

Verjüngungsentwicklung in einem Gerinneeinhang-Schutzwald: limitierende und fördernde Faktoren

Alina Wittwer^{1,2} (alew@hispeed.ch)
 Monika Frehner¹ (monika.frehner@env.ethz.ch)
 Christian Rickli² (christian.rickli@wsl.ch)
 Frank Graf³ (graf@slf.ch)

¹ ETH Institut für Terrestrische Ökosysteme, Zürich

² Eidg. Forschungsanstalt für Wald-Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

³ WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Résumé

La végétation au sol et la forêt protectrice réduisent les mouvements de terrain dans les pentes bordant les cours d'eau. Toutefois, les mouvements du sol s'opposent à l'apparition de la végétation et la mise en place d'un rajeunissement constitue un défi. Des modèles statistiques linéaires ont été utilisés pour déterminer quelles conditions topographiques et écologiques favorisent ou freinent le rajeunissement dans une surface étudiée du canton d'Obwald. Les résultats suggèrent qu'une humidité trop élevée du sol et des températures trop basses en juin sont des facteurs limitants. En outre, un degré de recouvrement élevé de la végétation au sol favorise l'apparition de ligneux. De même, les mesures d'aménagement telles que les seuils en bois et les trépieds améliorent les conditions de rajeunissement.

Zusammenfassung

Die Bodenvegetation und der Schutzwald reduzieren Massenbewegungen in Gerinneeinhangen. Allerdings wirken die Bodenbewegungen dem Aufkommen der Vegetation entgegen und das Aufbringen von Verjüngung ist eine Herausforderung. Mit linearen statistischen Modellen wurde geprüft, welche topographischen und ökologischen Gegebenheiten in einer Untersuchungsfläche im Kanton Obwalden die Verjüngung begünstigen bzw. hemmen. Die Resultate legen nahe, dass zu hohe Bodenfeuchte und zu tiefe Junitemperaturen limitierend sind. Zudem fördert ein hoher Deckungsgrad der Bodenvegetation das Aufkom-

men von Gehölzen. Ebenso verbessern Verbauungsmassnahmen wie Holzschwellen und Dreibeinböcke die Verjüngungsbedingungen.

Hintergrund

Im Kanton Obwalden dient der grösste Teil der Schutzwälder der Dämpfung von Hochwasserspitzen und der Verhinderung von flachgründigen Rutschungen (Kanton Obwalden 2017). Seit 2021 gilt gemäss «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS)» (Frehner et al. 2005) das neue Anforderungsprofil «Gerinneprozesse», welches das bisherige Anforderungsprofil «Wildbach, Hochwasser» ersetzt. Der Gerinneeinhang umfasst den Schutzwald im Einzugsgebiet von Wildbächen ohne den Abflussbereich von Murgang und Hochwasser. Das minimale NaiS-Anforderungsprofil verlangt einen Deckungsgrad von mindestens 50 %, eine Lückengrösse von maximal 12 a und eine maximale Lückenlänge in Falllinie von 30 m (Frehner et al. 2005).

Rutschungen und Oberflächenerosion können die Ausgangslage für das verlangte Anforderungsprofil stetig verschlechtern. Diese Prozesse selbst verhindern also einen besseren Schutz vor weiteren Massenbewegungen, da sich kein entsprechender Schutzwald entwickeln kann. Die Kraut- und Gehölzvegetation kann in verschiedener Hinsicht Rutschungen und Oberflächenerosion vorbeugen. Sie reduziert durch Aggregatstabilisierung die Oberflächenerosion, verringert durch Wurzelverstärkung das Vorkommen von flachgründigen Rutschungen und beeinflusst

den Wasserhaushalt durch Evapotranspiration im Einzugsgebiet von mittel- bis tiefgründigen Rutschungen (Krättli und Schwarz 2015). Gemäss Untersuchungen von Mosimann (1984) sollten mindestens 70 % einer Erosionsfläche mit Bodenvegetation bewachsen sein, damit sich eine nachhaltige und schützende Pflanzendecke einstellen kann. Mit baulichen Massnahmen kann die Erosions- und Rutschungsanfälligkeit verringert und die Etablierung einer Vegetationsdecke gefördert werden. Technische Massnahmen betreffen den Wasserhaushalt sowie Hangstabilisierungen, zum Beispiel: Drainagen, Fassung von Hangwasser; Einbringen von Scherwiderständen durch Nägel, Anker oder Pfähle sowie Stützkonstruktionen wie Holzkisten oder Schwellen (BAFU 2016). Auch die Vegetation kann gezielt durch Ansaat oder Bepflanzung eingebracht werden.

Die Weiserfläche «Schildribi Rutsch» in Lungern (OW) wurde im Jahre 2020 zur genaueren Untersuchung und Dokumentierung ebendieser Kombination von Prozessen eingerichtet. Zwischen 1860 und 1912 lösten starke Unwetter Murgänge im betreffenden Einzugsgebiet aus (Hunziker et al. 2020). Die Fläche ist seither nur spärlich bewaldet. Nach ersten Aufforstungs- und Verbaumassnahmen anfangs 20. Jahrhundert wurden in den Jahren 1994–95 erneut Teilflächen verbaut. Dabei wurden auch Fichten, Lärchen, Bergföhren und Weidenstecklinge gepflanzt und eine Saatmischung ausgebracht. Trotzdem sind Verjüngung und Waldentwicklung



Abbildung 1: Die untersuchte Weiserfläche besteht aus verschiedenen Teilflächen, die im Einzugsgebiet des Dorfbachs oberhalb von Lungern OW liegen. Gelb sind die im Rahmen der Arbeit untersuchten Teilflächen (TF). Foto: Stefan Odermatt.

bis heute mangelhaft: die meisten Pflanzen und Stecklinge sind abgestorben oder weisen sehr geringe Zuwächse auf (wenige Zentimeter in 10 Jahren). Vergleichbare Problemstellungen treten in verschiedenen Regionen der Schweiz auf (Lateltin et al. 1997) und werden sich mit vermehrten Starkniederschlägen in Zukunft verschärfen. Anhand der Weiserfläche «Schildribi Rutsch» ging Wittwer (2021) deshalb folgenden Fragestellungen nach:

1. Bei welchen topographischen und ökologischen Gegebenheiten kommt Verjüngung auf?
2. Welche Faktorenkombinationen sind verjüngungsgünstig, welche nicht?
3. Ist ein Einfluss der getroffenen Verbauungsmassnahmen zu erkennen?
4. Welche weiteren Massnahmen sind aufgrund der Analyse zu empfehlen?

Untersuchungsgebiet und Methoden

Die Fläche «Schildribi Rutsch» befindet sich zwischen 1505 und 1565 Meter über Meer

(hochmontan) an einem NW-exponierten Hang. Von der bestehenden Weiserfläche wurden vier Teilflächen (TF) untersucht: TF 3, TF 4, TF 5 und TF 6, je ca. 0.3 ha gross (Abb. 1). Die Verjüngungsentwicklung wurde anhand von vier Zielvariablen charakterisiert: Präsenz einer Verjüngungspflanze, Höhe und Alter der Verjüngung, Deckungsgrad der Bodenvegetation. Um die relevanten Faktoren für die Verjüngungsentwicklung zu ermitteln, wurden insgesamt 16 erklärende Variablen erhoben. Diese betreffen die Topographie, die Geologie, das Licht, die Bodenvegetation, die Temperatur und weitere Faktoren (Abb. 2). Als Datengrundlage diente das digitale Terrainmodell (DTM) „swissALTI3D“ von swisstopo (2019) mit einer Auflösung von 0.5×0.5 m. Ebenfalls stand ein Vegetationshöhenmodell (VHM) aus dem Landesforstinventar zur Verfügung (LFI 2021). Zudem wurde eigens ein Orthofoto erstellt. Die Datenbeschaffung erfolgte einerseits in Feld- und Laborarbeit sowie andererseits mithilfe von GIS-Berechnungen.

Durch jede der vier Teilflächen führte ein

Begriffserläuterungen

NaiS und Weiserflächen

Die vom BAFU lancierte Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS)» (Frehner et al. 2005) definiert die Qualitätsanforderungen an die Schutzwaldbewirtschaftung in der Schweiz. Teil davon ist auch die Einrichtung von Weiserflächen: eine saubere Dokumentation der Ausgangssituation eines Bestandes von ca. 1 ha Grösse. Jede Behandlung auf der Fläche wird dokumentiert und das Ziel ist, die gewonnenen Erkenntnisse (Hinweise) sinngemäss auf weitere Bestände mit ähnlichen Ausgangslagen anwenden zu können. Dank der Vernetzung über suissenais.ch können auch andere Forstbetriebe von den Erfahrungen profitieren.

Vegetationstyp und Zeigerpflanzen

Die Vegetation gibt Auskunft über die Standortverhältnisse, da gewisse Pflanzen besser oder ausschliesslich unter bestimmten ökologischen Gegebenheiten gedeihen und konkurrenzfähig sind (Ott et al. 1997). In Landolt et al. (2010) findet sich eine Zusammenstellung so genannter „Zeigerwerte“ für einzelne Pflanzenarten. Auf einer Skala von 1 bis 5 wird angegeben, ob eine Art häufig bei trockenen bzw. feuchten, sauren bzw. basischen, nährstoffarmen bzw. -reichen oder schattigen bzw. sonnigen Bedingungen gedeiht. Ein Vegetationstyp wird als Gemeinschaft von Pflanzen definiert, unter Berücksichtigung ihrer Arten und Häufigkeit/Dominanz. Somit kann je eine durchschnittliche Feuchte-, Reaktions-, Nährstoff- und Lichtzahl pro Vegetationstyp berechnet werden.

Transect. Entlang diesem wurde im Feld jede Verjüngungspflanze (total 674) aufgenommen und kartiert. Der Vegetationstyp und der

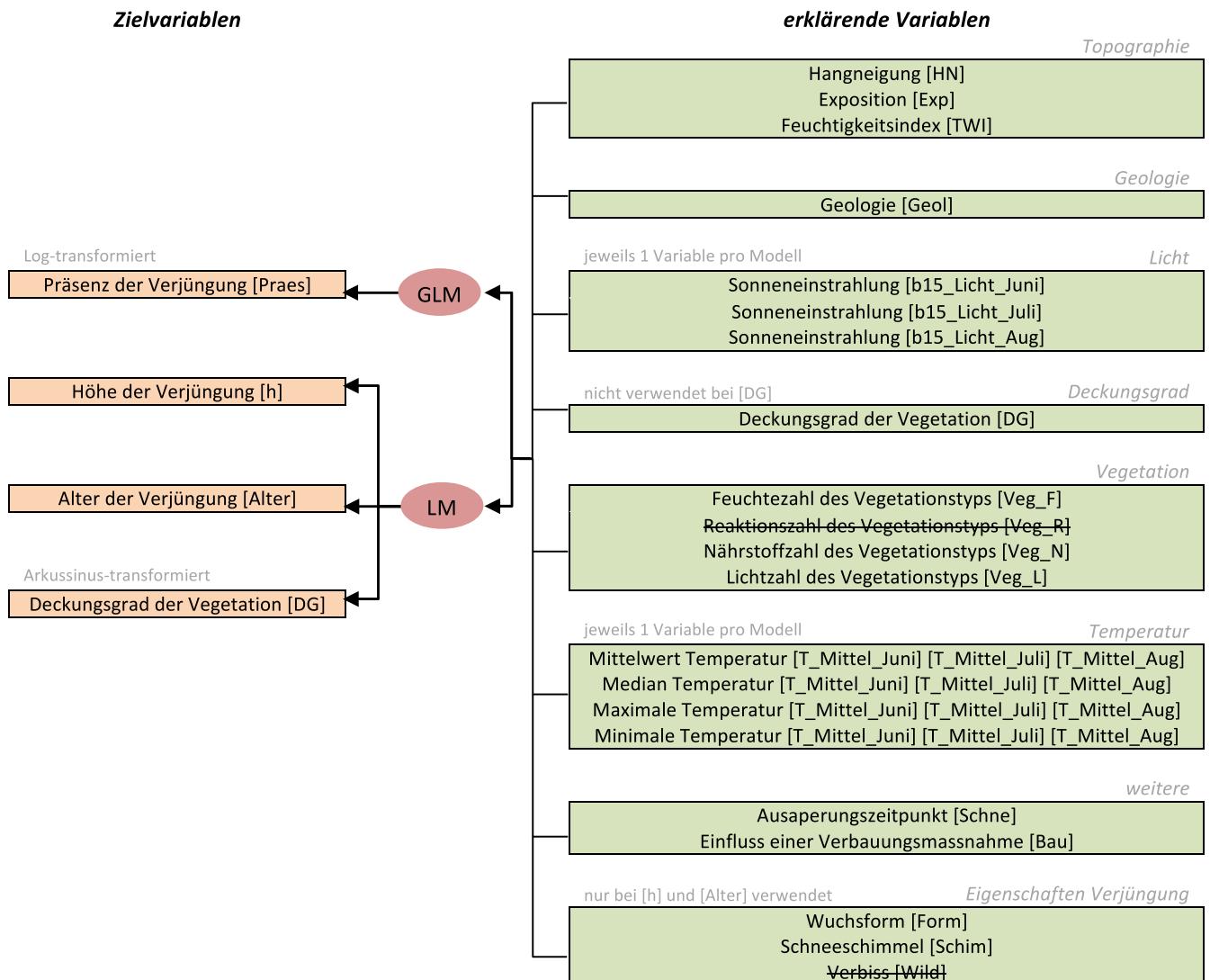


Abbildung 2: Um die Verjüngung zu beurteilen, wurden vier Zielvariablen anhand von (verallgemeinerten) linearen Modellen (GLM, LM) analysiert. Datengrundlage waren 16 erklärende Variablen. Die Variablen Veg_R und Wild wurden aufgrund von Korrelation bzw. tiefer Varianz aus den Modellen ausgeschlossen.

Deckungsgrad wurden ebenfalls im Feld bestimmt. Die Kartierung diente anschliessend der Zuordnung von topographischen Variablen, die aus dem DTM in GIS berechnet wurden: Hangneigung, Exposition und der Feuchtigkeitsindex TWI (Abb. 2). Auf Grundlage des DTM und VHM wurde auch die Sonnenscheindauer in GIS berechnet. Die Temperatur wurde mit Datenloggern während der Sommermonate Juni, Juli und August 2021 gemessen. Entlang jedes Transekts wurden die Datenlogger im Abstand von vier bis fünf Metern in einer Tiefe von 4 cm im Boden vergraben.

Die Auswertung erfolgte mit der Statistik Software R (R Development Core Team 2021)

mithilfe von verallgemeinerten linearen Modellen (GLMs). Für jede Zielvariable wurde das Modell mit dem besten Erklärungswert kombiniert mit dem kleinstmöglichen Variablen-Set gesucht, basierend auf dem AIC-Kriterium (tiefster Wert). Neben der statistischen Analyse wurden auch qualitative Analysen durchgeführt: Auf allen vier Teilflächen erfolgten je eine Bodenprofilansprache und eine Siebanalyse des Oberbodens (bis 5 cm Tiefe).

Resultate und Diskussion

Aufgrund der Beurteilung der Bodenprofile und der Siebanalyse handelt es sich bei den **Böden** in den Teilflächen um tonige Kiese mit

wenig Sand, was gemäss der Bodenklassifikation nach SN 670 010 (VSS 2011) einem GC-Boden entspricht. Trotz des hohen Kiesanteils von 30-50 % sind dies eher schlecht durchlässige Böden. Gemäss den **Vegetationstypen** ist der Standort im Allgemeinen mässig feucht, neutral bis basisch, mässig nährstoffarm und halbschattig. Die **Hangneigung** zeigt in den Modellen keine unterschiedlichen Einflüsse auf die Verjüngung, da die meisten Datenpunkte eine Hangneigung von > 30° aufweisen und somit in einem Bereich liegen, in welchem verstärkt mit Bodenbewegungen und -erosion zu rechnen ist. Die **Exposition** zeigt keinen Effekt.



Abbildung 3: Teilfläche 3 (links) mit geringem Vegetationsdeckungsgrad und Holzschwellen und Teilfläche 4 (rechts) mit entwicklungsähiger Verjüngung.
Aufnahmedatum: 20.07.2020.

Kürzere **Sonnenscheindauer** begünstigt die Ansammlung von Verjüngung und Bodenvegetation, was im Zusammenhang mit dem oberflächennahen Feuchtigkeits-/Wasserhaushalt (verminderte Austrocknungsgefahr) stehen könnte. Die minimale Juni-Temperatur liegt überall unter der Grenze für gutes Wachstums (ab 14°C; Ott et al. 1997) und ist limitierend für das Höhenwachstum und Alter. Für die **Feuchtemessung** sind die Vegetationszeigerwerte geeigneter als der im GIS berechnete Feuchtigkeitsindex TWI. Dieser basiert einzig auf der oberflächlichen Topographie (DTM) und berücksichtigt die Wasserverteilung im Boden sowie Entwässerungsmassnahmen nicht. Zu hohe Feuchte hindert das Höhenwachstum und Alter ebenfalls. Zudem ist in diesem Zusammenhang auch der Deckungsgrad der Bodenvegetation geringer. Stellenweise verstärken Hangwasseraustritte die Bodenerosion.

In Abhängigkeit von Wurzelmorphologie und -architektur sowie der Mykorrhizierung kann geringe **Nährstoffverfügbarkeit** das Wurzelwachstum erhöhen und somit das Anwachsen von Keimlingen und Sämlingen begünstigen (Eissenstat et al. 2015). Hingegen war in den Modellen für den Deckungsgrad eine höhere Nährstoffverfügbarkeit förderlich, was der allgemeinen Annahme

entspricht, dass Nährstoffe hauptsächliche limitierende Wachstumsfaktoren sind. Ein höherer **Deckungsgrad** der Bodenvegetation ist anzustreben, da dieser positiv mit der Präsenz und der Höhe der Verjüngung korreliert. **Verformungen** (Schieflage, Biegung) und **Schneeschirmschäden** treten vermehrt bei höheren und älteren Pflanzen auf, da kleinere Bäumchen flexibler oder zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits abgestorben sind. Der **Vergleich von Laubholz und Fichte** zeigt nur kleine Unterschiede. Es gibt Anzeichen dafür, dass die untersuchten Laubhölzer (Weiden, Grünerlen und Bergahorn) Bodenbewegungen besser ertragen als die Fichte.

Die **Verbauungen** wirken flächig. Da explizit an verjüngungsgünstigen Stellen verbaut wurde, ist es erfreulich, dass in der Umgebung von Holzschwellen nicht (mehr) signifikant schlechtere Verjüngungsbedingungen herrschen. In der unmittelbaren Nähe von Dreibeinböcken konnten sogar günstigere Bedingungen für das Höhenwachstum nachgewiesen werden.

Handlungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen unterscheiden sich je nach Teilfläche. Die **TF 3** weist einen geringen Vegetationsdeckungsgrad auf (häufig < 40 %, vgl. Abb. 3). Dementsprechend

sind Bodenbewegungen zu vermeiden und die Vegetationsentwicklung möglichst nicht zu stören. Die Holzschwellen sind in dieser Hinsicht eine wirksame Massnahme. Die Ansammlung ist kein Problem. Der kritische Übergang liegt innerhalb des Anwuchses (bis 40 cm Höhe) bei der erfolgreichen Weiterentwicklung zum Aufwuchs. Dies spricht dafür, dass in der TF 3 gepflanzt werden sollte. Basierend auf den Modellrechnungen sind die wichtigen Bedingungen für Höhenwachstum und Altersentwicklung: nicht zu feucht, genügend Wärme (hohe minimale Junitemperatur) und hoher Deckungsgrad der Vegetation. Da dies den Standorten am Rand der TF 3 entspricht, könnte die Fläche vom Rand her mit Pflanzungen wieder bestockt werden. Zudem sollte die Fläche erneut angesät werden, beispielsweise mit der UFA-Saatgutmischung «Rüfe Sachseln» (Fenaco 2000) unter zusätzlicher Berücksichtigung von Arten mit hohem Transpirationspotential. Wichtig ist eine möglichst hohe funktionale Diversität der Pflanzen (Pohl et al. 2009).

In **TF 4** besteht kein Handlungsbedarf. Hier hat sich eine befriedigend dichte Verjüngung an Fichten und Bergföhren etabliert. Der Vegetationsdeckungsgrad beträgt fast überall 100 %.

In **TF 5** ist die Bodenvegetation gut de-

ckend und Bodenbewegungen sind weniger ein Problem. Eher sind es hier der Schnee, die tiefen Temperaturen sowie möglicherweise die Konkurrenz mit der Bodenvegetation, welche das Aufkommen von Naturverjüngung limitieren. Im Frühsommer 2021 wurden Tannen direkt vor der unteren Stütze der Dreibeinböcke gepflanzt. Tannen bilden im Vergleich zu Fichten tiefere Wurzeln (Kutschera und Lichtenegger 2013) und sind besser verankert. Zudem sind sie im Zuge des Klimawandels gegenüber Fichten zu bevorzugen (TreeApp 2021). Aufgrund der Lichtverhältnisse sind Pionierbaumarten hier weniger geeignet.

Die **TF 6** ist grösstenteils von Geröll bedeckt und nicht bestockbar. Am Rande ist der Deckungsgrad der Bodenvegetation hoch und auch die Lichtverhältnisse sind günstig. Eine fortschreitende Bestockung von der Rippe her scheint möglich. Pflanzungen sind hier im Gegensatz zur TF 3 nicht dringend. Hier werden keine Massnahmen getroffen, um die natürliche Entwicklung zu beobachten.

Im Rahmen der Beobachtung der Weiserfläche «Schildribi Rutsch» bietet es sich an, die Transekte weiterhin zu verwenden, um die Verjüngung aufzunehmen. Eine Kartierung der Bäumchen ist nicht mehr notwendig. Die (relative) Anzahl Bäumchen je Baumart, Höhe und Alter gibt für jede Teilfläche ausreichend Aufschluss über den Verjüngungszustand. Eine Zeitreihe und damit der Vergleich mit früheren Aufnahmen ermöglichen die fortwährende Analyse der Entwicklung des Verjüngungszustandes.

Fazit

Der Wald spielt eine zentrale Rolle in der Vorbeugung und Gefahrenreduktion bei Massenbewegungen. Hinsichtlich des neuen Anforderungsprofils für «Gerinneprozesse» ist es wichtig, die involvierten Prozesse wie Oberflächenerosion und Rutschungen sowie deren Zusammenhang mit der Verjüngungsentwick-

lung besser zu verstehen. In der Weiserfläche «Schildribi Rutsch» wird das waldbauliche Vorgehen längerfristig dokumentiert. Neben den bereits bestehenden Holzschwellen und Dreibeinböcken umfassen die Massnahmen eine Ansaat mit Bodenvegetation sowie die Pflanzung von geeigneten Baumarten. Zur Erfolgskontrolle im 10-Jahresabstand dient eine Aufnahme der Verjüngung entlang von Transekten.

Literatur

- BAFU (Hrsg.) (2016). Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Umwelt-Vollzug, 1608, 98 S.
- Eissenstat D.M., Kucharski J.M., Zadworny M., Adams T.S., & Koide R.T. (2015). Linking root traits to nutrient foraging in arbuscular mycorrhizal trees in a temperate forest. *New Phytologist*, 208, 114-124.
- Enaco. (2000). SPEZIALMISCHUNG Berwert Glaubenberg 2000. UFA-Samen PROFI GRÜN, Leopoldstrasse 6, 6210 Sursee.
- Frehner M., Wasser B. & Schwitter R. (2005a). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrollen im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU. 564 S. Neuauflage Anhang 1, Kapitel 5 unter www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/schutzmassnahmen/naturgefahren--biologische-massnahmen.html, Zugriff am 26. Oktober 2021.
- Hunziker U., Stalder S. & Schüpbach S. (2020). Weiserflächen-Netz Obwalden. Lungern Schildribi-Rutsch. Einrichtung 2020. <https://suissenais.ch/Detail.aspx?P=926>.
- Kanton Obwalden, Bau- und Raumentwicklungsdepartement (2017). Waldentwicklungsplan. Sarnen: Amt für Wald und Landschaft AWL. 76 S.
- Krättli W. & Schwarz M. (2015). Stabilisierung rutschender Hänge. Tagungsunterlagen. Plaffeien, 11.06.15 / Schüpfeheim, 18.6.15 / Fideris, 25.6.15. Maienfeld: Fachstelle für forstliche Bautechnik Fobatec. 54 S.
- Kutschera L. & Lichtenegger E. (2013). Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. 2. Auflage. Band 6. Graz und Stuttgart: Leopold Stocker. 604 S.
- Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmler W., Nobis M. et al. (2010). Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. 2. Auflage. Bern, Stuttgart und Wien: Haupt. 376 S.
- Lateltin O., Beer C., Raetzo H. & Caron C. (1997). Landslides in Flysch terranes of Switzerland: Causal factors and climate change. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 90, 401-406.
- LFI (2021). Vegetationshöhenmodell (VHM). Zugriff am 25.05.2021, www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/zustand/karten/gedoatenmodelle.html.
- Mosimann T. (1984). Das Stabilitätspotential alpiner Geoökosysteme gegenüber Bodenzerstörung durch Skipistenbau. Bd. XII, 167-176.
- Ott E., Frehner M., Frey H.-U. & Lüscher P. (1997). Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern, Stuttgart und Wien: Haupt. 287 S.
- Pohl M., Alig D., Körner C. & Rixen C. (2009). Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant Soil*, 324, 91-102.
- R Development Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna and Austria. <https://www.R-project.org>.
- Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrs fachleute VSS (2011). Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Geotechnische Kenngrössen. 91. Normenlieferung, Zürich, 19 S.
- swisstopo (2019). Swisstopo. Zugriff am 25.05.2021, www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/height/alti3d.html.
- TreeApp (2021). TreeApp. Zugriff am 11.11.2021, www.tree-app.ch
- Wittwer A. (2021). Verjüngungsentwicklung in einem Gerinnehang-Schutzwald: limitierende und fördernde Faktoren. Masterarbeit. ETH Zürich, WSL Birmensdorf, 43 S.