

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.

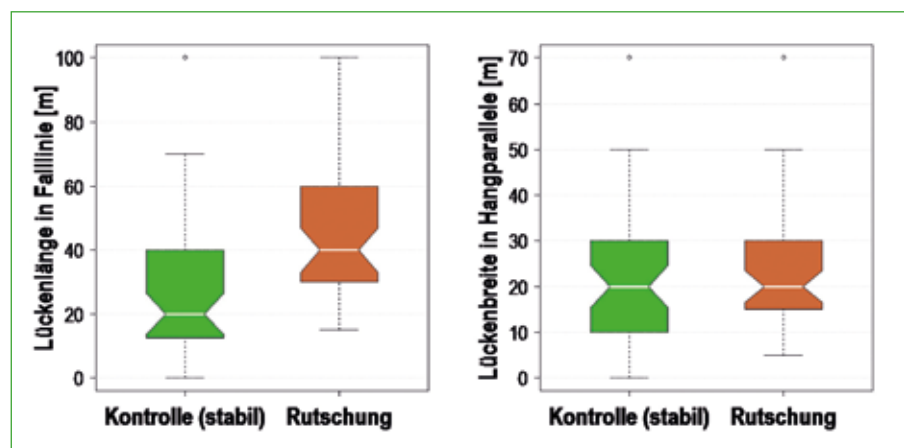


Abbildung 2: Verteilung von Lückenlängen (links) und Lückenbreiten (rechts) der jeweils grössten Lücken in Waldflächen von St. Antönien, die stabil waren (grün) sowie in den entsprechend instabilen Rutschungsflächen (braun). Der Unterschied für die Lückenlänge ist signifikant, für die Lückenbreite jedoch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

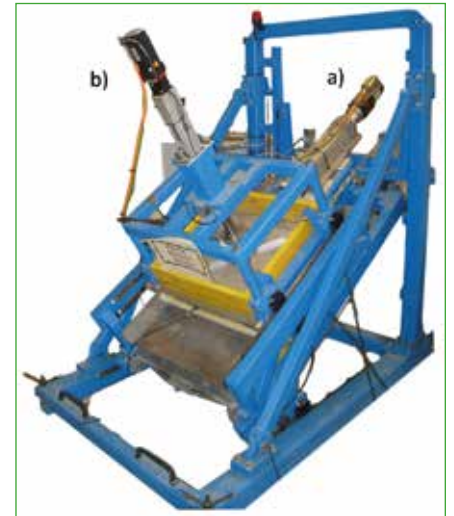


Abbildung 3: Bis zu 45° neigbarer Direkt-Scherapparat für grosse Proben von $50 \times 50 \times 40$ cm mit Linear-Antrieben zum Aufbringen der Scher- (a) und Normalkraft (b).

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).

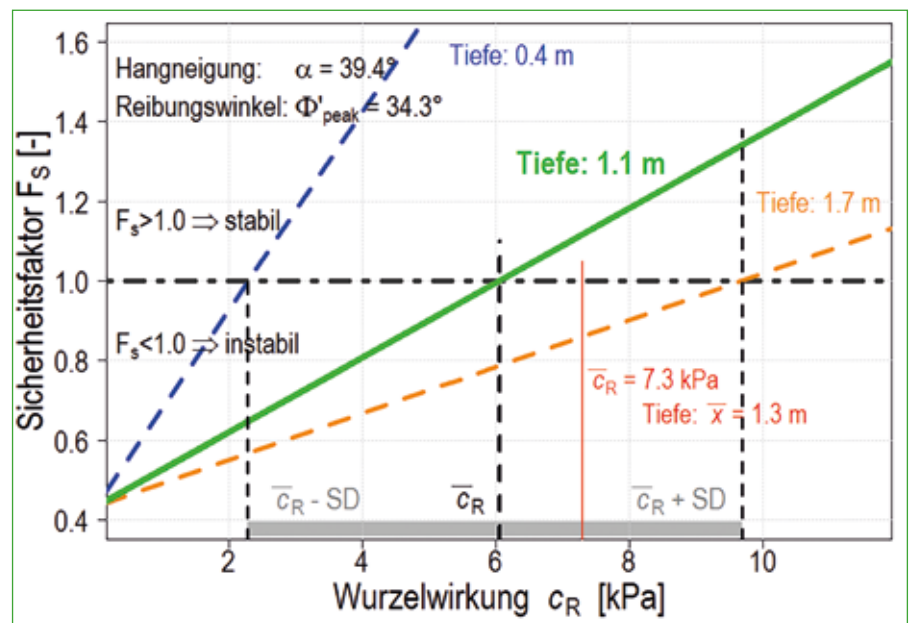


Abbildung 4: Sicherheitsberechnungen für einen um 5° steileren Hang (a) als der kritische Reibungswinkel ($\Phi' = 34.3^\circ$ aus den triaxialen Scherversuchen) mit unterschiedlicher Wurzelwirkung (Mittelwert $[c_{Rr}] \pm$ Standardabweichung $[SD]$) unter Berücksichtigung der Tiefe der Gleitschicht. 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.

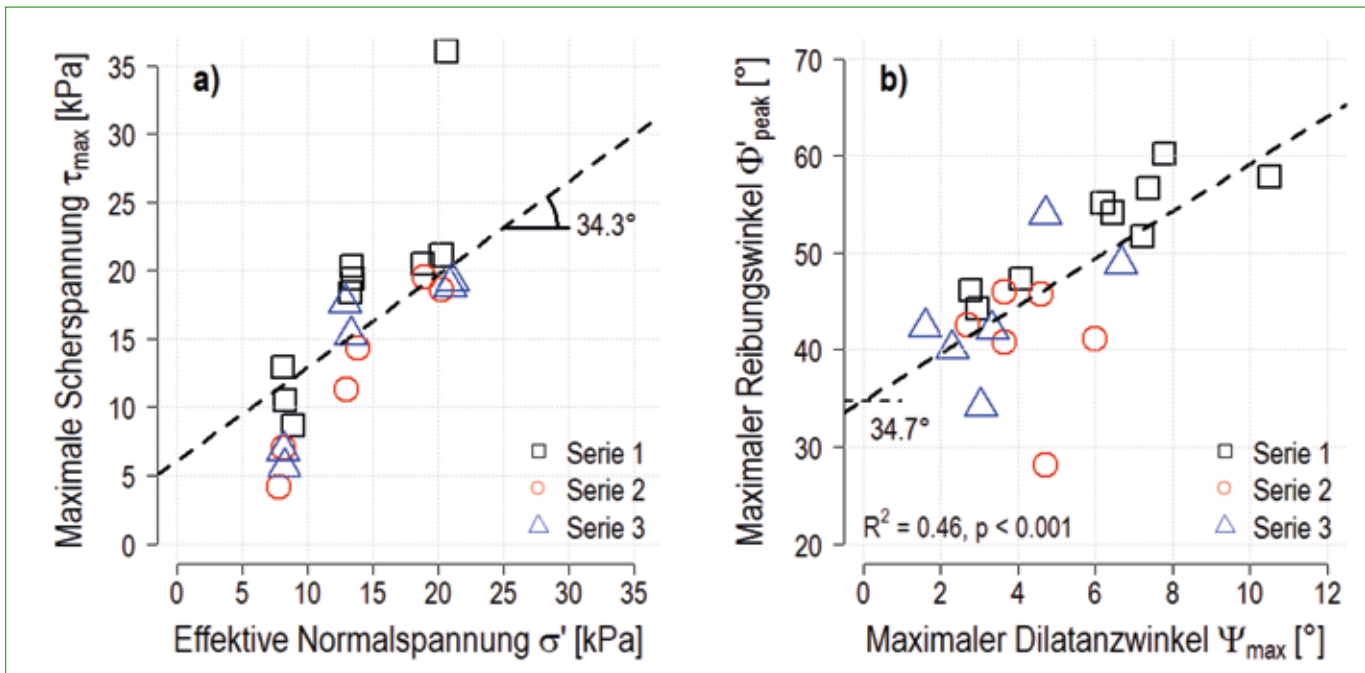


Abbildung 5: a) Beziehung zwischen maximaler Scherspannung (τ_{max}) und effektiver Normalspannung (σ') mit einer Regressionsgeraden unter Verwendung des fixen Reibungswinkels $\Phi' = 34.3^\circ$. Die Daten stammen aus drei verschiedenen Versuchsserien (Yildiz et al. 2015), welche sich bezüglich Anzahl 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-

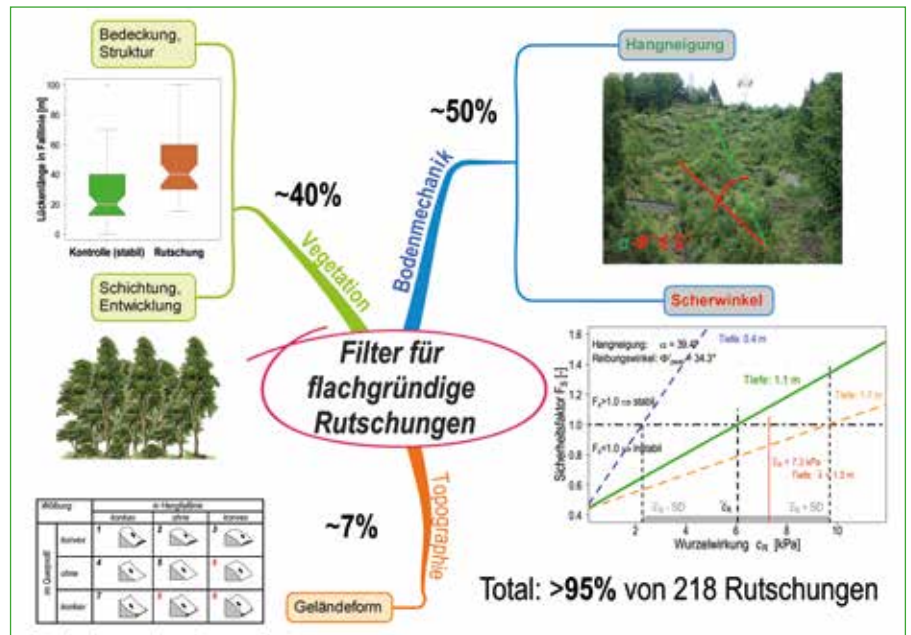


Abbildung 6: Erklärungspotential des 3-Stufen-Filters zur Analyse flachgründiger Rutschungen mit den Kriterien Bodenmechanik, Vegetation und Topographie. Die Kriterien des seriell verwendeten Filters sind 1) Bodenmechanik: Hangneigung α nicht mehr als 5° steiler als der Reibungswinkel Φ' 2) Vegetation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