

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311576361>

Direkt umgelagerte Vegetationsziegel: Durchwurzelung und Vegetationslücken nach 5 Jahren

Article · September 2016

CITATIONS

0

READS

322

3 authors, including:



Bertil O. Krüsi

ZHAW Zurich University of Applied Sciences

73 PUBLICATIONS 1,436 CITATIONS

SEE PROFILE

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 cm² 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 généralisé 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 cm² 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 cm², 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 Wiederbegrüpfung auf Kleinsflächen mit Ansaat (mit oder ohne vorgängige Humusierung) sowie vor allem mittels Spontanbegrüpfung, welche teilweise mit vereinzelt versetzten Vegetationsziegeln unterstützt wurde (von Albertini 2014).

Bei der Begrüpfung 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 m² Fläche wurde somit die Vegetation mit den darin vorhandenen Zwergsträuchern baggerschaukelweise 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 Begrüpfung 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 m² ähnlich gross wie die flacheren Abschnitte B1 und B2 mit zusammen 3600 m². In Bezug auf die Neigung waren die vier untersuchten Böschungen für die natürlichen Verhältnisse im Gebiet relativ typisch (Abb. 4).

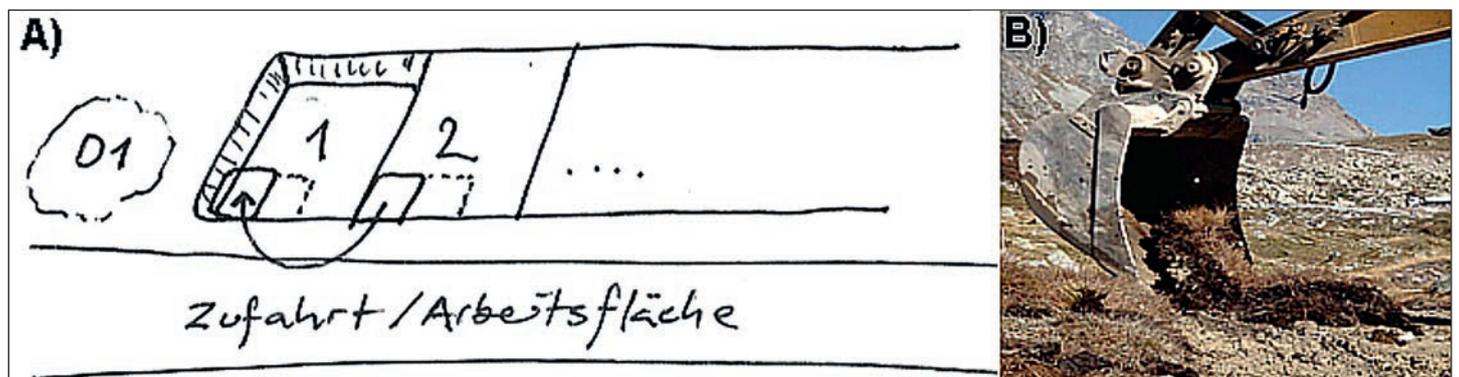


Abb. 2: A) Schematische Darstellung der streifenweisen Direktumlagerung bei einem Böschungsabtrag gemäss UBB/BBB. Der abgehobene Boden mit Rasenziegeln der Fläche 1 wird in Depot D1 gelegt. Der geforderte Abtrag auf Fläche 1 wird realisiert. Von Streifen 2 wird der Boden mit den Rasenziegeln direkt auf 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).

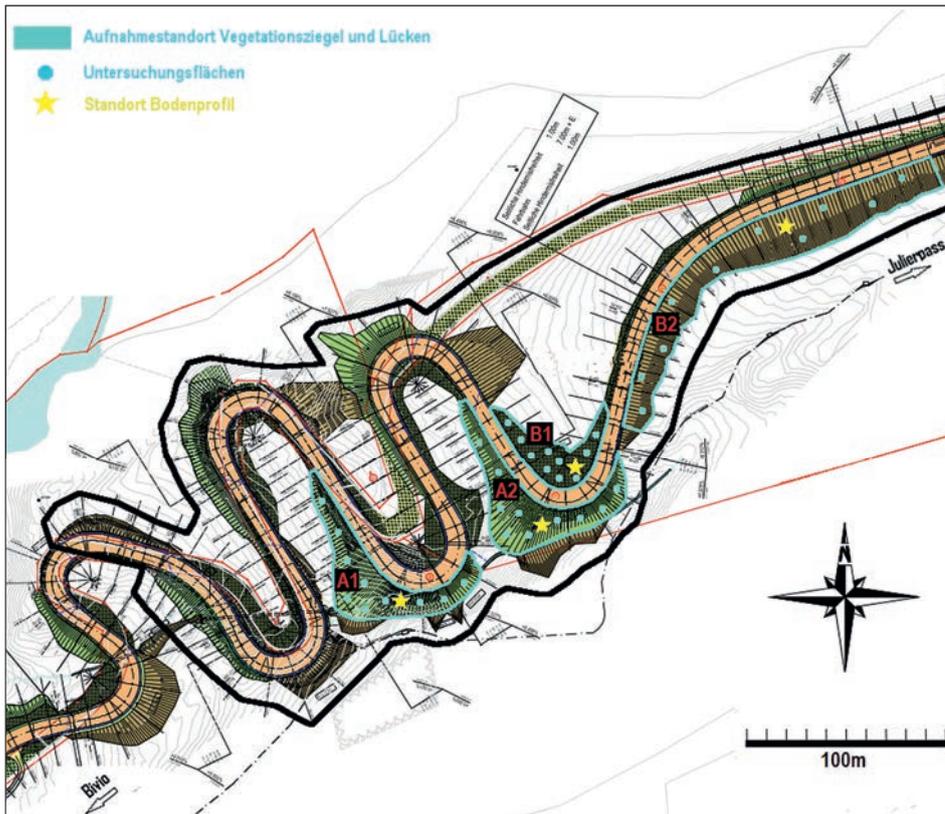


Abb. 3: Direkt umgelagerte Untersuchungsflächen A1, A2, B1, B2 (durch blaue Linien abgegrenzt). In jeder Untersuchungsfläche wurden jeweils 10 Ziegel (blaue Punkte) und die angrenzenden Lücken analysiert. Die Standorte der zentral gelegenen Bodenprofile sind mit Sternen markiert (modifizierter Plan aus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



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).

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 Felddaten

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-

UNTERSUCHTE FLÄCHEN	A1	A2	B1	B2
Begrünungsabschluss	Ende Sept. 2009			
Zeitpunkt Erfolgskontrolle	Ende Aug. 2014			
Flächengröße	1400 m ²	1800 m ²	600 m ²	3000 m ²
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 dm^2 Profilwand wurde gemäss Blume et al. (2011) geschätzt, wobei die folgenden Kategorien unterschieden wurden: < 1 Feinwurzel pro 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 dm^2 festgestellt, und in jenen der Böschungen A1 und B2 21–50 pro 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	
Rutschfestigkeit der Ziegel (n = 40)	Mittel ± 1 Standardabweichung
Manuell verschiebbare Ziegel	0% ± 0
Anzeichen für früheres Verrutschen	0% ± 0
Durchwurzelung (Bodenprofile, n = 4)	Mittel ± 1 Standardabweichung
Vitalität der Wurzeln in den Ziegeln	100% ± 0
Feinwurzeln pro dm ² oberhalb der Rohplanie	25 (11-50)
Wurzeln in Rohplanie	100% ± 0
Erosion (n = 40)	Mittel ± 1 Standardabweichung
Ziegel-Oberfläche: Anteil mit Erosion	2% ± 4
Ziegel-Rand: Anteil mit Erosion	35% ± 4
Ablagerungsort des erodierten Materials (n = 40)	Mittel ± 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 cm² und 400 cm².

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
Grösse (n = 40)	306 cm ² ± 12
Lücken ohne Vegetation (n=40)	0% ± 0
Deckungsgrad der Vegetation (n = 40)	78% ± 4
Flächenanteil mit Erosion (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 cm² 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 Stabilisierungspflöcken 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



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 | www.lindner.ch