

Mitteilungsblatt Nr. 3/2016, Oktober 2016  
Bulletin no 3/2016, octobre 2016  
Bollettino n. 3/2016, ottobre 2016  
ISSN 1422-0008

***Hochlagenbegrünung***

***Végétalisation en altitude***

***Rinverdimento ad alta quota***

**INGENIEURBIOLOGIE  
GENIE BIOLOGIQUE  
INGEGNERIA NATURALISTICA**

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

Heft Nr. 3/2016, 26. 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@ingenieurbiologie.ch

**Internet-Adresse:**

<http://www.ingenieurbiologie.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 01  
E-Mail: martin.huber@bsb-partner.ch

**Übersetzungen/Traductions:**

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

Michel Jaeger, E-Mail: mr.mjaeger@gmail.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@ingenieurbiologie.ch

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

Bei Begrünungen in Hochlagen wurden in den vergangenen Jahren grosse Fortschritte gemacht, sowohl bezüglich der Technik als auch in Bezug auf die Entwicklung des Bewusstseins über den Wert von standortangepassten Begrünungen und ihre Bedeutung für den Erosionsschutz und das Landschaftsbild. Im Handel sind wirklich standortangepasste Samenmischungen heute leider noch nicht oder noch nicht in genügenden Mengen verfügbar. Wenn möglich wird daher mit Sodenversetzung und Direktbegrünung bzw. Heugrassaat gearbeitet, was jedoch nur dann klappt, wenn lokal geeignete und genügend grosse Spenderflächen vorhanden sind. In Spezialfällen kann das nötige Saatgut auch lokal von Hand gesammelt werden (Handsammlung) oder lokal gesammeltes Pflanzenmaterial wird vermehrt und danach wieder ausgepflanzt (Einzelartenvermehrung), was allerdings sehr kostenintensiv ist und eine relativ lange Vorlaufzeit braucht.

Über andere Aspekte, wie z.B. die Verpflanzung von Zwergsträuchern oder die Rekultivierung von hochalpinen Flechtengesellschaften, ist bisher erst wenig bekannt. Offen ist auch die Frage, wie lange und wie stark frisch rekultivierte bzw. begrünte Flächen vor Beweidung geschützt werden sollen um Erosionsschäden zu vermeiden. Gerne wird auch

vergessen, dass Begrünungen in Hochlagen nur dann erfolgreich sind, wenn alle beteiligten Akteure von Anfang an optimal zusammenarbeiten.

In diesem Heft werden einige der oben erwähnten Aspekte näher beleuchtet. Andreas Bosshard stellt als Alternative zur Direktbegrünung die Samen-Erntemaschine «eBeetle» vor, die erlaubt, lokal und vergleichsweise kostengünstig grössere Mengen an standortangepasstem Saatgut zu sammeln. Marti et al. untersuchten am Julierpass die Frage, wie stark direkt umgelagerte Vegetationsziegel nach fünf Jahren im Untergrund verankert sind und wie sich die Vegetation in den Lücken zwischen den Ziegeln entwickelt hat. In einem weiteren Beitrag berichten Marti et al. über die erfolgreiche Umlagerung von Zwergsträuchern. Malin & Rixen untersuchten auf alpinen Weiden den Zusammenhang zwischen Beweidungsintensität, Deckungsgrad der Vegetation, Aggregatstabilität und Oberflächenerosion. Orler et al. berichten über erste Versuche zur Rekultivierung von Flechten-reichen Gesellschaften im Kanton Glarus. Lüscher et al., last but not least, beschreiben, welche Akteure für eine sowohl bautechnisch als auch ökologisch und landschaftlich erfolgreiche Planung und Umsetzung von zwei Pistenkorrekturen im Skigebiet von St. Moritz nötig waren.

Bertil Krüsi

Zürcher Hochschule für angewandte  
Wissenschaften ZHAW

Forschungsgruppe Vegetationsanalyse

*Au cours des dernières années, de grands progrès ont été réalisés pour les végétalisations en altitude en termes de technologie, mais aussi en termes de prise de conscience de la valeur d'une végétation adaptée à la station et de son importance pour la protection contre l'érosion et pour le paysage. Des mélanges de semences vraiment adaptés aux stations en altitude ne sont aujourd'hui malheureusement pas encore, ou en très faible quantité, disponibles dans le commerce. Lorsque cela*

**Titelbild/Frontispice:**

Den Flechten wurde bisher im Zusammenhang mit Hochlagenbegrünungen kaum Beachtung geschenkt, obwohl diese in hochalpinen Pflanzengesellschaften oft eine ganz wesentliche Rolle spielen (Foto: Bertil O. Krüsi).

*Peu d'intérêt a été porté au lichen dans le contexte des végétalisations en altitude, bien qu'il puisse souvent jouer un rôle essentiel dans les associations végétales de haute montagne (photo: Bertil O. Krüsi). Fino ad oggi ai licheni non è stata data quasi nessuna importanza nei rinverdimenti ad alta quota, nonostante che nelle associazioni vegetali alpine giochino spesso un ruolo fondamentale (Foto: Bertil O. Krüsi).*

est possible, des placements de mottes et des ensemencements directs, resp. des semis de foin sont mis en œuvre, mais cela ne fonctionne que dans le cas où des surfaces semencières appropriées et suffisamment grandes sont disponibles. Dans des cas spéciaux, les semences nécessaires peuvent aussi être collectées localement manuellement (collecte manuelle) ou alors le matériel végétal collecté localement est reproduit et ensuite de nouveau planté (propagation d'une seule espèce), ce qui toutefois est très coûteux et nécessite une préparation de longue haleine.

D'autres aspects tels que la transplantation d'arbustes nains ou la remise en culture d'associations de lichen alpin ne sont encore que peu connus. La question de la durée et du degré de protection des zones fraîchement remises en culture et végétalisées afin d'éviter des dommages d'érosion dus au pâturage reste également ouverte. On rappelle aussi volontiers que la réussite d'une végétalisation en altitude dépend également d'une bonne collaboration de toutes les parties prenantes dès le début d'un projet.

Dans ce numéro, certains des aspects mentionnés ci-dessus sont examinés en détail. Andreas Bosshard présente comme alternative à la végétalisation directe la moissonneuse-semeuse « eBeetele » qui permet de recueillir localement et à relativement bas coût de grandes quantités de semences adaptées à la station. Marti et al. ont étudié au col du Julier l'intensité de l'ancrage dans le sol des mottes de végétation directement placées après cinq ans et le développement de la végétation dans les interstices entre les mottes. Dans un autre article, Marti et al. relatent le déplacement réussi d'arbustes nains. Malin & Rixen ont examiné dans les alpages la relation entre l'intensité du pâturage, le degré de couverture de la végétation, la stabilité des agrégats et l'érosion en surface. Orlor et al. font état des premières tentatives de remise en état des associations riches en lichens dans le canton de Glaris. Last but not least, Lüscher et al. décrivent les acteurs nécessaires à la réussite de la planification et à la mise en œuvre de deux corrections de piste

dans la station de ski de Saint-Moritz des points de vue structurel, écologique et scénique.

Bertil Krüsi

Université des Sciences Appliquées de Zurich ZHAW

Groupe de recherche analyse de la végétation

Negli ultimi anni sono stati fatti grandi progressi nei rinverdimenti ad alta quota, sia dal lato tecnico sia da quello della sensibilizzazione sul valore di un rinverdimento adatto al luogo, oltre alla loro importanza per prevenire l'erosione e per il paesaggio. Purtroppo il mercato non offre ancora o almeno non in quantità sufficienti miscugli di sementi adatte al luogo. Perciò, quando possibile, si lavora col trapianto di zolle o col rinverdimento diretto. Questo però funziona solo quando localmente vi sono a disposizione grandi zone da cui prelevare materiale vegetale. In casi speciali le sementi locali possono anche essere raccolte a mano oppure materiale vegetale può essere raccolto, moltiplicato e ripiantato in loco (moltiplicazione di singole specie). Tuttavia ciò è molto costoso e necessita una lunga preparazione.

Fino ad oggi c'è invece poca conoscenza di altri aspetti, quali per es. il trapianto di arbusti nani o la ricoltivazione di licheni alpini. Non è inoltre chiaro quanto e quanto a lungo vadano protette dal pascolamento le zone rinverdite o ricoltivate per evitare danni dovuti all'erosione. Spesso e volentieri si dimentica anche che inverdimenti ad alta quota possono avere successo solamente se tutte le parti interessate cooperano in maniera ottimale fin dall'inizio. Alcuni dei fattori sopracitati vengono presentati più in dettaglio in questa edizione. Andres Bosshard presenta la macchina per raccogliere sementi «eBeetele» quale alternativa all'inverdimento diretto, la quale permette di raccogliere grandi quantitativi di sementi locali con costi minori. Sul Julierpass Marti et al. hanno ricercato con quanta forza si

sono ancorate le zolle vegetali trapiantate direttamente cinque anni fa e in che modo si è sviluppata la vegetazione tra di esse. In un secondo articolo Marti et al. illustrano come trapiantare arbusti nani con successo. Malin & Rixen hanno ricercato il rapporto tra intensità del pascolamento, grado di copertura della vegetazione, stabilità dell'aggregato, e erosione superficiale. Orlor et al. raccontano dei primi esperimenti di ricoltivazione di associazioni ricche di licheni nel Canton Glarona. Infine, Lüscher et al. descrivono di chi c'è stato bisogno per pianificare e completare con successo due correzioni di piste da sci a St. Moritz, sia dal lato edile che da quello ecologico e del paesaggio.

Bertil Krüsi

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW

Forschungsgruppe Vegetationsanalyse

# Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren

Nora Marti, Nina von Albertini und Bertil O. Krüsi

## Zusammenfassung

Bei der Strassenkorrektur der Julierpassstrasse im Zeitraum 2008-2013 durch das Tiefbauamt Graubünden kam in der Schweiz erstmals die Methode der grossflächigen und nahezu flächendeckenden Direktumlagerung zum Einsatz. Da bei Begrünungen in Hochlagen neben der Etablierung einer standortgerechten Vegetation insbesondere die Erosions- und Rutschbeständigkeit wichtig sind, wurde in dieser Studie geprüft, wie rasch sich die umgelagerten Vegetationsziegel mit dem Untergrund stabil verbinden.

Fünf Jahre nach der Umlagerung wurde an vier direkt umgelagerten Strassenböschungen die Verankerung und Durchwurzelung der direkt umgelagerten Vegetationsziegel, die Erosion sowie das Zuwachsen der Lücken zwischen den Ziegeln analysiert. Die Stabilität der Verankerung wurde getestet, indem in jeder Teilfläche an je 10 Ziegeln geprüft wurde, ob sie sich bewegen und vom Untergrund lösen liessen. In jeder Teilfläche fand an je 10 Ziegeln eine Prüfung der Verankerungsstabilität (d.h. ob sich die Ziegel manuell bewegen und vom Untergrund lösen liessen) statt. Die Untersuchung der Durchwurzelung der Ziegel und des Vordringens der Wurzeln in die Rohplanie wurde mittels Bodenprofile durchgeführt. Es wurde auch beobachtet, ob die Vegetationsziegel und die offenen Bodenstellen zwischen den Ziegeln Erosionsspuren aufwiesen. Zudem konnte optisch geprüft werden, ob sich die Lücken durch Bodenmaterial aufgefüllt hatten, und ob neue Vegetation in den Lücken aufkam. Die Resultate zeigen, dass die Ziegel fünf Jahre nach der Umlagerung gut durchwurzelt und gut im Untergrund verankert waren. Die im Mittel nur ca. 306 cm<sup>2</sup> grossen Lücken zwischen den einzelnen Vegetationsziegeln hatten sich mit Bodenmaterial aufgefüllt und waren im Mittel zu 78% mit Vegetation bedeckt. Die

an rund 35% der Ziegelränder beobachtete Erosion hatte wesentlich dazu beigetragen, dass sich die Lücken zwischen den Ziegeln rasch mit Feinerde füllten, und die Vegetation die Lücken relativ schnell besiedeln konnte.

Mit der hier angewandten Direktumlagerung wurde auch an ca. 45° steilen Böschungen ein sehr guter Erosionsschutz erreicht. Ein Abrutschen der Ziegel wurde nirgends beobachtet. Der Deckungsgrad der Vegetation war bereits unmittelbar nach der Fertigstellung sehr hoch, und die Lücken zwischen den Ziegeln wuchsen relativ rasch zu.

## Keywords

Direktumlagerung Vegetationsziegel, Bodenschutz, Hochlagen, Stabilität, Vegetationslücken

## **Transposition directe de mottes de végétation: enracinement et lacunes de végétation après 5 ans**

## Résumé

Pour la première fois, la méthode de transposition directe d'un sol de grande étendue et presque généralisée a été utilisée en Suisse lors de la correction routière au col du Julier durant la période allant de 2008 à 2013 par le Service des ponts et chaussée du canton des Grisons. Au cours de l'expérimentation, la vitesse à laquelle les mottes de végétation se lient solidement au sous-sol a été examinée. Outre la mise en place d'une végétation adaptée au site, la résistance contre l'érosion et au glissement est importante pour la réussite d'une végétalisation en altitude.

Les résultats montrent qu'après cinq ans les mottes se sont bien enracinées et sont solidement ancrées au sous-sol après leur transposition. Des espaces d'une taille moyenne d'environ 306 cm<sup>2</sup> seulement entre les mottes de végétation

se sont remplies avec du matériel du sol et étaient recouvertes jusqu'à 78% de végétation en moyenne. Les érosions observées en bordure d'environ 35% des mottes ont largement contribué au remplissage entre les mottes de terre fine et à la colonisation des espaces par la végétation.

Avec cette méthode de transposition directe du sol, une protection efficace contre l'érosion a été obtenue même avec des pentes jusqu'à 45°. Aucun glissement de mottes n'a été constaté. Le degré de couverture végétale après l'achèvement des travaux était très élevé et les espaces entre les mottes se sont rapidement remplis par la croissance de la végétation.

## Mots-clés

Transposition directe des mottes de végétation, protection du sol, station de haute altitude, stabilité, lacunes de végétation

## **Zolle vegetali trapiantate in modo diretto: penetrazione radicale e spazi vuoti dopo 5 anni**

## Riassunto

Durante i lavori sulla strada del passo del Giulia nel periodo 2008-2013 per la prima volta in Svizzera è stata usata la tecnica del trapianto diretto su vasta scala e a copertura quasi totale. Nell'ambito di rinverdimenti ad alta quota è importante che oltre a una vegetazione adatta al luogo siano garantite soprattutto la protezione dall'erosione e dallo scivolamento. L'obiettivo di questa ricerca era di chiarire quanto ci mettono le zolle trapiantate ad ancorarsi in modo stabile con il sottosuolo.

I risultati indicano che cinque anni dopo il trapianto, le zolle mostrano una buona penetrazione radicale e sono ben ancorate al sottosuolo. Gli spazi vuoti tra le zolle, di grandezza media

di ca. 306 cm<sup>2</sup>, si sono riempiti di terreno e si sono coperti di vegetazione per il 78%. Circa il 35% delle zolle mostra fenomeni di erosione sui bordi. Questo ha contribuito in modo rilevante a riempire gli spazi vuoti di terra fine e permesso alla vegetazione di svilupparsi abbastanza in fretta. Con la tecnica del trapianto diretto è stata raggiunta una protezione dall'erosione molto buona anche su versanti con pendenza di ca. 45°. Non è stato inoltre rilevato nessuno scivolamento delle zolle. Il grado di copertura della vegetazione era molto alto già subito dopo la fine dei lavori, e gli spazi vuoti tra le zolle si sono riempiti abbastanza rapidamente.

### Parole chiave

Trapianto diretto di zolle vegetali, protezione del suolo, alta quota, stabilità, spazi vuoti



Abb. 1: Direktumlagerung im Untersuchungsgebiet: Vegetationsziegel werden ohne weitere ingenieurbiologische Massnahmen (z.B. Befestigung mit Holznägeln) direkt und stabil zwischen die fest in den Boden eingelagerten Blockschuttfelsen eingebracht (von Albertini 2014).

Fig. 1: Transposition directe dans la zone d'expérimentation: des mottes de végétation sont placées directement et de manière stable entre les roches d'éboulis entreposés sans autres mesures de génie biologique (par ex. fixation avec des clous en bois) (von Albertini 2014).

## 1. Einleitung

Bei der Erstellung naturnaher Begrünungen in den Hochlagen sind insbesondere die langsame Vegetationsentwicklung aufgrund der klimatischen Gegebenheiten und die damit verbundene Erosionsanfälligkeit der Flächen, sowie die beschränkte Verfügbarkeit von standortgerechten Samenmischungen (bzw. Setzlingen) limitierend (Wittmann & Rücker 2006). Eine kostengünstige und Erfolg versprechende Lösung für diese Probleme bietet die grossflächige und flächendeckende Direktumlagerung. Diese kam in der Schweiz erstmals bei der Strassenkorrektur der Julierpassstrasse, einem Projekt des Tiefbauamtes Graubünden, im Zeitraum 2008-2013 zum Einsatz. Die Direktumlagerung ermöglicht den Erhalt der lokalen Vegetation auch in heterogenen Lebensräumen. Die Vegetation als auch deren Wurzelraum mit Mykorrhiza und anderen lokalen Bodenlebewesen wird bei der direkten Umlagerung weitgehend erhalten. Sogar die erfolgreiche grossflächige Umlagerung von Flachmooren ist möglich (von Albertini & Regli 2012). Durch die bereits unmittelbar nach der

Umlagerung weitgehend geschlossene Vegetationsdecke bietet die Direktumlagerung einen raschen Erosionsschutz. Die erfolgreiche Begrünung und die landschaftlich angepasste Gestaltung von relativ steilen Böschungen (> 2:3) ist mit dieser Methode möglich. Deshalb eignet sich die Direktumlagerung auch speziell für Bau- und Begrünungsmassnahmen in Hochlagen. Zudem ist das Verfahren kostengünstig, da sich durch die direkte Umlagerung Transporte und Maschinenstunden einsparen lassen (von Albertini 2014).

Bei der grossflächigen Direktumlagerung an der Julierpassstrasse wurde auf die verschiedentlich empfohlene Verankerung der Rasenziegel mit Holznägeln zum Schutz gegen Abrutschen verzichtet (z.B. Kirmer & Tischew 2006) (Abb. 1). Aus Kostengründen musste zudem darauf verzichtet werden, die Lücken zwischen den umgelagerten Vegetationsziegeln manuell zu schliessen. Bisher gibt es praktisch keine Untersuchungen darüber, (1) wie rasch die Wurzeln der

Pflanzen auf den umgelagerten Vegetationsziegeln in den Untergrund bzw. in die Rohplanie vordringen und die Ziegel dadurch verankern, und (2) ob sich die Lücken zwischen den umgelagerten Vegetationsziegeln natürlicherweise so rasch schliessen, dass keine nennenswerten Erosionsprobleme entstehen. Konkret wurden insbesondere die folgenden Fragen untersucht:

- Wie gut sind die direkt umgelagerten Vegetationsziegel fünf Jahre nach der Umlagerung mit Wurzeln im Untergrund verankert?
- Wie gut sind die direkt umgelagerten Rasenziegel fünf Jahre nach der Umlagerung durchwurzelt (Feinwurzeln)?
- Wie stark sind die direkt umgelagerten Rasenziegel fünf Jahre nach der Umlagerung von Erosion betroffen und, falls ja, wo fand die Erosion statt (Oberfläche vs. Rand) und wo wurde das erodierte Material abgelagert?
- Wie gross ist die Vegetationsbedeckung in den Lücken zwischen den Rasenziegeln fünf Jahre nach der Umlagerung?

– Welchen Einfluss hat die Steilheit der Böschung auf die oben erwähnten Parameter?

**2. Material und Methoden**

**2.1 Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet liegt im subalpinen Bereich der Zentralalpen, oberhalb des Dorfes Bivio, nordwestlich der Julierpasshöhe. Die Vegetation in dieser Lage ist durch das zentralalpine Hochlagenklima mit schnell wechselnden Wetterlagen, starker Strahlungsintensität, langen trockenen Wintern, kurzen feuchteren Sommern und ausgeprägten täglichen und saisonalen Temperaturunterschieden (Meteo Schweiz 2015) geprägt. Die standörtliche Vegetation setzt sich vorwiegend aus Borstgras- und Milchkrautweiden, welche von Zwergstrauchbeständen durchsetzt sind, zusammen. Auf silikatreichem, felsigem Untergrund sind in den Hanglagen meist relativ flachgründige, nährstoffarme Böden zu finden. Das Untersuchungsgebiet ist jedoch in seiner Topographie mit Moränen, Hängen, Mulden, dem Flusstal etc. sehr heterogen und weist bezüglich Gründigkeit und Skeletgehalt der Böden eine hohe Vielfalt auf. Durch Rutschungen, Murgänge und die Weideviehhaltung sind vor allem in Gewinnlagen, d.h. in den flacheren Zonen, am Hangfuss oder in Mulden, tiefgründigere und nährstoffreichere Böden zu finden.

Zur Verbesserung der Verkehrssicherheit wurde die Julierpassstrasse im Zeitraum

von 2008 bis Ende 2013 zwischen Mot (ca. 1800 m ü.M.) und Sur Gonda (ca. 2200 m ü.M.) auf einer Länge von ca. 3800 m verlegt, begradigt und verbreitert. Rund 65% der neu erstellten Böschungen wurden mit dem Direktumlagerungsverfahren begrünt. Auf den übrigen 35%, wo die direkte Umlagerung vom Arbeitsablauf und Timing her nicht möglich war, erfolgte die Wiederbegrünung auf Kleinsflächen mit Ansaat (mit oder ohne vorgängige Humusierung) sowie vor allem mittels Spontanbegrünung, welche teilweise mit vereinzelt versetzten Vegetationsziegeln unterstützt wurde (von Albertini 2014).

Bei der Begrünung der neu erstellten Strassenböschungen wurden die möglichst mächtigen Vegetationsziegel ohne Zwischenlagerung von ihrem Ursprungsort an den sich innerhalb der Baggerreichweite befindlichen Zielort umgelagert (Abb. 2). Die Vegetation und die Bodenstruktur konnte dadurch weitgehend erhalten werden. Auf Böschungen mit bis über 3500 m<sup>2</sup> Fläche wurde somit die Vegetation mit den darin vorhandenen Zwergsträuchern baggerschaufelweise direkt umgelagert. Wenn genügend Ausgangsmaterial vorhanden war, wurden die Vegetationsziegel möglichst flächendeckend verlegt. Die Umwelt- und Bodenkundliche Baubegleitung (UBB/BBB) hatte für den Bau noch weitere Massnahmen getroffen, welche zur Stabilität der Begrünung beitragen. Die Verzahnung und starke Verankerung der umgelagerten

Ziegel wurde gefördert durch (1) die gewollt raue Struktur der Rohplanie, (2) die relativ unregelmässige, naturnahe Gestaltung des Böschungsreliefs und durch (3) die strategisch geschickte Platzierung der im Gebiet vorhandenen Steinblöcke, welche zudem tief in die Rohplanie eingelagert worden waren (von Albertini 2014).

**2.2 Untersuchungsflächen**

Bei der Wahl der Untersuchungsflächen wurde darauf geachtet, dass sie für das Untersuchungsgebiet möglichst repräsentativ und auch möglichst gleich alt waren. Die Wahl fiel daher auf die vier direkt umgelagerten, in Abb. 3 & 4 gekennzeichneten Flächen A1, A2, B1 und B2, welche alle im Jahr 2009 erstellt und im September desselben Jahres begrünt worden waren (Tab. 1). Die untersuchten Flächen lagen zwischen 1960 und 2020 m ü.M. und waren südöstlich bis nordwestlich exponiert. Die Teilflächen A1 und A2 hatten eine mittlere Neigung von 45°. B1 und B2 waren mit 25° und 35° etwas weniger stark geneigt. Insgesamt waren die stärker geneigten Flächen A1 und A2 mit 3200 m<sup>2</sup> ähnlich gross wie die flacheren Abschnitte B1 und B2 mit zusammen 3600 m<sup>2</sup>. In Bezug auf die Neigung waren die vier untersuchten Böschungen für die natürlichen Verhältnisse im Gebiet relativ typisch (Abb. 4).

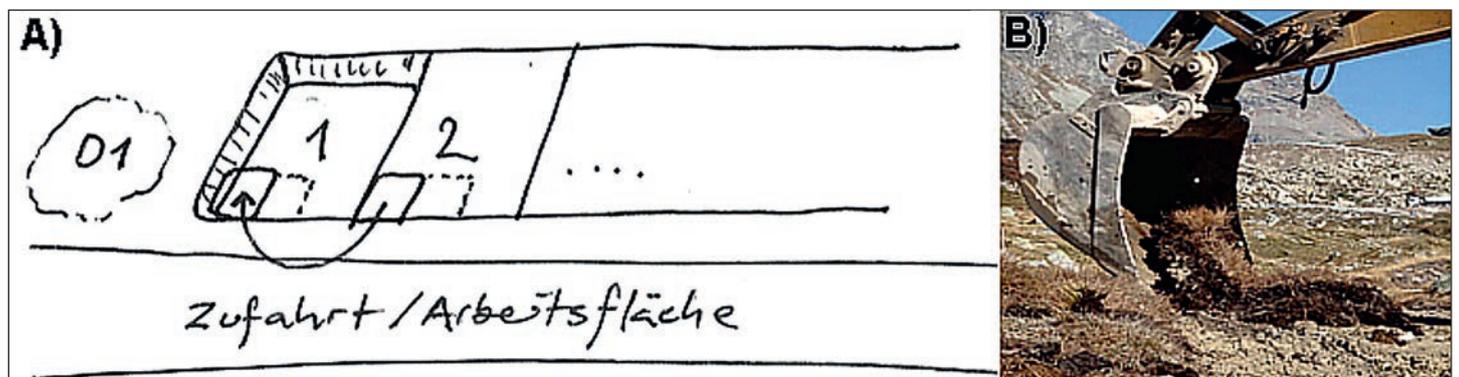


Abb. 2: A) Schematische Darstellung der streifenweisen Direktumlagerung bei einem Böschungsabtrag gemäss UBB/BBB. Der abgehobene Boden mit Rasenziegeln der Fläche 1 wird in Depot D1 gelegt. Der geforderte Abtrag auf Fläche 1 wird realisiert. Von Streifen 2 wird der Boden mit den Rasenziegeln direkt auf Fläche 1 umgelagert. Diese Arbeitsschritte werden streifenweise weitergeführt (von Albertini & Regli 2012). B) Maschinelle Direktumlagerung von Vegetationsziegeln am Julierpass (von Albertini & Regli 2012).

Fig. 2: A) Représentation schématique de la transposition directe par bandes lors d'un abaissement de talus selon UBB/BBB. Le sol prélevé avec des mottes de gazon de la surface 1 est posé dans le dépôt D1. Le prélèvement demandé de la surface 1 est réalisé. La terre est directement déplacée avec des mottes de gazon des bandes 2 sur la surface 1. Ces étapes de travail sont répétées par tranches (von Albertini & Regli 2012). B) Transposition mécanique directe de mottes de végétation au col du Julier (von Albertini & Regli 2012).

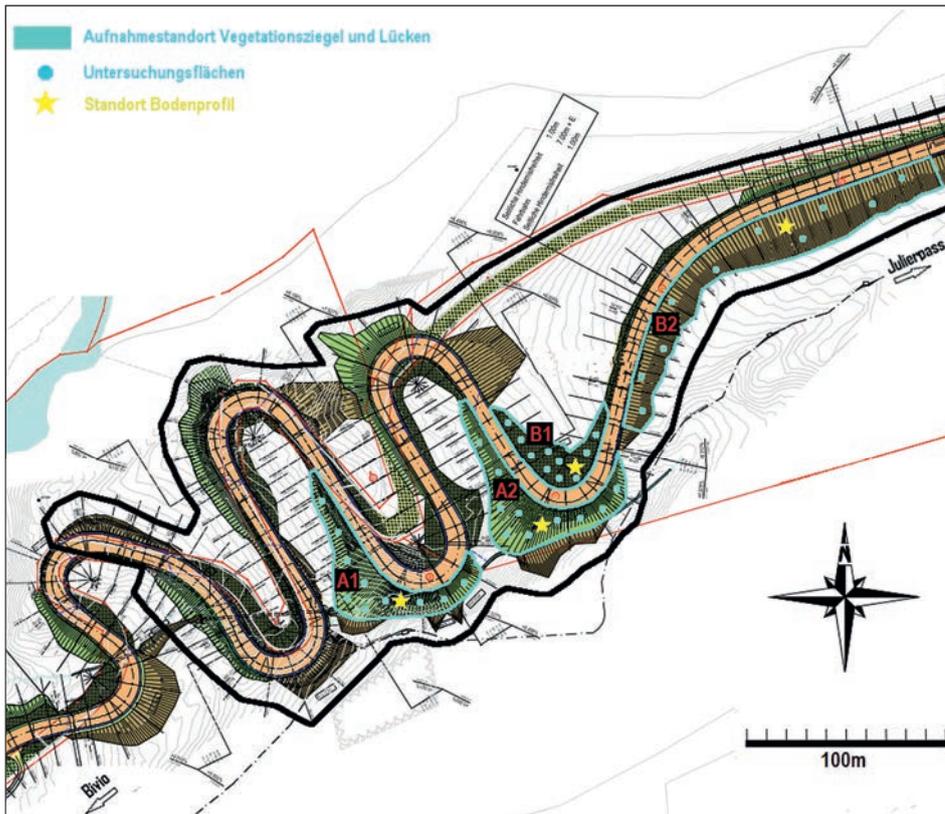


Abb. 3: Direkt umgelagerte Untersuchungsflächen A1, A2, B1, B2 (durch blaue Linien abgegrenzt). In jeder Untersuchungsfläche wurden jeweils 10 Ziegel (blaue Punkte) und die angrenzenden Lücken analysiert. Die Standorte der zentral gelegenen Bodenprofile sind mit Sternen markiert (modifizierter Plan aus von Albertini & Regli 2012).

Fig. 3: Surfaces d'expérimentation directement transposées A1, A2, B1, B2 (marquées par des lignes bleues). Pour chaque surface, on a analysé 10 mottes à la fois (points bleus) et les lacunes adjacentes. Les emplacements des profils de sol centraux sont marqués avec des étoiles (plan modifié von Albertini & Regli 2012).

### 2.3 Sampling Design

In jeder der vier Untersuchungsflächen A1, A2, B1 und B2 wurden je 10 Vegetationsziegel und die zugehörigen Lücken zwischen den Ziegeln untersucht. Die insgesamt 40 Stichprobenpunkte wurden zuerst auf der Karte bzw. dem Luftbild systematisch in den vier Versuchsflächen angeordnet. Im Feld wurde bei jedem Stichprobenpunkt der am nächsten gelegene, für die Versuchsfläche repräsentative (Flächengrösse, Vegetations- und Erosionszustand) Rasenziegel untersucht. Gleichzeitig wurden auch die unmittelbar an den Rasenziegel angrenzenden Vegetationslücken analysiert. In jeder der vier Flächen wurde zudem an einem geeigneten und möglichst zentral in der Untersuchungsfläche liegenden Ort ein Bodenprofil zur Prüfung der Durchwurzelung von Ziegel und Untergrund angelegt.

### 2.4 Feldaufnahmen

**Verankerung:** Im August 2014, d.h. fünf Jahre nach der Fertigstellung der Begrünungen, wurde bei jedem der 40 ausgewählten Rasenziegel die Verankerung im Untergrund qualitativ beurteilt, indem geprüft wurde, (1) ob es Hinweise für eine vorhergehende Verschie-



Abb. 4: Die Neigungen und Struktur der Untersuchungsflächen (A1, A2, B1, B2) entsprechen der Topographie in der natürlichen Umgebung. Dank der Bemühungen, das Relief und die Struktur der umgebenden Landschaft aufzunehmen, passt sich die Strasse naturnah ins Landschaftsbild ein (von Albertini 2014).

Fig. 4: Les inclinaisons et les structures des surfaces d'expérimentation (A1, A2, B1, B2) correspondent à la topographie de l'environnement naturel. Grâce aux efforts pris en considération du relief et de la structure du paysage environnant, la route s'intègre quasi-naturellement dans le paysage (von Albertini 2014).

UNTERSUCHTE FLÄCHEN	A1	A2	B1	B2
Begrünungsabschluss	Ende Sept. 2009			
Zeitpunkt Erfolgskontrolle	Ende Aug. 2014			
Flächengrösse	1400 m <sup>2</sup>	1800 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>	3000 m <sup>2</sup>
Höhenlage	1960-1980 m.ü.M.	1970-1995 m.ü.M.	1990-2000 m.ü.M.	1995-2020 m.ü.M.
Neigung	45° (40-50°)	45° (40-50°)	25°(20-30°)	35°(30-40°)
Exposition	SO bis SW	SO bis SW	SO bis SW	NW bis W
Begrünungsvegetation	Borstgrasweide mit Zwergsträuchern		Borstgrasweide	

Tab. 1: Charakterisierung der vier direkt umgelagerten Untersuchungsflächen A1, A2, B1 & B2 am Julierpass.

Tab. 1: Caractérisation des 4 zones d'expérimentation directement transposées A1, A2, B1 & B2 sur le col du Julier.

bung des Ziegels gab und (2) ob sich der Ziegel manuell durch Ziehen oder Schieben bewegen und/oder vom Untergrund lösen liess.

**Durchwurzelung:** In jedem der vier Bodenprofile wurde optisch überprüft, (1) ob die Wurzeln der Vegetation auf den Ziegeln vital waren, (2) welchen Feinwurzelanteil sie im Bereich direkt über der Rohplanie aufwiesen, und (3) ob die Wurzeln in den unter den Ziegeln liegenden Untergrund (Rohplanie) vorgedrungen waren. Die Anzahl Feinwurzeln ( $\varnothing < 2 \text{ mm}$ ) pro  $\text{dm}^2$  Profilwand wurde gemäss Blume et al. (2011) geschätzt, wobei die folgenden Kategorien unterschieden wurden:  $< 1$  Feinwurzel pro  $\text{dm}^2$ ; 1–2; 2–5; 5–10; 11–20; 21–50;  $> 50$ .

**Erosion:** In einem ersten Schritt wurden (1) die Ziegeloberfläche und (2) die Ziegelränder auf Erosionsspuren geprüft. Wenn erkennbar war, dass ein Materialabtrag stattgefunden hatte, wurde abgeschätzt, (3) welcher Anteil der Ziegeloberfläche bzw. der Ziegelränder davon betroffen war ( $< 5\%$ ; 5–24%; 25–49%; 50–100%). Zudem wurde geprüft, wie viel des erodierten Materials ( $< 25\%$ ; 25–49%; 50–100%) sich wo (Rand des Ursprungziegels; Lücke zwischen den Ziegeln; Rand des angrenzenden Ziegels) abgelagert hatte.

**Vegetationslücken:** An jedem der 40 ausgewählten Rasenziegel (Abb. 3) wurden die Zwischenräume zu allen angrenzenden Rasenziegeln in Bezug auf (1) die Grösse der Lücken und (2) die Vegetationsbedeckung (in %) untersucht.

### 3. Resultate

Da es keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Untersuchungsflächen gab, wurden diese bei der Präsentation der Daten nicht weiter unterschieden.

#### 3.1 Ziegel (Tab. 2)

**Verankerung:** Alle 40 überprüften Vegetationsziegel konnten im Feld manuell mit äusserstem Krafteinsatz weder angehoben noch verschoben werden. Anzeichen für frühere Rutschungen der Ziegel waren nicht vorhanden.

**Durchwurzelung:** Wie in den Bodenprofilen (Abb. 5) zu sehen ist, waren die Wurzeln der Vegetation auf den umgelagerten Ziegeln vital. In den Profilen der Böschungen A2 und B1 wurden 11–20 Feinwurzeln pro  $\text{dm}^2$  festgestellt, und in jenen der Böschungen A1 und B2 21–50 pro  $\text{dm}^2$ . In allen vier Bodenprofilen der untersuchten Böschungen zeigte sich, dass in den fünf Jahren seit Begrünungsabschluss die Wurzeln der Vegetation auf den Ziegeln bis in den Rohboden weitergewachsen waren (Abb. 5).

**Erosion:** Bei den Feldaufnahmen war bei keinem der untersuchten Ziegel grossflächige oder tiefe Rinnenerosion erkennbar. In den vier untersuchten Böschungen waren im Mittel nur 2% (1.5–3%) der Ziegeloberfläche von

Erosion betroffen. Wie oben erwähnt gab es diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier untersuchten Böschungen. Bei den 40 untersuchten Vegetationsziegeln wiesen im Mittel 35% (30–40%) der Ränder Erosionsspuren auf. Die Erosion fand in Form von Abtrag von oberflächlichem Bodenmaterial und vereinzelt in Form von abbrechenden Randstücken statt. Bei zwei Ziegeln in Böschung B1 und drei Ziegeln in Böschung B2 waren ca.  $15 \times 20 \times 10 \text{ cm}^3$  grosse Stücke an den Rändern der Ziegel abgebrochen. Diese Bruchstücke waren wenige Zentimeter gerutscht. Zum Zeitpunkt der Aufnahme hatten sich alle Bruchstücke am neuen Ort durch die Wurzeln der darauf befindlichen Vegetation im Untergrund wieder verankert. Gut 50% (45–55%)



Abb. 5: In allen Profilen ist zu beobachten, dass die Wurzeln der Vegetation auf den Ziegeln vital und in den Ziegel-Untergrund eingewachsen sind.

Fig. 5: On observe pour tous les profils que les racines de végétation se sont bien encaustiquées aux mottes et aux sous-sols des mottes.

EIGENSCHAFTEN DER VEGETATIONSZIEGEL	
<b>Rutschfestigkeit der Ziegel</b> (n = 40)	<b>Mittel</b> ± 1 Standardabweichung
Manuell verschiebbare Ziegel	0% ± 0
Anzeichen für früheres Verrutschen	0% ± 0
<b>Durchwurzelung</b> (Bodenprofile, n = 4)	<b>Mittel</b> ± 1 Standardabweichung
Vitalität der Wurzeln in den Ziegeln	100% ± 0
Feinwurzeln pro dm <sup>2</sup> oberhalb der Rohplanie	25 (11-50)
Wurzeln in Rohplanie	100% ± 0
<b>Erosion</b> (n = 40)	<b>Mittel</b> ± 1 Standardabweichung
Ziegel-Oberfläche: Anteil mit Erosion	2% ± 4
Ziegel-Rand: Anteil mit Erosion	35% ± 4
<b>Ablagerungsort des erodierten Materials</b> (n = 40)	<b>Mittel</b> ± 1 Standardabweichung
Rand des Ursprungs-Ziegels	50% ± 3.5
Lücke zwischen den Ziegeln	30% ± 3.5
Oberrand des unten angrenzenden Ziegels	20% ± 3.5

Tab. 2: Eigenschaften der umgelagerten Vegetationsziegel 5 Jahre nach der Umlagerung (Mittel ± 1 Standardabweichung).

Tab. 2: Caractéristiques des mottes directement transposées 5 ans après leur mise en place (moyenne ± 1 écart type).

des an den Ziegelrändern erodierten Feinmaterials lagerten sich am Fuss des Ziegels, von dem das Material ursprünglich stammte, ab. Durchschnittlich 30% (25–35%) des Materials wurden in der Lücke zwischen den Ziegeln, und 20% (15–25%) am oberen Rand des nächsten hangabwärts angrenzenden Ziegels abgelagert.

### 3.2 Lücken (Tab. 3)

**Grösse der Lücken:** Die mittlere Lückengrösse lag in den vier Untersuchungsflächen zwischen 225 cm<sup>2</sup> und 400 cm<sup>2</sup>.

**Deckungsgrad der Vegetation in den Lücken:** Fünf Jahre nach der Umlagerung hatte die Vegetation in den Lücken einen mittleren Deckungsgrad von 78% (75–80%). Die Vegetation in den Lücken entsprach in allen untersuchten Fällen weitgehend der standortgerechten Vegetationszusammensetzung auf den Ziegeln (Abb. 6–9). Insbesondere wurden keine Weideunkräuter wie *Rumex alpinus* oder *Cirsium spinosissimum* oder Neophyten wie *Senecio rupestris* gefunden. In den noch vegetationsfreien Bereichen wurde vereinzelt

etwas Erosion festgestellt. Betroffen waren im Mittel nur 2,3% (1,5–3%) der Lückenfläche.

## 4. Diskussion

Weder in den flacheren noch in den eher steilen Direktumlagerungen gab es Anzeichen, dass die Vegetationsziegel nach der Anlage der Begrünung gerutscht wären. Bei der Vorbereitung des Untergrunds für die Transplantate wurde wie oben erwähnt speziell darauf geachtet, dass dieser rauer und stärker strukturiert war als im herkömmlichen Böschungsbau. Dies gab den Ziegeln zusätzlichen Halt und bewirkte, dass vergleichsweise stark strukturierte,

natürlich wirkende Böschungsformen entstanden sind. Im Vergleich zu den im herkömmlichen Böschungsbau erstellten, ebenen und glatten Hängen war die Gefahr, dass die umgelagerten Ziegel abrutschen würden, daher am Julierpass deutlich kleiner. Die in den Begrünungen am Julierpass aus Gründen des Landschaftsbildes verwendeten, und tief in den Boden eingebetteten Gesteinsblöcke haben die umgelagerten Vegetationsziegel ebenfalls zusätzlich stabilisiert (Abb. 10–13). Die Blockschutt-Elemente dienten neben der harmonischen Einpassung der Begrünungen ins Landschaftsbild auch als wertvolle Lebensräume für Flechten und Reptilien. Da bei den Direktumlagerungen an der Julierpassstrasse genügend grosse Spenderflächen zur Verfügung standen, konnten die Ziegel relativ dicht aneinander gelegt werden. Dadurch stabilisierten sich die Vegetationsziegel auch gegenseitig (von Albertini 2014). Dies ist insbesondere in der Anfangsphase nach Anlage der Begrünung wichtig, wenn die Ziegel noch nicht durch das Wurzelwerk der Pflanzen im Untergrund verankert sind. Die Vegetation auf den Ziegeln ist zudem standortheimisch, vital und hat von Anfang an einen hohen Deckungsgrad (von Albertini 2014). Der hohe Deckungsgrad trägt dazu bei, dass die Ziegel gut vor Erosion geschützt sind.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Vegetationsziegel fünf Jahre nach der grossflächigen Direktumlagerung stabil im Untergrund verankert sind. In den Bodenprofilen erweist sich, dass diese Verankerung durch Wurzeln erfolgt, welche die auf den Ziegeln vorhandenen Pflanzen gebildet haben. Dies, obschon die Pflanzen bei einem hohen Nährstoffangebot, wie es dank

EIGENSCHAFTEN DER LÜCKEN	Mittel ± 1 Standardabweichung
<b>Grösse</b> (n = 40)	306 cm <sup>2</sup> ± 12
<b>Lücken ohne Vegetation</b> (n=40)	0% ± 0
<b>Deckungsgrad der Vegetation</b> (n = 40)	78% ± 4
<b>Flächenanteil mit Erosion</b> (n = 40)	2.3% ± 4

Tab. 3: Eigenschaften der Lücken zwischen den umgelagerten Vegetationsziegeln 5 Jahre nach der Umlagerung (Mittel ± 1 Standardabweichung; n = 40).

Tab. 3: Caractéristiques des espaces entre les mottes transposées 5 ans après leur mise en place (moyenne ± 1 écart type; n = 40).



Abb. 6: Untersuchungsgebiet A1: Lückenschluss zwischen direkt umgelagerten Vegetationsziegeln durch Bodeneintrag von den Ziegelrändern und neu aufkommende Vegetation. Die Vegetationszusammensetzung in der Lücke entspricht weitgehend derjenigen auf den Vegetationsziegeln.

Fig. 6: Zone d'expérimentation A1: Comblement entre les mottes directement transposées par apport de substance dans les sols et une nouvelle végétation naissante. La composition de la végétation dans les espaces correspond largement à celle sur les mottes de végétation.



Abb. 7: Lückenschluss im Untersuchungsgebiet A2. Erodierter Ziegelrand: Das Bodenfeinmaterial hat sich direkt unter dem Ziegelrand abgelagert, und die Vegetation vom Ziegel wächst in die Lücke ein.

Fig. 7: Comblement des espaces dans la zone d'expérimentation A2. Bordure d'une motte érodée: le matériau fin du sol s'est déposé directement sous la motte et la végétation prend racine entre les espaces.



Abb. 8: Untersuchungsgebiet B1: Das eingeschwemmte Bodenmaterial und die Vegetation haben die Lücke zwischen den direkt umgelagerten Ziegeln bereits so weit gefüllt, dass sie fast nicht mehr erkennbar ist.

Fig. 8: Zone d'expérimentation B1: Le matériau fin du sol infiltré et la végétation ont déjà comblé les espaces entre les mottes de telle façon qu'on ne distingue presque plus les espaces.



Abb. 9: Lückenschluss im Untersuchungsgebiet B2 zwischen direkt umgelagerten Vegetationsziegeln: Die Lücke ist bereits weitgehend mit Bodenmaterial aufgefüllt. Die vorhandene Vegetation in der Lücke schützt den Boden vor Erosion.

Fig. 9: Comblement des lacunes de végétation dans la zone d'expérimentation B2 entre les mottes directement transposées: les espaces sont en grande partie comblés avec du matériau de sol. La végétation présente dans les espaces protège la terre de l'érosion.

der Lockerung und verbesserten Durchlüftung wahrscheinlich auch im Boden der umgelagerten Vegetationsziegel anfänglich vorhanden war (von Albertini 2014), überwiegend Wurzeln in den oberen Bodenschichten bilden (Oberholte 2006). Ein Grund für die doch relativ schnelle Ausbildung von Tiefenwurzeln könnten die für die Zentralalpen typischen Trockenperioden (Meteo Schweiz 2015) sein, während denen nur noch in den tieferen Bodenschichten genügend pflanzenverfügbares Wasser vorhanden ist. Auf eine mögliche Anpassung an Trockenperioden könnte auch der in den untersuchten

Bodenprofilen beobachtete hohe Anteil an Feinwurzeln hinweisen (Bodner et. al. 2014). Die beobachtete Durchwurzelung der umgelagerten Rasenziegel und der darunterliegenden Rohplanie könnten daher darauf hindeuten, dass die Bodenstruktur bei der Direktumlagerung so wenig gestört worden ist, dass die Bodenverhältnisse bezüglich Lagerungsdichte und pflanzenverfügbaren Nährstoffen bereits fünf Jahre nach der Umlagerung wieder relativ naturnah waren. Voraussichtlich werden sich die Vegetationsziegel mit der Zeit aufgrund des weiteren Wurzelwachstums

der Pflanzen noch besser mit dem Untergrund verbinden.

Gemäss Krautzer et al. (2012) ist die Geschwindigkeit, mit welcher sich vorhandene Vegetationslücken in einer Begrünung schliessen, ein guter Indikator für die langfristige Stabilität der Begrünung. Wie die Resultate zeigen, war das bei den von uns untersuchten grossflächigen Direktumlagerungen der Fall (Abb. 6-9). Durch die beobachtete leichte Erosion an den Ziegelrändern wird Oberbodenmaterial in die Lücken eingetragen, und diese füllen sich langsam auf. Da die Lücken zwischen den Ziegeln – trotz rein maschineller Um-



Abb. 10: Die durchschnittlich 45° steile Böschung der Untersuchungsfläche A1 weist einen hohen Vegetationsdeckungsgrad auf. Die Lücken zwischen den Ziegeln sind nur noch schwer erkennbar. Die gewollt naturnahe Gestaltung der Begrünung mit kleinräumig unebener Struktur ist gut erkennbar.  
 Fig. 10: Le talus incliné en moyenne à 45° de la zone d'analyse A1 présente un degré élevé de couverture végétale. Les espaces entre les mottes sont difficilement reconnaissables. L'aménagement proche de la nature de la végétalisation avec une structure irrégulière et à petite échelle est bien perceptible.



Abb. 11: In der steilen Böschung der Untersuchungsfläche A2 sind die Ziegel fest verankert. Die in den Boden eingelagerten Blockschuttfelsen verleihen der Begrünung zusätzliche Stabilität.  
 Fig. 11: Dans la forte pente de la zone d'expérimentation A2, les mottes sont bien ancrées. Les roches d'éboulis entreposés offrent une stabilité supplémentaire pour la végétalisation.



Abb. 12: Die Vegetation und die Flächenbeschaffenheit der Begrünung in B1 sind nur noch schwer von der im linken oberen Bildabschnitt erkennbaren natürlichen Vegetation und Bodenstruktur unterscheidbar.  
 Fig. 12: La végétation et la structure de surface de la végétalisation dans la zone B1 s'intègrent à la végétation naturelle et à la structure du sol reconnaissable en haut à gauche de l'image.



Abb. 13: In der Untersuchungsfläche B2 ist ein gut verankertes, tief in den Boden eingelassenes Blockschuttelement zu sehen. Die Lücken zwischen den einzelnen Vegetationsziegeln haben sich bereits weitgehend geschlossen.  
 Fig. 13: Dans la zone d'expérimentation B2, on distingue un élément de roches d'éboulis profondément ancré dans le sol. Les espaces entre les différentes mottes sont déjà largement comblés.

lagerung – im Mittel nur rund 300 cm<sup>2</sup> gross waren, lagerte sich das erodierte Feinmaterial bereits innerhalb einer kurzen Distanz wieder ab. Das in den Lücken abgelagerte Feinmaterial bildet die Grundlage für die Etablierung der Pflanzen. Diese entwickeln sich zur Hauptsache entweder aus bereits im Boden vorhandenen, oder aus der angrenzenden Vegetation eingetragenen Diasporen, oder durch vegetative Ausbreitung von Arten auf den Ziegeln (Rücker & Wittmann 2006). Die in den Lücken aufkommende Vegetation ist daher – mindestens in Bezug auf die Artengarnitur – ähnlich naturnah wie

diejenige auf den umgelagerten Rasenziegeln (Abb. 6-9). Die Pflanzen, die sich in den Lücken angesiedelt haben, stabilisieren mit ihren Wurzeln das eingeschwemmte Bodenmaterial. Sie schützen, zusammen mit der sich im Laufe der Zeit akkumulierenden Streu, auch diese Flächen wirksam gegen Erosion.

### 5. Schlussfolgerungen

Insgesamt erweisen sich die im Zusammenhang mit der Erneuerung der Julierpassstrasse an relativ steilen Böschungen grossflächig und nahezu flächendeckend ausgeführten Direktumlagerungen als sehr stabil, rutsch-

und erosionsicher. Dies hauptsächlich aufgrund (1) der geschickten, mikroreliefrichen und rauen Gestaltung der Rohplanie, (2) des bereits unmittelbar nach der Umlagerung hohen Deckungsgrades der Vegetation, (3) der guten Verankerung der Ziegel im Untergrund, (4) des relativ raschen Einwachsens der Vegetation in die meist vergleichsweise kleinen Lücken zwischen den Ziegeln und (5) durch die tiefgreifend in die Böschungsbegrünung eingelagerten Felsblöcke. Im Gegensatz zu anderen ähnlichen Verfahren (z.B. Sodentransplantation und Saat- Soden-Kombinationsverfahren, Marti et al. 2016) konnte

daher bei der grossflächigen Direktumlagerung am Julierpass auch in steilen Lagen auf den Einsatz von Abdeckmaterial oder Stabilisierungspflocken zur Verhinderung von Rutschung und Erosion verzichtet werden. Zudem ist das Verfahren kostengünstig, da sich durch die direkte Umlagerung Transporte und Maschinenstunden einsparen lassen. Mit der grossflächigen Direktumlagerung können somit in Hochlagen erfolgreich und kostengünstig ökologische, erosions- und rutschsichere Begrünungen angelegt werden.

**DANK:** Besonderer Dank gilt dem Tiefbauamt Graubünden, welches die Direktumlagerung an der Julierpassstrasse in dieser Form, und auch die Masterarbeit, von welcher die Daten zu diesem Artikel stammen, ermöglicht hat. Herzlicher Dank geht zudem an den örtlichen Bauleiter E. Giovannini für die wertvollen Auskünfte und Informationen zum Projekt.

Fotos: Nora Marti, Nina von Albertini und Tiefbauamt Graubünden

## Literatur

Blume, H.P., Stahr, K., Leinweber, P. (2011): Bodenkundliches Praktikum, Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler, 3., neubearbeitete Auflage 2011, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.

Bodner, G., Nakforoosh, A., Grausgruber, H., Kaul, H.-P. (2014): Wurzeldiversität und Trockenresistenz von Getreide bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen. 69. ALVA-Tagung, LFZ Franzisko Josephinum, 2014 Tagungsbericht 2014. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, ALVA.

Kirmer, A. & Tischew, S. (2006): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden.

Krautzer, B., Partl, C., Graiss, W. (2012): Hochlagenbegrünung in Österreich: Stand des Wissens und aktuelle Herausforderungen. Ingenieurbiologie 3/2012.

Marti, N., von Albertini, N., Krüsi, B. O. (2016): Erfolgreiche Direktumlagerung von Zwergsträuchern am Julierpass (Kt. Graubünden). Ingenieurbiologie 3/2016.

Meteo Schweiz Bundesamt für Klimatologie und Meteorologie Schweiz (2015): Klimanormwerte Samedan. Normperiode 1981–2010. Abgerufen am 06.08.2014 von <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimanormwerte/klimadiagramme-und-normwerte-pro-station.html>

Oberholte, L. (2006): Standortgerechte Gehölzsaaten. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5.–9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 101-106.

Rücker, T. & Wittmann, H. (2006): Begrünungstechniken unter Verwendung der Vegetation vor Ort-Methoden im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5.–9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 141-148.

von Albertini, N. & Regli, L. (2012): Erfolgreiche Begrünungsmethode beim Bau der Julierpassstrasse. Ingenieurbiologie 3/2012.

von Albertini, N. (2014): Schlussbericht der Umwelt- und Bodenkundlichen Baubegleitung. Tiefbauamt Graubünden, Julierstrasse, Strassenkorrektur H3a, Mot – Sur Gonda.

Wittmann, H. & Rücker, T. (2006): Was ist «standortgerecht»? Theorie und Praxis der Arbeit mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut in Krautzer, B., Hacker E. Tagung 5.-9. September 2006 HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut, Irdning, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 2006.

## Kontaktadresse

Prof. Dr. Bertil O. Krüsi  
ZHAW Life Sciences  
und Facility Management  
Schloss  
8820 Wädenswil  
E-Mail: [bertil.kruesi@zhaw.ch](mailto:bertil.kruesi@zhaw.ch)

## 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  
[holzwoelle@lindner.ch](mailto:holzwoelle@lindner.ch) | [www.lindner.ch](http://www.lindner.ch)

# Erfolgreiche Direktumlagerung von Zwergsträuchern am Julierpass (Kt. Graubünden)

Nora Marti, Nina von Albertini und Bertil O. Krüsi

## Zusammenfassung

Die Hochlagenbegrünung mit einer standortgerechten Vegetation mit Zwergsträuchern gilt trotz grosser Fortschritte in der Technik und der Verfügbarkeit von Saat- und Pflanzgut noch immer als eher aufwändiges, kostenintensives und daher für grosse Flächen schwer umsetzbares Vorhaben. Bei der Strassenkorrektur der Julierpassstrasse zwischen Mot (1770 m ü.M.) und Sur Gonda (2238 m ü.M.) durch das Tiefbauamt Graubünden wurde zwischen 2008 bis 2013 versucht, eine Zwergsträucher-Begrünung rein maschinell mit der neuartigen Methode der grossflächigen Direktumlagerung anzulegen. Bei diesem Verfahren wird mit wenig Aufwand und Kosten, jedoch ökologisch respektvoll gearbeitet: Baggeraufgelagerte Vegetationsziegel (inkl. Boden- und Wurzelraum) werden aus der Spenderfläche entnommen und ohne Zwischenlagerung direkt in Reichweite des Baggerarms in der Zielfläche wieder angelegt.

Die Resultate zeigen, dass vier Jahre nach der Umlagerung von den 209 verpflanzten Zwerg-Wacholder- und Alpenrosensträuchern knapp drei Viertel vital sowie halb-vital, und nur etwa 25% abgestorben waren. Ein Jahr später waren die Zahlen noch fast gleich: Lediglich eine halb-vitale Alpenrose mit relativ hohem Totholzanteil hatte den Winter 2013-14 nicht überlebt. Die Absterberate war somit vier Jahre nach der Umlagerung nur noch gering. Bezüglich der beiden Arten Zwerg-Wacholder und Rostblättrige Alpenrose zeigte sich, dass die Alpenrose im Vergleich mit dem Wacholder auf die Umlagerung in den ersten Jahren vermehrt mit einem Absterben von Teilbereichen der Pflanzen reagierte. Diejenigen Exemplare, welche jedoch nach fünf Jahren noch halb-vital waren, konnten aufgrund des guten Zustands der vitalen Triebe auch dem langfristig lebensfähigen Bestand zugeordnet werden.

Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass eine grossflächige, direkte Umlagerung

von Zwerg-Wacholdern und Rostblättrigen Alpenrosen zur Begrünung in Hochlagen erfolgreich durchführbar ist. Die effiziente, grossflächige direkte Umlagerung von Zwergsträuchern mit grossen Baumaschinen ist somit für die Hochlagenbegrünung eine gute Methode, um erosionsichere, naturnahe, strukturell diverse und zudem artenreichere Begrünungen als bisher zu realisieren.

## Keywords

Hochlagenbegrünung, Erfolgskontrolle, Direktumlagerung Zwergsträucher, Direktumlagerung Boden- und Vegetationsziegel

## Réussite de la transposition directe des buissons nains au col du Julier (canton des Grisons)

## Résumé

La végétalisation en altitude avec une végétation adaptée à la station avec des buissons nains demeure une démarche plutôt difficile et coûteuse à mettre en œuvre, malgré les progrès techniques et la disponibilité des semences et matériaux végétaux. Lors de la correction routière du col de Julier entre Mot (1770 m) et Sur Gonda (2238 m) par le Service des ponts et chaussées du canton des Grisons entre 2008 et 2013, une nouvelle méthode de transposition directe a été essayée afin de végétaliser une grande surface de manière purement mécanique. Avec cette méthode, le travail se fait avec peu d'effort et moindre frais, tout en respectant l'écologie: des mottes de végétation de dimension d'une pelleuse (y compris sols et racines) sont prélevées de surfaces semencières et implantées sans dépôt intermédiaire directement à portée du bras de la pelleuse à l'emplacement sélectionné.

Quatre ans après la transposition de 209 genévriers nains et buissons de rho-

dodendron, les résultats montrent que près des trois quarts des arbustes sont vitaux et semi-vitaux, et seulement 25% sont morts. L'année suivante, les chiffres n'ont pas changé: seule une plante de rhododendron des Alpes semi-vitale avec une grande part de bois mort n'a pas survécu à l'hiver 2013-14. Le taux de mortalité 4 ans après la transposition est resté faible. Concernant les différences entre les genévriers nains et les rhododendrons ferrugineux, il s'avère que le rhododendron des Alpes réagit dans les premières années avec une mortalité accrue des parties végétales par rapport au genévrier. Mais les spécimens semi-vitaux après 5 années pouvaient être classés au stock des viables à long terme grâce à leur bon état de pousse. Dans l'ensemble, l'étude montre qu'une transposition directe en grande surface du genévrier nain et du rhododendron ferrugineux pour la végétalisation en altitude peut être réalisée avec succès. La transposition directe en grande surface de buissons nains avec une machine de chantier est ainsi une méthode adéquate pour la végétalisation en altitude afin de réaliser une végétalisation sûre contre l'érosion, proche de la nature, structurellement diversifiée et en outre riche en biodiversité.

## Mots-clés

Végétalisation en altitude, contrôle d'efficacité, transposition directe d'arbustes nains, transposition directe de motte de terre et de végétation

## Successo del trapianto diretto di arbusti nani sul passo del Giulia (Ct. Grigioni)

## Riassunto

L'inverdimento ad alta quota con arbusti nani affini alla stazione è da considerarsi un progetto piuttosto complicato e costoso. Nonostante i grandi progressi della tecnica e nella disponibilità di sementi e piante rimane difficilmente

applicabile a grandi aree. Durante la correzione della strada del passo del Giulia tra Mot (1770 m s.l.m.) e Sur Gonda (2238 m s.l.m.) nel periodo 2008-2013, la divisione delle costruzioni del Canton Grigioni ha sperimentato il rinverdimento a macchina con arbusti nani applicando l'innovativo metodo del trapianto diretto su vasta scala. Questo procedimento permette di lavorare con poco sforzo e a costi contenuti, tuttavia in modo rispettoso dell'ambiente. Zolle vegetali della taglia della benna dell'escavatore, suolo e radici inclusi, vengono prelevate dall'area donatrice e, senza stocarle, trapiantate direttamente nel raggio d'azione del braccio dell'escavatore. La ricerca dimostra che l'inverdimento ad alta quota tramite trapianto diretto su vasta scala di ginepri nani e rododendri ferroginosi è fattibile. Il trapianto diretto su vasta scala con arbusti nani per il rinverdimento ad alta quota è un metodo efficiente e valido. Permette infatti realizzare inverdimenti che proteggono dall'erosione, sono vicini alla natura e strutturalmente diversi, oltre che più ricchi di specie rispetto a oggi.

### Parole chiave

Inverdimento ad alta quota, monitoraggio, trapianto diretto di arbusti nani, trapianto diretto di zolle di suolo e vegetazione

## 1. Einleitung

Bei der Strassenkorrektur der Julierpassstrasse zwischen Mot (1770 m.ü.M.) und Sur Gonda (2238 m.ü.M.) durch das Tiefbauamt Graubünden wurden in den Jahren 2008 bis 2013 ca. 65% des Gebiets mit der Methode der grossflächigen Direktumlagerung rekultiviert (von Albertini 2014). Bei der grossflächigen Direktumlagerung wird der Boden mit der Vegetation und deren Wurzelraum als Gesamtes ohne Zwischenlagerung direkt innerhalb der Baggerreichweite umgelagert (siehe auch Marti et al. 2016, von Albertini 2014). Die Hochlagenvegetation in diesem Gebiet ist geprägt durch Borstgras- und Milchkrutweiden in Vergesellschaftung mit Zwergstrauchheiden. Beim Bau wurde das Böschungsrelief der umgebenden Landschaft soweit als

möglich nachempfunden, prägende Elemente des Landschaftsbilds wie Blockschutt eingesetzt und eine direkt umgelagerte Begrünung mit Kraut-, Gras- und Strauchschicht erstellt (von Albertini 2014). Mit dieser ökologisch respektvollen Methode der grossflächigen Direktumlagerung wurde einerseits dem hohen Stellenwert der Schutzfunktion bei Begrünungen in den ökologisch sensiblen Hochlagegebieten (Bossard et al. 2013), andererseits der bestmöglichen Einpassung der Strasse und der Begrünung in die Lebensräume und das Landschaftsbild (Oberholte 2006) Rechnung getragen. Eine Erfolgskontrolle im ersten Jahr nach Abschluss der Arbeiten zeigte naturnahe, erosions-sichere Borstgras- und Milchkrutweiden und eine auf den ersten Blick insgesamt positive Vitalitäts-Bilanz für die umgelagerten Zwergsträucher. Die weitgehend geschlossene Vegetationsschicht der direkt umgelagerten Begrünungen liess sich visuell bereits nur noch schwer von der angrenzenden, ungestörten Vegetation unterscheiden (von Albertini 2014, von Albertini & Regli 2012). Besonders interessant ist die Direktumlagerung der Zwergsträucher im Projektgebiet. Die grossflächige Pflanzung von Zwergsträuchern in Hochlagen galt bisher als aufwändig und teuer (Bossard et al. 2013). Zur Verpflanzung bzw. Umlagerung von Vegetationsziegeln mit Zwergsträuchern (z.B. auch Kurz & Schütz 2012) gibt es bisher nur wenig dokumentierte Beispiele und fast keine Angaben zur Erfolgs- und Ausfallrate. Bei den wenigen Untersuchungen, welche solche Angaben enthalten, lagen die Ausfallraten (z.B. für Wacholder- oder Rhododendron-Arten) bei 20-100% (Wittmann & Rücker 2006). Ziel unserer Untersuchung war herauszufinden, wie erfolgreich sich die beiden im Projektgebiet häufigsten Zwergstrauch-Arten, Zwerg-Wacholder (*Juniperus communis* subsp. *alpina*) und Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*), verpflanzen lassen. Die konkreten Fragestellungen dazu lauten:

- Wie viele der 2009 umgelagerten Zwergsträucher waren 2013 bzw. 2014 vital, halb-vital bzw. tot?
- Gibt es Art-spezifische Unterschiede bei der Überlebenswahrscheinlichkeit?

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Julierpassstrasse im Kanton Graubünden in der subalpinen Stufe der Zentralalpen zwischen ca. 1900 und 2200 m.ü.M.. Zwischen 2008 und 2013 wurde die Passstrasse oberhalb des Dorfes Bivio (GR) durch das Tiefbauamt Graubünden auf einer Länge von ca. 3800 m verbreitert, bereichsweise neu angelegt und begradigt. Dazu und für Lawinenschutzmassnahmen waren grosse Abtragungen und Schüttungen nötig (von Albertini 2014).

Die Vegetation im Gebiet ist geprägt durch Borstgrasrasen, welcher in der extensiv beweideten Landschaft, entsprechend dem vorherrschenden Kleinrelief, mosaikartig mit Milchkrutweiden und Zwergstrauchbeständen durchsetzt ist. Häufig sind im Gebiet insbesondere die folgenden Zwergstrauch-Arten (Nomenklatur gemäss Lauber et al. 2012): Zwerg-Wacholder (*Juniperus communis* subsp. *alpina*), Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*), Besenheide (*Calluna vulgaris*) und verschiedene Vaccinium-Arten (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *V. gaultherioides*). Zur Untersuchung des Erfolgs der Umlagerung der Zwergsträucher wurden zwei direkt umgelagerte Böschungen ausgewählt, welche einen besonders hohen Anteil an Zwergsträuchern und sehr ähnliche Standort-Eigenschaften aufwiesen (Abb. 1).

### 2.2 Feldaufnahmen

Entsprechend der lokalen Zusammensetzung der Zwergstrauch-Bestände waren im Jahr 2009 vor allem Zwerg-Wacholder (142 Individuen) und Rostblättrige Alpenrosen (67 Individuen) umgelagert worden. Im August 2013 und 2014 wurden von den insgesamt 209 umgelagerten Zwergwacholder- und Alpenrosen-Sträuchern der Vitalitätszustand beurteilt und die GPS-Koordinaten erfasst. Die umgelagerten Wacholder- und Alpenrosen Sträucher hatten einen mittleren Durchmesser von 70 cm bzw. 45 cm und eine durchschnittliche Höhe von 40 cm bzw. 45 cm. Auf eine Aufnahme der umgelagerten Heidelbeer- und Besenheide-Pflanzen wurde verzichtet, da sie wegen ihrer niedrigen

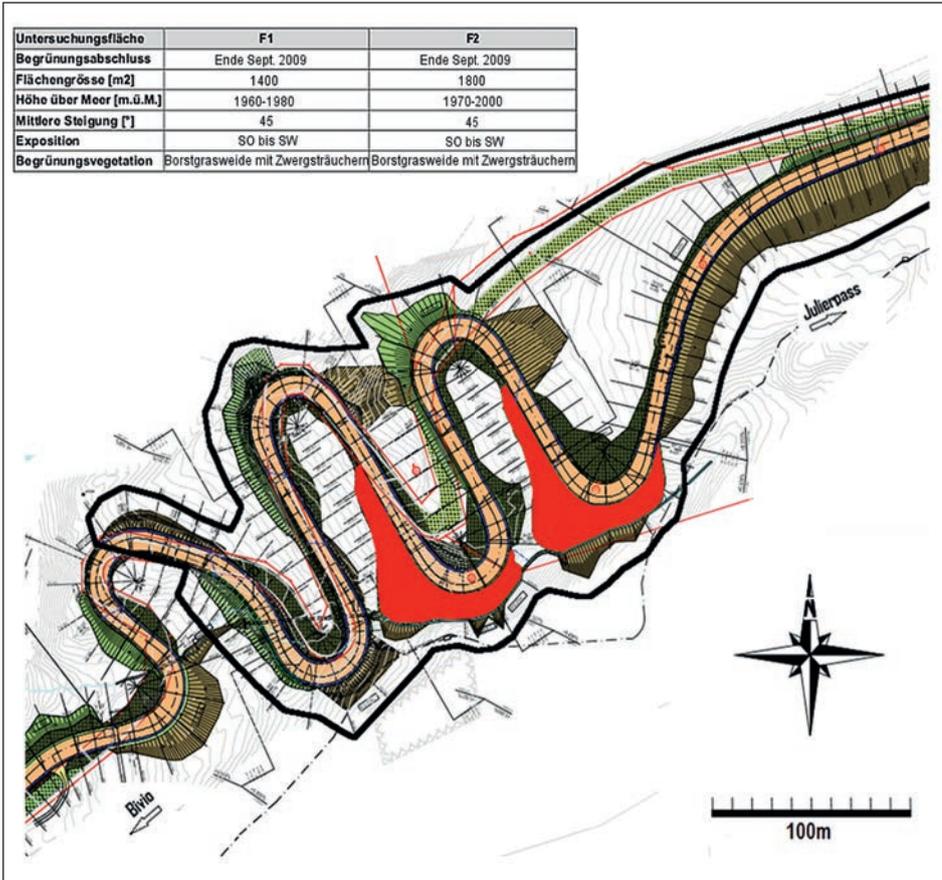


Abb. 1: Untersuchte Flächen mit direkt umgelagerten Zwergsträuchern (rot) im Projektgebiet Julierpassstrasse. Tabellarische Angaben zu den Daten der Untersuchungsflächen (modifizierter Plan des Projektperimeters aus von Albertini 2014).

Fig. 1: Surfaces examinées avec des transpositions de buissons nains (rouge) dans la zone du projet routier du col du Julier. Données tabulaires des surfaces d'expérimentation (plan modifié du périmètre du projet selon Albertini 2014).

Wuchshöhe (durchschnittlich 20 cm) in der relativ hochwüchsigen Vegetation nur schwer auffindbar waren. Bei den Aufnahmen im Feld wurden die drei folgenden Vitalitäts-Klassen unterschieden:

– «vital»: Der Zwergstrauch weist zum Zeitpunkt der Aufnahme weniger als

25% Totholz auf (Abb. 2). Er entspricht gemäss der gutachterlichen Beurteilung insgesamt in seinem Vitalitätszustand den, in der natürlichen Umgebung vorkommenden, vitalen Zwergsträuchern seiner Art.

– «halb-vital»: Der Zwergstrauch hat zum Zeitpunkt der Aufnahme ei-

nen Totholzanteil von 25–50% (Abb. 3). Gemäss der gutachterlichen Beurteilung scheint das durch die Umlagerung verursachte teilweise Absterben des Strauches gestoppt. Das Wurzelwerk scheint sich vier, resp. fünf Jahre nach der Umlagerung wieder gut etabliert zu haben. Der vitale Anteil des Strauches weist neue Triebe, Blätter und Blüten auf und wird als langfristig stabil und lebensfähig angesehen.

– «tot»: Der Zwergstrauch ist zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits vollständig tot oder hat einen Totholzanteil von mehr als 50% (Abb. 4). Bei Individuen, welche noch vitale Teile aufweisen, sind diese Triebe im Vergleich mit nicht umgelagerten, artgleichen Zwergsträuchern in ihrer Vitalität stark eingeschränkt und weisen verdorrte Bereiche auf. Gutachterlich wird der zukünftige Ausfall solcher Individuen im Vergleich mit nicht umgelagerten Exemplaren der gleichen Art als sehr viel wahrscheinlicher eingeschätzt.

### 3. Resultate

In den beiden untersuchten Begrünungsflächen (Abb. 1) waren im Jahr 2009 insgesamt 142 Wacholder- und 67 Alpenrosen-Sträucher direkt umgelagert worden. Bei der ersten Vitalitätsuntersuchung im Jahr 2013 waren von den total 209 umgelagerten Sträuchern 46% «vital», 29% «halb-vital» und 25% «tot» (Abb. 5). 2014 war nur der Anteil der toten Exemplare marginal grösser als 2013 (26% vs. 25%).

Die Analyse der umgelagerten Zwergsträucher nach Arten zeigte, dass im Jahr 2013 von den 142 umgelagerten Wacholder-Exemplaren 81 (57%)



Abb. 2: Zustandsklasse «vital». Links Rostblättrige Alpenrose, rechts Zwerg-Wacholder.

Fig. 2: Classe d'état «vital». À gauche rhododendron ferrugineux des Alpes, à droite genévrier nain.



Abb. 3: Zustandsklasse «halb-vital». Links Rostblättrige Alpenrose, rechts Zwerg-Wachholder.

Fig. 3: Classe d'état «semi-vital». À gauche rhododendron ferrugineux des Alpes, à droite genévrier nain.



Abb. 4: Zustandsklasse «tot». Links Rostblättrige Alpenrose, rechts Zwerg-Wachholder.

Fig. 4: Classe d'état «mort». À gauche rhododendron ferrugineux des Alpes, à droite genévrier nain.

«vital», 26 (18%) «halb-vital» und 35 (25%) «tot» waren (Abb. 6). Bei den 67 umgelagerten Alpenrosen waren 15 (22%) «vital», 34 (51%) «halb-vital» und 18 (27%) «tot» (Abb. 7). Bei der zweiten Aufnahme des Vitalitätszustands der Sträucher 2014 zeigte sich nur bei den Rostblättrigen Rhododendren eine Veränderung. Ein Exemplar mit hohem Totholzanteil, das 2013 noch als halb-vital beurteilt worden war, hatte den Winter nicht überstanden. Fünf Jahre nach der direkten Umlagerung waren 75% der Wacholder-Exemplare noch am Leben und 57% der noch lebenden Individuen waren voll vital (Abb. 6). Bei den Alpenrosen waren 2014 noch 72% der umgelagerten Individuen am Leben aber nur 22% der noch lebenden Individuen waren voll vital (Abb. 7).

#### 4. Diskussion

Vier Jahre nach der Umlagerung waren von den 209 verpflanzten Wachol-

der- und Alpenrosen-Sträuchern fast die Hälfte (46%) vital und gut ein Viertel (29%) halb-vital. Ein Jahr später waren die Zahlen noch fast gleich: Lediglich eine halb-vitale Alpenrose hatte den Winter 2013–14 nicht überlebt. Es wird vermutet, dass in den ersten Jahren nach der Umlagerung eine hohe Ausfallrate besteht, welche mit der Zeit abnimmt. Darauf deuten der Anteil von 25% toten Zwergsträuchern, welche im Zeitraum 2009 bis zum Aufnahmezeitpunkt 2014 abgestorben sind, und die anschliessend geringe Ausfallrate von 1% im Winter 2013–14 hin. Bei den halb-vitalen Exemplaren ist anzunehmen, dass sie wahrscheinlich bei der Umlagerung eine Schädigung erlitten haben, wodurch in der ersten Zeit nach der Direktumlagerung Teile der Pflanze abgestorben sind. Es scheint jedoch genügend intaktes Wurzelwerk vorhanden gewesen zu sein, damit es sich innerhalb der vier, resp. fünf Jahre seit der Umlagerung re-

generieren konnte. Auf gute Überlebenschancen weisen auch die lebenden Teile der als halb-vital klassifizierten Zwergsträucher hin. Sie hatten ähnlich viele neue Triebe, Blätter und Blüten wie die nicht umgelagerten Exemplare in der näheren Umgebung. Auch die «halb-vitalen» Exemplare können daher als gut etabliert und langfristig lebensfähig eingestuft werden.

Entsprechend der Zusammensetzung der lokal vorhandenen Zwergstrauch-Bestände war der Anteil der umgelagerten Zwerg-Wacholder-Pflanzen mit 142 Individuen deutlich grösser als jener der umgelagerten Alpenrosen mit 67 Exemplaren. Fünf Jahre nach der Umlagerung waren bei beiden Arten noch knapp drei Viertel am Leben. Der Anteil an voll vitalen Exemplaren war beim Zwerg-Wacholder mit 57% jedoch deutlich grösser als bei der Rostblättrigen Alpenrose mit 22%. Dies lässt darauf

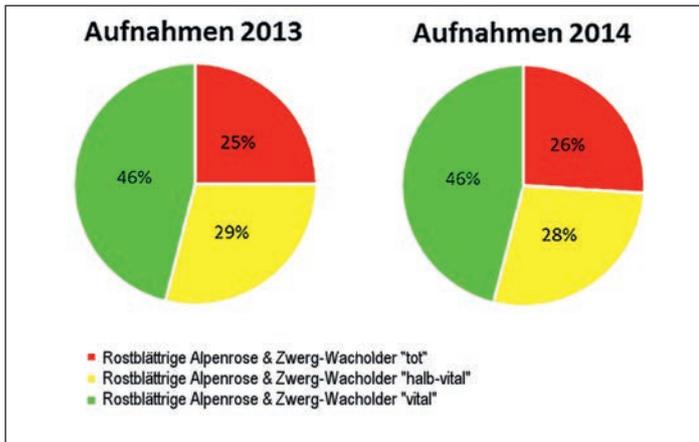


Abb. 5: Prozentuale Anteile von allen erfassten Zwergsträucher (Rostblättrige Alpenrose und Gemeiner Wacholder) mit Angabe zum Vitalitätszustand. Dargestellt sind die Resultate der Aufnahmen aus den Jahren 2013 und 2014.  
 Fig. 5: Proportion de tous les buissons nains (rhododendron ferrugineux et genévrier commun) avec données sur leur état de vitalité. Les résultats des saisies des années 2013 et 2014 sont présentés.

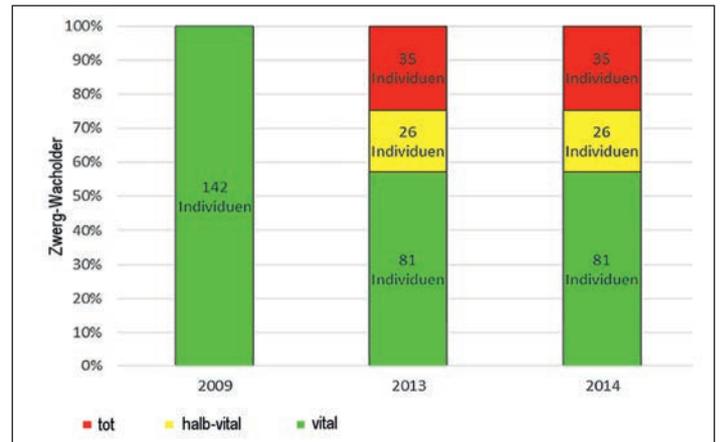


Abb. 6: Anzahl und prozentuale Anteile des Vitalitätszustands der direkt umgelagerten Zwergsträucher des Gemeinen Wacholders in den Jahren 2009, 2013 und 2014.  
 Fig. 6: Nombre et pourcentage des parts de vitalité des buissons nains de genévriers communs directement transposés dans les années 2009, 2013 et 2014.

schliessen, dass der Zwerg-Wacholder die direkte Umlagerung, bei welcher auch ein Teil der Wurzeln abgeschnitten oder verletzt werden, im Allgemeinen besser übersteht als die Rostblättrige Alpenrose. Wie oben bereits erwähnt, können jedoch auch die halb-vitalen Rostblättrigen Alpenrosen, welche anfänglich auf die Umlagerung mit partiellem Absterben reagiert hatten, nach fünf Jahren Regeneration ohne Weiteres zu den erfolgreich umgelagerten Zwergsträuchern gezählt werden. Die Tatsache, dass fünf Jahre nach der Umlagerung lediglich rund ein Viertel

der verpflanzten Sträucher tot oder fast tot war, zeigt, dass sowohl der Zwerg-Wacholder als auch die Rostblättrige Alpenrose für grossflächige Direktumlagerung geeignet sind, obwohl diese Arten gemäss Literatur auf Verpflanzung sensibel reagieren (Broome 2003). Auch bei sorgfältiger Sodentransplantation beobachteten Wittmann und Rücker (2009) bei diesen beiden Arten Ausfälle von 50-100%, während andere Gehölze wie Weiden (*Salix* spp.) und Erlen (*Alnus* spp.) dies im gleichen Gebiet mit deutlich weniger Ausfall überstanden (Wittmann & Rücker 2009). Gemäss

Auskunft der zuständigen Umweltbau- begleiterin könnte die Erfolgsrate für die grossflächige Direktumlagerung der Zwergsträucher durch eine sorgfältigere Umlagerung unter Erhaltung des gesamten Wurzelwerkes und der Transplantation mit kontrolliertem Bodenanschluss für die Wurzeln, noch verbessert werden. Im Projektgebiet wurden die Vegetationsziegel mit Zwergsträuchern rein maschinell mit der Schaufel eines 25t Grossbaggers entnommen und umgelagert. Wegen der im Gebiet vorhandenen Steine und Felsen konnte nicht verhindert werden, dass ein Teil der verzweigten Wurzeln der Sträucher abbrechen. Anschliessend wurden die Sträucher direkt, ohne gartenbauliche Zusatzmassnahmen wie z.B. dem Abdecken der Wurzeln etc. platziert. Mittels eines zusätzlichen Arbeitsganges (Handlanger) hätte der Erfolg bezüglich der Vitalität der Sträucher noch gesteigert werden können (von Albertini 2014).

Die Untersuchung zeigt, dass eine erfolgreiche und relativ kostengünstige Realisierung von Begrünungen mit Zwergsträuchern mit der Methode der grossflächigen Direktumlagerung möglich ist. Im Vergleich zu den aus der Literatur bekannten Begrünungsverfahren mit Zwergsträuchern bringt die flächendeckende Direktumlagerung bessere Ergebnisse bei deutlich kleineren Kosten. Zu den aus der Literatur bekannten Methoden zur Transplantation von Zwergsträuchern gehören die Sodentrans-

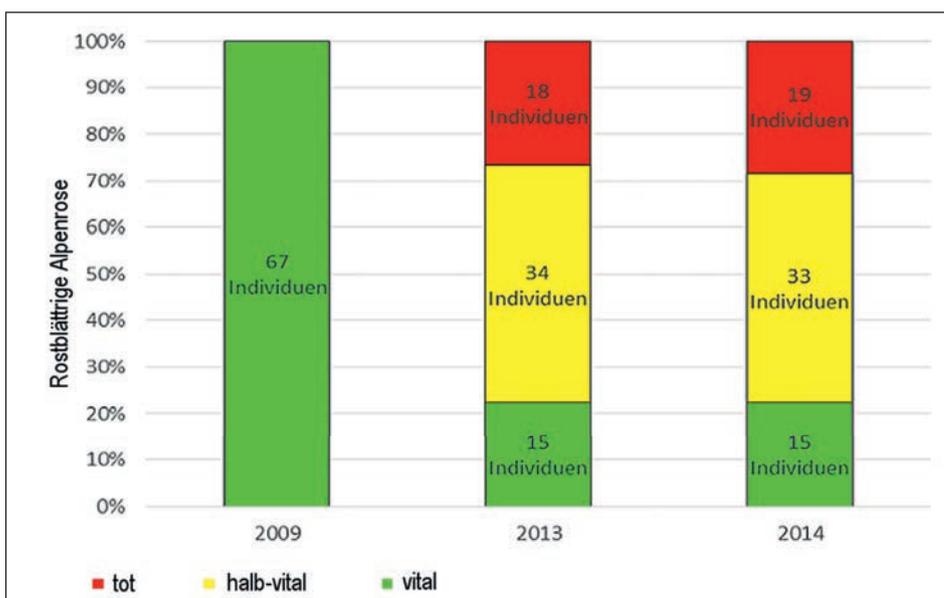


Abb. 7: Anzahl und prozentuale Anteile des Vitalitätszustands der direkt umgelagerten Zwergsträucher der Rostblättrigen Alpenrose in den Jahren 2009, 2013 und 2014.  
 Fig. 7: Nombre et pourcentage des états de vitalité des buissons nains de rhododendron ferrugineux des Alpes directement transposés dans les années 2009, 2013 et 2014.

transplantation sowie das Saat-Soden-Kombinationsverfahren (Bosshard et al. 2013; Wittmann & Rücker 1999). Beide Verfahren verwenden Soden oder grössere Vegetationselemente aus dem Eingriffsgebiet selber, oder der Umgebung, welche dann gelagert und nach dem Eingriff wieder angelegt werden. Bei der Sodentransplantation werden die Soden möglichst flächendeckend ausgebracht und beim Saat-Soden-Kombinationsverfahren mit Abstand, wobei in den Zwischenräumen angesät wird (Bosshard et al. 2013). Mit diesen Methoden können rasche und sehr naturnahe Begrünungen von Kraut-, Gras- und bestimmten Strauchschichten in den Hochlagen erzielt werden (Bosshard et al. 2013, Wittmann & Rücker 2006 & 2012). Im Vergleich zur Direktumlagerung am Julierpass werden gemäss dem Beschrieb von Projekten von Wittmann und Rücker (2012) bei der Sodentransplantation und beim Saat-Soden-Kombinationsverfahren Vegetationsziegel mit geringerer Mächtigkeit entnommen (Wittmann & Rücker 2012). Dadurch werden die Soden eher oberflächlich wieder angelegt, während bei der Direktumlagerung Vegetationsziegel mit Boden- und Wurzelraum tiefer verzahnt angebracht werden. Die Sodentransplantation und das Saat-Soden-Kombinationsverfahren sind zudem kostenintensiv (Bosshard et al. 2013). Gründe hierfür liegen wahrscheinlich darin, dass gemäss Rücker und Wittmann (2006) bei beiden Methoden in Hanglage auch weitere ingenieurbioologische Massnahmen wie die Fixierung der Ziegel mit Holzpfählen oder die Erosionssicherung mit Netzen ausgeführt werden, und dass beim Saat-Soden-Kombinationsverfahren auch eine zusätzliche Ansaat der Krautschicht mit standortgerechtem Saatgut notwendig ist (Rücker & Wittmann 2006). Auch die Methode der Gehölzpflanzung, mit welcher sich naturnahe Begrünungen mit Zwergsträuchern realisieren lassen, ist kosten- und pflegeintensiv. Erst muss standortgerechtes Pflanzmaterial erzeugt werden, und dann sind mehrjährige Pflegemassnahmen notwendig, bis die Gehölze sich etabliert haben und sich selbst überlassen werden können (Bosshard et al. 2013, Obernolte 2006). Bei der Direktumlagerung findet hingegen die ge-

samte Umlagerung maschinell statt, und die gesamte Vegetation stammt aus dem Eingriffsgebiet – weder werden Saatgut noch Setzlinge benötigt, noch bedürfen die Gehölze jahrelanger Pflege (von Albertini 2014). Zusätzliche ingenieurbioologischen Massnahmen zum Schutz gegen das Abrutschen der Ziegel oder vor Erosion sowie eine Ansaat sind auch in den Hanglagen nicht notwendig, wenn genügend Ausgangsmaterial für eine flächendeckende Umlagerung vorhanden ist (Marti 2016, von Albertini 2014). Die grossflächige Direktumlagerung erweist sich auch bezüglich des Landschaftsbildes im Vergleich mit anderen Verfahren als vorteilhaft. Dank der natürlich gewachsenen Vegetation besteht bei der Direktumlagerung nicht die Gefahr, dass ein künstlicher Eindruck entsteht, wie dies bei schachbrettartigen Gehölzpflanzungen auftreten kann (Obernolte 2006). Bei der Pflanzung von Zwergsträuchern wird zudem empfohlen, diese erst nach zwei bis drei Jahren in der Begrünung auszuführen (Gallmetzer 2006), wodurch die Begrünung in diesem Zeitraum weniger naturnah aussieht als die Direktumlagerung. Dieses Problem besteht auch bei der kostengünstigen Gehölzansaat, mit der sehr naturnah strukturierte und stabile Begrünungen erzeugt werden können, welche aber eben auch erst nach mehreren Jahren ihren Beitrag zum Landschaftsbild entfalten (Gallmetzer 2006). Insgesamt bietet die flächendeckende Direktumlagerung somit eine neuartige, interessante Technik zur naturnahen grossflächigen Hochlagenbegrünung.

### 5. Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt, dass eine grossflächige, direkte Umlagerung von Zwerg-Wacholdern und Rostblättrigen Alpenrosen zur Begrünung in den Hochlagen erfolgreich und kostengünstig durchführbar ist. Diese effiziente Umlagerung von Zwergsträuchern mit grossen Baumaschinen ist somit für die Hochlagenbegrünung eine gute Methode, um erosionssichere, naturnahe, strukturell diverse und noch artenreichere Begrünungen als bisher zu realisieren. Insbesondere in Hanglage, wie dies in den Hochlagen meist der Fall ist, verleihen vitale Zwergsträucher mit ihrem Wurzelgeflecht neben den Kräutern und Grä-

sern den Begrünungen zusätzlich Stabilität und einen besseren Erosionsschutz (Gallmetzer 2006, Obernolte 2006, Schaffer et al. 2006) – und sogar abgestorbene Sträucher leisten durch ihr Wurzelgeflecht während einigen Jahren noch einen wertvollen Beitrag zur Stabilisierung (von Albertini 2014). Zudem erweist sich die Direktumlagerung bezüglich Naturnähe, landschaftlicher Einpassung und Aufwand im Vergleich mit anderen Verfahren als sehr effektiv. Selbstverständlich ist auch die Methode der grossflächigen Direktumlagerung nicht überall anwendbar. In Gebieten wo kein Einsatz von Maschinen möglich ist, oder wo zu wenig Boden und Vegetation für eine Direktumlagerung vorhanden sind, müssen andere Methoden angewendet werden. Da in den letzten 20 Jahren durch bessere Techniken und die Verfügbarkeit von standortgerechtem und autochthonem Saatgut und Setzlingen (Krautzer et al. 2012, Kirmer & Tischew 2006) grosse Fortschritte in der Hochlagenbegrünung gemacht worden sind, können heute aus unterschiedlichen naturnahen Verfahren die, für die jeweilige Begrünung, am besten passenden gewählt werden. Mit der Methode der grossflächigen Direktumlagerung von mit Zwergsträuchern besetzten Vegetationsziegeln steht nun solch ein weiteres erfolgversprechendes Hochlagenbegrünungsverfahren, welches kostengünstig und einfach umsetzbar ist, zur Verfügung.

DANK: Besonderer Dank gilt dem Tiefbauamt Graubünden, welches die Direktumlagerung an der Julierpassstrasse in dieser Form, und auch die Masterarbeit, von welcher die Daten zu diesem Artikel stammen, ermöglicht hat. Herzlicher Dank geht zudem an den örtlichen Bauleiter E. Giovannini für die wertvollen Auskünfte und Informationen zum Projekt.

Fotos: Nora Marti, Nina von Albertini und Tiefbauamt Graubünden

### Literatur

Bosshard, A., Mayer, P. & Mosimann, A. (2013): Leitfaden für naturgemässe Begrünungen in der Schweiz. Mit besonderer Berücksichtigung der Biodi-

versität. Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH, 8966 Oberwil-Lieli.

Broome, A. (2003): Growing Juniper: Propagation and Establishment Practises. Research Note including Information Note, Forestry Commission UK, September 2003.

Gallmetzer, W. (2006): Produktion und Einsatz von Containerpflanzen für standortgerechte Begrünungen im Hochgebirge. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5-9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 135-140.

Kirmer, A. & Tischew, S. (2006): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden.

Krautzer, B., Partl, C. & Graiss, W. (2012): Hochlagenbegrünung in Österreich: Stand des Wissens und aktuelle Herausforderungen. Ingenieurbiologie 3/2012.

Kurz, B. & Schütz, W. (2012): Das Speicherkraftwerk Kartell Moostal-Verwall-Westtirol. Ingenieurbiologie 3/2012.

Lauber, K., Wagner, G. & Gygax, A. (2012): Flora Helvetica: Artbeschreibungen und Bestimmungsschlüssel. 5. Aufl., Haupt Verlag, Bern.

Locher Oberholzer, N., Streit M., Frei M., Andrey C., Blaser R., Meyer J. et al. (2008): Richtlinien Hochlagenbegrünung. Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbiologie, Heft Nr. 2.

Marti, N., von Albertini, N. & Krüsi, B. O. (2016): Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren. Ingenieurbiologie 3/2016.

Oberholte, L. (2006): Standortgerechte Gehölzsaaten. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5-9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 101-106.

Rücker, T. & Wittmann, H. (2006): Begrünungstechniken unter Verwendung der Vegetation vor Ort-Methoden im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5.-9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 141-148.

Schaffer, R., Markart, G., Kol, B. & Pirkel, H. (2006): Förderung der Verbreitung von Zwergsträuchern in alpinen Einzugsgebieten. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5.-9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 97-100.

von Albertini, N. & Regli, L. (2012): Erfolgreiche Begrünungsmethode beim Bau der Julierpassstrasse. Ingenieurbiologie 3/2012.

von Albertini, N. (2014): Schlussbericht der Umwelt- und Bodenkundlichen Baubegleitung. Tiefbauamt Graubünden, Julierstrasse, Strassenkorrektur H3a, Mot – Sur Gonda.

Wittmann, H. & Rücker, T. (1999): Rekultivierung von Hochlagen. Laufender Seminarbeitr. 6/99, S.69-78. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. Laufen/Salzach 1999.

Wittmann, H. & Rücker, T. (2006): Was ist «standortgerecht»? Theorie und Praxis der Arbeit mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. In Krautzer, B., Hacker E. (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut. Tagung 5.-9. September 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S. 11-30.

Wittmann, H. & Rücker, T. (2012): Standortgerechte Hochlagenbegrünung in Österreich-ein Bericht aus der Praxis. Ingenieurbiologie 3/2012.

**Kontaktadresse:**

Nina von Albertini  
Dipl. Ing. Agr. ETH  
Umwelt Boden Bau  
CH-7414 Paspels  
E-Mail: nina.v.albertini@bluewin.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 · relianz@relianz.ch

# Vegetation, Oberflächenerosion und Aggregatstabilität auf alpinen Weiden

Regula Malin und Christian Rixen

## Zusammenfassung

In der Schweiz werden grosse Teile des alpinen Gebietes beweidet. Dies hat zur Folge, dass die Vegetationsdecke regelmässig durch Tierfrass und Vertritt beschädigt wird. In der vorliegenden Studie wurden die Konsequenzen einer solchen Beschädigung auf flächige Erosion sowie auf die Aggregatstabilität des Oberbodens untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass eine Abnahme der Vegetationsdecke unter 50% zu höherem Bodenabtrag führt. Die Aggregatstabilität im Oberboden hing signifikant von der Wurzelmenge ab, stand aber nicht direkt im Zusammenhang mit der Vegetationsbedeckung oder dem Bodenabtrag. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Oberflächenerosion und Aggregatstabilität, beides wichtige Faktoren für die Stabilität von Hängen, von verschiedenen Boden- und Vegetationsfaktoren abhängen. Alpine Weiden mit einer Neigung von 20° sollten eine Vegetationsbedeckung von mindestens 50% aufweisen, um Oberflächenerosion zu verhindern. Um zusätzlich vor Rillenerosion zu schützen, sollte die Vegetationsbedeckung vermutlich sogar über 70% liegen. Unsere Erkenntnisse unterstützen, dass bezüglich Naturgefahrenprävention im Alpenraum moderate Beweidung auf mässig steilen Hängen durchaus zulässig ist.

## Keywords

Beweidung, Aggregatstabilität, flächige Erosion, Vegetationsbedeckung

## *Végétation, érosion en surface et stabilité de l'agrégat sur des prairies alpines*

## Résumé

En Suisse, de grandes parties de la région alpine sont mises en pâturage, avec pour conséquence que la couver-

ture végétale est régulièrement endommagée par le pacage et le piétinement. Dans l'étude suivante, les conséquences d'un tel endommagement sur l'érosion en surface ainsi que sur la stabilité de l'agrégat de la couche supérieure ont été examinées. Il a été démontré que la diminution de la couverture végétale en dessous de 50% mène à une plus grande érosion du sol. La stabilité de l'agrégat sur la surface du sol dépend significativement de la quantité des racines, mais n'est pas directement en rapport avec la couverture végétale ou l'érosion du sol. Ce résultat indique que l'érosion en surface et la stabilité de l'agrégat, deux facteurs importants pour la stabilité des pentes, dépendent de différents facteurs du sol et de la végétation. Des prairies alpines avec une pente de 20° devraient présenter une couverture du sol d'au moins 50% afin d'empêcher une érosion en surface. Afin de protéger en plus contre l'érosion par ruissellement, la couverture végétale devrait être vraisemblablement au-dessus de 70%. Nos expériences soutiennent le fait qu'il est tolérable en regard de la prévention de dangers naturels de laisser paître les animaux d'une façon modérée sur des pentes moyennement raides.

## Mots-clés

Pâturage, stabilité d'agrégat, érosion en surface, couverture végétale

## *Vegetazione, erosione della superficie e stabilità degli aggregati di pascoli alpini*

## Riassunto

In Svizzera una grande parte dell'area alpina è sfruttata come pascolo ed in conseguenza la copertura vegetale è danneggiata dalla brucatura e dal passaggio degli animali. In questo studio sono state ricercate le conseguenze del danneggiamento sull'erosione e

sulla stabilità dell'aggregato del terreno superficiale. È stato dimostrato che una riduzione della superficie vegetale inferiore al 50% comporta una maggiore erosione del suolo. La stabilità dell'aggregato degli orizzonti superficiali dipende fortemente dalla quantità di radici, mentre non dipende direttamente dalla copertura vegetale o dall'erosione. Questo risultato indica che l'erosione della superficie e la stabilità dell'aggregato, entrambi fattori importanti nella stabilità di versanti, dipendono da diversi fattori del suolo e della vegetazione. Pascoli alpini con pendenza di 20° dovrebbero garantire una copertura vegetale minima del 50% per evitare l'erosione superficiale. Per evitare l'erosione incanalata in rivoli la copertura dovrebbe probabilmente superare almeno il 70%. I nostri risultati indicano che, per quanto riguarda la prevenzione dei pericoli naturali nelle Alpi, pascoli contenuti su pendii moderati sembrano effettivamente accettabili.

## Parole chiave

Pascolo, stabilità dell'aggregato, erosione spaziale estesa, copertura vegetale

## 1. Einleitung

Oberflächenerosion ist ein schleicher, kaum sichtbarer Prozess, der schwierig zu quantifizieren ist. Diese Form von Erosion kann jedoch starke Auswirkungen für die Berggebiete sowie die Talregionen haben. Durch den Verlust an humosem und nährstoffreichem Boden büsst die Bodenfruchtbarkeit in den höher gelegenen Gebieten stark ein. Im Tal hingegen können Verschlammung und Eutrophierung der Gewässer zu Problemen werden. Unter der Annahme, dass zukünftig Starkniederschläge häufiger auftreten (Meteo Schweiz 2014), was flächige Erosion



Abb. 1: Feldarbeit an den Südosthängen über dem Dorf St. Antönien im Sommer 2014. Foto: R. Malin  
 Fig. 1: Travaux de champ sur les pentes sud-est au-dessus du village St. Antonien en été 2014. Photo: R. Malin

begünstigen würde (Routschek et al. 2014), muss mit einer Verschärfung dieser Problematik gerechnet werden. Eine intakte Vegetationsbedeckung bietet in verschiedener Hinsicht einen wirksamen Schutz gegen flächige Erosion. Durch Interzeption bewirkt der oberirdische Teil der Vegetation eine Reduktion der Wassermenge, welche die Bodenoberfläche erreicht, und der Aufprallenergie der Regentropfen. Die Wurzeln wirken sich zudem positiv auf die Aggregatstabilität des Bodens aus (Pohl et al. 2009, 2012; Schindler Wildhaber et al. 2012). Ein positiver Einfluss einer hohen Aggregatstabilität auf Oberflächenerosion konnte jedoch erst selten nachgewiesen werden (vgl. Schindler Wildhaber et al. 2012, Rinzi et al. 2013).

Auf alpinen Weiden wird die Vegetationsdecke regelmässig durch Tierfrass und Vertritt beschädigt. Die zentrale Frage dieser Arbeit war, wie sich eine Beschädigung der Vegetationsdecke auf flächige Erosion sowie Aggregatstabilität auswirkt.

Wir testen in dieser Studie, ob eine Abnahme der Vegetationsdecke durch Beweidung flächige Erosion direkt durch die abnehmende Interzeption begünstigt. Des Weiteren testen wir,

ob eine Abnahme der Vegetationsdecke zu weniger organischer Substanz und geringerer Wurzeldichte im Boden führt. Beides würde zu einer Senkung der Aggregatstabilität im Boden und in Folge zu mehr flächiger Erosion im Weideland führen.

## 2. Methoden

Im Sommer 2014 wurden an den Südosthängen über dem Dorf St. Antönien, Kanton Graubünden, 111 Regensimulationsexperimente durchgeführt (vgl. Abb. 1). In diesem Gebiet weideten rund 80 Stück Braunvieh. Auf Flächen von 25 cm x 25 cm mit einer Neigung von 20° wurde ein 5-minütiges Niederschlagsereignis mit einer Intensität von 48 – 60 mm h<sup>-1</sup> simuliert (vgl. Abb. 2). Dies entspricht einem starken und seltenen Niederschlagsereignis in der Schweiz. Die detaillierte Beschreibung des Gebietes und der Methodik sind nachzulesen in der Masterarbeit, die diesem Artikel zugrunde liegt (Christon 2015).

Es wurde der Bodenabtrag und die Abflussmenge gemessen sowie die Vegetations- und Streubedeckung für jede der untersuchten Flächen abgeschätzt (vgl. Abb. 3, siehe auch Martin et al. 2010). Im Labor wurde die Aggregatstabilität



Abb. 2: Mit diesem Regensimulator von Eijkelkamp wurde eine Fläche von 25 cm x 25 cm mit insgesamt 1875 ml Wasser beregnet. Vorne am Simulator wurde ein Becher platziert der Abfluss und Abtrag während des Experimentes sammelt. Foto: R. Malin

Fig. 2: Une surface de 25 cm x 25 cm a été arrosée avec un simulateur de pluie Eijkelkamp avec un total de 1'875 ml d'eau. Un gobelet placé devant le simulateur récolte l'écoulement et l'abrasion pendant l'expérience. Photo: R. Malin

der Bodenproben, welche in den einzelnen Untersuchungsflächen genommen wurden, mit Hilfe des Nass-Sieverfahrens nach Frei (2009) bestimmt (siehe auch Alig 2007, Pohl et al. 2009, 2012). Zudem wurde die Wurzeldichte und organische Substanz der Proben untersucht.

## 3. Resultate

Die Ergebnisse zeigten, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Bodenabtrag besteht. Abbildung 4 zeigt, dass der Bodenabtrag tendenziell exponentiell mit abnehmender Vegetationsbedeckung zunahm. Die untersuchten Flächen wiesen ab einer Vegetationsbedeckung von 50% einen Bodenabtrag im vernachlässigbaren Bereich auf (vgl. Abb. 4). Bei



Abb. 3: Drei Beispiele von untersuchten Flächen. Die Vegetationsbedeckung der linken Fläche wurde auf 20%, die der mittleren Fläche auf 40% und die der rechten Flächen auf 100% geschätzt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Vegetationsbedeckung die Beweidungsintensität widerspiegelt. Foto: R. Malin  
 Fig. 3: Trois exemples de surfaces examinées. La couverture végétale en surface à gauche est estimée à 20%, celle au milieu à 40% et celle à gauche à 100%. On part du principe que la couverture végétale reflète le pacage. Photo: R. Malin

einer Vegetationsbedeckung unterhalb von 50% war die Variation zwischen den Proben zwar sehr hoch, grundsätzlich nahm der Bodenabtrag jedoch stark zu. Die hohe Variation konnte teilweise auf die Anordnung der Vegetation auf den Untersuchungsflächen zurückgeführt werden. Untersuchungsflächen mit einer durchgehenden Vegetationsbedeckung im unteren Bereich zeigten auch bei einer geringen Vegetationsbedeckung über die gesamte Fläche niedrigen Bodenabtrag.

Eine Abnahme der Vegetationsbedeckung führte, wie von uns angenommen, zu einer signifikanten Abnahme an Wurzelichte und organischer Substanz im Boden. Die Aggregatstabilität wurde signifikant durch die Veränderung der Wurzelichte beeinflusst, stand jedoch nicht in einem signifikanten Zusammenhang mit der Vegetationsbedeckung oder dem gemessenen Bodenabtrag. Die durchgeführte Pfadanalyse zeigte, dass der Bodenabtrag am besten durch die Variablen Gesamtbedeckung (Ve-

getation und Streu) und Abfluss erklärt werden kann (vgl. Abb. 5): Die Gesamtbedeckung hat einen direkten signifikanten Einfluss auf den Bodenabtrag. Die genauere Analyse zeigt aber auch, dass die Gesamtbedeckung mit dem Abfluss in Zusammenhang steht, der wiederum einen Einfluss auf den Bodenabtrag hat. Das bedeutet, dass die Gesamtbedeckung den Bodenabtrag unter anderem aufgrund des Zusammenhanges mit dem Abfluss beeinflusst.

#### 4. Diskussion

Die Resultate bestätigten, dass eine Abnahme der Vegetationsbedeckung zu einer Zunahme an flächiger Erosion führt, bzw. umgekehrt eine genügend hohe Vegetationsbedeckung den Boden gut vor Oberflächenerosion schützt. Die Vegetation schützt Weiden vor flächiger Erosion primär auf Grund von Interzeption. Mit Hilfe der Pfadanalyse konnte gezeigt werden, dass Streu zusätzlich zur Vegetation eine relevante Rolle spielt. Es muss beachtet werden, dass der von uns in den kleinflächig durchgeführten Regenexperimenten gefundene Grenzwert von 50% Vegetationsbedeckung nicht auf ein gesamtes Weidegebiet übertragen werden kann. Grossflächig, also auf Hangskala, wird flächige Erosion zunehmend durch die Kraft des fließenden Wassers (Schleppspannung) verursacht und nicht nur durch den Aufprall der Regentropfen (Zuazo et al. 2011, vgl. Abb. 6). Aus diesem Grund

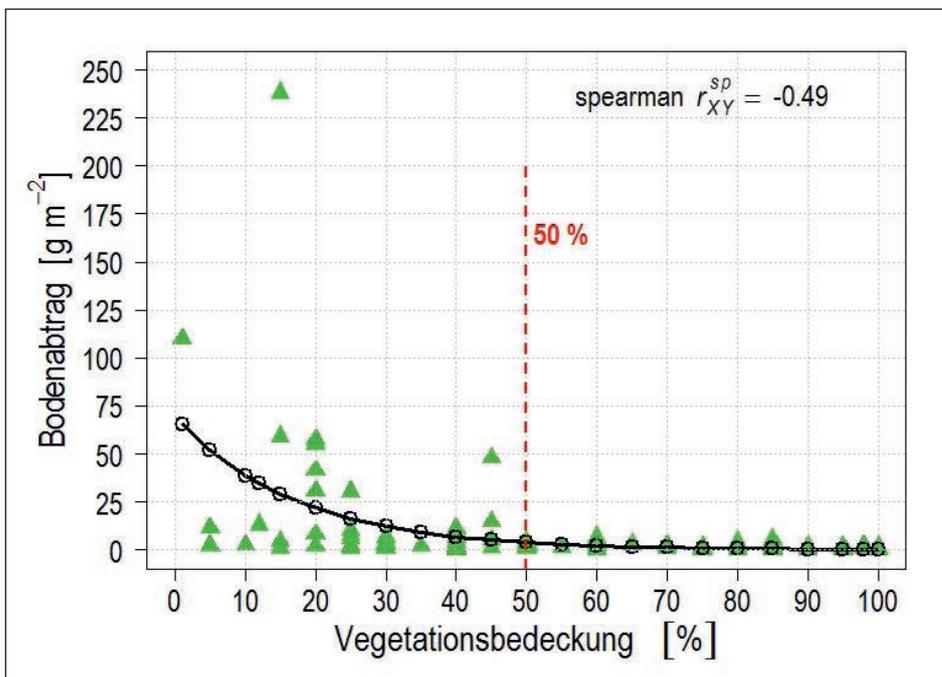


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Bodenabtrag. Bei abnehmender Vegetationsbedeckung kommt es tendenziell zu einem exponentiellen Anstieg an Bodenabtrag.  
 Fig. 4: Rapport entre la couverture végétale et l'érosion du sol. Si la couverture végétale diminue, la tendance à l'érosion du sol croît exponentiellement.

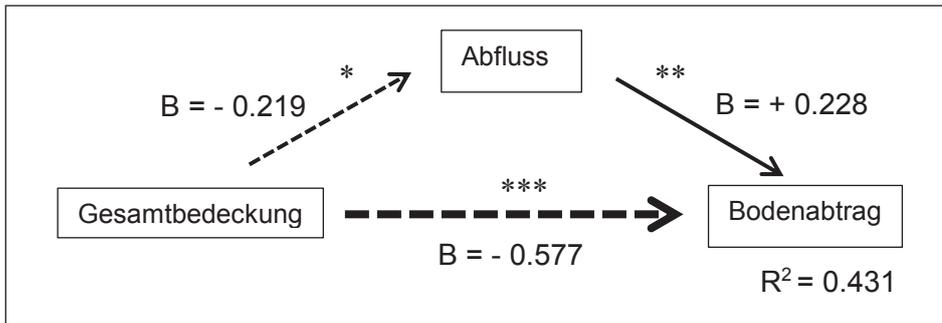


Abb. 5: Resultat der Pfadanalyse für die Variable Bodenabtrag. Durchgehende Linien indizieren einen positiven Zusammenhang und gestrichelte Linien einen negativen Zusammenhang. Die Sterne stehen für das Signifikanzniveau  $P < 0.05$  (\*),  $P < 0.01$  (\*\*),  $P < 0.001$  (\*\*\*). Die B Werte sind Pfadkoeffizienten. Des Weiteren wird das Bestimmtheitsmass ( $R^2$ ) gezeigt.

Fig. 5: Résultat de l'analyse pour la variable érosion du sol. Les lignes continues indiquent une corrélation positive et les lignes pointillées une corrélation négative. Les étoiles désignent le niveau prédéterminé  $P < 0.05$  (\*),  $P < 0.01$  (\*\*),  $P < 0.001$  (\*\*\*). Les valeurs B sont des valeurs des coefficients des chemins. Par ailleurs, on peut voir le coefficient de détermination ( $R^2$ ).

sollte die Vegetationsbedeckung im gesamten Weidegebiet deutlich höher als 50% ausfallen. Andere Untersuchungen (Locher Oberholzer et al. 2008) berichten von einer Mindestbedeckung von 70%.

Nicht direkt bestätigt werden konnte der Zusammenhang zwischen Aggregatstabilität und Bodenabtrag. Ein möglicher Grund für den fehlenden Zusammenhang könnte die nahezu konstant hohe Aggregatstabilität im Oberboden (0-10 cm) aufgrund des hohen Tongehaltes des Untersuchungsgebietes gewesen

sein (Rickli et al. 2005). Die sehr hohe Aggregatstabilität war überraschend für das Untersuchungsgebiet St. Antönien, da in dieser Gegend nach intensiven Regenereignissen zahlreiche flachgründige Rutschungen beobachtet werden konnten (Rickli et al. 2005). Aus diesem Grund hätte man vermutet, dass die Aggregatstabilität vergleichsweise niedrig ist. Festgehalten werden kann, dass die oberflächlich gemessene Aggregatstabilität, die wie in dieser Studie gezeigt werden konnte von der Vegetation beeinflusst wird, sehr wahrscheinlich nicht



Abb. 6: Erosion auf Hängen unterscheidet sich von Erosion auf kleinen Flächen. Auf kleinen Flächen werden Bodenpartikel mehrheitlich durch den Aufprall von Regentropfen abgelöst, während auf Hangskala die Bodenpartikel zum grössten Teil durch Niederschlagswasser entstehenden Abfluss abgetragen werden. Foto: R. Malin

Fig. 6: L'érosion sur les pentes diffère de l'érosion sur des petites surfaces. Sur des petites surfaces, les particules du sol se détachent majoritairement par l'impact des gouttes de pluie, tandis que sur une pente les particules du sol se détachent en majeure partie par l'écoulement de l'eau pluviale. Photo: R. Malin

direkt Rückschlüsse auf die Stabilität im Unterboden gibt.

Die absoluten Werte an Bodenabtrag waren gering verglichen mit denen einiger anderer Studien: Martin (2008) führte eine vergleichbare Untersuchung auf maschinell bearbeiteten Skipisten mit einer durchschnittlichen Neigung von  $18^\circ$  in der Nähe von Davos durch. Der Bodenabtrag, der in dieser Studie gemessen wurde, war, abhängig von der Vegetationsbedeckung, zwischen 40% und 85% höher als jener der vorliegenden Studie. Die Aggregatstabilität für das Untersuchungsgebiet von Martin (2008), welche im Rahmen der Studie von Pohl et al. (2009) bestimmt wurde, war im Durchschnitt 55% geringer als jene in St. Antönien. In der vorliegenden Studie hat vermutlich die hohe Aggregatstabilität im Untersuchungsgebiet zu vergleichsweise geringen absoluten Mengen an Bodenabtrag geführt. Da sich die Untersuchungsflächen von Martin (2008) in einem höher gelegenen Gebiet (2300 m ü. M.) mit anderer Bodenart und Landnutzung befanden, könnten jedoch noch weitere Faktoren (z. B. Bodenart) zum vergleichsweise hohen Bodenabtrag geführt haben.

## 5. Schlussfolgerungen, Handlungsempfehlungen und Ausblick

Mittels den Resultaten dieser Arbeit können folgende Schlussfolgerungen gemacht werden:

- Flächige Erosion auf kleinen Flächen mit einer Neigung von  $20^\circ$  und einer hohen Aggregatstabilität kann durch eine Vegetationsbedeckung von  $> 50\%$  auf Grund von Interzeption grösstenteils verhindert werden.
- Eine temporäre Reduktion der Vegetationsdecke durch Beweidung wirkt sich nicht unbedingt negativ auf die Aggregatstabilität des Oberbodens aus.
- Die Menge an Bodenabtrag sowie die Aggregatstabilität des Oberbodens werden stark von der Vegetationsbedeckung und der Wurzeldichte im Boden beeinflusst. Die Aggregatstabilität des Oberbodens beeinflusst jedoch die Menge an Bodenabtrag nicht nachweislich.

Basierend auf diesen Schlussfolgerungen können folgende Empfehlungen für die Praxis gemacht werden. Die Vegetationsbedeckung (inkl. Streu) auf alpinen Weiden mit 20° Neigung sollte deutlich über 50% liegen. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass sich die Vegetationsdecke regelmässig regenerieren kann, so dass es nicht zu einer Verminderung der Aggregatstabilität im Boden kommt.

## Literatur

Alig, D. 2007. Vegetation und Bodenaggregatstabilität auf Skipisten. Untersucht in den Skiregionen Davos, Lenzerheide und Flims-Laax-Falera. Lizentiatsarbeit. Universität Basel.

Christon, R. 2015. Vegetation, interrill erosion and aggregate stability on grazed alpine meadows. Masterarbeit. Universität Zürich.

Frei, M. 2009. Validation of a new approach to determine vegetation effects on superficial soil movements. Dissertation ETH Zurich N° 18455.

Locher Oberholzer, N., M. Streit, M. Frei, C. Andrey, R. Blaser, J. Meyer, U. Müller, B. Reidy, M. Schutz, M. Schwager, M. Stoll, M. Wytenbach, and C. Rixen. 2008. Richtlinien Hochlagenbegrünung. *Ingenieurbiologie* 2:3–33.

Martin, C., M. Pohl, C. Alewell, C. Körner, and C. Rixen. 2010. Interrill erosion at disturbed alpine sites: Effects of plant diversity and vegetation cover. *Basic and Applied Ecology* 11:619–626.

Martin, C. 2008. How alpine plant diversity affects surface soil erosion. Masterarbeit, Universität Basel.

MeteoSchweiz 2014. Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 243.

Rickli, C., Kamm, S., Bucher, H. 2005. Flachgründige Rutschungen. Teilprojekt der Ereignisanalyse Unwetter 2005. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamte für Umwelt BAFU.

Rienzi, E.A., Fox, J.F., Grove, J.H., Matocha, C.J 2013. Interrill erosion in soils with different land uses. The kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. *Catena* 107, 130–138.

Routschek, A., Schmidt, J., Kreienkamp, F. 2014. Impact of climate change on soil erosion. A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany. *Catena* 121, 99–109.

Schindler Wildhaber, Y., Bänninger, D., Burri, K., Alewell, Ch. 2012. Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena* 91, 56–62.

Pohl, M., F. Graf, A. Buttler, and C. Rixen. 2012. The relationship between plant species richness and soil aggregate stability can depend on disturbance. *Plant and Soil* 355:87–102.

Pohl, M., D. Alig, C. Körner, and C. Rixen. 2009. Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant and Soil* 324:91–102.

Zuazo, V.H. D., Tejero, I. G., Martinez, J.R.F., Fernández, J.L.M. 2011. *Soil Erosion: Causes, Processes and*

*Effects*. In: Fournier, A.J. (Ed.). *Soil Erosion: Causes, Processes and Effects*. Nova Science Publishers Inc., New York

## Kontaktadresse:

Dr. Christian Rixen  
Ökologie der Lebensgemeinschaften  
WSL-Institut für Schnee- und  
Lawinenforschung SLF  
Flüelastrasse 11  
CH- 7260 Davos  
tel ++41 81 417 02 14  
E-mail: rixen@slf.ch



**schweizer**

**Begrünung für alle Lagen**

**Die Spezialisten von SCHWEIZER  
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

# Lassen sich hochalpine Flechtengesellschaften rekultivieren?

Monika Orlor, Bertil O. Krüsi, Jakob Marti und Christoph Scheidegger

Erste Erfahrungen von einer Baustelle beim Muttsee im Kanton Glarus

## Zusammenfassung

In diesem Pilotprojekt wurde untersucht, ob sich hochalpine Strauchflechtenreiche Vegetation rekultivieren lässt. Das Problem stellte sich im Zusammenhang mit dem Bau des Pumpspeicher-Kraftwerks Linth-Limmern im Kanton Glarus. Im Bereich der auf 2500 m ü.M. liegenden Baustelle Muttsee werden relativ grosse Flächen von der Strauchflechte *Stereocaulon alpinum* dominiert. Auf der Baustelle (B) Muttsee und einer ungestörten Fläche in der Nähe (N) sowie in einem Gewächshaus (G) in Birmensdorf ZH auf ca. 500 m ü.M. wurden erste Pilotversuche mit Flechtenteilen (Pseudopodetien) durchgeführt. Circa die Hälfte der Flechtenteile enthielt Phyllocladien, d.h. diese Teile enthielten nebst dem Pilzpartner der Flechten ebenfalls photosynthetisch aktive Grünalgen und stickstofffixierende Cyanobakterien. Der andere Teil bestand ausschliesslich aus pilzlichem Material. Der Einfluss von Bodensubstraten mit unterschiedlichen pH-Werten sowie unterschiedlichen Substratbehandlungen (locker vs. angedrückt; mit oder ohne Zugabe von Silikat Kieseln) auf die Etablierung von Flechtenteilen wurden getestet.

Alle im Herbst 2013 auf der naturnahen Fläche auf 2500 m ü.M. ausgebrachten Pseudopodetien überlebten den Winter. Wie zu erwarten, waren am Ende des Versuchs von den ausgebrachten Flechtenfragmenten im Gewächshaus G noch deutlich mehr vorhanden (98%) als an den beiden Untersuchungsorten im Freiland (B: 40%, N: 45%), wo viele Pseudopodetien vom Regen weggespült oder vom Wind weggeweht worden waren. Der Anteil von den am Ende des Versuchs noch vorhandenen Fragmenten, die fest verankert waren, war überraschenderweise am naturnahen Standort rund doppelt so gross (88%)

wie an den beiden anderen Orten (G: 43%, B: 38%). Mit Phyllocladien war die Längenzunahme wie erwartet signifikant grösser als ohne, und bei grossen Flechten-Fragmenten war sie tendenziell grösser als bei kleinen. Die grössten Längenzunahmen wurden auf aufgelockertem Substrat mit Silikat Kieselszugabe beobachtet. Wir vermuten, dass die Wasserspeicherkapazität im aufgelockerten Substrat grösser war als im festgedrückten. Die Rekultivierung von biologischen Bodenkrusten ist von erheblicher ökologischer Relevanz und scheint aufgrund der Pilotversuche grundsätzlich möglich zu sein.

## Keywords

*Stereocaulon alpinum*, alpine biologische Bodenkrusten, Hochlagenbegrünung, Rekultivierung

## Peut-on recultiver des associations végétales de lichens alpins ?

*Premières expériences d'un chantier de construction à Muttsee dans le canton de Glaris*

## Résumé

*Dans ce projet pilote, on a examiné si des végétations riches en arbustes de lichens hauts alpins peuvent être recultivées. Le problème se pose en relation avec la construction de la centrale d'accumulation par pompage de Linth-Limmern dans le canton de Glaris. Dans la région du chantier de Muttsee à 2'500 m d'altitude, des zones relativement vastes sont dominées par le lichen arbuste *Stereocaulon alpinum*. Des premiers essais-pilotes avec des parties de lichen (pseudopode) ont été effectués sur le chantier (B) à Muttsee, dans une zone non troublée (N) ainsi que dans*

*une serre (G) à Birmensdorf ZH à 500 m d'altitude. Environ la moitié des parties de lichens contenait des phylloclades, c'est-à-dire que ces parties contenaient en plus du partenaire champignon du lichen aussi des algues vertes actives photosynthétiques et des cyanobactéries. L'autre partie se composait uniquement de matériel mycosique. L'influence des substrats du sol avec des différentes valeurs de pH et différents traitements de substrats (meuble vs. compressé; avec ou sans cailloux de silicates) sur l'établissement des parties lichens a été testée.*

*Tous les pseudopodes épandus en automne 2013 sur des zones près de l'emplacement naturel à 2'500 m d'altitude ont survécu à l'hiver. Comme prévu, il y restait à la fin de l'essai sensiblement plus de fragments dans la serre G (98%) que dans les deux autres places d'essai en plein air (B: 40%, N: 45%), sur lesquelles beaucoup de pseudopodes ont été emportés par la pluie ou soufflés par le vent. Étonnamment, la part des fragments bien ancrés encore présents à la fin de l'essai était d'environ le double (88%) par rapport aux deux autres endroits (G: 43%, B: 38%). Avec les phylloclades, la croissance en longueur était comme prévue sensiblement plus élevée que sans, et ils étaient tendanciellement plus grands avec de grands fragments de lichen qu'avec de petits. Les plus grands accroissements en longueur ont été observés sur du substrat meuble avec l'ajout de cailloux de silicate. Nous supposons que la capacité de rétention d'eau dans du substrat meuble est plus élevée que dans du substrat compressé. La remise en culture de la croûte à la surface du sol est d'une grande importance écologique et paraît faisable selon les essais pilotes.*

**Mots-clés**

*Stereocaulon alpinum*, croûte biologique à la surface du sol alpin, végétalisation des zones alpines, remise en culture

**Si possono ricoltivare associazioni di licheni alpini?**

Prime esperienze in un cantiere presso il lago Muttsee, Canton Glarona

**Riassunto**

L'obiettivo di questo progetto pilota era di ricercare se si può ricoltivare vegetazione alpina ricca di licheni. Il problema è nato in connessione con la costruzione della centrale di pompaggio-turbinaggio Linth-Limmern nel Canton Glarona. La specie di licheni *Stereocaulon alpinum* domina aree relativamente grandi nella zona del cantiere Muttsee, a 2500 m s.l.m. I primi esperimenti con licheni (pseudopodezi) sono stati fatti in cantiere a Muttsee (B), in una zona seminaturale non interessata nelle vicinanze (N) e in serra (G) a Birmensdorf ZH a una quota di ca. 500 m s.l.m. Circa la metà delle parti conteneva fillocladi, quindi oltre alla partefungina dei licheni erano presenti anche alghe verdi in grado di svolgere la fotosintesi e cianobatteri capaci di fissare l'azoto. Il resto era interamente materiale fungino. È stata testata l'influenza sullo sviluppo delle parti di licheni di substrati con valori di pH differenti e diverse configurazioni del substrato (più o meno compatto; senza o con aggiunta di silicati).

Tutte i pseudopodezi rilocati nell'area seminaturale a 2500 m s.l.m. nell'autunno 2013 hanno sopravvissuto l'inverno. Come ci si poteva aspettare, alla fine dell'esperimento le parti di licheni nella serra G (98%) erano molte di più che nelle due zone all'aperto (B: 40%, N: 45%). Molti pseudopodezi sono stati dilavati dalla pioggia o portati via dal vento. Sorprendentemente, la percentuale di parti rimanenti che alla fine dell'esperimento erano saldamente ancorate, era circa doppia (88%) nell'area seminaturale rispetto a quella nelle altre due aree (G:43%,

B: 38%). L'incremento in lunghezza era nettamente più grande con la presenza di fillocladi. Inoltre era tendenzialmente più importante nelle parti di licheni più grandi rispetto a quelle più piccole. Gli incrementi maggiori sono stati osservati sul substrato dissodato, con aggiunta di silicati. Supponiamo che la capacità di trattenere acqua del substrato dissodato sia maggiore che in quello compatto. La ricoltivazione di croste biologiche è di grande importanza ecologica e, come indicato dai progetti pilota, sembra fattibile.

**Parole chiave**

*Stereocaulon alpinum*, croste biologiche alpine, inverdimento ad alta quota, ricoltivazione

**1. Einleitung**

Am Muttsee im Kanton Glarus auf ca. 2500 m ü.M. befindet sich die alpine Grossbaustelle «Linth-Limmern». Die Bodenbedeckung besteht aus Blütenpflanzen und biologischen Bodenkrusten. Letztere, also Lebensgemeinschaften aus Blaualgen-Flechten, anderen blütenlosen Pflanzen und mikrobiellen Organismen, bedeckten vor Beginn der Bauarbeiten einen grossen Teil der Bodenoberfläche. Die biologischen Bodenkrusten im Gebiet des Muttsees sind der Lebensraum einer relativ grossen Population der auf sauren Böden wachsenden Alpen-Korallenflechte *Stereocaulon alpinum*. Es stellte sich die Frage, ob solche Flächen nach Abschluss der Bauarbeiten rekultiviert werden können und, falls ja, wie die Flächen vorzubereiten sind und wie bei der Rekultivierung vorzugehen ist. Zur Wiederherstellung von flechten-dominierten Lebensräumen in alpinen Hochlagen gibt es in Europa bisher nur sehr wenige Studien. Es existieren zwar verschiedene Arbeiten aus den USA, z.B. Belnap (1993), Belnap & Gillette (1997), Bowker (2007), Bowker et al. (2010), die aber meist nur sehr allgemeine Erkenntnisse bringen und sich nur sehr bedingt auf die Situation am Muttsee übertragen lassen. Gemäss Bowker (2007) gehört zu den Zielen von Rehabilitationstechniken das Verhindern von (1) Bodenerosion, (2) Ressourcen-

Defiziten und (3) Mangel an Diasporen. Bei der vorliegenden Studie zu *Stereocaulon alpinum* interessierten insbesondere die folgenden Fragen:

- Haben die im Herbst 2013 auf 2500 m ü. M. ausgebrachten Flechtenteile den Winter überlebt?
- Wie gut konnten sich die ausgebrachten Flechtenteile im Boden verankern?
- Wie stark wird der Längenzuwachs (a) von der Ausgangsgrösse, (b) vom Vorhandensein von Phyllocladien, (c) vom Boden-pH und (d) von der Bodentemperatur beeinflusst?
- Welche Kombination von Flechtenmaterial (gross vs. klein; mit vs. ohne Phyllocladien), Substrat (aufgelockert vs. festgedrückt; mit vs. ohne Zugabe von Silikatieseln) und Abdeckung (mit oder ohne) ist für eine erfolgreiche Rekultivierung von Bodenkrusten mit *Stereocaulon alpinum* besonders vielversprechend?

**2. Material und Methoden****2.1 *Stereocaulon alpinum***

Die Alpen-Korallenflechte *S. alpinum* setzt sich aus «Ästchen», den Pseudopodetien und daraus wachsenden weissen rundlichen Gebilden, den Phyllocladien, zusammen (Wirth et al., 2013) (Abb. 1). Die Pseudopodetien bestehen hauptsächlich aus dem pilzlichen Symbiosepartner. In den Phyllocladien befinden sich neben dem Pilz auch Grünalgen zur Photosynthese und Cyanobakterien. Die Cyanobakterien betreiben ebenfalls ein wenig Photosynthese, sie fixieren aber hauptsächlich Stickstoff aus der Luft. Gemäss Landolt et al. (2010) ist *S. alpinum* eine bodenbewohnende Strauchflechte, die bevorzugt auf kurze Zeit feucht bleibenden (F = 2.5), nährstoffarmen (N = 1), schwach sauren bis basischen (R = 3) steinigen und flachgründigen (AS = c) Böden an hellen (L = 4), subkontinentalen (K = 4) und in Bezug auf die Niederschläge mässig feuchten (NS = 4) Orten in der alpinen und nivalen Höhenstufe (T = 1) gedeiht. Gemäss Burga (1999), Wirth et al. (2013) bzw. Roux et al. (2014) bevorzugt *S. alpinum* nährstoffarme, saure Sand- und Steinböden mit einer Korngrösse von 0.2–20 mm auf ebenem oder wenig geneigtem Ge-

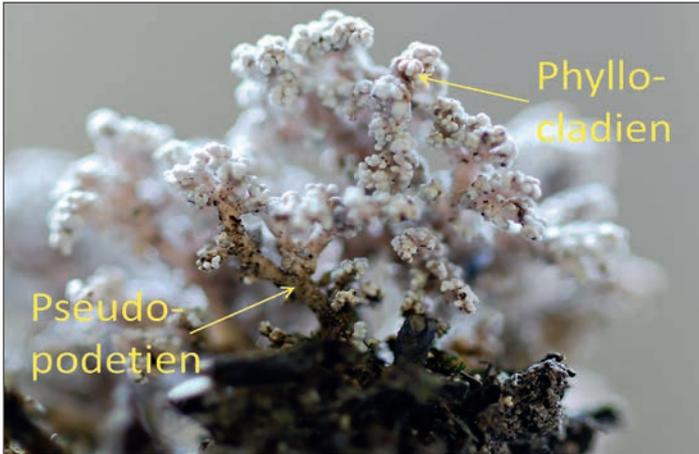


Abb. 1: *Stereocaulon alpinum* mit Pseudopodetien und Phyllocladien.  
 Fig. 1: *Stereocaulon alpinum* avec pseudopodes et phylloclades.

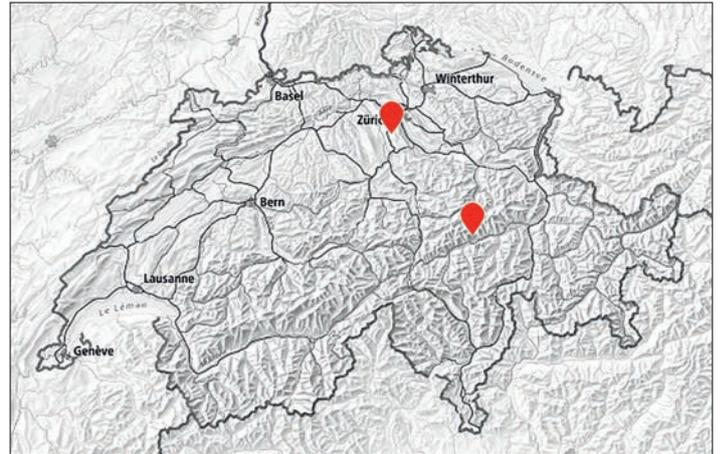


Abb. 2: Lage der Untersuchungsorte am Mutsee, Kanton Glarus, und in Birmensdorf, Kanton Zürich, Schweiz. Quelle: map.geo.admin.ch  
 Fig. 2: Situation des zones d'étude à Mutsee dans le canton de Glaris et à Birmensdorf dans le canton de Zurich. Source: map.geo.admin.ch



Abb. 3: Alpine Grossbaustelle am Mutsee GL.  
 Fig. 3: Grand chantier alpin à Mutsee GL.



Abb. 4: Untersuchungsort Baustelle B bei der Staumauer Linth-Limmern. Im Vordergrund einige offene und mit Nylogewebe abgedeckte, je 15 cm x 15 cm grosse Versuchsflächen. Blick Richtung Westen.  
 Fig. 4: Lieu de recherche du chantier B vers la digue de Linth-Limmern. Au premier plan, quelques surfaces d'expérimentation de 15 cm x 15 cm ouvertes et recouvertes avec du nylon. Vue direction ouest.



Abb. 5: Ungestörter, naturnaher Untersuchungsort N auf ca. 2500 m ü.M., ca. 500 m ausserhalb des Baustellenperimeters.  
 Fig. 5: Lieu de recherche intact et proche de la nature N à env. 2'500 m d'altitude, env. 500 m en dehors du périmètre du chantier.



Abb. 6: Versuchsflächen im Gewächshaus G in Birmensdorf ZH auf ca. 500 m ü.M.  
 Fig. 6: Surfaces d'expérimentation dans la serre G à Birmensdorf ZH à env. 500 m d'altitude.

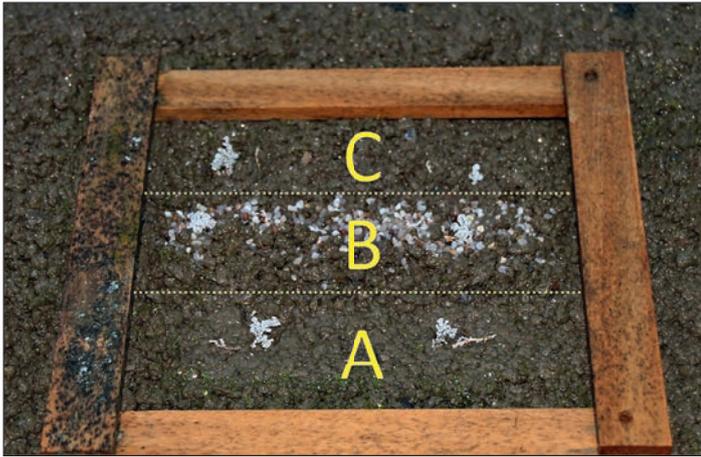


Abb. 7: Versuchsfläche ohne Nylon-Abdeckung im Gewächshaus G in Birmensdorf ZH auf ca. 520 m ü.M.. Gut zu sehen ist die horizontale Unterteilung der Versuchsfläche in 3 je 5 cm breite Streifen bzw. Teilflächen. A: Substrat angedrückt, B: Substrat aufgelockert mit Zugabe von Silikat-Kiesel; C: Substrat aufgelockert ohne Silikat-Kiesel.

Fig. 7: Surface d'expérimentation sans revêtement en nylon dans la serre G à Birmensdorf ZH à env. 520 m d'altitude. Les subdivisions horizontales de la zone expérimentale, chaque fois 3 bandes de 5 cm de large resp. surfaces partielles sont bien visibles. A: substrat compressé, B: Substrat meuble avec ajout de cailloux de silicate, C: Substrat meuble sans cailloux de silicate.



Abb. 8: Versuchsfläche mit Nylon-Abdeckung im Gewächshaus G in Birmensdorf ZH. Der Holzrahmen ist 15x15 cm gross.

Fig. 8: Surface d'expérimentation avec revêtement en nylon dans la serre G à Birmensdorf ZH. Le cadre en bois est de 15 cm x 15 cm.

lände in der subalpinen, alpinen und nivalen Zone, die lange Zeit schneebedeckt sind. In der Schweiz sind Vorkommen von *S. alpinum* in den Kantonen Bern, Glarus, Graubünden, Tessin, Uri, Nidwalden und Wallis bekannt (Clerc & Truong, 2012). Gemäss SwissLichens (2015) ist *S. alpinum* in der Schweiz geschützt, gilt aber als nicht gefährdet (LC) (Scheidegger et al., 2002).

## 2.2 Untersuchungsgebiet

Die Versuche wurden an drei Untersuchungsstellen durchgeführt. Beim Mutensee auf 2500 m ü.M. innerhalb (B) und ausserhalb (N) des Baustellenperimeters (Abb. 2–6) und in einem Gewächshaus (G) an der WSL in Birmensdorf ZH auf ca. 520 m ü.M. Geologisch liegen die Freiland-Versuchsflächen am Übergang von saurem Sandstein und Dachschiefer sowie Taveyannazsandstein zu basischem Globigerinenschiefer. Darunter liegen Schichten aus Kalkgestein (Oberholzer, 1933). Am Mutsee herrscht alpines Klima. Bei der Messstation auf der Baustelle wurde 2013 und 2014 eine mittlere Jahrestemperatur von 1.78° C gemessen (SLF, 2015). Im Untersuchungsgebiet kommen häufig warme Fallwinde (Föhn) vor. Die mittleren monatlichen Windgeschwindigkeiten bewegten sich 2013 und 2014

zwischen 0 und 22 m/s (SLF, 2015). Modellierungen ergaben für das Gebiet des Mutsees eine jährliche Niederschlagsmenge von 2200 bis 2400 mm, von denen ca. 1400 mm im Winter anfallen (Braun et al., 1994). Gemäss der Messstation auf der Baustelle war der Boden 2013 und 2014 nur zwischen Juli und Oktober schneefrei (SLF, 2015).

## 2.3 Organisation der drei Untersuchungsstellen

Der Untersuchungsstandort «Baustelle» B befand sich auf dem Baustellenperimeter Mutsee auf 2500 m ü.M. auf silikathaltiger Erde, die allerdings Baustellenbedingt lokal mit kalkhaltigem Material «verunreinigt» war, welches für den Bau der Zufahrtspisten verwendet worden war. In B wurden am 02.06.2014 30 je 15 cm x 15 cm grosse Versuchsflächen

eingerrichtet (Abb. 4). Der mittlere pH-Wert des Substrates betrug 5.73, die Flächen waren 3° bis 7° in Richtung Südost geneigt. 20 Flächen wurden mit Nylongewebe abgedeckt, 10 Flächen nicht. In B gab es keine Versuchsflächen mit Zugabe von Silikatkiesel.

Der ungestörte naturnahe Untersuchungsstandort N lag ca. 500 m von der Baustelle Mutsee entfernt auf 2500 m ü.M. auf silikathaltiger Erde. Hier wurden am 31.10.2013 nach vorgängigem Entfernen der vorhandenen Vegetation bzw. der biologischen Bodenskrusten insgesamt 12 je 15 cm x 15 cm grosse Versuchsflächen eingerichtet (Abb. 5). Der mittlere pH-Wert des Substrates betrug 4.5, die Flächen waren 3° bis 7° in Richtung Süden geneigt. Alle Versuchsflächen hatten eine Abdeckung aus feinem Nylongewebe.

Untersuchungs-ort	Anzahl Versuchsflächen			Anzahl Flechtenteile		
	Total	mit Netz	ohne Netz	Total	mit Phyllocladien	ohne Phyllocladien
Gewächsh.	10	6	4	120	60	60
Baustelle	30	20	10	240	120	120
Naturnah	12	12	0	72	48	24

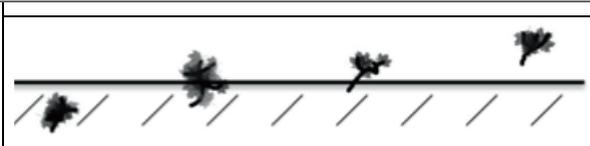
Tab. 1: Übersicht über die Anzahl Versuchsflächen und die Anzahl der ausgebrachten Flechtenteile an den drei Untersuchungsstellen (a) Gewächshaus auf 500 m ü.M., (b) gestörte Baustelle auf 2500 m ü.M. und (c) naturnahe Fläche auf 2500 m ü.M.

Tab. 1: Vue d'ensemble sur le nombre des surfaces d'essai et sur les parts de lichen dans les trois différentes zones: (a) serre à 500 m d'altitude, (b) zone de chantier à 2'500 m d'altitude et (c) surface quasi-naturelle à 2'500 m d'altitude.

	Ursprünglich ausgebracht	Abgeschwemmt oder weggeweht	Am Ende des Experiments noch vorhanden
Gewächsh.	120	2 (2%)	118 (98%)
Baustelle	240	143 (60%)	97 (40%)
Naturnah	72	39 (54%)	33 (46%)

Tab. 2: Anzahl (bzw. Anteil) der ausgebrachten Pseudopodetien, die am Ende des Experiments noch vorhandenen waren (a) im Gewächshaus auf 500 m ü.M., (b) auf der gestörten Baustelle auf 2500 m ü.M. und (c) auf einer naturnahen Fläche auf 2500 m ü.M.

Tab. 2: *Quantité (resp. proportion) des pseudopodes répandus, encore existants à la fin de l'étude dans (a) la serre à 500 m, (b) la zone de chantier à 2'500 m d'altitude et (c) la surface quasi-naturelle à 2'500 m d'altitude.*

Unter- suchungs- ort	Am Ende des Experiments noch vorhanden				
		teilweise vergraben	fest verankert	leicht verankert	nicht verankert
Gewächsh.	118 (100%)	0 (0%)	51 (43%)	27 (23%)	40 (34%)
Baustelle	97 (100%)	30 (31%)	37 (38%)	12 (12%)	18 (19%)
Naturnah	33 (100%)	1 (3%)	29 (88%)	3 (9%)	0 (0%)

Tab. 3: Anzahl (bzw. Anteil) der am Ende des Experiments noch vorhandenen Pseudopodetien, die teilweise vergraben, fest, leicht oder gar nicht verankert waren (a) im Gewächshaus auf 500 m ü.M., (b) auf der gestörten Baustelle auf 2500 m ü.M. und (c) auf einer naturnahen Fläche auf 2500 m ü.M.

Tab. 3: *Quantité (resp. proportion) des pseudopodes encore existants à la fin de l'étude qui étaient partiellement enterrés, faiblement ancrés ou pas du tout dans (a) la serre à 500 m, (b) la zone de chantier à 2'500 m d'altitude et (c) la surface quasi-naturelle à 2'500 m d'altitude.*

Das Gewächshaus G befand sich in Birmensdorf (ZH) auf 520 m ü. M. Für die Versuche wurde silikathaltige Erde von der Baustelle verwendet. Am 11.11.2013 wurden 10 je 15 cm x 15 cm grosse Versuchsfächen eingerichtet (Abb. 6). Der mittlere pH-Wert des Substrates betrug 6. Die Flächen waren völlig horizontal, 6 Flächen hatten eine Abdeckung mit feinem Nylongewebe, 4 Flächen hatten keine (Abb. 6).

### 2.4 Organisation der Versuchsfächen

Im Gewächshaus wurde jede 15 cm x 15 cm grosse Versuchsfäche in drei je 5 cm breite Streifen (A, B, C) unterteilt (Abb. 7). Im unteren Streifen wurde das Substrat angedrückt, in den anderen beiden aufgelockert. Im mittleren Streifen wurden zudem Silikatkiesel zugegeben. Jede Versuchsfäche wurde mit 6 Pseudopodetien mit Phyllocladien und 6 Pseudopodetien ohne Phyllocladien bestückt (je 2 pro Substrattyp).

Auf der Baustelle wurden nur die beiden Substrattypen «angedrückt» und

«aufgelockert» unterschieden. Auf der Baustelle wurde jede 15 cm x 15 cm grosse Versuchsfäche mit 4 Pseudopodetien mit Phyllocladien und 4 Pseudopodetien ohne Phyllocladien bestückt (je 2 pro Substrattyp).

Am naturnahen Standort gab es je vier ganze Versuchsfächen mit den Substratbehandlungen angedrückt (A), aufgelockert mit Silikatkiesel (B) und aufgelockert ohne Silikatkiesel (C). Pro Fläche wurden am naturnahen Standort 4 Pseudopodetien mit Phyllocladien und 2 ohne ausgebracht (Tab. 1).

An allen drei Untersuchungsarten wurde ein Teil der Versuchsfächen mit einem

Untersuchungsort	Am 19. 9. 2014 fest verankert	davon	
		mit Phyllocladien	ohne Phyllocladien
Gewächshaus 500 m	51 (100%)	26 (51%)	25 (49%)
Baustelle 2500 m	37 (100%)	23 (62%)	14 (38%)
Naturnah 2500 m	29 (100%)	8 (28%)	21 (72%)

Tab. 4: Anzahl (bzw. Anteil) der am Ende des Experiments am 19.09.2014 noch vorhandenen und fest verankerten Pseudopodetien mit und ohne Phyllocladien (a) im Gewächshaus auf 500 m ü.M., (b) auf der gestörten Baustelle auf 2500 m ü.M. und (c) auf einer naturnahen Fläche auf 2500 m ü.M.

Tab. 4: *Quantité (resp. proportion) des pseudopodes à la fin de l'étude le 19.09.2014 encore existants et bien ancrés avec ou sans phylloclades dans (a) la serre à 500 m, (b) la zone de chantier à 2'500 m d'altitude et (c) la surface quasi-naturelle à 2'500 m d'altitude.*

über einen Holzrahmen gespannten Nylongewebe abgedeckt, um die ausgebrachten Flechtenteile gegen Wegwehen bzw. Abschweemen zu schützen (Abb. 8).

### 2.5 Längenzuwachs

Die Messungen starteten in der naturnahen Fläche N am 31.10.2013, im Gewächshaus G in Birmensdorf am 11.11.2013 und auf der Baustelle B am 02.06.2014. Abgeschlossen wurden alle Messungen am 19.09.2014. Bei Versuchsbeginn wurden sämtliche Pseudopodetien ausgemessen und auf ein Blatt Papier abgezeichnet. Dabei wurden Fixpunkte definiert, anhand derer die Längenzunahme am Ende des Experiments bestimmt werden konnte. Am Ende des Versuchs wurden alle Pseudopodetien erneut ausgemessen. Die Messungen erfolgten von Hand mit einem Lineal und am Computer mit der Software Screen Ruler (Sprightly, 2013).

### 2.6 Verankerung

Die Stärke der Verankerung der Pseudopodetien im Substrat wurde am Ende des Experiments gutachterlich beurteilt (nicht verankert vs. leicht vs. fest vs. ins Substrat eingesenkt bzw. teilweise vergraben). Bei den Pseudopodetien, die teilweise vergraben waren, liess sich keine Aussage darüber machen, wie gut sie sich verankern konnten, da sie bereits durch das Eingegrabensein fixiert waren und keine zusätzliche «Verankerungsleistung» notwendig war. Positiv war, dass sie noch da waren. Die Überlebenschancen der teilweise eingegrabenen Pseudopodetien werden als gut taxiert, da sie mit den freien Teilen photosynthetisch und stickstofffixierend aktiv sein können.

Untersuchungsort	Höhe ü.M.	pH Boden	Dauer des Experiments	Längenzunahme in mm ± 1 SE		
				mit Phyllocladien	ohne Phyllocladien	p-Wert
Gewächshaus (G) in Birmensdorf	500 m	6.0	10.5 Monate	1.33 ± 0.18 (n = 29)	0.77 ± 0.12 (n = 29)	0.014
Baustelle (B) Muttsee	2500 m	5.7	3.5 Monate	2.96 ± 0.43 (n = 49)	1.35 ± 0.30 (n = 19)	0.030
Naturnaher Standort (N) Muttsee	2500 m	4.5	10 M. (8 unter Schnee)	1.18 ± 0.41 (n = 9)	1.42 ± 0.28 (n = 14)	0.654

Tab. 5: Mittlere Längenzunahme der Pseudopodetien (PP) mit und ohne Phyllocladien (PC) im Gewächshaus G, auf der Baustelle B und auf einer naturnahen Fläche neben der Baustelle N.

Tab. 5: Croissance en longueur moyenne des pseudopodes (PP) avec et sans phylloclades (PC) dans la serre G, sur le chantier B et sur une surface quasi-naturelle à côté du chantier N.

### 2.7 Bodentemperatur

An allen drei Untersuchungsorten (G, B und N) wurde in den Versuchsflächen in 2 cm Tiefe stündlich die Bodentemperatur mit iButtons (1-Wire ThermoChron, maxim integrated, Landsberger Str. 300, 80687 München, DE) gemessen. Insgesamt wurden 102 iButtons ausgebracht, im Allgemeinen 1-2 iButtons pro 15 cm x 15 cm-Versuchsfläche.

### 2.8 Statistische Analysen

Vor der Auswertung wurden die Messwerte der beiden Pseudopodetien mit bzw. ohne Phyllocladien pro Substrattyp gemittelt. Anschliessend wurden die Daten auf Normalverteilung und Homogenität der Varianzen geprüft. Wenn nötig wurden die Werte vorgängig wurzeltransformiert (z.B. die Längenzunahme der Pseudopodetien ohne Phyllocladien im Gewächshaus). Bei Normalverteilung und homogenen Varianzen wurde der t-Test, bei Normalverteilung und inhomogenen Varianzen der Welch-Test verwendet. Bei nicht-normalverteilten Daten wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt. Zum Ver-

gleich mehrerer Variablen wurde bei Normalverteilung eine Anova, bei nicht-normalverteilten Daten ein Kruskal-Wallis-Test verwendet. Alle Auswertungen wurden im Statistikprogramm R (R Core Team, 2013) durchgeführt.

## 3. Resultate

### 3.1 Haben die im Herbst 2013 auf 2500 m ü. M. ausgebrachten Flechtenteile den Winter überlebt?

Von den 72 im Herbst am naturnahen Untersuchungsort N ausgebrachten Pseudopodetien waren im Juni 2014 noch 33 vorhanden, während die restlichen 39 trotz teilweiser Abdeckung mit einem feinmaschigen Nylonnetz weggeschwemmt oder weggeweht worden waren. Von den 33 noch vorhandenen Pseudopodetien hatten alle den Winter 2013-14 unbeschadet überlebt. Der Substrattyp hatte keinen sichtbaren Einfluss auf die Überlebensrate von *S. alpinum*.

### 3.2 Wie gut konnten sich die ausgebrachten Flechtenteile im Boden verankern?

Im Gewächshaus G waren am Ende des Versuchs, d.h. am 19. September 2014, 98% der 120 ausgebrachten Flechtenfragmente noch vorhanden, auf der ungestörten, naturnahen Freilandfläche N am Muttsee waren noch 45% vorhanden und auf der gestörten Baustellenfläche B nur noch 40% (Tab. 2). Der Anteil von den am Ende des Versuchs noch vorhandenen Fragmenten, die fest verankert waren, war am naturnahen Standort fast doppelt so gross wie an den beiden anderen (N: 88%; G: 43%; B: 38%; Tab. 3). In Tab. 3 fällt auf, dass der Anteil der teilweise verschütteten bzw. eingegrabenen Flechten-Fragmente auf der Baustelle weitaus am grössten war (B: 31%; N: 1%; G: 0%). Im Gegensatz dazu war der Anteil der noch vorhandenen aber nicht verankerten Flechten-Fragmente im Gewächshaus am grössten (G: 34%; B: 19%; N: 0%). Am naturnahen Standort wurden gar keine nicht-verankerte und nur sehr wenig leicht verankerte Pseudopodetien gefunden. Aufgrund der verfügbaren Daten lässt sich nicht sagen, ob sich Pseudopodetien mit oder ohne Phyllocladien besser verankern können (Tab. 4).

### 3.3 Wie stark wird der Längenzuwachs (a) von der Ausgangsgrösse, (b) vom Vorhandensein von Phyllocladien, (c) vom Boden-pH und (d) von der Bodentemperatur beeinflusst?

An den beiden Untersuchungsorten Baustelle Muttsee und naturnaher Standort Muttsee hatte die Ausgangsgrösse der Pseudopodetien keinen statistisch nachweisbaren Effekt auf die absolute Längenzunahme. Die grössten absoluten Längenzunahmen wurden jedoch bei den grössten Pseudopodetien beobachtet. Dieser Vergleich wurde nur mit den Längenzunahmen der Freiland-Versuchsflächen erstellt, da die Bedingungen im Gewächshaus deutlich anders waren (Bodentemperatur, vor allem aber der Einfluss von Störungen).

	Längenzunahme (in mm) in Abhängigkeit vom Substrat-Typ								
	A angedrückt (ohne Silikat Kiesel)			B locker MIT Silikat Kieseln			C locker OHNE Silikat Kieseln		
	Mittel	1 SE	n	Mittel	1 SE	n	Mittel	1 SE	n
<b>Gewächshaus</b>									
MIT Phyllocladien	1.13	0.23	9	1.45	0.37	10	1.38	0.26	10
OHNE Phyllocladien	0.73	0.15	10	1.13	0.25	10	0.42	0.13	9
<b>Baustelle</b>									
MIT Phyllocladien	2.22	0.55	23	-	-	-	3.62	0.63	26
OHNE Phyllocladien	1.39	0.41	10	-	-	-	1.30	0.45	9
<b>Naturnaher Standort</b>									
MIT Phyllocladien	1.40	0.60	2	1.47	0.62	3	0.85	0.74	4
OHNE Phyllocladien	0.52	0.21	3	1.05	0.48	5	2.18	0.29	6

Tab. 6: Mittlere Längenzunahme (± 1 Standardfehler) von Pseudopodetien mit und ohne Phyllocladien in Abhängigkeit vom Substrat (A,B,C; vgl. Abb. 7) an den drei Untersuchungsorten Gewächshaus, Baustelle Muttsee und naturnaher Standort Muttsee.

Tab. 6: Croissance en longueur moyenne (± 1 faute standard) des pseudopodes avec ou sans phylloclades selon le substrat (A, B, C; cf. Fig. 7) dans les trois zones d'essai: serre, chantier de Muttsee et à un emplacement quasi-naturel près de Muttsee.

Das Vorhandensein von Phyllocladien hatte – wie zu erwarten – einen grossen Einfluss auf die Längenzunahme der Pseudopodetien. Die mittlere Längenzunahme im Gewächshaus über eine Zeitdauer von 10.5 Monaten war bei den Pseudopodetien mit Phyllocladien fast doppelt so gross wie bei jenen ohne Phyllocladien (1.33 vs. 0.77 mm;  $p = 0.014$ ) (Tab. 5). Im Bereich der Baustelle am Muttsee war die mittlere Längenzunahme während 3.5 Monaten im Sommer 2014 bei den Pseudopodetien mit Phyllocladien ebenfalls mehr als doppelt so gross wie bei jenen ohne Phyllocladien (2.96 vs. 1.34 mm;  $p = 0.030$ ). Am naturnahen Standort beim Muttsee war die mittlere Längenzunahme bei den Pseudopodetien mit Phyllocladien während 10 Monaten (davon acht Monate unter Schnee) hingegen tendenziell etwas kleiner als jene bei jenen ohne Phyllocladien (1.18 vs. 1.42 mm;  $p = 0.65$ ). Dies könnte möglicherweise auch damit zusammenhängen, dass die Flechtenfragmente während der acht Monate unter Schnee wegen der fortdauernden Aktivität des Pilzsymbionten bei gleichzeitig fehlender Photosynthese an Grösse einbüssten. Der Boden-pH schien im beobachteten Bereich von 4.5 bis 6 keinen grossen Einfluss auf die Längenzunahme der Pseudopodetien zu haben (Tab. 5). Im Gewächshaus war die Bodentemperatur 10-15°C höher als am Muttsee auf 2500 m ü.M. Die im Gewächshaus beobachtete Längenzunahme der Pseudopodetien war aber nicht grösser sondern deutlich kleiner als an den beiden Untersuchungsstellen beim Muttsee. Dies könnte damit zusammenhängen, dass im Gewächshaus – zur Unterdrückung von Moosen – die Beregnung so eingestellt war, dass das Substrat regelmässig austrocknete.

### 3.4 Welche Kombination von Flechtenmaterial (gross vs. klein; mit vs. ohne Phyllocladien), Substrat (aufgelockert vs. festgedrückt; mit vs. ohne Zugabe von Silikatieseln) und Abdeckung (mit oder ohne) ist besonders vielversprechend?

Grosse Pseudopodetien mit Phyllocladien hatten eine tendenziell – aber statistisch nicht signifikant – grössere

Längenzunahme als kleinere ohne Phyllocladien. Im Gewächshaus in Birmensdorf und auf der naturnahen Fläche neben der Baustelle Muttsee war die Längenzunahme auf aufgelockertem Substrat mit Silikatieselnzugabe meistens am grössten, im Bereich der Baustelle auf aufgelockertem Substrat, da dort keine Teilflächen mit Zugabe von Silikatieseln eingerichtet worden waren (Tab. 6). Eine Ausnahme bildeten die Pseudopodetien ohne Phyllocladien am naturnahen Standort, bei denen die Längenzunahme auf dem festgedrückten Substrat am grössten war. Am naturnahen Standort ausserhalb der Baustelle waren – im Gegensatz zu den anderen beiden Untersuchungsstellen – die Pseudopodetien ohne Phyllocladien auch besser verankert als diejenigen mit Phyllocladien. Eine Abdeckung mit einem feinen Nylongewebe hatte auf die Längenzunahme der Pseudopodetien meist keinen oder – im Fall der Pseudopodetien ohne Phyllocladien im Gewächshaus und auf der Baustelle – einen negativen Effekt (Tab. 7).

### 4. Diskussion

Alle am Ende unserer Untersuchung noch vorhandenen Flechtenteile waren noch am Leben. Viele hatten sich im Boden verankert und die meisten waren in der Länge gewachsen. Eine Wiederherstellung der biologischen Bodenkrusten mit *Stereocaulon alpinum* auf der Baustelle Muttsee scheint daher grundsätzlich möglich zu sein. Für die längerfristige Entwicklung der ausgebrachten Flechten-Fragmente aber ist

entscheidend, dass die für *S. alpinum* relevanten Standortfaktoren während der Bauarbeiten nicht zu stark verändert worden sind. Zu den für *S. alpinum* relevanten Standortfaktoren gehören sicher Licht, Wasser, Wärme und der pH des Bodens.

Das Lichtangebot während der schneefreien Zeit wurde durch die Bauarbeiten insgesamt sicher nicht verändert. Die Pseudopodetien in den naturnahen Versuchsflächen lagen während 8 von 10 Monaten unter einer Schneedecke. Aufgrund der tiefen Temperaturen wird vermutet, dass die Flechtenteile während dieser Zeit grösstenteils inaktiv oder nur sehr wenig aktiv waren. Die Pseudopodetien im Gewächshaus waren nie schneebedeckt. Die mittlere Bodentemperatur war im Gewächshaus zudem 10° – 15°C höher als im Freiland, was eigentlich eine höhere Aktivität der Flechtenteile ermöglichen würde. Um die Konkurrenz durch Moose niedrig zu halten, wurde die Beregnung im Gewächshaus so eingestellt, dass das Substrat regelmässig austrocknete. *S. alpinum* war daher nicht während der ganzen Zeit physiologisch aktiv. Kytöviita & Crittenden (2002) wiesen nach, dass sich der Flechtenkörper von *Stereocaulon paschale* verkleinern kann, wenn die Zellatmung über längere Zeit die Leistung der Photosynthese der Flechtenalge übersteigt. *S. paschale* ist *S. alpinum* sehr ähnlich und wird hier erwähnt, da über *S. paschale* mehr Literatur vorhanden ist. Für die Flechtenteile von *S. alpinum* am Muttsee ist nicht bekannt, ob während der schnee-

	Längenzunahme (in mm) mit und ohne Abdeckung					
	MIT Abdeckung			OHNE Abdeckung		
	Mittel	1 SE	n	Mittel	1 SE	n
<b>Gewächshaus</b>						
MIT Phyllocladien	1.37	0.22	17	1.27	0.28	12
OHNE Phyllocladien	0.63	0.12	18	1.01	0.23	11
<b>Baustelle</b>						
MIT Phyllocladien	2.99	0.55	33	2.92	0.69	16
OHNE Phyllocladien	1.26	0.28	17	2.10	1.48	2
<b>Naturnaher Standort</b>						
MIT Phyllocladien	1.18	0.41	9	-	-	-
OHNE Phyllocladien	1.42	0.28	14	-	-	-

Tab. 7: Mittlere Längenzunahme ( $\pm 1$  Standardfehler) von Pseudopodetien mit und ohne Phyllocladien in Abhängigkeit von der Abdeckung (mit vs. ohne Nylonnetz) an den drei Untersuchungsstellen Gewächshaus, Baustelle Muttsee und naturnaher Standort Muttsee.

Tab. 7: Croissance en longueur moyenne ( $\pm 1$  faute standard) des pseudopodes avec et sans phylloclades selon le revêtement (avec ou sans filet en nylon) dans les trois zones d'essai: serre, chantier de Muttsee et à un emplacement quasi-naturel près de Muttsee.

bedeckten Zeit von 8 Monaten eine Längenabnahme erfolgt ist. Über die ganze Versuchsdauer von 10 Monaten wurde jedoch eine Längenzunahme beobachtet. Für Rekultivierungen mit *S. alpinum* ist deshalb wichtig, dass die zu rekultivierenden Flächen so lange schneefrei sind, dass die langfristig Energiebilanz positiv ist und die Flechte überleben kann. Rekultivierungen sollten daher so geplant werden, dass *S. alpinum* zu Beginn der schneefreien Zeit ausgebracht wird, damit die Transplantate die Vegetationsperiode voll ausnützen können. Am Muttsee war dies 2014 von Juni bis Mitte September der Fall.

Gemäss den Untersuchungen von Crittenden & Kershaw (1979) an *Stereocaulon paschale* in trockenen, kontinentalen, subarktischen Habitaten spielen neben der Dauer der Schneefreiheit auch die Feuchtigkeitsbedingungen eine entscheidende Rolle, da Flechten nur bei genügender Feuchtigkeit physiologisch aktiv sein können. Cooper et al. (2001) zeigten, dass Flechtenkörper umso besser wachsen, je regelmässiger Feuchtigkeit vorhanden ist. Bei *S. paschale* genügt z.B. ein Wassergehalt des Flechtenkörpers von 50% des Trockengewichtes, um respiratorisch aktiv sein zu können (Kershaw & Smith, 1978). Im Untersuchungsgebiet Muttsee war es während der Vegetationsperiode 2014 oft neblig oder es regnete, weshalb der Faktor Wasser hier vermutlich nicht limitierend war. Die Flächen im Gewächshaus wurden regelmässig aber sparsam bewässert. Auf der Baustelle und im Gewächshaus war die mittlere Längenzunahme der Pseudopodetien mit Phyllocladien tendenziell grösser als auf jenen mit angedrücktem Substrat. Am naturnahen Standort war der Einfluss des Substrats weniger klar. Für die Rekultivierung bedeutet das, dass bei den zu rekultivierenden Flächen dafür zu sorgen ist, dass vom Substrat genügend Wasser aufgenommen und kapillar gespeichert werden kann. Kleinstrukturen und ein vielfältiges Mikrorelief sind sicher hilfreich, da sie das Abfließen des Wassers verlangsamen und gegen austrocknende Winde schützen. Auf den Rekultivierungsflä-

chen sollte aber auch bei Starkregen kein freies Wasser liegen bleiben. Die verfügbare Wärme bzw. die Temperatur hat ebenfalls einen Einfluss auf *S. alpinum* – allerdings nur, wenn die Flechte physiologisch aktiv ist. Im trockenen, inaktiven Zustand sind Flechten gegenüber ungünstigen Standortbedingungen sehr viel robuster als im feuchten, aktiven Zustand. Im Gewächshaus war die mittlere Bodentemperatur zwar 10 bis 15°C höher als im Freiland, aber die Flechten waren im Gewächshaus physiologisch nicht immer aktiv. Während den physiologisch aktiven Perioden dürften die Temperaturunterschiede zwischen Gewächshaus und Freiland daher deutlich kleiner gewesen sein. Im Gewächshaus wurde nämlich darauf geachtet, dass die Flechten nur in den frühen Morgenstunden befeuchtet wurden und dann bereits im Laufe des Vormittags wieder austrockneten. Gemäss der Literatur sind bei *S. paschale* für Stickstofffixierung und Photosynthese Temperaturen von 20 bis 25°C optimal (Crittenden & Kershaw, 1979; Kytöviita & Crittenden, 2002). Die in alpinen Zonen wie im Untersuchungsgebiet Muttsee vorherrschenden Temperaturen sind jedoch meist viel tiefer. Gemäss Kallio & Kallio (1978) kann *S. paschale* bei ansteigenden Temperaturen die Photosynthese aber sehr schnell reaktivieren. Kytöviita & Crittenden (2002) beobachteten zudem, dass *S. paschale* in einem relativ weiten Temperaturbereich Stickstoff fixieren kann. Das heisst, dass *S. paschale* auch ausserhalb des Temperaturoptimums aktiv ist, was sich mit unseren Beobachtungen an *S. alpinum* deckt. Wenn – wie am Untersuchungsgebiet Muttsee – während der Vegetationsperiode immer genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, spielt die Temperatur für die Rekultivierung von biologischen Bodenkrusten mit *S. alpinum* sicher eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Am naturnahen Standort beim Muttsee hatte der Oberboden einen pH-Wert von ca. 4.5. Auf der Baustelle betrug der mittlere pH-Wert des Oberbodens 5.73, was für *S. alpinum* – zumindest während der Dauer unserer Untersuchungen – keine grösseren Probleme

zu verursachen schien. Wir vermuten aber, dass der vergleichsweise hohe pH-Wert längerfristig einen negativen Einfluss auf *S. alpinum* haben dürfte. Gemäss Kershaw (1977) hängt der Etablierungserfolg von *S. paschale* vor allem von der Konkurrenz durch Gefässpflanzen ab. Beim Muttsee auf 2500 m ü.M. ist dieser Einfluss derzeit irrelevant. Im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung könnte der Konkurrenzdruck durch Blütenpflanzen aber auch am Muttsee zunehmen. Für die Rekultivierung bedeutet das, dass sich *S. alpinum* voraussichtlich längerfristig gegen einen zunehmend stärker werdenden Konkurrenzdruck durch Gefässpflanzen behaupten muss.

## 5. Fazit für die Praxis

Die Resultate haben gezeigt, dass

- Rekultivierungen mit *S. alpinum* grundsätzlich möglich sein sollten.
- die Verankerung der Flechtenstücke bzw. ihr Schutz gegen Abschwemmung, für eine erfolgreiche Wiederansiedlung entscheidend ist.
- Abdecken mit Nylongewebe die ausgebrachten Flechtenstücke allein nicht wirksam gegen Abschwemmen bzw. Wegwehen zu schützen vermag.
- grössere Flechtenstücke mit Phyllocladien für Rekultivierungen erfolgversprechender sind als kleine Stücke ohne Phyllocladien.
- aufgelockertes Substrat mit grösserer Wasserspeicherkapazität günstiger ist als festgedrücktes.
- der Boden-pH im Bereich von 4.5 bis 6.0 – zumindest kurzfristig und in Abwesenheit von Konkurrenz – keinen signifikanten Einfluss auf die Längenzunahme der ausgebrachten Flechtenstücke hat.

## Literatur

- Belnap, J. 1993. Recovery rates of cryptobiotic crusts: inoculant use and assessment methods. *Great Basin Naturalist* 53: 89–95.
- Belnap, J. & Gillette, D.A. 1997. Disturbance of biological soil crusts: impacts on potential wind erodibility of sandy desert soils in southeastern Utah. *Land Degradation & Development* 8: 355–362.

- Bowker, M.A. 2007. Biological Soil Crust Rehabilitation in Theory and Practice: An Underexploited Opportunity. *Restoration Ecology* 15: 13–23.
- Bowker, M.A., Belnap, J. & Davidson, D.W. 2010. Microclimate and Propagule Availability are Equally Important for Rehabilitation of Dryland N-Fixing Lichens. *Restoration Ecology* 18: 30–33.
- Braun, L. N., Aellen, M., Funk, M., Hock, R., Rohrer, M. B., Steinegger, U., Kappenberger, G. & Müller-Lemans, H. 1994. Measurement and Simulation of High Alpine Water Balance Components in the Linth-Limmern Head Watershed (North-Eastern Switzerland). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 30: 161–185.
- Burga, C.A. 1999. Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch (Switzerland). *Applied Vegetation Science* 2: 17–24.
- Clerc, P. & Truong, C. 2012. Catalogue des lichens de Suisse. <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/catalogue-lichen> [Version 2.0, 11.06.2012]
- Cooper, E.J., Smith, F.M. & Wookey, P.A. 2001. Increased rainfall ameliorates the negative effect of trampling on the growth of High Arctic forage lichens. *Symbiosis* 31: 153–171.
- Crittenden, P.D. & Kershaw, K.A. 1979. Studies on lichen-dominated systems. The environmental control of nitrogenase activity in *Stereocaulon paschale* in spruce-lichen woodland. *Canadian Journal of Botany* 57: 236–254.
- enviroGRIDS Web Map services 2005. University of Geneva & UNEP/GRID-Geneva. Abgerufen via WMS-Server in QGIS.
- Kallio, P. & Kallio, S. 1978. Adaption of nitrogen fixation to temperature in the *Peltigera aphthosa*-group. *Ecological Bulletins (Stockholm)* 26: 225–233.
- Kershaw, K.A. 1977. Studies on lichen-dominated systems. An examination of some aspects of the northern boreal lichen woodlands in Canada. *Canadian Journal of Botany* 55: 393–410.
- Kershaw, K.A. & Smith, M.M. 1978. Studies on lichen-dominated systems. The control of seasonal rates of net photosynthesis by moisture, light and temperature in *Stereocaulon paschale*. *Canadian Journal of Botany* 56: 2825–2830.
- Kytöviita, M.M. & Crittenden, P.D. 2002. Seasonal variation in growth rate in *Stereocaulon paschale*. *Lichenologist* 34: 533–537.
- Landolt, E., Bäumler, B., Erhardt, A., Hegg, O., Klötzli, F., Lämmler, W., Nobis, M., Rudmann-Maurer, K., Schweingruber, F.H., Theurillat, J-P., Urmi, E., Vust, M., Wohlgemuth, T. 2010. Flora indicativa, ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen (2. Auflage). Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien.
- Oberholzer, J. 1933. Geologie der Glarneralpen. 2. Atlas. Bern: Hrsg. von der Geologischen Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft.
- QGIS Development Team 2014. QGIS Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Roux, C., Monnat, J.-Y., Van Haluwin, C., Chipon, B., Poumarat, S., Houmeau, J.-M., Diederich, et al. 2014. Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine. Publication de l'association française de lichénologie. Verlag Henry des Abbayes.
- Scheidegger, C., Clerc, P., Dietrich, M., Frei, M., Groner, U., Keller, C. et al. 2002. Rote Liste der gefährdeten baum- und erdbewohnenden Flechten der Schweiz. WSL, CJB, BUWAL: Bern, 124 p.
- SLF 2015. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Daten der Messstation MUT2.
- Sprightly software 2013. Screen Ruler 4. Pixel perfection (Version 4.1).
- SwissLichens 2013. Nationales Daten- und Informationszentrum der Schweizer Flechten. Abgerufen am 20.01.2015 unter <http://merkur.wsl.ch/didado/swisslichens.map>.
- swisstopo 2013. Pixelkarte 1:25'000. Abgerufen am 08.07.2015 unter <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp> und unter <http://map.geo.admin.ch/?X=191589.59&Y=721143.63&zoom=8&lang=de&topic=ech&bglayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe>.
- Wirth, V., Hauck, M. & Schultz, M. 2013. Die Flechten Deutschlands. Band 1 und Band 2. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

**Kontaktadresse:**

Bertil O. Krüsi, Prof. Dr. sc. nat. ETH ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften Grüntal CH-8820 Wädenswil [bertil.kruesi@zhaw.ch](mailto:bertil.kruesi@zhaw.ch)

# Gemeinsam für umweltschonende Eingriffe im Wintersport

Beat Lüscher, Selina Lucarelli, Hansueli Müller, Kirsten Edelkraut, Reto Rupf und Michael Wernli

## Zusammenfassung

Im Hinblick auf die alpinen Ski-Weltmeisterschaften 2017 in St. Moritz wurden u.a. Pistenkorrekturen im Bereich der beiden Sprünge Rominger und Reinalter notwendig. Die Kartierung der Vegetation und des Bodens bildeten von ökologischer Seite die notwendigen Grundlagen für die entsprechende Projektierung und Umsetzung der Pistenkorrekturen sowie die Entwicklung von Wiederherstellungsverfahren. Bei der Projektierung wurde streng nach dem Grundsatz «vermeiden – minimieren – wiederherstellen – ersetzen» vorgegangen und bildete die Grundrezeptur bei der Erarbeitung von Lösungen.

Die technischen Anforderungen an die Pistenkorrekturen wurden vom Verein Ski-WM 2017 formuliert. Die Planung und Umsetzung dieser permanenten Bauten erfolgte unter der Leitung des Bauamtes St. Moritz unter Einbezug verschiedener unabhängiger Spezialisten mit langjähriger Erfahrung. Von entscheidender Bedeutung war, dass die Umweltbaubegleitung von Beginn an in die Planung, aber auch später in die Umsetzung der Bauvorhaben, eingebunden war. Somit konnte diese das ganze Projekt von der Planung bis zum Abschluss begleiten und war in einem steten Dialog mit den Projektleitern, der Bauleitung und den Bauunternehmern. Dadurch konnten Konflikte und Probleme frühzeitig erkannt und Lösungen angedacht werden.

Nach der Durchführung des Weltcup-Finales 2016 können die Pistenkorrekturen renntechnisch als gelungen bezeichnet werden und erfüllen die Bedingungen des Vereins Ski-WM 2017 und der FIS. Aus der Perspektive der Umwelt können die Bauwerke als Erfolg gewertet werden – die Anerkennung mit dem Begrünerpreis 2016 bestärkt das Team, den eingeschlagenen Weg konsequent fortzuführen und so zu einer wiederhergestellten Landschaft und Natur inmitten

einer touristisch intensiv genutzten Zone beizutragen.

Parallel zu den Geländekorrekturen für die Rennpisten wurden auch Begrünungsversuche gestartet; deren Ergebnisse werden zu einem späteren Zeitpunkt präsentiert.

## Keywords

Umweltbaubegleitung, Hochlagenbegrünung, Pistenkorrektur, lokales Saatgut, Begrünungsverfahren

## Ensemble pour une intervention respectueuse de l'environnement dans les sports d'hiver

### Résumé

En vue du championnat du monde de ski alpin 2017 à St. Moritz, il était nécessaire d'effectuer notamment des corrections de pistes dans le domaine des deux sauts Rominger et Reinalter. La cartographie de la végétation et du sol forment la base nécessaire pour une conception conforme et la mise en œuvre de la correction des pistes, ainsi que le développement des procédures de restauration. Lors de la planification, on a opéré strictement selon le principe «éviter – minimiser – restaurer – remplacer», recette de base lors de l'élaboration des solutions.

Les exigences techniques pour les corrections des pistes ont été précisées par l'Association des championnats du monde de ski alpin 2017. La planification et la mise en œuvre de ces constructions permanentes ont été faites par la direction de l'office de construction de St. Moritz, compte tenu de l'implication des différents spécialistes ayant une longue expérience. Dès le début de la planification, mais aussi lors de la mise en œuvre, le suivi environnemental des travaux a été déterminant, garantissant

une communication constante entre le chef de projet, la direction des travaux et les entrepreneurs. Ainsi les conflits et les problèmes ont été détectés rapidement et des solutions ont pu être envisagées.

Après les épreuves finales de la Coupe du monde de ski alpin en 2016, les corrections des pistes peuvent être considérées comme une réussite du point de vue de la technique de course et satisfont aux conditions de l'Association des CM 2017 et de la FIS. Du point de vue écologique, ces ouvrages peuvent également être considérés comme un succès. La reconnaissance avec le Prix de végétalisation 2016 encourage l'équipe à continuer dans cette direction et de contribuer à la reconstitution du paysage et de la nature en milieu touristique utilisé de manière intensive.

Parallèlement aux corrections des terrains nécessaires aux pistes de ski, des essais de végétalisation ont aussi été entrepris, dont les résultats seront présentés ultérieurement.

## Mots-clés

Suivi environnemental, végétalisation en altitude, correction des pistes, semence locale, procédure pour la végétalisation

## Insieme per migliori pratiche ambientali negli sport invernali

### Riassunto

In previsione della coppa del mondo di sci alpino 2017 a St. Moritz si è reso necessario di procedere, tra le altre cose, a correzioni della pista nella zona dei due salti Rominger e Reinalter. Dal lato ecologico, la mappatura della vegetazione e del suolo erano le basi necessarie per procedere alla progettazione e attuazione delle correzioni, oltre che per lo sviluppo di tecniche di

ripristino. Durante la progettazione si è proceduto secondo il principio «evitare – minimizzare – ripristinare – sostituire» e sono state poste le basi per trovare soluzioni.

I requisiti tecnici per le correzioni della pista sono state formulate dall'associazione Coppa del Mondo di sci 2017. La pianificazione e costruzione di queste opere permanenti è stata supervisionata dall'ufficio lavori pubblici di St. Moritz e ha coinvolto diversi specialisti indipendenti con grande esperienza. Integrare la supervisione ambientale in fase di cantiere fin dall'inizio della pianificazione e durante l'attuazione del progetto è stato di fondamentale importanza. In questo modo ha potuto accompagnare il progetto dalla pianificazione al completamento e rimanere costantemente in contatto con i capi progetto, la direzione dei lavori e l'impresa edile. In questo modo è stato possibile identificare presto conflitti e problemi e trovare soluzioni adeguate.

Dal punto di vista sportivo, dopo lo svolgimento della finale di coppa del mondo 2016, si possono considerare le correzioni come riuscite. Adempiono i requisiti dell'associazione Coppa del mondo 2017 e della FIS. Dal lato ambientale, le opere sono da considerare un successo: il riconoscimento col premio d'inverdimento 2016 incoraggia il team a continuare in questo modo per contribuire a ripristinare paesaggio e natura all'interno di una zona turistica sfruttata intensamente.

Insieme alle correzioni delle piste da sci sono stati iniziati dei test d'inverdimenti. I risultati verranno presentati più avanti.

## Parole chiave

Supervisione ambientale in fase di cantiere, inverdimento in quota, correzione di piste da sci, sementi adatte alla situazione locale, tecniche d'inverdimento

## 1. Einleitung

Das weite Hochtal des Engadins mit den darin eingebetteten Seen, den lichten Talflanken mit den typischen Lärchen-/Arven Wäldern, ihrem jahreszeitlichen Farbenspiel und dem imposanten

Bergpanorama bildet eine einzigartige Landschaft. Diese Landschaft bildet das natürliche Kapital für unseren Tourismus. Entsprechend kommt dem Schutz und der Pflege der Landschaft als Grundlage für den Tourismus eine zentrale Bedeutung zu. Dieser Schutz- und Erhaltungsgedanke mag in krassem Widerspruch stehen zu einem Grossanlass wie einer alpinen Ski-WM. Entsprechend war es eine besondere Herausforderung in einer intensiv genutzten «touristischen Industriezone» die erforderlichen permanenten und temporären Infrastrukturen für den Anlass zu realisieren und gleichzeitig dem Schutz der Natur und der nachhaltigen Pflege der Landschaft, insbesondere deren Wiederherstellung, grösstmögliche Bedeutung einzuräumen.

Im Hinblick auf die alpinen Ski-Weltmeisterschaften 2017 sowie den nachfolgenden alpinen Weltcuprennen bis 2030 wurde entschieden, dass die beiden Pistenabschnitte im Bereich der Sprünge Reinalter und Rominger den heutigen Bedürfnissen des Rennsportes angepasst werden müssen. Diese Anpassung soll die Sicherheit der Fahrer und Fahrerinnen während des Rennens erhöhen, gleichzeitig aber auch den Aufwand für die Präparation der Rennpisten, insbesondere der Produktion von Kunstschnee für den Ausgleich der Kompressionen, massgeblich reduzieren. Die Pistenkorrekturen wurden im Gebiet der Alp Giop oberhalb Salastrains auf einer Höhe zwischen 2'145 und 2'220 m ü M durchgeführt. Neben dem kontinentalen Bergsklima mit relativ geringen Niederschlägen (Jahresmittel 940 mm) und einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer hat auch die eher tiefe mittlere Jahrestemperatur von ca. 1.3°C einen grossen Einfluss auf den Standort.

Innerhalb des Projektperimeters sind vor allem Borstgrasrasen (*Nardetum*), Alpine Milchkrautweiden (*Poion alpinae*), Zwergsträucher (*Juniperion*) und kleine Braunseggen- und Schnabelseggenriede (*Caricion fuscae* und *Caricion rostratae*) vegetationsbestimmend. Damit die Kompressionen ausgeglichen und die Sprünge sowie die Landungszonen angepasst werden konnten, muss-

ten rund 16'370 m<sup>3</sup> an unverschmutztem Material zugeführt werden. Von den Eingriffen war eine Fläche von ca. 18'293 m<sup>2</sup> betroffen. Wegen der Grösse der Fläche, der kurzen Vegetationszeit, den eher ungünstigen klimatischen Bedingungen sowie der gut sichtbaren Lage der Flächen war eine möglichst rasche Wiederbegrünung ein wichtiges Kriterium. Deshalb wurde entschieden, für die Wiederbegrünung im direkten Umlageverfahren zu arbeiten. Dies bedingte, dass die notwendigen Vorbereitungsarbeiten im Jahr davor organisiert und abgeschlossen wurden, und die eigentlichen Arbeiten zu den Pistenkorrekturen sorgfältig aufeinander abgestimmt ablaufen konnten.

Neben dem Ziel, die beiden Sprünge Reinalter und Rominger entsprechend den Vorgaben des Vereins Ski-WM 2017 und der FIS zu gestalten, wurden aber auch vier weitere Ziele gemeinsam mit der Umweltbaubegleitung definiert. Bei der Festlegung dieser Ziele orientierte sich die Bauherrschaft unter anderem auch an den Richtlinien für Hochlagenbegrünungen:

- Ästhetik

Wie gliedert sich der Projektperimeter nach Abschluss des Eingriffes in die Landschaft ein?

Der Eingriff soll möglichst unsichtbar sein und sich optimal in die Umgebung einpassen, d.h. bezüglich Deckungsgrad, Wuchshöhe und Farbe der Vegetation sowie bezüglich des Mikroreliefs

- Erosionsschutz

Bildet die neue Vegetationsdecke genügend Schutz gegen Bodenerosion? Nach 3 Jahren muss der Erosionsschutz gewährleistet sein, d.h. insbesondere der Deckungsgrad der Vegetation mindestens 75 % betragen. In der Vegetationsdecke hat es keine Lücken mehr, die grösser als 400 cm<sup>2</sup> sind. Es gibt keine offensichtlichen Erosionsschäden.

- Naturnähe

Entspricht die Artenzusammensetzung derjenigen der Umgebung und gibt es keine dominanten resp. unerwünschten Arten?

Die Vegetation soll naturnah sein, d.h. 60% der vorhandenen Arten passen

zu der als Begrünungsziel definierten Vegetation. Problemarten wie z.B. Neophyten oder landwirtschaftlich relevante Unkräuter fehlen oder haben nur einen kleinen Deckungsgrad (<5 %). Es treten keine Arten in der Fläche auf, die den Genpool der Flora verfälschen.

- **Aufwertung der Landschaft**  
Gibt es Möglichkeiten innerhalb des Projektes die Landschaft aufzuwerten oder eine Verbesserung zu erzielen? Wertvolle Elemente in der Landschaft müssen geschont resp. wenn möglich aufgewertet werden. Nicht mehr benötigte Infrastrukturbauten sind konsequent zu eliminieren.

## 2. Vorgehen

### 2.1 Team

Für die Planung und Umsetzung der Arbeiten wurden ein entsprechendes Team zusammengestellt, das alle notwendigen Arbeiten planen und begleiten konnte (Abb. 1): Als besonders wertvoll erwies sich der Umstand, dass die Oberbauleitung auf die Erfahrungen von H.U. Müller (Oeconsult) zurückgreifen. H.U. Müller war bereits anlässlich der letzten alpinen Ski WM 2003 als UBB tätig.

### 2.2 Planungsprozess

Für die Pistenkorrekturen wurde eine Voruntersuchung UVB durchgeführt. Die wichtigste Grundlage für diese Voruntersuchung und die anschliessende Planung bildete die Vegetationskartierung

nach Delarze et al. (2008) sowie Angaben zum Vorkommen seltener Arten durch die ZHAW Wädenswil. Diese wurde zwischen 2008 und 2010 über das ganze Gebiet Corviglia im Massstab 1:5'000 erhoben. Die Vegetationskartierung wurde auf der Stufe des Verbandes und bei gut unterscheidbaren Assoziationen auf deren Stufe unterschieden und aufgenommen. Durch die Geländekorrekturen für die Rennpisten waren die in Tabelle 1 bezeichneten Lebensräume betroffen.

Die Daten wurden vor Baubeginn von der UBB im Feld überprüft und um Angaben zum Vorkommen einzelner Arten ergänzt. Auf der Basis dieser Vegetationskartierung wurde eine Naturschutzwertkarte erarbeitet, in der die wertvollen und «weniger wertvollen» Gebiete anhand der ökologischen Bedeutung und deren Gewichtung dargestellt wurden. Diese Grundlagen erlaubten es, sensible und seltene Vegetationsgesellschaften zu erkennen und deren Bedeutung in die Planung mit einzubeziehen. Besonders sensible, seltene oder geschützte Lebensräume wurden entweder aus dem Projektperimeter entlassen oder als Sperrgebiete gekennzeichnet. Falls dies nicht möglich war, wurden Wege gesucht wie die entsprechenden Standorte bestmöglich geschont werden konnten resp. es wurden Massnahmen definiert, wie durch Wiederherstellungsmassnahmen diese wieder möglichst nahe an den ursprünglichen, natürlichen Zustand zurückgeführt werden konnten.

Dazu gehörte unter anderem das Umlageverfahren, bei dem die Rasenziegel unmittelbar nach Abschluss der Bauarbeiten praktisch an ihrem ursprünglichen Wuchsort zu liegen kommen, oder eine standortspezifische Saatmischung, welche auf die vorhandenen Vegetationseinheiten und die Höhenlage abgestimmt zusammengestellt wurde.

Innerhalb des Planungsprozesses wurden in regelmässigen Abständen die Bauprojekte bezüglich deren Umfang, Zweck und Funktionalität überprüft. Diese kritische Überprüfung hat sich im Planungsprozess als ein sehr taugliches Mittel erwiesen, um Synergien zwischen den Projekten zu nutzen und diese auf das Notwendige zu redimensionieren. Gerade im Bereich der Pistenkorrekturen konnte gegenüber der ursprünglichen Planung die Eingriffsfläche um ca. 10% reduziert werden. Dies führte dazu, dass ein Braunseggenried geschützt und die Eingriffe in die Flächen mit Zwergstrauchheide und Borstgrasrasen reduziert werden konnten.

Bei der Planung der Ersatzmassnahmen als Kompensation wurde darauf geachtet, dass diese möglichst vor Ort oder aber auf Gemeindegebiet von St. Moritz stattfinden. Die Massnahmen sollen einen langfristigen und nachhaltigen Beitrag zur Erhaltung, Verbesserung und Vernetzung von Lebensräumen leisten und zur Sicherung und Förderung der Biodiversität beitragen. Durch gezielte Revitalisierungsprojekte von Bächen und Moorregenerationen sollen die bestehenden Lebensräume in ihren natürlichen Zustand zurückgebaut werden und tragen somit massgeblich zur Förderung der Landschaft und Biodiversität in St. Moritz bei.

### 2.3 Submission

Die auszuführenden Bauunternehmungen musste im Rahmen eines Submissionsverfahrens nach geltendem kantonalem Submissionsgesetz gesucht werden. Die Offerenten mussten anhand von zwei gleichwertigen oder vergleichbaren Referenzobjekten den fachlichen Nachweis erbringen, dass sie über das notwendige Know-how für die Geländekorrekturen verfügen. Zudem wurde bereits im Leistungsverzeichnis der fach-

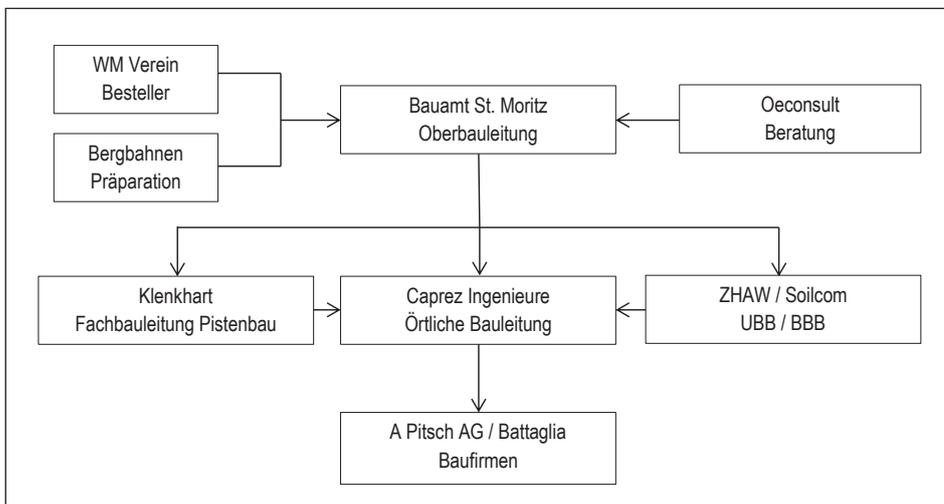


Abb. 1: Team für die Planung und Umsetzung der Arbeiten.  
Fig. 1: Équipe pour la planification et la réalisation des travaux.

Lebensraum nach Delarze	Deutsche Bezeichnung	Betroffene Fläche [m²]
<i>Caricetosum rostratae</i>	Schnabelseggenried	320
<i>Trichophorium cespitosum</i>	Haarbinsenried	23
<i>Nardion</i>	Borstgrasweide	5'019
<i>Juniperion nanae</i>	Trockene subalpine Zwergstrauchheide	311
<i>Alnion viridis</i>	Grünerlengebüsche	108
<i>Poion alpinae</i>	Bergfettweide	7'630
<i>Rumicion alpini</i>	Alpine Lägerfluren	513
--	Baulich veränderte Flächen	4'369
<b>Total</b>		<b>18'293</b>

Tab. 1: Durch die Geländekorrekturen für die Rennpisten betroffene Lebensräume.  
 Tab. 1: Biotope concerné par les corrections de terrain pour les pistes.

gerechte Umgang mit Boden und Rasen- ziegeln beschrieben.

### 2.4 Vorbereitung

Bereits vor den Arbeiten zu den Pistenkorrekturen wurden geeignete Herkunftsorte für den Bezug des Schüttmaterials gesucht und diese teilweise beprobt. Mit dieser Massnahme sollte sichergestellt werden, dass nicht ungewollt Schadstoffe verschleppt werden. Für die Lagerung des Materials vor Ort auf Alp Giop wurde auf einer ebenen Fläche (Bergfettweide und Lägerfluren) direkt auf den gewachsenen Boden ein Fliess ausgelegt. Das Material wurde entsprechend seiner Herkunft getrennt gelagert. Die maximale Schütthöhe des Aushubmaterials betrug 4 m.

Vor Baubeginn wurden die wertvollen Lebensräume im Gelände markiert und ausgezäunt. Diese durften durch das Bauvorhaben nicht tangiert werden. Auf der Basis dieser Ausscheidung wurden die Baustellenzufahrten für die Pistenkorrekturen und die Standorte der Installations- und Lagerflächen zusammen mit der UBB / BBB definiert. Streng nach dem Grundsatz «vermeiden – minimieren – wiederherstellen – ersetzen» wurde darauf geachtet, dass bei der Definition der Installations- und Lagerflächen diese auf bereits baulich veränderten Flächen eingerichtet wurden. So konnte für die Baustellenzufahrt zur Pistenkorrektur Reinalter eine alte Wegspur, welche in Luftbildern erkennbar war, genutzt werden.

Gemeinsam mit den Unternehmern wurde ein Bauphasenplan erarbeitet damit sichergestellt werden kann, dass im Direktumlagerungsverfahren gearbeitet

werden kann (Bodenabtrag, Aushub, Anlieferung von Material, Schüttung und Wiederherstellung). Mit diesem System konnte garantiert werden, dass die Rasenziegel praktisch nur für einige Stunden abgetragen werden mussten. Dazu wurden die Flächen innerhalb der Pistenkorrekturen schachbrettartig in Kacheln eingeteilt. Für jede einzelne Kachel wurden die notwendigen Geländekorrekturen abgesteckt, so dass die Arbeiten, der Maschineneinsatz sowie die Transporte sehr genau aufeinander abgestimmt werden konnten. Soweit als möglich und sinnvoll wurde dabei auch versucht, auf die verschiedenen Vegetationsgesellschaften Rücksicht zu nehmen. Gleichzeitig wurde bei der Geländemodellierung versucht, das umgebende Gelände zu kopieren, damit sich die Fläche auch rein optisch in die umgebende Landschaft einpasst.

### 2.5 Ausführung und Begrünung

Nach Abschluss der Installationsarbeiten wurde mit den Geländekorrekturen begonnen. Die Arbeiten wurden entsprechend dem Bauphasenplan im Uhrzeigersinn durchgeführt. Für die ersten Arbeiten musste kurzfristig ein Materiallager für die ersten Grasziegel angelegt werden. Diese wurden flächig in unmittelbarer Nähe ausgelegt. Sobald die ersten Schüttungen ausgeführt wurden, wurden die fertig gestellten Bereiche mit den Rasenziegel der daneben liegenden Flächen abgedeckt. Die gelagerten Rasenziegel wurden anschliessend so rasch als möglich wieder verlegt, um deren Qualität zu erhalten. Dies führte dazu, dass die Abdeckung mit Rasenziegel im Osten der Pistenkorrekturen

weitaus besser ist als im Westen. Wegen der vergrösserten Fläche konnte jedoch keine flächige Abdeckung erreicht werden. In den Zwischenräumen wurde anschliessend eine standortsspezifische Schafsart ausgebracht.

Bei den wöchentlichen Bausitzungen wurde das Thema Umwelt / Bodenschutz als fester Bestandteil in die Traktandenliste aufgenommen. Dies garantierte, dass die Umwelt- und Bodenkundliche Baubegleitung in die fachspezifischen Fragen einbezogen wurden und ein Dialog zwischen der Bauherrschaft, der Bauunternehmung und der Fachbauleitung stattfinden konnte. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass nicht nur die aktuell laufenden Arbeiten besprochen wurden, sondern auch jeweils die nächstfolgende Bauphase angesprochen und diskutiert wurde. Dies half allen Beteiligten, mögliche Konflikte und Probleme früh zu erkennen und zeitgerecht Lösungen zu erarbeiten.

Im Rahmen der Bauarbeiten kam im Bereich des Rominger Sprungs ein eingedohlter Bach zum Vorschein. Dieser wurde ausgedohlt und ein offenes, natürliches Gerinne gestaltet. Daneben stiess die Baufirma auf alte Leitungen und Fundamente eines Skiliftes. Diese wurden ausgegraben und entsorgt.

### 3. Resultate

Bei den Resultaten handelt es sich um eine Zwischenbilanz nach zwei resp. zweieinhalb Jahren, sie sind daher noch nicht abschliessend:

#### Kriterium Ästhetik (Abb. 2 und 3)

##### *Kleinstrukturen vorhanden*

Die Oberfläche des Geländes wurde strukturiert und mit Unebenheiten optisch sehr gut ins Landschaftsbild eingliedert.

##### *Landschaftsbild*

Mit der sorgfältigen Ausführung und dem guten Begrünungserfolg ist die Einschränkung des Landschaftsbildes schon im ersten Jahr sehr gering.

Nach dem Abtrag des Materialzwischenlagers zeigte sich leider, dass der Boden verdichtet wurde und spontan nicht mit dem Auflaufen von Vegetation gerechnet werden kann. Daher wurde die Fläche maschinell aufgelockert und



Abb. 2: Blau: Pistenkorrektur Rominger ein Jahr nach Umsetzung. Gelb: Materialzwischenlager. Rot: Pistenkorrektur Reinalter vor Umsetzung (Foto: Bauamt St. Moritz, 2014).

Fig. 2: En bleu: correction de la piste Rominger une année après la réalisation des travaux. En jaune: dépôt intermédiaire de matériel. En rouge: correction de la piste Reinalter avant la réalisation (Photo: office des constructions St. Moritz, 2014).



Abb. 3: Blau: Pistenkorrektur Rominger zwei Jahre nach Umsetzung, Gelb: ehemaliges Materialzwischenlager. Rot: Pistenkorrektur Reinalter ein Jahr nach Umsetzung (Foto: Bauamt St. Moritz, 2015).

Fig. 3: En bleu: Correction de la piste Rominger deux ans après la réalisation des travaux. En jaune: dépôt intermédiaire de matériel. En rouge: correction de la piste Reinalter une année après la correction (Photo: Office des constructions St. Moritz, 2015).

mit derselben Begrünmischung angesät. Die Fläche ist dadurch sehr eben angefallen.

### Kriterium Erosionsschutz

(Abb. 4 und 5)

Der Deckungsgrad ist mit der Umgebung vergleichbar. Nach 4 Jahren wird eine Zielerreichung von 60% erwartet, insbesondere im Bereich vormals bereits planierter Teilflächen.

Die gesamte Projektfläche wurde mit Rasenziegeln mosaikartig eingedeckt. Diese bedecken die Fläche zu etwa 50-60%. Die dazwischen liegenden Bodenstellen wurden mit standortgerechtem Saatgut angesät.

Mit dem lückenhaften Einbau der Rasensoden und der Erstellung einer strukturierten Oberfläche wurde zudem ein Mikroklima geschaffen, welches das

Aufkommen der Vegetation begünstigte und zu einem sehr guten Resultat beitrug. Die im Bereiche der Pistenkorrektur, Baustellenzufahrt und Kabelgraben verlegten Rasenziegel sind gut angewachsen.

Das Verlegen von Rasenziegeln im Bereich der Pistenkorrektur ist sehr erfolgreich umgesetzt worden. Der Teil der Baustellenzufahrt weist eine grössere Beeinträchtigung auf, vermutlich auch

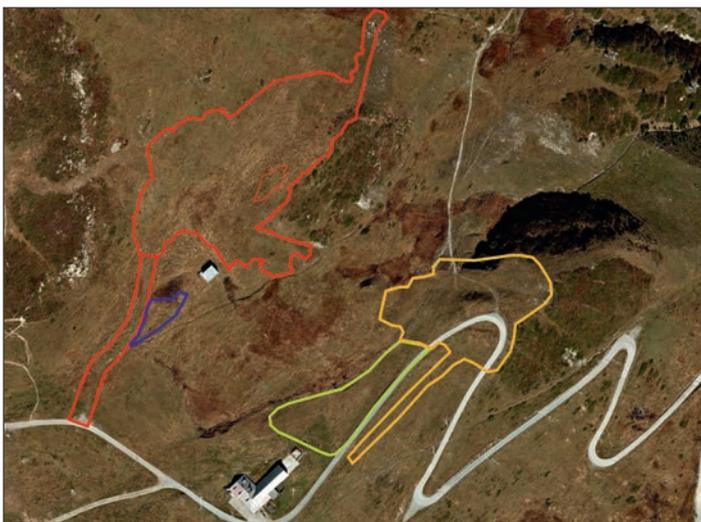


Abb. 4: Vor dem Bau. Orange: Pistenkorrektur Rominger. Grün: Materialzwischenlager. Blau: Umgesiedeltes Moor. Rot: Pistenkorrektur Reinalter mit Baustellenzufahrt (Luftbild: Geogrischa, vor 2013).

Fig. 4: Avant la construction. En orange: correction de la piste Rominger. En vert: dépôt intermédiaire de matériel. En bleu: marais déplacé. En rouge: correction de la piste Reinalter avec accès au chantier (Photo aérienne: Geogrischa, avant 2013).



Abb. 5: Ein Jahr nach dem Bau der Pistenkorrektur Reinalter und zwei Jahre nach dem Bau der Pistenkorrektur Rominger. Orange: Pistenkorrektur Rominger. Grün: Materialzwischenlager. Blau: Umgesiedeltes Moor. Rot: Pistenkorrektur Reinalter mit Baustellenzufahrt (Luftbild: Geogrischa, 2015).

Fig. 5: Une année après la construction de la correction de la piste et deux ans après la construction de la correction de la piste Rominger. En orange: correction de la piste Rominger. En vert: dépôt intermédiaire de matériel. En bleu: marais déplacé. En rouge: correction de la piste Reinalter avec accès au chantier (Photo aérienne: Geogrischa, 2015).

durch nachträglich erneutes Befahren. Der Kabelgraben talseitig wurde analog wie die Fläche der Pistenkorrektur wieder eingedeckt, hier beträgt der Deckungsgrad durch Rasenziegel etwa 70%. Ergänzende Ansaaten zur Schliessung der Vegetationslücken sollen den Zweck des Erosionsschutzes erfüllen und gleichzeitig das Kriterium 3 (Naturnähe) ebenfalls erfüllen.

*Es gibt keine offensichtlichen Erosionsschäden.*

Kurz nach erfolgter Rekultivierung der Pistenkorrektur Rominger ergoss sich ein Starkniederschlag über die Baustelle. Das erstellte Kleinrelief wirkte sich positiv auf die Bodenerosion aus. Es trat lediglich im steileren Randbereich Grabenerosion auf. Diese wurden umgehend von Hand ausgebessert und der Fließweg wurde entschärft.

### Kriterium Naturnähe (Abb. 6)

*Die Vegetation entwickelt sich nach Ansaat und Wiederherstellung in die gewünschte Richtung: Die Artenzusammensetzung entspricht derjenigen der Nachbarflächen.*

Bei Einbau von Rasenziegeln entspricht die Artenzusammensetzung dem Zielwert. Dies ist im ganzen Baustellenbereich der Fall. Inwiefern durch die Umlagerung Veränderungen in der Bodenbelüftung und damit Nährstoffumsetzung im Boden bewirkt wurden, welche eine Auswirkung auf die Artenzusammensetzung haben können, kann erst in ein paar Jahren beurteilt werden (insbesondere beim Schnabelseggenried relevant).

#### *Ergänzungs Ansaaten*

Bei den Samenmischungen für die Ansaaten wurde die Artenzusammensetzung der entsprechenden Lebensräume in der direkten Umgebung kopiert (sofern Saatgut vorhanden). Inwiefern sich die Bestände nach der Etablierung in ihrer Artenzusammensetzung von der Umgebung unterscheiden, kann erst in ein paar Jahren beurteilt werden. Im ersten Jahr nach der Ansaat wurde eine Verunreinigung insbesondere im Gebiet des Materialzwischenlagers durch die ortsfremde Grasart Windhalm (*Apera spica-venti*) festgestellt. Diese wurde noch im Sommer 2015 vor der Samen-



Abb. 6: Umgesiedeltes Schnabelseggenried (Foto: Bauamt St. Moritz, 2014).

Fig. 6: Déplacement Schnabelseggenried (Photo: Office des constructions St. Moritz, 2014).

reife gemäht und das Schnittgut entsorgt. Ob diese Art über das Saatgut oder über eine Verschleppung auf die Fläche gekommen ist, kann nicht zweifelsfrei ermittelt werden.

#### *Umsiedlung Schnabelseggenried*

Das im Projektperimeter gelegene Schnabelseggenried wurde lagegetreu an einen etwas unterhalb gelegenen Standort umgelagert. Inwiefern die Umlagerung zu einer Belüftung des Bodens und damit Aktivierung der Bodenaktivität führte, kann noch nicht abschliessend beurteilt werden. Bei der Umlagerung entstandene Lücken im Boden wurden durch autochtonen Torf aufgefüllt. Samen aus der Umgebung (Flachmoore im Umkreis von ca. 500 m) ergänzen das Artenspektrum am neuen Standort.

#### *Zwergsträucher*

Zwergsträucher (i.W. *Juniperus nana*) wurden ausgegraben und bei der Wiederherstellung der Flächen wieder eingepflanzt. Ob sie wieder angewachsen sind, wird 2016 beurteilt.

### Aufwertung der Landschaft

*Gibt es Möglichkeiten innerhalb des Projektes die Landschaft aufzuwerten oder eine Verbesserung zu erzielen?* Innerhalb des Perimeters der Pistenkorrektur Rominger stiess man auf einen eingedohnten Bach. Dieser wurde aus-

gedohlt und in einem natürlich gestalteten Gerinne offen geführt.

Die im Rahmen der Bauarbeiten gefundenen alten Leitungen und Reste des alten Rominger Skiliftes wurden komplett ausgegraben und fachgerecht entsorgt.

### 3. Schlussfolgerungen

Auf der Basis von fundierten Planungsgrundlagen und dank einer sehr engen Zusammenarbeit zwischen Bauherrschaft, Bauleitung, Bauunternehmern und der Umwelt- und Fachbauleitung gelang es dem Bauamt, die permanenten Bauten für die Ski WM innerhalb von zwei Jahren zu realisieren. Teamarbeit und der gemeinsame Wille zu beweisen, dass eine intensive Touristische Nutzung resp. ein Grossanlass durchaus mit den Forderungen des Natur- und Landschaftsschutzes vereinbar sind, waren das Erfolgsrezept für die Bauvorhaben. Mit den Bauten, insbesondere den Pistenkorrekturen, gelang es aufzuzeigen, dass Synergien zwischen dem Tourismus im Allgemeinen, den Ansprüchen der Organisatoren der alpinen Ski WM 2017 im Speziellen und dem Natur- und Landschaftsschutz möglich sind und Vorteile für alle bieten. Bevor aber ein abschliessendes Fazit gezogen werden kann, gilt es nun noch einen letzten Schritt zu tun – der Schritt

der Pflege der Flächen. Erst wenn dieser getan ist, die letzten Flächen wieder hergestellt und der letzte Ersatz geleistet wurde, werden wir wissen ob unser Ziel erreicht wurde. Heute jedoch sind wir der Überzeugung, dass die Richtung stimmt und wir werden zuversichtlich den letzten Schritt wagen.

## Dank

Einen grossen Dank an ...

- ... die Bauunternehmungen Andrea Pitsch AG St. Moritz und Battaglia Costruzioni SA Poschiavo, welche die Arbeiten ausgezeichnet ausgeführt haben.
- ... die Umweltbaubegleitung/Bodenbaubegleitung ZHAW Wädenswil, SoilCom Zürich und Oeconsult Amden welche die Bauherrschaft und die Bauleitung sehr kompetent beraten haben. Insbesondere der ZHAW Wädenswil, welche die Erfolgskontrolle durchführt und uns weiterhin begleiten und wertvolle Hinweise für eine erfolgreiche Begrünung liefert.
- ... die Bauleitung Caprez Ingenieure AG Silvaplana, welche die Baustellen souverän geführt hat.
- ... den Planer Klenkhart und Partner Consulting Absam in Österreich für die gute Planung und Unterstützung während dem Bau
- ... die Alpengenossenschaft für die Kooperation.

## Literaturverzeichnis

Edelkraut, K., 2015: Stellungnahme Pistenkorrektur Reinalter. Forschungsgruppe Umweltplanung, ZHAW Wädenswil

Edelkraut, K., 2016: Umweltbaubegleitung, Zwischenbericht Pistenkorrektur Reinalter. Forschungsgruppe Umweltplanung, ZHAW Wädenswil

Locher Oberholzer, N., Streit, M., Frei, M., Andrey, C., Blaser, R., Meyer, J., Müller, U., Reidy, B., Schutz, M., Schwager, M., Stoll, M., Wytenbach, M., Rixen, C., 2008: Richtlinien Hochlagenbegrünung. Verein für Ingenieurbiologie, ZHAW Wädenswil

Tenz, R., 2011: Flowtrail Corviglia – Chantarella, St. Moritz, Vegetationskundliche Beurteilung. ZHAW, Wädenswil

Wernli, M., 2015: Stellungnahme Umweltbaubegleitung Pistenkorrektur Rominger. SoilCom, Zürich

## Kontaktadresse:

Bauamt St.Moritz  
 Beat Lüscher  
 Via Maistra 12  
 7500 St. Moritz  
 E-Mail: bauamt@stmoritz.ch

Nr.1

**Hydro Saat**  
 St. Ursen  
 Tel. 026 322 45 25  
 www.hydro Saat.ch

### ● Ansaat

von Strassen- und Bahnböschungen, Felspartien, Skipisten, Kies- und Schotterhalden und nichthumusierte Flächen

### ● Dachbegrünungen

mit Xeroflor®-Sedummatte für Dächer, Böschungen, Garten- und Rasenabschlüsse, Verkehrsinseln, Trottoirs

### ● Ecotex®-Erosionsschutz

mit Geotextilien, natürlich und biologisch abbaubar

### ● Ingenieurbio logische Bauweisen

Stützkonstruktionen zur Stabilisierung von Uferzonen und Böschungen



# Autochthones Saatgut für Hochlagenbegrünungen: Herausforderungen und aktuelle technische Entwicklungen

Andreas Bosshard

## Zusammenfassung

Hochlagenbegrünungen stellen besondere Anforderungen an das verwendete Saatgut. Arten und Ökotypen aus tieferen Lagen sind nicht an die speziellen Standortbedingungen im Gebirge angepasst. Da standortangepasstes Hochlagen-Saatgut in der Regel im Handel nicht erhältlich ist, kommen Alternativen wie Sodenversetzung, Handsammlung, Einzelartennachbau oder Direktbegrünungen (Heugrassaat) zum Einsatz. Die Anwendbarkeit dieser Methoden ist aber oft eingeschränkt. Der eBeetle, eine technische Neuentwicklung aus der Schweiz, bietet eine Alternative und ermöglicht relativ kostengünstig, qualitativ hochwertiges autochthones (lokales) Saatgut standortspezifisch in grösseren Mengen in geeigneten Spenderflächen der Umgebung zu ernten («Heugrassaat aus dem Sack»). Im Rahmen eines KTI-Forschungsprojektes wird die Erosionsschutzwirkung untersucht.

## Keywords

Standortangepasstes Saatgut, Heugrassaat aus dem Sack, Ökotypen, Biodiversität, Erosionsschutz, gesetzliche Anforderungen

## Semences autochtones pour les végétalisations en altitude: Exigences et développements techniques actuels

### Résumé

Les végétalisations en altitude posent des problèmes particuliers pour les semences utilisées. Les espèces et écotypes de couches plus profondes ne sont pas adaptés aux conditions locales spécifiques à la haute montagne. Comme les semences adaptées aux stations d'altitude ne sont généralement pas disponibles dans le commerce, des alternatives telles que le déplacement de mottes, la semence manuelle, la reproduction d'une seule espèce ou la plantation directe (semis de foin) sont utilisées. L'applicabilité de ces méthodes est cependant souvent limitée.

*L'eBeetle, une innovation technique venue de Suisse, offre une alternative et permet relativement à bon prix de récolter des semences autochtones (indigènes) de bonne qualité spécifiques à l'emplacement en grandes quantités dans des surfaces semencières appropriées dans les environs («semis de foin du sac»). Dans le cadre d'un projet de recherche KTI, l'effet de protection contre l'érosion est étudié.*

### Mots-clés

*Semence adaptée à la station, semis de foin du sac, écotypes, biodiversité, protection contre l'érosion, exigences légales*

### Sementi autoctone per rinverdimenti ad alta quota: sfide e attuali sviluppi tecnici

### Riassunto

*I rinverdimenti ad alta quota hanno esigenze particolari per quanto riguarda le sementi. Specie ed ecotipi di provenienza da quote più basse non sono adatte alla situazione locale in montagna. Siccome solitamente non è possibile trovare in commercio sementi adatte alla situazione locale ad alta quota, si ricorre a alternative quali il trapianto di zolle, la raccolta manuale, la riproduzione di singole specie o l'inverdimento diretto (erbe da fieno). L'applicabilità di questi metodi è però spesso limitata. L'eBeetle, un'innovazione tecnica nata in Svizzera, è un'alternativa che permette di raccogliere da un'area donatrice adatta e a prezzo interessante sementi autoctoni (locali) di alta qualità, adatte alla situazione locale e in maggiori quantità («Sementi per erbe da fieno direttamente dal sacco»). Un progetto di ricerca del KTI ne ricerca l'efficacia nella protezione dall'erosione.*

### Parole chiave

*Sementi adatte alla situazione locale, sementi per erbe da fieno direttamente dal sacco, ecotipi, biodiversità, protezione dall'erosione, requisiti di legge*

## Autochthones Saatgut: Synergien zwischen Ökologie, Biodiversität und Stabilität

In der Schweiz werden jedes Jahr weit über 1000 ha begrünt. In Österreich müssen allein in den Hochlagen jedes Jahr zwischen 2000 und 2500 ha angesät werden (Leitfaden für naturgemässe Begrünungen 2015). Mit ihrem flächenmässig beachtlichen Umfang sind Begrünungen zu einem wichtigen Faktor geworden, welche die regionale Biodiversität, aber auch ihre ökologische Funktionalität und das Landschaftsbild wesentlich beeinflussen.

In den letzten Jahren ist das Bewusstsein über die ökologische Bedeutung von Begrünungen stark gewachsen. Die Verwendung von standortangepasstem Saatgut mit Arten und Ökotypen, die aus der Region stammen und dadurch optimal an die lokalen Standortbedingungen angepasst sind (sog. autochthones Saatgut), wird immer mehr zur Selbstverständlichkeit. Dadurch kann nicht nur eine Florenverfälschung vermieden werden. Vielmehr bildet die Anwendung von autochthonem, aus der Region stammendem Saatgut auch die Voraussetzung für die Entstehung einer stabilen Vegetationsdecke und damit für einen langfristig stabilen Erosionsschutz.

## Verschiedene Methoden zur Verfügbarkeit von autochthonem Saatgut

Für Hochlagenbegrünungen ist die Verwendung von standortangepasstem Saatgut besonders wichtig. Arten, die aus tieferen Lagen stammen, haben unter den rauen Bedingungen von Hochlagen meist keine Chance, langfristig zu überleben. Oft scheitern Begrünungen mit nicht angepassten Arten im Hochgebirge bereits bei der Keimung und Etablierung der Pflanzen. Als zusätzliche Schwierigkeit kommen die grossen Unterschiede von Standortbedingungen dazu, die in Hochlagen je nach geologischem Untergrund (Kalk/Kristallin), Exposition oder Wasserhaushalt völlig unterschiedliche Pflanzenartenzusammensetzungen der Mischungen erfordern.



Abb. 1: Der eBeetle bei der Saatguternte im Steilhang im Einsatz.  
Fig. 1: L'eBeetle en pleine récolte sur une pente raide.



Abb. 2: Autochthones Saatgut aus einer artenreichen Spenderfläche frisch aus dem eBeetle.  
Fig. 2: Semence autochtone d'une riche surface semencière fraîchement récoltée par l'eBeetle.

Bisher ist Regelsaatgut nur von wenigen Arten, die an Hochlagen angepasst sind, überhaupt im Handel verfügbar. Bisher wurden vor allem vier Wege beschritten, um Abhilfe zu schaffen.

- Sodenversetzung: Die Grasnarbe wird sorgfältig als Ganze gelagert und nach dem Eingriff wieder aufgebracht.
- Einzelartenvermehrung: Ausgewählte Arten aus der Umgebung der zu begründenden Hochlagenflächen werden einzeln nachgezogen und anschliessend ausgesät.
- Handsammlung: Einzelne Arten, die dem Standort angepasst sind, werden von Hand zum Zeitpunkt der Samenreife besammelt und das Saatgut anschliessend ausgesät.
- Direktbegrünungen (Heugrasssaaten): Eine Fläche mit geeigneter Zielvegetation wird in samenreifem Zustand gemäht und das Gras in frischem Zustand auf die zu begründende Fläche ausgebracht.

Alle vier Methoden ermöglichen die Etablierung einer standortangepassten, autochthonen Vegetation. Sie haben jedoch verschiedene Nachteile oder können nur unter bestimmten Voraussetzungen angewendet werden. Ein Nachbau der Arten, wie oben an erster Stelle genannt, ist aufwändig und entsprechend teuer. Dazu kommt eine lange Vorlaufzeit, bis genügend Pflanzen verfügbar sind. Auch die Handsammlung ist sehr teuer, und bei grösseren Flächen stösst die Methode rasch an Grenzen. Deshalb werden Handsammlungen meist nur ergänzend für einzelne Arten eingesetzt. Deutlich kostengünstiger ist in der Regel die Direktbegrünung. Sie ist

allerdings aus logistischen Gründen oft schwierig oder gar nicht realisierbar, z.B. wenn keine geeigneten mähbaren Spenderflächen in der Umgebung zur Verfügung stehen oder wenn der Begrünungszeitpunkt nicht mit dem Zeitpunkt der Reife der Spenderfläche übereinstimmt.

### Wiesenkopierverfahren: Neue technische Möglichkeit

Neue Möglichkeiten eröffnet die «Heugrassaat aus dem Sack», eine technische Entwicklung aus der Schweiz. Dabei wird das Saatgut mit einer kleinen, leichten, sehr mobilen Erntemaschine, dem neu entwickelten eBeetle, in geeigneten Spenderflächen geerntet. Der eBeetle® ermöglicht eine äusserst flexible und zugleich effiziente Beerntung einer grossen Palette verschiedener Vegetationstypen und Wiesenbestände selbst in unerschlossenem, topographisch sehr schwierigem Gelände. Dabei können Flächen mit einer Neigung bis über 100% beerntet werden. Das so gewonnene Saatgut enthält im Idealfall die ganze Artenpalette der Spenderfläche. Je nachdem werden einzelne, schwieriger zu beerntende Arten von Hand ergänzt.

Das so gewonnene Saatgut wird anschliessend getrocknet, gereinigt und steht dann als autochthones, individuell an die jeweiligen Standortbedingungen angepasstes «Heugrassaatgut im Sack» flexibel zur Verfügung. Das Saatgut eignet sich speziell auch in Kombination mit zusätzlichen Erosionsschutzmassnahmen. So kann es problemlos mit dem Hydroseedverfahren z.B. in Kombination mit Haftklebern, schüt-

### KTI-Forschungsprojekt: Optimaler Erosionsschutz mit einheimischen Materialien

Das KTI-Forschungsprojekt startete 2015 und hat zum Ziel, die Erosionsschutzwirkung von Begrünungen mit einheimischen, lokal produzierten Materialien zu verbessern. Zum Einsatz kommen verschiedene Typen von Holzwollevliesen, die optimale Keimungsbedingungen schaffen und die Abschwemmung bei Starkniederschlägen verhindern, sowie autochthones Saatgut, das mit Handelssaatgut verglichen wird. Bisher wurden rund 20 Versuchsstandorte in der ganzen Schweiz angelegt. Die Leitung hat das Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR) der HTW Chur inne (Imad Lifa) in Zusammenarbeit mit dem SUPSI Tessin. Hauptprojektspartner sind Linder Suisse (Howolis-Holzwollevliese) und Ö+L GmbH (HoloSem-Saatgut und Begrünungen). Erste Resultate werden 2017 erwartet. Für 2017 werden insbesondere in Hochlagen weitere Versuchsflächen gesucht.



zudem Strohmulch, Erosionsschutzvliesen und/oder rasch auflaufenden Deckfrüchten angesät werden.



Abb. 3: Anlage von KTI-Versuchsflächen zur Optimierung des Erosionsschutzes unter erschwerten Bedingungen.

Fig. 3: Installation d'une surface d'essai afin d'optimiser la protection contre l'érosion dans des conditions difficiles.



Abb. 4: Die Vegetation in Hochlagen ist oft ausgesprochen artenreich und bietet ausgezeichnete Voraussetzungen für die Beerntung von standortangepasstem Saatgut.

Fig. 4: La végétation en altitude est souvent très riche en espèces et offre d'excellentes conditions pour la récolte de semence adaptée à la station.

### Wiesenkopierverfahren mit dem eBeetle

Der Kleinsamenernter *eBeetle*® 1.0 ermöglicht die Ernte von regionalem, autochthonem Saatgut für anspruchsvolle Begrünungen und für die Renaturierung von artenreichen Wiesenbeständen. Oft finden sich die geeignetsten artenreichen Spenderwiesen an steilen Hängen oder in abgelegenen Lagen ohne Zufahrt. Um unter diesen Bedingungen problemlos einsetzbar zu sein, ist der *eBeetle* sehr leicht, geländegängig und dank einzeln angetriebenen Rädern extrem hangtauglich gebaut. Der *eBeetle* ist der einzige selbstfahrende, hangtaugliche Wiesensamenernter auf dem Markt und hat sich unter verschiedensten Erntebedingungen in unzähligen Praxiseinsätzen bewährt. Das mit dem *eBeetle* geerntete Saatgut wird getrocknet, gereinigt und steht dann als «Heugrassaat aus dem Sack», d.h. autochthones Saatgut flexibel wie anderes Saatgut auch zur Verfügung.

### Versuchsflächen und Erfahrungsprojekte gesucht

Während in den tieferen Lagen mittlerweile grosse Flächen erfolgreich mit dem autochthonen «Heugrassaatgut aus dem Sack» angesät wurden, fehlen für Hochlagen derzeit noch umfassendere Erfahrungen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Hochschule Chur wurden verschiedene Versuchsflächen auch in höheren Lagen angelegt (Kästchen «KTI-

### Die gesetzlichen Anforderungen an Begrünungen: Autochthones Saatgut meist Pflicht

Kaum ein anderes Land hat eine so grosse Vielfalt an artenreichen, ästhetisch oft grossartigen Naturwiesen wie die Schweiz. Hunderte verschiedener Pflanzenarten haben sich über Jahrzehnte und Jahrhunderte an das lokale Klima, an die unterschiedlichen Bodenverhältnisse, die Höhenlage und die Exposition angepasst. Die lokale Pflanzenartenvielfalt ist deshalb die beste Ressource, um Saatgut für stabile, naturgemässe Begrünungen zu gewinnen. Das Einführen von Arten und Ökotypen aus anderen Regionen oder anderen Ländern für Begrünungen ist dagegen nicht nur unnötig, sondern führt oft zu instabilen Resultaten und zu einer Verfälschung der einheimischen Flora. Die Saatgutherkunft wird deshalb in verschiedenen schweizerischen Gesetzen und im internationalen Übereinkommen über die biologische Vielfalt, das für die Schweiz verbindlich ist, geregelt. Gemäss Natur- und Heimatschutzgesetz Art. 23 bedarf... «das Ansiedeln von Tieren und Pflanzen landes- oder standortfremder Arten, Unterarten und Rassen ... der Bewilligung des Bundesrates. Gehege, Gärten und Parkanlagen sowie Betriebe der Land- und Forstwirtschaft sind ausgenommen.» In Hochlagen kann diese Bedingung nur mit autochthonem Saatgut erfüllt werden. Die Verwendung von autochthonem (=lokal geerntetem und damit ökologisch optimal angepasstem) Saatgut ist auch für viele weitere Anwendungszwecke in der Schweiz heute gesetzliche Pflicht. Weiterführende Informationen zur rechtlichen Situation in der Schweiz enthält «Leitfaden für naturgemässe Begrünungen» (2015, siehe nachfolgende Links).

Forschungsprojekt»). Weitere Versuchsflächen oder Erfahrungsprojekte sind erwünscht. Gerne stehen der Autor oder der Projektleiter der Hochschule Chur, Prof. Imad Lifa ([imad.lifa@htwchur.ch](mailto:imad.lifa@htwchur.ch)) für Fragen oder Hinweise zur Verfügung.

### Weiterführende Informationen:

[www.holosem.ch](http://www.holosem.ch)  
[www.ebeetle.ch](http://www.ebeetle.ch)  
[www.regioflora.ch](http://www.regioflora.ch)  
[https://www.researchgate.net/publication/273145736\\_Leitfaden\\_fur\\_naturgemasse\\_Begrunungen\\_Mit\\_besonderer\\_Beruecksichtigung\\_der\\_Biodiversitaet](https://www.researchgate.net/publication/273145736_Leitfaden_fur_naturgemasse_Begrunungen_Mit_besonderer_Beruecksichtigung_der_Biodiversitaet)

### Kontaktadresse:

Andreas Bosshard  
 Dr. sc. nat. ETH  
 HoloSem Saatgut und Begrünungen  
 Ö+L GmbH  
 Hof Litzibuch  
 8966 Oberwil-Lieli  
[info@holosem.ch](mailto:info@holosem.ch)

**Editorial** 2

## Fachbeiträge

Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren 4

Erfolgreiche Direktumlagerung von Zwergsträuchern am Julierpass (Kt. Graubünden) 13

Vegetation, Oberflächenerosion und Aggregatstabilität auf alpinen Weiden 20

Lassen sich hochalpine Flechtengesellschaften rekultivieren? 25

Gemeinsam für umweltschonende Eingriffe im Wintersport 34

Autochthones Saatgut für Hochlagenbegrünungen: Herausforderungen und aktuelle technische Entwicklungen 41



**INGENIEURBIOLOGIE**  
**GÉNIE BIOLOGIQUE**  
**INGEGNERIA NATURALISTICA**  
**INSCHENIERA BIOLOGICA**

**Verein für Ingenieurbiologie**  
**Association pour le génie biologique**

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@ingenieurbiologie.ch



**Europäische Föderation für Ingenieurbiologie**  
**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 Ingenieurbiologie 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.ingenieurbiologie.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. 4/2016 Redaktionsschluss: 6. November 2016 Thema: Unterhalt kleiner Fließgewässer erscheint: Dezember 2016 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**