

Entwicklung und Anwendung von naturbelassener Holzwolle für die Hangsicherung

Imad Lifa

Zusammenfassung

Die interne Stabilität von Hängen und Böschungen ist durch die innere Reibung im normal anstehenden Boden gegeben. Starke Regenfälle wirken deshalb destabilisierend, weil die Poren im Boden mit Wasser gefüllt werden und den Zusammenhalt zwischen den Bodenkörnern verringern. Eine Störung des Kräftegleichgewichts kann zu Hangrutschungen führen. Eine funktionale Vegetation schützt vor Bodenerosion und wirkt auf die Hangstabilität, indem sie den Wasserhaushalt positiv beeinflusst. Hierfür gibt es zahlreiche Baulösungen, die gegen Bodenerosion eingesetzt werden. Eine dieser Baulösungen zielt darauf ab, die Bodenoberfläche zum Beispiel mit Erosionsschuttmatten oder Geotextilien abzudecken, wodurch ein temporärer Schutz geboten wird. Matten oder Vliese aus Holzwolle eignen sich zum Schutz gegen Oberflächenerosion, weil sie das Regenwasser an der Hangoberfläche speichern und das rasche Wachstum von Pflanzen begünstigen. Nach Bildung eines dichten Wurzelwerkes versickert weniger Regenwasser in den Untergrund. Durch den Schutz gegen Erosion mit Holzwolle wird die temporäre Ursache für Entfestigung des Gebirges in Hanglage stark reduziert oder sogar eliminiert. Erosionsschutz mit Holzwolle ist eine mögliche Lösung zum Schutz gegen Erosion, die in Europa und in der Schweiz durch den Boom von Kunststoffen verdrängt worden ist. Deshalb ist das Wissen über die Eignung der verschiedenen einheimischen Hölzer für die Verwendung in Holzwolleprodukten im Bauwesen verloren gegangen. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Lindner Suisse aus Wattwil möchte das Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR) der HTW Chur das notwendige Grundlagenwissen für den Erosionsschutz mit Holzwolle in der Schweiz und Europa wiederherstellen.

In den letzten zwei Jahren wurden einige Projekte mit dem Einsatz von Holzwolle-matten umgesetzt. Das erste Pilotprojekt befindet sich in Wattwil und wurde von der Abteilung für Melioration des Kantons St. Gallen unterstützt. Die Versuchsfläche hat gezeigt, dass Holzwolle eine stabilisierende und keimbegünstigende Wirkung auf mineralische und schwach organische Bodenoberflächen hat. Damit bietet sie ein grosses Potenzial bei der Begrünung und Sicherung von steilen Flächen im Bereich der kritischen Neigung.

Unmittelbar lässt sich sagen, dass sich durch den Einsatz von bestimmten Holzarten ein neuer Verwendungszweck für einheimisches Laubholz ergibt, welches sich sonst teilweise nur schwer absetzen liesse. Für den praktischen Alltagseinsatz sind vor allem noch Fragen bezüglich des Einbaus zu klären. Es darf aber angenommen werden, dass sich hier keine wesentlichen Unterschiede zur Verwendung anderer Materialien nach dem gleichen Konzept ergeben (Jutenetze, Kokosmatten).

Die Versuche im Baulabor zeigen realistische Werte, die mit ähnlichem Material aus den USA vergleichbar sind. Der Feldversuch zeigt, dass eine Hangbegrünung mit einheimischen Hölzern erfolgreich sein kann. Allerdings sind die diversen und möglichen Einflussparameter nicht erfasst worden. Diese müssen in einem Folgeprojekt genauer untersucht werden. Darüber hinaus ist die Befestigung der Vliese zu ermitteln.

Keywords

Erosionsschutz, Oberflächenerosion, Rutschungen, Hangstabilisation, Geotextil, Erosionsschuttmatten, Holzwollevlies, Melioration, Drainage

Développement et utilisation de la laine de bois naturelle pour la stabilisation de pente

Résumé

La stabilité interne des pentes et des talus est déterminée par la friction interne du sol. Les fortes précipitations destabilisent les versants en remplissant les pores du sol avec de l'eau ce qui réduit la cohésion entre les grains du sol. Une perturbation de l'équilibre des forces est la conséquence qui peut amener à un glissement de terrain. Une végétation fonctionnelle protège de l'érosion du sol et agit sur la stabilité de la pente en régulant de manière positive les stocks d'eau dans le sol. Il y a de nombreux produits et solutions constructives qui sont employés contre l'érosion du sol. Les nattes de protection contre l'érosion en laine de bois stockent l'eau de pluie à la surface du talus et favorisent la croissance rapide des plantes. Une fois qu'un réseau dense de racine est formé, il y a moins d'eau de pluie qui s'infiltré dans le sous-sol. Les mesures de protection contre l'érosion en laine de bois permettent de réduire temporairement voire même d'éliminer les causes de destabilisation du versant.

La laine de bois est une des solutions possibles pour protéger contre l'érosion. Ce matériau a été évincé en Europe et en Suisse lors du boom des matières plastiques. C'est ainsi qu'on a perdu les connaissances sur les aptitudes des différentes essences indigènes pour l'utilisation des produits issus de la laine de bois dans la construction. L'institut pour les constructions dans l'espace alpin (Institut für Bauen im alpinen Raum, IBAR) de la haute école technique et d'économie (Hochschule für Technik und Wirtschaft, HTW) de Coire en collaboration avec l'entreprise suisse Lindner de Wattwil aimerait restaurer les connaissances fondamentales nécessaires pour la protection contre l'érosion avec

la laine de bois en Europe et en Suisse. Au cours des deux dernières années, il y a eu quelques projets utilisant des nattes de laine de bois. Le premier projet pilote se trouve à Wattwil et a été soutenu par le service de remaniement parcellaire de Saint-Gall. Les surfaces d'essais ont démontré que la laine de bois a un effet qui stabilise le talus et qui favorise la germination à la surface de terrains rocaillieux et faiblement végétalisés. Par conséquent ces matériaux offrent un grand potentiel pour la stabilisation et la végétalisation des terrains abrupts présentant une pente critique. L'utilisation des certaines essences offre une nouvelle perspective d'emploi pour les feuillus autochtones difficile à mettre en place. Pour l'utilisation quotidienne concrète, quelques questions restent à éclaircir quant à leur installation. Mais on peut s'attendre à ce qu'il n'y ait pas de différences significatives dans l'application de la laine de bois avec d'autres matériaux reposant sur le même concept (filet de jute, nattes de coco). Les essais en laboratoire montrent des valeurs réalistes qui sont comparables avec des matériaux similaires utilisés aux USA. Les essais de terrain indiquent que la végétalisation des talus avec du bois indigène peut être couronnée de succès. Cependant les divers paramètres d'influence possibles n'ont pas encore été inclus. Ceux-ci doivent encore être examinés plus précisément dans un projet à suivre.

Mots-clés

Protection contre l'érosion, érosion de surface, glissement de terrains, stabilisation de versant, géotextile, nattes de protection contre l'érosion, géotextile (toison) en laine de bois, remaniement parcellaire, drainage

Sviluppo e uso di fibra di legno naturale per la stabilizzazione di pendii

Riassunto

La stabilità di pendii e scarpate è data dall'attrito interno al suolo. Le forti piogge hanno un'azione destabi-

lizzante poiché i pori del terreno si riempiono d'acqua riducendo così la coesione. Uno squilibrio troppo grande delle forze agenti nel terreno può avere come conseguenza uno scivolamento del pendio. Una vegetazione funzionale protegge dall'erosione e influenza la stabilità del suolo grazie alla sua influenza positiva sul bilancio idrologico. Per contrastare l'erosione si possono adoperare diversi prodotti e soluzioni costruttive.

Stuoie anti-erosione in fibra di legno immagazzinano la pioggia sulla superficie del pendio e favoriscono un rapido sviluppo delle piante. La formazione di dense radici permette in seguito a meno acqua di percolare nel sottosuolo. Grazie alla protezione dall'erosione tramite fibra di legno si riduce o addirittura elimina la causa dell'instabilità temporanea di pendii.

La protezione contro l'erosione con fibra di legno è una possibile soluzione che in Europa e in Svizzera è stata superata dal boom dei materiali sintetici. Per questo motivo il sapere sull'idoneità dei diversi tipi di legname indigeno per la produzione di fibra di legno nell'ingegneria edile è andato perso. L'istituto per le costruzioni nella regione alpina (BAR) della HTW di Coira, in collaborazione con l'azienda Lindner Suisse di Wattwil, vuole ricostruire le conoscenze di base per la protezione contro l'erosione con fibra di legno in Europa e in Svizzera.

Negli ultimi due anni sono stati eseguiti alcuni progetti con l'uso di stuoie anti-erosione. Il primo progetto pilota si trova a Wattwil ed è stato sovvenzionato dall'ufficio «Melioration» del Canton San Gallo. L'area sperimentale ha dimostrato che l'uso della fibra di legno ha un'azione stabilizzante e promuove la germinazione su superfici minerali e poco organiche. Ha quindi un grande potenziale per l'inverdimento e la stabilizzazione di zone ripide con un'inclinazione critica.

I primi risultati mostrano che, per determinati tipi di alberi, esiste un nuovo possibile uso del legno indigeno il quale sarebbe altrimenti in parte difficile da commercializzare. Per l'uso quotidiano rimangono soprattutto da chiarire do-

mande a riguardo della costruzione. Si può però già presumere che non vi siano grandi differenze rispetto all'uso di altri materiali simili come reti in jute o stuoie in cocco.

I test in laboratorio danno valori realistici comparabili a materiali simili prodotti negli Stati Uniti. La prova sul campo mostra che l'inverdimento di pendii con legname indigeno può essere efficace. Tuttavia non sono stati rilevati diversi parametri che possono avere una certa influenza. Questi dovranno in seguito essere esaminati più in dettaglio. Sarà inoltre da determinare il metodo di fissazione delle stuoie.

Parole chiave

Protezione contro l'erosione, Erosione della superficie, Scivolamenti, Stabilizzazione di pendii, Geotessili, Stuoie anti-erosione, Stuoie in fibra di legno, Melioration, Drenaggio

1. Einleitung

Erosionsschutzmatten aus Holzwolle speichern das Regenwasser an der Hangoberfläche und begünstigen das rasche Wachstum von Pflanzen. Nach Bildung eines dichten Wurzelwerkes versickert weniger Regenwasser in den Untergrund. Durch den Schutz gegen Erosion mit Holzwolle wird die temporäre Ursache für die Entfestigung des Gebirges in Hanglage stark reduziert oder sogar eliminiert. Das Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR) der HTW Chur untersucht gemeinsam mit der Herstellerin der Holzwolle, Lindner Suisse, wie und ob der Einsatz von Holzwoollmatten funktioniert.

Hänge, Dämme und Böschungen verfügen über interne Stabilität, die durch die innere Reibung zwischen den Bodenteilchen gegeben ist. Auflasten aus Bauwerken, Schnee und Verkehr können die Stabilität von Hängen gefährden. Auch starke Regenfälle gelten als besondere temporäre Belastungsfälle und wirken destabilisierend. Wassertropfen sammeln sich zu Rinnsalen und bahnen sich einen Weg den Hang herab oder versickern durch die Boden-

schichten ins Grundwasser. Sobald die Poren im Boden mit Wasser gefüllt sind und der Boden gesättigt ist, verringert sich der Zusammenhalt zwischen den Bodenkörnern, und die innere Stabilität des Hanges nimmt rapide ab. Infolgedessen fließt das überschüssige Regenwasser auf der Hangoberfläche und reisst Bodenteilchen mit sich den Hang abwärts. Man spricht von der Bildung einer Hangmure (Rüfe).

2. Das Klima als Risiko

Sind noch weitere tiefere Bodenschichten vom Regenwasser durchweicht worden, werden sie aufgeschwemmt und erfahren einen Auftrieb. Gleichzeitig verringert sich die innere Reibung des Bodens, die durch den Kontakt zwischen den Bodenteilchen gegeben war und im Kraftgleichgewicht stabilisierend wirkte. Mit zunehmendem Porenwasserdruck verliert der Hang seine interne Stabilität. Die Folge ist eine Hangrutschung. Demnach entsteht eine Hangmure aus einer flachgründigen Rutschung, die mit einer grossen Geschwindigkeit von bis zu 35 Stundenkilometern in ein Gerinne abfließt und sich zu einem Murgang entwickelt.

3. Ursachen für Rutschungen

Ursache für das Auftreten von Rutschungen sind wie oben erläutert Störungen des Kräftegleichgewichts zwischen stabilisierenden und destabilisierenden Kräften im Hang. Tektonik, Verwitterung, Auflockerung sowie Erosion, die permanent oder temporär wirken, lösen dieses Ungleichgewicht aus und führen zu einer Entfestigung des Gebirges in Hanglage. Die Vegetation schützt vor Erosion und wirkt auf die Hangstabilität, indem sie den Wasserhaushalt beeinflusst.

Die Oberflächen von Hängen, Dämmen und Böschungen, die im Laufe der Zeit abgetragen werden können, bieten eine Angriffsfläche für Wasser, Regen, Wind und Schneeschmelze. Dieser Prozess wird als Erosion bezeichnet und beginnt schon nach Fertigstellung einer Böschungsanlage. Erst mit der Entstehung eines Wurzelwerkes erfährt die Böschungsoberfläche einen ausreichenden Schutz gegen Erosion.

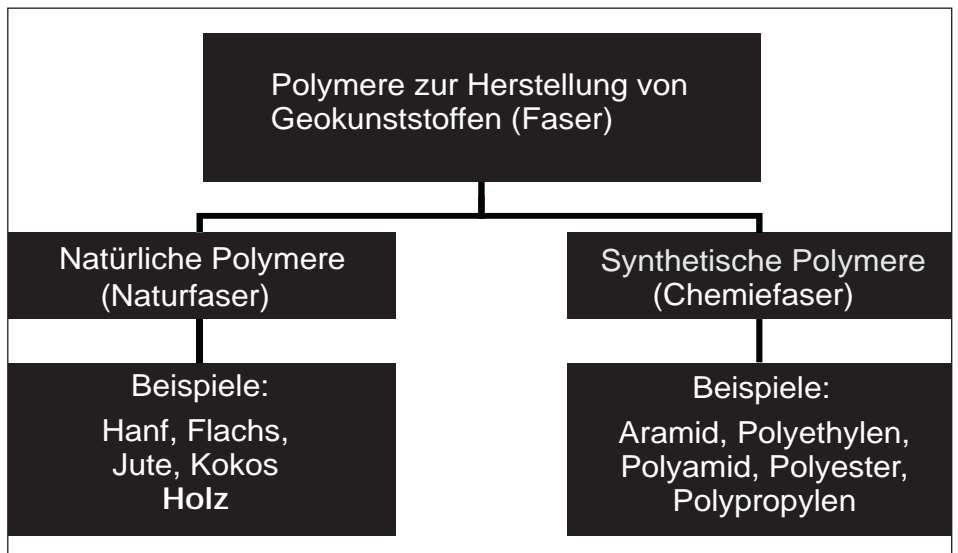


Abb. 1: Polymere zur Herstellung von Geokunststoffen
 Fig. 1: Polymère utilisé pour la fabrication des géoplastiques

Geodrahtwirrlagen und Geonetze aus Naturfasern (Kokos, Jute, Hanf, Sisal und Baumwolle) können einen Schutz gegen Erosion bieten. Naturfaserstoffe verrotten nach rund zwei Jahren. Dies ist ein ausreichender Zeitraum, bis ein Wurzelwerk von Gras und Pflanzen den Erosionsschutz übernimmt.

4. Geokunststoffe gegen Erosion

Geokunststoffe kommen im Tiefbau als Baustoffe zum Einsatz, um verschiedene Funktionen zu erfüllen. In der europäischen Norm DIN EN 10318 bzw. Schweizer Norm SN 670 240 sind die Geokunststoffe und ihre Eigenschaften beschrieben. Zu den bekannten Funktionen zählen heute filtern, dränieren, schützen, bewehren, abdichten, verpacken und Erosionsschutz.

Die Funktionen und Anwendungen der Geokunststoffe werden in mehreren SN-Normen beschrieben. In der Norm SN 670 253a werden die geforderten Eigenschaften für die Anwendung in externen Erosionsschutzanlagen vorgegeben.

5. Holzwolle gegen Erosion

Erosionsschutz mit Holzwolle ist eine bekannte Anwendung, die vor allem in den USA stark verbreitet ist. In Europa dagegen wurde Holzwolle vor Jahrzehnten durch Kunststoffe und Naturfasern abgelöst. Das Wissen über die Eignung der verschiedenen einheimi-

schen Hölzer für die Verwendung in Holzwollprodukten im Bauwesen ist verloren gegangen. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Lindner Suisse aus Wattwil möchte das Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR) der HTW Chur das notwendige Grundlagenwissen für den Erosionsschutz mit Holzwolle in der Schweiz und Europa wiederherstellen. Dabei spielen die Besonderheiten des alpinen Raumes eine wichtige Rolle. Die Faktoren Standort, Schneegleiten und -kriechen, Höhenlage, Exposition, Holz- und Pflanzenarten sind Parameter, die den Erosionsschutz beeinflussen können und deshalb untersucht werden müssen. Sowohl das IBAR als auch Lindner verfolgen das Ziel, Holzwollmatten aus einheimischen Hölzern, abgestimmt auf spezifische Boden- und Geländeeigenschaften, zu entwickeln, an mehreren Standorten einzubauen und wissenschaftlich zu untersuchen.

Das regionale Holz wird in Wattwil zu Matten verarbeitet und als einbaufertiges Produkt zurückgeliefert. Die Forstverwaltungen der Kantone oder beauftragte Bauunternehmen installieren die Matten vor Ort. Regionale Holzarten wie Buche und Fichte sind in mehreren Kantonen beheimatet. Später werden eventuell Hölzer wie Lärche, Kastanie und Robinie verwendet.

In den vergangenen zwei Jahren wurden einige Pilotprojekte mit Holzwolle durchgeführt. Die geschützten Hänge

sind unterschiedlich exponiert und sind zwischen 30 und 70 Grad steil mit einigen Unebenheiten wie Steinen und Wurzelwerken. Mehrere Matten mit unterschiedlichen Konstruktionen wurden bislang verlegt. Die Matten sind mit Netzen aus Polypropylen oder Jute zusammengehalten. Darüber hinaus sind sie unterschiedlich stark in der Konstruktion der Holzwollfasern. Je nach Mattendicke, Fasereigenschaft und Holzart verrotten die Matten sehr unterschiedlich. Auch die Exposition der Böschung und die Eigenschaft des Bodens können die Begrünung verlangsamen oder beschleunigen. Diese Faktoren und ihre Abhängigkeiten werden vom Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR) wissenschaftlich untersucht. Im Baulabor der Hochschule wurden im Mai und Juni 2014 mehrere Versuche durchgeführt, um die Tragfähigkeit und das Wasseraufnahmevermögen der Holzwollmatten festzustellen. Je nach Konstruktion und Holzart können die Matten bis zu 400% ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Bei den bisher ausgeführten Projekten wurde ein unterschiedliches, jedoch schnelles Wachstum der Begrünung festgestellt. Der Begrünungsgrad lag nach sechs bis zehn Monaten bei 60 bis 80%.

6. Pilotprojekt in Wattwil

Lindner Suisse hat vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine finanzielle Unterstützung erhalten, um die Anwendung von naturbelassener Holzwolle im Grundbau und in der Sediment Control zu untersuchen.

Das Ziel war, einheimische Holzwollmatten (vom Hersteller Lindner Holzvolleliese genannt) zu entwickeln, welche den Anforderungsprofilen genügen können. Die Produkte wurden im Feldversuch geprüft. Als Pilotprojekt diente eine Hangfläche, die vom Kanton St. Gallen in Wattwil zur Verfügung gestellt wurde.

7. Holz als Polymer

Das Material Holz ist ein Naturpolymer bzw. ein Werkstoff mit Vor- und Nachteilen. Es hat hygroskopische Eigenschaften, weil es an oder von seiner Umgebung Feuchtigkeit annehmen oder

abgeben kann. Holz ist sowohl inhomogen als auch anisotrop sowie biologisch abbaubar.

Zur Gewinnung von Holzwolle eignen sich in erster Linie weiche Holzarten. Als Nadelhölzer sind Gemeine Fichte, Waldkiefer und Lärche geeignet. Holzwolle lässt sich auch aus Laubhölzern wie zum Beispiel Buche, Esche und Pappel herstellen.

Bereits in den 80er-Jahren hat Frau Dr. Urbanska Krystyna als erste ETH-Professorin überhaupt mit einer grossen, mehrjährigen Studie den sinnvollen Einsatz von Holzwolle im Bündnerland erfolgreich geprüft. Parallel dazu führten auch die Bergbahnen Elm im Glarnerland verschiedene Versuche durch, damals mit importierten Holzwollmatten aus den USA. Nach dem erneuten, positiven Versuch mit Holzwollmatten aus Schweizer Holz fast 30 Jahre später ist es an der Zeit, dass die öffentliche Hand, Forschung und Lehre, Firmen, Bauherren und Private diese brauchbare Alternative zur Kenntnis nehmen und in Projekte einplanen.

8. Die Definition der Holzwolle

Unter Holzwolle werden Fasern aus Holz mit einer Dicke von 0,05 bis 0,5 mm sowie einer Breite von 1 bis 6 mm verstanden. Als Rohmaterial eignen sich vorzugsweise die Nadelhölzer in erster Linie, dann auch die weichen Laubhölzer und die Rotbuche. Zur Herstellung der Holzfasern soll das Holz möglichst ast-

mässigen feinen und bis zu 500 mm langen, elastischen, losen, holzsplitterfreien und quasi staubfreien Holzwollfäden. Diese werden aus entrindeten und bis auf 13% Holzfeuchte luftgetrockneten Baumstämmen der höchsten Qualitätsklassen hergestellt. Eingesetzt wird die Holzwolle als Füll-, Stopf-, Dämm-, Isolations-, Drainage- und Filtermaterial in unzähligen Branchen für anspruchsvolle Problemlösungen und Produkte, aber auch in der Hygiene sowie für die Verpackung empfindlicher Produkte und Lebensmittel.

Qualität: Rundholz, Klasse A und B / keine Restholzanteile.

Form: Rundholz / Winterschlag / entrindet / Durchmesser 16 bis 45 cm / pestizidfrei aus Schweizer Wäldern / Herkunftsdeklaration nach HSH (Holz Schweizer Herkunft), zertifiziert nach FSC (Forest Stewardship Council) und EFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification).

Versand: Die Holzwolle wird in luftdicht verschlossenen Säcken oder Behältnissen geliefert.

Holzwollmatten sind Steppverbindungen aus Holzwolle verschiedener Holzarten und Jute oder abbaubarem Polypropylen. Dank ihrer guten mechanischen Eigenschaften und ihrer biologischen Abbaubarkeit eignen sie sich gut für den Bodenschutz und die Begrünung von Freiflächen. Mit unterschiedlichen

Typ	LA 1	LA 2	LA 8	LB	LC 1	LC 2	LD	LE
max. Länge [mm]	500	500	500	500	500	500	500	500
Dicke [mm]	0,12	0,12	0,12	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25
Breite [mm]	1,3	3,0	8,0	2,0	2,0	2,0	3,0	8,0
Feuchte [%]	13	13	13	13	13	13	13	13
max. Kurzfasergehalt pro kg [%]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Tab. 1: Spezifikationen der Holzwollfäden

Tab. 1: Spécifications des géotextiles en laine de bois

frei sein. Seine Verarbeitung erfolgt am besten in halbfeuchtem Zustand.

9. Holzwolle nach schweizerischem Standard

Holzwolle ist ein hochwertiger naturbelassener Werkstoff in Form von gleich-

Holzwollrezepturen kann die Dauer des Verrottungsvorgangs gesteuert werden. Eine zentrale Rolle bei diesen Rezepturen spielt Buchenholz. Angesichts der Klimaveränderung mit den zunehmenden Starkregen-Ereignissen ist der Erosionsschutz eine Anwendung mit grossem

Rollenbreite [cm]	80	80	120	120	240	240
Rollenlänge [m]	22	42	22	42	22	42
Fläche [m²]	17,6	33,6	26,6	50,4	52,8	100,8
Rollengewicht [kg]	4,9	9,3	7,3	14,6	14,7	28,1
Rollendurchmesser [cm]	18-20	25-27	18-20	25-27	18-20	25-27

Tab. 2: Ausführungsarten der Holzwollevliese (Howolis) der Lindner Suisse GmbH
 Tab. 2: Mode opératoire du groupe Lindner Sàrl dans l'installation de géotextile en laine de bois (Howolis Holzwollevliese)

Potential für die Holzwolle. Ein anderes Einsatzfeld ist der Forststrassenbau. Werden dort Holzwolleunterlagen eingesetzt, schliesst sich auch der Kreis zum Rohstoff Holz [Wald und Holz, S. 5]. Lindner Suisse GmbH bezeichnet das Material als **Holzwollevliese (Howolis)** und bietet diese in sechs Ausführungen an (Tab. 2).

In den USA wird Holzwolle aus Laubholz seit den 1880er-Jahren auch in den Bereichen «land improvement» und «erosion and sediment control» im grossen Stil eingesetzt, heute primär in Form von sogenannten «blankets» (Vliese oder Matten). In den herstellerunabhängigen Labortests und Praxisversuchen mit alternativen Produkten aus anderen pflanzlichen Fasern – wie beispielsweise Stroh, Bambus oder Kokos – erweist sich die Holzwolle in der Regel als die beste Lösung.

10. Renaturierungen von Skipisten

In den 90er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden an der ETH Zürich, Departement Biologie, verschiedene Studien zum Thema Renaturierung von Skipisten verfasst. Für diese Studie wurden die Resultate einer 1998 von Marzio Fattorini vorgelegten Dissertation zusammengefasst. Die Dissertation trägt den Titel «Entwicklung der Vegetation auf standortgerecht renaturierten Skipisten oberhalb der Waldgrenze». Die Testflächen der Skipisten mit von Pistenfahrzeugen beschädigten Grasnarben lagen am Jakobshorn bei Davos. Herr Fattorini untersuchte den Verlauf der Renaturierung im Laufe von mehreren Jahren.

Die Ergebnisse der Dissertation werden an dieser Stelle auf die für uns relevanten Punkte reduziert:

- Die Überlebensrate der Transplantate von Gräsern war grösser als 70%. Eine Verjüngung der Mischbestände war deutlich erkennbar, da sich zahlreiche Transplantat-Arten rasch und erfolgreich durch Samen fortgepflanzt haben. Die Vielfalt der Blütenpflanzen

hat sich innerhalb von zwölf Jahren von anfänglich 8 auf 29 Arten erhöht. Diese Zunahme erfolgte durch die Einwanderung von Diasporen aus der nahe gelegenen Vegetation sowie aus benachbarten Renaturierungsflächen.

- Die bei den eingeführten und spontan eingewanderten Arten ablaufenden Populationsprozesse belegen die Bedeutung der Schutzstellen-Nachahmung (der amerikanischen Curlex-Vliese) für eine erfolgreiche Renaturierung.
- Die Ergebnisse des Monitorings lassen die meisten Transplantat-Arten als geeignet für Renaturierungen oberhalb der Waldgrenze empfehlen. Es wird dabei betont, dass eine Mischung verschiedener Pflanzengruppen ver-



Abb. 2a: 10 Jute Classic (70% Buche, 30% Föhre)



Abb. 2b: 10H/PP Classic



Abb. 2c: 10H/PP Wirrgelege



Abb. 2d: 20H/HD/PP Wirrgelege



Abb. 2e: H/PP Wintervlies (Fichte, Föhre, Buche)



Abb. 2f: H/M/PP Mulchvlies (Laub- und Nadelholz)

Abb. 2: Im Labor geprüfte Holzwollevliese
 Fig. 2: Test en laboratoire des géotextiles en laine de bois

Holzwolle-Typ	Rippen [cm]		durchschnittliche Anzahl der Zuelemente			Flächengewicht Normalklima [g/m ²]
	oben	unten	N _m [pro m]	n _i [pro Messprobe]	c [N _m /n _i]	
10 Jute Classic	1,5x1,5	1,5x1,5	66	13	5,08	417,1
10H/PP Classic	0,6x0,6	1,5x1,5	66	13	5,08	300,3
10H/PP Wirrgelege	0,6x0,6	1,5x1,5	66	13	5,08	437,6
20H/HD/PP Wirrgelege	0,6x0,6	1,5x1,5	66	13	5,08	407,8
H/PP Wintervlies	0,6x0,6	1,5x1,5	66	13	5,08	434,7
H/M/PP Mulchvlies	0,6x0,6	1,5x1,5	166	33	5,03	467,5

Tab. 3: Eigenschaften Holzwollevliese
Tab. 3: Propriétés des géotextiles en laine de bois

wendet werden sollte, um eine entsprechende Verteilung des Risikos zu gewährleisten.

Das Konzept von Schutzinseln, d.h. die kleinflächige Installation einzelner Gruppen von Renaturierungsflächen, ist in der Praxis durchaus realisierbar und seine Vorteile überwiegen gegenüber jenen der üblichen kommerziellen Begrünung [Marzio Fattorini, S. 130].

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Curlex Holzwollevliese sind bei Renaturierungen im hochalpinen Raum Standard.
- Die Renaturierung der beschädigten Grasnarbe der Piste am Jakobshorn bei Davos war erfolgreich.
- Curlex Holzwollevliese bieten Schutzstellen, an welchen auch ein spontaner Populationsprozess stattfinden kann.

11. Holzwollevliese im Labor

Die in Abb. 2 dargestellten Holzwollevliese wurden im Labor des IBAR getestet.

In Tab. 3 sind die Eigenschaften der verschiedenen Holzwollevliese zusammengefasst.

12. Zugfestigkeit

Die Prüfung der Zugfestigkeit wurde in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 10319: Geokunststoffe – Zugversuch am breiten Streifen durchgeführt. Pro Holzwolle-Typ wurden mindestens fünf Messproben, sowohl in Produktionsrichtung (lang) als auch in Querrichtung (quer) geprüft. Die Messproben wurden

mit einer Nennbreite von 200 mm und einer genügend grossen Länge hergestellt, damit 100 mm zwischen den Klemmen sichergestellt werden konnten. Alle Versuche wurden mit einer Zuggeschwindigkeit von 1 kN/s durchgeführt. In Abb. 3 und Abb. 4 sind die rohen Kraft-Weg-Diagramme der Prüfung der Holzwolle 20H-HD-PP Wirrgelege dargestellt.

13. Resultate

Zum Vergleich der verschiedenen Holzwollevliese wurden die Mittelwerte der einzelnen Prüfergebnisse ermittelt und in Abb. 5 zusammengefasst.

In Tab. 4 sind die Berechnungen folgender Werte zusammengefasst:

- Höchstzugkraft F_{max} : Höchstkraft, die während einer Prüfung erreicht wird
- Höchstzugkraftdehnung E_{max} : Dehnung, die die Messprobe unter Höchstzugkraft aufweist

- Zugfestigkeit T_{max} : Höchstzugkraft je Breitereinheit, beobachtet während einer Prüfung, in der eine Messprobe bis zum Bruch gedehnt wird.

14. Wasseraufnahmefähigkeit

Die Prüfung der Wasseraufnahmefähigkeit wurde in Anlehnung an die Norm DIN 53129 durchgeführt: Prüfung von Vollpappe – Wasseraufnahme und Dickenquellung, Wasserlagerung.

Aus den verschiedenen Holzwollevliesen wurden jeweils 10 Proben mit den Abmessungen 250 mm x 250 mm geschnitten. Jede Probe wurde gewogen, um das Gewicht bei Normalklima (20 °C, 40% Luftfeuchtigkeit) zu bestimmen. Anschliessend wurden die Proben so in das Wässerungsgefäss eingebracht, dass ein allseitig freier Wasserzutritt an jeder Probe sichergestellt war. Nach der Wasserlagerung von 24 h wurden die Proben erneut gewogen. Anhand der Gewichte der trockenen und nassen Proben konnte die Wasseraufnahme W_a sowie die relative Wasseraufnahme W_g für die verschiedenen Holzwollevliese ermittelt werden (Tab. 5).

15. Feldversuche

Für die Feldversuche wurde eine Versuchsfläche in der Gemeinde Wattwil zur Verfügung gestellt.

Am 2. April 2013 wurden die in der Produktentwicklung verifizierten Holz-

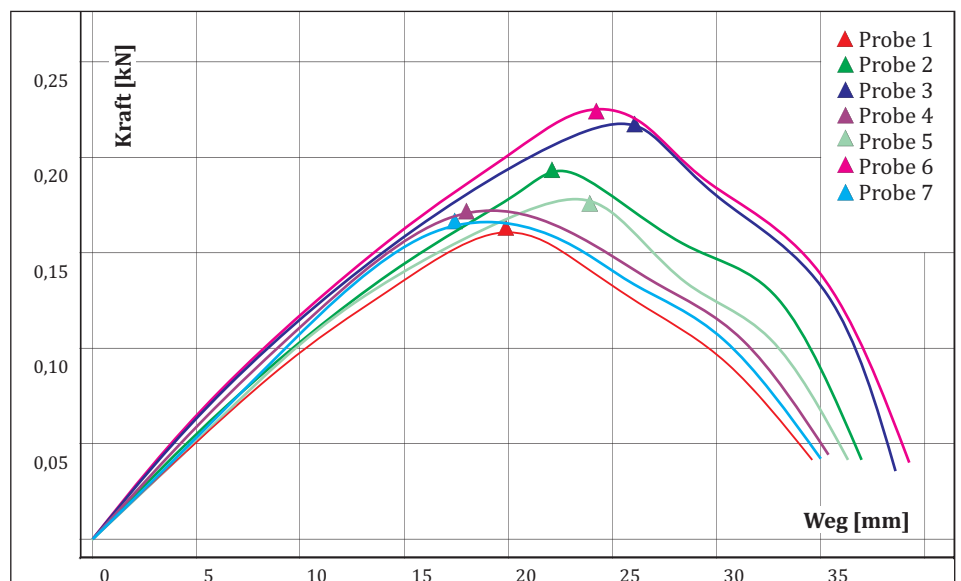


Abb. 3: Rohdaten Zugprüfung 20H-HD-PP Wirrgelege quer
Fig. 3: Données brutes du test de résistance à la traction 20H-HD-PP treillis transversal

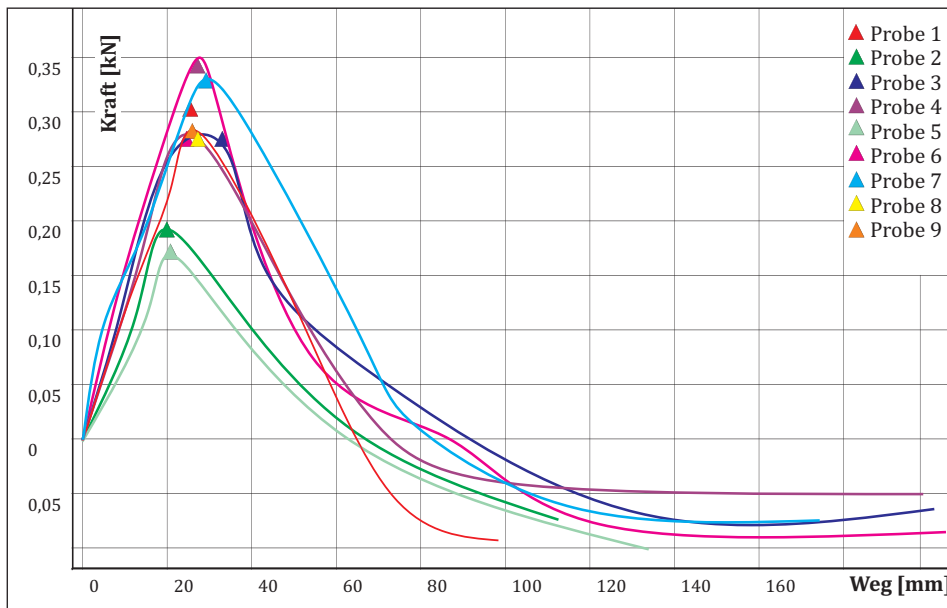


Abb. 4: Rohdaten Zugprüfung 20H-HD-P-MD Wirrgelege lang
 Fig. 4: Données brutes du test de résistance à la traction 20H-HD-P-MD treillis longitudinal

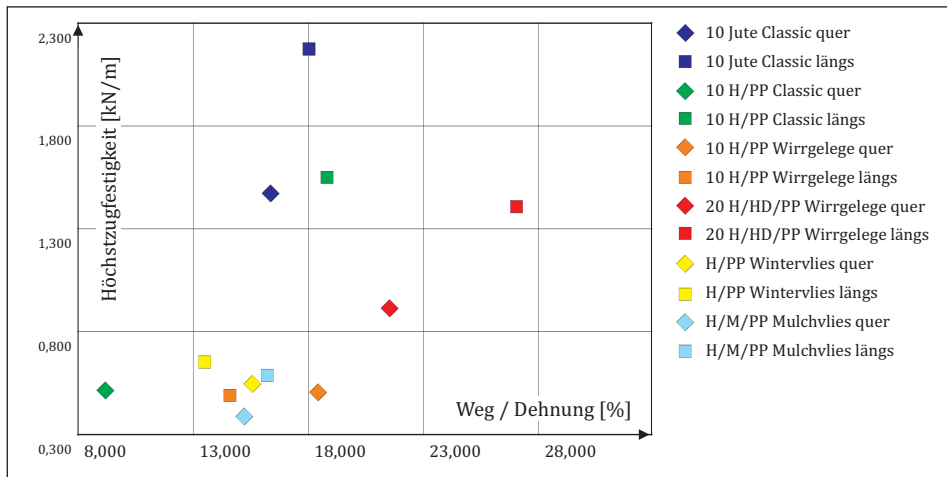


Abb. 5: Zusammenfassung Resultate Zugprüfung
 Fig. 5: Synthèse des résultats du test de résistance à la traction

wollevliese in Wattwil verlegt. Die Verlegung wurde fachmännisch durch Mitarbeiter der E. Weber AG, Baugeschäft, Fachleute des Landschaftsamtes des Kantons St. Gallen sowie weitere Spezialisten aus dem Bereich Garten- und Landschaftsbau vorgenommen. Die Feldarbeiten wurden von Dr. Kurt Hollenstein vom Landwirtschaftsamt des Kantons St. Gallen, Abteilung Strukturverbesserung und BGBB, dokumentiert. Der vollständige Bericht ist in diesem Kapitel integriert.

15.1 Beschreibung der Fläche

Die Projektfläche von ca. 270 m² wurde am 4. Januar 2013 fachmännisch ausgemessen. Sie ist nach Norden expo-

niert und hat eine mittlere Neigung von ca. 45°. An manchen Falllinien beträgt die Neigung 70°. Der anstehende Boden besteht aus mergelreichen Kon-

glomeraten mit einem hohen Anteil an feinen Fraktionen (Silt und Ton). Damit ist die Anfälligkeit auf Erosionsprozesse wie zum Beispiel durch Wasser, Schnee und Wind gegeben.

15.2 Ziel und Vorgehen des Versuchs

Die Eignung der Holzwollevliese und die Anwuchsbedingungen sollten untersucht werden.

Im April 2013 wurde die Versuchsfläche mit Holzwollevliesen abgedeckt und mit einer standardisierten Samenmischung begrünt. Um realistische Aussagen über Wirkungsweise dieser Holzwollevliese zu erhalten, wurden folgende Einflussparameter über einen Zeitraum von total 6 Jahren untersucht:

- Verhalten der Vliese hinsichtlich der geometrischen Verformung und Verrottung
- Verhalten der Verankerung in Bezug auf Korrosion und Verrottung
- Anwuchsverhalten der Grassamen

Dabei wurden verschiedene Holzarten und Konstruktionen der Holzwollevliese eingesetzt, um Antworten auf folgende Fragen zu finden:

- Inwiefern können die Holzwollevliese den Anwuchs einer Begrünung beeinflussen? Eine Kontrollfläche ohne Holzwolle wurde deshalb angelegt und mit derselben Samenmischung begrünt.
- Welchen Einfluss hat die Konstruktion der eingesetzten Holzwolleplatten (Grammatur)?
- Welche Dauerhaftigkeit haben die verschiedenen Holzarten?

Holzwolle-Typ	Zugkraft F _{max} [kN/20cm]		Dehnung ε _{max} [%]		Zugkraft T _{max} [kN/m]	
	längs	quer	längs	quer	längs	quer
10 Jute Classic	2,19	1,48	17,9	16,4	10,95	7,40
10H/PP Classic	1,55	0,51	18,8	9,2	7,75	2,55
10H/PP Wirrgelege	0,49	0,51	14,5	18,4	2,45	2,55
20H/HD/PP Wirrgelege	1,42	0,93	27,0	21,6	7,10	4,65
H/PP Wintervlies	0,66	0,54	13,3	15,6	3,30	2,70
H/M/PP Mulchvlies	0,58	0,39	16,2	15,3	2,90	1,95

Tab. 4: Zusammenfassung Resultate Zugprüfung (Mittelwerte)
 Tab. 4: Synthèse des résultats du test de résistance à la traction (moyenne)

Holzwohle-Typ	Wasseraufnahme W_a [g/m ²]	Relative Wasseraufnahme W_g [%]
10 Jute Classic	810,2	194,2
10H/PP Classic	569,6	189,7
10H/PP Wirrgelege	899,7	205,6
20H/HD/PP Wirrgelege	756,5	185,5
H/PP Wintervlies	1111,5	255,5
H/M/PP Mulchvlies	920,6	196,9

Tab. 5: Auswertung Wasseraufnahmefähigkeit
 Tab. 5: Evaluation de la capacité d'absorption d'eau

- Welche Trägermaterialien sind geeignet? Diese sind Netze aus Jute, Kokos oder synthetischen Fasern.
- Wie verändert sich die Vegetation über die Dauer der Versuchsperiode?

15.3 Auswahl der Versuchsflächen

Es wurden 10 Flächen mit Holzwohle-matten unterschiedlicher Konstruktionen und Holz-mischungen verlegt. Diese Versuchsflächen sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Fläche rechts diente als Kontrollfläche ohne Holzwohle, aber mit der gleichen Begrünung.

Gewählt für diesen Versuch wurden Buche und Föhre im Verhältnis 10, 30, 70 und 90% zur Prüfung des Einflusses der



Abb. 6: Lage der Versuchsfläche, Bild Kurt Hollenstein
 Fig. 6: Situation de la parcelle d'expérimentation, image Kurt Hollenstein

Holzart. Als Trägermaterialien wurden Jute und Polypropylen eingesetzt. Darüber hinaus wurden zwei Konstruktionen mit 350 und 500 g/m² gewählt.

15.4 Begrünung

Vor dem Einbau der Holzwohle-matten wurde Saatgut des Typs OH-Schotter mittels Gebläse (Druckluft) aufgebracht (Abb. 8 und 9). Nach Einbau der Matten wurde dieser Prozess wiederholt und das Saatgut noch einmal aufgebracht. Im unteren Teil der Versuchsfläche wurde Kleber eingesetzt, um das Wegspülen der Samen durch Regenwasser zu verhindern

15.5 Einbau der Holzwohlevliese

Eine Verankerung der Matten erfolgte an der Schulter und am Fuss des Hanges, um die Matten vor Verrutschungen zu schützen. Eine Überlappung der Bahnen von 20 cm wurde eingehalten. Vorgängig wurde hinter der Abrisskante des Hangs ein Graben erstellt. An-

schliessend wurde der Graben wieder aufgefüllt. Mit diesem Verfahren erreichte man eine bessere Lastverteilung und eine Reduktion der in der Matte wirkenden Zugspannungen.

Als Nächstes wurden die Matten in der Falllinie durch die Schwerkraft abgerollt und gerichtet. Anschliessend wurden die Matten vernagelt (Abb. 10 bis 13). Und einzelne Pflanzen und Felsnasen dabei ausgeschnitten. Die Vernagelung erfolgte in einem Raster von ca. 1,0 m (vertikal) auf 0,5 m (horizontal). Es wurden Nägel aus Metall und aus Holz eingesetzt, wobei Metall zahlenmässig klar überwog; dies hing u.a. auch mit dem wesentlich grösseren Eindringwiderstand der Holznägel im eher kompakten Fels zusammen.

15.6 Anwuchskontrolle

Bei der ersten visuellen Kontrolle einen Monat nach dem Einbau, im Mai 2013, wurden keine wesentlichen Verschiebungen und Verformungen und auch keine mechanischen Beschädigungen festgestellt. Lediglich in konkaven Stellen wiesen die Matten bis zu 10 cm Distanz vom Gelände auf. Dies wies auf eine Schrumpfung der Trägernetze hin. Am Hangfuss waren deutliche Wülste aus erodiertem Bodenmaterial.

Abbildung 14 zeigt die Ansicht der Fläche vom Mai 2013. Die Nahaufnahmen in Abbildung 15 zeigen den Beginn einer lockeren Vegetation.

Bei der zweiten Kontrolle im Juni 2013 waren keine Verschiebungen oder

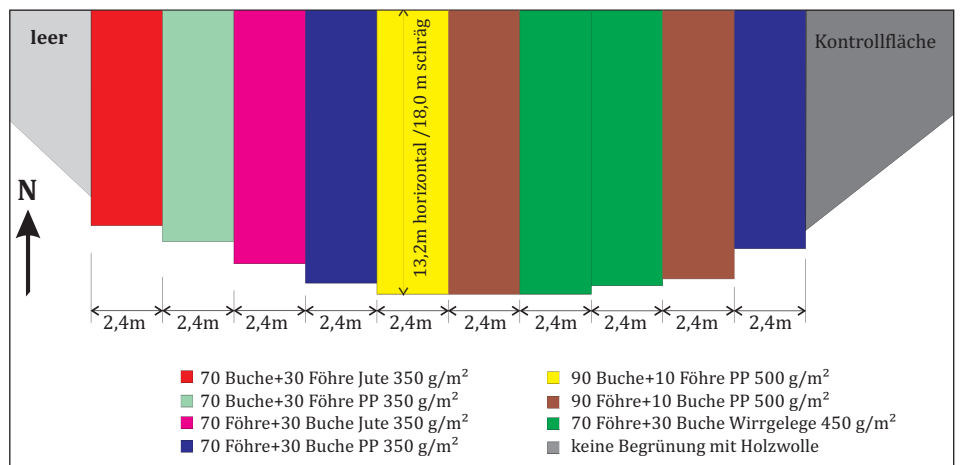


Abb. 7: Belegungsplan für die Versuchsfläche
 Fig. 7: Plan d'implantation de la parcelle expérimentale



Abb. 8: Einbringen der Samen unter das Vlies, Bild Kurt Hollenstein
 Fig. 8: Introduction des semis sous le géotextile, image Kurt Hollenstein



Abb. 10: Verankerung der Matten
 Abb. 10: Ancrage des nattes



Abb. 11: Vernagelung der Matten am Hang
 Fig. 11: Clouages des nattes dans le talus



Abb. 12: Überlappung der Bahnen
 Fig. 12: Chevauchement entre les bandes



Abb. 13: Fortsetzung der Installation
 Fig. 13: Suite de l'installation



Abb. 9: Verwendetes Saatgut, Bild Kurt Hollenstein
 Fig. 9: Semences utilisées, image Kurt Hollenstein



Abb. 14: Zustand der Versuchsfläche einen Monat nach dem Einbau, Bild Kurt Hollenstein
 Fig. 14: Etat de la parcelle expérimentale un mois après son installation

mechanische Beschädigungen festzustellen. Die Matten hatten das Geländeformat in den konkaven Bereichen angenommen und die Bodenwülste am Hangfuß waren unverändert geblieben. Im Gegenteil zur ersten Kontrolle war eine signifikante Verdichtung der Vegetation sichtbar (Abb. 16).

In den Abbildungen 17 bis 25 sind Nahaufnahmen aus dem oberen und unteren Drittel der eingebauten Matten in gleicher Anordnung von rechts nach links zu sehen.

Es ist ersichtlich, dass der Anwuchs am unteren Ende der Matten höher war als am oberen Ende. Offensichtlich hatten die Samen im unteren Bereich mehr Feuchtigkeit zur Verfügung. Darüber hinaus könnte ein Abtransport von Samen stattgefunden haben. Eine klare Aussage über den Einfluss der Konstruktionen und Holzarten konnte nicht gemacht werden.

Ende August 2013 fand eine weitere Kontrolle statt. Dabei waren ebenfalls keine Verschiebungen oder mechani-

sche Beschädigungen festzustellen. Die Matten hatten das Geländeformat in den konkaven Bereichen angenommen und die Bodenwülste am Hangfuß waren unverändert geblieben. Eine signifikante Verdichtung der Vegetation war sichtbar (Abb. 26).

In den Abbildung 27 bis 35 sind Nahaufnahmen aus dem oberen und unteren Drittel der eingebauten Matten in gleicher Anordnung von rechts nach links zu sehen.



Abb. 15a: Vegetation einen Monat nach dem Einbau. Matte mit hoher Grammatur, Bild Kurt Hollenstein

Fig. 15a: Végétation un mois après la mise en place. Géotextile avec un grammage plus élevé, image Kurt Hollenstein

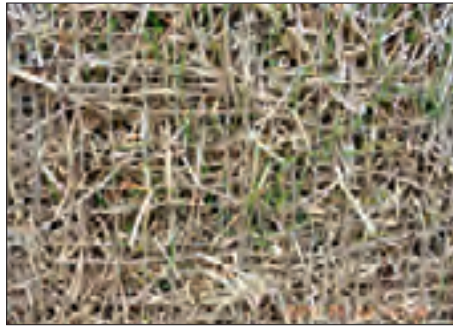


Abb. 15b: Vegetation einen Monat nach dem Einbau. Matte mit tiefer Grammatur, Bild Kurt Hollenstein

Fig. 15b: Végétation un mois après la mise en place. Géotextile avec un grammage plus faible, image Kurt Hollenstein



Abb. 16: Zustand der Versuchsfläche zweieinhalb Monate nach dem Einbau, Bild Kurt Hollenstein

Fig. 16: Etat de la parcelle expérimentale deux mois et demi après son installation, image Kurt Hollenstein

Eine Kontrolle der Erdnägel für die Verankerung wurde auch durchgeführt. Eine Veränderung wurde hier nicht festgestellt. Die Dauer von fünf Monaten war zu kurz, um Veränderungen an den

Metall- bzw. Holznägeln zu registrieren. Die Betrachtung der Kontrollfläche und der Vergleich mit den benachbarten Flächen liess die Wirkung der Holzwolle-matten deutlich erkennen. Die Oberflä-



Abb. 17a: Aus dem oberen Drittel der Matte mit hoher Grammatur



Abb. 17b: Aus dem unteren Drittel der Matte mit tiefer Grammatur

Abb. 17: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 70 Buche 30 Föhre 350 g/m² Trägermaterial Jute, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 17: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 70% hêtres, 30% pins, grammage 350 g/m², matériel de support en jute, images Kurt Hollenstein

che der Kontrollfläche zeigte deutliche Spuren von Erosion (vgl. Abb. 36).

15.7 Kontrolle 5. März 2014

Es waren keine weiteren geometrischen Veränderungen der verlegten Holzwolle-matten feststellbar. Das Phänomen der Faserdehnung bzw. Faserschumpfung war in der Anfangsphase vorhanden. Die Trägernetze hatten sich anfänglich mit Wasser vollgesogen und dadurch gedehnt, wodurch sie sich der Geländeform anpassen konnten.

Veränderungen der Farben der Holzfasern wurden beobachtet. Dennoch waren keine globalen Abbauprozesse der Trägernetze zu erkennen. Diese waren für die Dauer von zwei Jahren ausgelegt, wobei Jute als Trägermaterial wesentlich schneller abgebaut wurde als die PP-Netze.

Eine klare visuelle Veränderung durch Verrottung war eindeutig bei den Buchenfasern erkennbar.

Dadurch bestätigt sich die Vermutung, dass die Dauerhaftigkeit der Holzwolle-matten von der Holzartenzusammensetzung bzw. vom Trägermaterial abhängt. Diese können nun qualitativ beurteilt werden:

- Die Dauerhaftigkeit der Holzwolle-matten hängt von der Holzartenzusammensetzung ab. Ein hoher Buchenanteil führt dazu, dass die Matten rasch abgebaut werden und ihre Funktion verlieren. Föhre ist deutlich dauerhafter als Buche.
- Die Dauerhaftigkeit des Trägermaterials beeinflusst den Zusammenhalt der Holzfasern. Jutefasern bauen rascher ab als PP-Fasern.
- Festigkeitsprüfungen nach dem Einbau wurden nicht durchgeführt.
- Bei den Ankern (Bodennägeln) konnten keine relevanten Korrosions- und Abbauerscheinungen festgestellt werden.

16. Schlussfolgerung und Resultate

Der Einsatz von Holzwolle-matten wirkt gegen Erosion und verbessert den Anwuchserfolg einer Begrünung. Die Versuchsfläche hat gezeigt, dass Holz-

wollematten eine stabilisierende und keimbegünstigende Wirkung auf Bodenoberflächen haben.

Wie und ab wann die Konstruktion der Holzwollematten den Begrünungsgrad verbessert, kann nicht bestätigt oder verworfen werden. Es sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dickere Matten führen zu besseren Begrünungsgraden. Buchenholz und Jute sind wenig dauerhaft.

Schlecht anliegende Matten, die keinen Kontakt zum Boden haben, weisen geringe Begrünungsgrade auf. Hohlräume zwischen Matten und Boden haben eine negative Wirkung. Eine konkrete Anleitung für den Einbau wäre hilfreich und könnte das Problem beseitigen.

Die Dauerhaftigkeit der Holzwollematten muss über die gesamte Dauer der Anwuchsphase gewährleistet sein. Der

Abbau darf nicht vor Erreichung der vollständigen Begrünung erfolgen. Hier spielt die Auswahl der Materialien eine grosse Rolle.

Der Begrünungsgrad betrug 50% nach 5 Monaten und bis zu 80% nach einem Jahr. Teilweise lag der Begrünungsgrad an manchen Stellen unter 20%. Eine deutliche Ursache im Zusammenhang mit der Holzart liess sich nicht erkennen. Für die Versuche müssen viel mehr Installationsflächen zur Verfügung stehen. Auch die Messkriterien müssen entsprechend weiterentwickelt werden. Eine visuelle Kontrolle, um den Begrünungsgrad abzuschätzen, genügt nicht. Es fehlen noch Messmethoden, um die Durchwurzelungstiefe zu ermitteln.

Die Versuche im Baulabor zeigen realistische Werte, die mit ähnlichem Material (Curlex) vergleichbar sind. Der Feldversuch zeigt, dass eine Hangbegrünung mit einheimischen Hölzern erfolgreich sein kann. Allerdings sind in diesem Pilotprojekt die diversen und möglichen Einflussparameter nicht erfasst worden (Exposition, Hangneigung, Schnee und Regen, Temperatur, Feuchtigkeit, Bodenbeschaffenheit etc.). Ebenfalls wurden die Wechselwirkungen zwischen Samen und Holzart nicht erfasst. Diese müssen in einem Folgeprojekt genauer untersucht werden. Darüber hinaus ist die Befestigung der Vliese zu ermitteln. Weitere Einflussparameter werden in den kommenden zwei Jahren im Rahmen eines KTI-Projektes «Nachhaltiger Erosionsschutz mit Holzwole» eingehend untersucht.



Abb. 18a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 18b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 18: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 70 Buche 30 Föhre 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 18: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 70% hêtres, 30% pins, grammage 350 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 19a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 19b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 19: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial Jute, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 19: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support en jute, images Kurt Hollenstein



Abb. 20a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 20b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 20: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 20: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support PP, images Kurt Hollenstein

17. Danksagung

Für die Unterstützung bei den Recherchen und Stellung von Versuchsergebnissen, Texten und Bildmaterial bedanke ich mich bei den Projektbeteiligten, insbesondere bei den Herren Dr. Kurt Hollenstein und Thomas Wildberger.

18. Literatur

- American Excelsior, verschiedene Dokumente aus dem Internet, Internet: www.americanexcelsior.com, aufgerufen am 25. Juni 2013.



Abb. 21a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 21b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 21: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 90 Buche 10 Föhre 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 21: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 90% hêtres, 10% pins, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 22a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 22b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 22: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 90 Föhre 10 Buche 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 22: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 90% pins, 10% hêtres, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 23a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 23b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 23: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ Wirrgelege 70 Föhre 30 Buche 450 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 23: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type avec treillis: 70% pins, 30% hêtres, grammage 450 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein

- Biologische Begrünung und Erosionsschutz mit Jutenetzen und Holzwollevliesen, Quelle unbekannt.
- Fattorini Marzio: Entwicklung der Vegetation auf standortgerecht renaturierten Skipisten oberhalb der Waldgrenze, ETH Zürich, Zürich 1998.
- Frey Hanspeter: Werkstoffmonografie Holzwolle, edition Ylichtensteig, Deutschland 2011.

- Holzwolle – Neue nachhaltige Nutzung von Schweizer Laubholz geht in die Versuchsphase, Medieninformation vom 24. September 2012, Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung.
- Howolis-Holzwollevliese: Der ökologische Erosionsschutz aus dem Schweizer Wald, Internet: www.lindner.ch, aufgerufen am 25. Juni 2013.

- Unauffälliger Alleskönner: Holzwolle – ein vielseitiger und natürlicher Holzwerkstoff, Wald und Holz, S. 3–6, Solothurn.
- Daniel Näf: Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum HTW Chur «Erosionsbekämpfung im alpinen Raum durch Einsatz von Holzwolle» 2013.
- [MET] MeteoSchweiz 2013, Klimabulletin Mai 2013. Zürich.
- Kurt Hollenstein: Versuchsbericht «Einsatz von Holzwollevliesen in der Hangsicherung und Begrünung», Version 0.1 vom 12. November 2013.
- Kurt Hollenstein: Bildermaterial des Versuchsberichtes «Einsatz von Holzwollevliesen in der Hangsicherung und Begrünung», Pilotprojekt Wattwil.

Kontaktadresse

Imad Lifa
 Leiter Institut für Bauen im alpinen Raum (IBAR)
 Tel.: 081 286 24 83
 E-Mail: imad.lifa@htwchur.ch

Projektbeteiligte

Produzent Holzwolle: Thomas Wildberger, Geschäftsführer der Lindner Suisse GmbH – Holzwolle Manufaktur, Bleikenstrasse 98, 9630 Wattwil
 Bauherrschaft: Kurt Hollenstein, Dr. sc. Techn., dipl. Forsting. ETH / SIA, Landwirtschaftsamt des Kantons St. Gallen, Abteilung Strukturverbesserung und BGBB, Unterstrasse 22, 9001 St. Gallen
 Lignum – Holzwolle St. Gallen, Davidstrasse 35, 9001 St. Gallen
 Beobachter: Pius Eicher, Schoellkopf AG, Riedackerstrasse 20, 8153 Rümlang
 Einbau: E. Weber AG, Ebnaterstrasse 79, 9630 Wattwil
 Begrünung: Peter Zurbuchen, Zurbuchen Bodenschutz GmbH, Holzmannshaus 2, 8566 Lippoldswilen
 Forschungsinstitut: Imad Lifa, Prof. Dr. Ing. TU/SIA, Leiter Institut für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur



Abb. 24a: Aus dem oberen Drittel der Matte

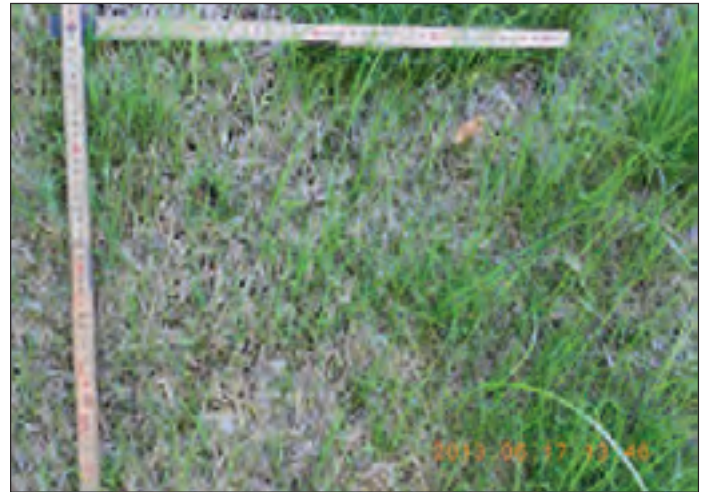


Abb. 24b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 24: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 90 Föhre 10 Buche 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 24: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 90% pins, 10% hêtres, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 25a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 25b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 25: Zustand 10 Wochen nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 25: Etat 10 semaines après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 26: Zustand der Versuchsfläche knapp fünf Monate nach dem Einbau, Bild Kurt Hollenstein

Fig. 26: Etat des parcelles expérimentales 5 mois à peine après leur installation, image Kurt Hollenstein



Abb. 27a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 27b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 27: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 70 Buche 30 Föhre 350 g/m² Trägermaterial Jute, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 27: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 70% hêtres, 30% pins, grammage 350 g/m², matériel de support en jute, images Kurt Hollenstein



Abb. 28a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 28b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 28: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 70 Buche 30 Föhre 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 28: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 70% hêtres, 30% pins, grammage 350 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 29a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 29b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 29: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial Jute, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 29: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support en jute, images Kurt Hollenstein

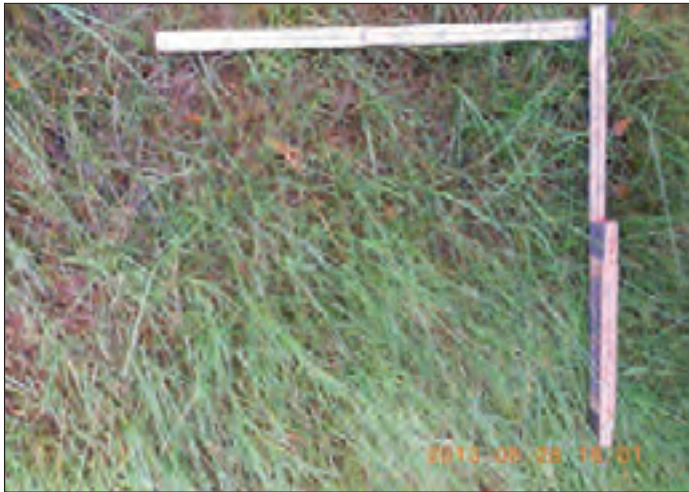


Abb. 30a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 30b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 30: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 30: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 31a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 31b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 31: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 90 Buche 10 Föhre 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 31: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 90% hêtres, 10% pins, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 32a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 32b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 32: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 90 Föhre 10 Buche 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 32: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 90% pins, 10% hêtres, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 33a: Aus dem oberen Drittel der Matte

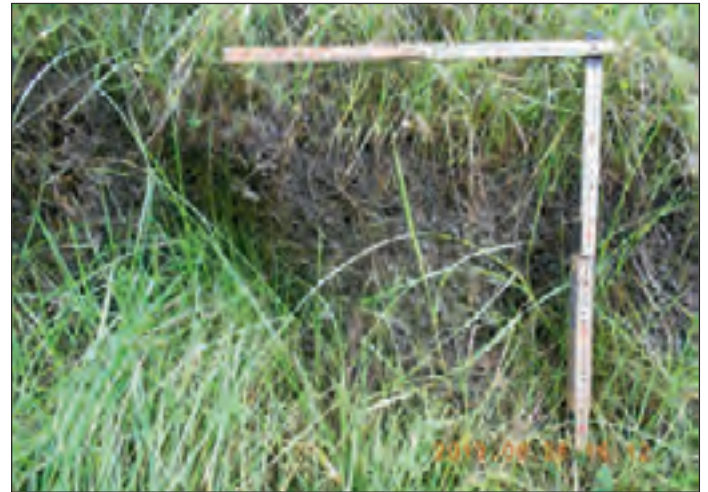


Abb. 33b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 33: Zustand 5 Monate nach Einbau für Wirrgelege 70 Föhre 30 Buche 450 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 33: Etat 5 mois après la mise en place pour le type avec treillis: 70% pins, 30% hêtres, grammage 450 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 34a: Aus dem oberen Drittel der Matte



Abb. 34b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 34: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 90 Föhre 10 Buche 500 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 34: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 90% pins, 10% hêtres, grammage 500 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 35a: Aus dem oberen Drittel der Matte

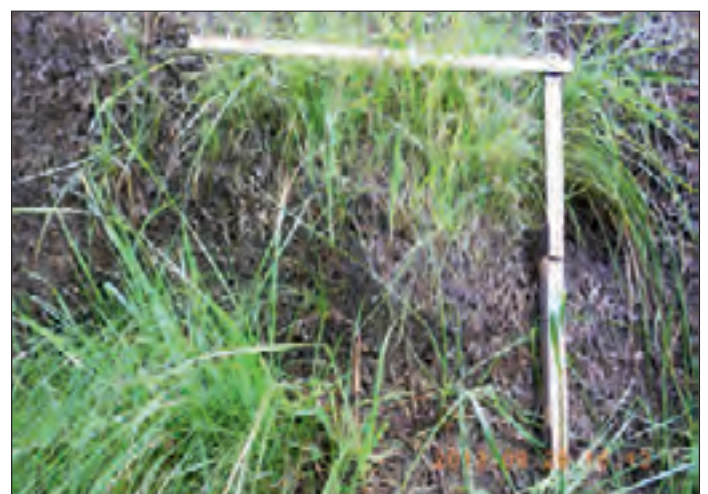


Abb. 35b: Aus dem unteren Drittel der Matte

Abb. 35: Zustand 5 Monate nach Einbau für Typ 70 Föhre 30 Buche 350 g/m² Trägermaterial PP, Bilder Kurt Hollenstein

Fig. 35: Etat 5 mois après la mise en place pour le type: 70% pins, 30% hêtres, grammage 350 g/m², matériel de support en PP, images Kurt Hollenstein



Abb. 36: Versuchsfläche (links) und Kontrollfläche (rechts). Die Vegetation auf der Versuchsfläche ist deutlich besser entwickelt. Bild Kurt Hollenstein
Fig. 36: Parcelles expérimentales (à gauche) et parcelles de contrôle (à droite). La végétation sur la parcelle expérimentale est nettement plus développée.
Image Kurt Hollenstein



Abb. 37: Stand April 2014, Bild Thomas Wildberger
Fig. 37: Etat en avril 2014, image Thomas Wildberger

HOWOLIS



Erosions-Schutzvlies

aus Schweizer Holz.
Der natürliche Schutz gegen Wind- und Wassererosion.
Bei der Planung nicht vergessen!

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

HOWOLIS



Q - Faschinen

Renaturieren mit Schweizer Holz.

Q - Fascines

Renaturer avec du bois suisse.

produziert von | produit par :



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