

Mitteilungsblatt Nr. 3/2017, September 2017
Bulletin no 3/2017, septembre 2017
Bollettino n. 3/2017, settembre 2017
ISSN 1422-0008

Ingenieurbiologie und Hangstabilität

Génie biologique et stabilité des pentes

***Ingegneria naturalistica e stabilità
di pendii***

**INGENIEURBIOLOGIE
GENIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA**

**Mitteilungsblatt für die Mitglieder
des Vereins für Ingenieurbiologie**

Heft Nr. 3/2017, 27. Jahrgang
Erscheint viermal jährlich

Herausgeber:

Verein für Ingenieurbiologie
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 (0)55 222 47 90
E-Mail: sekretariat@ingenieurbioologie.ch

Internet-Adresse:

<http://www.ingenieurbioologie.ch>

Druck:

Vögeli AG, Langnau i. E.

**Verantwortlicher Redaktor/
Rédacteur responsable:**

Christian Rickli
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
Tel.: + 41 44 739 24 03
Fax: + 41 44 739 22 15
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

**Redaktionsausschuss/
Comité de rédaction:**

Robert Bänziger
Tel.: + 41 44 850 11 81
Fax: + 41 44 850 49 83
E-Mail: info@baenziger-ing.ch

Monika La Poutré
Tel.: + 43 650 8615215
E-Mail: m.stampfer@gmx.at

Roland Scheibli
Tel.: + 41 43 259 27 64
Fax: + 41 43 259 51 48
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Lektorat/Lectorat:

Martin Huber
Tel.: + 41 32 671 22 87
Fax: + 41 32 671 22 00

Übersetzungen/Traductions:

Rolf T. Studer, E-Mail: rolf.studer@mail.com

Veranstaltungen:

Verein für Ingenieurbiologie
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 (0)55 222 47 90
E-Mail: sekretariat@ingenieurbioologie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes
können zum Stückpreis von Fr. 20.–
beim Sekretariat bezogen werden.**



Bei Starkregenereignissen werden oft auch flachgründige Rutschungen und Hangmuren ausgelöst. Diese können Menschenleben gefährden und erhebliche Schäden an Gebäuden, Infrastrukturanlagen sowie auch an land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen verursachen. In einigen Fällen entschieden sich die Verantwortlichen, die entstandenen Rutschungsflächen zu sanieren. Auch künstlich erstellte, steile Böschungen und Hangabschnitte, beispielsweise entlang von Strassen, müssen dauerhaft gesichert werden. Bei solchen Wiederinstandstellungs- und Stabilisierungsmassnahmen kommen neben sogenannten «harten» Bauweisen – beispielsweise mit Beton – vielerorts auch ingenieurbioologische Verfahren zur Anwendung, wobei die Vegetation entscheidend zur Hangstabilität beiträgt. Diese Massnahmen erfordern für eine namhafte und nachhaltige Wirkung weitreichende Kenntnisse in verschiedener Hinsicht. Einerseits in Bezug auf die Pflanzen, ihre Standortansprüche und ihre Wirkung, inklusive der zeitlichen Dimension. Wichtig sind andererseits auch Kenntnisse und praktische Erfahrungen bezüglich der Bautechnik. Neben einer sorgfältigen Planung und Ausführung der Verbauungen dürfen auch die Aspekte Überwachung, Pflege und Unterhalt nicht vernachlässigt werden. Nur so kann eine lange Lebensdauer und fortwährende Stabilität erreicht werden.

Im vorliegenden Heft werden unterschiedliche Aspekte im Zusammenhang mit Ingenieurbioologie an Hängen be-

leuchtet und deren Chancen, aber auch Risiken und Grenzen diskutiert. Im Artikel von Graf und Rickli sind ausgewählte Forschungsergebnisse des kürzlich abgeschlossenen Nationalen Forschungsprogramms NFP 68 (Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden) dargestellt. Im Zentrum steht dabei die Quantifizierung der Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen – insbesondere der Beitrag von Pflanzen und Mykorrhizapilzen. Diese Symbiosepartner werden versuchsweise auch bei ingenieurbioologischen Massnahmen in der Zentralschweiz eingesetzt, über welche im Beitrag von Grunder et al. berichtet wird. Weiter sind dort beispielweise auch die Stabilisierung einer mittelgründigen Rutschung oder die Rekultivierung eines Gipsabbaugebietes mit verschiedenen Kombinationen von technischen und ingenieurbioologischen Massnahmen beschrieben. Amann stellt in seinem Artikel wichtige Erfahrungsgrundsätze im Zusammenhang mit dem Bau von Stützwerken aus Holz und der Sanierung von Rutschflächen an steilen Hängen im Kanton Glarus vor und illustriert diese anhand von Fallbeispielen. Im Beitrag von Weber und Clavadetscher werden verschiedene Massnahmen zur Stabilisierung eines grösseren Rutschgebietes im Münstertal dargestellt. Dabei werden auch die Grenzen von ingenieurbioologischen Massnahmen in Gebieten mit tiefer verlaufenden Gleitflächen aufgezeigt und diskutiert. Wanzenried berichtet in seinem Artikel anhand von zahlreichen Beispielen über seine langjährigen Erfahrungen mit ingenieurbioologischen Verbauungen entlang von Strassen im Berner Oberland, die er während seiner Zeit als Projektverantwortlicher Ingenieur beim Tiefbauamt machen konnte. Eine besondere Abdeckungsvariante mit Holzwollevlies zum Schutz frisch verbauter Steilhänge vor Erosion beschreibt Zollinger in ihrem Artikel und beschreibt Verbauungen an Steilhängen, bei denen dieses Verfahren angewendet wurde. Last but not least beleuchtet Krättli in seinem Beitrag die Aus- und Weiterbildung im Bereich Ingenieurbioologie in den Waldberufen der verschiedenen Ausbildungsstätten der Schweiz und weist auf die im Jahr 2015 gegründete Fachstelle für forstliche Bautechnik hin.

Christian Rickli, Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Titelbild/Frontispice:

Holzkasten-Hangrost, Obsee, Alpnachstad (Quelle belop). Pflanzung Heckensortiment im Bereich des Holzkasten-Hangrost ausgeführt durch den Forst Alpnach; Ansaat durch den Bewirtschafter ausgeführt. *Caissons et armatures en bois, Obsee, Alpnachstad (source belop). Plantation d'un assortiment de haies dans le secteur des caissons et armatures en bois réalisé dans la forêt Alpnach; semis effectué par l'exploitant.*

Cassone di legnograta viva, Obsee, Alpnachstad (fonte: belop). Impianto di siepi nella zona dei cassoni e grate in legno eseguito dai forestali di Alpnach; semina eseguita dal coltivatore.

Lors de fortes intempéries, des glissements de terrain en surface et des coulées de boue sur les versants ont également souvent lieu, mettant potentiellement en danger les personnes et pouvant causer des dommages importants aux bâtiments, infrastructures ainsi qu'aux terres agricoles et forestières. Dans certains cas, les responsables décident d'assainir les surfaces en glissement. Les pentes raides et les versants créés artificiellement, comme par exemple le long des routes, doivent aussi sécurisés durablement. Lors de ces mesures de stabilisation et de remises en état, en plus des méthodes «dures» – par exemple avec du béton –, des méthodes de génie biologique pour lesquelles la végétation contribue de manière fondamentale à la stabilité des pentes sont également utilisées en de nombreux endroits. Pour un effet notable et durable, ces mesures nécessitent une connaissance approfondie à différents niveaux, d'une part en rapport avec les végétaux, leurs besoins quant à l'emplacement et leurs effets, y compris la dimension temporelle, d'autre part avec les connaissances et les expériences pratiques en rapport avec l'ingénierie structurelle. Outre une planification minutieuse et l'exécution des travaux, les aspects liés aux contrôles, soins et entretiens ne doivent pas être négligés. Ce n'est qu'ainsi qu'une durée de vie accrue et une stabilité continue pourront être garanties.

Dans ce bulletin, différents aspects liés au génie biologique sur les versants seront étudiés, notamment leurs possibilités, mais aussi les risques et les limites. Dans l'article de Graf et Rickli, une sélection des résultats de la recherche récemment achevée du Programme national de recherche NFP68 est présentée (utilisation durable des terres comme une ressource). L'accent est mis sur la quantification des effets végétaux sur la protection contre les glissements en surface – en particulier la contribution des plantes et des champignons mycorhiziens. L'article de Grunder et al. se réfère à ces partenaires de symbiose utilisés à titre expérimental lors de mesures de génie biologique en Suisse centrale. La stabilisation d'un glissement de terrain de profondeur moyenne ou la remise en état d'une zone d'extraction de gypse avec différentes combinaisons de mesures techniques et de génie biologique y sont par exemple aussi décrites. Dans sa contribution, Ammann présente d'importants principes expérimentaux dans le cadre

de la construction d'ouvrages structurels en bois et l'assainissement des surfaces en glissement sur les pentes raides dans le canton de Glarus et les illustre par des études de cas. L'article de Weber und Clavadetscher montre diverses mesures de stabilisation appliquées à une vaste zone de glissement dans le Münstertal. Dans ce cas, les limites des mesures du génie biologique dans des zones avec des surfaces de glissement plus profondes sont discutées. Dans son article, Wanzenried illustre par de nombreux exemples sa grande expérience acquise au fil des années en tant qu'ingénieur responsable de projet au département de génie civil en matière de génie biologique le long des routes de l'Oberland bernois. Une variante de couverture spéciale avec une couche de laine de bois pour protéger les versants nouvellement aménagés de l'érosion est décrite par Zollinger dans son article par des exemples où ce processus a été mis en oeuvre. Last but not least, Krättli apporte dans sa contribution un éclaircissement sur l'apprentissage et sur la formation continue dans le domaine du génie biologique dans les professions forestières de divers établissements d'enseignement en Suisse et nous renseigne sur le Centre pour le génie forestier fondé en 2015.

Christian Rickli, collaborateur scientifique à l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

Spesso il maltempo provoca scivolamenti di pendii e frane, i quali possono mettere in pericolo vite umane e causare ingenti danni a edifici, infrastrutture e superfici agricole o forestali. In alcuni casi i responsabili hanno deciso di risanare i pendii franati. Anche pendii e scarpate ripide costruite dall'uomo, per esempio lungo le strade, devono essere assicurati in modo stabile. Nel caso di questo tipo di misure di risanamento e stabilizzazione vengono implementate anche tecniche di ingegneria naturalistica, oltre alle classiche costruzioni rigide quali per esempio opere in cemento. In modo che queste misure siano stabili e durature, sono necessarie conoscenze specifiche in diversi campi. Le piante devono essere adatte al luogo e allo scopo, senza dimenticare la loro longevità. Dall'altro lato sono anche importanti le conoscenze e l'esperienza pratica delle tecniche di costruzione. Oltre all'accurata pianificazione e costruzione delle opere

non vanno tralasciati il monitoraggio, la cura e la manutenzione. Solo così si può assicurare una lunga durata di vita e una stabilità permanente.

Quest'edizione illustra diversi aspetti dell'ingegneria naturalistica su pendii, le sue possibilità ma anche rischi e limiti. L'articolo di Graf e Rickli riassume una selezione di risultati di ricerche del programma di ricerca nazionale NFP68 da poco terminato. Il ruolo della vegetazione, in particolare quello di piante e micorrize contro la protezione da scivolamenti è al centro dell'articolo. L'articolo di Grunder et al. illustra come nella Svizzera centrale queste simbiosi sono utilizzate in maniera sperimentale per misure di ingegneria naturalistica. Vi vengono inoltre descritte combinazioni di misure tecniche e di ingegneria naturalistica atte a stabilizzare uno scivolamento di profondità media o la rinaturalizzazione di una cava d'estrazione di gesso. Nel suo articolo Amann descrive importanti esperienze nella costruzione di strutture di sostegno in legno e il risanamento di scivolamenti lungo pendii ripidi nel Canton Glarona, illustrandole con esempi concreti. L'articolo di Weber e Clavadetscher illustra diverse misure per la stabilizzazione di una grande zona di scivolamento nel Münstertal. Vengono presentati e discussi anche i limiti delle misure di ingegneria ambientale in aree con superfici di scivolamento profonde. Sulla base di diversi esempi, nel suo articolo Wanzenried descrive le molteplici esperienze che ha fatto con opere di ingegneria naturalistica quale ingegnere responsabile di progetti presso il Tiefbauamt lungo strade dell'Oberland Bernese. Zollinger presenta una variante particolare per proteggere pendii ripidi appena costruiti dall'erosione con tessuti in lana di legno. Presenta inoltre opere lungo pendii ripidi dove è stato utilizzato questo metodo. Infine nel suo articolo Krättli illustra l'offerta di formazione e formazione continuata nel campo dell'ingegneria naturalistica per i mestieri nel campo forestale dei diversi centri di formazione della Svizzera e presenta il centro per il genio forestale inaugurato nel 2015.

Christian Rickli, collaboratore scientifico all'istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL

Beitrag von Pflanzen und Mykorrhizapilzen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen

Frank Graf und Christian Rickli

Zusammenfassung

Die präsentierten Resultate und Ausführungen beziehen sich grösstenteils auf das kürzlich abgeschlossene Projekt SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards), welches im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 68 (NFP 68) «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» durchgeführt wurde. Im Fokus unseres Projekts standen biologische Massnahmen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen. Ziel war es, Wirkungen von Pflanzen, insbesondere von Wäldern, auf die Hangstabilität sowie begleitende Effekte von Symbiosepilzen (Mykorrhiza) möglichst zuverlässig zu quantifizieren. Dazu wurden Aspekte der Bodenmechanik, Vegetation sowie der Waldbewirtschaftung und Landnutzung berücksichtigt und der praxistauglichen Umsetzung der Resultate grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Anhand von Untersuchungen ingenieurbioologischer Massnahmen sowie in Laborversuchen konnte nachgewiesen werden, dass Mykorrhizapilze Wachstum, Entwicklung und Überleben ihrer Wirtspflanzen fördern, die Festigkeit von Bodenaggregaten erhöhen und so ebenfalls zur Stabilisierung von Hängen beitragen. Das höchste Schutzpotenzial zeigten Wälder mit ausreichender ober- und unterirdischer Vielfalt bezüglich Arten – insbesondere von Pflanzen und deren Mykorrhizapartnern – horizontaler, vertikaler und Alters-Struktur, Baumartenmischung sowie Durchwurzelung und Wurzelarchitektur. Intensive landwirtschaftliche Nutzung, die zu Bodenverdichtung und zusätzlichem Nährstoffeintrag führt, reduziert einerseits die Vielfalt von Pflanzen und Mykorrhizapilzen. Andererseits wird auch die Wurzelverstärkung beeinträchtigt sowie weitere, durch die Wurzeln beeinflusste Stabilisierungseffekte, was eine Verminderung der Hangstabilität bewirkt. Die Bedeutung der Resultate und Erkenntnisse sind für Praxis und For-

schung dargelegt und werden in erste Empfehlungen gefasst.

Keywords

Ingenieurbioologie, Mykorrhiza, Hangstabilität, Rutschung, 3^D-Diversität

Contribution des végétaux et des champignons mycorhiziens comme protection contre les glissements de terrain en surface

Résumé

Les mises en oeuvres et les résultats présentés concernent principalement le projet récemment achevé SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards) effectué dans le cadre du Programme national de recherche 68 (NFP68) «Utilisation durable de la ressource sol». L'accent était mis sur les mesures biologiques pour la protection contre les glissements de terrain superficiels. L'objectif était de quantifier les effets des plantes, en particulier des forêts, sur la stabilité des pentes ainsi que le renforcement des effets par des champignons symbiotiques (mycorhizes) de manière aussi fiable que possible. Les aspects de la mécanique des sols et de la végétation, tout comme de la gestion des forêts et l'utilisation des terres ont été pris en compte et une grande attention a été prêtée à la mise en oeuvre pratique des résultats. À l'aide d'analyses de mesures du génie biologique et d'expériences en laboratoire, on a pu démontrer que les champignons mycorhiziens favorisent la croissance, le développement et la survie de leurs plantes hôtes, augmentent la résistance des agrégats du sol et contribuent ainsi à la stabilisation des pentes. Le potentiel de protection le plus élevé a été observé dans des forêts caractérisées par une diversité en surface et sous le sol suffisante – en particulier des plantes et leurs partenaires mycorhi-

ziens – des structures horizontales, verticales d'âge variées, par un mélange d'espèces arboricoles, d'enracinement et d'architecture radiculaire. Une utilisation agricole intensive conduit à un compactage du sol et apporte des éléments nutritifs supplémentaires, réduisant d'une part la variété des plantes et des champignons mycorhiziens et freinant, d'autre part, le renforcement des racines, tout comme les effets de stabilisation impactés par les racines, ce qui provoque une diminution de la stabilité des pentes. La portée des résultats et les conclusions, destinées aux praticiens et à la recherche, sont résumées dans des premières recommandations.

Mots-clés

Génie biologique, mycorhizes, stabilité des pentes, glissement de terrain, diversité 3^D

L'azione della simbiosi tra piante e micorrizenella protezione dagli scivolamenti a fondo piatto

Riassunto

I risultati e le analisi presentate nell'articolo si basano in gran parte sul progetto SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards) il quale si è concluso da poco nell'ambito del programma nazionale di ricerca 68 (NFP 68) «Utilizzo sostenibile del suolo». Misure biologiche di protezione contro erosioni a fondo piatto erano al centro del progetto. L'obiettivo era di quantificare il più precisamente possibile l'effetto delle piante sulla stabilità dei pendii, in particolare quella dei boschi, e gli effetti derivati da simbiosi con micorrize. Sono stati considerati aspetti della meccanica del suolo e della vegetazione come anche della gestione forestale e uso del territorio. Inoltre è stata data grande importanza alla possibile applicazione

dei risultati nella pratica. L'ispezione di misure d'ingegneria naturalistica sul campo ed esperimenti in laboratorio hanno dimostrato che le micorrize favoriscono la crescita, lo sviluppo e la sopravvivenza della pianta ospite. Oltre a questo aumentano la stabilità del terreno e contribuiscono anch'esse alla stabilizzazione di pendii. Il più grande potenziale di protezione lo presentano boschi con le seguenti caratteristiche minime: biodiversità al di sopra e nel terreno (soprattutto tra micorrizza e pianta ospite), strutture d'età verticali e orizzontali, mescolanza delle specie arboree, e radicazione e struttura delle radici sufficienti. L'agricoltura intensiva che causa compattazione del suolo e l'aumento dell'apporto di materie nutritive riduce da un lato la diversità di piante e micorrize, e dall'altro influenza la radicazione e altri effetti stabilizzanti delle radici, riducendo la stabilità dei pendii. Il significato dei risultati e gli insegnamenti tratti sono riassunti in prime raccomandazioni e ne viene illustrata l'applicazione nella pratica e nella ricerca.

Parole chiave

Ingegneria naturalistica, micorrizza, stabilità di pendii, scivolamenti, diversità 3D

Einleitung

Unser Projekt SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards) wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 68 (Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden) durchgeführt, welches das Wissen über die Qualität der Böden verbessern, Instrumente für deren Bewertung entwickeln und Strategien zur nachhaltigen Nutzung erarbeiten will. Unser Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit Boden war insbesondere auf die Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen fokussiert.

Erosion und Rutschungen verursachen in der Schweiz immer wieder grosse Schäden. Der Schutz vor derartigen Naturgefahren und die Verbesserung der Vorhersage sind daher wichtige Anliegen. Ziel von SOSTANAH war, die **Pflanzen-**

wirkungen auf die Hangstabilität zuverlässiger zu benennen und quantifizieren.

Im Mittelpunkt unseres Projekts standen biologische Massnahmen zur Stabilisierung von Boden und Hängen als Schutz vor flachgründigen Rutschungen. Unsere Feld- und Laboruntersuchungen sollten einerseits das Prozessverständnis der Boden-Pflanzen Interaktionen verbessern und andererseits Möglichkeiten aufzeigen, Boden an steilen Hängen mit Hilfe von Vegetation, insbesondere von Wald, nachhaltig zu stabilisieren.

Ein wichtiger Teilaspekt beinhaltete die **Untersuchung zum Einfluss von Mykorrhizapilzen (Symbionten) auf ihre Pflanzenpartner** im Hinblick auf den Beitrag zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen.

Der Stellenwert der Vegetation und insbesondere von Wald als Schutz vor Hangrutschungen und Erosion wurde schon früh erkannt und daraus auch Grundlagen zu Methoden entwickelt, um betroffene Gebiete wieder zu bepflanzen und zu stabilisieren. Seit 1991 sind diese Massnahmen in der Schweiz durch den Artikel 19 des Waldgesetzes festgehalten (WAG 1991), wodurch auch ingenieurbioologische Methoden zur Hangstabilisierung gegenüber rein technischen Lösungen massgeblich aufgewertet werden. Auch der Pflege von Bepflanzungen und Aufforstungen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der biologischen Schutzfunktionen kommt entsprechende Bedeutung zuteil (Graf *et al.* 2003, Marti *et al.* 2016 a, b).

Damit allerdings die wichtigen Pflanzenfunktionen für die Boden- und Hangstabilisierung zum Tragen kommen, müssen grundlegende Voraussetzungen erfüllt sein: **Wachstum, Entwicklung und Vielfalt!** Was im ersten Moment als selbstverständlich erscheint, entpuppt sich bei genauerer Betrachtung als alles andere als eine triviale Gegebenheit. Gerade unter den extremen Bedingungen auf nacktem Bodenmaterial abgerutschter und erodierter, steiler Hänge ist es selbst für ausgesprochene Pionierpflanzen eine grosse Herausforderung innerhalb angemessener Frist Fuss zu fassen und sich zu behaupten; und es eilt! Die

Zeit ist knapp, um einen Hang nachhaltig zu besiedeln und den Wettkampf gegen die Uhr, namentlich gegen Erosions- und Rutschungsprozesse, zu gewinnen.

Doch die Natur hat vorgesorgt. Denn genau an diesem heiklen und entscheidenden Punkt kommen die Mykorrhizapilze ins Spiel. Auf diese Symbiosepilze sind fast alle Pflanzen angewiesen, welche natürlicherweise in unseren Breitengraden auf steilen Hängen vorkommen (Smith & Read 2008).

Im Rahmen dieses Artikels werden nachfolgend die essentiellen Funktionen von Pflanzen und Mykorrhizapilzen im Hinblick auf die Stabilisierung von Boden und Hängen, sowie darauf bezogen Aspekte der Diversität und Landnutzung kurz dargelegt. Als Ergänzung werden wichtige Resultate und Erkenntnisse aus unserem Projekt SOSTANAH vorgestellt und diskutiert.

Pflanzenfunktionen für stabile Hänge

Sowohl als Individuen als auch im Verbund als Vegetationsdecke üben Pflanzen essentielle Funktionen aus und beeinflussen dadurch verschiedene Prozesse, welche sich positiv auf die Hangstabilität auswirken. Schlüsselrollen spielen einerseits die Bodenentwässerung und Regulierung des Wasserhaushalts durch Interzeption und Evapo-Transpiration sowie das Wasserspeichervermögen (Graf *et al.* 2017). Andererseits sind die Bildung und chemische Zementierung von Aggregaten mittels Stoffwechselprodukten, und



Abbildung 1: Boden stabilisierende Pflanzenfunktionen: Interzeption, Evapo-Transpiration, Wasserspeichervermögen, Wurzelwirkungen.

Figure 1: Fonctions végétales de stabilisation des sols: interception, évapotranspiration, capacité de stockage des eaux, effets des racines.

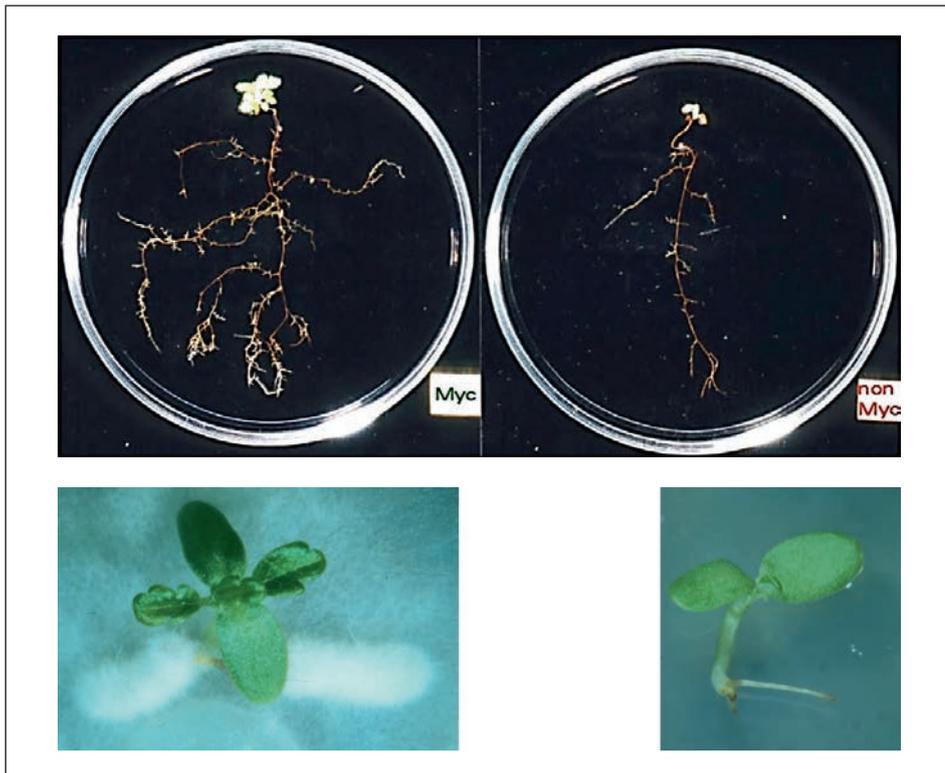


Abbildung 2: Wurzeln von 20 Wochen alten Silberwurz-Pflänzchen (*Dryas octopetala*) und 2-wöchigen Keimlingen, inokuliert mit dem Mykorrhizapilz *Laccaria bicolor*, mit stark verzweigtem Wurzelwerk, respektive dem wattig weissen Pilzmantel und Myzel (links) sowie die entsprechenden Kontrollen ohne Mykorrhizapilz (rechts).

Figure 2: Racines de plantes de dryade (*Dryas octopetala*) de 20 semaines et plantules de 2 semaines, inoculés avec le champignon mycorhizien *Laccaria bicolor*, au système racinaire très ramifié, respectivement la couche de champignon blanc cotonneux et mycélium (à gauche) et les contrôles correspondants sans mycorhiziens (à droite).

damit die Veränderung der Bodenstruktur, sowie die mechanische Stabilisierung von Bodenmaterial im Rahmen der Wurzelverstärkung (Armierung) Kernstücke (Abb. 1). Durch ihren Eintrag von organischem Material treiben sie zudem den Nährstoffkreislauf an und fördern dadurch Sukzession und Diversität.

Mykorrhizapilze: Schnittstelle zwischen Pflanzen und Boden

All diese für die Boden- und Hangstabilität wichtigen Pflanzenfunktionen verlangen unbestrittene Voraussetzungen: **Wachstum, Entwicklung und Vielfalt!** Unter extremen Klima- und Bodenbedingungen (z.B. Instabilität, Grobkörnigkeit, Auswaschung, ...) sowie mangelnder Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, sind die Pflanzen auf Unterstützung angewiesen. Diese kommt ihnen in Form der Mykorrhizapilze zu Teil. Auf diese Symbiosepilze sind fast alle Pflanzen angewiesen, welche natürlicherweise in un-

seren Breitengraden auf steilen Hängen vorkommen (Smith & Read 2008).

In dieser Pflanze-Pilz-Beziehung profitieren beide Partner voneinander. Während der Pilz seine Wirte mit Wasser und Nährstoffen versorgt – und zwar viel effizienter als Wurzeln allein im Stande sind – erhält er im Austausch Zucker aus dem Photosynthese-Stoffkreislauf der Pflanzen. Dank den weit ausgedehnten und fein gesponnenen Hyphennetzwerken der Pilze, wird im Rahmen funktionaler Mykorrhiza-Symbiosen sowohl mehr oberirdische Pflanzenbiomasse erzeugt als auch ein viel grösseres und stärker verzweigtes Wurzelwerk ausgebildet (Abb. 2), was entsprechend auch das Überleben mykorrhizierter Pflanzen fördert.

Zudem sind diese Pilzpartner auch massgeblich an der Bodenbildung beteiligt und üben wichtige Steuerungsfunktionen in der Vegetationsentwicklung im Rahmen natürlicher Sukzessionsprozesse aus.

Mykorrhizafunktionen im Dienste der Pflanzen

Dank der stark verbesserten Wasser- und Nährstoffversorgung durch die Pilzpartner, gelingt es den Pflanzen auch unter extrem (Wachstums-) limitierenden Bedingungen zu überdauern. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Wachstum und Entwicklung mykorrhizierter Pflanzen besser und schneller von statten gehen und auch die Überlebensrate deutlich höher ist, als für Pflanzen ohne ihre Pilzpartner (Smith & Read 2008, Bast *et al.* 2016). Read und Boyd (1986) haben in ihren Untersuchungen an Waldföhren (*Pinus sylvestris*) 10 bis 80 m Myzel von Ektomykorrhizapilzen gemessen und das für 1 cm mykorrhizierte Feinwurzel. Dieses immense Netzwerk an Pilzhyphen durchdringt den Boden um ein Vielfaches intensiver als die Wurzelhaare nicht mykorrhizierter Pflanzen. Zudem hat es dank den kleinen Hyphendurchmessern (2–5 µm) Zugang zu einem viel grösseren Porenvolumen (Wurzelhaare: Ø = 10–15 µm).

Überleben: Mykorrhizapilze unterstützen ihre Wirtspflanzen insbesondere unter extremen klimatischen und standörtlichen Bedingungen, wie sie beispielsweise im montan-subalpinen Einzugsgebiet des Arieschbach (Fideris, GR) herrschen. Die steilen Einhänge dieses Wildbaches waren im Zusammenhang mit Starkniederschlägen immer wieder Ursprung von zum Teil massiven Schadenereignissen. Schon früh wurde deshalb versucht die grossflächig vegetationslosen Steilhänge mit Hilfe technischer Konstruktionen und Pflanzungen zu stabilisieren. In Anlehnung an diese ingenieurbioologischen Massnahmen wurden im Frühjahr 2010 Untersuchungsflächen eingerichtet, auf welchen neben einer Saatmischung und Heckenbuschlagen auch Mykorrhizapilze eingesetzt wurden. Im Rahmen eines Forschungsprojekts haben Bast *et al.* (2014, 2016) den Einfluss dieser Symbiosepartner auf die Pflanzungen allgemein und im Speziellen auf das Überleben eingehend untersucht (Abb. 3). Als Inokulum wurde das kommerzielle Produkt «Forst» der Firma INOQ (<https://inoq.de/>) nach deren Empfehlungen verwendet. Dieses Produkt enthält sowohl arbuskuläre (3

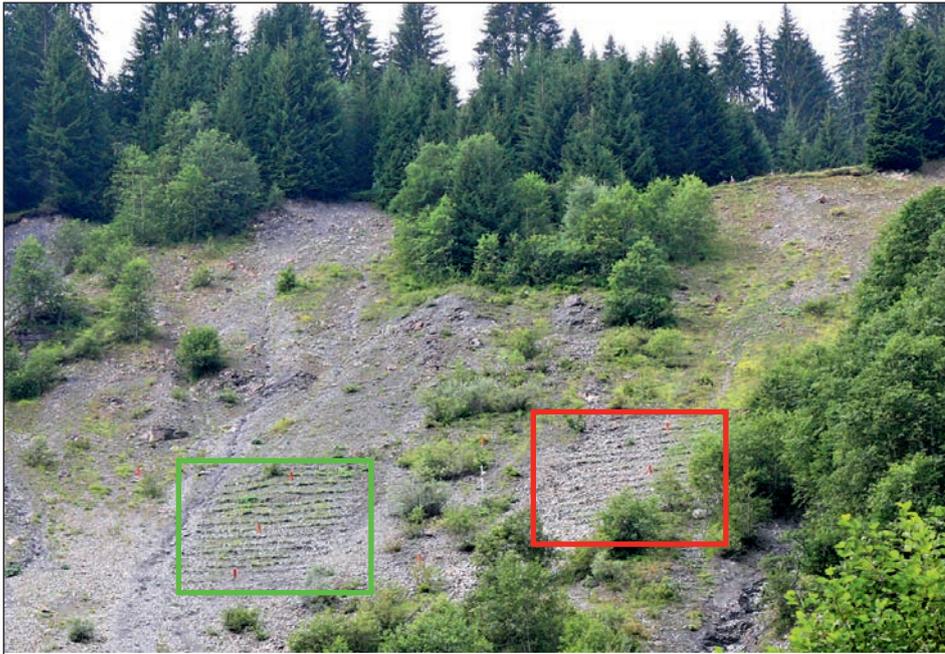


Abbildung 3: Untersuchungsgebiet «Arieschbach» (Fideris, GR) mit 40-50° steilem Hang und den beiden ingenieurbologisch verbauten Untersuchungsflächen mit (grün) und ohne (rot) Anwendung von Mykorrhizapilzen (Aufnahme von Alexander Bast, WSL).

Figure 3: Surface d'étude «Arieschbach» (Fideris, GR) avec des pentes de 40-50° se distinguant par deux pratiques de génie biologique: avec (vert) et sans inoculation (rouge) de champignons mycorhiziens (saisie d'Alexander Bast, WSL).

Arten) als auch Ekto-Mykorrhizapilze (8 Arten) und deckt somit das Spektrum der verwendeten Pflanzen sehr gut ab. Die Mykorrhiza-Untersuchungen konzentrierten sich auf die Pflanzenarten der Gattungen Erle (*Alnus incana*, *A. viridis*) und Weide (*Salix purpurea*, *Salix sp.*).

Der Mykorrhiza-Effekt war schon nach der ersten Vegetationsperiode klar ersichtlich und signifikant und so blieb es auch in den nachfolgenden zwei Untersuchungs Jahren. Die Überlebensraten der mykorrhizierten Pflanzen nach der dritten Vegetationsperiode betragen für die Erlen gut 50%, jene der Weiden 80%. Im Vergleich dazu lebten bei den nicht behandelten Erlen nur noch knapp 20% und bei den Weiden 50%. Von Beginn an konnten sich die Weiden deutlich besser behaupten als die Erlen, sowohl in der mykorrhizierten als auch unbehandelten Variante.

Höhere Überlebensraten sind eng mit besserem Wachstum verknüpft. Insgesamt produzierten die mykorrhizierten Pflanzen (*Alnus spp.*, *Salix spp.*) deutlich mehr oberirdische Biomasse. Der Unterschied zu den nicht mykorrhizierten Kontrollpflanzen war von Beginn weg ersichtlich und insbesondere bei den Er-

len mit 4–6 mal höheren Werten sehr ausgeprägt (Bast *et al.* 2016).

Sprosswachstum: Der positive Einfluss auf das Pflanzenwachstum (oberirdische Biomasse) ist einer der offensichtlichsten Effekte der Mykorrhiza. Unsere Untersuchungen mit Grauerle (*Alnus incana*) und Hängebirke (*Betula pendula*) sowie verschiedenen Inokulum-Typen bestätigen dies und zeigen ebenfalls eine Abhängigkeit der spezifischen Pflanze-Pilz Beziehung (Abb. 4, Graf *et al.* 2017).



Abbildung 4: Wachstumseffekt von Mykorrhiza, links bei Erle (*Alnus incana*) und rechts bei Birke (*Betula pendula*). Die beiden Proben links bei Erle und die eine bei Birke wurden jeweils mit dem kommerziellen Produkt Forst der Firma INOQ behandelt.

Figure 4: Effet de la croissance des mycorhizes, à gauche sur un aulne (*Alnus incana*) et à droite sur un bouleau (*Betula pendula*). Les deux échantillons à gauche de l'aulne et du bouleau ont chacun été traités avec le produit Forst de la société INOQ.

Sowohl bei Erle als auch bei Birke bewirkte das kommerzielle Inokulum (Forst von INOQ) eine deutliche Steigerung der oberirdischen Biomasse. Die Zugabe eines jeweils wirtsspezifischen Mykorrhizapilzes führte nur bei Erle zu einer geringfügigen Steigerung gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Als spezifische Pilzarten kamen für die Birke *Hebeloma crustuliniforme* (Tongrauer Tränenfälbling) und für die Erle *Melanogaster variegatus s.l.* (Bunter Schleimtrüffel) zum Einsatz. Beide Pilzarten stammen aus der Kultur-Sammlung von Mykorrhizapilzen der WSL und wurden direkt aus Fruchtkörpern (*H. crustuliniforme*) eines natürlichen Birkenbestands, respektive aus Wurzeln (*M. variegatus s.l.*) von Grauerlen isoliert (Graf & Frei 2013, Graf *et al.* 2017).

Wurzelwachstum: Mykorrhizapilze können nicht nur die Produktion der oberirdischen Biomasse ihrer Wirtspflanzen fördern, sondern auch deren Wurzelwachstum in erheblichem Masse beeinflussen. Im Rahmen der Untersuchungen an Erle und Birke hat sich erneut gezeigt, dass die positive Wirkung auf das Wurzelwachstum durch Mykorrhizapilze artspezifisch sein kann. Wiederum bewirkte die Inokulierung mit dem kommerziellen Produkt bei Birke signifikant höhere Wachstumsraten (Median: 4.8 cm cm³) als dies für den spezifischen Mykorrhizapilz (Median: 3.8 cm cm³) sowie die unbehandelten Kontrollpflanzen (Median: 3.2 cm cm³) der Fall war (Abb. 5). Bei der Erle war im Vergleich

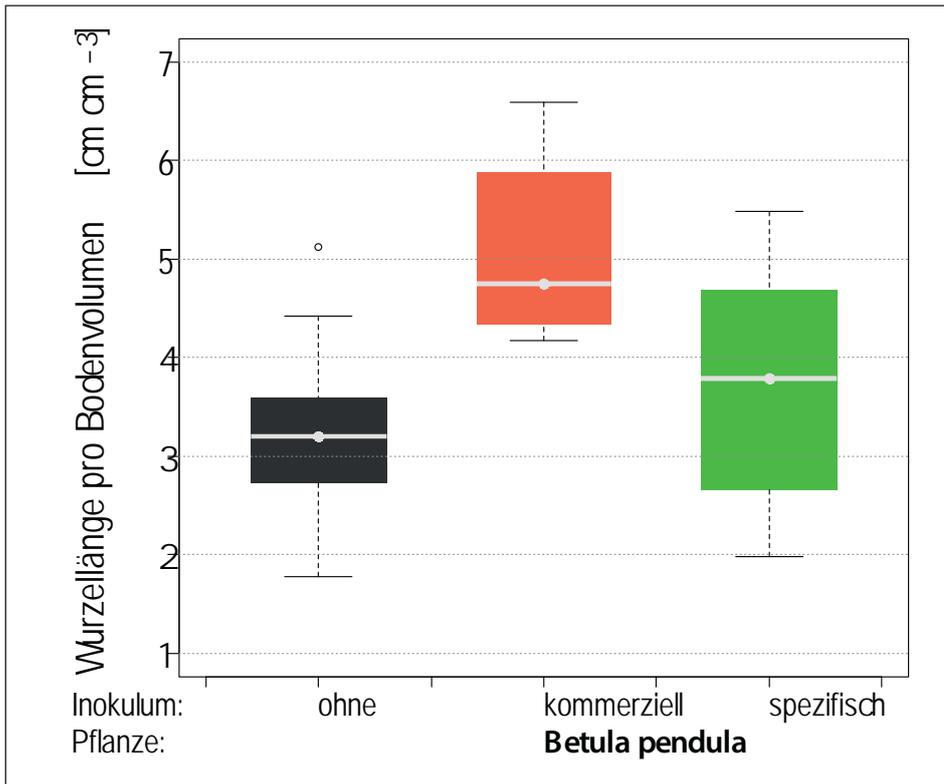


Abbildung 5: Auswirkung unterschiedlicher Mykorrhizapilz-Inokuli (kommerziell, spezifisch) auf das Wurzelwachstum von Birke (*Betula pendula*) im Vergleich zu unbehandelten Kontrollpflanzen.
 Figure 5: Effet de différents inoculums mycorrhiziens (commercialisés, spécifiques) sur la croissance racinaire du bouleau (*Betula pendula*) par rapport aux plants-témoins non traités.

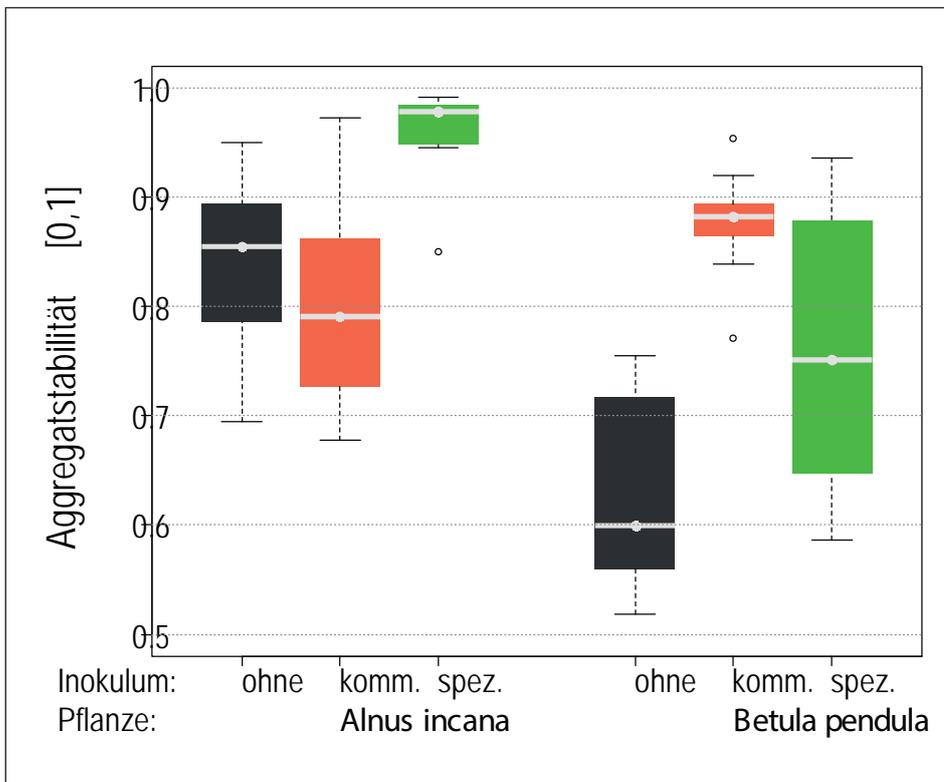


Abbildung 6: Auswirkung unterschiedlicher Mykorrhizapilz-Inokuli (kommerziell, spezifisch) zusammen mit Erle (*Alnus incana*) und Birke (*Betula pendula*) auf die Aggregatstabilität im Vergleich zu unbehandelten Kontrollpflanzen.
 Figure 6: Effet de différents inoculums mycorrhiziens (commercialisés, spécifique) sur l'aulne (*Alnus incana*) et le bouleau (*Betula pendula*) sur la stabilité des agrégats par rapport aux plants-témoins non traités.

zu den unbehandelten Kontrollpflanzen die Steigerung des Wurzelwachstums deutlich weniger ausgeprägt (Graf et al. 2017).

Mykorrhizapilze als Bodenfestiger

Das grossräumige und feinverzweigte Hyphennetzwerk dient jedoch nicht nur der Versorgung von Wirtspflanzen mit Wasser und Nährstoffen, sondern trägt massgeblich und direkt auch zur Bildung stabiler Bodenaggregate bei. Kleinste organische und anorganische Bodenpartikel werden in einem ersten Schritt von den Pilzfäden netzartig umgarnt (mechanische Stabilisierung) und mit Hilfe von klebstoffartigen Stoffwechselprodukten, meist Polysaccharide, zementiert (chemische Stabilisierung). Indirekt, über die Förderung des Wurzelwachstums, unterstützen Mykorrhizapilze auch die Bodenarmierung (Wurzelverstärkung). Zudem dienen die Hyphen als Verbreitungsvektoren weiterer (Mikro-) Organismen, welche ihrerseits an der Aggregatbildung beteiligt sind (Rillig & Mummey 2006).

Stabile Bodenaggregate sind die unverzichtbaren Bausteine zum Aufbau einer beständigen Bodenmatrix und Porenstruktur. Damit sind sie Garant für eine ausreichende Rückhaltekapazität von Wasser- und Nährstoffen und somit essentielle Voraussetzung für eine angemessene Versorgung der Wirtspflanzen durch ihre Pilzpartner (Rillig & Mummey 2006).

Aggregatstabilität: Stabile Bodenaggregate sind nicht nur elementare Voraussetzung für eine genügende Wasser- und Nährstoff-Rückhaltekapazität im Hinblick auf das Wachstum und die nachhaltige Entwicklung von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. Ebenso fördert eine stabile Aggregatstruktur die Durchwurzelung des Bodenkörpers – insbesondere auch in die Tiefe – und ist somit zumindest indirekt mitentscheidend für die Hangstabilität. Umgekehrt fördert eine gute Durchwurzelung die Aggregatstabilität. Hierbei spielen Mykorrhizapilze erneut eine Schlüsselrolle. Die positive Korrelation zwischen Aggregatstabilität und Wurzelichte (Wurzellänge pro Bodenvolumen) sowie Mykorrhizierung wurde mehrfach nachgewiesen (Miller

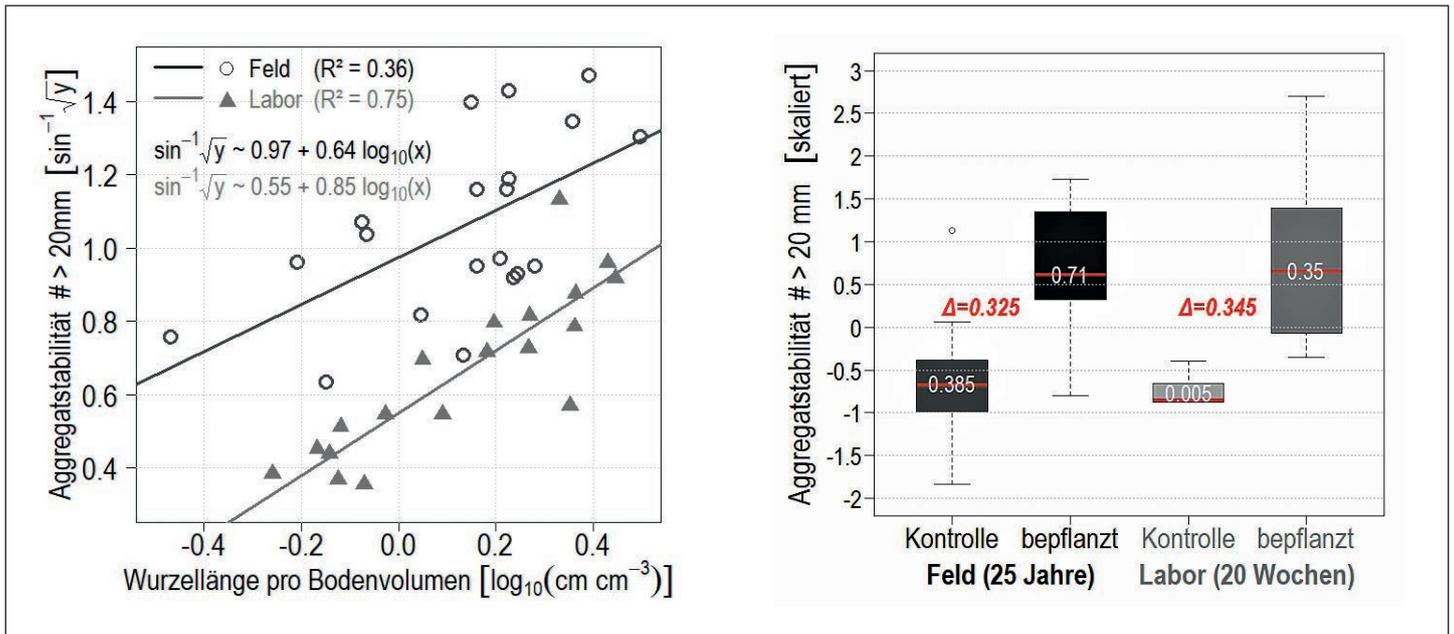


Abbildung 7: Links: Positive Korrelation zwischen Aggregatstabilität und Wurzellänge sowohl an einem ingenieurbiologisch stabilisierten Hang, als auch unter Laborbedingungen bei Verwendung des gleichen Boden- und Pflanzmaterials (Grauerle). Rechts: Zunahme der Aggregatstabilität von einem vegetationslosen Hang 25 Jahre nach der Bepflanzung mit Grauerle und unter Laborbedingungen bei Verwendung des gleichen Boden- und Pflanzmaterials nach einer 20-wöchigen Wachstumsphase, absolut (weisse und rote Zahlen) und relativ (Boxplots).

Figure 7: A gauche: corrélation positive entre la stabilité des agrégats et la longueur des racines à la fois sur un versant stabilisé par des méthodes du génie biologique, et en condition de laboratoire en utilisant le même sol et matériel végétal (aulne gris). A droite: augmentation de la stabilité globale d'un versant nu 25 ans après la plantation d'aulnes gris, et en condition de laboratoire en utilisant le même sol et matériel végétal après une période de croissance de 20 semaines, en termes absolus (chiffres blancs et rouges) et relatifs (boîte à moustaches).

& Jastrov 1990, Graf & Gerber 1997, Burri *et al.* 2009, Graf & Frei 2013).

Diese positive Beziehung zwischen Wurzelwachstum und der Bildung stabiler Bodenaggregate bestätigte sich auch im Rahmen unserer Versuche mit Erle und Birke (Abb. 6). Die höchste Aggregatstabilität wurde für beide Baumarten mit jener Behandlung erreicht, aus welcher auch die höchsten Durchwurzelungswerte resultierten. Für die Erle war das die Inokulierung mit dem spezifischen Mykorrhizapilz, für die Birke mit dem kommerziellen Produkt «Forst» der Firma INOQ. Bei Letzterer war die Aggregatstabilität im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle auch für die Behandlung mit dem spezifischen Mykorrhizapilz signifikant höher.

Ein Vergleich von Feld- und Laboruntersuchungen mit Grauerle (*Alnus incana*) hat gezeigt, dass sowohl unter natürlichen als auch Laborbedingungen eine positive Korrelation zwischen Aggregatstabilität und Wurzellänge pro Bodenvolumen besteht (Abb. 7). Zudem hat sich herausgestellt, dass die relative Zunahme der Aggregatstabilität von einem vegetationslosen Hang (Deckungsgrad < 3%),

25 Jahre nach der Bepflanzung mit Erle, jener entspricht, die im Labor nach 20 Wochen erreicht wird, ebenfalls mit Erle und unter Verwendung des gleichen Bodenmaterials (Abb. 7, Graf *et al.* 2015). Die Differenz der Mediane der Aggregatstabilität zwischen vegetationslosem und bepflanzttem Bodenmaterial betrug unter natürlichen Bedingungen an einem ingenieurbiologisch mit Grauerle verbauten Hang nach 25 Jahren 0.325 und unter Laborbedingungen nach 20-wöchiger Wachstumsphase 0.345. Die Werte sind somit nahezu identisch und deuten darauf hin, dass zeitlich befristete und einfache Laborversuche langfristige Prozesse in der Natur recht gut abbilden können (space for time substitution). Allerdings ist die Aussagekraft beschränkt und nicht vorbehaltlos auf andere Gebiete übertragbar (Moos *et al.* 2016). Dazu kommt, dass es einen beträchtlichen Unterschied bezüglich den absoluten Werten gibt. Die Aggregatstabilität des nahezu vegetationslosen Hangs betrug 0.385 und ist somit beinahe identisch mit jener der bepflanzten Laborproben (0.35) nach 20 Wochen Wachstum. Die bereits bis zu einem gewissen Grad vorhandene

Aggregatstabilität des Hangs vor den ingenieurbiologischen Massnahmen kann insbesondere durch die vorhandenen Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) und deren bodenbildenden Aktivitäten erklärt werden sowie dem höheren Anteil an organischem Material und den natürlichen Quellungs- und Schrumpfungsprozessen. Das Bodenmaterial für die Laborversuche war aufgrund der 24-stündigen Trocknung bei 105°C sowie der Autoklavierung steril (Graf & Frei 2013).

Porenwasserdruck: Die Auslösung flachgründiger Rutschungen ist unter anderem eng gekoppelt mit dem Prozess der Wassersättigung und dem entsprechenden Anstieg des Porenwasserdrucks im Bodenkörper. In den Untersuchungen von Bader (2014) zur Entwicklung des Porenwasserdrucks während der Aufsättigungsphase zeigte sich, dass mit zunehmender Intensität der Durchwurzelung die Zeitdauer bis zum Zerfall des Bodenkörpers aufgrund ansteigenden Porenwasserdrucks verlängert wird und positiv mit der Aggregatstabilität korreliert. Versuche mit Grauerle, Wiesenrispengras (*Poa pratensis*) und der Kombination der beiden Pflanzen haben zudem gezeigt,

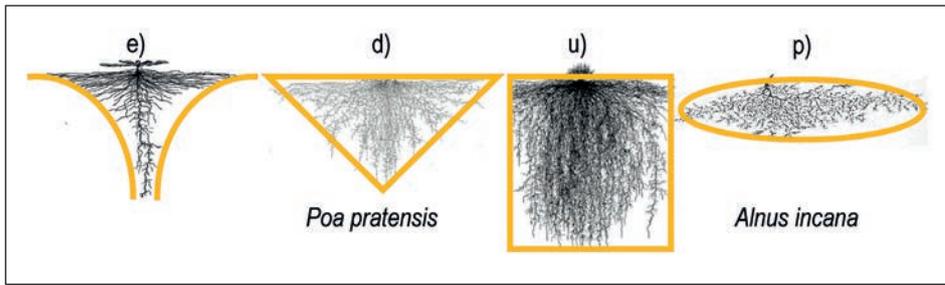


Abbildung 8: Wurzelstruktur (Zeichnungen nach Kutschera & Lichtenegger 1982, 2002) und Wurzelform (gelb; Ng *et al.* 2015), mit abnehmender Widerstandskraft gegen zunehmenden Porenwasserdruck: e) exponentiell, d) dreieckig, u) uniform, p) parabolisch.

Figure 8: Structure de la racine (dessins de Kutschera & Lichtenegger 1982, 2002) et forme de la racine (jaune; Ng *et al.* 2015), avec une diminution de la résistance à une pression d'eau interstitielle accrue des pores: e) exponentielle, d) triangulaire, u) uniforme, p) parabolique.

dass die Wurzelstruktur die Widerstandskraft gegen zunehmenden Porenwasserdruck massgeblich beeinflusst (Ng *et al.* 2015). In der Reihenfolge mit abnehmendem Einfluss sind das die Wurzelformen «exponentiell», «dreieckig», «uniform» und «parabolisch» (Abb. 8). Damit lässt sich erklären, dass in den Proben mit Wiesenrispengras die Zeitspanne bis zum Kollaps der Bodenstruktur deutlich verlängert war. Am längsten konnte der Widerstand in den reinen Gras-Proben aufrechterhalten werden, wo er mehr als doppelt so lange war als in der kombinierten Behandlung Gras und Erle bei gleicher Aggregatstabilität.

Mykorrhizapilze als Vegetationsentwicklungs-Helfer

Auch der Entwicklung der Pflanzen und insbesondere der Pflanzengesellschaften kommt im Hinblick auf die Hangstabilität eine wichtige Rolle zu. Im Verlauf der Sukzession von der Start- zur angestrebten Ziel- oder natürlichen Klimaxgesellschaft haben Mykorrhizapilze ebenfalls ein gewichtiges Wort mitzureden. Sie sind sozusagen die Katalysatoren dieses Prozesses und verantwortlich für dessen Dynamik. Das Fehlen geeigneter Pilzpartner kann den «Sukzessions-Motor» arg ins Stottern oder gar ganz zum Erliegen bringen (van der Heijden *et al.* 1998). Denn es ist zu bedenken, dass nicht jeder Mykorrhizapilz mit jeder Pflanze zu jeder Zeit an jedem Ort unter jeglichen Umweltbedingungen eine funktionelle Symbiose ausbilden kann (Perry *et al.* 1987). Bei mehrjährigen Pflanzen findet auch im Rahmen der Mykorrhizabildung eine Sukzession statt und entsprechend

werden im Jugendstadium andere Pilzpartner beherbergt als im Alter. So finden sich beispielsweise nebst vielen anderen Pilzpartnern der Fichte die Fruchtkörper von Steinpilz, Eierschwamm und Fliegenpilz nur in Waldbeständen fortgeschrittenen Alters.

Unter diesem Gesichtspunkt gilt es auch zu bedenken, dass auf abgerutschten und erodierten Flächen das natürliche Vorkommen von Mykorrhiza-Inkolum drastisch reduziert und die Einwanderung aus intakten Nachbargebieten nicht garantiert ist (Biondini *et al.* 1985). Eine beträchtliche Verlangsamung oder gar ein Stopp der Pflanzengesellschaftsentwicklung wirkt sich häufig nachteilig auf die Stabilität rutschungsgefährdeter Hänge aus. Umso mehr, wenn es sich bei der aktuellen Sukzessionsphase um einen monotonen Bestand mit einheitlicher Durchwurzelungstiefe handelt, was beispielsweise bei einem stagnierenden Grauerlenbestand (*Alnetum incanae* Lüdi) der Fall ist. Eine frühzeitige Ablösung solcher Bestände ist angebracht und in mehrfacher Hinsicht sinnvoll. So nimmt einerseits die mechanische Stabilitätswirkung von Erlenwurzeln (*Alnus incana*) mit zunehmendem Alter ab (Schiechl 1973) und andererseits bilden sich unter den gleichförmigen Wurzelhorizonten bevorzugt Gleitschichten für flachgründige Rutschungen aus (von Wyl 1987).

Diversität und Landnutzung

Artenreichtum, respektive Diversität ganz allgemein, ist ein weiterer Schlüssel-Parameter, welcher die Wirkung der Vegetation auf die Hangstabilität massgeblich

beeinflusst (Graf 2009, Pohl *et al.* 2012). Durch die Vielfalt soll die Widerstandsfähigkeit der Initialpflanzung während der heiklen Keimungs- und Anwuchsphase erhöht und dadurch ein möglichst umfassendes Artenspektrum für natürliche Sukzessionsprozesse bereitgestellt werden. Unter diesem Gesichtspunkt ist die landwirtschaftliche Nutzung sehr beschränkend zu handhaben. Insbesondere sollte möglichst auf Düngung und Beweidung verzichtet werden. Beides kann sich bezüglich Vielfalt nachteilig auf Pflanzen und Mykorrhizapilze auswirken. Eine zu intensive Düngung schränkt nicht nur die Diversität von Pflanzenarten und Wurzelarchitektur ein, sondern auch jene der Pilzpartner (Smith *et al.* 2015, Yang *et al.* 2015). Zudem kommt es zu einer Verschiebung des Spektrums hin zu nährstoffbedürftigen Arten und oberflächennaher Durchwurzelung. Auch die Beweidung kann sich im Hinblick auf nachhaltige Hangstabilisierung negativ auf das Wurzelwachstum auswirken, sowohl durch Bodenverdichtung als auch Frass. Die Wurzelichte nimmt ab und es werden markant weniger Feinwurzeln ausgebildet, was sich wiederum in einer Verarmung der Wurzelarchitektur niederschlägt (Li *et al.* 2015, Tracy *et al.* 2015).

Nützlich für den Praktiker

Pflege und Unterhalt von Vegetation und vorab Wald sollen im Hinblick auf eine nachhaltige Schutzwirkung, insbesondere gegen flachgründige Rutschungen, neben den Richtlinien nach NaiS (Frehner *et al.* 2005) auch die Erkenntnisse aus unserem Projekt SOSTANAH berücksichtigen (Graf *et al.* 2017). Zur Verminderung der Rutschungsanfälligkeit sind Vielfalt und Strukturparameter von entscheidender Tragweite:

- Ein reiches Spektrum an Arten, Sukzessionsstadien, Pflanzenalter, Schichtung, Durchwurzelungstiefe und Wurzelarchitektur stabilisiert effizienter und nachhaltiger.
- Einbinden von Mykorrhizapilzen in Aufforstungs- und Bepflanzungskonzepte (z.B. nach natürlichen Störungen, Verjüngungsschlägen, Neubegegründung von Waldbeständen) fördert

stabilisierende Pflanzenleistungen und -entwicklung.

In rutschungsgefährdeten Gebieten ist bei land- und alpwirtschaftlichen Nutzungen ein behutsames Düngungs- und Beweidungsregime einzuhalten. Dadurch können zu hoher Nährstoffeintrag und Bodenverdichtung vermieden werden. Bei der Renaturierung abgerutschter Hänge mit ingenieurb biologischen Methoden ist bei der Wahl der Pflanzen neben der Artenvielfalt auch den unterschiedlichen Wurzelformen sowie den Mykorrhizapilzen Rechnung zu tragen. Zudem soll bei entsprechenden Massnahmen (z.B. Direktumlagerung) auf eine möglichst heterogene Geländemorphologie geachtet werden, mit variablem Mikrorelief auch im oberflächennahen Bodenbereich.

Was wir daraus schliessen können ...

Wälder, deren Aufgabe in erster Linie den Schutz vor flachgründigen Rutschungen beinhaltet, sollen folgende Anforderungen erfüllen: Vorgaben nach **NaiS** und Erkenntnisse aus unseren Untersuchungen zu **Waldstruktur und Bodenmechanik** (Graf et al. 2017).

Entsprechende Schutzwälder weisen eine gebührende **ober- und unterirdische Vielfalt** auf, insbesondere bezüglich Arten, Alter, horizontaler und vertikaler Struktur, Baumartenmischung sowie Durchwurzelung und Wurzelarchitektur. Wo immer möglich, ist das **Nebeneinander verschiedener Sukzessions- und Entwicklungsstufen in kleinräumig ausgewogener Verteilung** zu fördern. Durch diese **«dreidimensionale Diversität»** – oberirdisch, unterirdisch und hinsichtlich Sukzession (zeitliche Diversität) – erhöht sich nicht nur die Anpassungsfähigkeit und Widerstandskraft des gesamten Bestandes. Auch dessen Selbstregulierung wird so massgeblich gefördert. Neben Pflanzen sind auch deren Partnerorganismen, in erster Linie Mykorrhizapilze, zu berücksichtigen (Abb. 9). Denn eine vielfältige Myko-Rhizosphäre treibt die Sukzession der Pflanzengesellschaften an und ist ein wichtiger Promotor für die nachhaltige Entwicklung einer schützenden Vegetationsdecke. Deshalb soll auch der **unterirdischen Arten- und Strukturvielfalt** (Wurzelarchitektur) angemessene Aufmerksamkeit zuteilwerden.

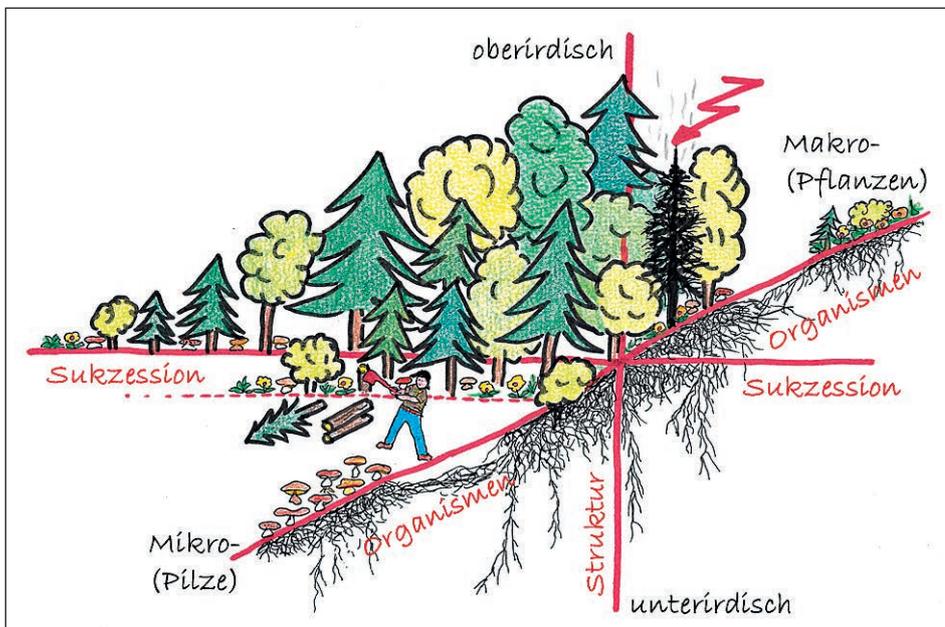


Abbildung 9: 3D-Diversität unter Berücksichtigung von Mikro- und Makro-Organismen (Pflanzen- und Mykorrhizapilz-Arten), ober- und unterirdischer Struktur sowie Sukzession und deren Regulierung durch anthropogene Eingriffe (Pflege und Unterhalt) und natürliche Störungen wie Windwurf, Borkenkäfer, Feuer, Lawinen, ... (Zeichnung von V. Graf-Morgen, 2016).

Figure 9: Diversité 3D, en tenant compte des micro et macro-organismes (plantes et champignons mycorrhiziens), de la structure en surface et en sous-terrain ainsi que de la succession et sa régulation par l'intervention humaine (soins et entretien) et des perturbations naturelles telles que le chablis, les bostryches, le feu, les avalanches etc. (dessin V. Graf-Morgen, 2016).

Landnutzung: Auf eine intensive alp- und landwirtschaftliche Nutzung inner- und oberhalb von Bereichen mit hoher Rutschungs-Wahrscheinlichkeit soll verzichtet werden. Denn hoher Nährstoffeintrag und Bodenverdichtung beeinträchtigen die Stabilität rutschungsgefährdeter Hänge. Zuviel Nährstoff führt zu einer Abnahme des Wurzelwachstums und der biologischen Bodenstabilisierung sowie der Mykorrhizadiversität. Ferner werden an den Standort angepasste Arten durch solche verdrängt, die an eine hohe Nährstoffzufuhr angepasst sind. Bodenverdichtung wiederum beeinträchtigt neben der Wurzelentwicklung und somit der Boden stabilisierenden Wirkungen der Wurzeln insbesondere auch das Hyphenwachstum der Mykorrhizapilze.

Ingenieurbilogie: Bei Wiederbepflanzung und -stabilisierung abgerutschter Hänge mit ingenieurb biologischen Methoden sollen zwar vorrangig Pflanzepilz-Kombinationen des Initialstadiums eingesetzt werden. Allerdings soll die Artenauswahl stets unter Berücksichtigung der entsprechenden Weiterentwicklung erfolgen. Im Hinblick auf angestrebte Zielgesellschaften ist auf möglichst natürliche Sukzessionsprozesse zu achten. Ebenso sind technische und methodisch-konstruktive Gesichtspunkte einzubeziehen. Vorgängig zu biologischen Schutzmassnahmen müssen der Hangfuss stabilisiert (z.B. durch Wildbachverbau) sowie übersteile Partien abgeflacht werden (Reduktion der Hangneigung). Zudem sollen abrupte (gradlinige) Übergänge zwischen und innerhalb von Vegetationstypen (z.B. Waldlücken) und entlang von Geländeübergängen (Kanten), vermieden werden. Überlappende, mosaikförmige und verzahnte Strukturen sind nachhaltig zu fördern, sowohl horizontal als auch vertikal (Wurzelraum). Dabei soll auf eine möglichst heterogene Geländemorphologie geachtet werden mit variablem Mikrorelief auch im oberflächennahen Bodenbereich (z.B. bei Anwendung von Direktumlagerung).

Konzeptionelle Aspekte: Das vorgeschlagene Konzept mit der Kombination von 3D-Diversität und NaiS soll zukünftig vermehrt Eingang in die praktische Anwendung finden, sowohl in der Waldpflege als auch im Rahmen ingenieurb

eurbiologischer Massnahmen. Für eine volle Entfaltung des Potentials soll das Verfahren kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert werden. Dafür ist es notwendig, die entsprechenden Gelände- und insbesondere die Vegetationsparameter bei der zukünftigen Dokumentation von flachgründigen Rutschungen zu berücksichtigen.

Zu guter Letzt soll dabei nicht vergessen werden, dass ein vielfältiger und gut strukturierter Wald nicht nur vor Gefahren schützt – und uns so viel Leid und Geld erspart – sondern auch Klima-relevante Funktionen ausübt. Zusätzlich wirkt sich Strukturvielfalt im Wald positiv auf den Lebensraum vieler Pflanzen- und Tierarten aus. Und nicht zuletzt erfüllt er gesellschaftliche Bedürfnisse nach Erholung und Freizeitaktivitäten.

Literatur

- Bader, A. 2014. How Plants and Mycorrhizal Fungi Contribute to Soil Aggregate Stability. Master Thesis ETH, 146 pp. http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/wildbaeche/projekte/SOSTANH/Theses_EN/AnjaBader
- Bast, A. 2014. Mycorrhizal inoculation as a promoter for sustainable ecoengineering measures in steep alpine environments? Diss. Univ. Bern, 149 pp.
- Bast, A., Wilcke, W., Graf, F., Lüscher, P., Gärtner, H. 2016. Does mycorrhizal inoculation improve plant survival, aggregate stability, and fine root development on a coarsegrained soil in an alpine ecoengineering field experiment? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, DOI: 10.1002/2016JG003422
- Biondini, M.E., Bonham, C.D., Redente, E.F., 1985. Secondary successional patterns in a sagebrush (*Artemisia tridentata*) community as they relate to soil disturbance and soil biological activity. *Vegetation* 60: 25–36.
- Burri, K., Graf, F., Böll, A. 2009. Revegetation measures improve soil aggregate stability: a case study on a landslide area in Central Switzerland. *FOSNOLA* 82: 45–60.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflege-massnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.
- Goulas, K., Graf, F. 2003. Lebendverbau in Wildbacheinzugsgebieten Griechenlands. *Ingenieurbiologie* 4: 19–25.
- Graf, C., Böll, A., Graf, F. 2003. Pflanzen im Einsatz gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen. *Merkblatt für die Praxis* 37, 8 S.
- Graf, F. 2009. Stabilität und Artenvielfalt in der Ingenieurbiologie. In: Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren FAN (ed.) Wildbacheinzugsgebiete-Prozesse, Gefahren und Schutzmassnahmen. FAN-Tagung September 2009, 16 S. www.wsl.ch/wsl/dienstleistungen/publikationen/pdf/9992.pdf
- Graf, F., Frei, M. 2013. Soil aggregate stability related to soil density, root length, and mycorrhiza using sitespecific *Alnus incana* and *Melanogaster variegatus* s.l. *Ecological Engineering* 57: 314–323.
- 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., Gerber, W. 1997. Der Einfluss von Mykorrhizapilzen auf die Bodenstruktur und deren Bedeutung für den Lebendverbau. *Schweiz. Z. Forstwes.* 11: 863–886.
- Graf, F., te Kamp, L., Auer, M., Sudan Acharya, M., Wu, W. 2015. Soil aggregate stability in ecoengineering: comparison of field and laboratory data with an outlook on a new modelling approach. *Recent Advances in Modeling Landslides and Debris Flows. Springer Series Geomech. Geoeng.*, pp. 29-47.
- INOQ GmbH: Solkau 2, 29465 Schnega, Deutschland. Mykorrhiza Produkte – Forst (2017), <https://inoq.de/produktesservice/mykorrhizaprodukte/inoqforst/>
- Kutschera, L., Lichtenegger, E. 1982. Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Band 1 Monocotyledoneae. Gustav Fischer Verlag Stuttgart und New York 1982. – 2. Band der Wurzelatlas-Reihe.
- Kutschera, L., Lichtenegger, E. 2002. Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag Graz und Stuttgart 2002. – 6. Band der Wurzelatlas-Reihe.
- Li, W., Jin, C., Guan, D., Wang, Q., Wang, A., Yuan, F., Wu, J. 2015. The effects of simulated nitrogen deposition on plant root traits: A metaanalysis. *Soil Biology & Biochemistry* 82: 112–118.
- Marti, N., von Albertini, N., Bertil, K. 2016 a. Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren. *Ingenieurbiologie* 3: 4–12.
- Marti, N., von Albertini, N., Bertil, K. 2016 b. Erfolgreiche Direktumlagerung von Zwergsträuchern am Julierpass (Kt. Graubünden). *Ingenieurbiologie* 3: 13–19.
- Miller, R.M., Jastrow, J.D. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 5: 579–584.
- 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*. DOI: 10.1002/esp.3887
- Ng, C.W.W., Liu, H.W., Feng, S. 2015. Analytical solutions for calculating porewater pressure in an infinite unsaturated slope with different root architectures. *Can. Geotech. J.* 52: 1981–1992.
- Perry, D.A., Molina, R., Amaranthus, M.P. 1987. Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: current knowledge and research needs. *Can. J. For. Res.* 17: 929–940.
- Pohl, M., Graf, F., Butler, A., Rixen, C. 2012. The relationship between plant species richness and soil aggregate stability can depend on disturbance. *Plant Soil* 1: 87–102.
- Read, D.J., Boyd, R. 1986. Water relations of mycorrhizal fungi and their host plants. In: Ayres, P.G., Boddy, L. (eds) *Water, fungi and plants*. Cambridge University Press, Cambridge, 287–303 pp.

Rillig, M. C., Mummey D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure, *New Phytol.* 171: 41–53, doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x.

Schiechtel, H.M. 1973. Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Verlag Georg D.W. Callwey, München, 244 S.

Smith, A.J.H., Potvin, L.R., Lilleskov, E.A. 2015. Fertility-dependent effects of ectomycorrhizal fungal communities on white spruce seedling nutrition. *Mycorrhiza* 25: 649–662.

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, 787 pp.

Taylor, D.W. 1948. *Fundamentals of soil mechanics*, Wiley, New York.

Tracy, S.R., Black, C.R., Roberts, J.A., Dodd, I.C., Mooney, S.J. 2015. Using X-ray Computed Tomography to explore the role of abscisic acid in moderating the impact of soil compaction on root system architecture. *Environmental and Experimental Botany* 110: 11–18.

van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69–72.

von Wyl, B. 1987. Beitrag naturnaher Nutzungsformen zur Stabilisierung von Ökosystemen im Berggebiet, insbesondere zur Verhinderung von Bodenerosion. *Schweiz. Landw. Fo.* 26: 405–464.

WAG 1991. Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG), vom 4. Oktober 1991, SR 921.0.

Yang, Z., Hautier, Y., Borer, E.T., Zhang, C., Du, G. 2015. Abundance- and functional-based mechanisms of plant diversity loss with fertilization in the presence and absence of herbivores. *Oecologia* 179: 261–270.

Kontaktadressen

Frank Graf
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Ökologie der Lebensgemeinschaften, Gebirgsökosysteme
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf
Tel: +41 81 417 0210
E-Mail: graf@slf.ch

Christian Rickli
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Gebirgshydrologie und Massenbewegungen
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
Tel: +41 44 739 2403
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

Sprechen Sie mit uns über Ihre wildesten Blumenträume!

Die UFA-Wildblumenwiese Original CH-i-G blüht auch auf Standorten, wo früher «nur» ein normaler Gräserrasen wuchs. Über 60 einheimische Wildgräser und Wildblumen verleihen dieser Wildblumenwiese ihre traumhafte Anpassungsfähigkeit. Rufen Sie uns an, wir beraten Sie gerne.

Winterthur, Tel. 058 433 76 35
Sursee, Tel. 058 433 65 95
Aesch, Tel. 058 434 31 31

Lyssach, Tel. 034 448 18 19
St.Gallen, Tel. 071 226 77 60
Moudon, Tel. 058 433 67 81

UFA
SAMEN SEMENCES

Erfahrungen mit der Stabilisierung extremer Erosionsflächen und Rutschungen mit objektspezifischen ingenieurbioologischen Massnahmen

Karl Grunder, Roland Stalder, Marco von Glutz

Zusammenfassung

Die Konzeption und Realisierung der Stabilisierung von vier steilen Erosionsflächen und Rutschungen am Zentralschweizer Alpenrand wird beschrieben. Im Fruttbach (Kanton Uri) stabilisiert ein sehr hoher begrünter Holzkasten mittelfristig den Schlüsselbereich einer steilen mittelgründigen Rutschung. An der Wandfluebergstrasse (Kanton Nidwalden) stabilisieren mit einer Tiefenentwässerung kombinierte ingenieurbioologische Werke dauerhaft eine tiefgründige Rutschung. An der Hergiswaldstrasse (Kanton Luzern) sichern ergänzend zu einem technischen Verbau ingenieurbioologische Massnahmen die auf der Felsoberfläche verbliebene Lockergesteinsauflage; versuchsweise wurden Mykorrhiza-Präparate eingesetzt. Im Gipsabbaugebiet von Kerns (Kanton Obwalden) zeichnet sich die Rekultivierung der dichten, siltigen Rohböden seit fast 30 Jahren durch die Förderung der natürlichen Sukzession mit ingenieurbioologischen Methoden aus. Die Erfahrungen zeigen, dass ingenieurbioologische Bauweisen in objektspezifisch optimierten Kombinationen mit technischen Massnahmen entscheidend zur Stabilität insbesondere extremer Erosions- und Rutschflächen beitragen können.

Keywords

Hangstabilisierung, kombinierte Bauweisen, Mykorrhiza, Sukzession

Expériences avec la stabilisation des zones d'érosion extrêmes et des glissements avec des mesures spécifiques du génie biologique

Résumé

La conception et la mise en œuvre de la stabilisation de quatre zones d'érosion et de glissements de terrain en bor-

ture des Alpes en Suisse centrale sont présentées dans cet article. A Fruttbach (canton d'Uri), des caissons en bois largement végétalisés stabilisent à moyen terme une zone clé d'un glissement de terrain raide de moyenne profondeur. A la Wandfluebergstrasse (canton de Nidwald), un drainage profond combiné à un ouvrage de génie biologique stabilise durablement un glissement en profondeur. A la Hergiswaldstrasse (canton de Lucerne), des mesures du génie biologique complétées par un aménagement technique sécurisent un tapis de sol meuble resté sur la surface d'une falaise; à titre expérimental, des préparatifs mycorrhiziens ont été employés. Dans la zone d'extraction de gypse de Kerns (canton d'Obwald), la remise en état d'un sol dense et limoneux est caractérisée depuis près de 30 ans en favorisant la succession naturelle par des méthodes de génie biologique. Les expériences montrent que les méthodes de construction de génie biologique combinées optimalement aux objets avec des mesures techniques peuvent contribuer de manière significative à la stabilisation des pentes, en particulier pour les surfaces d'érosion et de glissement extrêmes.

Mots-clés

Stabilisation de pente, méthode de construction combinée, mycorrhizes, succession

Esperienze nella stabilizzazione di superfici d'erosione estreme e scivolamenti con misure d'ingegneria naturalistica specifiche

Riassunto

Viene descritta la concezione e realizzazione di quattro stabilizzazioni di zone erosive ripide e scivolamenti di terreno nella zona prealpina della

Svizzera centrale. A Fruttbach (Canton Uri) un cassone di legno molto alto stabilizza a medio termine il settore chiave di uno scivolamento ripido di media profondità. Lungo la Wandfluebergstrasse (Canton Nidvaldo) un drenaggio e misure d'ingegneria naturalistica stabilizzano definitivamente uno scivolamento profondo. Lungo la Hergiswaldstrasse (Canton Lucerna) le opere tecniche classiche sono completate da misure d'ingegneria naturalistica che assicurano il materiale incoerente rimasto sulla parete rocciosa. In via sperimentale sono stati utilizzati dei preparati con micorrize. Nella cava di gesso di Kerns (Canton Obvaldo) la ricoltivazione del terreno vergine denso e limoso ha successo da quasi trent'anni grazie alla successione naturale ottenuta con misure d'ingegneria naturalistica. L'esperienza dimostra che in casi specifici misure d'ingegneria naturalistica combinate a opere tecniche possono contribuire in maniera decisiva alla stabilità di zone erosive o superfici di scivolamento estreme.

Parole chiave

Stabilizzazione di pendii, tecniche edilizie combinate, mycorrhiza, successione

1. Einleitung

Lebende Pflanzen mit ihrem Wurzelwerk tragen wesentlich zur Hangstabilität bei. Bei der Stabilisierung von Abtrags- und Schüttungsböschungen sowie von Erosionsflächen und Rutschungen sind deshalb ingenieurbioologische Massnahmen bedeutend. Anhand ausgeführter ingenieurbioologischer Massnahmen in vier Objekten berichten wir über Erfahrungen mit der Stabilisierung von Hängen unter extremen Bedingungen in montanen Schutzwäldern am Zentralschweizer Alpenrand. Für jedes Objekt wurde ein auf die spezifische



Abbildung 1: Der Rutschhang nach den Unwettern von 2005 und 2006.
Figure 1: Pente en glissement après les intempéries de 2005 et 2006.



Abbildung 2: Rutschung nach dem Unwetter von 2013. Der landwirtschaftliche Güterweg wurde provisorisch instand gestellt.
Figure 2: Glissement de terrain après les intempéries de 2013. Le chemin de service agricole a été temporairement réparé.

Ausgangslage und Zielsetzung zugeschnittenes Stabilisierungskonzept entwickelt. Aus den Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Objekte sollen Folgerungen zur Diskussion gestellt werden.

2. Hangstabilisierung Fruttbach, Bürglen (Kanton Uri) Einen extrem steilen Erosions-Rutschhang mit verhältnismässigen Mitteln stabilisieren.

2.1 Das Projekt und seine Realisierung

Der Fruttbach (im Unterlauf Holdenbach) verläuft als murfähiges Gerinne bis in den Schächen. Beim Unwetter vom Juni 2013 aktivierte der Fruttbach auf 1250 m ü. M. in einem südexponierten steilen Moränenhang eine Lockergesteinsrutschung. Es entstand ein Versatz von 20-30 m. Die Rutschfläche erstreckte sich über 90 x 80 m mit Neigungen von 80-90 %. Die bis 120 % steilen Anrisskanten erreichten Höhen bis 8 m. Mit einem Volumen von 50'000 m³ bildet die Rutschung ein bedeutendes Geschiebepotenzial des Holdenbachs. Aufgrund von Nachrutschungen, Erosion und Steinschlag aus den Anrisskanten zeigte sich, dass sich auch mittelfristig kaum Vegetation entwickeln würde. Weitere Schollen könnten ins Gerinne gelangen und das Siedlungsgebiet auf dem Schwemmkegel gefähr-

den. Im Rutschhang befanden sich ein landwirtschaftlicher Güterweg und eine Trinkwasserleitung. Ein direkt gefährdeter Stall (A in Abb. 1, 2, 3) wurde aufgegeben.

Zum Schutz der Siedlung auf dem Schwemmkegel sollte der Feststoffeintrag in den Fruttbach vermindert und als lokale Schutzmassnahme der landwirtschaftliche Güterweg mit der Trinkwasserleitung gesichert werden. Die Ausdehnung des Rutschs mit weiterem Verlust von Wiesland sollte verhindert werden.

Ein Vollverbau mit Stabilisierung des Fruttbachs wurde aus Gründen der Verhältnismässigkeit verworfen. Verschiedene Elemente von Teilverbau wurden der Nullvariante gegenübergestellt. Die Wahl fiel aus Kosten-Nutzen-Überlegungen auf einen Teilverbau mit Stabilisierung der Schlüsselbereiche und Entwässerung. Der Hang wird so hinsichtlich häufiger flachgründiger, nicht jedoch seltener mittelgründiger Rutschungen gesichert.

Kernstück der im Herbst 2014 ausgeführten Massnahmen war ein doppelwandiger begrünter Holzkasten aus Fichten- und Tannenholz (B in Abb. 3). Die Trinkwasserleitung und der Güterweg (C in Abb. 3) wurden oberhalb des Holzkastens angelegt. Die Entwässerung erfolgte mittels Gräben und Dreieckskännel (D in Abb. 3). Die Anrisskan-

ten (E in Abb. 3) wurden gebrochen und Unebenheiten ausgeglichen (F, G in Abb. 3). Auf den geeigneten Kleinstandorten wurden eine Saat, Weidenstecklinge und Weisserlen eingebracht. Im oberliegenden Schutzwald wurde eine Stabilitätspflege durchgeführt. Der Güterweg wurde mit einem Erddamm (H in Abb. 3) vor Steinschlag geschützt.

2.2 Resultate

Das steile Lockermaterial mit auf grosser Fläche fortschreitenden Erosionsprozessen stellte hohe Anforderungen an die ausführenden Spezialisten. Aus Gründen der Arbeitssicherheit wurden die unteren Lagen des Holzkastens in Abschnitten von 4-5 m erstellt. Eine laufende Überwachung des Geländes, ein Sicherheitskonzept, die Sensibilisierung der Arbeiter vor Ort und die Unterbrechung der Arbeiten bei Schlechtwetterperioden trugen zur unfallfreien Ausführung bei. Aufgrund kleinerer Nachbrüche der Böschungsoberkante musste der Holzkasten höher gebaut werden als geplant und erreicht mit 18 m den Bereich der Systemgrenze. Bei einem Anzug von 1:1 konnten einzig die unteren Lagen eingedeckt werden.

Zwei Jahre nach der Begrünung zeigt sich, dass vorwiegend in Bereichen mit verbliebener organischer Substanz Verhältnisse geschaffen wurden, auf denen sich die Vegetation wunschgemäss ent-

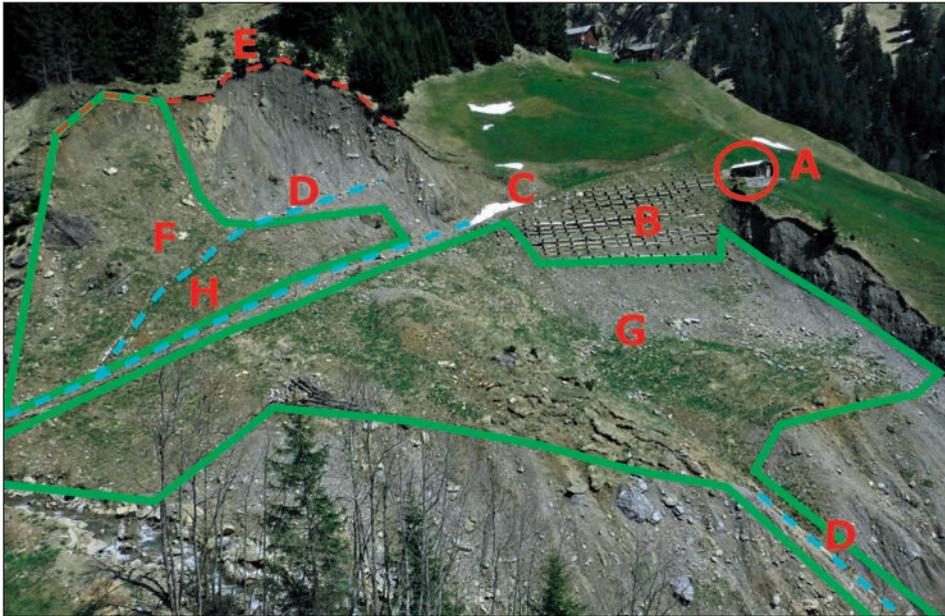


Abbildung 3: Das Objekt am 05.05.2017 (vor Laubausbruch).
 Figure 3: L'objet le 05.05.2017 (avant floraison).

wickelt. Auf den Rohbodenflächen läuft die Sukzession nur langsam und lückenhaft an. Limitierend sind hier die rasche Austrocknung, die fehlende organische Substanz und die Erosion. Ansammlung von Bergahorn, Fichten und Vogelbeeren aus angrenzenden Beständen ist erst vereinzelt zu beobachten. Durch Nachrieseln der Anrisskanten sind Teile der Entwässerungsgräben verfüllt worden. Mittel- bis langfristig ist aufgrund von Vermorschungen mit begrenzten Setzungen des Hangverbau zu rechnen. Die Beobachtung insbesondere auch des Rutschungsfusses im Gerinne des Fruttbachs wird entscheidend für rechtzeitige Interventionen sein. Mit dem gewählten Teilverbau wurden auf rund zwei Dritteln der Rutschfläche die Voraussetzungen für die Etablierung eines Schutzwaldes geschaffen.

3. Hangstabilisierung Wandfluebergstrasse, Wolfenschiessen (Kanton Nidwalden) Die Vegetation für die Stabilisierung einer tiefgründigen Rutschung entscheidend einsetzen.

3.1 Das Projekt und seine Realisierung

Die Wandfluebergstrasse erschliesst ein grosses Wald-, Alp- und Erholungsgebiet mit Bachverbauungen und einer Wasserkraftanlage. Sie durchquert in steilem

Schutzwald Bergsturzmaterial. 2011 vergrösserte sich im Bereich der Strasse auf 800 m ü. M. eine 2009 provisorisch sanierte Rutschung. Die Befahrbarkeit der Strasse war in Frage gestellt. Weil keine Möglichkeit einer alternativen Erschliessung bestand, wurden

Sofortmassnahmen veranlasst. Im Juli 2012 beschleunigte sich die Rutschmasse während einer Inclinometerbohrung auf einer tiefgründigen Gleiffläche. Die offene steile Rutschfläche im Lockermaterial mit einzelnen verrutschten Vegetationsresten wird am unteren Rand und im oberen Bereich von der Strasse gequert. Die Bauherrschaft, beraten durch die Naturgefahrenfachstelle des Kantons und einen Bauingenieur, beauftragte ein interdisziplinäres Planerteam mit der weiteren Begleitung des Objektes. Unter mehreren Varianten wurde entschieden, der tiefgründigen Rutschung mit Tiefendrainagen entlang der abgerutschten Strasse entgegenzuwirken und die sekundären Erosions- und Rutschungsprozesse mittels kombinierten Bauweisen zu kontrollieren sowie den Hang weiterhin mit Verschiebungsmessungen zu überwachen. Nach den Drainagebohrungen gingen die Rutschbewegungen markant zurück. Das Projekt musste wegen Nachrutschungen während der Ausführung angepasst werden. Mit einem Sicherheitskonzept und Sicherheitswärtern wurde die Stra-



Abbildung 4: Der verschüttete untere Strassenabschnitt nach der Absackung im Juli 2012. Im 2009 als Provisorium eingebauten verankerten Drahtnetz ist oberflächliches Rutschmaterial aufgestaucht und teilweise ausgebrochen. Die Gleiffläche verläuft im Bereich der roten Linie (Foto: GEOTEST AG).
 Figure 4: La partie inférieure enfouie de la route après l'affaissement en juillet 2012. En 2009, le treillis métallique ancré de manière provisoire a été comblé par des matériaux de glissement en surface et a été partiellement brisé. Les surfaces de glissement se prolongent dans la zone de la ligne rouge (photo: GEOTEST AG).

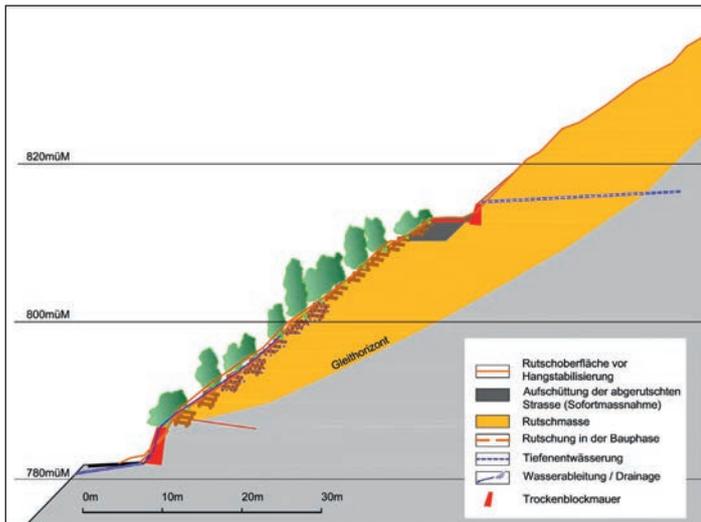


Abbildung 5: Längensprofil durch die Rutschung Wandfluebergstrasse mit unterer und oberer Strassenquerung. Dem Primärprozess wurde mit einer Tiefenentwässerung im oberen Teil entgegengewirkt. Im dargestellten kritischen Bereich war wegen der grossen Steilheit und den Wasseraufstößen ein Vollverbau nötig. Der Holzkasten am Ausbiss der Gleitfläche wurde in das stabile Bergsturzmaterial verankert. Mittelfristig soll der rekultivierte Schutzwald die Funktion der Holzkasten übernehmen.

Figure 5: Profil en long à travers le glissement de terrain du Wandfluebergstrasse avec passage routier supérieur et inférieur. Le processus primaire a été contré avec un drainage profond dans la partie supérieure. Dans la zone critique présentée, un aménagement complet était nécessaire en raison de la forte déclivité et des poussées d'eau. Le caisson en bois en bordure de la surface de glissement est ancré dans les matériaux d'éboulement stabilisés. A moyen terme, la forêt protectrice implantée devrait reprendre en charge la fonction du caisson en bois.



Abbildung 6: Einbau von Weidenbuschlagen in Holzkasten für die Entwässerung und Begrünung (April 2013).

Figure 6: Installation de boutures de saules dans les caissons en bois pour le drainage et la végétalisation (avril 2013).

sse während der Bauphase begrenzt geöffnet. Im Sommer 2013 wurden die Arbeiten abgeschlossen. Nebst der Tiefenentwässerung umfasste das Projekt

- die provisorische Wasserableitung aus der bewegten Fläche;
- Sicherheitsholzerei und lokalen Geländeabtrag;
- Jutenetz / Kokosmatte und Saaten;
- einwandige und doppelwandige Holzkasten / Blocksteinmauern mit Drainage der Rutschoberfläche mittels Weidenbuschlagen, Steinpackungen und Dreieckkänneln;
- die Wiederbewaldung mit Weidenstecklingen, Weisserlen und Bergahorn.

Der verrutschte Strassenabschnitt wurde im 2014 nach Abklingen der Bewegungen fertiggestellt. Die Strasse ist seither wieder sicher befahrbar. Die provisorischen Wasserableitungen werden weiterhin unterhalten, bis sie sich aufgrund der Wiederbewaldung erübrigen.

3.2 Resultate

Die Massnahmen wurden örtlich differenziert ausgeführt. Die stärkste Reduktion der Hangneigung und besonders intensive Entwässerungen und Hangverbaungen waren im Bereich von Wasseraustritten erforderlich. Im Bereich des Rutschungsausbisses wurden die Holzkasten mittels Lockergesteinsankern verankert. Dank lokaler Gewölbewirkung konnten stellenweise auch sehr steile Partien erhalten werden. Als Besonderheit ist der im Rutschungsanriss freigelegte Permafrostboden zu erwähnen. Wegen den besonderen Standortbedingungen wurde dort für die Begrünung eine alpine Samenmischung verwendet. Dank Saat und Pionierpflanzungen wird der Feinanteil erhalten und setzt die Bodenbildung ein. Im Bereich der Holzkasten ist der Boden lockerer und die Wurzeln dringen rasch in die Tiefe. Mit dem Aufwachsen des Waldbestandes geht die Schneerutschdisposition zurück. Mittel- bis langfristig sind leichte Setzungen durch die Vermorschung des Hangverbaus zu erwarten. In der Begrü-

nung wird bereits reichliche Ansammlung von Bergahorn beobachtet. Die wichtigsten Bestockungsziele sind ein stufiges Wurzelwerk, ein hoher Anteil an tief wurzelnden Bergahorn und Tanne sowie die Stabilität der Bäume.

Bei den auch nach der Sanierung verbleibenden grossen Hangneigungen von pauschal 36–38° und von bis zu 42° in lokalen stabilen Verteilungen liefern die ingenieurbioologischen Massnahmen bei einem inneren Reibungswinkel des Bodenmaterials (siltiger Kies) ϕ von ca. 36° einen wesentlichen Beitrag zur Hangstabilität.

Die Hangsicherung Wandfluebergstrasse war durch eine herausfordernde Phase von Sofortmassnahmen charakterisiert. Das interdisziplinäre Team der Planer und Ausführenden hat sich über eine längere Zeit an die Lösung herangetastet. Dabei war die ingenieurbioologische Erfahrung des Forstunternehmers von grosser Wichtigkeit.



Abbildung 7: Der gesicherte untere Strassenabschnitt im Mai 2017.
 Figure 7: La partie inférieure sécurisée de la route en mai 2017.

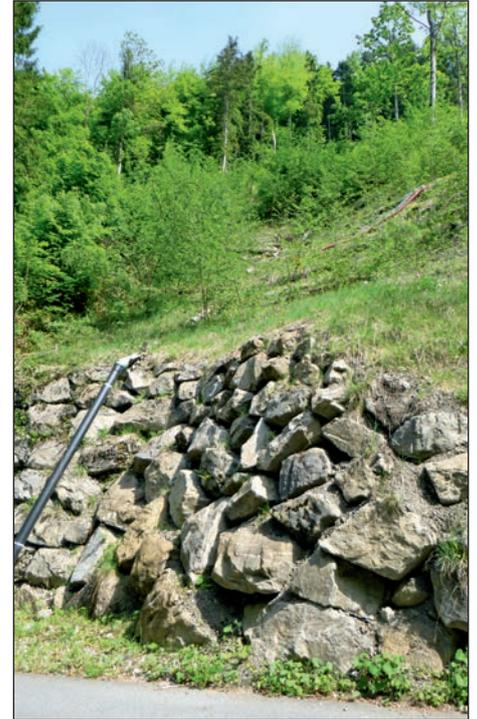


Abbildung 8: Der gesicherte Hang im Bereich des in Abbildung 5 dargestellten Profils (Mai 2017).
 Figure 8: Le versant sécurisé dans la zone du profil représenté à la figure 5 (mai 2017).

4. Hangstabilisierung Hergiswaldstrasse, Kriens (Kanton Luzern)

Mit optimaler Vegetation eine flachgründige Lockergesteinsauflage auf Fels stabilisieren.

4.1 Das Projekt und seine Realisierung

Die Hergiswaldstrasse führt von der Luzerner Agglomerationsgemeinde Kriens ins Ausflugs- und Naherholungsgebiet Hergiswald-Eigenthal. Es handelt sich um eine ganzjährig viel befahrene Gemeindestrasse.

Im Juli 2014 ereigneten sich an der Hergiswaldstrasse in einer Phase lang anhaltender Niederschläge zwischen Stalden und Hergiswald mehrere Rutschungen. Nach der Umsetzung erster Sofortmassnahmen wurde ein Massnahmenkonzept zur Sicherung der Strasse erarbeitet. Wegen zahlreichen Nachrutschungen wurden die fast hangparallelen Felsplatten der Unteren Süsswassermolasse, welche äusserst frost- und verwitterungsanfällig sind, grösstenteils freigelegt.

Der oberste Bereich dieser Rutschung ist geprägt durch dichte bis sehr dichte Moränenablagerungen. Diesem Rohbo-

den fehlt weitgehend die organische Substanz, die Feinanteile waren nach kurzer Zeit abgeschwemmt. Durch die fehlende Beschattung wird die Wechselfeuchtigkeit am SE-exponierten Hang auf 800 m ü. M. akzentuiert, was das Aufkommen von Vegetation stark erschwert.

Im gesamten Rutschhang soll das von Rutschungen, Steinschlag und Lawinen ausgehende Risiko auf der Hergiswaldstrasse auf ein tragbares Mass reduziert werden. Im obersten Bereich der Rutschung wird Lawinenschutz mit ingenieurbio-logische Massnahmen kombiniert, welche die Lockergesteinsauflage befestigen, die Feinanteile erhalten, die Bodenbildung und die natürliche Sukzession initiieren und die Schneedecke stabilisieren sollen.

Ingenieurbio-logische Massnahmen wurden mit Gleitschneeschutz und temporärem Stützverbau kombiniert. Die Abbruchkanten wurden abgerundet, Wasseraufstösse gefasst und kontrolliert abgeführt. Die Lockergesteinsauflage wurde mit einem Kokosnetz abgedeckt. Für die Begrünung wurden eine standortgerechte Saat sowie Gehölzpflanzen und Stecklinge verwendet. Zur Stabi-

lisierung der Schneedecke und zum Schutz der Pflanzen vor Schneekriechen wurde ein Verbau mit Dreibeinböcken realisiert.

4.2 Resultate

Die Gehölze wurden im April 2017 zwischen zwei nasskalten Perioden eingebracht. Die Ansaat erfolgte von Hand unmittelbar nach der Pflanzung. Ermutigt durch die Ergebnisse des Forschungsprojektes SOSTANAH (Graf et al. 2017) wurden bei Saat, Pflanzung und Stecklingen Mykorrhizapilze angewendet. Mykorrhizapilze erhöhen die Aggregatstabilität und dadurch die Rückhaltekapazität des Bodens für Wasser und Nährstoffe. Ihre Pflanzenpartner, mit denen sie über die Wurzel eine Symbiose bilden («Mykorrhiza») versorgen sie damit über ihr feines und weitreichendes «Pilzfaden-Netzwerk» (Mycel) viel besser als es die Wurzeln allein können. Vor allem auf Rohböden versprechen Mykorrhizapilze deshalb bessere Wachstums- und Überlebenschancen sowie die Beschleunigung der Sukzession. Für die Saat und die Pflanzungen wurde je ein Standard-Produkt aus dem Handel verwendet, für die

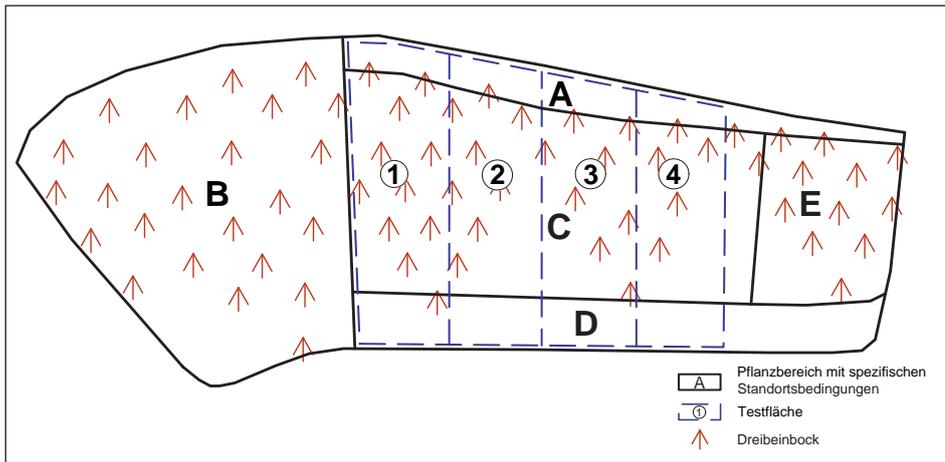


Abbildung 9: Die Fläche wurde in 5 Bereiche unterteilt, die sich bezüglich Exposition und Standorteigenschaften unterscheiden:

A: Hangkante mit organischen Beimengungen, teilweise locker gelagert. Pflanzung von Stieleiche, Salweide, Weissdorn, Schwarzdorn, Heckenrose, Pfaffenhütchen, Feldahorn.

B: ESE-exponierter Bereich mit mittlerer Beschattung und zahlreichen Wasseraufstößen. Pflanzung von Tanne, Bergahorn, Weisserle und Purpurweide (Stecklinge).

C: Zentraler stark wechsellrockener Bereich mit dichtem Rohboden. Pflanzung von Waldföhre, Eibe, Bergahorn und Weisserle.

D: Extrem wechsellrockener und sehr flachgründiger Rohboden. Pflanzung von Hängebirke, Weisserle und Hasel.

E: S-exponierter Bereich mit schwacher Beschattung. Pflanzung von Eibe, Mehlbeere, Tanne, Bergahorn und Weisserle.

Mykorrhiza-Testflächen (vgl. 4.2): ① Vergleichsfläche ohne Beigabe von Mykorrhizapilzen. ② Standardprodukt für Saat + Standardprodukt für Gehölze. ③ Standardprodukt für Saat + Standardprodukt für Gehölze + *Cenococcum geophilum*. ④ Standardprodukt für Saat + *Cenococcum geophilum*.

Figure 9: La surface a été divisée en 5 parties qui diffèrent quant à leur exposition et leurs propriétés d'emplacement:

A: Bordure de versant avec des adjouvants organiques, en partie disposés en vrac. Plantation de chêne pédonculé, saule, aubépine, prunellier, églantier, fusain et érable champêtre.

B: Zones exposées ESE avec ombrage moyen et nombreuses amenées d'eau. Plantation de pins, érable, aulne blanc et saule pourpre (boutures).

C: Zone centrale avec sécheresse intermittente extrême et sols denses bruts. Plantation de pin sylvestre, ifs, érable et aulne blanc.

D: Sols bruts très plats avec sécheresse intermittente extrême. Plantation de bouleau blanc, aulne blanc et noisetier.

E: Zone exposée S avec un ombrage faible. Plantation d'ifs, sorbier, sapin, érable et aulne blanc. Zones d'essai mycorrhizes (voir 4.2.): ① surfaces de comparaison sans addition de champignons mycorrhiziens. ② Produit standard pour l'ensemencement + produit standard pour les plantes ligneuses. ③ Produit standard pour l'ensemencement + produit standard pour les plantes ligneuses + *Cenococcum geophilum*. ④ Produit standard pour l'ensemencement + *Cenococcum geophilum*.

Saat mit einer arbuskulären¹ Pilzart, für die Gehölze ergänzt mit 8 Ektomykorrhizapilzen². Für die Pflanzungen wurde versuchsweise zusätzlich ein neu entwickeltes Ektomykorrhiza-Präparat eingesetzt, bestehend aus der Art *Cenococcum geophilum* («Erd-Freund»; altgriechisch). Bei den Pflanzungen wurden die Mykorrhiza-Präparate direkt ins Pflanzloch eingemischt. Bei der Saat wurden die Mykorrhizapilze durch den Hersteller dem Saatgut beigegeben. In Zusammenarbeit mit Frank Graf

und Werner Gerber, WSL, wurden vier Testflächen mit unterschiedlicher Kombination der Mykorrhiza-Präparate eingerichtet (siehe dazu Abb. 9). Die über 300 Pflanzen in den Testflächen wurden katalogisiert. Von jeder Pflanze wurde eine Wurzelprobe entnommen. Aus Folgeerhebungen sollen Hinweise auf den optimalen Einsatz von Mykorrhizapilzen abgeleitet werden.

5. Rekultivierung Gipsabbaugebiet Kerns (Kanton Obwalden) Mit Initialbegrünung auf einem siltigen Schüttkörper die Erosion unter Kontrolle bringen und die Sukzession einleiten.

5.1 Das Projekt und seine Realisierung

Im Gipsabbaugebiet oberhalb von Kerns fällt beim Aussieben der nicht verwertbaren Anteile feinsandig-siltiges Material mit hohem Sulfatgehalt an. Dieses wird seit den 1930-er Jahren im Steinbruchareal auf 900 m ü. M. geschüttet. Als begrenzende Faktoren für die Vegetation erwiesen sich die intensive Rillenerosion im siltigen bis sandigen Material und der dichte, stark basische Rohboden ohne Wasserspeichervermögen und organische Substanz. Die Wechsellrockenheit wird durch die fehlende Beschattung verstärkt. Aufkommende Vegetation wird durch Austrocknung und Erosion laufend zerstört und so die Sukzession verhindert.

Die Rekultivierung unterliegt der Ersatzaufforstungspflicht in einer ökologisch vielfältigen Landschaft und soll das untenliegende Kulturland und den Geschiebesammler des örtlichen Wildbachs vor Sedimenteinschwemmungen bewahren. Da Begrünungsversuche mit Heublumen weitgehend versagten, wurde 1988 die oeko-b ag mit der Konzeption der Rekultivierung beauftragt. Das Rekultivierungskonzept sah vor, durch die grösstmögliche Ausnutzung der natürlichen Vegetationsukzession gleichwertig den Schutz vor Erosion und die ökologische Vielfalt zu erreichen. Aus angrenzenden Flächen war ersichtlich, dass die Sukzession in steilen Lagen über Zwischenstadien mit Weisserle in Richtung artenreicher Dauerwald mit Waldföhre verläuft. Die aus geotechnischer/bodenmechanischer Sicht teilweise zu steilen Böschungen wurden in einem ersten Schritt mit Wasserableitungen und Hangabtreppungen mittels

¹ Ektomykorrhiza (Pilz wächst nur zwischen den Wurzelzellen) kommen meist bei Bäumen und verholzten Pflanzen vor. Die Pilze bilden fast immer von blossen Auge gut sichtbare Fruchtkörper (z.B.: Eierschwamm, Steinpilz, Fliegenpilz; alles Partner der Fichte).

² Arbuskuläre Mykorrhiza (Endomykorrhiza: Pilz wächst in die Wurzelzellen hinein) kommen meist bei Gräsern, Kräutern und Sträuchern vor. Die Pilze bilden keine von blossen Auge sichtbaren Fruchtkörper.



Abbildung 10: Hangstabilisierung Hergiswaldstrasse. Überblick nach Pflanzung.

Figure 10: Stabilisation de pente Hergiswaldstrasse. Vue d'ensemble après la plantation.



Abbildung 11: Hangstabilisierung Hergiswaldstrasse. Beigabe der Mykorrhiza-Präparate bei der Pflanzung.

Figure 11: Stabilisation de pente Hergiswaldstrasse. Ajout des préparations mycorrhiziens pour la plantation.

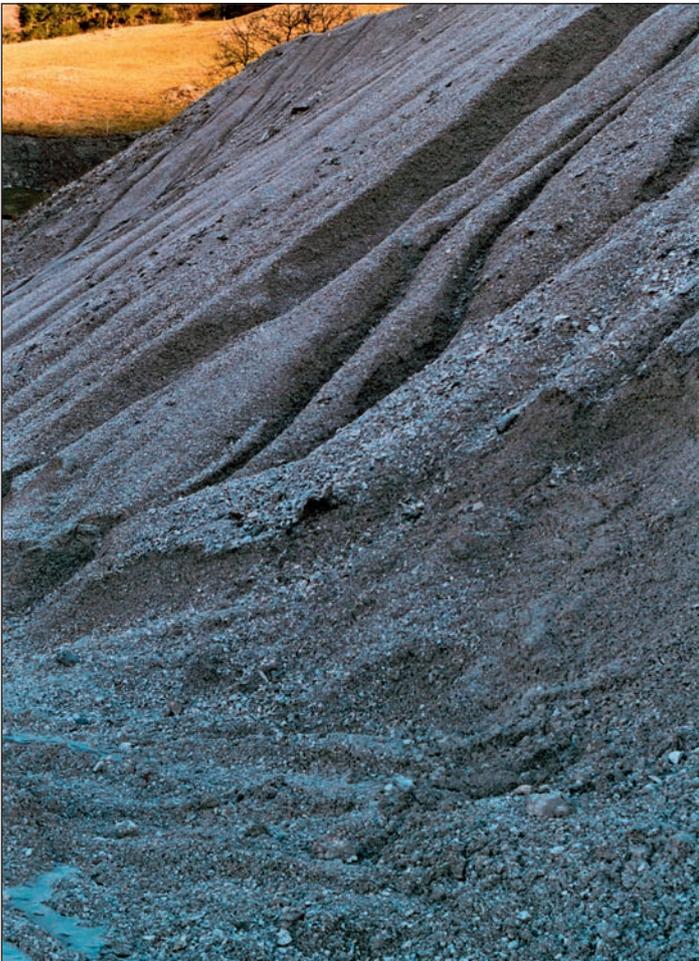


Abbildung 12: Rekultivierung Gipsabbaugebiet Kerns. Vor der Rekultivierung des Schüttkörpers: steile, feinkörnige, mit Erosionsrillen durchzogene Rohbodenböschungen ohne Vegetation (1988).

Figure 12: Remise en état de la zone d'extraction de gypse de Kerns. Avant la restauration du corps de remblais: pentes raides sans végétation, à grains fins, parsemées par des rainures d'érosion (1988).

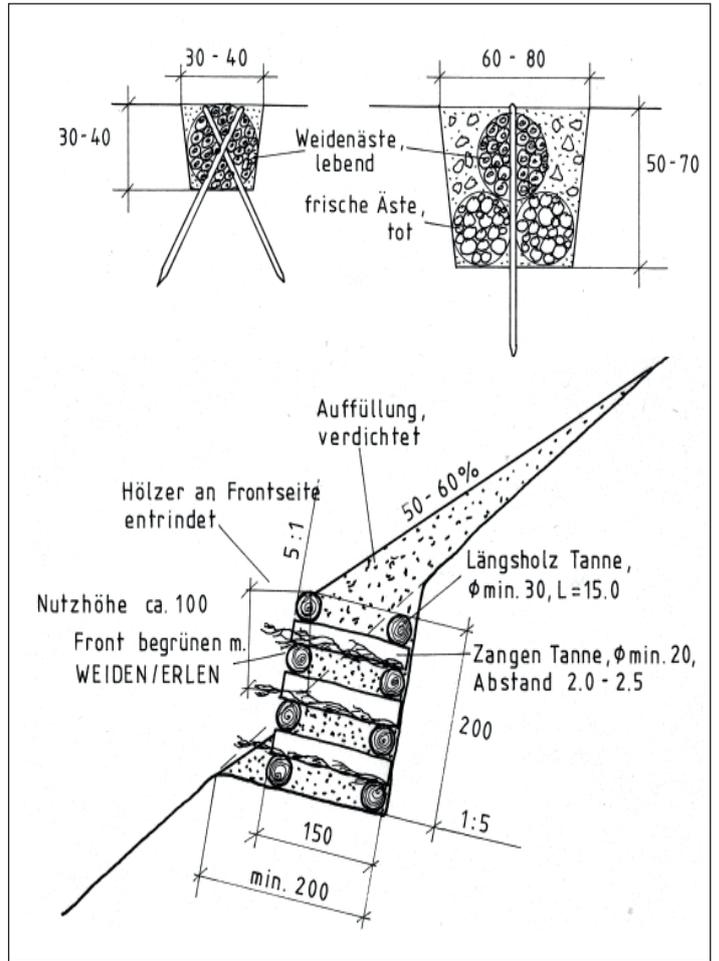


Abbildung 13: Rekultivierung Gipsabbaugebiet Kerns. Konstruktionsskizzen für zwei Hauptelemente der Rekultivierung des Schüttkörpers (Rekultivierungsplanung 1989): lebende Faschinendrainen in Erosionsrinnen; begrünte Holzkasten in übersteilen Hangbereichen. Die Pflanzen übernehmen mittelfristig die Funktion des Holzkastens.

Figure 13: Remise en état de la zone d'extraction de gypse de Kerns. Schémas de construction pour deux éléments principaux de la restauration du corps de remblai (planification de la recultivation 1989): fascines vivantes dans les ravines; caissons en bois végétalisés dans les parties de la pente les plus raides. A moyen terme, les plantes reprennent la fonction des caissons en bois.



Abbildung 14: Heute verhindert auf dem vor 28 Jahren kahlen Schüttkörper ein arten- und strukturreicher Wald die Erosion. In zwei Pflegeeingriffen ist der Vorwald gelichtet worden. Die bei der Rekultivierung gepflanzten Waldfähren beginnen sich zu verjüngen (Juli 2016).

Figure 14: Aujourd'hui, une forêt riche en espèces et bien structurée empêche l'érosion sur un corps de remblai nu il y a 28 ans. La forêt pionnière est éclaircie en deux interventions d'entretien. Les pins plantés lors de la recultivation commencent à rajeunir (juillet 2016).

Holzkasten oder Steinblockrollierungen auf eine Neigung unter dem inneren Reibungswinkel des Bodenmaterials (\varnothing ca. 33°) korrigiert. Nach Versuchen mit unterschiedlichen Arten und Verfahren wurde ab dem dritten Jahr eine speziell für den Standort entwickelte kräuterreiche Hydrosaat eingesetzt mit anschließender Stützpunktpflanzung eines lockeren Vorwaldes vorwiegend aus Weiss-erlen mit beigemischten Gruppen von Waldfähren. In die Erosionsrillen wurden lebende Faschinendrainen aus Weiden eingebaut. Die neuen Schüttungen werden seither im bodenmechanisch korrekten Böschungswinkel geschüttet, wo möglich mit Weidenbuschlagen stabilisiert, rasch angesät und stützpunktartig mit einem lockeren Weiss-erlen-Vorwald bepflanzt.

Nach der Rekultivierung herrschen anfänglich noch Rohbodenbedingungen. Dank der Saat und den Pionierpflanzungen wird die Erosion rasch wirksam eingedämmt, setzt die Bodenbildung ein und werden die Voraussetzungen für die Sukzession geschaffen. Bald



Abbildung 15: Horst des Gipskrautes.

Figure 15: Horst de gypsophile.



Abbildung 16: Der gleiche Horst ausgegraben mit seinen weitstreichenden Wurzeln.

Figure 16: Le même horst sorti de terre avec ses racines amples.



Abbildung 17: Schulung von Forstwartlehrlingen in Ingenieurbiologie. Hier wird der Einsatz von Mykorrhiza-Präparaten bei Pflanzungen instruiert.

Figure 17: La formation des apprentis forestiers en génie biologique. Ici, l'utilisation des préparations des mycorrhizes dans les plantations est enseignée.

wurde die Ansamung vor allem von Weiden, Fichten und Bergahornen aus den benachbarten Beständen beobachtet. Durch Auflichten der angelegten Pionierbestockung wurde die Ansamung von weiteren Pioniergehölzen und Schlussbaumarten gefördert. Nach zwei Jahrzehnten begannen sich die gepflanzten Waldföhren zu verjüngen.

5.2 Resultate

Seit den ersten systematischen Rekultivierungen mussten dank der Einhaltung des bodenmechanisch korrekten

Böschungswinkels und der jeweils sofortigen extensiven Begrünung keine Hangverbaungen und reaktiven Entwässerungen mehr vorgenommen werden. Auch die Unwetterjahre 1999 und 2005 haben keine bedeutenden Schäden an der Rekultivierung verursacht. Die auf die Extremstandorte (Sulfatgehalt, Wechselstrockenheit) ausgerichtete für das Objekt entwickelte extensive Saatmischung hat sich bewährt. Die spezialisierten Krautpflanzen der Mischung (z.B. Gipskraut, *Gypsophila repens*) zeichnen sich durch intensives

Wurzelwachstum aus, was für den Erosionsschutz entscheidend ist. Auch an den vegetationsfeindlichsten Stellen ist eine sich nach und nach beschleunigende Sukzession in Richtung des angestrebten lichten Waldföhrenwaldes zu beobachten.

Die Rekultivierung wird von der Forstgruppe der Korporation Kerns gepflegt. Die Pflege hat zum Ziel, die Sukzession in die erwünschte Richtung zu lenken und die sich entwickelnden Bestände in Mischung und Struktur zu differenzieren. Sie ist wenig aufwändig: Auflichten des Vorwaldes im Turnus von 5 bis 10 Jahren, lokal sich einstellende erwünschte Verjüngung abdecken und später die Mischung regulieren.

6. Diskussion und Ausblick

Bei der Konzeption einer Hangstabilisierung ist zunächst zu beurteilen, welchen Beitrag die Vegetation leisten kann. Ingenieurbiologische Begrünungen können auch unter extremen Bedingungen einen wirksamen und kostengünstigen Beitrag zum Erosionsschutz in Rekultivierungsflächen und zu deren Eingliederung in Natur und Landschaft leisten. Voraussetzung dazu sind insbesondere die fachgerechte Entwässerung und eine hinreichende bodenmechanische Stabilität der Flächen. Die Rutschung im Fruttbach wurde mit einem ingenieurbiologischen Teilverbau mittelfristig gesichert. An der Wandfluebergstrasse und an der Hergiswaldstrasse wurde dank der Kombination der ingenieurbiologischen Bauweisen mit aufwändigen technischen Massnahmen eine voraussichtlich dauerhafte Stabilisierung erreicht. Die Pflanzenwahl und die Begrünungstechniken sind unter Beachtung der limitierenden Standortfaktoren kleinstandörtlich zu differenzieren und den saisonalen Bedingungen anzupassen. Besonders schwierig zu begrünen sind verdichtete Rohböden, die nicht vom Schutz eines angrenzenden Waldbestandes profitieren. Gerade auf schwer zu begrünenden Böden, wie beispielsweise auf dem Schüttkörper im Gipsabbaugebiet Kerns, erhöhen Starthilfen wie Entwässerungen und Stabilbauweisen den Anwuchserefolg. Die Entwicklung der Vegetation über



Nr.1

Hydrosaat
St. Ursen
Tel. 026 322 45 25
www.hydrosaat.ch

- **Ansaat**
von Strassen- und Bahnböschungen, Felspartien, Skipisten, Kies- und Schotterhalden und nichthumusierten Flächen
- **Dachbegrünungen**
mit Xeroflor®-Sedummatten für Dächer, Böschungen, Garten- und Rasenabschlüsse, Verkehrsinseln, Trottoirs
- **Ecotex®-Erosionsschutz**
mit Geotextilien, natürlich und biologisch abbaubar
- **Ingenieurbioologische Bauweisen**
Stützkonstruktionen zur Stabilisierung von Uferzonen und Böschungen



Begrünungen  **Hunn**

Mit der Natur als Partner

Begrünungen



Samenmatten



Sedummatten



Erosionsschutz
und
Böschungsbegrünung

Begrünungen Hunn AG
Pilatusstrasse 14, 5630 Muri
www.begrueenungen-hunn.ch

die Sukzessionsstadien bis zur Zielbestockung kann durch die Pflege gelenkt und beschleunigt werden. Im günstigen Fall übernimmt die Vegetation mit der Zeit die Wirkung von Holzkasten und ähnlichen Bauweisen mit begrenzter Lebensdauer.

Nicht zuletzt geben die Resultate des Forschungsprojektes «Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen» (SOSTANAH, Graf *et al.* 2017) wertvolle Impulse an die Praxis für weitere Optimierungen bei Hangstabilisierungen: Der im Rahmen dieses Projekts entwickelte «3-Stufen-Filter» für flachgründige Rutschungen hilft, anhand des Bodenmaterials und der Hangneigung, des Vegetationszustandes und der Geländeform die Hangstabilität zuverlässiger abzuschätzen und ingenieurbiologische Massnahmen zu optimieren. Die Untersuchungen ermutigen auch zur vermehrten Anwendung und Förderung von Mykorrhizapilzen bei der Begrünung von Rohböden.

Verdankungen

Für die ausgezeichnete Zusammenarbeit in den erwähnten Objekten bedanken wir uns besonders bei:

Beat Annen, Amt für Forst und Jagd Kanton Uri

Claudio Wiesmann, Verkehr und Infrastruktur (vif) Kanton Luzern

Fixit AG, 6372 Ennetmoos (NW)

Flurgenossenschaft Wandfluebergstrasse, Wolfenschiessen (NW)

Förster Ruedi Egger, Kerns (OW)

GEOTEST AG, 6048 Horw

WSL/SLF, Werner Gerber, Frank Graf, Christian Rickli

Literaturverzeichnis / weiterführende Informationen

K. Grunder. 1996. Ingenieurbiologische Begrünungen im Gipsabbaugebiet Kerns, Kt. Obwalden. *Ingenieurbiologie* 4: 24–27.

S. Egli und I. Brunner. 2011. Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. WSL, Merkblatt für die Praxis 35.

F. Graf *et al.* 2017. Pflanzenwirkungen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen. NFP 68, Synthesebericht zum Projekt SOSTANAH (Soil Stability and Natural Hazards). Unveröffentlichter Entwurf.

Kontaktadresse:

Karl Grunder, Dipl. Forsting. ETH
Roland Stalder, Dipl. Forsting. ETH
Marco von Glutz, Forstingenieur FH
oeko-b ag, Weidlistrasse 2, 6370 Stans
www.oeko-b.ch

Ingenieurbioologische Verbaumethoden von Hängen – Praxisbeispiele

Martin Ammann

Zusammenfassung

Unwetterereignisse verursachen entlang von Strassen und Wegen Rutschungen und Erosionsprozesse. Mit Stützkonstruktionen aus Rundholz in Kombination mit ingenieurbioologischen Verbaumethoden können solche Schäden oftmals schnell und mit natürlichen Baustoffen saniert werden. Für eine erfolgreiche Projektierung und Realisierung solcher Arbeiten sind fundiertes Wissen sowie Erfahrung notwendig. Der vorliegende Artikel vermittelt einige Grundsätze dazu. An Hand von Fall-beispielen werden einzelne Punkte hervorgehoben.

Keywords

Holzkastenverbau, Hangrost, Weidensteckhölzer, Rutschungen, Erosion

Méthodes d'aménagement des versants en génie biologique – Exemples pratiques

Résumé

Les phénomènes météorologiques extrêmes provoquent le long des routes et des chemins des glissements de terrain et des processus d'érosion. Avec des structures de soutien en rondins combinées avec des méthodes d'aménagement des versants du génie biologique, de tels dégâts peuvent souvent être assainis rapidement et avec des matériaux naturels. Pour une planification et une mise en œuvre réussie de ces travaux, des connaissances approfondies et de l'expérience sont nécessaires. Cet article fournit quelques principes pour cela et des points individuels sont mis en évidence par des exemples pratiques.

Mots-clés

Aménagement en caissons de bois, armature en bois, boutures de saule, glissements de terrain, érosion

Metodi di costruzione d'ingegneria naturalistica lungo pendii – Esempi pratici

Riassunto

Il maltempo provoca frane ed erosioni lungo strade e sentieri. Spesso questo tipo di danni può essere risanato velocemente e con materiali naturali costruendo opere di sostegno fatte di tronchi combinate a metodi di costruzione d'ingegneria naturalistica. Buone conoscenze di base ed esperienza sono necessarie in modo che il progetto e la realizzazione abbiano successo. Il presente articolo dà principi di base a questo proposito e singoli aspetti vengono approfonditi con esempi concreti.

Parole chiave

Cassoni di legno, griglie di protezione per pendii, talee, scivolamento, erosione

1. Einleitung

Im Hang- und Bachverbau haben ingenieurbioologische Verbaumethoden in Kombination mit Stützbauwerken aus Rundholz (Holzkasten und Hangroste), eine jahrzehntelange Tradition (Schiechtl 1973). Mein Vater, Fritz Ammann, hat vor 20 Jahren in dieser Zeitschrift (Mitteilungsblatt Nr. 4, Dezember 1997) wichtige Grundsätze, welche auch heute noch Gültigkeit haben, zu diesem Thema festgehalten (Ammann 1997). Der vorliegende Bericht baut auf diesem Artikel auf und soll einige neue Techniken, welche mit der technologischen Entwicklung Einzug gehalten haben, vorstellen. Anhand von ausgeführten Objekten wird dies anschaulich dargestellt.

2. Stützkonstruktionen aus Rundholz

2.1 Holzkasten

Holzkasten werden meistens als doppelwandige Bauwerke ausgebildet mit zwei parallelen Längshölzern (Traversen), welche mit Querhölzern (Zangen) miteinander verbunden sind. Einwandige Holzkasten werden eher selten z. B. bei kleinen Bachverbauungen eingebaut (Böll et al. 1999).

Holzkasten eignen sich besonders für:

- Stützbauwerke zur Reduktion der Hangneigung im Rüfenverbau
- Stützbauwerke zur Sanierung ganzer Rutschungen (oberflächliche bis mitteltiefe Rutschungen)
- Sperren und Leitwerke im Bachverbau
- Stützbauwerke in Kombination mit Steckhölzern und Pflanzen für Uferschutz bei Flüssen und Seen
- Fussabstützungen für Hangroste

2.2 Hangroste

Hangroste sind quadratische oder viereckige Raster aus Holz, deren Kreuzungsstellen mit dem anstehenden Untergrund verpfählt sind (Böll et al. 1999). Hangroste eignen sich besonders für:

- Verbau im Anrissgebiet von Rutschungen (Anrisskante)
- Begrünung von übersteilen und hohen Einschnittböschungen im Strassenbau
- Verbesserung der Standfestigkeit von Auftragsböschungen

2.3 Vor- und Nachteile beim Einsatz von Rundholz im Hangverbau

Hangverbauungen und insbesondere das Erstellen von Stützkonstruktionen aus Rundholz verlangen sehr viel Erfahrung und Wissen sowie sorgfältiges und umsichtiges Arbeiten nicht nur von den Ausführenden auf der Baustelle selber sondern auch bei der Projektierung und Bauleitung (Schiechtl und Stern 1992). Bei den Arbeiten gilt es für jedes Objekt

folgende Vor- und Nachteile zu beachten.

2.3.1 Vorteile

- Rasche Erstellung mit einfachen Mitteln
- Gute Anpassung an das umliegende Gelände
- Leichter Baustoff, praktisch keine zusätzlichen Belastungen des Baugrundes
- Bauwerke nach Fertigstellung sofort voll belastbar
- Verwendung eines erneuerbaren und einheimischen Baustoffes, der meist lokal verfügbar ist
- Eignet sich sehr gut für Kombinationen mit Blocksteinen

2.3.2 Nachteile

Die Zersetzung des Rundholzes ist ein Nachteil, den es bei der Projektierung von Stützkonstruktionen aus Holz zu berücksichtigen gilt. In folgenden Fällen ist der Einsatz von solchen Konstruktionen nicht zu empfehlen (Ammann 1997 und Böll 1997):

- Bachverbauungen bei Gerinnen, die keine ständige Wasserführung haben
- Bachverbauungen bei Gerinnen, die eine starke Geschiebeführung aufweisen
- Holzkasten, die nicht komplett eingedeckt oder nicht durch Pflanzenbewuchs gesichert werden können
- Hangroste bei Felsböschungen

2.4 Grundsätze bei der Erstellung von Stützkonstruktionen aus Rundholz

In diesem Kapitel sind unsere Erfahrungen in den letzten 55 Jahren bei der Projektierung und Ausführung solcher Objekte festgehalten.

2.4.1 Foundation und Entwässerung

- Aushub bis auf feste Unterlage (sondiert mit Handdrummgerät) unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften betreffend Arbeitssicherheit (Bauarbeiterverordnung)
- Ausreichende seitliche Einbindung des Bauwerkes

- Fundamentsohle bergwärts geneigt, in rechtem Winkel zum Anzug des Bauwerkes

- Saubere Entwässerung der Fundamentsohle und Ableitung des gefassten Wassers mit Sickerrohren (Abb. 1)

Vorsicht: mit der Entwässerung keine neuen Rutschungen auslösen!

Das gefasste Sickerwasser muss allenfalls mit V-Känneln oder Rundholz-Rechteckkänneln in das nächste wasserführende Gerinne geleitet werden.

2.4.2 Anforderungen an das Rundholz

Die Holzarten Fichte, Tanne, Lärche, Douglasie, Kastanie, Eiche sind für Verbauungen geeignet. Bei Holzkasten und Hangrosten kommt auf Grund der Verfügbarkeit in unserer Region vor allem Fichten- und Tannenholz zum Einsatz. Im Kanton Graubünden kommt zusätzlich oft Lärchenholz zur Anwendung.

Bei der Qualität des Rundholzes darf nicht gespart werden. Holz von schlechter Qualität und zu grosse Durchmesser (> 60 cm) sind nicht zu verwenden. Das

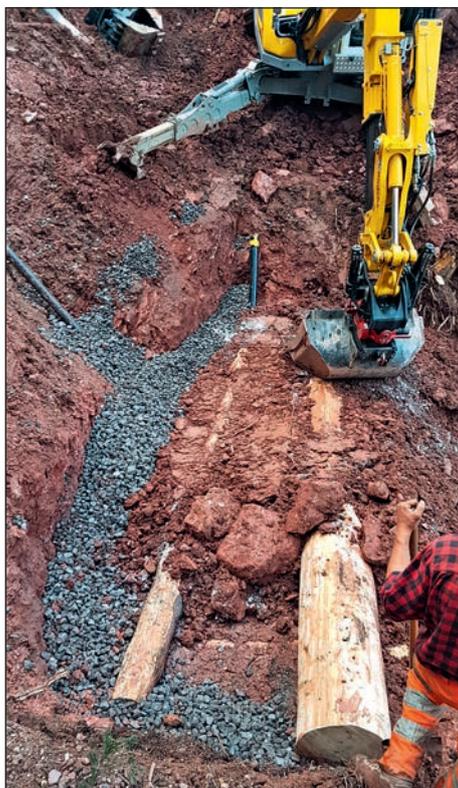


Abbildung 1: Fundamententwässerung Holzkasten: Bergwärts des hinteren Rundholzes (Traverse) ist die Sickerpackung und die PE-Sickerleitung sichtbar.

Figure 1: Drainage de base en caissons en bois: En amont et en arrière des rondins (traverses), on distingue l'unité et le tuyau d'infiltration PE.

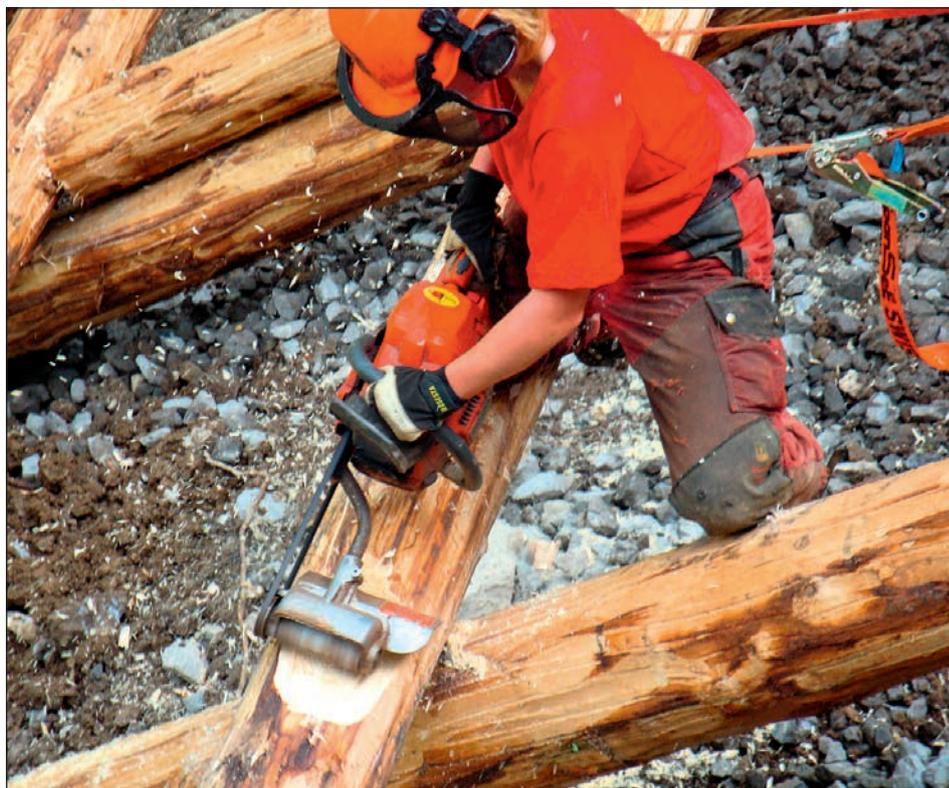


Abbildung 2: Passgenaue Ausbildung der Verbindungsstelle mit dem Eder. Auf der Unterseite des Rundholzes wird mit dem Eder eine Kehle ausgehobelt. Mit dem Eder kann genauer und sauberer gearbeitet werden als mit der Motorsäge.

Figure 2: Formation sur mesure de la liaison avec l'Eder. Sur la face inférieure du rondin, une rainure est effilée par l'Eder. On peut travailler de manière plus précise et plus propre avec l'Eder qu'une tronçonneuse.



Abbildung 3: Mullernstrasse: Objekt vor Massnahmen. Rückschreitende Erosion und oberflächennahe Rutschungen haben die Fundamente der Stützkonstruktionen der Strasse freigelegt.
 Figure 3: Mullernstrasse: objet avant les mesures. Une érosion régressive et des glissements de terrain superficiels ont mis à découvert les fondations des structures de soutien de la route.

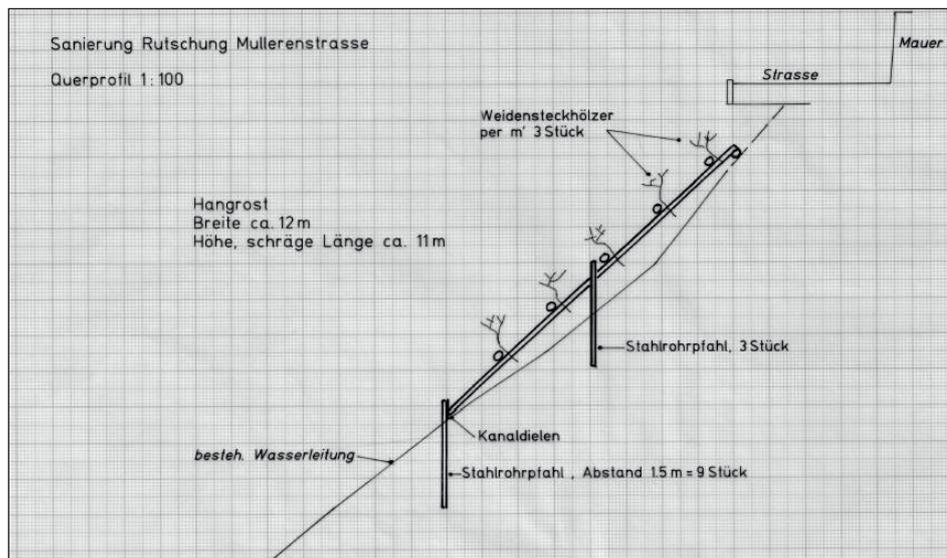


Abbildung 4: Mullernstrasse: Querprofil des Hangrostes.
 Figure 4: Mullernstrasse: section transversale de l'armature en bois.

Verbauungsholz muss folgende Qualitätsmerkmale aufweisen:

- gesund (keine Rot- und Faulstellen)
- frisch (frisches Käferholz kann unbedenklich verwendet werden)
- keine grösseren Krümmungen
- geringe Abholzigkeit
- entrindet

Entrindetes Holz weist gegenüber nicht entrindetem Holz eine höhere Lebensdauer auf und die Verbindungsstellen

können kompakter hergestellt werden (Ammann 1997). Für Bachverbauungen ist möglichst handentrindetes Holz zu verwenden.

2.4.3 Ausbildung der Verbindungsstellen

- Pro Holzlage möglichst gleich starkes Holz verwenden
- Kompakte Auflager Traverse-Zange- Traverse erstellen; das Rundholz nur auf der Unterseite mit dem Eder aus-

hobeln; dies ergibt saubere Verbindungsstellen (Ammann 1997, Abb. 2).

- Saubere Vernagelung mit Stahlnägeln, Löcher vorgebohrt mit Bohrergerät

3. Praxisbeispiele

3.1 Rutschung Mullernstrasse (Glarus Nord, Ortsteil Mollis)

3.1.1 Ausgangslage

Etwa 15 Meter unterhalb einer alten Brückenkonstruktion (Lehnenviadukt, teilweise fundiert auf alten Blocksteinmauern) ging im Jahr 2009 eine oberflächennahe Rutschung (Mächtigkeit ca. 1 Meter) im anstehenden Moränenmaterial inklusive der Vegetationsdecke ab (Abb. 3). Auslöser der Rutschung dürften diverse Hangwasseraustritte und eine nicht mehr funktionierende Strassenentwässerung gewesen sein. Die Rutschung legte teilweise die Fundamente der Kunstbauten frei und das anstehende Moränenmaterial war ohne Vegetationsdecke einer rasch fortschreitenden, rückwärtigen Erosion ausgesetzt. Eine Sicherung der Fundamente musste dringend vorgenommen werden.

3.1.2 Verbauungskonzept und Ausführung

Die Rutschfläche unterhalb der Stützkonstruktion wies eine Hangneigung von ca. 40–55° auf sowie eine Breite von ca. 12 Metern.

Das Verbauungskonzept sah vor, die Fläche mit einem Hangrost aus Rundholz zu verbauen (Abb. 4). Somit sollten die Stützkonstruktionen der Strasse vor weiteren Erosions- und Rutschprozessen geschützt werden. Die Abstützung des Hangrostes im Hang stellte aber eine Herausforderung dar. Im anstehenden Moränenmaterial konnte bei Sondagen bis auf eine Tiefe von ca. 2 Metern kein Fels angetroffen werden. Eine Abstützung auf einen Holzkasten kam deshalb nicht in Frage, da die Fundation nicht auf festem Untergrund (Fels) erfolgen konnte. Ebenfalls durften im Hang unterhalb der Strasse nur minimale Aushubarbeiten ausgeführt werden, da die Gefahr von nachrutschenden Böschungen bestand. Der Hangrost wurde hinter einer Kanaldielenwand, welche mit Mikropfählen ca. 2.5 Meter in den Untergrund ge-



Abbildung 5: Mullernstrasse: Hangrost im Bau. Der fertig gestellte Hangrost abgestützt auf die Kanaldielenwand vor dem Einfüllen. Die vertikalen Rundhölzer sind hinter den Kanaldielen abgestützt.

Figure 5: Mullernstrasse: construction de l'armature en bois. L'armature terminée est soutenue par le mur de palplanches avant le remplissage. Les rondins verticaux sont supportés derrière les palplanches.



Abbildung 6: Mullernstrasse: Begrünter Hangrost ein Jahr nach Bauvollendung. Die Trockensaat ist gut angewachsen und die Weidensteckhölzer haben Triebe von ca. 0.5 – 1.0 Metern gebildet.

Figure 6: Mullernstrasse: armature végétalisée un an après la fin des travaux. Les semences sèches ont bien grandi et les boutures de saule ont des pousses d'environ 0,5 – 1,0 mètre.

bohrt und ausinjiziert wurde, abgestützt. Der seitliche Abstand der Pfähle betrug 1.5 Meter (Abb. 4, Abb. 5).

Abgestützt auf die Kanaldielenwand wurde der Hangrost aus Rundholz erstellt (Abb. 5). Alle Hangwasseraustritte innerhalb des Hangrostes wurden mit Sickerleitungen und Sickerpackungen (Geröll) gefasst. Anschliessend wurde der Hangrost mit durchlässigem Aushubmaterial hinterfüllt. Zum Abschluss wurden die Flächen mit einer Trockensaat angesät und mit Weidensteckhölzern bepflanzt. Bereits ein Jahr nach der Vollendung war die Fläche gut begrünt und verwachsen (Abb. 6).

3.1.3 Besonderheiten bei der Ausführung

Im sehr steilen Hang unterhalb der Strasse konnten keine Maschinen für die Aushubarbeiten eingesetzt werden. Alle Grabarbeiten (Entwässerung, Hangrost) mussten von Hand ausgeführt werden. Die Mikropfähle für die verankerte Kanaldielenwand wurden mit einem Lawinenbohrgerät erstellt. Das Sickergeröll und das Aushubmaterial für die Hinterfüllung des Hangrostes wurden mit einem LKW mit Kran und Schalengreifer direkt eingebracht. Das Wasser aus der bestehenden Strassen- und Fundamententwässerung wurde über den fertig gestellten

Hangrost mit V-Känneln aus Holz bis in den Bach schadlos abgeleitet (Abb. 6).

3.2 Rutschung Fliessenstrasse

3.2.1 Ausgangslage

Während der Schneeschmelze im Frühjahr 2016 ging an der Fliessenstrasse (Gemeinde Glarus Nord, Ortsteil Mühlehorn) in einer Geländemulde eine ca. 12 m breite Rutschung ab. Die Rutschung reichte bis an den talseitigen Strassenrand. Hangdruckwasser und über die Strasse in den Hang abfliessendes Oberflächenwasser der Strasse waren Auslöser der Rutschung (Abb. 7).

3.2.2 Verbauungskonzept

Es wurde vorgesehen, zwei doppelwandige Holzkasten, welche vollständig eingedeckt werden, zur Abstützung der talseitigen Böschung einzubauen (Abb. 8 und 9). Die Holzkasten wurden auf den gewachsenen Boden, respektive auf dem anstehenden Fels fundiert. Das Fundament des Holzkastens sowie die diversen Austritte von Hangdruckwasser wurden mit Sickerpackungen und -leitungen gefasst (Abb. 1 und 8). Der Durchlass in der Strasse wurde erneuert und das Wasser in einem V-Kännel über die neu erstellte Böschung ins Gerinne geführt (Abb. 9 und 10). Mit zugeführtem Aushubmaterial erfolgte der Wiederauf-

bau der talseitigen Böschung. Mit einem Anbau-Plattenvibrator konnte das Aushubmaterial sehr gut verdichtet werden (Abb. 10). Die Böschung wurde mit einer Trockensaat und mit Weidensteckhölzern begrünt.

3.2.3 Besonderheiten bei der Ausführung

Bei der Ausführung kam ein Schreitbagger der modernsten Generation mit einem vollhydraulischen Schnellwechsler und Tiltrotator zum Einsatz. Dadurch konnten die diversen Anbaugeräte selbstständig durch den Maschinisten ohne die Kabine verlassen zu müssen und in sehr kurzer Zeit (< 30 Sekunden) gewechselt werden. So erfolgte der Wechsel im Minutentakt: vom hydraulischen Abbauhammer um die Fundamentsohle im Fels zu erstellen, über den Tieflöffel um den Aushub fertig zu stellen bis zum Greifer um das Rundholz im Fundament richtig zu platzieren (Abb. 9). Die geschickt genutzten Einsatzmöglichkeiten der Anbaugeräte in Kombination mit einem versierten Maschinisten ergaben gegenüber herkömmlichen Maschinen (ohne Schnellwechsler und diversen Anbaugeräten) eine deutliche Produktivitätssteigerung beim Einbau des Holzkastens.



Abbildung 7: Fliessenstrasse: Rutschung im Frühjahr 2016. Die Rutschung reicht bis an den talseitigen Strassenrand und gefährdet die Strasse sowie deren Kunstbauten.

Figure 7: Fliessenstrasse: glissement de terrain au printemps 2016. Le glissement se prolonge du côté aval de la route et met en danger la route et les aménagements.



Abbildung 8: Fliessenstrasse: Einbau des oberen Holzkastens. Gut sichtbar an der hinteren Wand sind die Entwässerungsleitungen.

Figure 8: Fliessenstrasse: installation du caisson supérieur. Les tuyaux de drainage sont clairement visibles sur la paroi arrière.



Abbildung 9: Fliessenstrasse: Verdichten mit Anbau-Plattenvibrator.

Figure 9: Fliessenstrasse: compactage avec montage à plaque vibrante.



Abbildung 10: Fliessenstrasse: Drei Wochen nach Fertigstellung (Ende Juni 2016). Die beiden Holzkaisten sind vollständig eingedeckt und in der Böschung nicht mehr sichtbar. Das Wasser aus dem Durchlass wird mit einem V-Kännel über die Böschung geleitet. Die Ansaat hat bereits gekeimt und die Böschung begrünt sich.

Figure 10: Fliessenstrasse: trois semaines après l'achèvement des travaux (fin juin 2016). Les deux caissons en bois sont complètement recouverts et ne sont plus visibles dans le remblai. L'eau de passage est transmise par un canal en V à travers le remblai. Le semis a déjà germé et la pente se végétalise.



Abbildung 11: Auftragsböschungen mit Jutegewebe gesichert (Ende März 2017). Im Herbst 2016 wurde die Böschung erstellt. Über den Winter verursachte unkontrolliert abfließendes Oberflächenwasser an exponierten Stellen Beschädigungen in der Böschung (Gemeinde Glarus Süd, Linthal: Baustelle im Projekt Linthal 2015 der Kraftwerke Linth-Limmern AG, 8783 Linthal).

Figure 11: Remblais de prélèvement sécurisés avec de la toile de jute (fin mars 2017). Le remblai a été aménagé en automne 2016. Au cours de l'hiver, des eaux non contrôlées s'écoulant en surface sur les zones exposées ont provoqué des dommages sur le versant (commune Glarus Süd, Linthal: site de construction du projet Linthal 2015 de la centrale Linth-Limmern AG, 8783 Linthal).



Abbildung 12: Bepflanzung mit Weidensteckhölzern und Ansaat (Ende April 2017). Die abgerutschten Stellen der Böschung wurden vorgängig wiederhergestellt. Die Bepflanzung mit Weidensteckhölzern erfolgte am Seil gesichert. Die Löcher für die Steckhölzer wurden vorgebohrt.

Figure 12: Plantation de boutures de saule et semis (fin avril 2017). Les emplacements en glissement du remblai ont été assainis auparavant. La plantation de boutures de saule a été encordée. Les trous pour les boutures ont été forés à l'avance.



Abbildung 13: Anwuchs nach einem Monat (Ende Mai 2017). Die Weidensteckhölzer haben neue Triebe gebildet und die frische Ansaat ist zwischen den Maschen des Jutegewebes ebenfalls sichtbar.
 Figure 13: Jeunes pousses après un mois (fin mai 2017). Les boutures de saule ont formé de nouvelles pousses et les semis sont également visibles entre les mailles de la toile de jute.

4. Die Rolle der Vegetation

Stützbauwerke im Hang- und Bachverbau sind unmittelbar nach der Erstellung zu begrünen und mit Pflanzen zu sichern (Böll 1997, Rickli 2001). Meistens am Schluss ausgeführt, bilden diese Arbeiten das i-Pünktchen am ganzen Bauwerk (Abb. 4). Oftmals ist es die Ansaat der neu erstellten Böschung in Kombination mit Weidensteckhölzern, die zu einer sehr schnellen Begrünung und Sicherung der Böschung führen (Abb. 11, 12 und 13). Diese Massnahmen sind meistens kostengünstig, müssen aber ebenfalls sorgfältig projektiert (Abb. 4) und mit der nötigen Erfahrung umgesetzt werden (Schiechtel 1973, Schichtel 1992). Sie ergänzen die oftmals eher harten, technischen Massnahmen in der Landschaft und sichern frisch erstellte Böschungen (Abb. 11, 12 und 13).

Kontaktadresse:

Dr. sc. techn. Martin Ammann
 dipl. Forst-Ing. ETH / SIA
 dipl. NDS in Betriebswissenschaften ETH

Ammann Ingenieurbüro AG
 Nüesch & Ammann
 Forstunternehmung AG
 Gublenstrasse 2
 8733 Eschenbach

Tel: 055 212 33 39
 E-Mail:
 martin.ammann@ammann-ing.ch

Literaturverzeichnis

- Ammann, F. 1997. Ingenieurbiologische Verbaumethoden. Holzkastenverbau und Hangroste. Mitteilungsbl. Ingenieurbiologie 4: 4–8.
- Böll, A. 1997. Wildbach- und Hangverbau. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 343. 123 S.
- Böll, A.; Gerber, W.; Graf, F., Rickli, C., 1999: Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 60 S.
- Lautenschlager, E. 1989. Die Weiden der Schweiz und angrenzender Gebiete: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung *Salix* L. Birkhäuser, Berlin.
- Rickli, C. 2001. Vegetationswirkung und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.
- Schiechtel, H. M. 1973. Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen, lebende Baustoffe, Methoden. Georg D.W. Callwey, München.
- Schiechtel, H. M. 1992. Weiden in der Praxis. Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung. Patzer, Berlin-Hannover.
- Schiechtel, H. M.; Stern, R. 1992. Handbuch für naturnahen Erdbau. Eine Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag, Wien.

Ingenieurbiologische Bauten an Strassen im Berner Oberland

Daniel Wanzenried

Zusammenfassung

Seit 1978 konnten beim Ausbau der Kantonsstrassen im Berner Oberland verschiedene Böschungen und Schüttungen an Steilhängen mit ingenieurbiologischen Massnahmen dauerhaft verbaut werden. Die dabei gemachten Lehren und Erfahrungen sollen interessierten Fachleuten zugänglich gemacht werden.

Keywords

Landschaftsschonender Strassenbau, naturnahe Begrünung, Böschungssicherung, Geotextil, Unterhalt lebender Baustoffe, Holzkasten, Buschlage

Ouvrages du génie biologique sur les routes de l'Oberland bernois

Résumé

Depuis 1978, plusieurs remblais et pentes raides ont pu être aménagés durablement avec des mesures du génie biologique lors de la construction de routes cantonales dans l'Oberland bernois. Les leçons et les expériences acquises au cours de ces projets sont mises à la disposition des professionnels intéressés.

Mots-clés

Construction routière adaptée au paysage, végétation proche de la nature, stabilisation des pentes, géotextiles, entretien des matériaux vivants, caissons en bois, lit de plançons

Opere d'ingegneria naturalistica lungo strade nell'Oberland Bernese

Riassunto

Dal 1978 nell'Oberland Bernese durante la costruzione delle strade cantonali diverse scarpate e riperti lungo

pendii ripidi sono stati costruiti in modo permanente con tecniche d'ingegneria naturalistica. Le esperienze e gli insegnamenti tratti devono essere messi a disposizione degli specialisti interessati.

Parole chiave

Costruzioni stradali rispettose del paesaggio, inverdimento naturali, stabilizzazione di pendii, geotessili, manutenzione di materiali da costruzioni vivi, cassoni di legno, gradonata viva con ramaglia

1. Einleitung

Vor rund 40 Jahren standen die Strassenbauer in der Kritik, die schöne, naturnahe Landschaft der Schweiz mit grossen, auffälligen Betonbauten zu zerstören. Dabei waren landschaftsverträglichere Baumethoden zur Bewältigung von Erosionsproblemen oder Terrainveränderungen im Steilgelände kaum mehr bekannt. Auf die Empfehlungen von Frau Helgard Zeh, vermehrt mit, statt gegen die Natur zu arbeiten und auf die konstruktiven Kontakte mit Professor Dr. Hugo Meinhard Schiechl und dessen Literatur hin wurde im Oberingenieurkreis I der Gedanke der ingenieurbiologischen Möglichkeiten aufgegriffen und in verschiedenen Projekten beim Ausbau der Kantonsstrassen im Berner Oberland umgesetzt. Der Erfolg überzeugte. Einzelne Fehlergebnisse lieferten wertvolle Erfahrungen und führten zu den Grenzen dieser Methode. Bevor einige der ausgeführten Beispiele aus den über 50 ausgeführten Objekten vorgestellt werden, werden einige Grundsätze voran gestellt.

2. Grundsätze

Anstatt mit harten Bauweisen wie Beton oder Stahl soll der Baugrund mit lebenden Wurzeln armiert und zusam-

mengehalten, vor Erosion geschützt oder entwässert werden. In sehr steilem Gelände sollen minimal eingesetzte harte Baustoffe die Tiefenwirkung der Wurzeln erhöhen.

Ingenieurbiologische Bauwerke (nachfolgend IB genannt) wachsen in ihre Funktion hinein, bei richtiger Anordnung und dem nötigen Unterhalt über Jahrzehnte hinweg. Sie können Setzungen meist problemlos auffangen und unterstützen die Natur auch im Strassenraum.

Richtig angewandte IB-Bauwerke sind in der Regel günstiger als harte Bauweisen und diesen zum Teil deutlich überlegen. Weil sie sich rasch in die Landschaft einordnen, fallen sie kaum auf und eignen sich im Gegensatz zu Kunstbauten schlecht als «Demonstrations-Bauwerke». IB-Bauwerke stellen verschiedene Ansprüche. Um zum Erfolg zu führen, müssen sie darum sorgfältig geplant, ausgeführt und gepflegt werden.

2.1 Standortansprüche

Lebende Wurzeln brauchen lebende Pflanzen und zum dauernden Gedeihen Lebensraum, Luft, Licht und Feuchtigkeit, sowie ein Minimum an Nährstoffen und ein Minimum an Unterhalt. Wenn nur eine dieser Anforderungen fehlt, zum Beispiel der Raumbedarf nicht gewährt wird, sind IB-Bauten zum Scheitern verurteilt. Weil das Bauwerk lebt, ist auch eine Dauerpflege nötig. Der Unterhalt soll minimal bleiben, darf aber nicht vernachlässigt werden. Gute IB-Beispiele sind gescheitert, weil deren Unterhalt unterblieb oder dann zu radikal (Kahlschnitt) durchgeführt wurde.

2.2 Einsatzgrenzen

Der Bau hängt von der Vegetationszeit ab. Saaten werden vorteilhaft im Frühling und Frühsommer, teils im Herbst ausgeführt, unbewurzelte Stecklinge (für adventive Bewurzelung) im Winterhalbjahr, bewurzelte Setzlinge im Frühling und späten Herbst eingebaut. Wenn im

Sommer mit Weiden gearbeitet werden muss, so sollten diese im Winter geschnitten und bis zur Verwendung bei rund 5°C gelagert oder ganz kurz vor der Verwendung geschnitten, entlaubt und sofort (möglichst am gleichen Tag!) verbaut werden.

Die Tiefenwirkung lebender Pflanzen konzentriert sich auf die oberste Bodenschicht. Gräser befestigen die obersten rund 20 cm, Gehölze wenig mehr als den obersten Meter. IB-Lösungen bieten sich darum bei Oberflächenrutschungen an. Mit kombinierten Bauweisen (Holzkasten, Geotextilien, Erdanker etc.) kann die Tiefenwirkung deutlich verbessert werden. Jedoch gilt es, die Grenzen zu beachten: Ingenieurbiologie löst keine tief liegenden Rutschprobleme!

3. Verwendete Pflanzen

3.1 Natürlich vorhandene Vegetation

Mit Vorteil wird die natürliche Vegetation der Umgebung studiert, um standortgerechte Arten wählen und damit den Erfolg erhöhen zu können.

3.2 Unerwünschter Bewuchs

Bei allen Begrünungsflächen ist auf die spontane Besiedlung durch «aggressive Neophyten» (konkurrenzstarke fremdländische Pflanzen) zu achten und diese von Anfang an entschieden zu bekämpfen, bevor deren Wuchern nicht mehr einzudämmen ist.

3.3 Möglichkeiten der Ansaat

Nass-Saat: Die auf dem Markt erhältlichen Nasssaaten wurden oft mit viel Dünger ausgebracht, womit in den ersten Jahren ein starker Wuchs erreicht wurde, der aber in sich zusammenfiel, wenn der Dünger verbraucht und der spontane Sameneinflug aus der Umgebung die oft standortfremden Arten schlecht abzulösen vermochte. Die Kombination mit Stecklingen oder jungen Gehölzpflanzen hat sich nicht bewährt, weil diese in der Konkurrenz der gedüngten Gräser ersticken. Auch Gehölzsaaten haben sich nicht bewährt, wohl aber der spontane Sameneinflug aus benachbarten Waldpartien.

Naturbegrünung ist immer noch die günstigste Art, um eine rohe Fläche der

Natur zur Wiederbesiedlung zu überlassen. Wird in natürlicher Umgebung sehr empfohlen.

Heublumen: Heu in der Umgebung mähen und auslegen ergibt eine standortgerechte und der Umgebung bereits bestens angepasste Vegetation. Eignet sich besonders für Extremstandorte.

Ansaat von Hand oder maschinell eignet sich für blumenreiche Inselflächen auf magerem Untergrund wie auch zur Erosionsreduktion in unzugänglichen Steilhängen, eventuell mit Helikopter ausgebracht. Mit dem Verkleben oder Abdecken der Oberfläche mit Mulch oder Bitumen wird im Anfangsstadium die Oberflächenerosion reduziert, die Wärme gespeichert und die Keimlinge vor der Witterung geschützt.

3.4 Möglichkeiten der Adventivbewurzelung

Adventivbewurzelung: Im Klima nördlich der Alpen sind schmalblättrige Weiden (etwa 15 Salix-Arten, ohne Salix caprea) fast die einzigen Arten, welche sich am nackten Holz spontan (adventiv) bewurzeln können. Lebende Steckhölzer oder Äste dieser Arten werden eingeschlagen oder eingegraben und 0 – 10 cm über der Oberfläche abgeschnitten, damit sie vor dem Austrocknen Wurzeln bilden und austreiben. Mit dem späteren periodischen Rückschnitt (auslichten, auf den Stock setzen) wird die Wurzelbildung gefördert. Weil senkrechte Hölzer am tiefsten Punkt, horizontale nur an der Oberfläche wurzeln, sollte das Holz mit mindestens 10% Gefälle nach hinten eingebaut werden. So kann es auf die ganze Länge Wurzeln treiben.

Unterschieden wird zwischen **Steckhölzern** (Durchmesser 3 – 10 cm, mit Locheisen oder Bohrerhammer vorlochen und mit Gummihammer einschlagen) und **Ast- oder Buschlagen** (Einlegen von Ästen mit Durchmesser 0.2 bis 5 cm). Astlagen sind erheblich wirksamer und schneller, weil sie mit weniger Aufwand in grössere Tiefe und viel dichterere Verteilung eingebracht werden können als Steckhölzer. Mit Astlagen kann das verwendete Weidenmaterial praktisch vollständig ausgenutzt werden.

Buschlage (Pickel-Rillen) im Abtrag eignet sich für rohe und erodie-

rende Oberflächen im Wald, wo sich spontan kaum Vegetation ansiedeln kann. Schräg aufwärts werden fischgrattartig mit dem Pickel Rillen von 15 – 30 cm Tiefe ausgehoben und mit ca. 30 cm langen Weidenästen bestückt. 1.50 bis 2.00 m oberhalb wird die zweite Rille ausgehoben und mit diesem Material die Weiden in der unteren Rille wieder zugeeckt. Die eingebauten Weiden ragen nur wenige Zentimeter vor und halten damit abrollendes und abschwemmendes Material zurück. Mit den austreibenden Weiden wird die Spontanbegrünung durch Gehölzeinflug begünstigt. Günstige und wirksame Methode.

Wenn vor dem Einlegen der Weiden eine Jutebahn in die Rille eingelegt und um Jutebahnbreite minus Einlagebreite auf der Böschung liegt, wird die Erosionsgefahr weiter reduziert.

3.5 Möglichkeit von Jungpflanzen

Gehölz-Jungpflanzen: Mit dem Einsatz von Weiden entsteht anfänglich eine Monokultur, welche mit der Zeit vom natürlich einfliegenden Gehölz abgelöst wird. Wenn mit den Weiden bewurzelte Jungpflanzen eingelegt werden, kann diese Monokultur verhindert und die zu erreichende Schlussvegetation günstig beeinflusst werden. Um rationell arbeiten zu können, sollten nur kleine Forstpflanzen (nicht über 50 cm lange Triebe) verwendet werden. Weil die Weide viel Licht benötigt, unterliegt sie mit der Zeit den anderen Holzarten.

Ebenso können **Rasenziegel** aus der Umgebung ausgestochen und als «Impfung» inselartig auf die neu zu begründende, rohe Fläche verlegt werden. Eignet sich vor allem für Hochgebirge, heisse Felsnischen oder Feuchtstandorte.

4. Verwendete Hilfsmaterialien

Gewebeabdeckung durch Jute- (bietet für 1–2 Jahre Oberflächenschutz) oder Kokosnetze (für 2 – 3 Jahre), oder dauernd witterungsbeständige Geotextilien zum Schutz gegen Abschwemmen, bis die Vegetation ihren Platz erobert und gesichert hat. Damit das Saatgut wie die natürlichen Keimlinge das Gewebe durchwachsen können, sollte die Maschenweite mehr als 20 mm betragen und die



Abbildung 1: Grobmaschige Gewebe werden besser durchwachsen und schützen erstaunlich gut vor Erosion.

Figure 1: Les filet à grosses mailles s'intègrent mieux à la végétation et protègent étonnamment bien contre l'érosion.

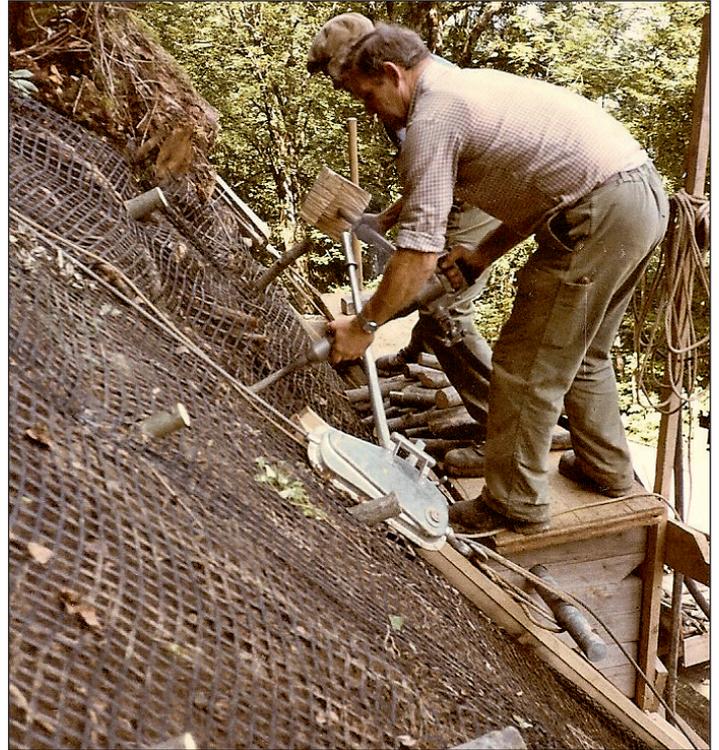


Abbildung 2: Versetzarbeit auf einem improvisierten Arbeitspodest.

Figure 2: Travaux de remplacement sur une plateforme de travail improvisé.

Knoten wo möglich nicht starr verbunden sein. Die Gefahr des Ausschwemmens durch die recht grossen Maschen hat sich als erstaunlich gering erwiesen; wohl aber wurde mehrfach beobachtet, wie feinmaschige Gewebe über Jahrzehnte nicht durchwachsen werden konnten. Dauerhafte Gewebe sollten zum Schutz der Wildtiere ein- und überwachsen und nach Jahren nicht mehr sichtbar sein.

Geotextil-Netze dienen auch zur Armierung von Schüttungen und können damit die Wirkung der Weidenäste in grösserer Tiefe verstärken. Weil sie biegsam sind, können sie jedoch Gleitbrüche im Untergrund kaum verhindern.

Erd- und Felsanker dienen zum dauernden Verankern von Gewebeabdeckungen in Tiefen, die für die Wurzeln nicht mehr erreichbar sind. Auf dem Markt sind verschiedene Produkte erhältlich. Grossflächige Abdeckungen im Steilgelände sollten gesichert, das heisst, über die obere Anrisskante hinaus fest verankert (umgeschlagen eingraben) und auf der Fläche lose verlegt und mit Weidenpfählen oder Erd- oder Felsanker fest mit dem Untergrund verbunden werden. Pfähle mit Locheisen, Pressluft-

hammer oder sogar mit Bohrhammer vorlochen. Das Versetzen erfolgt von der Leiter aus oder (meistens) am hängenden Seil. Ein Baumeister hat eine kleine Arbeitsbühne erstellt, welche mit Seilzügen von oben nach unten über die zu bearbeitende Fläche abgelassen wurde (siehe Bild).

Holzkasten / Armierungsgitter siehe «Ingenieurbiologie in der Schüttung»

5. Ingenieurbiologie in Abtragsflächen

Weil Abtragsflächen nur oberflächlich zugänglich sind, bleibt die Wirkungstiefe gering. Diese wird mit Stechhölzern, Erd- oder Felsanker örtlich verbessert, reicht aber nicht an die Möglichkeiten der Schüttung heran und sollte darum auf Abtragsflächen beschränkt bleiben. Eine Schüttung nachträglich an der Oberfläche mit IB-Methoden sichern zu wollen, wäre eine verpasste Chance.

5.1 Beispiel 1: Oberflächenstabilisierung Heidenweidli, Simmentalstrasse

Koordinaten: 599 800 / 167 080 / 800

Bau 1986. Die kiesige, unbewachsene Oberfläche war während Jahren instabil und konnte sich nicht selber begrünen. Tiefer liegende Rutschhorizonte waren nicht ersichtlich. Mit dem Einbau von Pickel-Rillen im vertikalen Abstand von ca. 1.50 m und ca. 30 cm langen Weidenstecklingen konnte das Abschwemmen von Feinmaterial reduziert und mit dem Austreiben der Weiden die für weitere Naturbegrünung nötige Beschattung erreicht werden. Mit sehr geringem Aufwand konnte ein sehr beachtlicher Erfolg erreicht werden. Die vom begleitenden Ingenieur verlangte Fussmauer wäre nicht nötig gewesen. Die Methode bewährt sich, auch wenn der Bewuchs nur langsam Fuss fassen kann.

5.2 Beispiel 2: Bergseitige Böschungssicherung Bätlerbalm, Haslibergstrasse

Koordinaten: 655 200 / 178 400 / 1055

Bau 2008: Die bergseitige Steilböschung ist südorientiert, sehr sonnig, trocken und besteht aus losem Kalkschotter mit fast keinem Humus. Die Fläche war kaum bewachsen und seit Jahren rollten Steine



Abbildung 3: Beispiel 1. Oberflächenstabilisierung Heidenweidli, Simmentalstrasse: Einbau von Pickelrillen auf roher Oberfläche – Gesamtansicht (links) und Detail der Weidenstecklinge (rechts).

Figure 3: Exemple 1. Stabilisation de la surface à Heidenweidli, Simmentalstrasse: installation de stries sur la surface brute – vue d'ensemble (à gauche) et détail des boutures de saule (à droite).

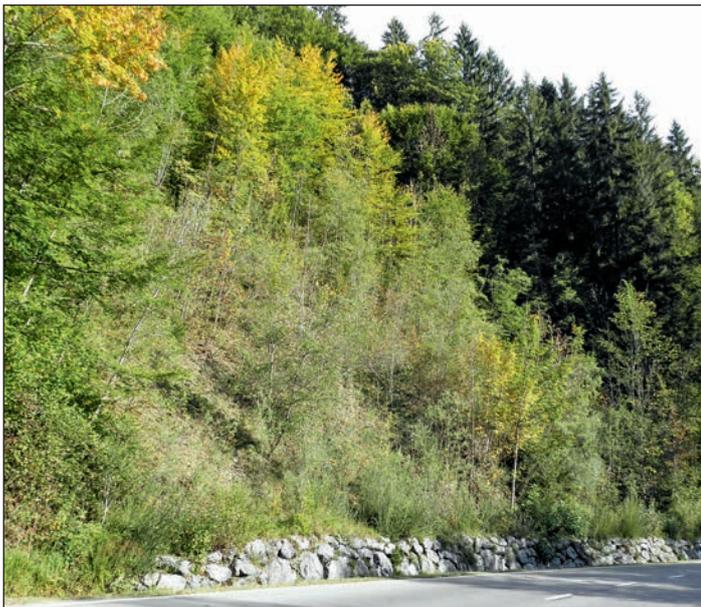


Abbildung 4: Beispiel 1. Die gleiche Fläche nach rund 25 Jahren – Gesamtansicht (links) und Detail (rechts).

Figure 4: Exemple 1. La même surface 25 ans après – vue d'ensemble (à gauche) et détail (à droite).

auf die Strasse. Die vorhandene Vegetation ist jedoch sehr artenreich. Anfänglich wurde die Böschung mit Jutegewebe abgedeckt und mit Weidenstecklingen gespickt, später mit Hydrosaat begrünt, ohne nennenswerten Erfolg. So wurde 2008 die obere Böschungskante maschinell abgerundet, die Flächen mit einem dauerhaften Geotextil flächig abgedeckt und mit kurzen Ankern befestigt. Zu Gunsten der örtlichen Vegetation wurde auf eine Saat verzichtet.

Zustand 2010: Nun kommt Ruhe in den Hang, obschon der Bewuchs sehr langsam fortschreitet.

6. Ingenieurbiologie in der Schüttung

Mit **Buschlagen** in der Schüttung wird eine Tiefenwirkung und Armierung des Schüttkörpers erreicht, welche mit Stekhölzern nicht annähernd zu erreichen ist. Die Böschungsneigung kann damit deutlich steiler gewählt werden. Hohe Auf-

schüttungen genügend tief verankern, damit nicht einzelne Pakete ausdrücken können.

Holzkasten mit Buschlage: Rundholzstämmen, mit Rundeisenstäben vernagelt, dienen zur Verstärkung von Schüttungen in grössere Tiefe. Mit einem Holzkasten kann der darüber aufzubauende Stützkörper in die Tiefe stabilisiert werden. Die dauernde Wirkung wird erheblich verbessert, wenn die Zwischen-



Abbildung 5: Beispiel 2. Böschungssicherung Bätlerbalm – Gesamtansicht (links) – Beispiel örtlicher natürlicher Vegetation (rechts).
 Figure 5: Exemple 2. Stabilisation de pente à Bätlerbalm – vue d'ensemble (à gauche) – exemple de végétation naturelle indigène (à droite).

räume mit Weidenästen und eventuell Forstpflanzen ausgelegt werden. Holzkasten sind dauerhaft, wenn sie von Anfang an überdeckt werden oder dauernd nass bleiben.

Grünmauer: Die anfängliche Stabilität wird mit Armierungsgitter und Geotextilien gewährleistet. Die dauernde Sicherung übernehmen die Pflanzen mit ihren Wurzeln. Um dauernde Tiefenwirkung zu erreichen, sollten in den Schichtfugen Weidenäste und bewurzelte Forstpflanzen eingelegt werden. Um diese nicht zu

konkurrenzieren, sollte auf eine Ansaat verzichtet werden.

Die Hangneigung sollte nicht über 60° steil sein, weil sonst die unterste Mauerpartie zu wenig Licht und Regen erhält und dann die Pflanzen verkahlen. Heute sind verschiedene Grünmauer-Produkte auf dem Markt.

Begrünter Blockwurf, Trockenmauer oder Steinkörbe: Mit der Einlage von Weidenästen in die Arbeitsfugen können Blockwürfe, Trockenmauern

und Steinkörbe dauernd befestigt und besser in die Natur integriert werden.

6.1 Beispiel 3: Dammschüttung mit Heckenlagen im Stockweidligaben, Erizstrasse

Koordinaten: 623 250 / 181 730 / 1010

Bau 1986: Übersteile Dammschüttung 4:5 mit Heckenlagen. Die Weiden wurden Ende Winter geschnitten, im Forstkühlhaus gelagert und von dort über den ganzen Sommer eingebaut mit sehr

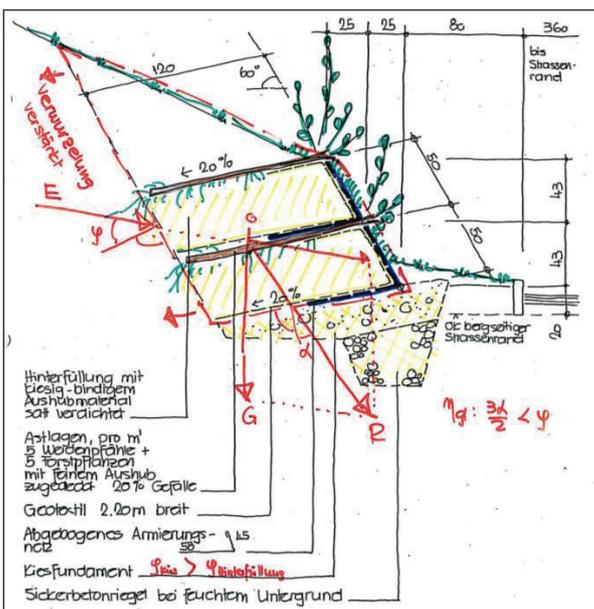


Abbildung 6: Grün- oder Geotextilmauer im Schema (links) und im Bau – vorsichtig verdichten! (mitte) – Frontansicht frisch erstellt (rechts).
 Figure 6: Mur végétalisée ou en géotextile schématique (à gauche) et en construction – attention à la densification! (au milieu) – vue de face juste après l'installation (à droite).

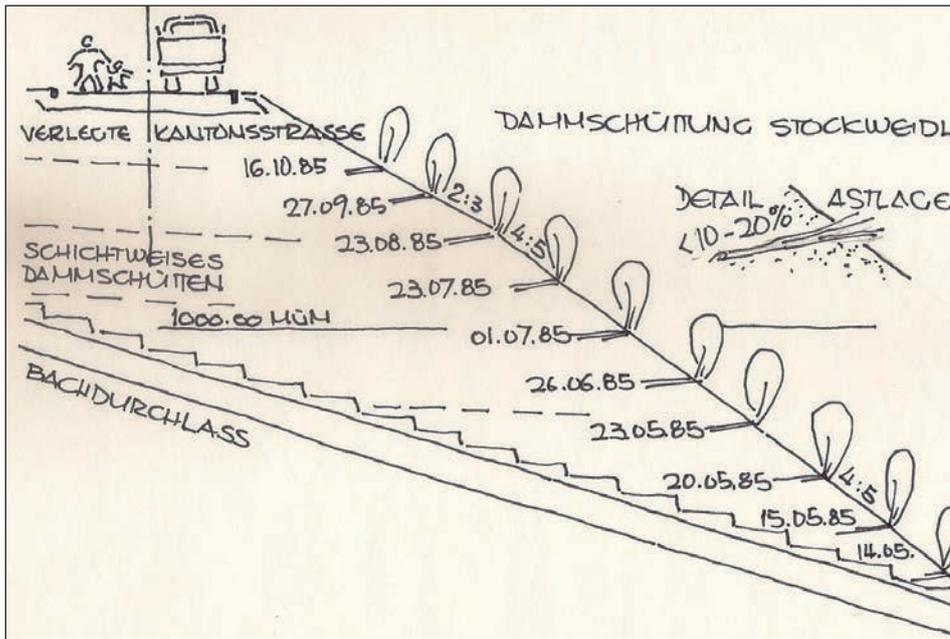


Abbildung 7: Beispiel 3. Dammschüttung Stockweidligraben: Querprofil im Baustadium.
 Figure 7: Exemple 3. Remblai à Stockweidligraben: section transversale en construction.

gutem Anwuchserfolg. Das tonhaltige Schüttmaterial musste wiederholt mit Kalk stabilisiert werden. Drei Jahre später haben Kulturingenieur-Studenten in ihrer Diplomarbeit diese Weiden ausgegraben und festgestellt, dass Weiden im kiesigen Schüttmaterial besser wurzeln als in tonig vernässtem Boden. Zustand 2010: Die Böschung ist intakt, unterhalb des Waldrands steht viel junges Laubholz, unter dem Strassenrand Fichten, welche entfernt werden sollten, um die tiefe Verwurzelung nicht zu gefährden (Fichten sind Flachwurzler).

6.2 Beispiel 4: Hangrutsch Friberg: Holzkasten mit Buschlagen

Koordinaten: 603 400 / 167 530 / 740

Nach der Stabilisierung der talseitigen Strassenschulter mit einer Betonmauer auf Mikropfählen war das Fundament nicht mehr genügend überdeckt, der steile Hang wasserdurchtränkt, die Oberfläche abgerutscht und kaum zu begehen. Im Frühling 1995 wurde der Hang mit einer Vorschüttung von ca. 2 m Dicke auf einer Höhe von ca. 40 m mit Heckenlagen von unten her verstärkt. Die

Weiden hatten sehr gut ausgetrieben, als im Herbst 1996 nach einer Durchrassung mit starkem Niederschlag der ganze Aufbau in sich zusammenfiel und abrutschte. Der Grund lag darin, dass die aufgeschüttete Dicke viel zu dünn war im Verhältnis zur Gesamthöhe der Schüttung, so dass Wasseraustritte den Aufbau aufweichten und zum Einsturz führten. Der Verbau musste 1997 wiederholt werden, wobei die Entwässerung sorgfältiger gelöst und der Verbund des Aufbaues mit dem Untergrund mit Holzkasten gesichert wurde. In der Folge konnte sich der Hang beruhigen und wieder begrünen.

Kontrolle 2010: Dichter Weidenwald auf Holzkasten, welche intakt sind, aber doch äusserlich zu faulen beginnen. Standfester Eindruck. Links und rechts stehen grosse Bäume, unter welchen keine junge Vegetation aufkommt und den Weiden viel Licht wegnehmen. Trotzdem entwickeln sich die Weiden recht gut. Wenn der Sturm den einen oder anderen der grossen Bäume fällt, können ernsthafte Erosionsrisse entstehen, welche die Sicherheit der Strasse wieder gefährden. Darum Hinweis zum Unterhalt: Alte Bäume in den Randzonen wegnehmen, Weiden verjüngen – idealer Muttergarten für neue Ingenieurbiologiebauten.

6.3 Beispiel 5: Bepflanzte Geotextilwände in Krattigen

Koordinaten: 622 380 / 167 830 / 700 und 662 560 / 167 770 / 700



Abbildung 8: Beispiel 3. Stockweidligraben Jahre später: Die Fichten am Fahrbahnrand sind unerwünscht, weil Flachwurzler. Detail im Hang: Die ganze Schüttung ist gleichmässig mit Gehölz bewachsen.
 Figure 8: Exemple 3. Stockweidligraben quelques années plus tard: les épicéas au bord de la route ne sont pas souhaitables car leurs racines sont peu profondes. Détail sur la pente: tout le remblai est uniformément boisé.



Abbildung 9: Beispiel 4. Heutiger Zustand im Friberig: Die Weiden sind noch recht dominant (links), die Holzkasten erfüllen ihre Funktion der tiefgreifenden Stabilisation (rechts).

Figure 9: Exemple 4. Etat actuel à Friberig: les saules sont encore bien dominant (à gauche), les caissons en bois remplissent leur fonction de stabilisation en profondeur (à droite).

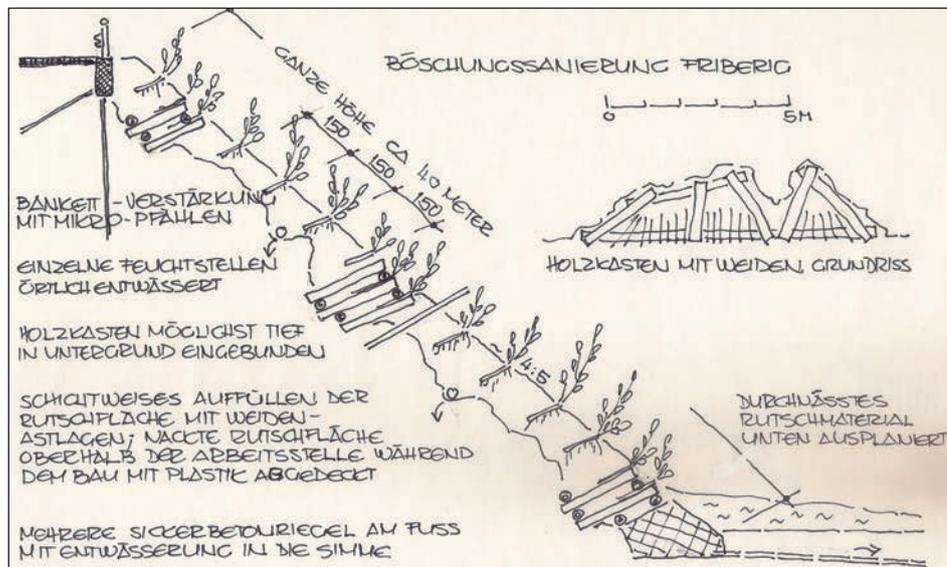


Abbildung 10: Beispiel 4. Aufbauschema Friberig: Nachdem die reinen Weidenastlagen durch Wasseraustritte ausbrachen, wurde der Aufbau mit Holzkästen tiefer in den Untergrund verankert und Feuchtstellen sorgfältig entwässert.

Figure 10: Exemple 4. Schéma de construction à Friberig: après que les plantations de saule ont été désarrimées par les flots, la structure a été ancrée plus profondément dans le sol dans des caissons en bois et les zones humides ont été bien drainées.

Bau 1990: Talseitige Böschungsverstärkung mit zwei Geotextilwänden System Textomur

Zustand 2010: Beide Mauern sind recht kurz geschnitten und in gutem Zustand. Die östliche wird von unten her vom Vieh verfressen, so dass in den unteren Bereichen keine Gehölze mehr wachsen. Die Hecke längs dem Privatweg ist sehr gross geworden und sollte dringend geschnitten werden, damit die Fläche nicht verkahlt und gleichmässig durchwurzelt bleibt.

Pflegehinweis: Abzäunen unter der Mauer, damit weniger Viehverbiss, Private Hecke schneiden.

6.4 Beispiel 6: Geotextilwand mit späterem Wasserschaden Niedermatt, Eriz

Koordinaten: 625 450 / 181 900 / 1000

Bau 1998: Geotextilwand System Teramur mit Weiden und bewurzelten Forstpflanzen anstelle einer Betonkonstruktion.

Im Unwetter-Sommer 2005 wurde das Bauwerk durch eine unterirdische Wasserrader örtlich unterspült und sackte auf eine Länge von rund 40 Metern um 20 bis 30 cm ab. Weil die gefährliche Gleitfläche deutlich unterhalb des Mauerkörpers lag, wurde der Mauerfuss mit einem kleinen armierten Betonriegel mit 4 bis 10 Meter langen Mikropfählen bis in den Nagelfluh-Untergrund ergänzt. Diese verhindern ein weiteres Absacken. Die abgesackte Strasse wurde aufgefüllt und die Leitplanke erneuert. Die Geotextilwand an sich blieb intakt. Ob sich wohl eine Betonmauer auch so leicht sanieren liesse?? Zustand 2010: Flächige Durchwurzelung scheint sehr gut ausgebildet. Die Böschung wird sehr gut unterhalten, indem stark wachsende Gehölze und dicke Stämme periodisch tief ausgeschnitten werden. Bei der Pflege darauf achten, dass das Kunststoffgewebe, nicht verletzt wird. Das Durchrosten des Armierungsgitters wird bewusst in Kauf genommen.

7 Kombinierte Bauweisen

IB-Bauten eignen sich zur Eingrenzung von Erosions-Störzonen, indem leichter bewältigbare Partien mit einer geeigneten IB-Methode festgelegt und harte Baumaassnahmen auf minimale Abmessungen im extremen Störbereich reduziert werden können. Aus diesem Grunde macht es auch Sinn, wenn IB-Bauten meist recht kleinräumig angeordnet und durch harte Verbauungen ergänzt werden.

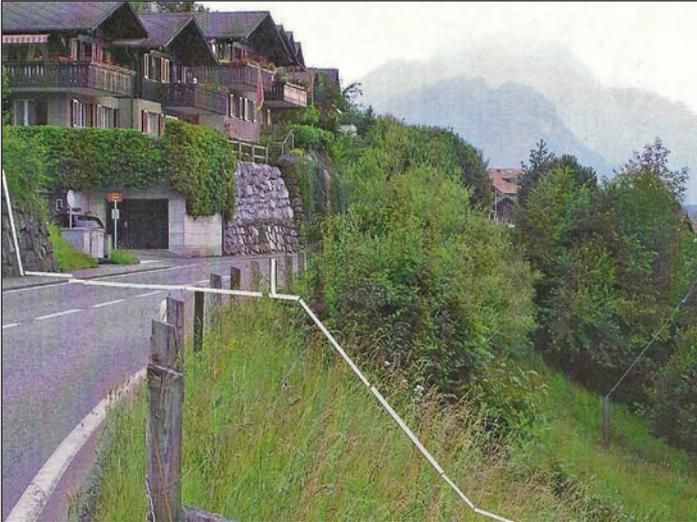


Abbildung 11: Beispiel 5. Bepflanzte Geotextilwände in Krattigen sind als Stützmauer kaum mehr zu erkennen.
 Figure 11: Exemple 5. Les parois végétalisées en géotextile à Krattigen sont à peine reconnaissables en tant que mur de soutènement.

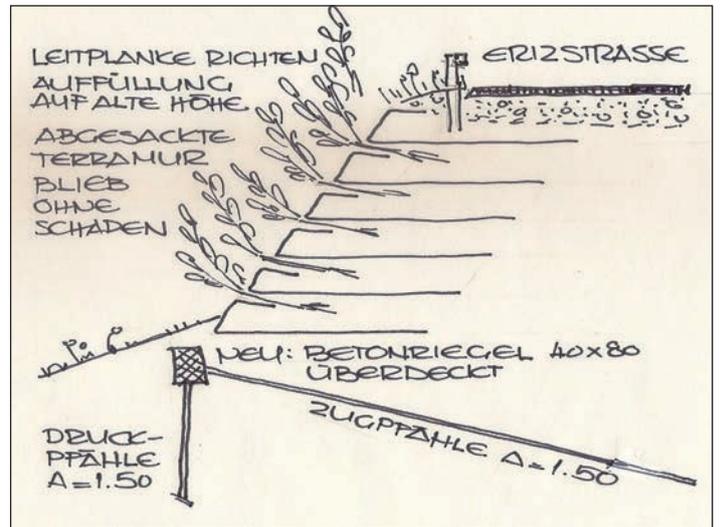


Abbildung 12: Beispiel 6. Geotextilwand Niedermatt Eriz (links): Die abgesackte und nachträglich stabilisierte Wand im rechten Bildteil ist nicht ersichtlich; das heisst: das ingenieurbioologische Stützbauwerk hat eine Sackung schadlos überstanden. Rechts: Schema der Sackungs-Instandstellung.
 Figure 12: Exemple 6. Paroi en géotextile à Niedermatt Eriz (à gauche): La paroi affaisée et stabilisée ultérieurement à droite de l'image n'est pas visible; cela signifie que la structure de soutènement en génie biologique a survécu sans dommage à un tassement. A droite: schéma de la remise en état du tassement.

Strukturierte Felsabträge: Wenn Felsabträge bewusst strukturiert werden, indem weiche Partien flach und harte steil abgetragen werden, wird sich die neue Felsoberfläche besser in die Gebirgslandschaft einfügen. Hier lohnt es sich, vor dem Abtrag wertvolle Rasenziegel abzutragen und dann auf die neuen flachen Partien aufzulegen. Wider Erwarten konnte die Witterung diese nur minimal abschwemmen, bevor sie am neuen Ort Fuss fassen konnten. Verkleidete Bruchsteinmauern und strukturierte Felsabträge passen sich besser in die Landschaft ein als harte und grosse Betonflächen.

Bepflanzte Betonelemente: Kleineräumige Betontröge (weniger als 0.80 m breit oder hoch) können von den heimischen natürlichen Gehölzen nicht befriedigend bewachsen werden. Sie benötigen zu viel Unterhalt, haben sich nicht bewährt und sind darum nicht zu empfehlen.
Betonelemente, ergänzt mit Ingenieurbio machen Sinn, wenn die Pflanzen genügend Platz zum Wachsen erhalten. Dazu gehört auch genügend Wurzelkontakt in den Untergrund und genügend grosse Beregnungsfläche.
Bepflanzte Betonmauern haben mit Ingenieurbio nicht mehr viel gemeinsam, fügen sich aber gut in die Landschaft

ein. Deren Pflanzenraum muss aber genügend gross dimensioniert werden, sonst werden die Unterhaltsorgane die Pflanzen früher oder später ausräumen!

7.1 Beispiel 7: Bergseitige Stützmauer Staldi, Haslibergstrasse

Koordinaten: 655 550 / 178 400 / 1050

Bau 1987: Beim Strassenausbau wurde der gewachsene Fels nach Möglichkeit belassen, Lücken mit bewusst knapp dimensionierten Bruchsteinmauern ausgefüllt und örtlich durch mit Weidenastlagen bestückte Steinblöcke erhöht.



Abbildung 13: Beispiel 7. Stützmauer Staldi, Haslibergstrasse: Bruchsteinmauerwerk reduziert auf minimal notwendige Partien zugunsten des Landschaftsbildes.
 Figure 13: Exemple 7. Mur de soutènement à Staldi, Haslibergstrasse: le mur de moellons réduit au minimum les parties nécessaires en faveur du paysage.



Abbildung 14: Beispiel 8. Felsabträge strukturieren (links) ergibt die Möglichkeit, um die vorhandene Vegetation wieder anzusiedeln (rechts). Zudem fügen sich solche Eingriffe viel besser in die Landschaft ein, als senkrecht abgeschrotete Wände.
 Figure 14: Exemple 8. Les déroctages structurés (à gauche) permettent le rétablissement de la végétation existante (à droite). De plus, ces interventions s'intègrent beaucoup mieux dans le paysage que des parois dégagées verticalement.

Zustand 2010: Gut eingewachsen. Die strassennächsten Weidenastlagen müssen jährlich geschnitten werden, weil zu nahe am Fahrbahnrand. Die obere Randbepflanzung über den Felsen wird gross. Pflegehinweis: Strassennahe Austriebe der Weiden kurz halten. Alle 5 Jahre obere Randbepflanzung zurückschneiden.

7.2 Beispiel 8: Strukturierte Felsabträge an der Haslibergstrasse

Koordinaten: 653 700 / 178 200 / 1030 bis 654 500 / 178 250 / 1050
 Bau 1986-1992: Die anstehenden Felswände wurden beim Strassenausbau

bewusst strukturiert und die dadurch entstehenden Nischen mit Rasenziegel bestückt, um die vorhandene Felssteppen-Vegetation erhalten zu können. Naturfreunde haben zuvor einzelne Feuerlilien ausgegraben und nach dem Bau wieder eingebracht.

Zustand 2010: Auch nur kleine Vegetationsinseln konnten sich über Jahre halten. Im Juni finden sich innerhalb des vom Strassenbau betroffenen Gebietes wieder vereinzelt blühende Feuerlilien.

Pflegehinweis: Sorgfalt beim Ausmähen der Randbereiche, seltene Pflanzen schonen.

Verwendete Literatur

Uwe Schlüter: Lebendverbau, Ingenieurbiologische Bauweisen und lebende Baustoffe (1971 Verlag Callwey, München)

Hugo Meinhard Schiechl: Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau (1973 Verlag Callwey, München)

Helgard Zeh: Bau durchlässiger und bewachsener Plätze (1986 Bundesamt für Umweltschutz)

Helgard Zeh: Ingenieurbiologie, Handbuch Bautypen (2007, Verein für Ingenieurbiologie, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich)

D. Wanzenried: Ingenieurbiologie (interne Sammlung der ausgeführten Versu-

che und Bauten für den Strassenbau im
Oberingenieurkreis I von 1978 bis 2010
im Archiv OIKI)

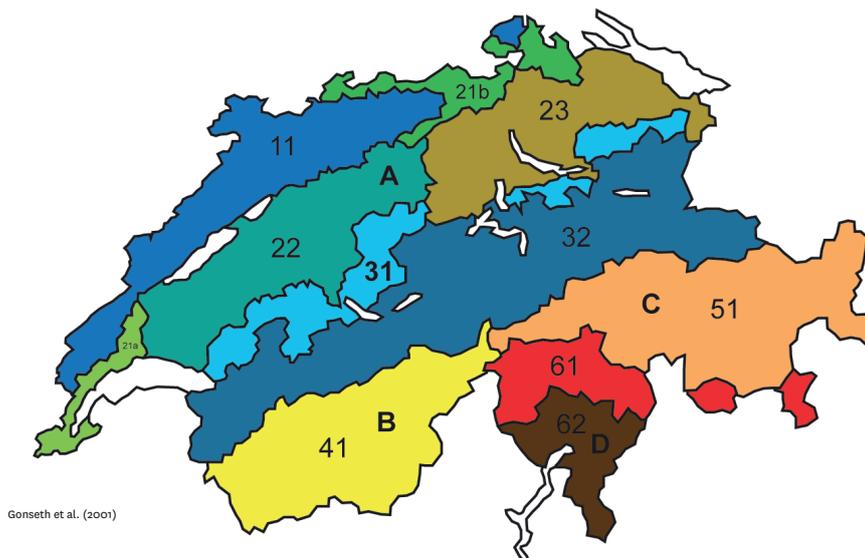
D. Wanzenried: Unterhalt für ingenieur-
biologische Bauten im Berner Oberland,
Oberingenieurkreis I (2010 Handbuch
für den Strassenunterhalt, im Archiv OIKI)

Verschiedene Pflanzen-Bestimmungsbü-
cher

Kontaktadresse:

Daniel Wanzenried
ehemaliger Projektleiter
Oberingenieurkreis I, Thun
Mühlegässli 5
3628 Uttigen
033 345 26 51
de2wan@sunrise.ch

CH-Wildblumensamen. Jeder Region ihren Ökotyp.



Ingenieurbiologische Massnahmen in der Val Müstair – Grenzerfahrungen im Gebiet der Val Brüna

Hansjörg Weber und Jörg Clavadetscher

Zusammenfassung

Ingenieurbiologische Massnahmen werden in der Val Müstair seit 1985 realisiert. Die Hangstabilisierungen erfolgen mit flexiblen Stützbauwerken, mit offenen, flexiblen Wasserableitungssystemen in der Falllinie sowie grossflächigen Grünverbaumassnahmen. Grosse, immer wieder aktive Murganggebiete wie die Vallatscha oder Taunter Ruinas weisen nach diesen Massnahmen aufgrund geodätischer Messresultate nur noch minimale Bewegungen auf. Die Val Schais hat eine so offensichtliche Aktivität, dass Stabilisierungs-Massnahmen nur für Randgebiete ausgeführt wurden. Die realisierten ingenieurbiologischen Massnahmen in der Val Brüna zeigen uns die Grenzen sämtlicher Systeme auf und sind für uns daher Grenzerfahrungen.

Keywords

Hangstabilisierung, Entwässerung, Stützbauwerke, Verschiebungsmessung, Beurteilungsschema Bachverbau, Berteilungsschema Hangverbau

Mesures du génie biologique dans le Val Müstair – expériences transfrontalières dans la région de Val Brüna

Résumé

Des mesures du génie biologique sont mises en œuvre depuis 1985 dans le Val Müstair. Les stabilisations de pente sont faites avec des structures de soutènement flexibles, avec des systèmes de dérivation des eaux ouverts et flexibles dans la ligne de pente ainsi que des mesures de végétalisation à grande échelle. Après la réalisation de ces mesures, de larges zones de laves torrentielles toujours actives comme la Vallatscha ou Taunter Ruinas ne présentent plus que des mouvements minimes sur la base des résultats de mesures géo-

désiques. Le Val Schais a une activité si évidente que les mesures de stabilisation ont été effectuées que pour les zones limitrophes. Les mesures du génie biologique réalisées à Val Brüna nous montrent les limites du système dans son ensemble et sont donc pour nous des expériences limites.

Mots-clés

Schéma d'évaluation pour l'aménagement du ruisseau, schéma d'évaluation pour l'aménagement des versants, stabilisation des pentes, drainage, structures de soutènement, mesure des déplacements

Misure d'ingegneria naturalistica in Val Müstair – «Esperienze al limite» in Val Brüna

Riassunto

Misure d'ingegneria naturalistica vengono realizzate in Val Müstair dal 1985. Le stabilizzazioni di pendii sono eseguite con opere di sostegno flessibili, con sistemi di scolo delle acque aperti e flessibili lungo la linea di pendenza e con misure d'ingegneria naturalistica su grandi superfici. Tecniche di misura geodetica mostrano che grandi zone franose che si riattivavano regolarmente come la Vallatscha o le Taunter Ruinas si muovono ancora solo minimamente. La Val Schais è così attiva che misure di stabilizzazione sono state realizzate solo in regioni periferiche. Le misure d'ingegneria naturalistica realizzate in Val Brüna ci mostrano invece i limiti di tutti i sistemi e le consideriamo quindi «esperienze al limite».

Parole chiave

Schema di valutazione per la stabilizzazione di pendii, stabilizzazione di pendii, drenaggio, opere di sostegno, misura di spostamenti

1. Einleitung

«Culmann schrieb in seinem Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrath (1864) über die Val Müstair: Es gehört zu den Gegenden, welche von Wildbächen am schwersten heimgesucht sind, wo die Bewohner gerne etwas thun würden, um sich zu helfen, allein aus Mangel an Rath und Anleitung nicht wissen, wie es anzufangen, indem bei der abgelegenen Lage des Thales selten Ingenieure und Forstleute es besuchen.» Die Naturkatastrophen bewirkten, dass Wildbachverbauungen realisiert, Hänge entwässert, mit Stützbauwerken und Grünverbaumassnahmen stabilisiert und Massnahmen der Raum- und Notfallplanung umgesetzt wurden. Die Probleme wurden in der Regel objektbezogen mit immer besseren technischen Mitteln gelöst. Erfolge und Misserfolge führen zunehmend zu besserem Verständnis der Naturgefahren und zur Einsicht, dass diese umfassend analysiert und bewertet werden müssen, bevor Massnahmen projektiert und realisiert werden.

2. Lage, Geologie und Klima der Val Müstair

(aus Charta Biosfera Val Müstair März 2011)

Die Val Müstair verbindet das Engadin mit dem Südtirol. Das West – Osttal senkt sich stufenweise von der Ofenpasshöhe (2149 m ü. M.) nach Müstair (1247 m ü. M.). Der Süden der Val Müstair grenzt sich durch eine Bergkette mit bis zu 3000 m hohen Gipfeln gegen Italien ab, wobei die Gipfelhöhe nach Osten kontinuierlich etwas abnimmt. Der Piz Chavalatsch, der östlichste Punkt der Schweiz, ist 2763 m hoch. Eine kontinentale Wasserscheide liegt zwischen dem Val Vau und dem Val Mora. Während der Rom (Einzugsgebiet 130.6 km²) das Val Müstair über die Etsch ins Adriatische Meer entwässert, fliesst das Aua da Val Mora (68.0 km²) via Spöl, Inn und Donau ins Schwarze Meer.

In geologischer Hinsicht liegt die Val Müstair im ostalpinen Deckensystem und ist in die altkristalline Scarl-Decke eingelasen. Eine starke Aufspaltung in mehrere Kristallin- und Sedimentspäne sowie ein komplizierter Faltungsablauf mit ungewöhnlichen west- und sogar südgerichteten Überschiebungen machen die Region nicht leicht verständlich. Grosse Pakete der Sedimente sind schiefbrig, zermürbt und daher leicht abtragbar. Es erstaunt daher nicht, dass die Seitenbäche viel Material abführen und in der Sohle der Val Müstair in Form von Schuttkegeln deponieren. Diese decken den Talboden fast vollständig zu und stellen für die Landwirtschaft günstige Lagen dar. Die periodischen Murgang-Ereignisse der 13 ausgesprochenen Wildbäche der Val Müstair suchen die Dörfer seit der Besiedlung der Talschaft immer wieder heim. Die Ausführung und Instandhaltung von Schutzbauten sind Daueraufgaben.

Klimatisch liegt die Val Müstair im Bereich der kontinental geprägten inneralpinen Trockenzone mit leichtem mediterranem Einfluss. Das Klima ist mild und regenarm (durchschnittlich ca. 5.6° C Jahrestemperatur und 800 mm Jahresniederschläge auf 1400 m ü.M.). Das Klimaregime begünstigt das Vegetationswachstum in der Val Müstair, indem die Höhenstufen gegenüber dem Alpennord- und Südhang deutlich gehoben sind (Waldgrenze auf etwa 2300 m ü.M.; Obst bis 1470, Getreide bis 1900 m ü.M.).

3. Rutschungen in der Val Brüna

Der Name Val Brüna (braunes Tal) weist auf ein seit langem aktives Rutschgebiet hin. Das aktive Gebiet hat eine mittlere Länge von ca. 400 m und eine mittlere Breite von ca. 180 m und umfasst somit eine Fläche von etwa 72'000 m². Bei einer geschätzten mittleren Mächtigkeit von ca. 4 m bis 7 m resultiert ein maximales Volumen von ca. 300'000 m³ bis 500'000 m³ (Gefahrenkommission 3 des Kantons Graubünden, 1994). Abbildung 1 zeigt den Piz Chavalatsch und das darunterliegende aktive Gebiet der Val Brüna. Der Flurname «Plaun Chanals» weist auf eine lange Tradition der gesicherten Wasserableitung mit Holzkanälen im Einzugsgebiet der Val Brüna hin. Die grossen Murgangereignisse in den Jahren 1917



Abbildung 1: Situation Val Brüna Juni 2017 mit Überblick über das Rutschgebiet und den östlichsten Punkt der Schweiz, der Piz Chavalatsch. Gut sichtbar sind die teilweise auf den Stock gesetzten Buschlagen sowie Bruchränder innerhalb der Rutschung. Foto Jörg Clavadetscher.

Figure 1: Situation au Val Brüna en juin 2017 avec une vue d'ensemble de la région de glissement et le Piz Chavalatsch, point le plus à l'est de la Suisse. Les lits de plançons implantés en partie au sommet ainsi que les bordures cassées dans le glissement sont clairement visibles. Photo Jörg Clavadetscher.

und 1928 mit Aufstau des Roms bedingten umfassende Sanierungen. Nach dem Ereignis 1977 mit grossen Flurschäden und Aufstau des Roms wurden konventionelle Rohrentwässerungen und Betonsperren zur Hangstabilisierung realisiert. Die Pflingstunwetter 1983 zerstörten einen Grossteil der Bauten wieder.

Gemäss Technischem Bericht Interventionskarte Wasser Gemeinde Val Müstair (AWN / tur gmbh 2016) sind mächtige Geschiebeablagerungen und Ausbrüche auf dem gesamten Kegel möglich. Die Häuser bei Legnai können stark beschädigt werden. Personen (im Freien und im Gebäude) sind stark gefährdet. Durch den Geschiebeeintrag in den Rom kann der Abfluss des Rom zurückgestaut werden und ausufern.

4. Material und Methoden

Nach dem Ereignis 1983 wurden ein Geschiebesammler für 15'000 m³ Material und 29 Betonsperren neu erstellt. Die

Sperren befinden sich im Randbereich der Rutschfläche, stehen auf der Rutschmasse und sind orografisch linksseitig in Fels verankert. Zur Erhöhung der Stabilität wurden die grossen Sperren mit seitlich verbundenen Vorsperren gestützt. Seit 1990 werden die Geländebewegungen sowie die Lage einzelner Betonsperren jährlich geodätisch vermessen. Basierend auf den Messresultaten von 2 Jahren und auf dem vermeintlich stabilen Hangfuss wurden in den Jahren 1992 bis 1999 umfangreiche forstliche Massnahmen zur Stabilisierung der Rutschmasse realisiert:

- Vollverbau des unteren Rutschbereichs mit horizontalen, zum Teil entwässerten Holzkastenbauten mit einer totalen Frontfläche von 5'055 m² und Höhen von ca. 3 m bis 5 m
- Geländestabilisierungen mittels Hangrosten, abgestützt auf Holzkastenverbau
- umfangreiche maschinelle Abböschungen von Bruchrändern, Nackentälchen, übersteilen Geländebereichen und Überdeckung der Stützbauten mit ca. 1 m bis 2 m Material
- Integration eines neuen Bachlaufs in den Holzkasten-Hangverbau für das anfallende Hang- und Quellwasser; Ausbildung der Holzkasten im Bereich des Bachlaufs als Bachsperren, ergänzt mit Vorsperren
- Stabilisierung von Bachläufen mit Baumfaschinen
- Quellfassungen (konzentrierter Wasseraustritt) mit Holzkanälen (V- und Trapezkanäle), überdeckt mit einer Baumfaschine und Material
- Fassung von diffusen Wasseraustritten mittels entwässerter Holzkasten (Rohrsystem, durch doppelte Holzkasten-Rückwand geschützt)
- Quellfassungen mittels Weidenfaschinen
- Wasserableitung mit Holzkanälen, vorwiegend Trapezkanäle, aber auch Rundholzkanäle mit gesicherter Sohle, immer in der Falllinie
- Rückbau von alten Rohrentwässerungssystemen
- Oberflächenstabilisierungen mit Grünverbaumassnahmen: Busch- und Heckenlagen, teilweise stabilisiert mit verankertem Rundholz, Grünerlendecke (David Baselgia, 1997), Aufforstungen

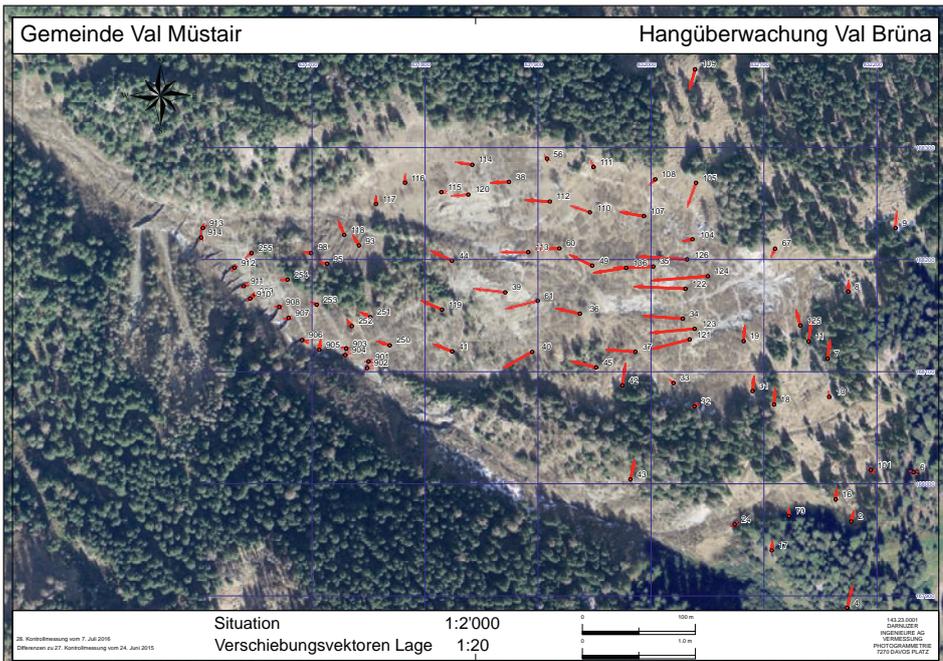


Abbildung 2: Luftbild der Val Brüna nach Massnahmenrealisierung (Bachverbau, Stützverbau, Entwässerung) mit Verschiebungsvektoren aufgrund Differenzen der 28. Kontrollmessung vom 7. Juli 2016 zu 27. Kontrollmessung vom 24. Juni 2015. Bild Darnuzer Ing. AG Davos.

Figure 2: Vue aérienne du Val Brüna après la réalisation des mesures (aménagement du ruisseau, structure de soutènement, drainage) avec des vecteurs de déplacement sur la base des différences entre les mesures de contrôle 28 du 7 juillet 2016 et 27 du 24 juin 2015. Photo Darnuzer Ing AG Davos.

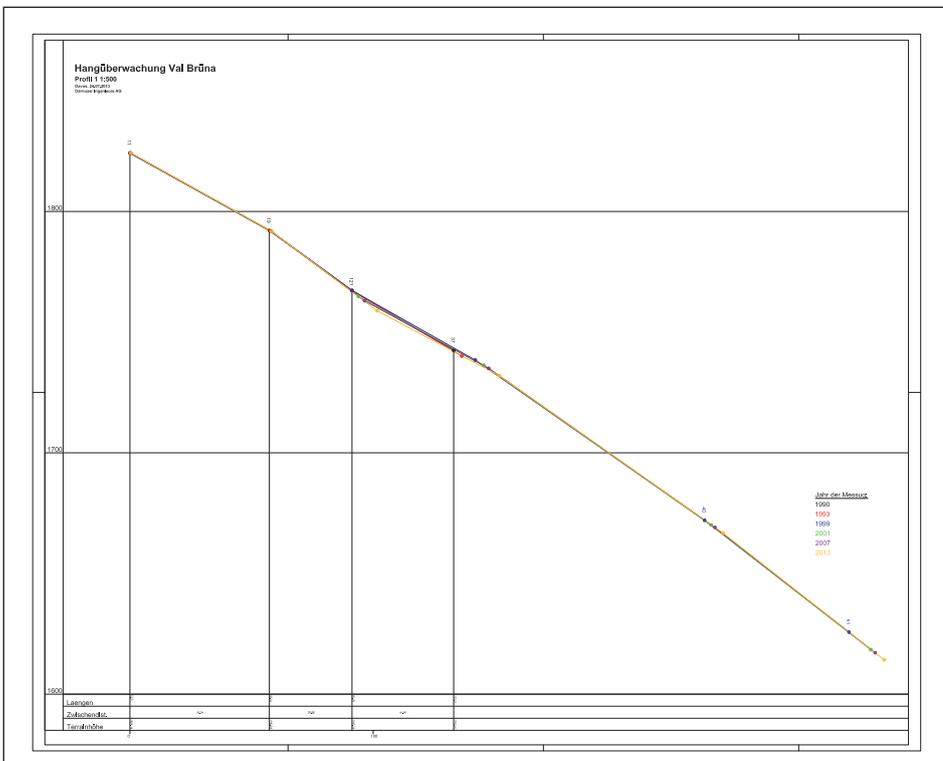


Abbildung 3: Ausschnitt Pkt. 121 – Pkt. 37 Längenprofil Val Brüna mit Verschiebungen von 1990 – 2013. Die Punkte bewegen sich mit der Gesamtrutschung und einer lokalen Rutschung. Für Pkt. 37 resultieren ca. 10 m vertikal und 18 m horizontal. Profil Darnuzer Ing. AG Davos.

Figure 3: Coupe point 121 – point 37, profil en long du Val Brüna avec les déplacements de 1990 à 2013. Les points se déplacent avec le glissement global et avec un glissement local. Pour le point 37, le déplacement est d'environ 10 m verticalement et 18 m horizontalement. Profil Darnuzer Ing. AG Davos.

vorwiegend mit Grünerle, Begrünungen

- Wildschutzmassnahmen
- Weideregulung

Zielsetzung aller forstlichen Projekte im Val Müstair ist eine generelle Erhöhung der Sicherheit für Wohngebiete und Verbindungsstrassen mittels Massnahmen zur Förderung eines nachhaltig wirksamen Schutzwaldes, mittels Stabilisierung von Erosions- und Rutschgebieten durch Verbaumassnahmen, Entwässerung und Aufforstungen und durch Erhaltung und Sicherung der Funktionstüchtigkeit der technischen Anlagen.

5. Resultate

Für die Periode 2013/2014 wurde für eine Fläche von ca. 2.5 ha eine mittlere Bewegung talwärts von 2.2 m gemessen, 2015/2016 «nur» von 0.3 m (Abb. 2).

Die mittleren Bewegungswerte variieren von Jahr zu Jahr von 0.2 m bis 2.2 m. Nach speziellen klimatischen Situationen wie im November 2000 mit langanhaltenden starken Niederschlägen wurden lokal Hangbewegungen bis zu 7.0 m gemessen. Kurzfristig hatten die umfangreichen Wasserableitungsmassnahmen die Bewegungen vermutlich etwas verlangsamt. Die Messresultate zeigen aber, dass die klimatischen Bedingungen (Schneemenge, Art der Schneeschmelze, Ausaperung von Lawinenschnee, lange Regenperioden, Starkniederschläge und v.a. Kombinationen davon) in der Val Brüna einen wesentlich grösseren Einfluss auf das Bewegungsmuster haben als unsere forstlichen Massnahmen. Abbildung 3 zeigt den Bewegungsverlauf von Messpunkt 37, der sich von 1990 bis 2013 horizontal ca. 18 m und vertikal ca. 10 m verschoben hat.

Wie Abbildung 2 zeigt, resultieren aufgrund der Mächtigkeit der Rutschung tiefgründige und oberflächennahe Bewegungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Holzkasten, Holzkanäle, Hangroste werden abgeschert, oft wie mit einer stumpfen Säge zerschnitten, zusammengestaucht und aus dem Boden gedrückt (Abb. 4). Vorhandene und neue Scherflächen werden immer besser sichtbar. Anfänglich haben wir versucht, zusätzliche Stabilisierungs- und Instandstellungsmassnahmen zu realisieren, insbe-



Abbildung 4: Überreste eines abgescherten Holzkastens und der Rohrentwässerung innerhalb des Kastens. Der linksseitige Teil des Kastens ist « verschwunden ». Foto Hansjörg Weber, Juli 2014.

Figure 4: Restes d'un caisson en bois cisailé et système de drainage dans le caisson. Le côté gauche du caisson « s'est dissipé ». Photo Hansjörg Weber, juillet 2014.



Abbildung 5: Zerstörtes Wasserableitungssystem inkl. Überbrückungskanäle aus Blech. Am rechten Bildrand eine auseinandergesogene Baumfaschine mit einer Verschiebung von über 10 m. Foto Hansjörg Weber, Juli 2014.

Figure 5: Système de dérivation des eaux détruit y compris les canaux de franchissement en métal. En bordure de l'image à droite se trouve une fascine d'arbre éclatée ayant subi un déplacement de plus de 10 m. Photo Hansjörg Weber, juillet 2014.



Abbildung 6: Betonsperre mit abgeschertem rechtsseitigen Sperrenflügel. Der Flügel hat sich um mehrere Meter Richtung Bachbett gedreht. Foto Hansjörg Weber, Juli 2014.

Figure 6: Barrage en béton avec côté droit du barrage cisailé. Le côté s'est retourné de plusieurs mètres vers le lit du cours d'eau. Photo Hansjörg Weber, juillet 2014.



Abbildung 7: Fläche mit Erlendecksaat, Buschlagen und zerstörtem Hangverbau mit Holzkasten und Hangrost sowie Wasserableitungssystem. Foto Jörg Clavadetscher, Juni 2017.

Figure 7: Surface recouverte de semences d'aulne, de lits de plançons et aménagement de pente endommagé avec caissons en bois et treillage ainsi que système de drainage de l'eau. Photo Jörg Clavadetscher, juin 2017.

sondere um die Wasserverluste möglichst gering zu halten. Kurzfristig kamen provisorische Kanäle aus verzinktem Blech zum Einsatz, um die abgescherten oder auseinandergesogenen Kanäle wieder zu verbinden (Abb. 5). Bei der Realisierung der Sanierungsmassnahmen waren wir oft über die neue Lage der alten unterirdischen Bauwerke erstaunt.

Der Winkel der Scherfestigkeit des anstehenden Materials liegt bei 35.7°-38.4°; das aktive Rutschgebiet der Val Brüna weist Hangneigungen bis zu 40° und mehr auf. Es erstaunt daher nicht, dass der Bachverbau, im Grenzbereich von Fels und Lockermaterial erstellt, den enor-

men Belastungen nicht standhält (Abb. 6), dass die Hangverbau- und Entwässerungsmassnahmen so starke Schäden aufweisen, dass diese heute praktisch ohne Effekt sind (Abb. 7). Die ausgeführten Massnahmen können längerfristig nicht erhalten werden; die gebrochenen Sperren der Val Brüna sind eine grosse Hypothek für die Gemeinde Val Müstair und bedingen erhöhte Überwachungen für das gesamte Rutschgebiet. Massnahmen in der Rutschfläche der Val Brüna, die sich von 1990 bis 2015 im Mittel um 1.0 m pro Jahr talwärts bewegt hat, sind heute kein Thema mehr.

Optisch, und das zeigt Abbildung 1, ist die Val Brüna heute allerdings «grün». Die flexiblen Bauwerke und der Grünverbau bewegen sich in homogenen Teilflächen talwärts und vermitteln dem Einwohner von Müstair ein scheinbar sicheres Gefühl. Der Forstdienst und speziell die zuständige Gefahrenkommission waren bei Anpassungen der Gefahrenzonen und der Durchsetzung der Verlegung des unterliegenden Campingplatzes gefordert (Abb. 8).

6. Diskussion

Wasserentzug erhöht die Scherfestigkeit des Bodens. Entwässerungs- und Was-

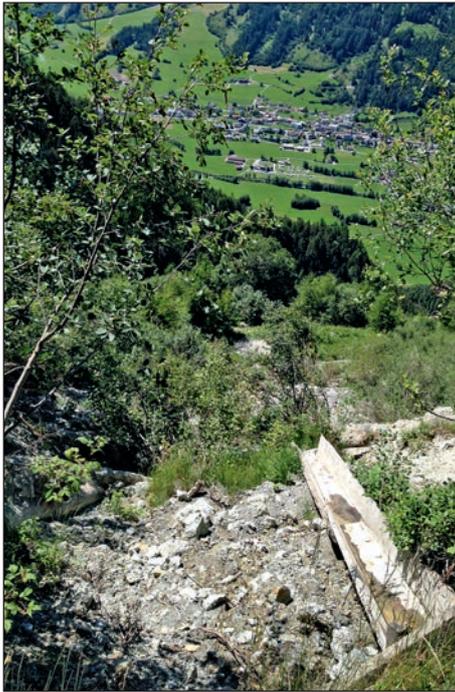


Abbildung 8: Realisierte Campingplatzverlegung von Müstair in ein Gebiet, in welchem nicht mit Naturgefahren zu rechnen ist. Foto Hansjörg Weber, Juli 2014.

Figure 8: Réalisation d'une aire de camping à Müstair dans une zone protégée contre les risques naturels. Photo Hansjörg Weber, juillet 2014.

serableitungssysteme beeinflussen zusammen mit der Vegetation den Wasserhaushalt im Boden. Durch den Entzug von Sickerwasser, die Ableitung der Schneeschmelze, von Dauer- und Starkniederschlägen können Rutschungen verlangsamt aber in der Regel nicht gestoppt werden. Wasserverluste, Rohrbrüche können die Prozesse ungewollt, ja gefährlich beschleunigen, örtlich verlagern.

Die Val Brüna hat uns die Grenzen für Massnahmen in der Fläche klar aufgezeigt. Prozessbeurteilungen sind unabdingbare Grundlagen für alle Verbaumassnahmen für Murgang- und Rutschungsgebiete. Zusammen mit den Erfahrungen aus den Verbaugebieten Val Schais, Archa Gronda, Taunter Ruinas, Vallatscha, Valiertas der Val Müstair und Vergleichsobjekten in Graubünden hat das Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden (AWN) Beurteilungsschemas für Bachverbau (Abb. 9) und Hangverbau (Abb. 10) entwickelt. Diese sind wertvolle Hilfsmittel für den Entscheid Massnahme ja oder nein, für die Festlegung von Massnahmen-Systemen und Verbaupen. Unter

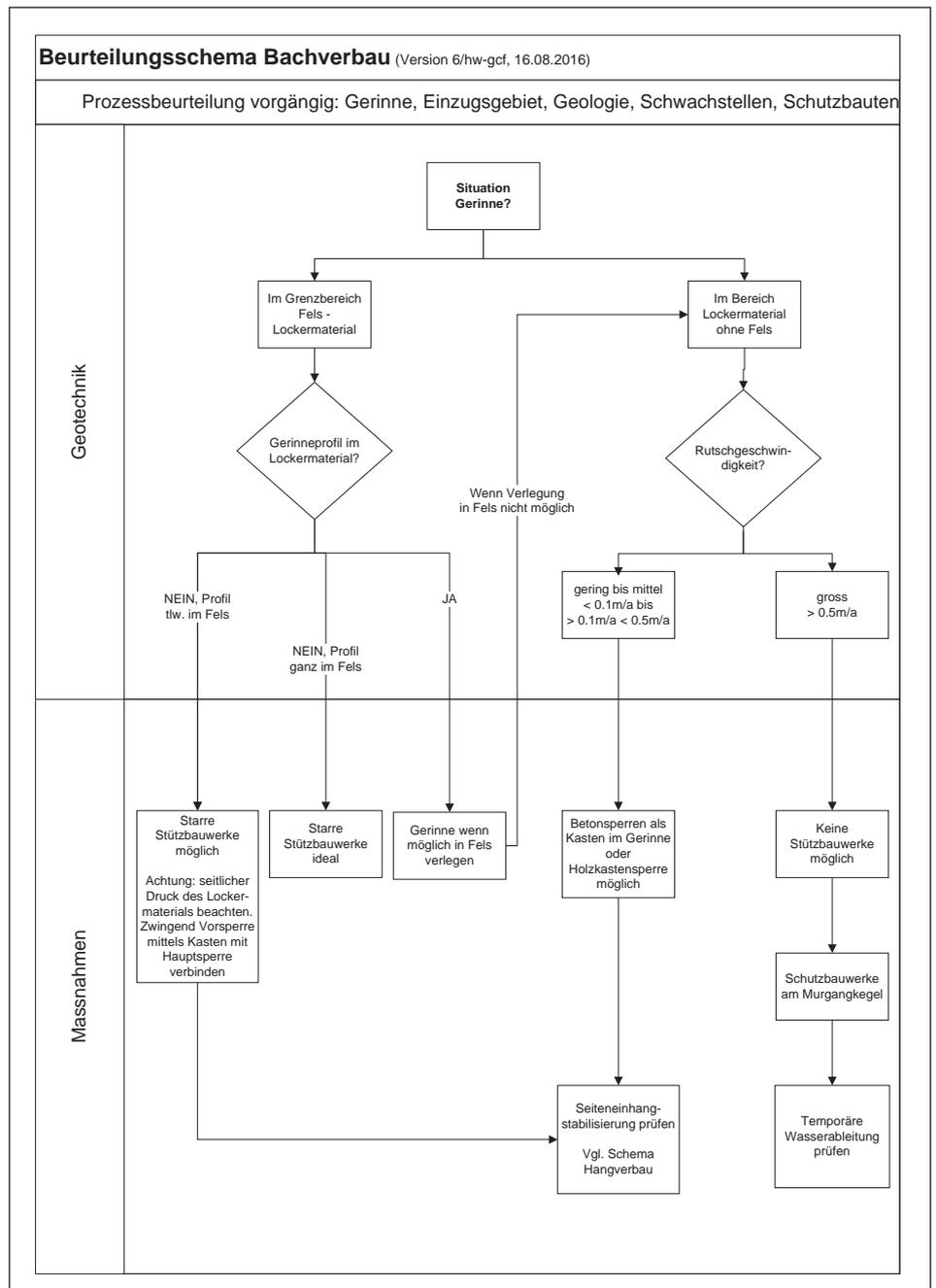


Abbildung 9: Mit dem Beurteilungsschema Bachverbau resultiert für die Val Brüna «Gerinne wenn möglich in Fels verlegen» sonst «keine Stützbauwerke möglich». Schema Version 6/hw-gcf, 16.08.2016. Figure 9: Le résultat pour le Val Brüna avec le schéma d'évaluation pour l'aménagement d'un ruisseau est «placer le lit si possible dans la roche» et si-non «pas de structures de soutènement possible». Schéma version 6 / hw-gcf, 16.08.2016.

Anwendung dieser Schemas würden wir heute das Hauptgerinne der Val Brüna in den angrenzenden Fels verlegen und in der Rutschfläche keine Stabilisierungsmassnahmen realisieren.

Literaturverzeichnis

Baselgia D. 1997. Grünerlendecke und begrünte Pilotenwand mit Erdanker: Neue Methoden in der Ingenieurbilogie. Mitteilungsbl. Ingenieurbilogie 4: 9-12.

Culman C. 1864: Bericht an den hohen schweizerischen Bundesrath über die Untersuchung der schweiz. Wildbäche, vorgenommen in den Jahren 1858,1859,1860 und 1863. Zürcher und Furrer, Zürich

Kamm U. 2000: Bodenmechanische Untersuchungen ausgewählter Bodenproben aus der Val Brüna. Kreisforstamt 26 Val Müstair – WSL Birmensdorf

Erosionsschutz mit Schweizer Holzwolle

Caroline Zollinger

Zusammenfassung

Holzwollevliese haben sich in den vergangenen Jahren als Erosionsschutz für steile Hänge bewährt. Sie schützen wirkungsvoll den Boden und sorgen für ein günstiges Mikroklima, das zum schnellen und dichten Auflaufen der ausgesäten Vegetation führt. Die verwendete Holzwolle stammt aus Schweizer Wäldern und wird im Toggenburg produziert.

Keywords

Holzwolle, Erosionsschutzmatte, Holzwollevlies, Hangsicherung, Erosionsschutz

Protection contre l'érosion avec de la laine de bois suisse

Résumé

Les couches de laine de bois se sont révélées fiables en tant que protection contre l'érosion sur les versants raides au cours des dernières années. Elles protègent efficacement le sol et fournissent un microclimat favorable conduisant à l'émergence rapide et dense de la végétation semée. La laine de bois utilisée provient des forêts suisses et est produite dans le Toggenbourg.

Mots-clés

Laine de bois, tapis de protection contre l'érosion, nappe de laine de bois, consolidation des pentes, protection contre l'érosion

Protezione contro l'erosione con lana di legno svizzera

Riassunto

Negli ultimi anni la lana di legno si è dimostrata efficace per proteggere dall'erosione pendii ripidi. Protegge il terreno in maniera efficace e garantisce un microclima favorevole allo sviluppo rapido e denso della vegetazione seminata. La lana di legno utilizzata proviene da boschi svizzeri e viene prodotta nel Toggenburg.

Parole chiave

Lana di legno, tessuti di protezione contro l'erosione, tessuti in lana di legno, protezione di pendii, protezione contro l'erosione

Einleitung

Der Blick über das neue Trasse der Stoos-Standseilbahn hinunter zur Talstation ist beeindruckend. Der Hang fällt so steil in die Tiefe, dass einem beim Anblick fast schwindelig wird. Der Neubau der steilsten Standseilbahn der Welt gilt als Jahrhundertprojekt. Noch dieses Jahr sollen die Arbeiten im anspruchsvollen Gelände zum Abschluss kommen. Wie überall bei Bauprojekten am Hang ist es auch hier von hoher Bedeutung, offene Flächen möglichst rasch zu begrünen und vor Erosion zu schützen. Am Stoos geht man dabei neue Wege und setzt auf Geotextilien aus natürlicher Holzwolle (Abb. 1). Bahn für Bahn verlegen die kletternden Facharbeiter die Matten zwischen den Schutzbauten aus Holz und befestigen sie mit Stahlhaken im kiesigen Boden.

Während Erosionsschutzvliese aus Holzwolle in den USA seit über 120 Jahren Erfolge feiern, sind sie bei uns erst im Kommen. Die Holzwolle wurde hierzulande vor Jahrzehnten durch Kunststoffe und importierte Naturfasermatten aus dem Markt verdrängt. Die Toggenburger Firma Lindner Suisse, die einzige in der Schweiz verbliebene Holzwolle-Manufaktur, sorgt nun dafür, dass das Naturprodukt aus dem Schweizer Wald ein Revival feiert. Geschäftsführer Thomas Wildberger hat für die hauseigene Produktion von Erosionsschutzvliesen aus Holzwolle eigens eine Spezialmaschine anfertigen lassen, die seit 2012 in Betrieb ist. Ein feines, grundwasserneutral verrottbares Trägergewebe hält die aus regionalen Baumstämmen gewonnene Holzwolle zusammen. Für eine erhöhte Stabilität ist der Einbau der Vliese auch in Kombination mit einem dauerhaften

Drahtgeflecht möglich. Die verwendete Holzwolle ist immer ein Mix aus verschiedenen Baumarten, die unterschiedliche Eigenschaften mitbringen. Es ist eine ausgeklügelte Geheimrezeptur, die je nach Anwendungsgebiet variiert. Die maschinell gefertigten Holzwollevliese werden nach der Produktion in Rollen à 30 m auf Paletten gestapelt und direkt auf die Baustelle geliefert.

Den Boden schützen

Der Bedarf für nachhaltige Bodenschutzmassnahmen nimmt laufend zu. Jährlich entstehen durch Erdbeben und Bauvorhaben im Siedlungsraum und in der Landschaft viele Hektaren neu modellierter Flächen. Es gilt, diese möglichst schnell zu begrünen, um einsetzender Erosion erst gar keine Chance zu geben. Das Arbeiten mit einem Naturprodukt wie der Holzwolle in Kombination mit einer Aussaat bringt viele Vorteile mit sich. Das Vlies schützt den Boden vor dem Austrocknen, sorgt für Beschattung und fungiert bei tiefen Temperaturen als Kälteschutz. Es eignet sich daher insbesondere auch für den Einsatz in Bergregionen mit kurzen Vegetationsperioden. Die isolierende Wirkung beschleunigt das Aufkommen der ausgebrachten Saat. Im Schutze der Holzwolle findet die aufkeimende Saat ein optimales Mikroklima vor. Die Holzwolle vermag Feuchtigkeit zu speichern und diese dosiert an die Samen abzugeben, wodurch ein schnelles Keimen resultiert. Ist der Boden erst einmal mit Pflanzen bedeckt, sorgt die Vegetation für eine erhöhte Hangstabilität, indem sie den Wasserhaushalt positiv beeinflusst. In vielen Projekten, in denen die Holzwollevliese zum Einsatz kommen, wird die Begrünung mittels Hydrosaat (Anspritzbegrünung mit Kleber) ausgebracht. Je nach gewünschtem Bewuchs lassen sich auch Stecklinge integrieren.

Nachwachsender Rohstoff

Für ihre Produkte setzt die Lindner Suisse ausschliesslich FSC-zertifiziertes Holz aus Schweizer Wäldern ein. Dabei



Abbildung 1: Holzwollevliese schützen den Hang beim neu erstellten Trassee der Stoos- Standseilbahn vor Erosion und begünstigen das schnelle Aufkommen des ausgebrachten Saatguts.

Figure 1: Les couches de laine de bois protègent la pente sur le nouveau tracé du funiculaire de Stoos contre l'érosion et favorisent l'émergence rapide des semences.



Abbildung 2: Zwei Arbeiter befestigen an einem steilen Hang in Wattwil Holzwollevliese, um eine schnelle Begrünung zu ermöglichen.

Figure 2: Deux travailleurs fixent sur un versant raide à Wattwil des nappes de laine de bois afin de permettre une végétalisation rapide.

handelt es sich um sogenanntes Durchforstungsholz, das Platz machen muss für neuen Aufwuchs. Dank dem Einsatz von einheimischen, nachwachsenden Rohstoffen und der Produktion im Inland weisen die Erosionsschutzvliese eine sehr gute Ökobilanz auf. Sie sind eine valable Alternative zu importierten Naturfasern, die lange Transportwege zurücklegen und immer wieder in Verruf stehen, mit Schadstoffen wie Naphthalin verunreinigt zu sein.

In den vergangenen Jahren zeigten zahlreiche Test- und Forschungsprojekte, dass der Einsatz von Holzwolle im Erosionsschutz Zukunft hat. Der erste Versuchshang in Wattwil, mit dem die

Lindner Suisse 2013 in einem gemeinsamen Projekt mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU startete, ist heute von einer dichten, stabilisierenden Vegetation bewachsen (Abb. 2 und 3). Es folgte ein von der Kommission für Technologie und Innovation des Bundes (KTI) unterstütztes Forschungsprojekt. Den Lead hatte ein Team der Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur (HTW), das fachliche Grundlagen erarbeitete, um die Erosionsschutz-Technik mit Holzwolle gezielt an regionale Gegebenheiten anzupassen und mit Labor- und Feldversuchen weitere Innovationsschritte zu initiieren. Die Erkenntnisse aus dieser praxisnahen Forschungsarbeit flossen bei Lindner Su-

isse in die Weiterentwicklung des Produkts. Mittlerweile ist der Einsatz von Holzwollevliesen breiteren Kreisen bekannt. Schweizweit gibt es eine ganze Reihe von Anwendungsbeispielen, sei es am Flughafen Zürich, bei diversen Strassenbauprojekten oder eben auf der spektakulären Stoos-Baustelle. Marcel Jecklin von der Baufirma Vetsch in Klosters, Leiter des Trasseebaus beim Projekt Stoos, schätzt an den Holzwollevliesen insbesondere ihre schützende Wirkung auf den Boden. «Die Vliese verhindern, dass sich aus der kiesigen Oberfläche Steine lösen», erzählt der Polier. «Handhabung und Montage erwiesen sich als sehr einfach».



Abbildung 3: Bereits einige Wochen später zeigt sich der Hang im grünen Kleid. Die Holzwollevliese sind kaum mehr sichtbar.

Figure 3: Quelques semaines plus tard, le versant est déjà recouvert de végétation. Les nappes de laine de bois sont à peine visibles.



Abbildung 4: Faschinen aus Holzwolle haben sich bei der Ufersicherung gut bewährt.

Figure 4: Les fascines en laine de bois se sont révélés très efficaces pour la protection des berges.

Faschinen aus Holzwolle (Abb. 4)

Vegetationsfaschinen aus Ästen haben in der Ingenieurbiologie eine lange Tradition. Die walzenförmigen Baukörper schützen bei Wasserbauprojekten den Böschungsfuss wirkungsvoll vor der erodierenden Kraft des Wassers und kommen auch bei der Sicherung grösserer Steilflächen zum Einsatz. Dieselbe Wirkung lässt sich auch mit einem vergleichbaren Produkt aus Holzwolle erreichen, das die Firma Lindner Suisse entwickelt hat. Dazu wird das Material zu quadratischen Faschinen verdichtet und von einer Hülle aus Baumwolle ummantelt.

Dank ihres geringen Gewichts und der guten Formbarkeit sind die Faschinen sehr flexibel und einfach zu verbauen. Die Befestigung erfolgt mit eingeschlagenen Holzpfählen und einer Sisalverschnürung. Nach dem Einbau lassen sich die Faschinen mit Stecklingen begrünen. Die Holzwolle stellt eine ideale Grundlage für die rasche Etablierung der Vegetation dar.

Vielfältige Einsatzgebiete

Die Einsatzgebiete der natürlichen Vliese sind vielfältig und branchenübergreifend. Gartenbauer, Gemeinden und Forstämter setzen die Holzwollematten für ihre Projekte ebenso ein wie auch Hydrologen und Landschaftsarchitekten. Thomas Wildberger ist stets interessiert an fachlichem Feedback und dem Austausch mit den verschiedenen Branchen. «Jedes Projekt, bei dem wir involviert sind, bringt uns wieder neue Herausforderungen und trägt dazu bei, dass wir unsere Erfahrung und Kompetenzen laufend ausbauen können» so Wildberger. «Ich staune immer wieder aufs Neue, in welchen spannenden Projekten unsere Produkte Verwendung finden und was sie bewirken können», so der Holzwolle-Produzent. «Es ist schön, einen nachhaltigen Beitrag zur Landschaftspflege leisten zu können».

Kontaktadresse:

Thomas Wildberger
Lindner Suisse GmbH
Bleikenstrasse 98
9630 Wattwil
+41 71 987 61 51
holzwohle@lindner.ch



STOMOH

**Erosionsschutzvlies**

Natürlicher Schutz aus Schweizer Holz.

Tapis anti-érosion

Protection naturelle de bois suisse.

Stuoie contro l'erosione

Protezione naturale da legno svizzero.

produziert von | produit par | prodotto da:

Lindner
suisse

Lindner Suisse GmbH | Bleikenstrasse 98 | CH-9630 Wattwil
Phone +41 (0) 71 987 61 51 | Fax +41 (0) 71 987 61 59
holzwohle@lindner.ch | www.lindner.ch

Ingenieurbiologie in den Waldberufen – mehr als ein Steckenpferd

Walter Krättli

Zusammenfassung

Forstwart, Forstwart-Vorarbeiter, Förster HF, BSc Waldwissenschaften, MSc Umweltnaturwissenschaften – so nennen sich die Schweizer Waldberufe von heute. Alle erlangen zur Ausübung ihrer späteren Berufstätigkeiten ein stufengerechtes und fundiertes Grundwissen in Ökologie, der Beurteilung natürlicher Standorte, an Pflanzenkenntnissen, über Steuerungsmöglichkeiten natürlicher Lebensräume, Bodenkunde und -mechanik sowie Bautechnik. Tolle Voraussetzungen zur Planung und Umsetzung ingenieurbio- logischer Massnahmen. Tatsächlich wurden schon immer ingenieurbio- logische Techniken im Wald angewandt. Oder stammen nicht gar viele derer aus dem Wald?

Keywords

Waldberufe, Ingenieurbiologie, Forst- wart, Förster HF, BSc Waldwissen- schaften, MSc Umweltnaturwissen- schaften, Forstliche Bautechnik

Génie biologique dans les professions forestières – plus qu'un passe-temps

Résumé

Garde forestier, contremaître forestier, forestier HF, BSc sciences forestières, MSc en sciences de l'environnement – voilà comment se nomment les professions forestières en Suisse aujourd'hui. Tous disposent pour l'exercice de leurs activités professionnelles des connaissances de base appropriées en matière d'écologie, de capacités d'évaluation des sites naturels, de la connaissance des végétaux ainsi que d'options de contrôle des habitats naturels, de la science et de la mécanique du sol et de l'ingénierie structurelle. D'excellentes conditions pour la planification et la mise en œuvre de mesures du génie biologique. En fait, les techniques de génie biologique ont

toujours été appliquées dans la forêt. D'ailleurs beaucoup d'entre elles ne viennent pas de la forêt?

Mots-clés

Profession forestière, génie biologique, garde forestier, contremaître forestier, BSc en sciences forestières, MSc en sciences de l'environnement, technique forestière

Ingegneria naturalistica nei mestieri forestali – più che un giocattolo

Riassunto

Selvicoltori, selvicoltore caposquadra, Forestale, Bachelor in scienze forestali, Master in scienze naturali: al giorno d'oggi in Svizzera i lavori in campo forestale si chiamano così. Per svolgere il loro lavoro hanno tutti ottenuto solide conoscenze in ecologia, valutazione dei siti naturali, conoscenze sulle piante e sulle possibilità di gestione di habitat naturali, scienze e meccanica del suolo, e ingegneria civile: condizioni ideali per pianificare e applicare misure d'ingegneria naturalistica. Di fatto nel bosco sono da sempre state applicate tecniche d'ingegneria naturalistica. Anzi, tante di queste non vengono proprio dal bosco?

Parole chiave

Lavori in campo forestali, ingegneria naturalistica, selvicoltori, forestale, bachelor in scienze forestali, master in scienze naturali, tecniche di costruzione in campo forestale

Ingenieurbiologie in den Waldberufen

Der Infrastrukturbau im Wald und ländlichen Raum setzt auf die Suche einer idealen Kombination von technischen

und natürlichen Bautechniken. So folgt die Planung von Waldstrassen in hohem Mass den Gegebenheiten im Gelände. Minimale Eingriffe und damit Störungen des zu erschliessenden Natur- und Kultur- raumes sind die Folge. Daneben beruhen die meisten der angewandten Schutzbau- ten und -techniken auf der sich ablösen- den Wirkung von natürlichen, toten und lebenden Baustoffen. Letztendlich kann die Waldbewirtschaftung zur Erreichung funktionierender Schutzwälder ebenfalls als ingenieurbio- logische Massnahme im ganz grossen Stil betrachtet werden.

Die flächendeckende und relativ klein- räumige Gebietszuständigkeit der Wald- fachleute hilft neben dem genannten Grundwissen auch Spezialitäten und Zusammenhänge im Kleinen zu erken- nen und in die Erfahrung aufzunehmen. Daher sind Forstbetriebsleiter, wenn nicht selbst organisierend, meist die ersten An- sprechpartner bei ingenieurbio- logischen Vorhaben. Neben Kenntnissen des Natur- raumes haben sie Zugang zu den nötigen lebenden und toten Baustoffen, sowie Mit- tel und Wissen, diese anzuwenden. Ein Beispiel dafür bot unlängst der Beitrag im Heft 1/2017 des Mitteilungsblattes des Vereins für Ingenieurbiologie zu den Wuhrbäumen an der Glatt des Forstwart- lehrlings Timo Reinli und seinem Lehrmei- ster und Betriebsleiter, Revierförster Roman Gschwend. In den Lehrbetrieben werden erste, bleibende Erfahrungen in der An- wendung der Ingenieurbiologie vermittelt. Nicht selten bilden solche Projekte Ge- genstand für Naturbeobachtungsberichte über die Dauer der ganzen Lehrzeit. Daher eine tolle Gelegenheit an dieser Stelle einen Einblick zu geben, wie Ingeni- eurbiologie in der aktuellen Waldbildung ein Thema bildet. Vier junge Berufsleute berichten dazu über ihre Ausbildung in ingenieurbio- logischen Themen und deren Anwendung in ihrer aktuellen beruflichen Tätigkeit.

**Christoph Spring, Forstwart
Vorarbeiter, Ortsgemeinde
Wartau SG**

Welche konkreten Themen der Ingenieurbiologie habt ihr in der Ausbildung zum Forstwart und Forstwart-Vorarbeiter behandelt?

Verschiedene Techniken des Grünverbaus wie Stecklinge, Busch- und Heckenlagen und Trockensaat sowie deren Pflege. Daneben auch Gewässerunterhalt mit Sohlensicherungen aus Holz und Stein, Faschinen und der Vegetationspflege.

Wie wurden die Themen vermittelt?

In der Berufsschule wurden die Themen mit dem Berufskundeordner und Bildern vorgestellt. An Modellen wurden verschiedene Kombinationen aus belebten und unbelebten Baustoffen aufgezeigt. Eins zu Eins kamen dann im überbetrieblichen Lehrlingskurs der Bau von Steinkörben zur Hangsicherung in Kombination mit einem Hangrost, welcher mit Stecklingen begrünt wurde, zur Anwendung. Zudem konnten wir im Lehrbetrieb immer wieder Arbeiten ausführen wie begrünte Holzkästen und Hangsicherungen mit Stecklingen. Dies war die wertvollste Form um zu lernen, obwohl für die Ausführung ein Grundstock an Theorie natürlich wichtig ist.

In meiner Fortbildung zum Forstwart Vorarbeiter kamen im Wesentlichen keine neuen Techniken der Ingenieurbiologie dazu. Es ging mehr darum, Arbeiten richtig zu organisieren und Arbeitsgruppen zu führen.

Wie wendest du Themen der Ingenieurbiologie in deiner heutigen Tätigkeit an? Im Betrieb haben wir ein grosses Rutschgebiet, welches seit mehr als 150 Jahren u.a. auch mit technischen Bauten stabilisiert wird. Nach dem Erneuern der technischen Verbauungen (Bachsperrren, Entwässerungen, usw.) werden die Flächen zum Schutz vor Erosion angesät und teilweise mit Stecklingen und bewurzelten Pflanzen zusätzlich stabilisiert. Des Weiteren wenden wir auch verschiedene ingenieurbiologische Bauweisen zur Renaturierung von Gewässern an. In meiner Funktion als Vorarbeiter organisiere ich mit dem Betriebsleiter die Baustellen und koordiniere den Einsatz mit Drittfirmen, in unserem Fall meist ein Baumeister aus der Gemeinde. Zudem bin ich Instruktor für den überbetrieblichen Baukurs der St.Galler Forstwartlehrlinge. Hier werden an einem halben Tag die Grundlagen zur Stecklingsernte vermittelt. An einem weiteren Tag werden verschiedene praktische Anwendungen

des Grünverbaus ausgeführt. In diesem Rahmen tausche ich mich immer wieder mit anderen Instruktoern und Betriebsleitern aus. Ich erhalte so Einblick in andere natürliche Umgebungen und kann Tricks und Kniffe der anderen mitnehmen.

Hast du dich im Bereich Ingenieurbiologie noch weitergebildet?

Im Rahmen der Instruktionstätigkeit haben wir immer wieder Weiterbildungen, in welchen auch schon Themen der Ingenieurbiologie behandelt wurden. In diesem Rahmen werden ausgeführte Arbeiten begutachtet um dessen Wirkung zu beurteilen und weitere Anwendungsmöglichkeiten kennenzulernen. Dieses Jahr wurde z.B. Bodenmechanik und Baugrubensicherung thematisiert. Die Kursstätigkeit selbst trägt sehr viel zum Erfahrungsaustausch bei und gibt neue Impulse.

**Mario Hintermann, Förster HF,
Projektleiter Naturgefahren,
Einwohnergemeinde Sarnen OW**

Welche konkreten Themen der Ingenieurbiologie habt ihr in der Ausbildung (Förster HF) behandelt?

Bedingung für den Eintritt in die Försterschule ist der Besuch verschiedener Grundlagenmodule, unter anderem auch «forstliche Bauarbeiten». Schon dort waren ingenieurbiologische Bauweisen an verschiedenen Objekten ein Thema. Verschiedene Lebendverbauungen wie Faschinen, Busch- / Heckenlagen, Stecklingseinsatz und unterschiedliche Saattmethoden zur Begrünung bildeten neben den klassischen Holzbauwerken Inhalte. Im Försterlehrgang selbst kamen immer mehr planerische Aspekte dazu. Ebenso verknüpfende Disziplinen wie die Renaturierung / Revitalisierung von Lebensräumen.

Wie wurden die Themen vermittelt?

Im Unterricht existiert das Fach Baukunde – Bauführung. Bei Exkursionen bekam man Anschauung auf laufenden Baustellen und diskutierte anhand bereits abgeschlossener Arbeiten. Im Wahlpflichtmodul Renaturierung / Revitalisierung von Fließgewässern erhielten die mannigfaltigen, verknüpfenden Anliegen eine besondere Bedeutung. Anhand von Teilobjekten der Renaturierung des Inn in St. Moritz widmeten wir uns eine halbe



Abbildung 1: Modelliertes und bepflanztetes Gelände zur gelenkten Wasserableitung und Stabilisierung (Foto: Ch. Spring).

Figure 1: Surfaces modélisées et végétalisées pour le drainage dirigé et la stabilisation (photo: Ch. Spring).



Abbildung 2: Entwässerungsgraben mit Steinsohle und ausgeschlagenen Lebendfaschinen im Gebiet Hintergraben, Sarnen (Foto: M. Hintermann).

Figure 2: Fosse de drainage avec lit en pierre et bordée de fascines vivantes dans la zone de Hintergraben, Sarnen (photo: M. Hintermann).

Woche der Planung und Organisation. Eine Woche folgte dann die Ausführung inkl. anschliessender Abrechnung. Dies ist typisch für den Lehrgang zum Förster; Planung und Umsetzung werden direkt erlebt.

Wie wendest du Themen der Ingenieurbiologie in deiner heutigen Tätigkeit als Projektleiter Naturgefahren an?

In meinem Tätigkeitsgebiet, den Voralpen, sind Rutschungen und Gerinnestabilisierungen ein Dauerthema. Dabei spielen Faschinen zur Entwässerung, Bepflanzungen mit Stecklingen und Bäumen und Begrünungen nach Bachverbauungen und stabilisierten Rutschungen immer eine Rolle. Daneben werden viele, ehemals hart verbaute Gewässer, renaturiert, wobei ich ebenfalls eingebunden bin.

Hast du dich im Bereich Ingenieurbiologie noch weitergebildet?

Im Bereich Begrünungen habe ich schon Anlässe besucht. Zudem bin ich Mitglied des Vereins für Ingenieurbiologie und habe auch schon an deren Weiterbildungen und Exkursionen teilgenommen. Daneben vertiefe ich mein Wissen im Selbststudium und anhand der praktischen Erfahrung aus dem Alltag.

Livio Conrad, BSc FH Forstwirtschaft, Forstbetriebsleiter, Gemeinde Val Müstair

Welche konkreten Themen der Ingenieurbiologie habt ihr in der Ausbildung (HAFL, Zollikofen) behandelt?

Während der Vertiefung Gebirgswald und Naturgefahren wurden wir in verschiedenen Themen des forstlichen Ingenieurwesens geschult. Dazu gehörten unter anderem auch ingenieurbiologische Themen wie Hang-, Böschungs- und Ufersicherungen. Die Planung und Umsetzung der gängigen Lebend- und Holzverbautechniken bildeten die Inhalte. Ein Kernthema war sicher die verstärkende Wurzelwirkung von Gehölzen gegen oberflächennahe Rutschungen. Um diese zu quantifizieren, betreibt Zollikofen auch angewandte Forschung. Dabei waren die Grundkenntnisse zur Geologie, zum Boden, zur Pflanzensoziologie sowie der Fauna sehr wichtig.

Wie wurden die Themen vermittelt?

Die Themen wurden uns durch Lehrmittel, Exkursionen zur Anschauung und durch Übungen zu Planungsaufgaben vermittelt. Letztere waren sehr hilfreich um zu erkennen, welche vielfältigen Aspekte bei der Anwendung ingenieurbio-

logischer Massnahmen beachtet werden müssen.

Wie wendest du Themen der Ingenieurbiologie in deiner heutigen Tätigkeit als Forstbetriebsleiter an?

Durch meine Tätigkeit als Forstbetriebsleiter der Gemeinde Val Müstair bin ich immer wieder mit erdigen, rutschgefährdeten Hängen und Wildbächen konfrontiert. In den letzten Jahrzehnten wurden entsprechend viele ingenieurbiologische und kombinierte Massnahmen zur Sicherung dieser Gebiete im Umfang von insgesamt ca. 140 Hektaren durchgeführt. Baumfaschinen zur Entwässerung, Buschlagen, Stecklingspflanzung, Hang- und Bachverbauungen in Holz und Stein mit Pflanzen kamen zum Einsatz. Zu meinen Aufgaben zählt unter anderem das Controlling und die Pflege der bestehenden sowie die Planung und Begleitung von weiteren ingenieurbiologischen Massnahmen.

Hast du dich im Bereich Ingenieurbiologie noch weitergebildet?

Seit meinem Studium habe ich mich in diesem Bereich nicht mehr weitergebildet. Meine Tätigkeit bietet mir aber genügend Möglichkeiten Erfahrungen zu sammeln, vor allem dank der langjährigen Erfahrung unserer Mitarbeiter. Zugute kommt mir auch meine Berufszeit als Forstwart, während der ich an verschiedenen Objekten mitwirken konnte. Eine Weiterbildung wäre aber auf jeden Fall interessant.

Claudia Bieler, MSc Umweltnaturwissenschaften ETH Zürich, Regionalforstingenieurin Mittelbünden/Moesano, Tiefencastel

Welche konkreten Themen der Ingenieurbiologie habt ihr in der Ausbildung behandelt?

Die Vorlesung Wildbach- und Hangverbau zeigt die unterschiedlichen Gerinne- und Hangprozesse und deren gegenseitige Beeinflussung auf. Die Prozesse können erkannt werden und eine grobe Gefahrenbeurteilung ist auch über ein grösseres Einzugsgebiet möglich. Wie entwickelt sich die Situation ohne Schutzmassnahmen weiter oder wie müssen mögliche Schutzsysteme dimensioniert werden damit gefährdete Objekte geschützt werden können? Wir haben die



Abbildung 3: Baumfaschinen und Kännel leiten das Wasser ab (Val Schais, Sta. Maria. Foto: fobatec).
 Figure 3: Des fascines et des canaux évacuent l'eau (Val Schais, Sta Maria. Photo: fobatec).

verschiedenen Möglichkeiten der technischen und ingenieurbioologischen Stabilisierungsmassnahmen angeschaut und übungsweise die notwendigen Schutzsysteme bemessen.

Mit den Angaben aus der Standortskunde, Bodenmechanik und Geologie können die ingenieurbioologischen Möglichkeiten der Hangstabilisierung auf verschiedenen Böden bestimmt werden. Die unterschiedliche Wasseraufnahmekapazität von Pflanzen und Böden und die Wurzelsysteme haben einen Einfluss auf die Bodenstabilität und können das Auftreten von flachgründigen Rutschungen verhindern. Im Bereich des Bauwesens wurden in der Vorlesung Ingenieurbio-logie verschiedene technische ingenieurbio-logische Massnahmen gelehrt. Das Ziel bestand darin, bei Instabilitäten von Hängen und Böschungen Vorgehensweisen und Lösungsansätze zu erkennen. Die Wirkung von einem Holzkasten oder



Abbildung 4: Bau eines Hangrostes / Holzkastens im Mutttertobel, Gemeinde Mutten (Foto: C. Bieler).
 Figure 4: Construction d'un treillage / caisson en bois à Mutttertobel, commune de Mutten (photo: C. Bieler).

Fachstelle für forstliche Bautechnik (fobatec)

Seit 2014 existiert an den beiden Försterschulen ibW Maienfeld und BZW Lyss die nationale Fachstelle für forstliche Bautechnik. Die primäre Verwendung natürlicher Baustoffe und einfacher Techniken zeichnen den Begriff aus. Dies führt oft zu kostengünstigen, landschafts- und naturverträglichen Lösungen, welche vorwiegend bei ländlicher Erschliessung und der Prävention von Naturgefahren angewendet werden. Hauptaufgaben der Fachstelle sind die Dokumentation und Weitergabe von Erfahrungswissen, die Anknüpfung an und Vermittlung von Aktualitäten, die Bildung und Pflege eines Netzwerkes von Fachleuten sowie die Organisation und Vermittlung von Weiterbildung.

Ingenieurbiologie bildet innerhalb der Fachstelle ein eigenes Themenfeld, zu dem man auf der Fachstellenwebsite mehrere Dokumentationen ausgeführter Werke und Massnahmen findet. Weiter widmete sich der im Jahr 2015 durchgeführte Weiterbildungsanlass, Stabilisierung rutschender Hänge in wesentlichen Teilen der Ingenieurbiologie. Weitere Fachanlässe werden folgen.

www.fobatec.ch

Walter Krättli
Försterschule 2
7304 Maienfeld

Philippe Raetz
Hardernstrasse 20
3052 Lyss



FACHSTELLE FÜR FORSTLICHE BAUTECHNIK
CENTRE POUR LE GÉNIE FORESTIER
CENTRO PER IL GENIO FORESTALE
POST SPEZIALISÄ PER TECNICA DA CONSTRUZZIUN FORESTALA
Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein

Hangrost als Erosionsschutz oder die Fähigkeiten von Pflanzen zum Verhindern verschiedener (kleinräumiger) Prozesse wie Lawinen, Hangmuren oder Steinerschlag sind bekannt und fliessen in die tägliche Arbeit als RFI ein.

Wie wurden die Themen vermittelt?
Lehrmittel, Exkursionen an ausgeführten Objekten mit Referenten, Planung und Bemessung

Wie wendest du Themen der Ingenieurbiologie in deiner heutigen Tätigkeit an?
Grobe Gefahrenbeurteilungen von Wildbächen oder rutschgefährdeten Hängen im und ausserhalb des Waldes gehören zu den Aufgaben eines RFI – Spezialist Naturgefahren. Beim Anzeichnen von Holzschlägen im Schutzwald schauen wir darauf, dass die Lückenlängen in Hangfalllinie nicht zu gross werden und

der Waldboden nach dem Eingriff immer noch durch die Verwurzelung stabilisiert werden kann. In Gerinneabhängungen oder an steilen Böschungen wird darauf geachtet, dass auch nach einem Eingriff die Bestockung zur Stabilisierung des Bodens beiträgt. Nach der Ausführung von Bauvorhaben oder temporären Rodungen werden die steilen Böschungen oder Gerinneabhängungen begrünt und wenn nötig bepflanzt.

Die für das Bauwesen verantwortlichen RFI's kommen bei der Projektierung und Umsetzung von Schutzbauten oder Walderschliessungen häufig mit den unterschiedlichen Bereichen der Ingenieurbiologie in Verbindung.

Hast du dich im Bereich Ingenieurbiologie noch weitergebildet?

Nein, da dieses Thema aktuell keinen Schwerpunkt in meiner Tätigkeit bildet. Dennoch, eine Weiterbildung zur unterschiedlichen Wirksamkeit von Pflanzenarten würde mich weiter bringen.

Kontaktadresse:

fobatec
Walter Krättli
Försterschule 2
7304 Maienfeld
Telefon: +41 81 403 33 62
E-Mail: walter.kraettli@ibw.ch
www.fobatec.ch



**IHR
VORTEIL:**

SIFOR®
natürlicher
Erosionsschutz
aus Jute und Kokos
Direktimport
aus dem Ursprungsland



**Kurzfristige Lieferung dank
grossem Lagerbestand!**

**Fragen Sie uns an -
wir beraten Sie gerne!**



Stationsstrasse 43 · 8906 Bonstetten
Tel. +41 44 701 82 82 · Fax +41 44 701 82 99
www.geonatex.ch · reliantz@relianz.ch

schweizer

Begrünung für alle Lagen



**Wir sind in allen
Begrünungsfragen
für Sie da!**

Eric Schweizer AG, Postfach 150, CH-3602 Thun
Tel. +41 33 227 57 21, Fax +41 33 227 57 28
www.ericsschweizer.ch

Editorial	2
Fachbeiträge	
Pflanzen und Mykorrhizapilzen zum Schutz vor flachgründigen Rutschungen	4
Erfahrungen mit der Stabilisierung extremer Erosionsflächen und Rutschungen mit objektspezifischen ingenieurbioologischen Massnahmen	14
Ingenieurbioologische Verbaumethoden von Hängen – Praxisbeispiele	25
Ingenieurbioologische Bauten an Strassen im Berner Oberland	31
Ingenieurbioologische Massnahmen in der Val Müstair – Grenzerfahrungen im Gebiet der Val Brüna	41
Erosionsschutz mit Schweizer Holzwolle	47
Ingenieurbioologie in den Waldberufen – mehr als ein Steckenpferd	50



INGENIEURBIOLOGIE
GÉNIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbioologie
Association pour le génie biologique

Verein für Ingenieurbioologie
 c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
 ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
 Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
 Tel.: +41 (0)55 222 47 90
 E-Mail: sekretariat@ingenieurbioologie.ch



E
F
I
B

Europäische Föderation für Ingenieurbioologie
Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica
European Federation for Soil Bioengineering
Fédération Européenne pour le Génie Biologique
Federación Europea de Ingeniería del Paisaje

Dipl.-Ing. Rolf Studer
 Verein für Ingenieurbioologie in der Schweiz
 Route du Coteau 63, CH-1752 Villars-sur-Glâne
 Tel.: +41 26 401 02 45
 Mail: rolfaugust.studer@gmail.com
 http://www.ingenieurbioologie.ch

Inserate

Inseratentarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.

Le présent tarif comprend l'insertion pour une parution.

1 Seite	Fr. 750.–	2/3 Seite	Fr. 550.–	1/2 Seite	Fr. 400.–
1/3 Seite	Fr. 300.–	1/4 Seite	Fr. 250.–	1/8 Seite	Fr. 150.–
Separate Werbebeilage beim Versand:		1 A4-Seite	Fr. 1000.–		
		jede weitere A4-Seite	Fr. 300.–		

Inseratenannahme: Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, ALN, Abteilung Landwirtschaft, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: +41 43 259 27 64, Fax: +41 43 259 51 48, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Link auf der Internetseite des Vereins / Liaison internet sur la page web de l'association: Fr. 750.– pro Jahr / par an

Oder bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens Fr. 750.– pro Jahr

Contre publication d'encarts publicitaires dans le journal Génie Biologique pour Fr. 750.– par an au moins

Kommende Hefte / Carnets à venir

Heft: Nr. 4/2017	Redaktionsschluss: 15. Oktober 2017	Thema: Einbauten in kleinen Fliessgewässern	erscheint: Dezember 2017	Redaktion: Röbi Bänziger
---------------------	--	--	-----------------------------	-----------------------------

Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss an Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: + 41 43 259 27 64, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch einzureichen