



Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU

3003 Bern

Beauftragter:

Lindner Suisse GmbH
Bleikenstrasse 98
9630 Wattwil

Entwicklung und Anwendung von naturbelassener Holzwolle im Grundbau und in der Sediment Control

Akten Nr: L234-0503
Referenz Nr: REF-1011-85140/2012.08
Projekt Nr: 2012.08

Laufzeit: ab 30. Juni 2012

1	Ausgangslage und Auftrag	1
2	Grundlagen.....	1
2.1	Die Definition der Holzwolle.....	1
2.2	Holzwolle nach Schweizerischem Standard	1
2.3	Holzwolle zur Hangsicherung	2
2.4	Erosionsschutz mit Jutenetzen und Holzwollevliesen.....	3
2.5	Renaturierungen von Skipisten.....	4
3	Marktanalyse	5
3.1	Der Schweizer Markt	5
3.2	Erosionsschutz durch Holzwolleprodukte in den USA.....	5
4	Prüfungen im Labor.....	6
4.1	Im Labor getestete Holzwollevliese	6
4.2	Zugfestigkeit	8
4.2.1	Versuchsdurchführung.....	8
4.2.2	Resultate.....	9
4.3	Wasseraufnahmefähigkeit	10
5	Feldversuche.....	10
5.1	Beschreibung der Fläche.....	10
5.2	Ziel des Versuchs	11
5.3	Vorgehen	11
5.4	Untersuchte Aspekte	11
5.5	Hypothesen.....	12
5.6	Layout der Versuchsflächen	12
5.7	Anordnung der einzelnen Bahnen	12
5.8	Begrünung.....	14
5.9	Einbau der Holzwollevliese.....	14
5.10	Weitere Entwicklung der Fläche	15
5.10.1	Kontrolle vom 02. Mai 2013.....	15
5.10.2	Kontrolle vom 17. Juni 2013.....	17
5.10.3	Kontrolle vom 28. August 2013	21
5.11	Resultate und Interpretation	27
5.11.1	Verhalten der Vliese.....	27
5.11.2	Verhalten der Verankerung.....	29
5.11.3	Anwuchserfolg	29
5.12	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	30
6	Untersuchung über die Verfügbarkeit von Buchenholz, Stand Mai 2013	32

7	Wissenstransfer.....	32
8	Schlussbemerkung.....	33
9	Quellen.....	34

1 Ausgangslage und Auftrag

Am 28. März 2012 hat die Firma Lindner Suisse dem Bundesamt für Umwelt BAFU ein Gesuch zur finanziellen Unterstützung des Projektes "Entwicklung und Anwendung von naturbelassener Holzwolke im Grundbau und in der Sediment Control" eingereicht.

Anlässlich seiner Sitzung vom 29. Mai 2012 hat das Expertengremium des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung des BAFU beschlossen, das Projekt mit CHF 60'000 zu unterstützen.

Es sieht vor, auf der Basis der Praxis in den USA Anforderungsprofile für verschiedene Einsatzgebiete zu entwerfen und die Rahmenbedingungen im Schweizer Markt zu beleuchten.

Danach werden einheimische Holzwolkevliese entwickelt, welche den Anforderungsprofilen genügen. Sie werden im Labor und im Feldversuch geprüft.

Dieser Bericht gibt Auskunft über den Stand der geplanten Arbeiten und fasst erste Resultate zusammen.

2 Grundlagen

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 Holzwolke eignen sich in erster Linie weiche Holzarten. Als Nadelhölzer sind Gemeine Fichte, Waldkiefer und Lärche geeignet. Holzwolke lässt sich auch aus Laubhölzern wie zum Beispiel Buche, Esche und Pappel herstellen.¹

Bereits in den 80-iger Jahren hat Frau Dr. Urbanska Krystyna als erste ETH-Professorin überhaupt mit einer grossen, mehrjährigen Studie den sinnvollen Einsatz von Holzwolkevliesen im Bündnerland erfolgreich geprüft. Parallel dazu führten auch die Bergbahnen Elm im Glarnerland verschiedene Versuche durch. Damals mit importiertem Holzwolkevlies aus den USA. Nach dem erneuten, positiven Versuch mit Holzwolkevlies 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.

2.1 Die Definition der Holzwolke

Unter Holzwolke 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 astfrei sein. Seine Verarbeitung erfolgt am besten in halbfeuchtem Zustand.²

2.2 Holzwolke nach Schweizerischem Standard

Holzwolke ist ein hochwertiger naturbelassener Werkstoff in Form von gleichmässigen feinen und bis zu 500 mm langen, elastischen losen, holzsplitterfreien und quasi staubfreien Holzwolkefäden. Diese werden aus entrindeten und

¹ Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur

² Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur

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.³

Qualität Rundholz, Klasse A und B gemäss / 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 PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification)

Versand Die Holzwolle wird in luftdicht verschlossenen Säcken oder Behältnissen geliefert.⁴

Tabelle 1: Spezifikationen der Holzwoolfäden⁵

Typ	LA1	LA3	LA8	LB	LC1	LC2	LD	LE
Länge maximal in mm	500	500	500	500	500	500	500	500
Dicke in mm	0.12	0.12	0.12	0.15	0.20	0.25	0.25	0.25
Breite in mm	1.3	3.0	8.0	2.0	2.0	2.0	3.0	8.0
Feuchte unter	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Kurzfaseranteil pro kg maximal	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%	1.2%

2.3 Holzwolle zur Hangsicherung

Ein Anwendungsbereich im Bereich Hangsicherung ist die Begrünung von Freiflächen und hierfür ist Howolis das Produkt, das von der Lindner Suisse GmbH in Wattwil angeboten wird.

Howolis (Holzwolevliese) sind Steppverbindungen aus Holzwolle verschiedener Holzarten und Jute oder abbaubarem Polypropylen. Dank ihrer guten mechanischen Eigenschaft und ihrer biologischen Abbaubarkeit eignen sie sich gut für den Bodenschutz und die Begrünung von Freiflächen. Mit unterschiedlichen Holzwoollrezepturen 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 Potential für die Holzwolle. Ein anderes Einsatzfeld ist der Forststrassenbau. Werden dort Howolis Holzwolevliese eingesetzt, schliesst sich auch der Kreis zum Rohstoff Holz.⁶

Lindner Suisse GmbH bietet die Howolis Holzwolevliese in folgenden Ausführungen an:

Tabelle 2: Ausführungsarten der Howolis Holzwolevliese der Lindner Suisse GmbH *Änderungen vorbehalten, oder nach Projektanforderung

Rollenbreite (cm)*	80	80	120	120	240	240
Rollenlänge (m)*	22	42	22	42	22	42

³ Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur

⁴ Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur

⁵ Studie des Instituts für Bauen im alpinen Raum der HTW Chur

⁶ Wald und Holz, S. 5.

Fläche (qm)	17.6	33.6	26.4	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

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.

2.4 Erosionsschutz mit Jutenetzen und Holzwollevliesen

Neben der Holzwolle bietet sich Jute als pflanzliche Faser an, um Erosionen zu verhindern. Im Folgenden werden die beiden natürlichen Materialien Jutenetz und Curlex-Holzwollevliese miteinander verglichen.

Oberflächenwasser, verursacht durch Gewitter, Dauerregen oder dem plötzlichen Ansteigen des Wasserspiegels von Bächen und Flüssen haben schon manche Begrünungsarbeit zerstört. Schutz gegen fliessendes Wasser ist die grosse Stärke von Soil Saver [Jutenetz: Das Jutenetz wird in Rollen von 1.22 m Breite und 46 m Länge geliefert. Das schwergewichtige, grobmaschige Jutegewebe hat ein Gewicht von zirka 600 g/lfm. Die einzelnen Stränge besitzen einen Durchmesser zwischen zwei bis fünf mm, das Gewebe weist eine Maschenweite von zirka zwei cm auf.] Die dicken Jutestränge bilden einen Widerstand gegen das fliessende Wasser. Jutenetze verleihen dem Boden eine raue, unregelmässige Oberflächenstruktur. Die Fliessgeschwindigkeit wird gebremst, das Wasser kann den Boden nicht abtragen, Humus und Saatgut bleiben am Ort.

Die einzelnen Jutestränge lassen sich leicht auseinanderschieben und ermöglichen das Pflanzen von Stecklingen, Sträuchern und Bäumen. Die grossen Maschen bieten dem Saatgut ausreichend Halt, damit sich die Wurzeln gut entwickeln und den Humus festigen können. Eine gute Oberflächenstabilisation wird somit erreicht. Jute ist eine Pflanzenfaser und somit biologisch abbaubar. Nach etwa ein bis zwei Jahren zersetzt sich Soil-Saver und wird zu einem wertvollen Mulch.

Die Wunden in der Natur durch den Skitourismus sind gut sichtbar. Die planierten Skipisten sind den Folgen der Erosion ungehindert ausgesetzt. [...] Die Befestigung der Holzwollevliese erfolgt wie beim Soil-Saver durch Agraffen aus Stahl. Die einzelnen Fasern aus Espenholz sind harzfrei und säureunabhängig. Ein leichtes Plastiknetz auf der Oberseite schützt die Holzwolle vor Wind und gibt den wachsenden Pflanzen einen zusätzlichen Verankerungspunkt. Das Plastiknetz wird durch UV-Einstrahlung abgebaut und hinterlässt keine Schadstoffe.

Curlex bietet einen hervorragenden Schutz gegen Regenerosion. Die Holzwolle bremst den Aufprall und verhindert so ein Auswaschen von Feinanteilen und Saatgut. Die flächendeckende, jedoch licht- und luftdurchlässige Holzwolle bewirkt zudem die Entstehung eines Mikroklimas in Bodennähe. Im Zusammenhang mit der gespeicherten Feuchtigkeit und dem Schutz vor intensiver UV-Bestrahlung ergeben sich, selbst in Trockenzeiten, verbesserte Wachstumsbedingungen. Boden, Pflanzen und Curlex werden zu einem untrennbaren, einheitlichen Gebilde und tragen so zu einer Oberflächenstabilisation bei.

[...] Zusammenfassend kann man die Unterschiede von Soil-Saver und Curlex wie folgt bezeichnen. Beides sind ausgezeichnete Produkte gegen die Folgen der Erosion, bis eine gut entwickelte Pflanzendecke diese Funktion übernehmen kann. Jutenetze sind dort von Vorteil, wo Oberflächenwasser, wie es an Bach-, Fluss- und Seeufer vorkommt, zu Schäden führen kann. Curlex besitzt Eigenschaften, welche den Einsatz in Höhenlagen, z.B. Skipisten bei kurzer Vegetationszeit, ermöglicht. Ein Mikroklima entsteht, Bedingungen für eine gute Begrünung in Höhenlagen.⁷

⁷ Biologische Begrünung und Erosionsschutz mit Jutenetzen und Holzwollevliesen

2.5 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 werden die Resultate einer 1998 von Marzio Fattorini vorgelegten Dissertation zusammengefasst. Die Dissertation trägt den Titel «Entwicklung der Vegetation auf standortgerecht renaturierte 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 meisten Bepflanzungen wurden mittels Curlex-Holzwollevliese vorgenommen.

Eine Bedeckung der Renaturierungsflächen mit biologisch abbaubaren Geotextilien hat sich als sehr vorteilhaft erwiesen, da auf diese Weise natürliche Schutzstellenverhältnisse nachgeahmt werden. Die Geotextilien bilden eine feine, dreidimensionale Struktur, in der ein eigenes Mikroklima mit ausgeglichenen Temperaturen herrschen kann. In unseren Renaturierungsversuchen in der Nähe von Davos wurde meistens ein Vlies aus Pappelholzwolle (Curlex) verwendet.⁸

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 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 verwendet 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.⁹

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, in welchen auch ein spontaner Populationsprozess stattfinden kann.

⁸ Marzio Fattorini, S. 22.

⁹ Marzio Fattorini, S. 130.

3 Marktanalyse

3.1 Der Schweizer Markt

In der Schweiz gibt es mit der Lindner Suisse GmbH in Wattwil nur noch einen Anbieter von Holzwolle. Das Fachwissen der Lindner Suisse GmbH im Bereich Holzwolle kann von grossem Nutzen sein.

Ohne dass eine umfangreiche Recherche einen umfassenden Geltungsanspruch für sich in Anspruch nehmen kann, ist es auffällig, dass es in Deutschland nur wenig Anbieter von Holzwolle und Holzwolleprodukten gibt und dass die Holzwolleprodukte im Bereich Erosionsschutz gänzlich fehlen. Für einen Schweizer Anbieter wie die Lindner Suisse GmbH mit ihrer grenznahen Lage zu Deutschland kann der Absatzmarkt Deutschland durchaus attraktiv sein, zumal Deutschland im Frühsommer 2013 massiv unter Überschwemmungen, Deichbrüchen und Erosionen zu leiden hatte.

3.2 Erosionsschutz durch Holzwollprodukte in den USA

Da Holzwolle beim Erosionsschutz in den USA im Gegensatz zu Europa über eine ununterbrochene Tradition verfügt, werden im Folgenden Holzwollprodukte im Bereich Erosionsschutz aus den USA vorgestellt. Die vorgestellten Produkte und Produktbeschreibungen basieren auf einer Internetrecherche. Insofern gilt es zu berücksichtigen, dass die Produktbeschreibungen nicht neutral sind, sondern zum Kauf der jeweiligen Produkte animieren sollen.

Die amerikanische Gesellschaft «Excelsior» entwickelte in den 1960er Jahren die Curlex-Holzwollevliese.

- Diese schützen einerseits die Grassamen davor, weggeschwemmt zu werden. Andererseits wird der Boden geschützt, so dass die Erosion durch Wind und Wasser verhindert werden kann.
- Die Anwendung der Curlex-Holzwollevliese verfügt über einen Erfahrungshorizont von über fünfzig Jahren.
- Die Curlex-Holzwollevliese dürfen nicht zu dicht sein, damit die Holzwolle genug Feuchtigkeit aufnehmen kann. Feuchtigkeitsaufnahme führt zu einem Quellen des Holzes. Demzufolge muss bei der Produktion von Holzwollevliese ein Quellfaktor miteinberechnet werden.
- Die Holzwolle muss eine raue Oberfläche haben. Die raue Oberfläche verringert die Fliessgeschwindigkeit des Wassers. Je geringer die Fliessgeschwindigkeit ist, desto mehr Wasser dringt in den Boden ein. Ein Hauptproblem der Erosion durch Wasser ist die zu hohe Fliessgeschwindigkeit des Wassers, wodurch die Erde weggespült wird.
- Für die Curlex-Holzwollevliese werden Eschen und Pappeln verwendet.
- 80% der Holzspäne haben eine Länge von mehr als 15 cm.
- An der Oberfläche der Holzwollevliese ist ein biologisch abbaubares Plastiknetz angebracht.
- Anwendungen der Curlex-Holzwollevliese sind: Böschungen (Autobahn, Brücken), Siedlungsentwässerung, Golfplätze und Skigebiete.
- Für besonders schwierige Anwendungen kann der Holzwolle ein Bindemittel beigemischt werden. Dieses Bindemittel führt zu einer Art Verkleben der Curlex-Vliese mit dem Boden. Enger Kontakt der Curlex-Vliese mit dem Untergrund ist eine Voraussetzung für einen guten Erosionsschutz. Das Bindemittel ist biologisch abbaubar.
- Für besonders steile Hanglagen oder besonders exponierte Hanglagen werden die Curlex-Vliese schwerer gemacht. Hierfür werden Folien aus Glas- oder Steinwolle benutzt.
- Soll das Gegenteil, ein besonders leichtes Curlex-Vlies erreicht werden, so kann die Holzwolle mit Stroh ergänzt werden. In diesem Fall gilt es zu berücksichtigen, dass Stroh eine glatte Oberfläche hat, was die

Fliessgeschwindigkeit des Wassers weniger bremst als Holzwolle. Leichte Curlex-Vliese werden in den USA vor allem für Erosionsschutz auf Golfplätzen eingesetzt.

- Eine weitere Anwendung von Curlex-Vliese ist es, bei Baustellen die Erosion zu verhindern. Insbesondere entlang von neu erstellen Strassen helfen die Curlex-Vliese, dass frisch aufgeschüttetes Erdreich nicht gleich wieder in der Kanalisation landet.
- Für Anwendung in flachem Gebiet wird ein Curlex-Vlies angeboten, das so dimensioniert ist, dass sie von einer einzigen Arbeitskraft verlegt werden kann.
- Eine Abwandlung der Holzwollevliese ist der Holzwolleblock (Faschinen), der ebenfalls von der amerikanischen Firma «Excelsior» angeboten wird. Diese Blöcke werden bei Erosionsschäden im Uferbereich von Flüssen und Seen angebracht. Sie bilden ein Schutzklima für neu angesäte Pflanzen. Nach drei Jahren lösen sich die Blöcke auf, respektive lässt sich immer weniger eine Grenze zwischen Holzwolleblock und Erdreich ziehen, sie haben ihren Zweck erfüllt. Im Rahmen dieser Studie konnte mittels des Werkzeuges Internetrecherche kein Anbieter von Holzwolleblöcken gefunden werden.¹⁰

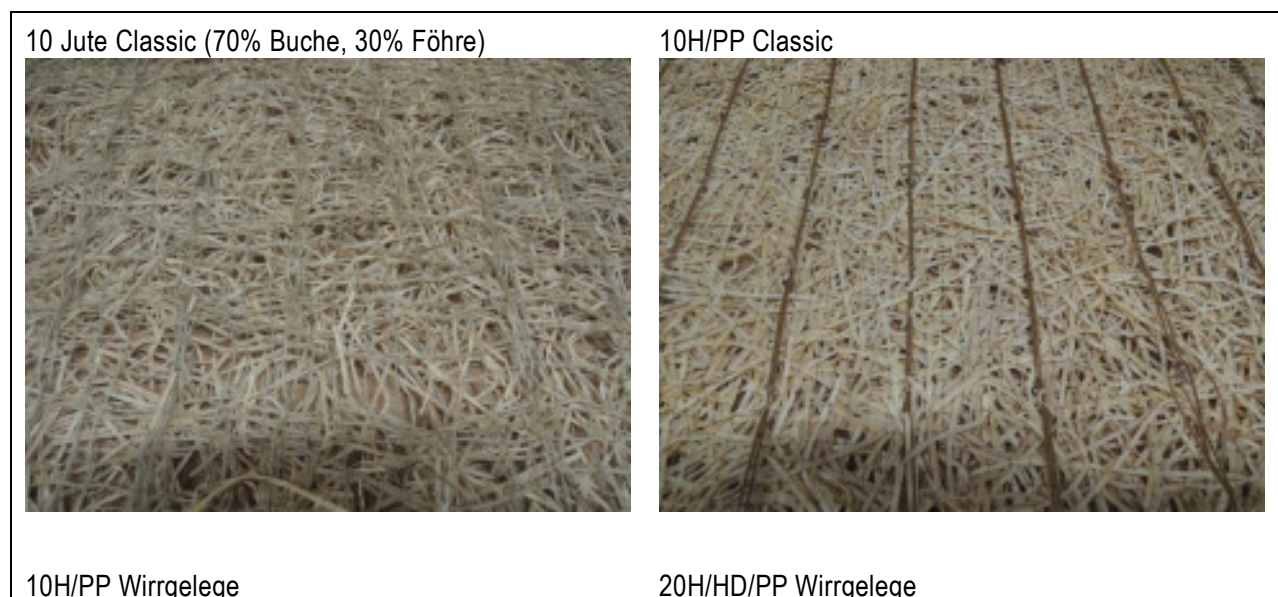
4 Prüfungen im Labor

In den Monaten Oktober 2012 bis Ende Juni 2013 wurden verschiedene Holzwollevliese mit unterschiedlichem Gehaltsanteil an Buchenholz entwickelt. In der Folge wurden die unterschiedlichen Holzwollevliese im Juni 2014 auf ihre Zugfestigkeit und Wasseraufnahmefähigkeit getestet.

Einzelne Prototypen mussten danach als ungenügend verworfen werden.

4.1 Im Labor getestete Holzwollevliese

Folgende, in Abbildung 1 dargestellten, Holzwollevliese wurden im Labor getestet:



¹⁰ IBAR

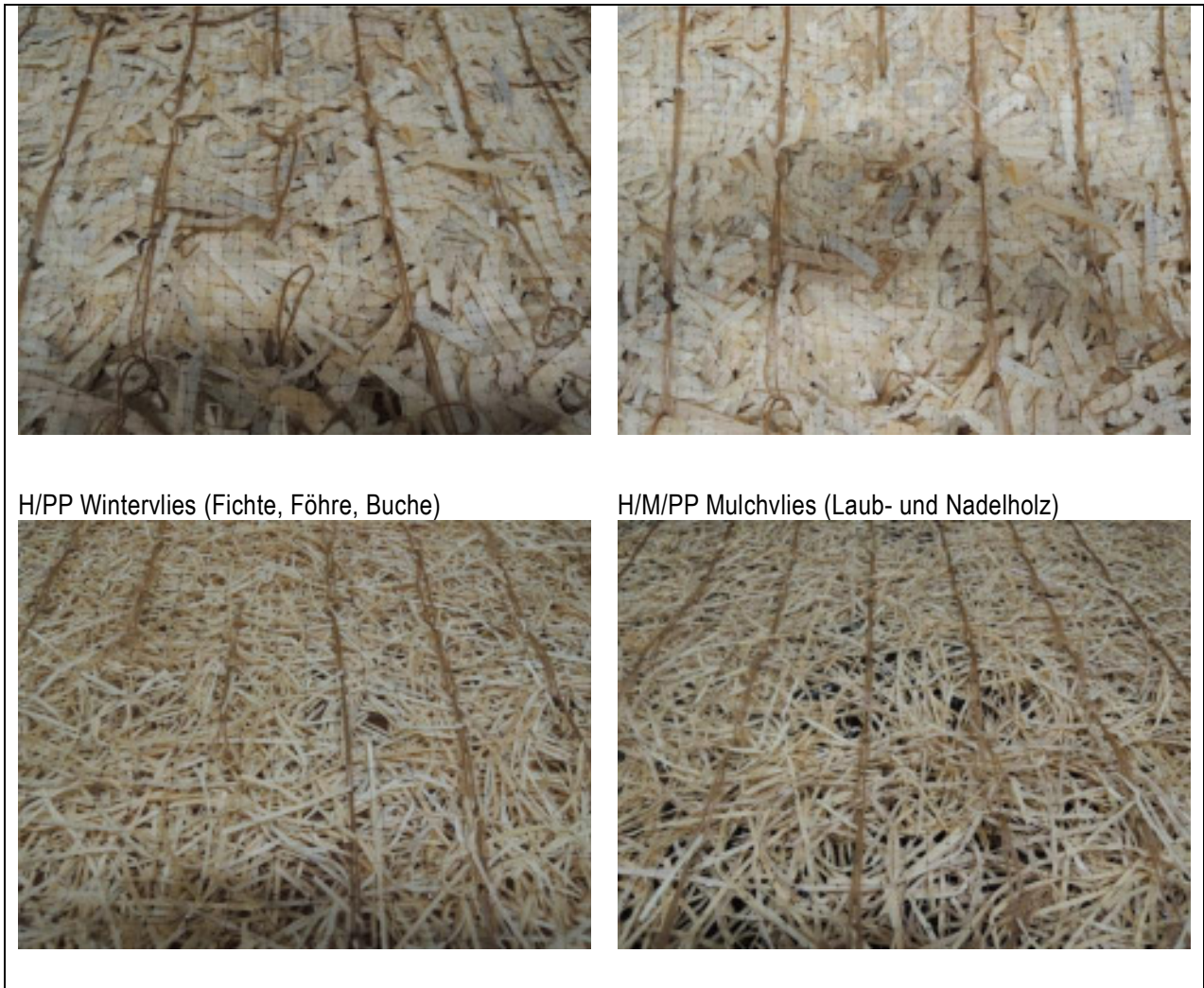


Abbildung 1: im Labor geprüfte Holzwollevliese

In Tabelle 3 sind die Eigenschaften der verschiedenen Holzwollevliese zusammengefasst.

Tabelle 3: Eigenschaften Holzwollevliese

Holzwolle-Typ	Rippen [cm]		Ø Anzahl Zugelemente			Flächengewicht Normalklima
	oben	unten	N_m (pro m)	n_s (pro Messprobe)	c (N_m/n_s)	[g/m ²]
10 Jute Classic	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	Mulchvlies	166	33	5.03	467.5

4.2 Zugfestigkeit

4.2.1 Versuchsdurchführung

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, damit 100 mm zwischen den Klemmen sichergestellt werden konnte, hergestellt. Alle Versuche wurden mit einer Zuggeschwindigkeit von 1 kN/s durchgeführt. In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind die rohen Kraft-Weg-Diagramme der Prüfung der Holzwolle 20H-HD-PP Wirrgelege dargestellt.

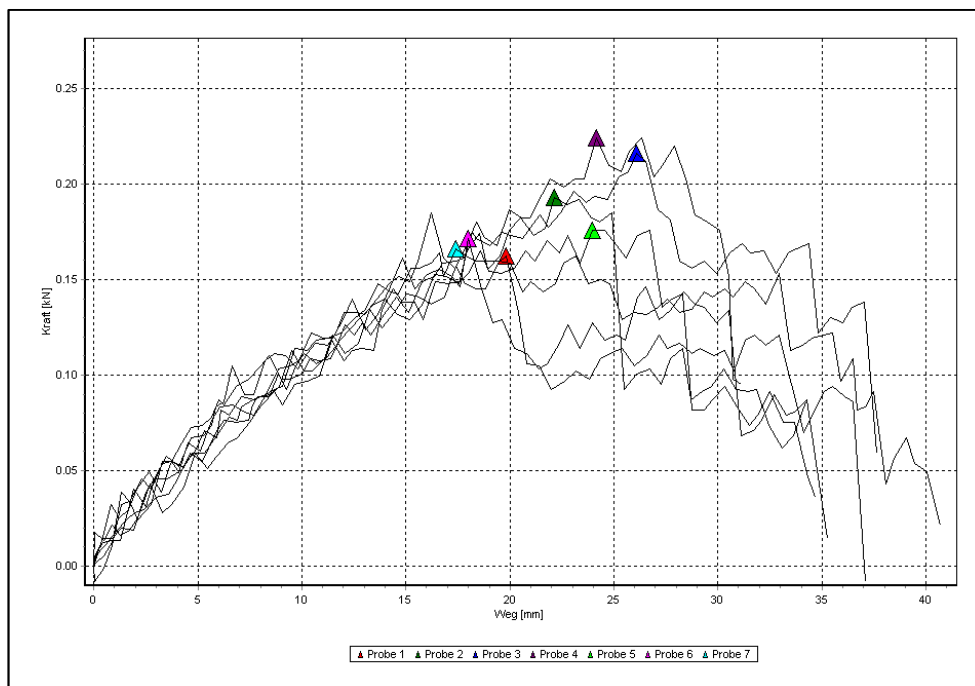


Abbildung 2: Rohdaten Zugprüfung 20H-HD-PP Wirrgelege quer

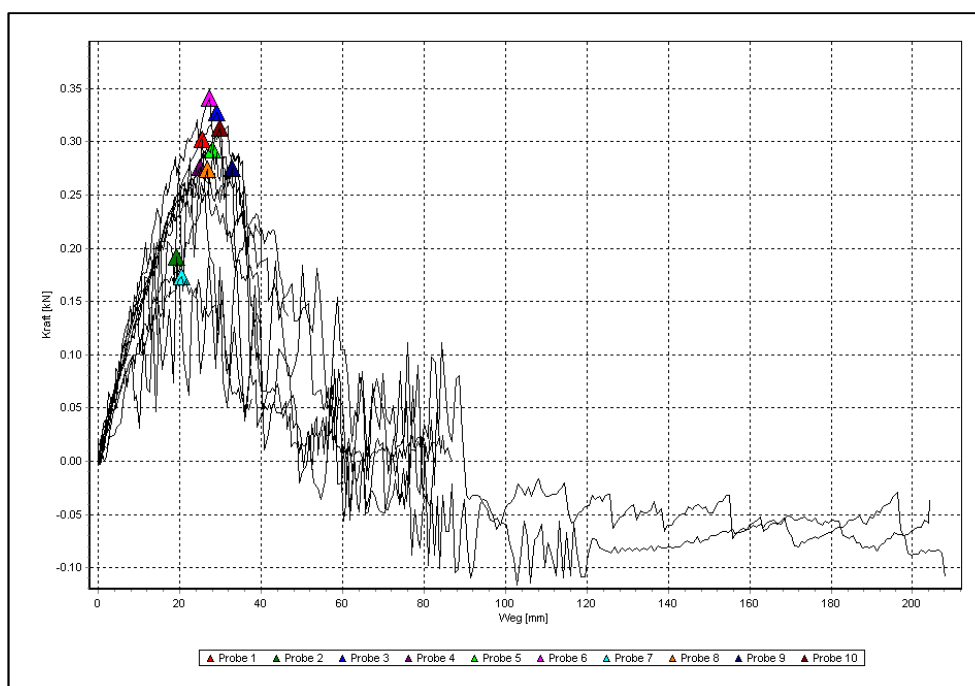


Abbildung 3: Rohdaten Zugprüfung 20H-HD-P-MD Wirrgelege lang

4.2.2 Resultate

Zum Vergleich der verschiedenen Holzwolevliese wurden die Mittelwerte der einzelnen Prüfresultate ermittelt und in Abbildung 4 zusammengefasst.

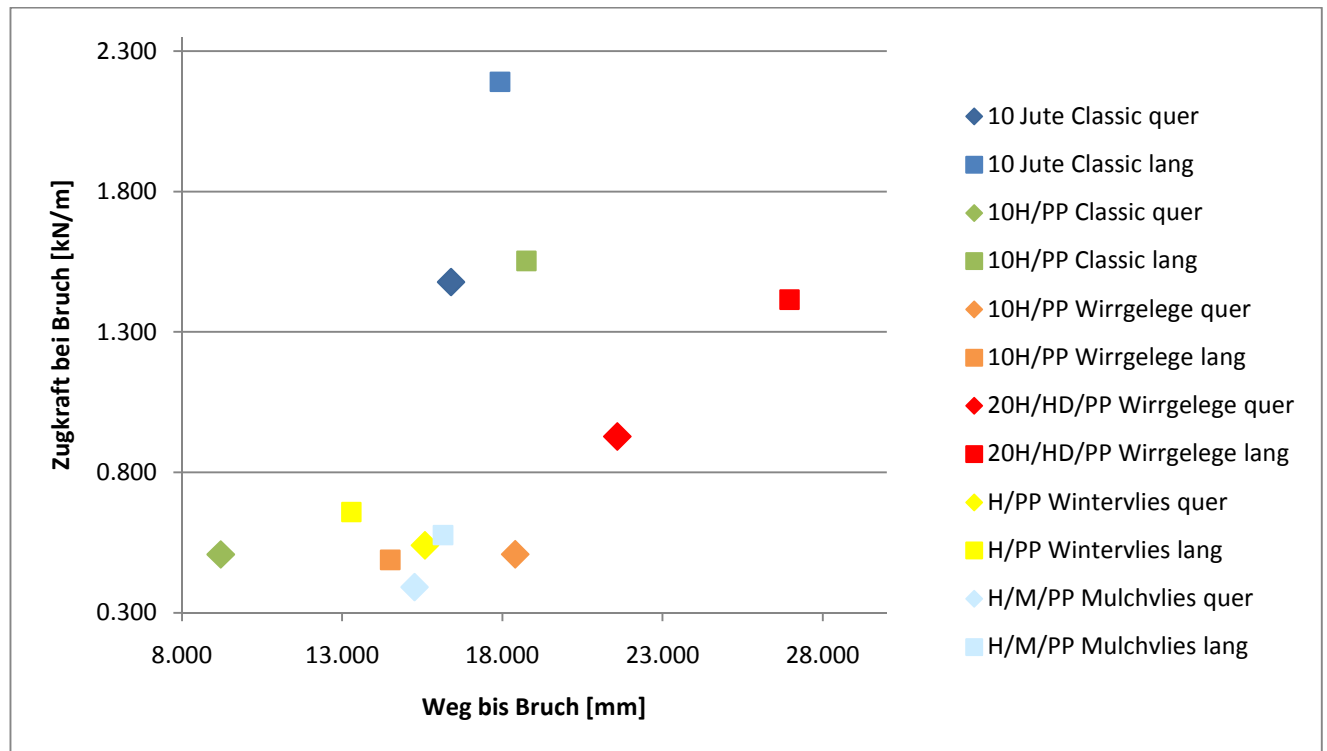


Abbildung 4: Zusammenfassung Resultate Zugprüfung

In Tabelle 4 sind die Berechnungen folgender Werte zusammengefasst:

- Höchstzugkraft F_{\max} : Höchstkraft, die während einer Prüfung erreicht wird
- Höchstzugkraftdehnung ϵ_{\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.

Tabelle 4: Zusammenfassung Resultate Zugprüfung (Mittelwerte)

Holzwolle-Typ	F_{\max} [kN/m]		ϵ_{\max} [%]		T_{\max} [kN/m]	
	lang	quer	lang	quer	lang	quer
10 Jute Classic	2.19	1.48	17.9	16.4	11.12	7.50
10H/PP Classic	1.55	0.51	18.8	9.2	7.89	2.58
10H/PP Wirrgelege	0.49	0.51	14.5	18.4	2.48	2.58
20H/HD/PP Wirrgelege	1.42	0.93	27.0	21.6	7.18	4.71
H/PP Wintervlies	0.66	0.54	13.3	15.6	3.34	2.74
H/M/PP Mulchvlies	0.58	0.39	16.2	15.3	2.90	1.97

4.3 Wasseraufnahmefähigkeit

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

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 (Tabelle 5).

Tabelle 5: Auswertung Wasseraufnahmefähigkeit

Holzwolle-Typ	Wasseraufnahme W_a in g/m^2	Relative Wasseraufnahme W_g in %
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	255.7
H/M/PP Mulchvlies	920.6	196.9

5 Feldversuche

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

Am 2. April 2013 wurden die, in der Produktentwicklung, verifizierten Holzwollevliese in Wattwil verlegt. Die Verlegung wurde fachmännisch durch Mitarbeiter der E. Weber AG, Baugeschäft, Fachleute des Landschaftsamtes des Kantons St. Gallen sowie weiteren Spezialisten aus dem Bereich Garten- und Landschaftsbau vorgenommen.

Die Feldarbeiten wurden von Kurt Hollenstein, Dr. sc. Techn., dipl. Forsting. ETH / SIA, vom Landwirtschaftsamt des Kantons St. Gallen, Abteilung Strukturverbesserung und BGGB, dokumentiert. Der vollständige Bericht ist in diesem Kapitel integriert¹¹.

5.1 Beschreibung der Fläche

Die Fläche wurde am 04. Januar 2013 mit Hilfe eines Bussolenzuges ab einem Fixpunkt-Stein ausgemessen. Sie liegt im Gebiet Unterdicken der Gemeinde Wattwil (Koordinaten ca. 725'170 / 239'770). Die Fläche hat eine Ausdehnung von ca. 270 m² und ist N-exponiert. Die Neigung der Oberfläche in der Falllinie beträgt im Schnitt 90-100%, was über dem Winkel der inneren Reibung des Materials liegt; die Fläche befindet sich also in einem bodenmechanisch instabilen Zustand. Gemäss geotechnischer Karte 1:200'000 handelt es sich beim anstehenden Gestein um mergelreiche Konglomerate mit einem hohen Anteil an feinen Fraktionen (Silt und Ton), die anfällig auf Erosionsprozesse sind (v.a. durch Wasser, teilweise auch durch Wind).

¹¹ Vorgenommene Anpassungen gegenüber Original: Rechtschreibung, Darstellung

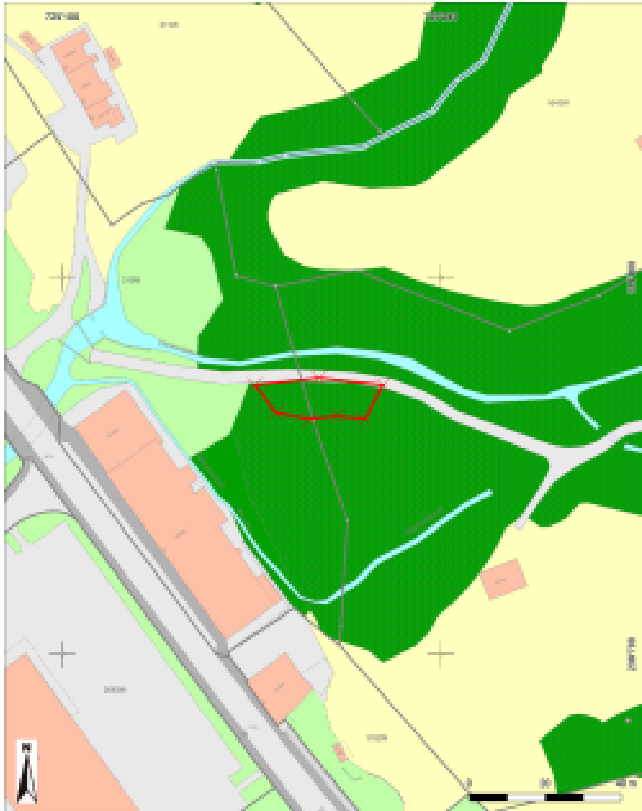


Abbildung 5: Lage der Versuchsfläche

5.2 Ziel des Versuchs

Mit dem Versuch sollen die Eignung und Wirkung von Holzwollevliesen im direkten (Oberflächensicherung durch Materialrückhalt) und indirekten (erleichterte Begrünung durch Verbesserung der Anwuchsbedingungen) Erosionsschutz untersucht werden.

5.3 Vorgehen

In einer ersten Phase werden im Frühjahr 2013 Teil der Versuchsfläche mit Holzwollevliesen abgedeckt. Im Anschluss an diese Oberflächensicherung wird ein standardisiertes, in der Praxis routinemässig angewandtes Saatgut in/auf das Vlies ein-/aufgebracht. Diese soll durch die Bewurzelung des Untergrundes letzteren armieren, was zu einer Erhöhung des Winkels der inneren Reibung führen sollte.

5.4 Untersuchte Aspekte

Um Aussagen über die Eignung und Wirkung der Holzwollevliese zu erhalten, sollen folgende Aspekte über einen Zeitraum von total 6 Jahren untersucht werden:

- **Verhalten der Vliese:** Geometrische Veränderungen (Verzug, Schwinden/Quellen, Längenveränderung), visuelle Veränderungen (Abbauprozesse der Holzfasern und des Trägers), allenfalls Festigkeitsprüfungen in situ oder im Labor
- **Verhalten der Verankerung:** Auszug von Ankern, Korrosion bzw. Abbau von Ankern
- **Anwuchserfolg der Saat:** Deckungsgrad, ev. Artenzusammensetzung, Biomasse, Durchwurzelungstiefe

5.5 Hypothesen

Als Grundlage des Versuchs werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- **H1:** Der Einsatz von Holzwollevliesen verbessert allgemein den Anwuchserfolg einer Begrünung. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über eine Kontrollfläche (Nullfläche).
- **H2:** Je dicker das eingesetzte Vlies ist, desto ausgeprägter ist deren Wirkung. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über eine Variation der Grammatur.
- **H3:** Je dichter der Anschluss der Vliese ans Terrain erfolgt, desto ausgeprägter ist deren Wirkung. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über einen Vergleich von flachen und kupperten Einbaustellen.
- **H4:** Die vertikale und horizontale Lage im Hang spielen keine signifikante Rolle auf die Wirkung des Vlieses, d.h. es treten keine Randeffekte auf. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über einen Vergleich innerhalb der Testflächen mit ceteris paribus Bedingungen
- **H5:** Die Dauerhaftigkeit des Vlieses hängt von der Holzarten-Zusammensetzung ab. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über eine Variation der Holzartenzusammensetzung.
- **H6:** Die Dauerhaftigkeit des Vlieses hängt vom Trägermaterial (Netz) ab. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über eine Variation der Trägermaterialien.
- **H7:** Die Dauerhaftigkeit des Vlies ist hinreichend, um einen stabilen Anwuchs zu gewährleisten. Die Prüfung der Hypothese erfolgt über eine Beurteilung der Vegetation am Ende der Versuchsperiode.

5.6 Layout der Versuchsflächen

Die Versuchsfläche ist in der Falllinie mit zehn Bahnen Holzwollevlies zu je 2.4 m Breite belegt. An den Stößen überlappen die Bahnen um jeweils ca. 0.2 m. Die Fläche wird auf den ausgelegten Vliesen begangen. Zudem ist am westlichen Rand der Versuchsfläche ein Kontrollbereich eingerichtet worden, in dem zur Begrünung die gleichen Techniken und Materialien, aber kein Vlies verwendet wird.

5.7 Anordnung der einzelnen Bahnen

Zur Prüfung der Hypothesen werden die Parameter wie folgt variiert:

- Holzartenzusammensetzung: Prozentuale Anteile an Buche (Bu) und Föhre (Fö)
- Trägermaterial: Jute und Polypropylen
- Dichte der Vliese: Holzeinwaage von 350 gm⁻² bzw. 500 gm⁻²

Daraus resultiert der in Abbildung 6 dargestellte Belegungsplan. Über den ganzen Versuchsperimeter (inkl. Kontrollfläche) wird das Saatgut nicht variiert, um die beobachteten Effekte möglichst eindeutigen Faktoren zuordnen zu können, welche mit den Vliesen bzw. deren Applikation in Zusammenhang stehen und Einflüsse durch das Saatgutes möglichst auszuschliessen.

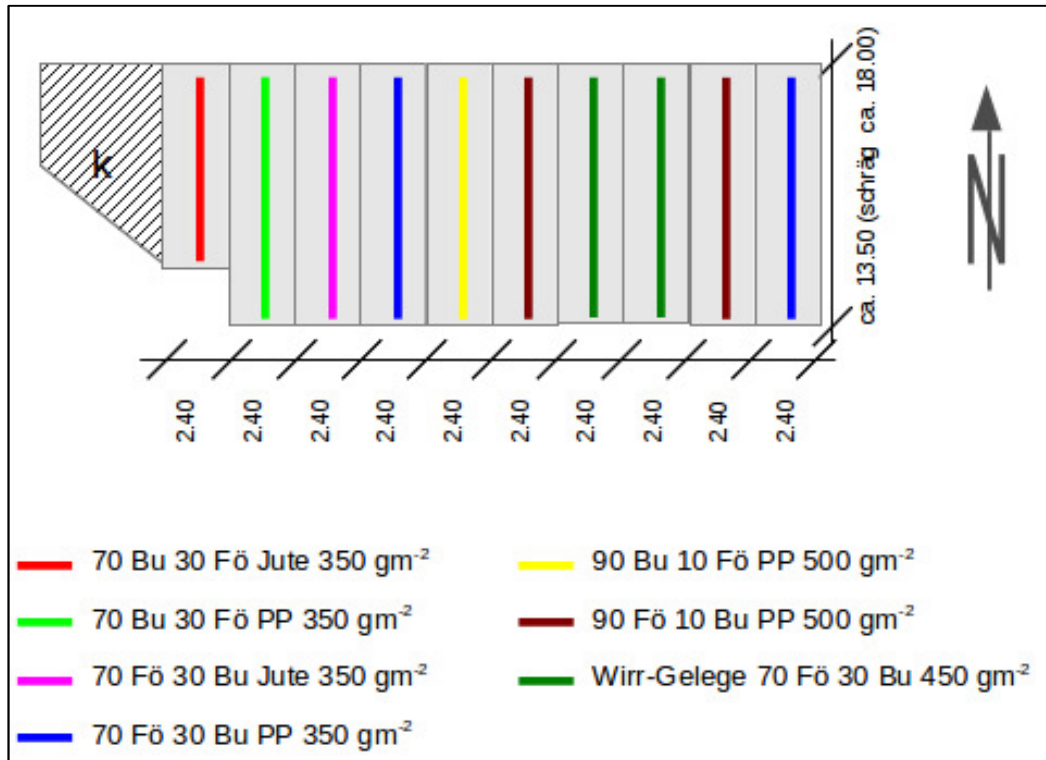


Abbildung 6: Belegungsplan für die Versuchsfläche

5.8 Begrünung

Vor dem Einbau der Bahnen wird unter den Vliesen mit einem Bläser (Abbildung 7) Saatgut des Typs OH-Schotter aufgebracht (Abbildung 8). Da nicht klar ist, wie gut die Pflanzen die Vliese durchwachsen können, wird nach dem Einbau über den Vliesen noch einmal Saatgut eingebracht. Im unteren Teil der Versuchsfläche wird zudem ein Kleber appliziert, um die Samen an Ort zu halten.



Abbildung 7: Einbringen der Samen unter das Vlies



Abbildung 8: Verwendetes Saatgut

Ergänzend werden primär aus optischen, aber sekundär auch aus bodenmechanischen Gründen, in ca. einem Drittel der Höhe des Hanges, einzelne Weidenstecklinge eingebracht.

5.9 Einbau der Holzwollevliese

Vorgängig wird hinter der Abrisskante des Hanges ein Graben erstellt. Für die Verankerung werden die Vliese auf einer Länge von ca. 1 m abgerollt. Dieses Stück wird auf eine Dachlatte aufgewickelt, welche dann in den Graben eingelegt wird (Abbildung 9). Anschliessend wird der Graben wieder aufgefüllt. Mit diesem Verfahren wird eine bessere Lastverteilung und eine Reduktion der im Vlies wirkenden Zugspannungen erreicht.

Als nächstes lässt man die Vliese in der Falllinie durch die Schwerkraft abrollen und richtet sie, wenn nötig, noch aus. Darauf werden die Vliese vernagelt (Abbildung 10). Einzelne Pflanzen und Felsnasen werden dabei ausgeschnitten. Die Vernagelung erfolgt in einem Raster von ca. 1.0 m (vertikal) auf 0.5 m (horizontal). Es werden Nägel aus Metall und aus Holz eingesetzt, wobei Metall zahlenmässig klar überwiegt; dies hängt u.a. auch mit dem wesentlich grösseren Eindringwiderstand der Holznägel im eher kompakten Fels zusammen.



Abbildung 9: Bergseitige Verankerung des Vlieses



Abbildung 10: Vernagelung des Vlieses am Hang

5.10 Weitere Entwicklung der Fläche

Unmittelbar anschliessend an den Einbau der Vliese am 03. April 2013 blieb das Wetter kühl und feucht bis ca. am 08. April. Darauf wurde es fröhsommerlich warm mit Temperaturen über 20°C bis am 19. April, bevor es am 20. April nach einem Temperatursturz wieder schneite. Damit blieb für das Auflaufen des Saatgutes nur eine Zeit von ca. 10 Tagen.

Der Mai 2013 zeichnete sich durch ein ausgeprägtes Wärmedefizit von rund 2.5°C gegenüber dem langjährigen Mittel aus [MET1]. Auch der Juni war mehrheitlich durch hohe Niederschläge und vergleichsweise tiefe Temperaturen geprägt. Dies verzögerte die Vegetationsentwicklung markant. Insgesamt ergab sich für Ende Juni eine phänologische Wachstumsverzögerung von rund zwei bis drei Wochen. Diesem Aspekt muss bei der Beurteilung des Anwuchsverhaltens Rechnung getragen werden.

5.10.1 Kontrolle vom 02. Mai 2013

Die erste visuelle Kontrolle wurde am 02. Mai 2013 durchgeführt, also rund einen Monat nach dem Einbau.

Bei den Vliesen wurden zu diesem Zeitpunkt keine wesentlichen Verschiebungen und Verformungen und auch keine mechanischen Beschädigungen festgestellt. Allgemein waren die Vliese bündig auf der Bodenoberfläche aufliegend, lediglich in konkaven Bereichen wurden vereinzelt Distanzen zwischen Vlies und Boden im Ausmass von rund 10 cm beobachtet¹².

Am Fuss der Verbauung waren unter den Vliesen deutliche Wülste erkennbar. Diese entstanden durch Material, welches unter den Vliesen nachrollte.

Abbildung 11 zeigt eine Totale, wie sich der Hang am 02. Mai 2013 präsentierte. Aus der Distanz ist noch kein Bewuchs erkennbar. Die Nahaufnahmen in Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen jedoch, dass sich bereits eine lockere Vegetation installiert hat. Optisch scheint es, als sei die Vegetation beim weniger dichten Vlies mit tiefer Grammatur etwas weiter entwickelt, der Unterschied ist aber wenig ausgeprägt.

¹² An einer Stelle war zwischen dem Einbau und der Kontrolle die Vernagelung nachträglich noch verdichtet worden, weil die Matte zu weit vom Boden entfernt war.



Abbildung 11: Zustand der Versuchsfläche ein Monat nach dem Einbau.



Abbildung 12: Vegetation ein Monat nach dem Einbau. Links: Vlies mit hoher Grammat, rechts mit tiefer Grammat.

Im Bereich des Hangfusses hat sich hinter den Vliesen ein leichter Wulst gebildet, in dem sich das abrollende Material sammelt. Dieses wird aber vollständig zurückgehalten, die angrenzende Strasse zeigt keinerlei Ablagerungen. Dagegen sind im Bereich der unmittelbar angrenzenden Kontrollfläche deutliche Erosions- und Ablagerungsspuren erkennbar (Abbildung 13).



Abbildung 13: Erosionsstellen am Übergang zwischen Holzwollevlies und Kontrollfläche.

Die Beschädigung am Vlies rührt von einem Traktor her und ist nicht erosionsbedingt.

Die weiter nördlich liegende, Richtung Westen exponierte Vergleichsfläche unterschied sich zum Zeitpunkt der ersten Kontrolle trotz der höheren Einstrahlung bezüglich Vegetationsentwicklung nicht von der Hauptfläche.

5.10.2 Kontrolle vom 17. Juni 2013

Die zweite Kontrolle erfolgte am 17. Juni 2013, also zweieinhalb Monate nach dem Einbau.

Die Vliese zeigten auch bei dieser Kontrolle keine Verschiebungen oder mechanische Beschädigungen. Die Auflage auf dem Boden war gegenüber der ersten Kontrolle noch leicht verbessert, auch in konkaven Bereichen bestand in den meisten Fällen kein Abstand mehr zur Bodenoberfläche.

Die bereits bei der ersten Kontrolle erwähnten Wülste am Hangfuss waren in etwa gleich gross, d.h. dass trotz des Starkniederschlagsereignisses am 01./02. Juni 2013 unter den Vliesen kein signifikanter Abtrag von Bodenmaterial mehr erfolgte.

Gegenüber der ersten Kontrolle konnte eine signifikante Verdichtung der Vegetation vor allem im unteren und oberen Drittel des Hanges beobachtet werden (Abbildung 14). Im mittleren Drittel war der Bewuchs deutlich weniger dicht. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, ist nicht vollständig klar. Allenfalls sind sie durch eine über die gesamte Hanglänge nicht homogene Verteilung des Saatgutes bzw. des Klebers bedingt, weil die Ansaat von oben und unten erfolgte.



Abbildung 14: Zustand der Versuchsfläche zweieinhalb Monate nach dem Einbau

Abbildung 15 bis Abbildung 23 zeigen jeweils das obere und das untere Ende der eingebauten Bahnen in gleicher Anordnung von rechts nach links wie auf der Totale.



Abbildung 15: Vlies vom Typ 70 Bu 30 Fö 350 gm⁻² Trägermaterial Jute: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 16: Vlies vom Typ 70 Bu 30 Fö 350 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 17: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm⁻² Trägermaterial Jute: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 18: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 19: Vlies vom Typ 90 Bu 10 Fö 500 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 20: Vlies vom Typ 90 Fö 10 Bu 500 gm² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.

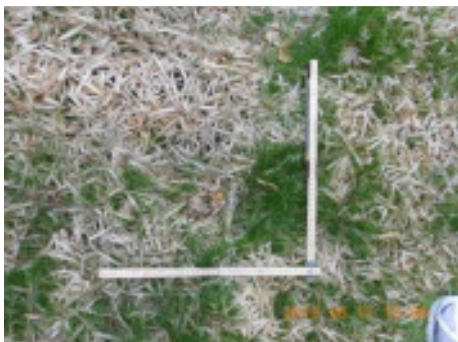


Abbildung 21: Wirrgelege 70 Fö 30 Bu 450 gm² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 22: Vlies vom Typ 90 Fö 10 Bu 500 gm² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 23: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.

Klar ersichtlich ist aufgrund von Abbildung 15 bis Abbildung 23, dass der Bewuchs am unteren Ende der Vliese in der Regel dichter ist als oben. Mögliche Erklärungen dafür sind einerseits Unterschiede beim Einbringen des Saatgutes, andererseits eine für die Keimung und den Anwuchs günstige Akkumulation von feinem mineralischem Bodenmaterial im unteren Teil des Hanges.

Im Unterschied zur ersten Kontrolle war diesmal ein Einfluss der verschiedenen Grammaturn nicht erkennbar (vgl. Abbildung 18 bis Abbildung 19 und Abbildung 22 bis Abbildung 23). Offenbar spielen, zumindest nach einer erfolgreichen Keimphase, die Bedingungen des Mikrostandorts eine wichtigere Rolle für die Installation einer Vegetation als die Dichte des Vlieses.

Ebenfalls ohne sichtbaren Einfluss sind die Holzartenzusammensetzung und das Trägermaterial. Dies ist auch zu erwarten, da sich diese beiden Faktoren in erster Linie auf die Langzeitbeständigkeit des Vlieses und nicht primär auf die Vegetationsentwicklung auswirken.

Bei der westexponierten Vergleichsfläche hat sich ebenfalls im unteren Bereich fast flächig eine Vegetation installieren können (Abbildung 24). Auffallend ist aber, dass im oberen Bereich nur ganz minime Ansätze einer Begrünung zu sehen sind. Allenfalls hängt dies ebenfalls mit unterschiedlichen Ansaatbedingungen und dem im Gegensatz zur Hauptfläche anderen Muttergestein zusammen. Bemerkenswert ist, dass die höhere Wärmespende in der eher kühlen Periode offenbar nicht zu einer relevanten Verbesserung der Keimbedingungen und des Anwuchserfolges geführt hat.



Abbildung 24: Zustand der westexponierten Vergleichsfläche.

5.10.3 Kontrolle vom 28. August 2013

Die dritte Kontrolle erfolgte am 28. August 2013, knapp fünf Monate nach dem Einbau. Nachdem die beiden ersten Kontrollen nach einer vergleichsweise nassen und kalten Frühlings- bzw. Frühsommerwitterung erfolgten, waren die Monate Juli und August durch warmes und mehrheitlich trockenes Sommerwetter geprägt.

Die Vliese zeigten immer noch keine Verschiebungen oder mechanische Beschädigungen. Die Auflage auf dem Boden war unverändert gut, auch in konkaven Bereichen.

Die Wülste am Hangfuss waren immer noch gleich gross, d.h. es erfolgte kein signifikanter Abtrag von Bodenmaterial. Gegenüber der zweiten Kontrolle war optisch eine weitere Verdichtung der Vegetation zu beobachten (Abbildung 25), welche aber zu einem grossen Teil auf das Längenwachstum zurückgeführt werden kann. Die Anzahl der Pflanzen hat sich dagegen im Vergleich zur zweiten Kontrolle nicht mehr signifikant erhöht.



Abbildung 25: Zustand der Versuchsfläche knapp fünf Monate nach dem Einbau.

Die bereits bei der zweiten Kontrolle ungleiche Dichte in der Falllinie war immer noch zu beobachten, wenn auch aus der Distanz weniger ausgeprägt.

Abbildung 26 bis Abbildung 34 zeigen jeweils das obere und das untere Ende der eingebauten Bahnen in gleicher Anordnung von rechts nach links wie auf der Totale.



Abbildung 26: Vlies vom Typ 70 Bu 30 Fö 350 gm⁻² Trägermaterial Jute: Zustand zweieinhalb Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 27: Vlies vom Typ 70 Bu 30 Fö 350 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.



Abbildung 28: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm⁻² Trägermaterial Jute: Zustand fünf Monate nach Einbau. Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.

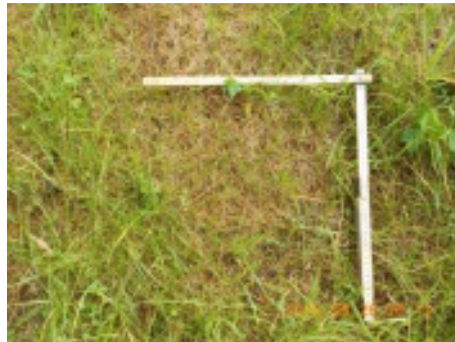


**Abbildung 29: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**



**Abbildung 30: Vlies vom Typ 90 Bu 10 Fö 500 gm² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**

Bild fehlt



**Abbildung 31: Vlies vom Typ 90 Fö 10 Bu 500 gm² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**



**Abbildung 32: Wirtgelege 70 Fö 30 Bu 450 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**



**Abbildung 33: Vlies vom Typ 90 Fö 10 Bu 500 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**



**Abbildung 34: Vlies vom Typ 70 Fö 30 Bu 350 gm⁻² Trägermaterial PP: Zustand fünf Monate nach Einbau.
Links oberes, rechts unteres Ende des Vlieses.**

Anlässlich der dritten Kontrolle wurde auch die bergseitige Verankerung der Vliese visuell beurteilt. In Abbildung 9 ist deren Zustand beim Einbau ersichtlich, Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigt den Zustand nach fünf Monaten.



Abbildung 35: Bergseitige Verankerung der Vliese, westlicher Teil.



Abbildung 36: Bergseitige Verankerung der Vliese, östlicher Teil.

Wie aus den Bildern ersichtlich wird, sind die Gräben zwar noch erkennbar, aber die Verfüllung ist bereits gut mit dem anstehenden Boden verbunden. Die Vliese sind dadurch kraftschlüssig in den Boden eingebaut, was eine gute Lastverteilung ergibt.

Auf der mit Vliesen vor Erosion geschützten Fläche konnte sich die Vegetation deutlich besser entwickeln als auf der unmittelbar westlich anschließenden Kontrollfläche (vgl. Abbildung 37).



Abbildung 37: Versuchsfläche (links) und Kontrollfläche (rechts). Die Vegetation auf der Versuchsfläche ist deutlich besser entwickelt.

Die westexponierte Vergleichsfläche war bei der dritten Kontrolle signifikant schlechter bewachsen als die nordexponierte Versuchsfläche, wie aus Abbildung 38 sofort erkennbar ist. Eine potenzielle Erklärung dafür ist die grosse Wärmesumme, die diese Fläche in den Monaten Juli und August erhielt und die zu einer Reduktion der Keimfähigkeit führte. Diese These ist aber nur schlüssig nachvollziehbar, wenn zum Zeitpunkt der zweiten Kontrolle die Vegetationsentwicklung bei der Versuchs- und der Vergleichsfläche in etwa gleich gewesen wären. Da dies nicht zutrifft, ist die Erklärung für den schlechteren Anwuchs wohl eher beim Muttergestein oder bei einer weniger keimgünstigen Ansaat zu suchen. Dies wird auch durch die Nahaufnahmen gestützt, welche eine deutlich geringere Zahl von Pflanzen auf der Vergleichsfläche zeigen (Abbildung 39).



Abbildung 38: Westexponierte Vergleichsfläche mit deutlich schlechterer Vegetationsentwicklung.



Abbildung 39: Nahaufnahmen der Vergleichsfläche mit geringer Pflanzenzahl.

5.11 Resultate und Interpretation

Am Anfang des Berichts wurden die untersuchten Aspekte und die zugrundeliegenden Hypothesen formuliert. Diese können nun aufgrund der gemachten Beobachtungen beurteilt werden.

5.11.1 Verhalten der Vliese

Geometrische Veränderungen: In den knapp fünf Monaten zwischen dem Einbau und der dritten Kontrolle konnten geometrische Veränderungen an den Vliesen nur im unteren Randbereich festgestellt werden, und zwar in Form der bereits erwähnten Wulstbildung (d.h. als Längenausdehnung), welche bereits bei der ersten Kontrolle nach einem Monat sichtbar waren. Nachher hat sich keine visuell unmittelbar erkennbare Veränderung der Geometrie mehr ergeben. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass die Vliese kurz nach dem Einbau noch nicht auf der ganzen Fläche kraftschlüssig mit dem Boden verbunden sind, dieser Zustand aber innert kurzer Zeit erreicht wird. Die Längenausdehnung wurde ausschliesslich im untersten Meter der Vliesbahnen beobachtet, wo in der Fläche keine Anker mehr gesetzt wurden. Das (geometrisch abgeschätzte) Ausmass der Ausdehnung liegt bei ca. 10 – 15 cm, also rund 10 – 15% der betroffenen Vlieslänge. Das Trägermaterial und die Holzarten haben keinen erkennbaren Einfluss auf das Ausmass der Ausdehnung. Im Wirrgelege scheint die Ausdehnung rein optisch etwas weniger, dieser Unterschied ist aber nicht statistisch belegt, da keine entsprechenden Messungen vorgenommen wurden. Anlässlich der Kontrolle nach dem ersten Winter im Folgejahr am 05. März 2014 waren keine weiteren geometrischen Veränderungen feststellbar. Die Längenausdehnung ist offenbar ein Phänomen der Anfangsphase unmittelbar nach dem Einbau.

Visuelle Veränderungen: Bis zur Kontrolle im August beschränkten sich die visuellen Veränderungen an den Vliesen auf die Farbe der einzelnen Holzfasern. Abbauprozesse waren visuell weder bei den Fasern noch beim Trägermaterial zu erkennen, was vor allem bei den Vliesen mit hohen Buchenanteilen nicht unbedingt zu erwarten war. Allenfalls lässt sich diese gute Beständigkeit während der ersten Beobachtungsperiode mit dem zu Beginn sehr nasskalten und dem anschliessend sehr trockenen Wetter während des Sommers erklären. Dies würde die zeitliche Exposition gegenüber abbaugünstigen wechselfeuchten Verhältnissen reduzieren.

Am 05. März 2014 waren klare visuelle Veränderungen sichtbar. Besonders bei den Buchenfasern ist der Abbau eindeutig erkennbar; dies dürfte durch den wechselfeuchten Herbst 2013 begünstigt worden sein. Daneben wird auch erkennbar, dass Jute als Trägermaterial wesentlich schneller seine stabilisierende Funktion verliert (Abbildung 40 bis Abbildung 41).



Abbildung 40: Vlies mit hohem Buchenanteil und Jute als Trägermaterial nach elf Monaten und dem ersten Winter (Jahreszahl auf Bild ist falsch).



Abbildung 41: Vlies mit hohem Föhrenanteil und PP als Trägermaterial nach elf Monaten und dem ersten Winter (Jahreszahl auf Bild ist falsch).

Die beiden Hypothesen H5 und H6 formulieren die Vermutungen, dass die Dauerhaftigkeit der Vliese von der Holzartenzusammensetzung bzw. vom Trägermaterial abhängen. Diese können nun zumindest qualitativ beurteilt werden:

Hypothese H5: Die Dauerhaftigkeit des Vlieses hängt von der Holzarten-Zusammensetzung ab. Diese Hypothese kann bestätigt werden. Ein hoher Buchenanteil führt dazu, dass ein Vlies signifikant rascher an funktional wirksamer Holzfasermasse verliert als wenn es stärker aus dauerhafteren Holzarten (wie hier Föhre) zusammengesetzt ist.

Hypothese H6: Die Dauerhaftigkeit des Vlieses hängt vom Trägermaterial (Netz) ab. Diese Hypothese kann ebenfalls bestätigt werden. Während an den PP-Trägermaterialien noch keine biochemischen Abbauprozesse erkennbar sind, hat bei den Jutefasern schon ein weitreichender Abbau v.a. auch der mechanischen Wirkung eingesetzt. Diese Variabilität kann in der Anwendung gezielt ausgenutzt werden.

Festigkeitsprüfungen: Mechanische Festigkeitsprüfungen wurden bisher nicht vorgenommen. Es ist aber vorgesehen, dass drei Jahre nach dem Einbau, also nach der Hälfte der Monitoringphase, vergleichende Prüfungen gemacht werden.

5.11.2 Verhalten der Verankerung

Die Anker wurden beim Einbau in einem relativ groben Raster gesetzt, wenn man mit den Empfehlungen in US-amerikanischen Einbauanleitungen vergleicht. Da der Untergrund der Testfläche einen hohen Eindringwiderstand aufweist (z.T. anstehender Fels) sind zudem die verwendeten Ankerlängen mit max. ca. 0.3 m eher gering. Trotzdem wurden in den ersten fünf Monaten nur wenige Fälle von teilweisem Ankerauszug in konkaven Lagen beobachtet. Dieser Auszug ist vermutlich bereits während des Einbaus eingetreten, wenn schlecht sitzende Anker angehoben wurden, weil weiter hangabwärts die Vliese auf Zug belastet wurden. In stark konkaven Bereichen wurden später noch zusätzliche Anker gesetzt.

Für die Tragsicherheit relevante Korrosions- und Abbauerscheinungen wurden während der fünfmonatigen Beobachtungsdauer nicht festgestellt. Auch die Kontrolle vom 05. März 2014 ergab keine äusserlich sichtbaren Befunde in dieser Richtung.

5.11.3 Anwuchserfolg

Deckungsgrad: Die Veränderungen im Deckungsgrad sind in den Abbildungen deutlich erkennbar. Bei der ersten Kontrolle im Mai 2013 lag der Deckungsgrad bei allen eingesetzten Vliestypen und auf allen Einbaustellen noch deutlich unter 20%. Bei der zweiten Kontrolle im Juni 2013 war der Deckungsgrad im unteren Bereich bereits auf über 50% angestiegen, oben lag er immer noch unter 20%. Bei der dritten Kontrolle im August 2013 lag er unten noch höher, ca. im Bereich von 80%; oben variierte er sehr stark von unter 20% bis über 80%. Der Vergleich der verschiedenen Vliese (Holzarten und Trägermaterial) ergab keine wesentlichen Unterschiede. Die nächste Kontrolle im März 2014 zeigte in etwa die gleichen Deckungsgrade wie jene vom August 2013, es ist also über den Winter nicht zu signifikanten Ausfällen gekommen.

Artenzusammensetzung: Die Artenzusammensetzung ist im gegenwärtigen Zeitpunkt nicht aussagekräftig, da sie primär vom verwendeten Saatgut bestimmt ist. Es zeigt sich aber, dass neben den angesäten Arten auch solche, die natürlich hier vorkommen, mit den Vliesen bessere Anwuchsbedingungen finden.

Biomasse und Durchwurzelungstiefe: Angaben zur Biomasse und zur Durchwurzelungstiefe wurden noch nicht erhoben, dies wird ev. während der mehrjährigen Monitoringphase noch erfolgen.

Das Hauptziel des Einsatzes von Holzwollevliesen ist, eine dauerhafte oberflächliche Begrünung auch an Orten zu erreichen, wo dies bei reinem Rohboden nicht oder nur sehr begrenzt möglich ist. Die Wirksamkeit des Einsatzes kann also unmittelbar über den Anwuchserfolg gemessen werden. Die dafür entscheidenden Faktoren sind in den Hypothesen H1 bis H4 und H7 aufgeführt, welche nachstehend kurz untersucht werden.

Hypothese H1: Der Einsatz von Holzwollevliesen verbessert allgemein den Anwuchserfolg einer Begrünung. Diese Hypothese kann aufgrund des Vergleichs mit der Kontrollfläche (vgl. Abbildung 37) klar bestätigt werden.

Hypothese H2: Je dicker das eingesetzte Vlies ist, desto ausgeprägter ist deren Wirkung. Diese Hypothese kann zum heutigen Zeitpunkt weder bestätigt noch verworfen werden. Aufgrund der ersten Kontrolle scheint sich eine hohe Grammatur zu Beginn eher verzögernd auf das Keimen des Saatgutes und das Durchdringen des Vlieses auszuwirken. Bei den späteren Kontrollen ist dieser Unterschied weniger ausgeprägt bzw. nicht mehr feststellbar. Allenfalls ergibt sich nach der Monitoringphase noch eine klarere Aussage zum langfristigen Einfluss der Vliesdicke.

Hypothese H3: Je dichter der Anschluss der Vliese ans Terrain erfolgt, desto ausgeprägter ist deren Wirkung. Diese Hypothese wird durch die Beurteilung von konkaven Stellen geprüft, wo die Vliese beim Verlegen nicht bündig auf der Bodenoberfläche aufgebracht werden konnten. Aufgrund dieser Prüfung kann die Hypothese bestätigt werden, wie auch in der Totale in Abbildung 25 ersichtlich ist (deutlich weniger dichte Begrünung im oberen, konkaven Bereich direkt unter der Hangkante).

Hypothese H4: Die vertikale und horizontale Lage im Hang spielen keine signifikante Rolle auf die Wirkung des Vlieses, d.h. es treten keine Randeffekte auf. Diese Hypothese kann aufgrund der Totalen zu in den drei Kontrollen (Abbildung 11, Abbildung 14 und Abbildung 25) ebenfalls bestätigt werden. Die weniger dichte Begrünung im mittleren Abschnitt der Hanglänge konnte nur bei der zweiten Kontrolle deutlich beobachtet werden und sie hängt vermutlich mit der Verteilung des Saatgutes zusammen.

Hypothese H7: Die Dauerhaftigkeit des Vlies ist hinreichend, um einen stabilen Anwuchs zu gewährleisten. Obwohl eine abschliessende Prüfung dieser Hypothese erst am Schluss der Monitoringphase erfolgen kann, scheint sie sich aufgrund der aktuellen Verhältnisse zu bestätigen. Die installierte Vegetation ist flächendeckend, gut verwurzelt und vital. Die Beruhigung der Bodenoberfläche und die Schaffung keimgünstiger Verhältnisse führt auch in der kleinen, westexponierten Vergleichsfläche zu einer zwar langsamen, aber stetigen Abnahme der unbegrünten Flächenanteile.

5.12 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Versuchsfläche hat gezeigt, dass Holzwollevliese eine stabilisierende und keimbegünstigende Wirkung auf mineralische und schwach organische Bodenoberflächen haben. Damit bieten sie ein grosses Potenzial bei der Begrünung und Sicherung von steilen Flächen im Bereich der kritischen Neigung.

Beim Einbau ist darauf zu achten, dass die Vliese auf der ganzen Fläche möglichst bündig am Boden aufliegen, um einen Kraftschluss zwischen Vlies und Unterlage und einen möglichst hohen Keimerfolg zu erzielen.

Im Verlaufe der ersten Vegetationsperiode konnten keine wesentlichen Einflüsse der Vliesdichte (Grammatur), der Holzartenzusammensetzung oder des Trägermaterials festgestellt werden. Die erste Kontrolle im Folgejahr zeigen sich aber bezüglich der beiden letzter Faktoren bereits die zu erwartenden Entwicklungen: Buchenholz und Jute sind wenig dauerhaft und eignen sich vor allem für Einsatzzwecke, wo ein rascher Abbau erwünscht ist. Zusätzliche Ergebnisse sind hier aus der weitere fünf Jahre dauernden Monitoringphase zu erwarten. Unmittelbar lässt sich aber sagen, dass sich durch den Einsatz von Buchenholz in den Vliesen hier 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 (optimale Verfahren, Produktivität etc.) zu klären. Es darf aber angenommen werden, dass sich hier keine wesentlichen Unterschiede zur Verwendung anderer Materialien nach dem gleichen Konzept ergeben (Jutenetze, Kokosmatten).



Abbildung 42: Stand April 2014¹³

¹³ Abbildung 42 ist nicht im Original-Bericht enthalten

6 Untersuchung über die Verfügbarkeit von Buchenholz, Stand Mai 2013

Diese Zusammenfassung wurde von der Lignum - Holzkette St. Gallen, c/o Kantonsforstamt, 9000 St. Gallen, zu Verfügung gestellt. Erwin Rebmann

Es wurde festgestellt, dass im Kanton St. Gallen ausreichend Buchenholz für die Produktion der Buchenholzwollenvliese in passenden Qualitäten, Dimensionen und Preisen zur Verfügung steht, sowie dass infolge fehlender Absatzkanäle die Vorräte an Buchenholz wieder steigen dürften. Der Rundholzmarkt im Kanton St. Gallen sei dankbar für alle Anwendungen für Buchenrundholz in mittleren bis guten Qualitäten, diese könnten zur Stabilisierung des Buchenrundholzmarktes beitragen. Der im Bereich der Studie angefallene Aufwand wurde im Zwischenbericht separat aufgelistet.

7 Wissenstransfer

Im Oktober 2012 wurde von uns auf Basis des laufenden Projektes ein vielschichtiger Newsletter zusammengestellt. Der Versand ging an alle Beteiligten, an verschiedene Behörden und Interessierte im Projektumfeld sowie an die Medien. Das Interesse aufgrund des Newsletters war gross. Unterschiedlichste Interessengruppen wie potentielle Anwender im In- und Ausland, Fachgruppen sowie verschiedene regionale und überregionale Behörden besichtigten die Produktion und den Versuchshang. Weiter wurde das Thema „Holzwollelvlies“ in diversen Zeitungen, Magazinen und Fachzeitschriften aufgenommen und journalistisch bearbeitet. Die Fernsehsendungen „[10 vor 10](#)“ und „[Einstein](#)“ berichteten über den Versuchshang. Die so wichtige Unterstützung des Projekts durch den Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung fand denn auch Eingang in die verschiedenen Berichterstattungen. Zwecks Dokumentation der Pressestimmen lassen wir Ihnen in der Beilage noch diverse Presseartikel zugehen.

Ebenfalls im Sinne des erwünschten Wissenstransfers nahmen wir an der Tief.Bau.Tex der HTW Chur teil und stellten das Projekt in einem Referat den Teilnehmern aus Lehre und Praxis vor. Der im Bereich Wissenstransfer angefallene Aufwand wurde im Zwischenbericht separat aufgelistet.

8 Schlussbemerkung

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.

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

Wir danke allen Teilnehmenden für die hilfreiche Beratung und professionelle Unterstützung

Lindner Suisse GmbH

Thomas Wildberger
Geschäftsführer

Wattwil, im Juli 2014

9 Quellen

- American Excelsior, verschiedene Dokumente aus dem Internet, Internet: www.americanexcelsior.com, aufgerufen am 25. Juni 2013.
- Biologische Begrünung und Erosionsschutz mit Jutenetzen und Holzwollenvliese, 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-Holzwollenvliese. 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.
- IBAR Studie, Studie IBAR der HTW Chur: Erosionsbekämpfung im alpinen Raum durch Holzwolleprodukte 2013
- [MET] MeteoSchweiz 2013: Klimabulletin Mai 2013. Zürich.

Lindner Suisse GmbH
Holzwolle - Manufaktur
Bleikenstrasse 98 | 9630 Wattwil



Landwirtschaftsamt des Kanton St. Gallen
Abteilung Melioration
Unterstrasse 22 | 9001 St. Gallen



E. Weber AG
Strassenbau | Hochbau | Tiefbau
Ebnaterstrasse 79 | 9630 Wattwil



Lignum - Holzkette St. Gallen
Davidstrasse 35
9001 St. Gallen

