{1,2} (kuratli@wsl.ch)
 Christian Rickli¹ (rickli@wsl.ch)
 Alexandre Badoux¹ (badoux@wsl.ch)
 Dieter Rickenmann¹ (rickenmann@wsl.ch)

¹ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

² Geographisches Institut Universität Zürich, Zürich

Résumé

Lors de crues, le bois charrié par les cours d'eau provoque régulièrement des embâcles au niveau des ponts et des voûtages. Afin de réduire ce risque d'obstruction par des mesures de protection adaptées, de meilleures connaissances sur l'origine et la quantité de bois flottant sont nécessaires. Dans le cadre du Programme de recherche WoodFlow a été élaboré un modèle SIG, uniforme pour l'ensemble de la Suisse, qui localise les zones potentielles de survenue de bois flottant. Cet outil adapté à la pratique permet ainsi d'évaluer facilement et rapidement le transport de bois flottant à escompter à l'intérieur d'un bassin versant.

Zusammenfassung

Bei Hochwasserereignissen führt in Fließgewässern transportiertes Holz immer wieder zu Verklausungsproblemen an Brücken und Durchlässen. Um das Risiko von Schwemmholtzgefahren durch geeignete Schutzmassnahmen reduzieren zu können, sind bessere Kenntnisse über die Herkunft und Menge an mobilisiertem Schwemmholtz nötig. Im Rahmen des Forschungsprogramms WoodFlow wurde ein schweizweit einheitliches GIS-Modell entwickelt, das die potentiellen Eintragsflächen von Schwemmholtz lokalisiert. Mit diesem praxistauglichen Tool lässt sich die zu erwartende Schwemmholtzfracht innerhalb eines Einzugsgebietes einfach und schnell abschätzen.

Hintergrund

Holz gehört zu jedem natürlichen Gewässer und hat dort sowohl positive als auch negative Auswirkungen für Mensch und Umwelt. So schafft Schwemmholtz beispielsweise Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten und unterstützt außerdem die natürliche Abflussdynamik und morphologische Entwicklung eines Gewässers (Rickli & Bucher, 2006). Nebst den zahlreichen positiven Effekten von Schwemmholtz auf Flussökosysteme kann dessen Vorkommen auch ein Risiko für die Bevölkerung und Infrastruktur darstellen. Holz im Flussbett verringert den Gerinnequerschnitt und kann zu Verklausungen führen sowie zu Rückstau mit Auflandung, Gerinneverlagerungen und lokaler Auskolkung, was im Extremfall zum Versagen von Uferböschungen und Brü-

cken führen kann (Lange & Bezzola, 2006). Die negativen Auswirkungen von Schwemmholtz zeigten sich besonders deutlich beim Hochwasser im August 2005 (Abb.1), bei dem schweizweit rund 70'000 m³ Festmeter Holzvolumen dokumentiert wurden (Waldner et al., 2009).

In diesem Spannungsfeld ist integrales Risikomanagement gefragt. Die Herausforderung einer verbesserten Bewirtschaftung von Holzvorkommen in Einzugsgebieten liegt in der Wahrung des Gleichgewichts zwischen wünschenswerten ökologischen und hydro-morphologischen Einflüssen und der Minimierung von Risiken, die durch die Interaktion von Schwemmholtz mit bestehender Infrastruktur entstehen können. In diesem Zusammenhang hat das Bundesamt für Umwelt BAFU



Abbildung 1: Verklausung an der Eisenbahnbrücke in Sarnen während des August Hochwassers 2005 (Quelle: Tiefbauamt Kanton Obwalden).

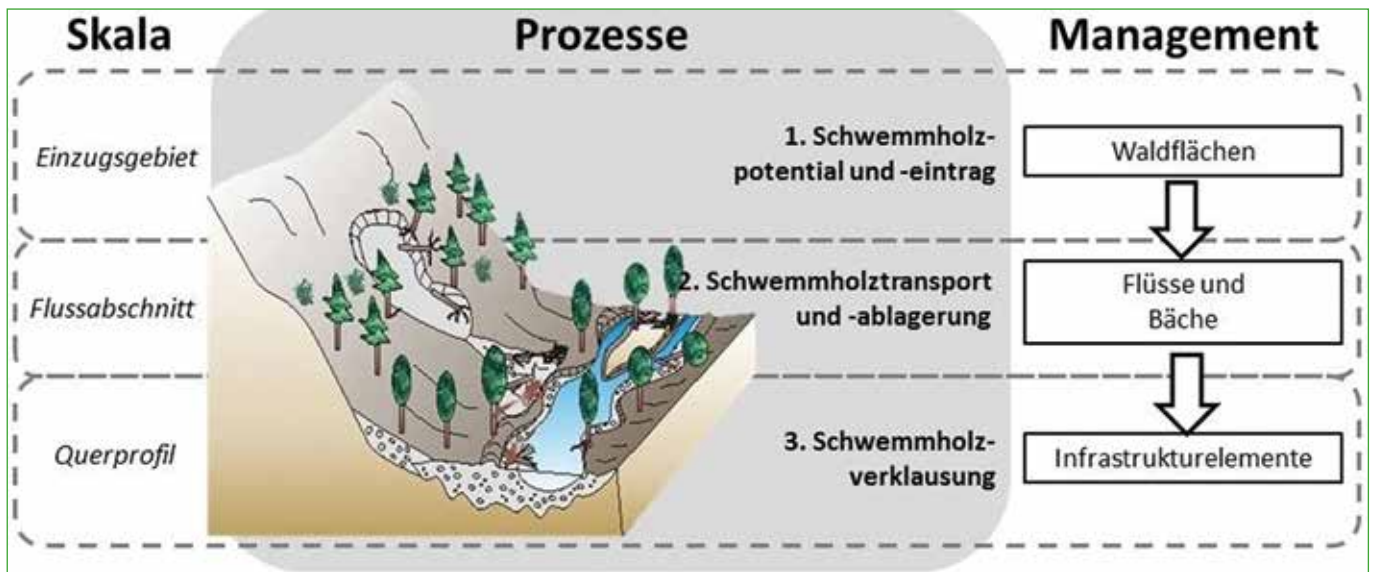


Abbildung 2: Schematische Darstellung des WoodFlow Forschungskonzepts (Ruiz-Villanueva et al., 2016).

das praxisorientierte Forschungsprogramm WoodFlow ins Leben gerufen. Dabei soll die Schwemmholtodynamik ganzheitlich untersucht werden, vom Eintrag in das Gewässer, über den Transport, bis hin zur Ablagerung und der damit verbundenen Gefahren (Abb. 2).

Entstehung von Schwemmholt

Wie viel Schwemmholt anfällt, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie z.B. dem Waldzustand beziehungsweise der Bewirtschaftung des Waldes, den Bodeneigenschaften, der Geologie, Topografie sowie der Dynamik des Gewässers (Rudolf-Miklau et al., 2011). Für ein Einzugsgebiet ergibt sich aus diesen Faktoren ein bestimmtes Schwemmholtpotential. Damit ein Teil dieses potentiell verfügbaren Schwemmholt auch tatsächlich im Gewässer transportiert wird, ist in den meisten Fällen ein Hochwasserereignis Voraussetzung. Die während eines Unwetters besonders dominanten Eintragsprozesse von Schwemmholt sind Rutschungen und Hangmuren in das Gerinne, Murgänge aus Zubringern sowie Seitenerosion. Zudem kann bereits im Gerinne liegendes Totholz durch den ansteigenden Abfluss mobilisiert werden. Solches Gerinneholz enthält implizit auch Schwemmholt, das sich

in der Zeit vor dem Hochwasserereignis durch weitere Prozesse ansammelte, wie beispielsweise durch Windwurf, Schneedruck oder Lawinen (Steeb et al., 2017).

GIS-Modellierung des Schwemmholt eintrages

Eines der Ziele des Forschungsprogramms WoodFlow ist es, potentielle Eintragsflächen und -volumen von Schwemmholt in Einzugs-

gebieten räumlich explizit mithilfe eines GIS-Modells einzugrenzen. Dies geschieht mit der Überlagerung verschiedener Prozessflächen (Schwemmholt-Eintrag) mit der Waldfläche (Holzvorrat) und dem Gewässernetz (Abb. 3). Dabei soll mit schweizweit einheitlichen Daten gearbeitet werden, um regionale Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Für jeden der modellierten Eintragsprozesse werden drei verschiedene Szenarien berücksichtigt, welche

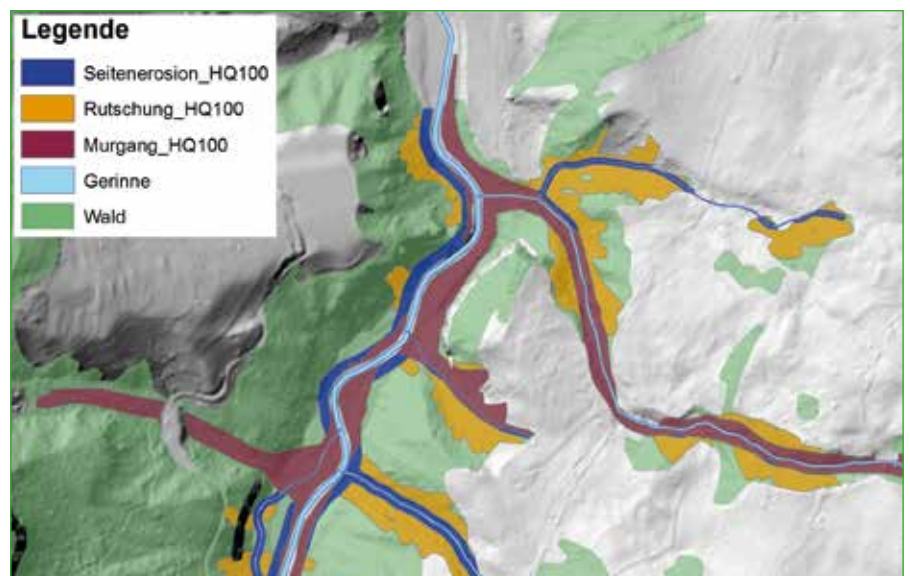


Abbildung 3: Beispiel einer GIS-Modellierung des Schwemmholt potentials mit unterschiedlichen Eintragsprozessen für ein 100-jährliches Ereignis. Ausschnitt aus dem Einzugsgebiet der Chiene im Kanton Bern (Datengrundlage: DOM-AV © 2017 swisstopo (5704 000 000); SilvaProtect-CH © BAFU).

ungefähren Wiederkehrperioden entsprechen: mittel ($\approx HQ_{30}$), selten ($\approx HQ_{100}$) und sehr selten ($\approx HQ_{300}$).

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde eine erste Version des GIS-Modells erarbeitet und auf diverse Testeinzugsgebiete mit bekannten Schwemmh Holz mengen früherer Ereignisse angewendet (Kuratli, 2017). Nach Eingabe aller benötigten Inputdaten berechnet das GIS-Modell automatisch das Schwemmh Holz potential im gewählten Einzugsgebiet. Als Resultat generiert die Applikation eine Output-Tabelle, welche für jeden Eintragsprozess sowie für alle Ereignisintensitäten sowohl die bewaldete Eintragsfläche als auch die potentielle Schwemmh Holzmenge in Festmetern quantifiziert. Zusätzlich kann das Schwemmh Holz potential mithilfe von Daten des Schweizerischen Landesforstinventars (WSL, 2016) in Totholz- und Frischholzvolumen unterteilt sowie die Anzahl der mobilisierten Baumstämme innerhalb der betroffenen Waldfläche abgeschätzt werden.

Abschätzung der Schwemmh Holzfracht

Ausgehend vom berechneten Schwemmh Holz potential wird in einem weiteren Schritt die effektive Schwemmh Holzfracht empirisch abgeschätzt, da während eines Hochwasserereignisses nicht das gesamte potentiell

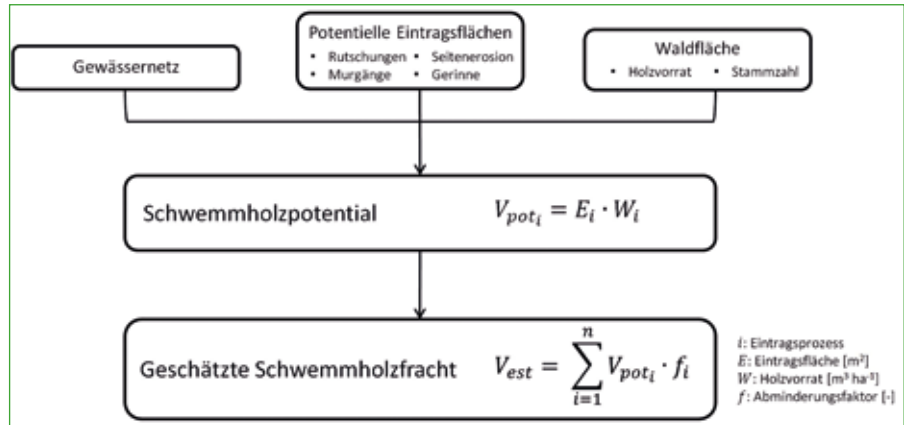


Abbildung 4: Workflow für die Berechnung des Schwemmh Holz potentials V_{pot} und der geschätzten Schwemmh Holzfracht V_{est} .

verfügbare Holz in das Gewässer gelangt und transportiert wird. Hier kommt den so genannten Abminderungsfaktoren eine wichtige Rolle zu (Abb. 4). Die Abminderungsfaktoren werden so gewählt, dass die geschätzten Schwemmh Holzfrachten in der gleichen Größenordnung liegen wie die effektiv transportierten Schwemmh Holz mengen während vergangenen Hochwasserereignissen.

Wird das Schwemmh Holz potential mit den definierten Abminderungsfaktoren multipliziert, ergibt sich eine geschätzte Schwemmh Holzfracht (Abb. 5). Die bisherigen Berechnungen in den Testgebieten haben gezeigt, dass Rutschungen häufig den dominierenden Eintragsprozess darstellen. Zum jetzigen Stand der Arbeit führen die mithilfe des GIS-Modells

und der gewählten Abminderungsfaktoren berechneten Schwemmh Holzvolumen, gemessen an der Jährlichkeit, tendenziell eher zu einer Überschätzung der Menge. Im Allgemeinen zeigt sich, dass die GIS-Modellierung momentan v.a. für kleine und mittlere Einzugsgebiete (<100 km²) die besten Resultate liefert.

Ausblick

Basierend auf diesen Erkenntnissen sind weitere Verfeinerungen des Modellansatzes in Arbeit. Einerseits werden die potentiellen Eintragsflächen, insbesondere der Rutschungen, präzisiert. Andererseits ist eine detailliertere Bestimmung der Abminderungsfaktoren geplant. Für jeden Eintragsprozess sollen nachvollziehbare Bandbreiten von Abminderungsfaktoren

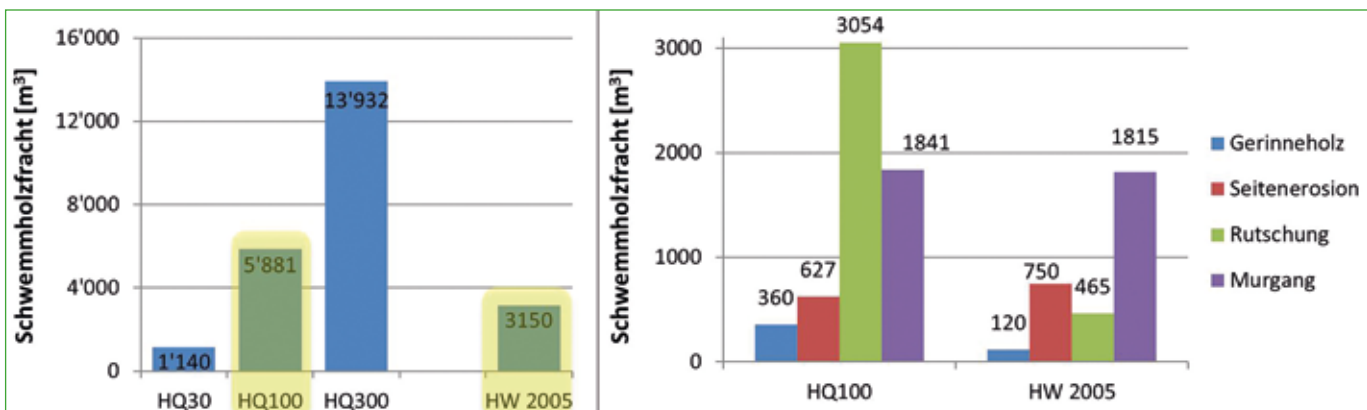


Abbildung 5: Geschätzte Schwemmh Holzfracht und Vergleich mit den nach dem Hochwasser 2005 dokumentierten Schwemmh Holz mengen (Abflussmenge damals ca. 100-jährlich) am Beispiel der Chiene.

rungsfaktoren bestimmt werden. Schliesslich soll auch die Schätzung der anfallenden Schwemmholzmenge deutlich verbessert werden, indem eine detaillierte Rasterkarte (25x25 m) mit Angaben zum Holzvorrat in Schweizer Wäldern (m³/ha) verwendet wird, die momentan noch vom Schweizerischen Landesforstinventar LFI erarbeitet wird.

Die Resultate des GIS-Modells werden auch für weitere Arbeitspakete des Forschungsprogramms WoodFlow verwendet, beispielsweise für die hydrodynamische Modellierung des Schwemmholztransports (Ruiz-Villanueva et al., 2014) oder die Abschätzung von Verklausungswahrscheinlichkeiten (Schalko et al., 2017). Im Hinblick auf ein integrales Naturgefahrenmanagement liefert das vorgestellte GIS-Modell zudem ein praxistaugliches Hilfsmittel für die Risikobeurteilung von Schwemmholzgefahren. So kann einerseits präventiv die forstliche Pflege der Gerinneabhängige optimiert werden. Andererseits können die Resultate bei der Planung und Dimensionierung von baulichen Massnahmen helfen, um Schwemmholz wo möglich weiterzuleiten (z.B. mit genügendem Freibord oder Abflussquerschnitt) oder wo nötig zurückzuhalten (z.B. mithilfe von Schwemmholzrechen oder -netzen).

Literatur

Kuratli B. 2017. Eine GIS-basierte Schätzung des potentiellen Schwemmholzeintrages in alpine Fliessgewässer und Vergleich mit effektiv transportierten Schwemmholzfrachten. Masterarbeit, Geographisches Institut Universität Zürich, 90 S.

Lange D., Bezzola G.R. 2006. Schwemmholz: Probleme und Lösungsansätze. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) an der ETH Zürich 188, 135 S.

Rudolf-Miklau F., Hübl J., Schattauer G., Rauch H.P., Kogelnig A., Habersack H., Schu-lev-Steindl E. 2011. Handbuch Wildholz – Praxisleitfaden. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, 34 S.

Rickli C., Bucher H. 2006. Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Projektbericht zuhanden des Bundesamts für Umwelt BAFU, Sektion Schutzwald und Naturgefahren, Bern, 94 S.

Ruiz-Villanueva V., Badoux A., M Boes R., D. Rickenmann, Rickli C., Schalko I., Schmocker L., Schwarz M., Steeb N., Stoffel M., Weitbrecht V. 2016. Large wood research in Swiss watercourses. River Flow 2016, St. Louis, Taylor & Francis Group, Garcia & Hanes (Eds.), ISBN 978-1-138-02913-2: 785-786.

Ruiz-Villanueva V., Bladé E., Sánchez-Juny M., Marti-Cardona B., Díez-Herrero A., Bodoque J. M. 2014. Two-dimensional numerical modeling of wood transport, J. Hydroinfo., 16(5), 1077-1096. doi: 10.2166/hydro.2014.026.

Schalko I., Schmocker L., Weitbrecht V., Boes R. 2017. Verklausungswahrscheinlichkeit und Aufstau – Aktuelle Forschung zum Thema Schwemmholz an der VAW. Proc. Symposium "Naturgefahren – von der Sturzflut zur Schwemmholzverklausung", TU München, Mitteilung 137, P. Rutschmann (Eds.), ISBN 978-3-943683-12-7: 75-84.

Steeb N., Rickenmann D., Badoux A., Rickli C., Waldner P. 2017. Large wood recruitment processes and transported volumes in Swiss mountain streams during the extreme flood of August 2005. Geomorphology 279, 112–127. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.10.011.

Waldner P., Köchli D., Usbeck T., Schmocker L., Sutter F., Rickli C., Rickenmann D., Lange D., Hilker N., Wirsch A., Siegrist R., Hug C., Kaennel M. 2009. Schwemmholz des Hochwassers 2005. Schlussbericht des WSL-Teilprojekts Schwemmholz der Ereignisanalyse BAFU/WSL des Hochwassers 2005. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 66 S.

WSL, 2016. Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Daten der Erhebungen 2004/06 (LFI3) und 2009/13 (LFI4). Markus Huber 06.06.2016. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.

Soglie pluviometriche per le frane superficiali in Svizzera: definizione e valutazione

Elena Leonarduzzi ^{1,2} (leonarduzzi@ifu.baug.ethz.ch)
 Peter Molnar ¹
 Brian W. McArdell ²

¹ Istituto di ingegneria ambientale, ETH, Zurich

² Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL, Birmensdorf

Zusammenfassung

Ein räumlich hochaufgelöster Datensatz von Rasterniederschlägen und Informationen zu über 2000 von 1972 bis 2012 aufgetretenen Rutschungen aus der Unwetterschadens-Datenbank der Schweiz wurden für die Definition von Niederschlagsschwellenwerten zur Auslösung von flachgründigen Rutschungen in der Schweiz verwendet. In einem ersten Schritt wurden die Erdbeben- und Niederschlagsdaten kolokalisiert. Danach wurden die räumlichen Verteilungen der Niederschlagscharakteristika erarbeitet, verschiedene Niederschlagsschwellenwerte definiert und schließlich die Leistungen des Modellansatzes beurteilt (Leonarduzzi et al., 2017). Die besten Ergebnisse wurden mit der Dauer-Intensitätsschwelle (als Potenzgesetz definiert) erreicht, gefolgt von der täglichen maximalen Intensität (I_{max}), der durchschnittlichen Intensität (I_{media}) und der kumulativen Gesamtniederschlagsmenge (E). Ein nur auf der Niederschlagsdauer basierendes Modell liefert die niedrigste Vorhersagekraft. Lokale Schwellenwerte wurden für verschiedene Regionen festgelegt und dazu Daten zur lokalen Erosionsfähigkeit und zum lokalen Klima (durchschnittlicher täglicher Niederschlag) verwendet. In einem feuchten Klima und bei einer größeren Erosionsfähigkeit wurden für die Auslösung von Erdbeben höhere Schwellenwerte festgelegt. Die mit der Regionalisierung der Schwellenwerte erzielte Verbesserung des Ansatzes ist jedoch nur marginal. Sie fällt z.B. viel geringer aus als die Verbesserung, die durch strengere Berücksichtigungskriterien in der

Erdbebensdatenbank (z.B. nur Ereignisse im Sommerhalbjahr) erreicht werden kann. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen das Potenzial der Niederschlagsschwellenwerte für die Vorhersage von Rutschungen auf nationaler oder regionaler Ebene mit möglicher Anwendung in einem Warnsystem.

Sommario

Dati di precipitazione ad alta risoluzione ed un inventario di frane con oltre 2000 eventi registrati tra il 1972 e il 2012 sono stati utilizzati per la definizione di soglie pluviometriche ai fini dell'individuazione di frane superficiali in Svizzera. In primo luogo le frane e i dati di precipitazione sono stati co-localizzati, successivamente si sono costruite delle distribuzioni delle caratteristiche delle precipitazioni, si sono definite diverse soglie pluviometriche ed infine si sono valutate le loro prestazioni (Leonarduzzi et al., 2017). I migliori risultati sono stati ottenuti utilizzando la soglia durata-intensità, definita come legge di potenza, seguita dalla massima intensità giornaliera I_{max} , dall'intensità media I_{media} e dalla cumulata totale E . Un modello basato esclusivamente su una soglia di durata è risultato il meno predittivo. Soglie locali sono state determinate per regioni delineate in base all'erodibilità e al clima locale (precipitazione media giornaliera). Ad un clima più umido e ad una maggiore erodibilità sono corrisposte soglie più elevate per l'innescare delle frane. Tuttavia, il miglioramento delle prestazioni generato dalla regionalizzazione delle soglie è solo marginale e nettamente inferiore rispetto a quello ottenuto utilizzando

un inventario di frane di maggiore qualità. I risultati presentati mostrano il potenziale dell'uso di soglie pluviometriche per la previsione di frane a livello nazionale o regionale con una possibile applicazione in un sistema di allerta, anche alla scala giornaliera.

Introduzione

In Svizzera le frane sono state riconosciute come la causa di danni corrispondenti a circa 520 milioni di Euro nel periodo tra il 1972 e il 2012 (Hilker et al., 2009), seconde solo alle alluvioni tra i disastri naturali. Pertanto, essere in grado di predire la loro occorrenza sia nello spazio che nel tempo è essenziale per sviluppare mappe di rischio e sistemi di allerta che possano ridurre danni economici e sociali (Stähli et al., 2015). Le maggiori sfide dal punto scientifico e pratico in questo campo nascono dalla complessità dei processi che determinano la struttura del suolo e la stabilità dei pendii (cause predisponenti) e dalle condizioni ambientali che portano alla riduzione della resistenza al taglio del terreno ed infine al cedimento della massa di suolo (cause scatenanti).

Le precipitazioni sono riconosciute come causa scatenante nella maggior parte delle frane superficiali nelle Alpi e diversi approcci empirici e probabilistici sono stati sviluppati per quantificare la relazione tra l'occorrenza di frane ed eventi precipitativi con determinate caratteristiche. Tra questi, l'approccio più comune è quello che consiste nella definizione di una soglia durata-intensità (DI) di pioggia come legge di potenza che quantifica le con-

dizioni precipitative in grado di innescare una frana. Questo concetto è stato introdotto da Caine (1980) ed è stato utilizzato in numerosi studi in tutto il mondo (vedi rassegna bibliografica in Guzzetti et al., 2008).

La novità di questo lavoro è legata alle caratteristiche dei dati utilizzati. Questi hanno permesso di eseguire un'analisi che non era possibile in precedenza. Infatti (a) usando un prodotto su griglia ad alta risoluzione il problema di selezionare un pluviometro rappresentativo per ogni frana è venuto meno; (b) considerando non solo eventi innescanti ma anche non innescanti, i falsi allarmi sono stati esplicitamente presi in considerazione; (c) avendo a disposizione un numero di frane sufficiente per ciascuna regione, delle soglie locali sono state definite con sufficiente accuratezza.

Soglie Pluviometriche Nazionali

La definizione delle soglie pluviometriche si è basata sulla massimizzazione del True Skill Statistic ($0 \leq TSS \leq 1$), una misura statistica legata alla somma di specificità (probabilità di prevedere come non innescante un evento effettivamente tale) e sensibilità (probabilità di prevedere come innescante un evento ef-

fettivamente tale), che quindi include sia veri positivi (frane correttamente predette) che falsi allarmi. In primo luogo gli eventi di precipitazione nelle celle in cui almeno una frana è stata storicamente registrata sono stati definiti come serie di giorni piovosi ($>1\text{mm/gg}$) consecutivi e distinti in eventi innescanti se una frana è stata registrata nella specifica cella durante l'evento, e non innescanti, altrimenti. Per ogni evento la massima intensità giornaliera, l'intensità media, la durata e la cumulata totale sono state calcolate. Successivamente è stato definito un modello di soglie, basato su ciascuna di queste caratteristiche. Confrontando predizioni ed osservazioni si possono calcolare diverse misure statistiche che permettono di valutare la predittività della specifica caratteristica (curva ROC) o di trovare il migliore valore della soglia, per esempio massimizzando il TSS.

La procedura è stata ripetuta per tutte le caratteristiche sopra elencate e i risultati hanno mostrato che simili prestazioni sono ottenute utilizzando come variabili intensità media (15.4mm/gg , $TSS=0.65$), intensità massima (28.3mm/gg , $TSS=0.64$) e cumulata totale (43.0mm , $TSS=0.59$), mentre per la durata

sono sensibilmente peggiori (3gg , $TSS=0.23$). Le migliori prestazioni sono state ottenute considerando una soglia definita come legge di potenza nel piano durata-intensità (Figura 1), trovando la combinazione dei parametri della curva che massimizzassero il TSS ($I_{\text{media}} = 18.3D^{-0.21}$, $TSS=0.67$).

Soglie Pluviometriche Locali

In aggiunta alla soglia nazionale, soglie locali sono state definite per analizzare espressamente l'effetto di includere alcuni fattori predisponenti. La Svizzera è stata divisa in 4 aree con diversa erodibilità (Kühni et al., 2005), 4 con diversa precipitazione media giornaliera (PMG) e 16 date dalle combinazioni delle precedenti. Per ciascuna di queste regioni è stata definita una differente soglia di massima intensità giornaliera. I risultati mostrano che le prestazioni migliorano sistematicamente in ogni regionalizzazione (erodibilità $TSS + 0.007$, PMG $TSS + 0.013$, erodibilità e PMG $TSS + 0.025$). Tuttavia questi miglioramenti sono piuttosto marginali, soprattutto se confrontati con quelli ottenuti con un inventario di frane più accurato. Rimuovendo dall'analisi le frane indotte da altre cause rispetto alla

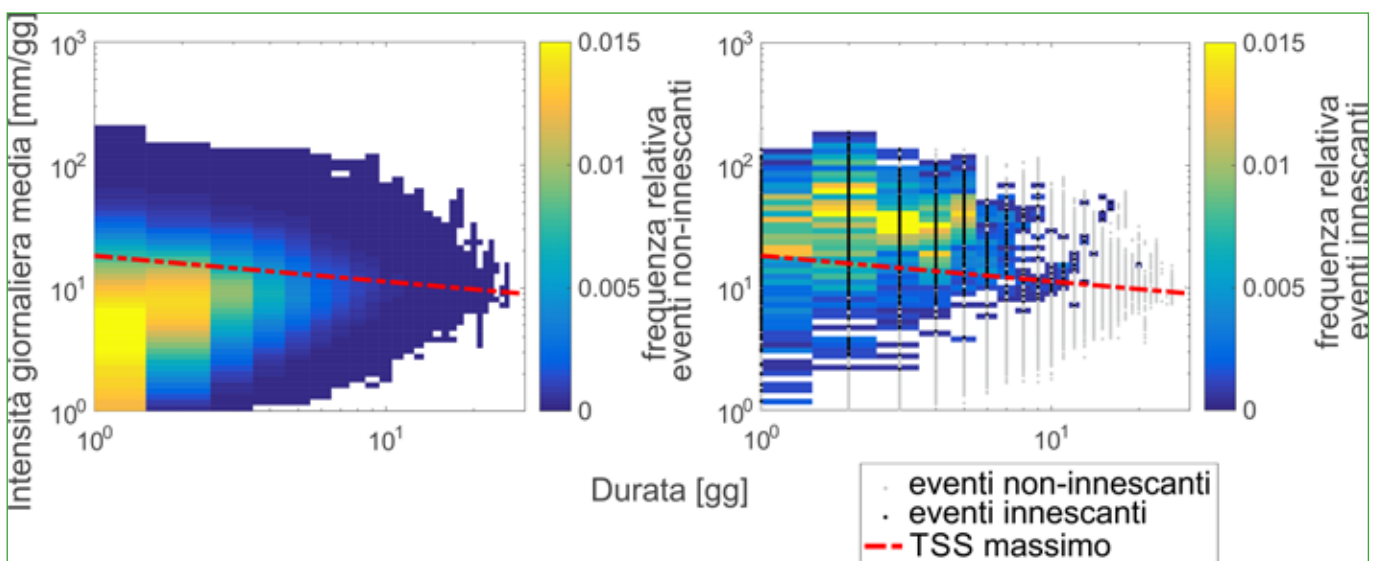


Figura 1. Grafico di durata-intensità con frequenza relativa di eventi non innescanti (sinistra) ed innescanti (destra). La legge di potenza ottenuta massimizzando il TSS è rappresentata con una retta rossa.

precipitazione (e.g. scioglimento delle nevi), il TSS della miglior soglia di massima intensità giornaliera aumenta di 0.07. Ciò nonostante, il trend nel valore delle soglie ottimali per le diverse regioni mostra chiaramente una relazione con le cause predisponenti considerate. La soglia di massima intensità giornaliera aumenta al diminuire dell'erodibilità e all'aumentare del PMG (clima più umido). Questo ultimo risultato suggerisce l'esistenza di un equilibrio tra formazione del suolo ed erosione nei pendii affetti da fenomeni franosi, che fa sì che la mancanza di terreno sufficiente possa limitare l'occorrenza di frane superficiali nelle regioni più umide. Questo equilibrio è considerato solo implicitamente quando vengono incluse le variabili di precipitazione normalizzate dal PMG (e.g., Cannon, 1988; Guzzetti et al., 2008) o quando le soglie sono basate puramente sulle distribuzioni di precipitazione (e.g., Pedrozzi, 2004).

Infine, le soglie locali per le differenti regioni sono state definite anche per l'intensità massima giornaliera normalizzata. Ossia, si è definita per ogni regione una soglia di I_{max}/PMG e si è poi moltiplicata per il valore di PMG di ciascuna cella per ottenere la corrispondente soglia di massima intensità giornaliera. Questo processo corrisponde ad una regionalizzazione estrema, nel senso che ogni cella può potenzialmente avere una diversa soglia I_{max} . In Figura 2 si può osservare un confronto tra due casi estremi: sulla sinistra quando una sola soglia nazionale è applicata e sulla destra quando sono calcolate 16 diverse soglie I_{max}/PMG , e poi una singola soglia I_{max} per ciascuna cella. Il range delle soglie in questo caso è decisamente ampio, fino ad un massimo di 104 mm/gg. Questo permette al contempo di ridurre i falsi allarmi nelle zone più umide ed aumentare le previsioni corrette nelle zone tipicamente interessate da eventi precipitativi meno intensi.

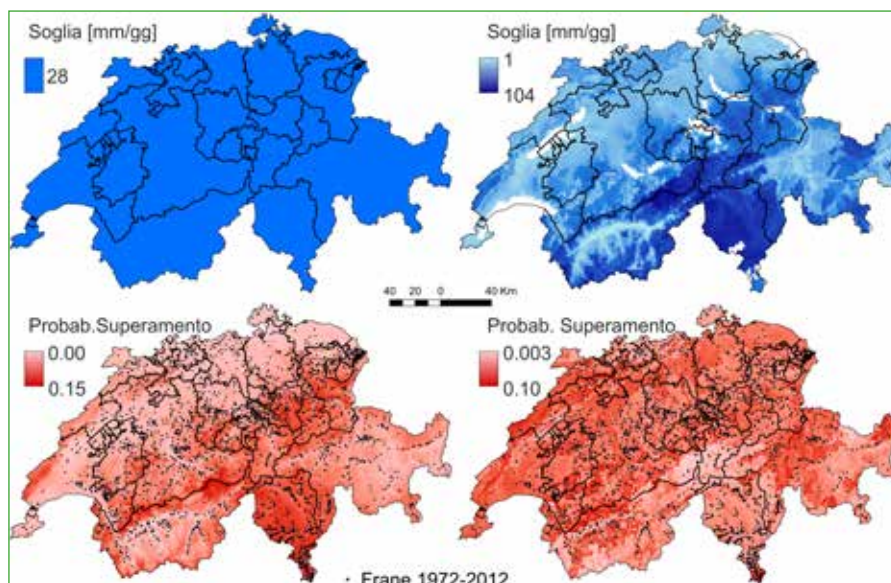


Figura 2. Soglie e corrispettiva probabilità di superamento calcolata per gli anni 1972-2012 per il caso base di una soglia di massima intensità giornaliera per l'intera nazione (a sinistra) e il caso di 16 soglie di I_{max}/PMG (a destra)

Verifica

Alcuni test sono stati condotti per verificare la robustezza del metodo sviluppato e l'accuratezza dei risultati ottenuti. Per il loro confronto e valutazione, è stata utilizzata la curva ROC: per una data caratteristica della precipitazione (in questo caso massima intensità giornaliera), le coppie di sensibilità e specificità vengono rappresentate per ogni possibile valore della soglia. Più la curva risultante si distacca dalla diagonale (0,1), (1,0) migliori sono le prestazioni, ovvero più alta è la predittività della caratteristica. Ciascun test è stato ripetuto 100 volte generando 100 corrispondenti curve ROC (Figura 3). Prima di tutto, utilizzando un numero di anni scelti casualmente tra i 41 totali, la dispersione dalle curve cresce a causa della maggiore variabilità introdotta, ma non si nota nessun errore sistematico. Il risultato di questi test è significativo soprattutto se confrontato con i successivi. Infatti, per esempio, considerare un egual numero di eventi non innescanti (scelti casualmente) e innescanti introduce una variabilità paragonabile ad utilizzare solo 20 anni per l'analisi. Il fatto che la variabili-

tà sia piccola, anche nella corrispettiva soglia ottimale, conferma che il TSS è una misura statistica robusta rispetto al problema della prevalenza, ovvero che il numero di eventi non-innescanti (oltre 3 milioni) è molto superiore rispetto a quello degli innescanti. Infine, quando l'inventario delle frane viene alterato e le date o le coordinate delle frane vengono modificate, le prestazioni crollano, e anche la migliore delle curve ottenute in questi casi è nettamente peggiore rispetto alla peg-

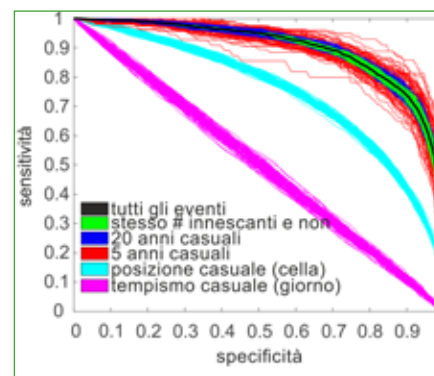


Figura 3. Curve ROC ottenute per la massima intensità giornaliera nell'analisi standard (tutti gli eventi) e nei diversi test di verifica selezionando un egual numero di eventi innescanti e non (stesso # innescanti e non), scegliendo casualmente alcuni anni (5 e 20 anni casuali) e randomizzando la posizione (posizione casuale) o il tempismo (tempismo casuale) delle frane.

giore curva ottenuta considerando solamente 5 anni. Quando è la data ad essere alterata casualmente, ogni legame con gli eventi precipitativi è rimosso e le prestazioni sono equivalenti a quelle di un modello perfettamente casuale. Se invece è la posizione ad essere modificata, la predittività rimane comunque nettamente superiore a quella di un modello casuale. La spiegazione di questo risultato è che quando una frana avviene in Svizzera, generalmente gran parte del Paese è influenzata dall'evento precipitativo innescante o comunque da un evento intenso.

Conclusioni

Dati di precipitazione giornaliera interpolati su una griglia per la Svizzera (*RhiresD*, *MeteoSvizzera*) sono stati utilizzati congiuntamente ad un inventario contenente oltre 2000 frane catalogate in Svizzera (*Swiss flood and landslide damage database*, Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL) in un periodo di 41 anni, dal 1972 al 2012, per determinare soglie pluviometriche per l'innescamento di frane superficiali.

La risoluzione spaziale e le osservazioni in continuo di precipitazione, così come il gran numero di frane disponibili, hanno permesso di associare eventi precipitativi e frane, di considerare sia eventi innescanti che non, ed infine di determinare soglie sia su scala nazionale che locali.

Le conclusioni principali sono:

- La rappresentazione ROC e il TSS, che bilanciano corrette previsioni e falsi allarmi, permettono di elaborare statistiche funzionali alla definizione di soglie pluviometriche per le frane superficiali. Le migliori prestazioni sono state ottenute usando una soglia durata-intensità, seguita da quelle basate su intensità media, intensità massima e cumulata totale di precipitazione.

- La definizione di soglie locali ha mostrato che un clima più umido e una minore erodibilità rendono necessarie precipitazioni più intense per l'innescamento di una frana.
- I risultati di alcuni test di verifica hanno dimostrato che la metodologia è robusta rispetto alla prevalenza di eventi non-innescanti e alla durata temporale dell'inventario delle frane. Anche se la posizione delle frane viene modificata, il modello ha comunque un valore predittivo legato alla natura degli eventi meteorologici associati alle frane, che di solito interessano una larga porzione della nazione.

Questi risultati sottolineano il potenziale dell'uso soglie di durata-intensità e massima intensità giornaliera per predire l'occorrenza di frane su scala nazionale o locale. Due principali sviluppi sono previsti nel lavoro futuro: l'estensione del modello alla scala oraria che permetterà di identificare anche le frane innescate da brevi ed intensi eventi convettivi e l'inclusione come variabile di stato dell'umidità del terreno antecedente all'evento di pioggia, stimata con un modello idrologico.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL) per l'inventario di frane e l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (*MeteoSvizzera*) per i dati di precipitazione messi a disposizione e Dr. Simone Faticchi, Mariella Laurenti (IT) e Dr. Alexandre Badoux (DE) per la revisione dell'articolo.

Bibliografia

Caine N., 1980. The rainfall intensity: duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. 1:23-27.

Cannon S., 1988. Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity, *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 1434, 35-42.

Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C.P., 2008. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*. 5(1):3-17.

Hilker N., Badoux A., Hegg C., 2009. The Swiss flood and landslide damage database 1972-2007. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 9(3):913-925.

Leonarduzzi E., Molnar P., McArdell B.W., 2017. Predictive performance of rainfall thresholds for shallow landslides in Switzerland from gridded daily data, *Water Resour. Res.*, 53, 6612-6625, doi:10.1002/2017WR021044.

Kühni A., Pfiffner O.A., 2001. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250-m DEM. *Geomorphology*. 41(4):285-307.

Pedrozi G., 2004. Triggering of landslides in Canton Ticino (Switzerland) and prediction by the rainfall intensity and duration method. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 63(4):281-291.

Stähli M., Sättele M., Huggel C., McArdell B.W., Lehmann P., Van Herwijnen A., Berne A., Schleiss M., Ferrari A., Kos A., Or D., 2015. Monitoring and prediction in early warning systems for rapid mass movements. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 15(4):905-917.

Retour d'expérience sur l'assainissement du Quartier des Roches à Vully-les-Lacs (VD) entre 2001 et 2015

Sébastien Lévy (Inspection cantonale des forêts, Direction générale de l'environnement, Lausanne, sebastien.levy@vd.ch)

Zusammenfassung

Die Sanierungsarbeiten im Quartier Les Roches bei Vully-les-Lacs wurden nach einem mehrjährigen Verfahren im 2015 abgeschlossen. Sie bestanden in der Verschiebung von 15 Villen aus einem durch Steinschlag, Rutschungen und Hangmuren betroffenen Bereich. Zum Schutz der unterhalb liegenden Kantonsstrasse wurde am Standort der früheren Häuser ein Damm errichtet. Es handelt sich um den letzten Teil eines Projektes, das sich als eines des wichtigsten des Kantons Waadt erweist. Begonnen hat die Geschichte 2001, als mehrere Behausungen durch Rutschungen beschädigt oder zerstört wurden.

Résumé

Les travaux de sécurisation du quartier des Roches à Vully-les-Lacs se sont terminés en 2015, après plusieurs années de procédure. Ils ont consisté à déplacer 15 villas hors d'une zone touchée régulièrement par des chutes de blocs, des glissements de terrain et des coulées de boue. Une digue de protection a également été construite à la place des anciennes maisons, afin d'assurer la sécurité de la route cantonale en aval. Il s'agit de l'épilogue d'un des projets les plus importants du canton de Vaud, qui a commencé en 2001, lorsque plusieurs habitations ont été endommagées ou détruites par des glissements de terrain. Des procédures administratives complexes sont la cause de la longue durée de ce projet.

Introduction

La commune de Vully-les-Lacs (créée suite à la fusion des communes de Vallamand et de Mur) jouit d'une belle situation, au bord du lac de Morat, à une cinquantaine de kilomètres de Berne. Elle a pourtant été le théâtre d'un des projets de protection contre les dangers naturels les plus complexes du canton de Vaud, avec la résolution, entre 2014 et 2017, d'un problème identifié dès la fin des années 1950. C'est à cette époque qu'a été entreprise la construction d'un quartier de 15 villas au lieu-dit "Les Roches" (Figure 1). Ce quartier a été ensuite régulièrement touché par des coulées de boue et des chutes de pierres (Figure 2), jusqu'en mars 2001 où deux glissements de respectivement 5'000 et 2'000 m³ ont provoqué la destruction d'une maison, heureusement inhabitée, et l'évacuation temporaire des autres habitations. En avril 2006, un nouvel événement a conduit à l'évacuation définitive du quartier. De nombreuses études et procédures administratives ont suivi ces événements, conduisant au déplacement des habitations concernées hors de la zone dangereuse, à l'indemnisation des propriétaires concernés et à la sécurisation de la route cantonale qui borde le secteur. Aujourd'hui en passe d'être bouclé, ce cas aura coûté près de 10 millions de CHF à la collectivité (Confédération, Canton et commune) et aux propriétaires fonciers.

Contexte et historique

Le quartier des Roches se situe au Nord-Est de la commune de Vully-les-Lacs, à 1 km de la frontière avec le canton de Fribourg. La falaise surplombant le quartier constitue le versant Sud du Mont Vully. La géologie du secteur est caractérisée par la molasse aquitanaise gréseuse et marneuse qui affleure en grands bancs de grès (0.4 à 5 mètres d'épaisseur) entrecoupés de marnes. Le pendage de ces couches tend vers l'horizontale. Deux principaux jeux de fissures sont présents, l'un parallèle au versant (orientation N45°-60°) responsable de la topographie actuelle, l'autre perpendiculaire au versant (orientation N135°-150°), découpant celui-ci en compartiments et présentant des chemins d'écoulement préférentiels pour les eaux souterraines et de surface. La molasse est couverte par des éboulis (grès, marnes et sables), par de la moraine sablo-limoneuse et localement par des matériaux de remblais.

Les premières constructions sur le site sont des constructions militaires. Le projet de

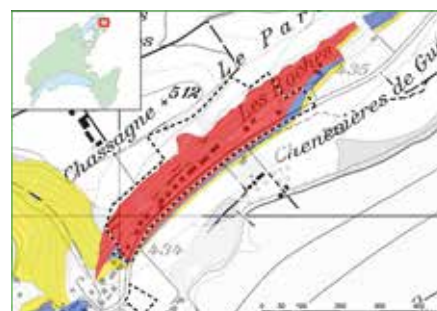


Figure 1 : Plan de situation et cartes de danger de glissements superficiels du quartier des Roches. Le périmètre du quartier apparaît en trait-tillé noir-blanc.

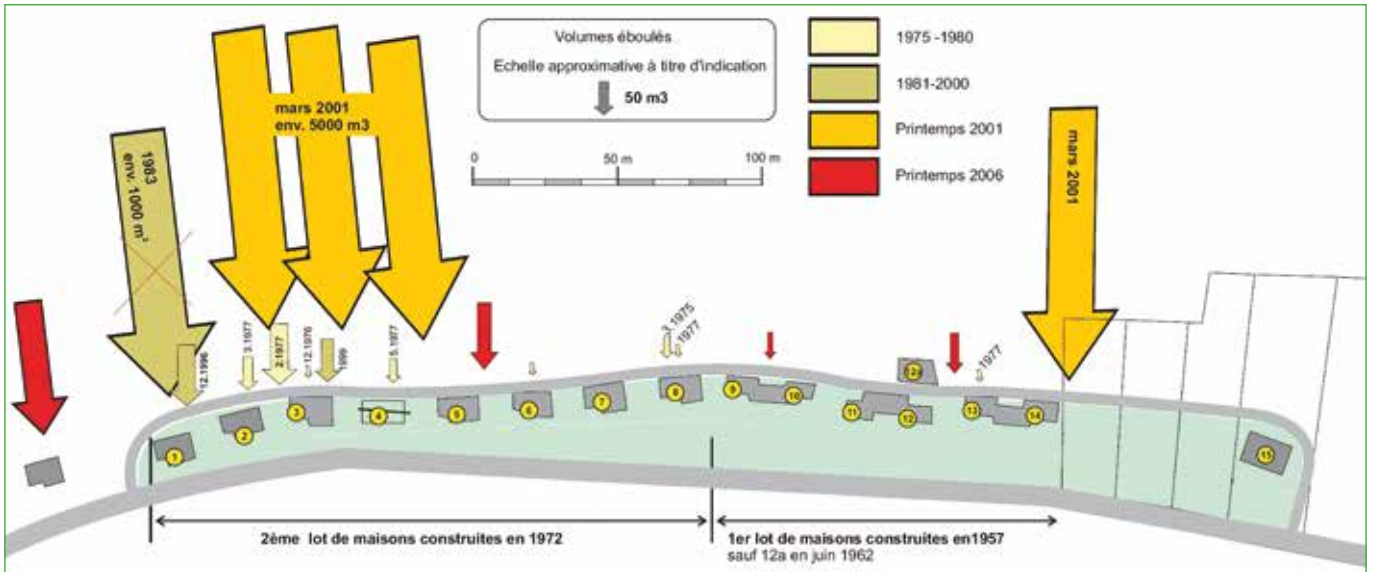


Figure 2 : Historique des événements ayant touché le quartier, schéma adapté de ABA-GEOL (2009).

construction aux Roches date de 1956 et les premiers travaux débutent l'année suivante, avec la création du chemin de quartier et la construction de 6 maisons. Peu après, entre 1958 et 1960, un événement d'environ 70 m³ atteint le chemin. Entre 1962 et 1972, les 9 autres maisons sont construites (Figure 3). En 1974, suite à un arrêté fédéral obligeant le zonage par les communes, un plan de zones est établi et les parcelles déjà construites sont affectées en zone à bâtir. Entretemps, des chutes de blocs d'un volume d'environ 35 m³ atteignent une maison au centre du secteur. En 1976, l'Etablissement cantonal d'assurance (ECA) écrit aux propriétaires pour les avertir que leur police d'assurance ne couvrira pas les dégâts dus aux coulées de boue et chutes de pierres. La plupart des propriétaires se tournent alors vers des assurances privées. D'importants glissements touchent la partie Sud-Ouest du quartier au début 1977. Entre 1980 et 1983, quelques glissements et tassements sont constatés sur l'entier du secteur, et quelques mesures de stabilisation ponctuelles sont prises. Aucun événement marquant ne survient avant fin 1996. Lorsque 2 glissements (de respectivement 50 et 80 m³) touchent la

maison située au Sud du quartier en 1999, un syndicat d'améliorations foncières (SAF) est constitué, dont l'objectif est de sécuriser le quartier. Des travaux de consolidation (pièges, purges, filets de protection, drainages, clouages) sont entrepris en 2000, mais peu après, en mars 2001, des précipitations exceptionnelles provoquent deux glissements, de respectivement 2'000 et 5'000 m³. Ils causent la destruction d'une maison, dont les occupants étaient heureusement absents au moment de l'événement, l'endommagement d'autres maisons et du chemin de quartier. Plusieurs habitants doivent alors abandonner

leur maison et trouver un logement temporaire. L'armée participe au déblaiement d'une partie du secteur, mais les dégâts sont importants. Les habitants des maisons non-touchées par les glissements ont pu reprendre possession de leur logement. En avril 2006, des nouvelles précipitations abondantes provoquent un important glissement de terrain (Figures 4) qui conduit à l'évacuation définitive du quartier, ainsi que la fermeture provisoire de la route cantonale. Les communes de Vallamand et de Mur retirent le permis d'habiter des maisons concernées le 30 mai 2006.



Figure 3: Quartier des Roches avant les événements de 2001. Photo : V. Pleines, DGE, 1999.

Analyse et résolution du problème

Après ces événements, plusieurs variantes ont été étudiées afin d'assainir le site. Une sécurisation par des mesures techniques s'est vite révélée difficile, aussi bien au niveau technique que financier. L'assainissement complet du secteur n'était possible qu'en dézonnant les parcelles, en déconstruisant les maisons et en les remplaçant par une digue de protection afin d'assurer la sécurité de la route cantonale et de ses usagers (Figure 5). Cette variante a reçu l'aval des propriétaires concernés, de la commune, du SAF et des autorités cantonales et fédérales. Elle impliquait notamment une indemnisation pour les propriétaires expropriés, sur la base d'une analyse de la valeur des terrains par la commission cantonale immobilière.

Une fois validée par les différentes parties, la réalisation de cette variante a rencontré plusieurs problèmes, principalement d'ordre juridico-administratif.

Les terrains de remplacement ont été répartis sur deux secteurs jusqu'alors situés en zone agricole sur le territoire de la commune de Vallmand. Originellement, un seul plan d'affectation devait être créé, mais en raison des demandes du service cantonal en charge de l'aménagement du territoire, il a été nécessaire d'en créer un second. Celui-ci étant situé dans une zone inondable, il a



Figure 4 : Maison détruite par les glissements. Photo : V. Pleines, DGE, 2007

fallu prendre des mesures pour le protéger contre les inondations (mise à ciel ouvert du ruisseau). Cette procédure a fait l'objet de recours, lesquels ont dû attendre un jugement du tribunal fédéral pour être rejetés, retardant ainsi grandement le début des travaux.

En effet, l'entrée en vigueur de ces plans d'affectation était nécessaire pour que le transfert de propriété soit ordonné. Celui-ci a eu lieu le 28 février 2014, soit 13 ans après les premières évacuations.

Une fois ces procédures administratives terminées, les phases d'appel d'offres et de chantier ont pu être exécutées relativement rapidement. Les travaux définitifs ont débutés en décembre 2014 et se sont achevés en septembre 2015 (Figure 6). De plus, depuis le 1^{er} janvier 2011, une directive cantonale était entrée en vigueur, ordonnant que tous travaux de grande ampleur sur un bâtiment fassent l'objet d'une expertise amiante et, le cas échéant, d'un désamiantage, le tout sous des conditions strictes. Comme plusieurs

bâtiments du quartier étaient concernés, les travaux de déconstruction ont été plus compliqués et plus coûteux que prévu.

Bien que passablement endommagées, les maisons gardaient un effet protecteur pour la route cantonale. Afin d'éviter que la route se trouve en déficit de protection entre la déconstruction des maisons et la construction de la digue, ces travaux ont été effectués en parallèle, compliquant encore quelque peu l'organisation de la phase chantier.

Quelques maisons, hors de la zone de danger, ont pu être maintenues aux extrémités du quartier. Elles sont actuellement toujours en zone à bâtir, alors que les parcelles déconstruites ont été rendues à la zone agricole.

Ce retard dans l'approbation des plans d'affectation a fait que des travaux d'urgence ont dû être pris, notamment lors d'un glissement en 2013, afin d'assurer la sécurité des maisons à maintenir et celle de la route cantonale. Pour preuve, le système d'alerte



Figure 5 : Plan des ouvrages réalisés. Tiré de ABA-GEOL (2016).

et de surveillance du secteur mis en place en 2001 a fonctionné jusqu'en 2015, soit 10 ans de plus que prévu.

De plus, la durée du projet a augmenté la prise en charge, par le Canton, des intérêts hypothécaires à hauteur de presque 1 million de CHF pour les propriétaires des maisons délocalisées. En ce qui concerne la valeur des terrains, celle calculée par la commission cantonale immobilière était basée sur une valeur du terrain supérieure à celle reconnue par l'OFEV. La différence a été prise en charge par le canton.

Au final, le coût des travaux se monte à près de 10 millions de CHF, dont près de la moitié pour la déconstruction des bâtiments et l'équipement des terrains de remplacement. Le solde comprend les mesures de sécurisation, la déconstruction des habitations, les honoraires des géologues et géomètres, les intérêts hypothécaires, etc. La Confédération a pris en charge environ 30% des coûts, et le canton les 70% restants. La commune et les propriétaires avaient, quant à eux, pris en charge les travaux de sécurisation plus anciens.

Retour d'expérience

L'établissement de ce concept de mesures date d'une époque où peu de personnes avaient une expérience relative au déplacement d'infrastructures hors des zones de danger, hormis celle du cas de Falli Hölli (FR) en 1994. De plus, un projet d'une telle ampleur dépasse largement le domaine de compétences de la protection contre les dangers naturels. Les aspects touchés concernaient notamment :

L'analyse des dangers et des risques.

La nature incertaine du terrain, ainsi que l'évolution des méthodes d'analyse entre 1999 et 2009 ont conduit à la création, puis au remaniement des documents de base (cartes des dangers, cartes des intensités,



Figure 6 : Digue de protection réalisée à la place des maisons. Photo : S. Lévy, DGE, 2015

analyses de risque). L'analyse des variantes a également évolué, en partant de mesures de sécurisation dans le versant pour arriver à la solution finale de dézonage et transfert des habitations dans un endroit sûr.

L'aménagement du territoire. Construit progressivement dès la fin des années 50, le quartier des Roches a été ensuite maintenu en zone à bâtir, sans prendre en compte le caractère particulièrement dangereux des aléas naturels qui le menaçaient. L'endroit s'est vite révélé impropre à la construction, mais bien trop tard par rapport à l'aménagement du territoire.

L'indemnisation des propriétaires. Alors qu'à Falli Hölli, l'assurance obligatoire des bâtiments contre les éléments naturels avait dédommagé tous les propriétaires, dans le cas des Roches, l'ECA avait sorti de sa couverture tous les dégâts liés aux glissements de terrain, reportant ce processus d'indemnisation sur le canton. S'en sont alors suivies toutes les procédures d'évaluation de la valeur des terrains et des habitations par des entités

créées pour l'occasion, et dont la pratique différait de celle de l'OFEV.

Le choix d'un terrain de remplacement.

Afin de donner aux propriétaires lésés un terrain de remplacement apte à la construction, il a été décidé d'affecter du terrain agricole en zone à bâtir. Initialement ce terrain était prévu hors du périmètre de localité (cf. Figure 7, "L'Epine"), ce qui a suscité, auprès du service cantonal en charge de l'aménagement du territoire, la crainte d'ouvrir la porte à une extension de la zone à bâtir au détriment de la zone agricole. Une partie du secteur choisi a donc dû être déplacée sur un terrain plus proche du tissu déjà bâti, également en zone agricole, mais soumis à un danger d'inondation par le ruisseau qui le traverse (cf. Figure 7, "Les Garinettes"). En plus d'augmenter les coûts et la durée des procédures d'aménagement du territoire, il a été nécessaire de prendre des mesures de protection contre les crues (mise à ciel ouvert). C'est ce secteur qui a été la cible de recours, bloquant ainsi tout le projet jusqu'à ce que le jugement soit rendu par le Tribunal fédéral.



Figure 7 : Localisation des terrains de remplacement ("L'Épine" et "Les Gariettes") pour les propriétaires des maisons détruites ("Les Roches").

La maîtrise d'ouvrage. Elle a été confiée au syndicat d'entreprises de grands travaux "Les Roches", soumis à des règles de fonctionnement très strictes.

Le mode de financement des mesures. Payé dans sa quasi-totalité par la Confédération et le Canton, le projet a vécu la réforme de la péréquation financière et de la répartition des tâches entre la Confédération et les cantons (RPT), avec ses nouvelles exigences quant au contenu des dossiers d'avant-projet. Au niveau cantonal, le crédit d'objet approuvé en 2007 a dû faire l'objet d'un crédit additionnel pour la prise en charge des surcoûts liés notamment aux intérêts à verser aux propriétaires et la mise à ciel ouvert du ruisseau.

Toutes ces incertitudes, modifications de pratiques et procédures ont eu un **immense impact psychologique sur les personnes concernées**, aussi bien propriétaires qu'autorités locales ou experts. En effet, si le cas de Falli Hölli a pu être résolu relativement rapidement, dans le cas du quartier des

leur a été attribuée, en raison de leur âge. La Confédération a néanmoins accepté de verser la subvention pour le transfert de propriété, grâce au fait que les parcelles de remplacement ont toutes été équipées pour être reconstruites rapidement, même par d'autres propriétaires que ceux à qui appartenaient les terrains dans le quartier des Roches. La communication sur le projet et l'information aux propriétaires ont été faites principalement via la commune, le syndicat d'améliorations foncières ou les experts, avec des pouvoirs publics qui ont pu être perçus comme agissant de manière lointaine ou détachée. Dans de tels cas, il est absolument primordial d'être le plus transparent possible et le plus à l'écoute des questionnements et des craintes des personnes les plus concernées et de renforcer le domaine de la communication et du soutien psychologique.

Conclusion

Pour des raisons administratives et juridiques, le projet d'assainissement du quartier des Roches a pris beaucoup de temps à

se réaliser. Une fois les blocages levés, la phase de chantier a été exécutée de manière exemplaire, amenant à la délocalisation des maisons menacées et à la réalisation d'une digue de protection de la route cantonale permettant de réduire les risques pour ses usagers. Les terrains de remplacement sont en cours de construction et le projet est en passe d'être bouclé administrativement. Le retour d'expérience sur ce projet montre qu'au-delà des aspects purement techniques et procéduriers, des personnes et des familles sont touchées dans leur vie quotidienne. Dans ces conditions, le soutien des autorités auprès des personnes concernées est absolument primordial. Ce soutien ne se limite de loin pas à l'aspect technique ou financier, mais comprend surtout le domaine de la communication et de la psychologie.

se réaliser. Une fois les blocages levés, la phase de chantier a été exécutée de manière exemplaire, amenant à la délocalisation des maisons menacées et à la réalisation d'une digue de protection de la route cantonale permettant de réduire les risques pour ses usagers. Les terrains de remplacement sont en cours de construction et le projet est en passe d'être bouclé administrativement. Le retour d'expérience sur ce projet montre qu'au-delà des aspects purement techniques et procéduriers, des personnes et des familles sont touchées dans leur vie quotidienne. Dans ces conditions, le soutien des autorités auprès des personnes concernées est absolument primordial. Ce soutien ne se limite de loin pas à l'aspect technique ou financier, mais comprend surtout le domaine de la communication et de la psychologie.

Le cas du quartier des Roches confirme le besoin de connaître les dangers naturels, de déterminer les zones qu'ils menacent et de prendre en compte les risques qu'ils représentent pour les activités humaines. Une prise de conscience, par les collectivités publiques et par la population, de la présence de dangers naturels potentiels, est nécessaire. Les données de base sur les dangers et une communication claire et transparente en sont les outils.

Littérature

ABA-GEOL (2009): Analyse des risques liés aux dangers naturels, avant-projet modifié, complété et mis à jour, VD01840 Quinquies.

ABA-GEOL (2016): Travaux exécutés et plan de sécurité d'entretien et d'exploitation, rapport de fins de travaux, VD03951.

Parriaux A. (2006): Instabilité géologique du Quartier des Roches.

Neue Fachinformationen und Hilfsmittel für den Gebäudeschutz vor Naturgefahren

Benno Staub (Elementarschaden-Prävention, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF, Bern, benno.staub@vkf.ch)

Résumé

Une approche globale visant une réduction des risques est essentielle si l'on veut prévenir efficacement les dommages dus aux éléments naturels. Les risques naturels gravitationnels et météorologiques doivent être pris en compte ensemble et tous les acteurs engagés au niveau de la construction et de l'exploitation des bâtiments doivent être impliqués dans la problématique sur les risques. Pour ce faire, la plate-forme d'information protection-dangers-naturels.ch met à la disposition des maîtres d'ouvrage, des architectes et des planificateurs ainsi que des spécialistes en risques naturels non seulement les connaissances spécialisées les plus récentes, mais aussi diverses aides pratiques, telles que l'outil de calcul de rentabilité *Prevent-Building*, le répertoire grêle et des check-lists. L'outil en ligne comprend désormais une version révisée des recommandations AEAI "Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels / météorologiques". Pour la première fois, il est possible de sélectionner de manière interactive différentes situations et parties de bâtiment afin de recevoir des recommandations de mesures personnalisées.

Zusammenfassung

Eine integrale und auf Risikominimierung fokussierende Sichtweise ist zentral zur wirksamen Prävention von Elementarschäden. Die gravitativen und die meteorologischen Naturgefahren müssen gemeinsam berücksichtigt und sämtliche am Bau und

Betrieb von Gebäuden beteiligten Akteure in den Risikodialog eingebunden werden. Hierzu bietet die Informationsplattform schutz-vor-naturgefahren.ch Bauherren, Architekten und Planern sowie Naturgefahrenspezialisten nebst dem neusten Fachwissen diverse Praxishilfen, beispielsweise das Berechnungstool zur Kostenwirksamkeit *Prevent-Building*, das Hagelregister und Checklisten. Neu enthält das Online-Tool eine überarbeitete Version der VKF-Wegleitungen „Objektschutz gegen gravitative / meteorologische Naturgefahren“. Damit ist erstmals eine interaktive Abfrage individueller Massnahmenvorschläge möglich, spezifisch für verschiedene Situationen und Bauteile.

Gefahrengrundlagen und deren Anwendung im Planungsprozess

Inzwischen sind für fast alle Siedlungsgebiete der Schweiz Gefahrenkarten verfügbar und die Gefahreninformation fliesst kontinuierlich in die Richt- und Nutzungsplanung ein. Dies ist unbestritten ein Meilenstein auf dem Weg zu einem nachhaltigen Umgang mit Naturgefahren, denn die raumplanerische Begrenzung des Schadenpotentials wirkt langfristig. Doch das Meiden der bekannten ausgeschiedenen Gefahrenzonen alleine reicht zur Risikoreduktion nicht aus. Schadenzahlen der Kantonalen Gebäudeversicherungen belegen, dass ca. zwei Drittel aller Gebäudeschäden auf meteorologische Naturgefahren zurückzuführen sind (Abb. 1).

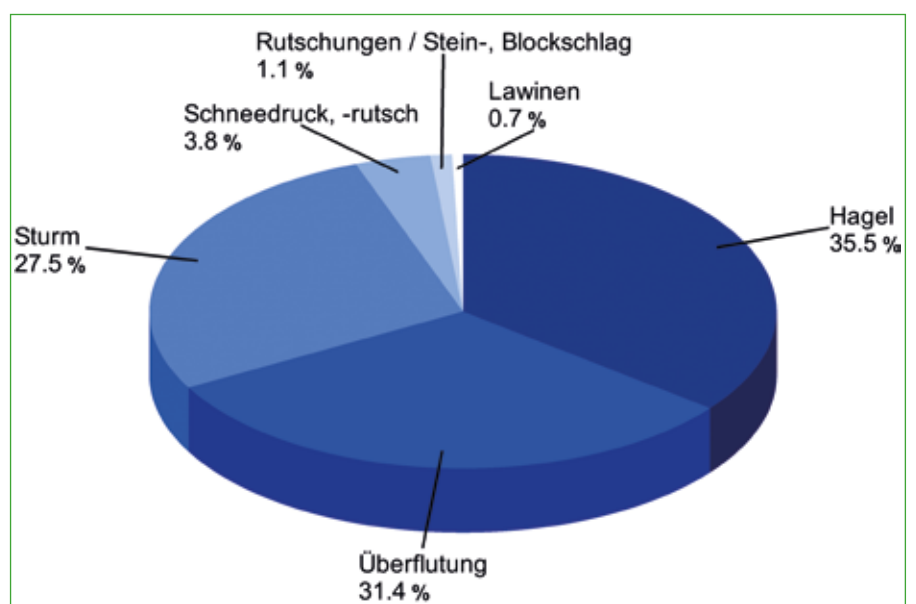


Abbildung 1: Relative Anteile der Elementarschadenursachen an der gesamten Gebäudeschadensumme 1997 - 2016 von 18 Kantonalen Gebäudeversicherungen (Quelle: Schadenstatistik VKF).

Sturm, Hagel und Starkregen können grundsätzlich überall auftreten und lassen somit kein Ausweichen zu. Ungeachtet davon werden weisse Flächen in den Gefahrenkarten gerne als naturgefahrlos interpretiert – sehr zur Erleichterung von Bauherr und Architekt, dass sie sich nicht auch noch mit dem Thema Naturgefahren auseinandersetzen müssen. Oft wird diese Fehlinterpretation erst nach Vollendung des Bauwerks realisiert, wenn das erste heftige Gewitter die Lamellenstoren zerfetzt, die Tiefgarage geflutet und die Fassade beschädigt hat. Zu diesem Zeitpunkt ist das Schadenpotential jedoch „installiert“ und nachträgliche Objektschutzmassnahmen oder Nutzungsanpassungen sind erforderlich zur Verringerung des Risikos. Hätte man bereits bei der Planung des Neu- oder Umbaus an Schutzmassnahmen gedacht, wären diese vermutlich einfacher realisierbar, kostengünstiger und auch ästhetisch ansprechender ausgefallen.

Auch in gelben und gelb-weißen Gefahrenzonen hat die gängige Praxis Verbesserungspotential, denn ausgerechnet in diesen Gebieten geringer Gefährdung treten immer wieder hohe Schäden auf. In vielen Kantonen werden in diesen Zonen bisher keine spezifischen Anforderungen an den Schutz von Gebäuden vor Naturgefahren gestellt. Dabei wären gerade bei geringen Wassertiefen einfache und kostengünstige Massnahmen sehr wirksam, sofern sie früh in die Planung einbezogen werden. Die demnächst erscheinenden Gefährdungskarten zum Oberflächenabfluss werden diesen Prozess hoffentlich unterstützen.

Häufig entscheiden wenige Zentimeter Höhendifferenz und grundlegende konzeptionelle Überlegungen über ein trockenes oder überflutetes Untergeschoss, in welchem sich womöglich eine Tiefgarage, teure Haustechnik oder sonst intensiv genutzte Räume befinden. Nicht die Gefährdung alleine, sondern der Einbezug der Nutzung ist massgebend zur

Abschätzung des Risikos. Für eine wirksame Prävention von Gebäudeschäden bedeutet dies: Gebäude sind mit geeigneten Massnahmen gegen sämtliche am Standort relevanten Gefahren zu schützen. Welche Schutzziele und Schutzmassnahmen sinnvoll und verhältnismässig sind, hängt letztlich von der Nutzung ab.

Handlungsbedarf und Potential beim Gebäudeschutz

Elementarschäden haben zugenommen: die Ursachen

Über die vergangenen Jahrzehnte sind die Elementarschäden deutlich angestiegen, dies bei beträchtlichen jährlichen Schwankungen (Abb. 2). Im selben Zeitraum waren die Feuerschäden rückläufig – ein Erfolg jahrzehntelanger Präventionsbestrebungen und leistungsfähigerer Interventionskräfte.

Schuld für die zunehmenden Elementarschäden ist primär die empfindlichere Bauweise. Auch ein gesellschaftlicher Wandel dürfte den Aufwärtstrend der Schadenzahlen unterstützt haben, werden doch heute auch kleinere ästhetische Einbussen an Gebäuden nicht mehr toleriert. Ein direkter Zusammenhang

zwischen den beobachteten Schäden und der Klimaerwärmung ist aus diesem Datensatz jedoch nicht herauszulesen, obwohl eine Zunahme der Wetterextreme durchaus häufigere und heftigere Unwetter hervorrufen dürfte. Für die 18 Kantonalen Gebäudeversicherungen summierten sich die Gebäudeschäden im Durchschnitt der letzten 20 Jahre auf ca. 240 Mio. Franken pro Jahr, wobei die beiden teuersten Schadenjahre 1999 und 2005 für gut einen Drittel aller Schäden verantwortlich waren. Auch häufig wiederkehrende kleinere Ereignisse summieren sich: einzelne Sommergewitter verursachen oft Schäden in Millionenhöhe. Besonders stark betroffen ist die Gebäudehülle: Die frühere Bauweise mit grossen Vordächern hat einen Teil der Fassade vor der Witterung geschützt und die Beschattung war mit massiven Klapp- oder Rollläden sichergestellt. Heute sind kubische Gebäudeformen ohne Vordach und aussenliegende Lamellenstoren in Leichtestbauweise Standard.

Ein Grossteil der Gebäudeschäden liesse sich einfach vermeiden

Speziell in Bezug auf die meteorologischen Naturgefahren und auf Überschwemmungen

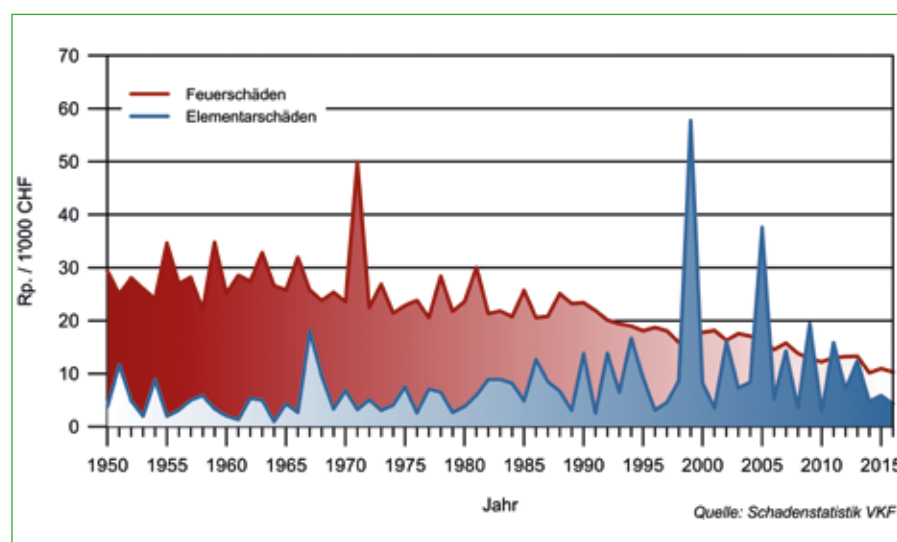


Abbildung 2: Entwicklung der Elementarschäden und Feuerschäden im Vergleich zur Versicherungssumme von 18 Kantonalen Gebäudeversicherungen (Quelle: Schadenstatistik VKF).

hat die Bauweise ein enormes Potential zur Risikoreduktion. Mit konzeptionellen Massnahmen wie einem leicht erhöht gestalteten Terrain, der konsequenten Planung des Wasserabflusses vom Gebäude wegführend und dem Abschirmen oder Abdichten gefährdeter Zugänge und Gebäudeöffnungen lassen sich Schäden durch *Hochwasser und Oberflächenabfluss* wirksam verhindern oder zumindest deren Ausmass verringern. Auch Nutzungsanpassungen können sinnvoll sein, beispielsweise die Verlegung der Haustechnik in Obergeschoss oder die nasse Vorsorge, falls die beabsichtigte Flutung einfach zu reinigender Räume noch grössere Schäden infolge Auftriebs verhindern kann. Weil die Vorwarnzeit meist sehr kurz ist, sind permanente bauliche Vorkehrungen mobilen Schutzmassnahmen vorzuziehen. Werden konzeptionelle Massnahmen bereits im Rahmen des Vorprojekts in der Planung berücksichtigt, lassen sich architektonisch gute und wirtschaftliche Lösungen finden. Leider entspricht dies noch nicht der gängigen Praxis und Naturgefahrenfachleute werden oft zu spät beigezogen.

Immerhin ca. ein Drittel aller Gebäudeschäden der letzten 20 Jahre ist auf *Sturm und Schneedruck* zurückzuführen. Typische Schadenbilder sind abgerissene Fassadenteile, beschädigte Dachaufbauten sowie Schäden an Solaranlagen. Werden Gebäudeteile wie Ziegel, Bleche oder Antennen vom Wind weggerissen, können sie auf ihrer Flugbahn grossen Folgeschäden anrichten, beispielsweise an Photovoltaikmodulen oder einer benachbarten Fassade. Auch Schneedruck verursacht immer wieder Schäden, die sich einfach vermeiden liessen, wenn die SIA-Normen 261 und 261/1 „bis zur letzten Schraube“ berücksichtigt würden. Denn ein häufiges Problem sind normwidrig befestigte Solarmodule, die an den falschen Stellen am Dach zu hohen Punktlasten führen (Abb. 4). Da sowohl losgerissene Gebäudeteile als auch abrutschender Dachschnee Perso-

nen ernsthaft gefährden können, dürfen diese Risiken nicht unterschätzt werden.

Mit hagelgeprüften Bauteilen lassen sich *Schäden durch Hagel am Gebäude* wirksam verhindern. Als Schutzziel eignet sich für die meisten Regionen der Schweiz ein Hagelwiderstand von HW3. HW3 entspricht der erforderlichen Robustheit eines Bauteils, damit es

den Anprall von Hagelkörnern mit 3 cm Durchmesser schadlos übersteht. Dieses Schutzziel lässt sich weitestgehend ohne Einschränkungen in der Gestaltung und Materialisierung erreichen: Es gibt heute diverse hagelgeprüfte Aussenputze, Solarmodule, Dünobleche und Kunststoffprodukte mit HW3 oder einem höheren Hagelwiderstand.



Abbildung 3: Nach starken Regenfällen stand diese Bauparzelle in Schüpflheim im Wasser – kein gutes Omen für ein Bauprojekt. Die Gebäude im Hintergrund sind durch ihre erhöhte Lage im Gelände bestens geschützt (Bildquelle: Gebäudeversicherung Luzern).



Abbildung 4: Schneedruck beschädigte nicht nur die Solarmodule, sondern auch die Dacheindeckung (Bildquelle: Gebäudeversicherung Graubünden).

Für den Bauherrn ist ein möglicher Betriebsausfall oft das ausschlaggebende Argument zur Umsetzung von Schutzmassnahmen. Insbesondere moderne Gebäude mit grossen Fensterflächen sind im Sommer kaum benutzbar, wenn sie nicht beschattet werden können – und der Ersatz von Lamellenstoren kann durchaus mehrere Wochen dauern (Abb. 5). Lassen sich aussenliegende Lamellenstoren nicht vermeiden, so müssen sie im Ereignisfall eingezogen werden. Dies ist heute dank zuverlässigen Hagelprognosen und zentralen Storensteuerungen technisch einfach und ohne menschliches Zutun realisierbar und bedeutet eine temporäre Verringerung des Schadenpotentials auf Null.

Hagel kann auch Folgeschäden verursachen, beispielsweise wenn Wasser über durchlöcherichte Oberlichter ins Gebäude eindringt oder wenn beschädigte Fassaden Feuchtigkeit aufnehmen. Es gibt viele robuste Oberlichter aus Glas, und Lichtkuppeln aus Kunststoff lassen sich mit Vorgittern schützen. Auch viele geprüfte Wärmedämmverbundsysteme erreichen einen hohen Hagelwiderstand. Hagelschutz steht also nicht im Widerspruch

mit einer energetischen Sanierung, umso mehr reduziert eine längere Lebensdauer der Bauteile den Ressourcenverbrauch. Auch beim Hagel gilt: frühzeitig in die Planung einbezogen, ist ein hoher Schutz in der Regel kostengünstig und einfach umsetzbar. Doch die besten Präventionsmassnahmen nützen wenig, wenn sie in der Praxis nicht konsequent genug angewandt werden. Die grössten Herausforderungen im Gebäudeschutz sind nicht technischer Natur, sondern heissen: Zusammenarbeiten und verständlich kommunizieren.

Informationsplattform zum Gebäudeschutz vor Naturgefahren

Eine breite Trägerschaft und Basis, auf die man bauen kann

Der Gebäudeschutz ist eine Verbundaufgabe, die nur unter Einbezug aller am Bau und Betrieb von Gebäuden Beteiligten gelingen kann. Folglich braucht es den Dialog mit allen Akteuren, insbesondere mit der Bauherrschaft sowie mit Planern und Architekten – sie initiieren die Gestaltung und Konzeption von Neubauten und Sanierungen und treiben den

Planungsprozess voran. Auch seitens der Produktehersteller sind innovative Lösungsansätze gefragt. Auf dieser Erkenntnis basiert das Gemeinschaftsprojekt *Schutz vor Naturgefahren*, das von den Kantonalen Gebäudeversicherungen ins Leben gerufen und inhaltlich aufgebaut wurde. Dahinter steht eine für die Schweiz einmalige Allianz wichtiger Akteure im Bereich Gebäudeschutz: die Kantonalen Gebäudeversicherungen, der Schweizerische Versicherungsverband SWV, der Hauseigentümergeverband Schweiz HEV, der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein SIA sowie der Verband Schweizerischer Kantonalbanken VSKB. Die dazugehörige Informationsplattform schutz-vor-naturgefahren.ch unterstützt Hauseigentümer und Bauherrschaften sowie Architekten, Bauingenieure und Naturgefahrenfachleute dabei, geeignete Schutzmassnahmen umzusetzen. Unter anderem werden folgende Fragen durch die Informationsplattform beantwortet: Wo muss mit welchen Gefahren gerechnet werden? Welche Risiken bestehen für das Gebäude und seine Bewohner? Welche Schutzziele sind sinnvoll? Welche Massnahmen stehen in einer spezifischen Situation zur Auswahl? *Schutz vor Naturgefahren* hat den Anspruch, die zentrale Informationsquelle zum Thema Gebäudeschutz vor Naturgefahren zu sein und die verschiedenen Zielgruppen optimal im Planungsprozess zu unterstützen.

Neustes Fachwissen aus Überarbeitung der Wegleitungen Objektschutz

Die VKF-Wegleitungen Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (Egli 2005) und meteorologische Naturgefahren (Egli 2007) sind eine breit anerkannte Arbeitsgrundlage für Planer und Ingenieure, die Gebäudeschutzmassnahmen konzipieren und bemessen. Aufgrund der fortlaufenden Anpassung der Schweizer Baunormen an das europäische Normenwerk sowie der gesammelten Praxiserfahrungen im



Abbildung 5: Die Kombination von Hagel und Sturm übersteht keine Lamellenstore - ausser, wenn sie rechtzeitig hochgezogen wurde (Bildquelle: VKF).

Bereich Objektschutz wurden beide Wegleitungen auf den neusten Stand der Technik gebracht. Ab Anfang 2018 lassen sich diese neuen Fachinhalte für alle gravitativen und meteorologischen Naturgefahren im interaktiven Online-Tool schutz-vor-naturgefahren.ch/spezialist für unterschiedliche Situationen und Gebäudeteile als individualisierte Kataloge abrufen. Während die meisten in den Wegleitungen 2005 und 2007 illustrierten Grundsätze und aufgelisteten Formeln noch immer ihre Gültigkeit haben, kamen neue Ansätze und Massnahmen hinzu. Auch einige Gefährdungsbilder wurden ergänzt, beispielsweise die *Kombination von Starkregen und Hagel*, *Grundwasseraufstoss* und *Kanalisationsrückstau* oder *Kriechschnee*. Auch die Empfehlungen zur Bemessung des Anpralls von Einzelblöcken – welcher sowohl für Sturzprozesse, Lawinen, Murgänge und Hangmuren als auch für Hochwasser relevant ist – basiert auf dem neusten Wissensstand. Neu verweist eine vereinfachte Übersichtstabelle für verschiedene Massen und Geschwindigkeiten auf die Energien und statischen Ersatzkräfte bezüglich Durchstanzen und Biegung, die zur Bemessung von Betonplatten erforderlich sind. Diese Informationen zur Ermittlung der Einwirkungen und Bemessung von Schutzmassnahmen werden in der Regel nur von Ingenieuren und Naturgefahrenspezialisten angewandt, weshalb sie ausschliesslich in diesem Benutzerprofil auf der Informationsplattform zu finden sind. Die Profilstufe „Architekten/Fachplaner“ beinhaltet leicht vereinfachte Hintergrundinformationen sowie die grundlegenden Strategien und konzeptionellen Lösungsansätze, die den Planungsprozess unterstützen. Bauherren und Gebäudeeigentümer sind in erster Linie für das Thema Naturgefahren zu sensibilisieren. Ihnen will die Plattform in einfacher Weise aufzeigen, welche Gefahren wo auftreten können und wie sie ihr Gebäude schützen können. Um die Verständigung zwischen den verschiede-

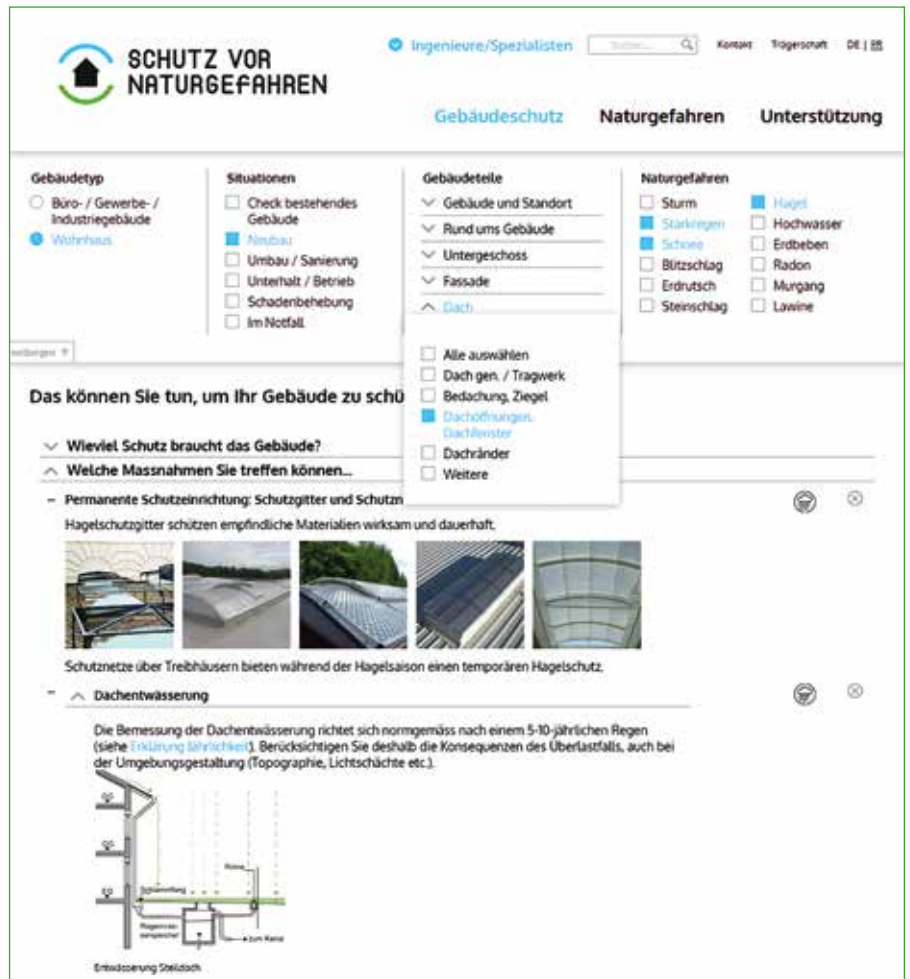


Abbildung 6: Screenshot aus dem Naturgefahren-Check von schutz-vor-naturgefahren.ch

nen Akteuren zu erleichtern, ist die Navigation der Informationsplattform für alle drei Benutzerprofile identisch aufgebaut.

Naturgefahren-Check und weitere Planungshilfen

Je nach Gefährdung, Gebäudetyp und -nutzung und betroffenem Bauteil stellen sich ganz unterschiedliche Anforderungen an Objektschutzmassnahmen. Bei einem Neubau ist die Ausgangslage völlig anders als bei einem Umbau oder im Rahmen der Schadenbehebung nach einem Ereignis. Der *Naturgefahren-Check* unter schutz-vor-naturgefahren.ch/check, ein interaktives Abfrage-Tool, ermöglicht individualisierte Kataloge mit Massnahmenvorschlä-

gen, wobei auch die Handlungsoptionen und Kompetenzen der jeweiligen Zielgruppe berücksichtigt werden (Abb. 6). Bauherren und Architekten können mit Detailinformation zu Massnahmen an der Gefahrenquelle bei Steinerschlag wenig anfangen – Naturgefahrenspezialisten hingegen haben kaum Einfluss auf den Unterhalt und Betrieb. Die Ergebnisse werden deshalb gefiltert, situationsbedingt strukturiert und können auch ausgedruckt oder per E-Mail versandt werden.

Die Massnahmenvorschläge sind eng mit typischen Gefährdungs- und Schadenbildern sowie mit diversen Praxistools verknüpft. Zu diesen Praxistools gehört beispielsweise das Hagelregister, in welchem Prüfbestimmun-

gen und Zertifikate mehrerer hundert hagegeprüfter Bauteile abgerufen werden können – eine ideale Entscheidungshilfe bei der Wahl von Bauteilen der Gebäudehülle. Speziell bei Sanierungen ist die Wirtschaftlichkeit ein entscheidendes Kriterium zur Evaluation verschiedener Schutzmassnahmen, wobei das Online-Tool *Prevent-Building* die Anwendung einer einheitlichen Systematik ermöglicht. Alle Interessierten können einen Login beantragen und das Tool frei nutzen, darin auch Projekte abspeichern und Ergebnisberichte exportieren. In der Rubrik „Naturgefahren“ sind die relevanten Normen und Richtlinien sowie aktuelle Fachliteratur aufgelistet und – soweit öffentlich zugänglich – auch verlinkt. Unter „Unterstützung“ finden sich Hinweise zu Weiterbildungsangeboten, eine Übersicht der wichtigsten Adressen und Fachstellen zum Thema Gebäudeschutz vor Naturgefahren in der Schweiz sowie ausgewählte Dokumente zum Download.

Herausforderung Kommunikation: Wie sage ich es dem Bauherrn?

Das beste Fachwissen nützt wenig, wenn es nicht in geeigneter Form zu einem günstigen Zeitpunkt den richtigen Ansprechpersonen kommuniziert werden kann. Die Erfahrung zeigt, dass die Problematik rund um das Thema Naturgefahren zwar in einfachen Worten, aber dennoch fachlich fundiert erklärt werden muss. Hierzu ist auf schutz-vor-naturgefahren.ch eine *Checkliste für die Planung und Umsetzung von Gebäudeschutzmassnahmen* zu finden, welche die wichtigsten Fragen und Lösungsansätze aufzeigt und klar empfiehlt, das Thema Naturgefahren so früh wie möglich in den Planungsprozess einzubeziehen und mit Fachpersonen

zu diskutieren. Ein weiteres den Risikodialog unterstützendes Werkzeug sind Beispiele. *Gute Beispiele* illustrieren die Machbarkeit und Wirksamkeit von Schutzmassnahmen und können Vorbehalte wie hohe Kosten oder gestalterische Einbussen entkräften. Letztlich ist jeder Kontakt mit der Bauherrschaft oder mit Planern und Architekten eine Gelegenheit, auf die Wichtigkeit des Gebäudeschutzes hinzuweisen. Es ist deshalb richtig, bei Abklärungen in einer durch gravitative Naturgefahren betroffenen Bauzone im Sinne einer Gesamtsicht auch weitere Gefahren wie Starkregen, Hagel und Sturm im Auge zu behalten und konkret anzusprechen.

Ausblick

Die zentrale Informationsplattform zum Thema Gebäudeschutz schutz-vor-naturgefahren.ch wird laufend mit weiteren Arbeitshilfen ergänzt und den neusten Fachinformationen aktualisiert. Als Gemeinschaftsprojekt einer breiten Trägerschaft fördert die Plattform den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit über die Disziplinen hinweg und ist stets offen für Anregungen und Ergänzungen.

Haben Sie eine wichtige inhaltliche Ergänzung oder möchten Sie ein besonders illustratives Beispiel zeigen? Kontaktieren Sie uns via kontakt@schutz-vor-naturgefahren.ch.

Literatur

Egli, Th. (2005): *Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren*. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern.

Egli, Th. (2007): *Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren*. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern.

FAN Forum 2018

Wie gut ist gut genug?

Qualitätssicherung bei Gefahrenbeurteilungen

Freitag, 23. Februar 2018

Hotel Arte, Olten

Das FAN Forum 2018 setzt sich mit dem Thema 'Qualitätssicherung bei Gefahrenbeurteilung' auseinander. Dabei soll die Qualität der heute verwendeten Eingangsgrößen für die Gefahrenbeurteilung aber auch für Simulationsmodelle kritisch unter die Lupe genommen werden. Unter Qualitätsniveau wird dabei das Ausmass an geforderter oder vorhandener Qualität verstanden.



Schwemholzentrug von einer Uferrutschung und Holzablagerungen im Sulzigraben bei Innereriz, BE. Foto: M. Schwarz.