
Filze und Vliese aus Hanffasern

Untersuchung zum Einsatz von Nadelfilzen als Geotextilien

J. Müssig, H. Harig

FASERINSTITUT BREMEN e.V. –FIBRE–

Sonderdruck aus dem Reader zum technisch-wissenschaftlichen Symposium *2. Biorohstoff HANF* / Frankfurt am Main 27. Februar bis 2. März 1997 .– Vortrag gehalten am 1. März

vom Verfasser überreicht ...

Jörg Müssig
FASERINSTITUT BREMEN e.V. – FIBRE –
Am Biologischen Garten 2 (IW3)
28359 Bremen

Tel.: 04 21 - 218 93 39

FAX: 04 21 - 218 31 10

e-mail: muessig@fibre.uni-bremen.de

Filze und Vliese aus Hanffasern

Untersuchung zum Einsatz von Nadelfilzen als Geotextilien

J. Müssig, H. Harig

FASERINSTITUT BREMEN e.V. –FIBRE–

1 Einleitung

Bei der Betrachtung der Produktionsmengen von Chemiefasern aus nicht regenerativen Rohstoffen, ist vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen und steigender Umweltbelastung der verstärkte Einsatz pflanzlicher Naturfasern sinnvoll. Dem Produktlebenszyklus kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Bei der Verwendung von Naturfasern ist z.B. auch der Prozeß der Vorproduktgewinnung der Fasern zu beachten. Eine in einer Monokultur gewonnene Naturfaser kann, bei Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, unter Umständen einen höheren Grad der Umweltschädigung hervorrufen als eine industriell gefertigte Faser. Für eine Substitution von Chemiefasern muß für den jeweiligen Anwendungsfall entschieden werden, inwieweit Produkte aus pflanzlichen Naturfasern nicht nur dieselbe Funktion wie Erzeugnisse aus industriell geschaffenen Fasern erfüllen können, sondern diese eventuell sogar mit einem besseren Nutzen verbinden.

Es macht wenig Sinn, jedes nur denkbare Produkt aus der pflanzlichen Naturfaser Hanf im Geiste herzustellen und über mögliche Absatzmärkte zu spekulieren. Anhand der hier dargestellten Ergebnisse sollen für ein konkretes technisches Produkt nicht nur die Möglichkeiten, sondern auch die Grenzen des Hanffasereinsatzes aufgezeigt werden. Im Rahmen eines von der Freien Hansestadt Bremen geförderten Projektes wurde die Verarbeitbarkeit von Hanffasern zu Nadelfilzen untersucht. Hierbei wurde vor allem die Erreichung einer kurz- bis mittelfristigen Produktumsetzung unter Einbeziehung bereits vorhandener Maschinen berücksichtigt. Wie in Bild 1 dargestellt, sollte die Verarbeitung entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Anbau bis zum Endprodukt berücksichtigt werden.

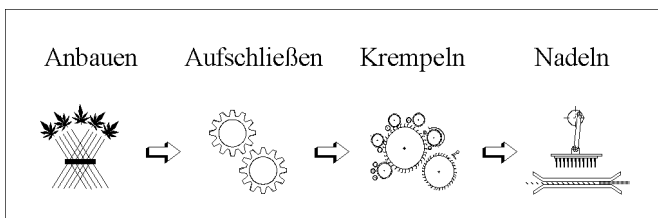


Bild 1: Wertschöpfungskette vom Hanfstroh zum Nadelfilz

2 Geotextilien

Am Beispiel der Anforderungen an Textilien im Erd- und Wasserbau soll der Einsatz von Hanffasern diskutiert wer-

den. Hierzu werden im folgenden die Anforderungsprofile an Geotextilien vorgestellt, mit dem Ziel, die hergestellten und untersuchten Hanfnadelfilze auf ihre Einsatztauglichkeit hin zu überprüfen.

Nach Schätzungen werden weniger als ein Prozent der Textilien für den Erd- und Wasserbau aus Naturfasern hergestellt. Durch steigende Umwelтанforderungen werden die Anwender von Textilien für den Erd- und Wasserbau zum Einsatz von ökologisch unbedenklichen, rezyklierfähigen oder auch biologisch abbaubaren Textilien gezwungen [Saathoff/Müller 1995]. In Merkblättern zur Anwendung von Geotextilien im Erd- (FGSV Merkblatt 535) und Wasserbau (DVWK Merkblatt 221) wird bereits auf den Einsatz von pflanzlichen Naturfasern wie Flachs-, Jute- und Kokosfasern hingewiesen [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1994 / Zitscher 1992].

Beim Einsatz von Textilien im Baubereich sind Faktoren wie die Auswahl geeigneter Faserarten, kontrollierter Einbau und teilweise das Langzeitverhalten entscheidende Punkte für die Lebensdauer und die Sicherheit der gesamten Konstruktion. In dem BML/BMFT-Forschungsvorhaben „Entwicklung und Prüfung der Anwendbarkeit von Flachsfasern als geotextile Vlies- und Verbundstoffe für den Erd- und Wasserbau“ wurden die Möglichkeiten der Substitution von Chemiefasern durch Flachsfasern untersucht [Saathoff u.a. 1994]. In dieser Untersuchung waren insbesondere die Anwendungsfälle von Interesse, bei denen in einem definierten Zeitraum eine Verrottung der eingesetzten Vliese und Filze erwünscht ist.

Im **Kulturwasserbau** ergibt sich insbesondere der Einsatz als

- Filter in Sicherungen von Böschungen und Sohlen an Seen, Fließgewässern, Becken und Teichen und als
- Erosionsschutz auf zu begrünenden Böschungen.

Im „naturnahen“ Gewässerbau können biologisch abbaubare Textilien eine wichtige Rolle spielen. Vor allem bei umgelagerten Böden ist eine entsprechende Sicherung von Böschungen vorzunehmen. Die Sicherung sollte nach etwa 5 Jahren in Abhängigkeit von der Bauart keine Behinderung des Wachstums der Pflanzen darstellen und eine naturgemäße Entwicklung des Uferbereichs zulassen.

Im **Verkehrswasserbau** erscheint der Einsatz von Nadelfilzen aus 100 Prozent Naturfasern nicht sinnvoll zu sein. Wegen der in diesem Bereich geforderten Langzeitbeständigkeit von Textilien bieten sich bestenfalls Produkte aus Mischungen von natürlich gegebenen und industriell geschaffenen Fasern an.

Mögliche Einsatzgebiete für Vliese und Filze aus Flachfasern im **allgemeinen Erdbau** sind:

- Böschungs- und Erosionsschutz,
- Sanierung von Skipisten und Hängen,
- Trägervliese oder -filze für Rollrasen und
- Begrünungsvliese oder -filze mit Samen.

Zur Beurteilung, welche Eigenschaften Geotextilien für bestimmte Anwendungsfälle im Erdbau erfüllen müssen, sind im *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus* sogenannte Geotextilrobustheitsklassen (GRK) definiert. Diese Beurteilung gilt für Anwendungsfälle, in denen sich die mechanische Beanspruchung durch die Art der Schüttung und die Walkarbeit unter der Schüttung einer Bemessung entzieht. Dies ist beispielsweise bei Trennschichten, Schutzschichten und Filtern der Fall [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1994].

Bei Vliesen und Filzen erfolgt eine Einstufung in die Geotextilrobustheitsklasse nach den gemessenen Werten der Stempeldurchdrückkraft und der Masse pro Fläche. In Tabelle 1 ist eine solche Einteilung für Vliese und Filze dargestellt.

Geotextilrobustheitsklasse (GRK)	Stempeldurchdrückkraft* $S_D = \overline{S_D} - \sigma$ in kN	Masse pro Flächeneinheit** \overline{m} in g/m ²
1	$\geq 0,5$	≥ 80
2	$\geq 1,0$	≥ 100
3	$\geq 1,5$	≥ 150
4	$\geq 2,5$	≥ 250
5	$\geq 3,5$	≥ 300

* die Stempeldurchdrückkraft S_D ergibt sich aus dem Mittelwert der gemessenen Kräfte $\overline{S_D}$ minus der Standardabweichung σ .

** \overline{m} ist der Mittelwert der gemessenen Werte.

Tabelle 1: Geotextilrobustheitsklassen für Vliese und Filze [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1994]

Eine Einstufung in die Geotextilrobustheitsklassen kann nach definierten Beanspruchungs- und Anwendungsfällen vorgenommen werden. Nach dem FGSV Merkblatt 535 lassen sich die folgenden Beanspruchungsfälle unterscheiden:

Beanspruchungsfall AB 1: Der Einbau und das Überschütten erfolgt mit Hand. Es erfolgt keine wesentliche Beanspruchung des Textils durch die Verdichtung.

Beanspruchungsfall AB 2: Einbau und Verdichtung erfolgen maschinell. Infolge des Bauverkehrs entsteht keine wesentliche Walkbeanspruchung des Textils.

Beanspruchungsfall AB 3: Wie bei AB 2 erfolgt der Einbau und die Verdichtung maschinell. Durch eine zugelassene Spurrinntiefe von 5 bis 15 cm tritt eine erhöhte Walkbeanspruchung auf.

Beanspruchungsfall AB 4: wie bei AB 2 und AB 3 erfolgt auch hier der Einbau und die Verdichtung maschinell. Durch eine zugelassene Spurrinntiefe von über 15 cm tritt eine besonders hohe Walkbeanspruchung auf.

Neben der Art des Beanspruchungsfalles durch den Einbau und den Baubetrieb ergibt sich eine extreme Beanspruchung des Textils durch die Schüttung. Die Einteilung nach der Beanspruchung durch die Art der Schüttung (verwendete Bodenart) ist in Bild 2 dargestellt.

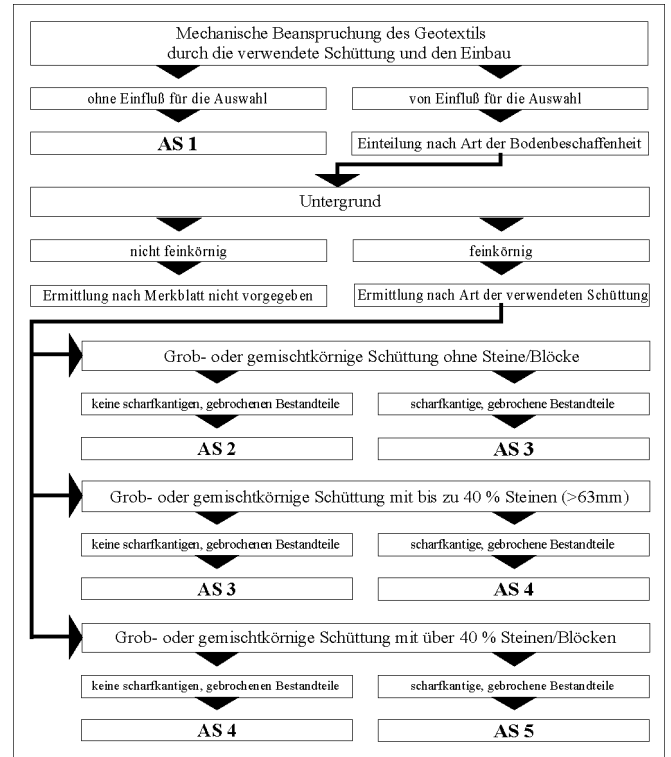


Bild 2: Einteilung nach der Beanspruchung durch die verwendete Bodenart (Schüttung) (AS) ([NAUE FASERTECHNIK 1996] .- veränderte Darstellung)

Durch die Bestimmung des Anwendungsfalles AS und des Beanspruchungsfalles AB kann nach Tabelle 2 die Geotextilrobustheitsklasse GRK bestimmt werden. Nach Tabelle 1 ergeben sich die notwendigen technischen Daten.

Anwendungsfall	Beanspruchungsfall			
	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4
AS 1	GRK 1			
AS 2	GRK 2	GRK 2	GRK 3	GRK 4
AS 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5
AS 4	GRK 4	GRK 4	GRK 5	*
AS 5	GRK 5	GRK 5	*	*

* für diese Anwendungen sind entweder Baustellenversuche durchzuführen, oder die Schüttlagendicken zu erhöhen.

Tabelle 2: Aus Anwendungs- und Beanspruchungsfall erforderliche Geotextilrobustheitsklassen [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1994]

3 Mechanischer Aufschluß von Hanfstroh

Um die Verarbeitung von Hanf entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Anbau bis zum Endprodukt zu demonstrieren, wurde feldgeröstetes Hanfstroh im Technikum der Firma Bahmer aufgeschlüsselt. In Tabelle 3 ist der Versuchsablauf mit den verarbeiteten Massen und den Wirkungsgraden dargestellt.

Versuchsreihe und -schritte	Bearbeitungsstufen	Eingangsmasse in kg	Ausgangsmasse	
			relativ zum Eingang in %	relativ zum Ursprung in %
I-Stroh		182,5	100,0	100,0
	Grobauflöser	↓ „GA“		
I-GA		28,2	15,4	15,4
	Mittelauflöser	↓* 26,7 ↓ „MA“		
I-MA		23,1	86,5	13,3
	Feinauflöser	↓* 21,6 ↓ „FA“ ↓		
I-FA		18,8	87,0	11,6

* Vor jeder Verarbeitungsstufe wurde eine Probe mit einer Masse von 1,5 kg entnommen.

Tabelle 3: Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse des mechanischen Aufschlusses von Hanfstroh

Das im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen verwendete Hanfstroh stammte aus österreichischem Anbau des Jahres 1995. Der Hanf der Sorte *Felina 34* wurde am Standort Klagenfurt in Österreich angebaut. Der zeitliche Ablauf der Ernte kann der folgenden Auflistung entnommen werden:

- 20. September 1995:** die Stengelspitzen wurden inklusive der Samenstände mit einem Axialmähdrescher geköpft und gedroschen. Anschließend konnten die Samen einer weiteren Verwertung zugeführt werden. Der übrige Teil der Hanfstengel blieb erhalten und wurde im stehenden Zustand geröstet.
- bis 25. Oktober 1995:** die Hanfstengel wurden nach dem Abschneiden der Spitzen bis zum 25. Oktober standgeröstet. Das Klima während der Röste war sehr warm und feucht.
- 25. Oktober 1995:** die Hanfstengel wurden nach circa einmonatiger Röste mit einem Mähwerk geschnitten.
- 2. November 1995:** das Stroh wurde mit einer Rundballenpresse aufgenommen und zum Rundballen verpreßt.

Neben den erreichten Wirkungsgraden sind insbesondere die sich während der einzelnen Verfahrensstufen ändernden Eigenschaften der Faserbündel von Interesse. In Untersuchungen wurde die Änderung der Faserbündellängen, der -feinheiten und der Schäbenanteile betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung der Fasereigenschaften sind in Tabelle 4 dargestellt.

	„I-GA“	„I-MA“	„I-FA“
querschnittsbetonte mittlere Länge H in mm	60,4	45,7	41,5
Variationskoeffizient in %	65,8	64,1	60,4
„Kurzfaserteil“ < 25 mm in %	18,1	25,9	28,9
Länge bei 1% des erfaßten Anteils in mm	191,4	147,5	128,0
„Feinheit“ Airflow-Wert in mm	207	196	194
Massenanteile der verbleibenden Schäben in %	6,0	3,3	1,3

Tabelle 4: Eigenschaften der Hanffaserbündel aus dem mechanischen Aufschluß

Im folgenden werden die Verfahren zur Bestimmung der Eigenschaften der Hanffaserbündel kurz beschrieben.

Faserbündellänge: Die Faserbündellängen wurden zum einen als querschnittsbetonte und zum anderen als gewichtsbetonte mittlere Längen mit einem kapazitiven Längenmeßgerät, dem Almeter AL 100, bestimmt. Die Masse der untersuchten Proben betrug 0,6 g. Die Faserbündel wurden von Hand parallelisiert und anschließend zweimal mit dem Gerät *fibroliner* vorbereitet. Es wurden 3 Messungen pro Probe durchgeführt und für jede Probe der Mittelwert der Länge gebildet.

„Faserbündelfeinheiten“: Die Masse der untersuchten Faserproben betrug 3 g. Schäben und Staub wurden aus der Faserflocke¹ vollständig entfernt. Die Proben wurden von Hand vorbereitet. Pro Probe wurden 4 Messungen durchgeführt. Die Airflow-Meßwerte geben zwar keinen absoluten Wert der Feinheit wieder, können jedoch zur Beurteilung einer Verfeinerung der Faserbündel herangezogen werden.

Massenanteile der verbleibenden Schäben: Aus der Faserflocke wurden stichprobenartig Proben gezogen. Die Masse der untersuchten Proben betrug ca. 2 bis 5% der Gesamtmasse der Faserflocke. Nach der Bestimmung der Masse wurden die Schäben per Hand aus der Faserflocke ausgesondert und abgewogen. Die Masse der Schäben wurde auf die Masse der Probe bezogen.

¹Faserflocke: ungeordnetes Kollektiv aus verspinnbaren Stapelfasern [Schnegelsberg 1971].

4 Faserflorherstellung

In umfangreichen Untersuchungen wurden unter anderem die mechanisch aufgeschlossenen Hanffasern im Technikum der Fachhochschule Niederrhein, Abteilung Mönchengladbach, verarbeitet. Die Herstellung der längsorientierten Richtungslagenfaserflor wurde auf einer Krempel der Firma *Jennes Rheydt* und die anschließende Schichtung zum quergerichteten Faserflor auf einem Querleger durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Alle Walzen der Vor- und Hauptkrempel waren mit einer Sägezahnarnitur ausgerüstet.

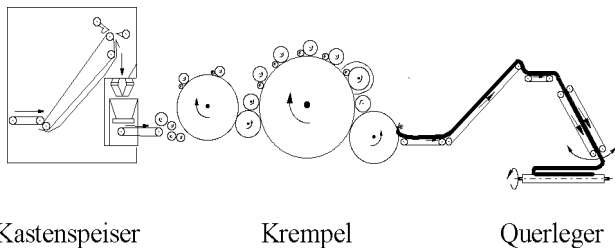


Bild 3: Anlage zur Herstellung von mehrschichtigen Faserfloren

Für die einzelnen Versuche wurden die Fasern in einem Krempelwolf der Firma TEMAFa aufgelöst und vermischt. Die Anlage ist in Bild 4 schematisch dargestellt. Die Krempelvorbereitung wurde in drei Schritten durchgeführt:

Schritt 1: die abgewogene Faserflocke wurde im ersten Durchlauf durch den Krempelwolf aufgelöst. Bei der Verarbeitung von zwei Faserarten wurde eine relativ gleichmäßige Vermischung erreicht.

Schritt 2: zur Erhöhung der Faserhaftung bei der Faserflorherstellung wurde eine Schmalze (Avivage) eingesetzt. Nach Empfehlung der Firma Hansa Textilchemie fiel die Wahl auf das Produkt DURON 1304. Bezogen auf die zu verarbeitende Masse an Fasern sollte 1 % der Substanz aufgebracht werden [Niestegge 1996]. In den Versuchen wurde ein Teil Duron mit zwei Teilen Wasser vermischt. Die angesetzte Mischung wurde auf die Faserflocke aufgesprüht.

Schritt 3: zur besseren Verteilung der Schmalze und einer Homogenisierung der Mischung wurde die Faserflocke ein zweites Mal im Krempelwolf aufgelöst.

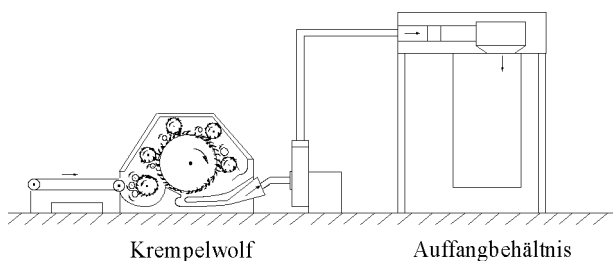


Bild 4: Anlage zum Auflösen und Mischen der Faserflocke

Insgesamt wurden 14 Verarbeitungsversuche mit Mischungen verschiedener Faserarten durchgeführt. Die eingesetzten Faserarten sind in der folgenden Übersicht kurz dargestellt:

Hanf „FA“: mechanisch feinaufgeschlossene Hanffaserbündel vgl. Kapitel 3

Hanfschwingwerg: Hanfsorte, die bei der traditionellen Langhanfgewinnung nach dem Schwingen als minderwertigere Qualität aussortiert wird. Das verwendete wassergeröstete Hanfschwingwerg stammte aus rumänischem Anbau der 95er Ernte. Das Werg wurde auf eine Länge von 100 mm geschnitten. Die Werte der Faserbündellänge wiesen dennoch extreme Schwankungen auf. In der Faserflocke war noch ein hoher Anteil an Faserbündeln mit Längenwerten von 500 bis 600 mm zu finden. Der Masseanteil an Schäben in der Faserflocke war mit 13,2% relativ hoch. Die indirekte Bestimmung der Feinheit ergab im Mittel einen Airflow-Wert von 186 mm.

Silagehanf: Die Hanfsorte *Futura* wurde am 1. Mai 1996 ausgesät und am 10. Oktober geerntet. Die gehäckselte Ganzpflanze wurde am gleichen Tag einsiliert. Die Silage wurde am 14. Januar 1997 beendet. Um die Schäben zu entfernen wurde das Siliergut ausgeschüttelt und gesiebt. Die mit Schäben und Staub noch stark verunreinigten und zusammenhaftenden Fasern wurden mit einer Handkard aufgelockert und gereinigt. Der Masseanteil an Schäben, Staub und Kurzfasern in der Faserflocke war mit 18,2% sehr hoch. Für die Feinheit ergab sich im Mittel ein Airflow-Wert von 146 mm.

„LWWE“: Die Hanfpflanzen der Sorte *Felina 34* wurden am 15. Oktober am Standort Wehnen in Niedersachsen mit einem Mähdrescher als Grünhanf geerntet und anschließend getrocknet. Hierbei fand bereits ein mechanischer Aufschluß statt. Der Anteil an Schäben und anderen nichtfaserigen Pflanzenbestandteilen im Erntegut betrug im Mittel 41,2%. Aus dem Erntegut konnten die Schäben zum Teil ohne große Mühe durch Schütteln ausgesondert werden. Im ersten Schritt wurden von 4 kg Erntegut 1 kg Schäben ausgesondert. Nach einem Durchlauf durch den Krempelwolf konnten 0,35 kg Schäben entfernt werden. In der zu verarbeitenden Faserflocke verblieb somit ein Restschäbenanteil von 11,2%. Die Werte der Faserbündellänge wiesen extreme Schwankungen auf. In der Faserflocke war noch ein hoher Anteil an Faserbündeln mit Längenwerten bis 600 mm zu finden.

Chemisch aufgeschlossene Hanffasern: Im mechanischen Aufschluß wurde das Hanfstroh aufgeschlossen. Die Faserbündel mit den noch anhaftenden Schäben wurden im chemischen Aufschluß verfeinert.

Wolle: Bei den verwendeten Wollfasern handelte es sich um gewaschene Rohschafwolle. Der Mittelwert der Durchmesser der eingesetzten Wollfasern betrug 27,8 μm . Der Wert der mittleren querschnittsbetonten Länge (HAUTEUR), gemessen mit dem Almeter 100, betrug 46,7 mm bei einem Variationskoeffizient von 58,9. Der Wert der gewichtsbetonten mittleren Länge (BARBE) wurde mit 62,8 mm, bei einem Variationskoeffizient von 40,3

Polypropylen: Die eingesetzten Polypropylenfasern hatten eine Nennstapellänge von 60 mm und eine Nennfeinheit von 6,7 dtex.

Bioceta®: Die verwendeten Cellulosediacetatfasern hatten eine Nennstapellänge von 70 mm und eine Nennfeinheit von 6,7 dtex.

In Tabelle 5 sind die Versuche in einer Gesamtübersicht zusammengefaßt.

Nr.	Faserart I	Faserart II	Avivagenauftrag in kg	Verluste in %
1	Hanf „FA“ 5 kg	—	0,3	16
2	Hanf „FA“ 2,5 kg	Wolle 2,5 kg	0,3	10
3	Hanf „FA“ 2,5 kg	Polypropylen 2,5 kg	0,3	2
4	Hanfschwingwerg 5 kg	—	0,3	13
5	Hanfschwingwerg 2,5 kg	Wolle 2,5 kg	0,3	10
6	Hanfschwingwerg 2,5 kg	Polypropylen 2,5 kg	0,3	6
7	Wolle 5 kg	—	0,3	1
8	Hanfschwingwerg 5 kg	—	0,3	16
9	Hanf „FA“ 0,4 kg	Bioceta 0,4 kg	0,048	2
10	Silagehanf 1,5 kg	—	0,09	47
11	Silagehanf 0,6 kg	Bioceta 0,6 kg	0,072	25
12	Hanf „LWWE“ 2,0 kg	—	0,12	40
13	Hanf „LWWE“ 0,6 kg	Bioceta 0,6 kg	0,072	20
14	Hanf „chem. aufg.“ 1,0 kg	Bioceta 1,0 kg	0,12	5

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht der Versuche zur Faserflorherstellung

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sowohl die mechanisch aufgeschlossenen Hanffaserbündel als auch das Hanfschwingwerg problemlos verarbeitet werden konnten. Die Haftung der dünnen Faserflore war ausreichend groß, um sie zum Querleger transportieren zu können. Die Haftung der Hanffaserbündel des Schwingwerges war infolge der höheren Längenwerte besser als die Haftung der mechanisch aufgeschlossenen Hanffaserbündel. Durch den Einsatz der Schmälen konnte die Faserhaftung erhöht werden.

Bei allen Naturfasern, aber insbesondere bei Flachs- und Hanffasern, ist in der Faserflocke ein hoher Anteil an Staub und Schmutz enthalten, der sinnvollerweise in den ersten Anlagenstufen entfernt werden sollte. Bei der Verarbeitung von Naturfasern ist es erforderlich, Teile des Ballenöffners abzukapseln und Absauganlagen zu installieren, denn bei der Auflösung von gepreßten Ballen aus Flachsfasern zur Faserflocke kann die entstehende Staub-

belastung oberhalb der zulässigen Grenzwerte liegen [Saathoff/Müller 1995].

Die beim Krempeln entstehende Staubbelastung wurde durch den Einsatz der Schmälen und eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes der Faserflocke stark reduziert. Durch den Einsatz der Woll- und Polypropylenfasern ließ sich einerseits die Verarbeitbarkeit der Hanffasern im Krempelprozeß verbessern und andererseits der Staubanteil im Vergleich zur Verarbeitung von 100 Prozent Hanf deutlich reduzieren. Bei der Verarbeitung von Mischungen war zudem der Verlust entlang der Verarbeitungskette geringer als bei einer Verarbeitung von 100% Hanf. Die Verluste beim Krempeln (Fasern und Schäben) sammelten sich insbesondere unter dem Tambour an. Abgekapselte Krempeln, die z.B. zur Verarbeitung von Chemiefasern eingesetzt werden, eignen sich somit nicht zur Verarbeitung von Hanffasern. Die Bereiche unter der Krempel müssen frei zugänglich sein, um die anfallenden Fasern und Schäben entfernen zu können. Durch enthaltene Stäube, Schäben und kurze Faserbündel findet eine Verschmutzung der Krempelaggregate statt, was einerseits eine Abkapselung und Entstaubung der Krempel und andererseits einen erhöhten Reinigungsbedarf notwendig macht. Bei der Auswahl geeigneter Krempelbeschläge ist darauf zu achten, daß die durch die Bearbeitung entstehenden Faserschädigungen und Faserverluste möglichst niedrig gehalten werden. Neben der Wahl geeigneter Beschläge für die Krempel ergeben sich Anpassungsmöglichkeiten durch eine Veränderung der Walzenabstände und eine Reduzierung der Anzahl der Arbeiter/Wender um die Verfeinerung und Einkürzung der Faserbündel zu reduzieren. Wie bei der Verarbeitung von Flachsfasern [Saathoff/Müller 1995] hat sich auch beim Krempeln von Hanffasern herausgestellt, daß die Abnahme des Faserflors von der Krempel mit Hackern gute Ergebnisse liefert.

5 Nadelfilzherstellung

In umfangreichen Versuchen wurden die hergestellten Faserflore zu Nadelfilzen verarbeitet. Die Herstellung der Nadelfilze erfolgte im Technikum der Firma Singer Spezialnadelfabrik in Würselen. Bei der Herstellung wurde zwischen den folgenden Varianten unterschieden:

Nadelfilz ohne Trärgewebe: Wie in Bild 5 (1) dargestellt, wurden pro Versuch zwei der mehrschichtigen Faserflore übereinandergelegt und im ersten Verarbeitungsschritt von oben mit 55 Einstichen pro cm² vernadelt. Die Nadelfilze der ersten Passage wurden um 180° gedreht und nochmals mit 55 Einstichen pro cm² vernadelt.

Nadelfilz mit Trärgewebe: Der erste Verarbeitungsschritt ist identisch mit der Herstellung des Nadelfilzes ohne Trärgewebe. Die Nadelfilze der ersten Passage wurden um 180° gedreht und mit Trärgewebe auf der Unterseite, wie in Bild 5 (2) dargestellt, bei 55 Einstichen pro cm² vernadelt. In zwei weiteren Passagen wurden die Nadelfilze ebenfalls mit 55 Einstichen pro cm² vernadelt. Während der einzelnen Vernadelungspassagen befand sich das Trärgewebe immer auf der Unterseite.

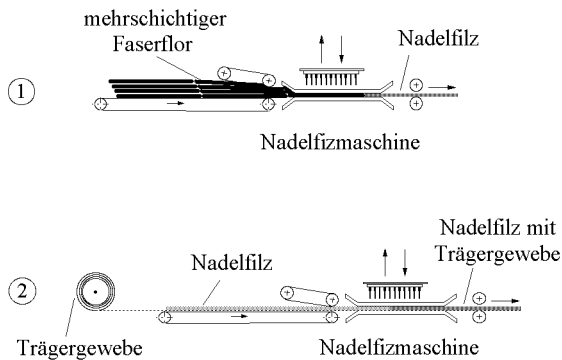


Bild 5: Produktionsschema zur Herstellung von gewebeverstärkten Nadelfilzbelägen

Bei der verwendeten Nadelfilzmaschine handelt es sich um einen Typ der Firma Heuer mit einem Nadelbrett (von oben nadelnd) und einer Arbeitsbreite von 800 mm. Bei einer Nadeldichte von 3000 Nadeln pro laufendem Meter Arbeitsbreite wurde eine Hubfrequenz von 400 eingestellt, was bei der gewählten Einstellung einen Vorschub von 5,5 mm/Hub ergibt. Die verwendete konische Filznadel vom Typ 3853-6617-045 (15x17x40x3,5 RB22 A27/06/08 B222 CON PP) wurde für die Vernadelung von normal- und grobfaserigen Natur- oder Chemiefasern entwickelt, bei deren Verarbeitung hohe Einstichkräfte entstehen.

Insgesamt wurden 23 Versuche durchgeführt. Die eingesetzten Faserarten sind der Übersicht im Kapitel 4 zu entnehmen. Die verwendeten Trägergewebe aus Jutefäden der Qualität Q245 (245 g/m²), Q215 (215 g/m²) und Q140 (140 g/m²) wurden von den Textilwerken Emsdetten zur Verfügung gestellt. In den Tabellen 6 und 7 sind die Versuche in einer Gesamtübersicht zusammengefaßt.

Nr.	Faserflor	Nadel- richtung	Einstich- dichte in E/cm ²	Einstich- tiefe in mm
V1	Hanf „FA“	↓	55	12
		↑↓	55	12
V2	Hanf „FA“ Juteträger (Q 245)	↓	55	12
		↑↓	55	15
V3	Hanf „FA“ Juteträger (Q 245)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V4	Hanf „FA“ Juteträger (Q 245)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V5	Hanf „FA“	↓	55	15
		↑↓	55	15

Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Versuche zur Nadelfilzherstellung Teil 1

Nr.	Faserflor	Nadel- richtung	Einstich- dichte in E/cm ²	Einstich- tiefe in mm
V6	Hanf „FA“ Polypropylen Juteträger (Q 245)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V7	Hanf „FA“ Polypropylen	↓	55	15
		↑↓	55	15
V8	Hanf „FA“ Wolle	↓	55	15
		↑↓	55	15
V9	Hanf „FA“ Wolle Juteträger (Q 245)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V10	Hanf „FA“ Wolle	↓	55	15
		↑↓	55	15
V11	Hanf „FA“ Wolle Juteträger (Q 215)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V12	Hanf „FA“ Polypropylen	↓	55	15
		↑↓	55	15
V13	Hanf „FA“ Polypropylen Juteträger (Q 215)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V14	Wolle	↓	55	15
		↑↓	55	15
V15	Wolle Juteträger (Q 140)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V16	Hanf „FA“	↓	55	15
		↑↓	55	15
V17	Hanf „FA“ Juteträger (Q 140)	↓	55	15
		↑↓	55	15
		↓↑↓	55	15
		↓↓↑↓	55	15
V18	Hanf „FA“ Bioceta [®]	↓	55	15
		↑↓	55	15
V19	Silagehanf Bioceta	↓	55	15
		↑↓	55	15
V20	Silagehanf	↓	55	15
		↑↓	55	15
V21	Hanf „LWWE“	↓	55	15
		↑↓	55	15
V22	Hanf „LWWE“ Bioceta	↓	55	15
		↑↓	55	15
V23	Hanf „chem. aufg.“ Bioceta	↓	55	15
		↑↓	55	15

- ↓ Vernadelung des Faserflors von oben
- ↑↓ Vernadelung von oben / Nadelfilz aus vorhergehender Passage um 180° gedreht
- ↑↓ Vernadelung von oben / Trägergewebe unten / Nadelfilz aus vorhergehender Passage um 180° gedreht
- ↓↑↓ Vernadelung der vorhergehenden Passage von oben / Trägergewebe unten
- ↓↓↑↓ Vernadelung der vorhergehenden Passage von oben / Trägergewebe unten

Tabelle 7: Tabellarische Übersicht der Versuche zur Nadelfilzherstellung Teil 2

5.1 Untersuchung der Nadelfilze

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sowohl die mechanisch aufgeschlossenen Hanffaserbündel als auch das Hanfswingwerg problemlos verarbeitet werden konnten. Zur Erzielung einer hohen Festigkeit bei gleichzeitig möglichst geringer Zerstörung der Fasern konnte eine geeignete Filznadel gefunden werden. Die Wahl fiel auf eine konische Filznadel für normal- und grobfaserige Naturfasern vom Typ Singer 3853-6617-045. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, daß bei hoher Festigkeit und Qualität der Filze der sich durch die Vernadelung ergebende Verzug möglichst gering war. In den genannten Versuchen wurden die mehrschichtigen Faserflore zum einen ohne und zum anderen mit einem Trägergewebe aus Jutefäden vernadelt. Durch den Einsatz der Trägergewebe konnte der Verzug, der infolge des Nadelprozesses entsteht, erheblich verringert werden.

Im folgenden werden die Verfahren zur Bestimmung der Eigenschaften der Nadelfilze kurz beschrieben.

Dicke: Die Dicke in mm wurde nach DIN 53855 im Normklima bestimmt. Die verwendeten Prüfflächen betragen 25 cm^2 . Nach DIN wurde ein Prüfdruck von $0,05 \text{ N/cm}^2$ aufgebracht. Für jedes Nadelfilz wurde an 5 Proben die Dicke bestimmt und der Mittelwert berechnet.

Flächenmasse: Die Flächenmasse in g/m^2 wurde nach DIN 53854 im Normklima bestimmt. Für jedes Nadelfilz wurde an 9 Proben die Masse ermittelt und auf die Fläche bezogen. Von diesen Werten wurde der Mittelwert berechnet.

Festigkeit: die Zugkräfte und die Längenänderungen der Nadelfilze wurden nach DIN 53857 / Teil 2 im Normklima bestimmt. Die Versuche wurden mit einer Zugprüfmaschine vom Typ INSTRON 4502 durchgeführt. Die Proben (100 mm Breite und 300 mm Länge) wurden mit einer Vorspannkraft von 1% der Maximalzugkraft in die Klemmen eingespannt. Die Nadelfilze wurden im geschlachten Zustand bei einer Einspannlänge von 200 mm geprüft. Die Verformungsgeschwindigkeit betrug 200 mm/min . In Längsrichtung (Fertigungsrichtung) der Nadelfilze wurden 5 Proben entnommen und gemessen. In Querrichtung wurden abweichend von der Norm 4 Proben entnommen und gemessen.

Stempeldurchdrückkraft: Die Stempeldurchdrückkraft der Nadelfilze wurde von der Firma NAUE FASERTECHNIK nach E DIN 54307 durchgeführt.

Eine mögliche Verwendung von Textilien für den Erd- und Wasserbau aus Hanffasern erfolgt sinnvollerweise durch einen Vergleich mit bereits auf dem Markt vorhandenen Produkten. Zur Prüfung der Einsatztauglichkeit von Geotextilien werden zum Vergleich Produkte aus Chemiefasern mit den Warenbezeichnungen Secutex® (Textilie für den Erdbau) und Terrafix® 600 (Textilie für den Wasserbau) gewählt.

5.1.1 Anforderungen an Textilien für den Erdbau

In Tabelle 8 sind die technischen Daten unterschiedlicher Secutex®-Typen zusammenfassend dargestellt, wobei es sich bei den Typen der GRK 3 und 4 um Standardtypen handelt. Diese Art der Geotextilien findet Verwendung im Erdbau. Als entscheidendes Auswahlkriterium für die Eignung des Einsatzes von Nadelfilzen im Erdbau dient, wie im Kapitel 2 bereits beschrieben wurde, die Stempeldurchdrückkraft.

Type	151-GRK 2	201-GRK 3	301-GRK 4	351-GRK 5
Flächenmasse in g/m^2	140	170	270	325
Dicke in mm	2,0	2,3	2,7	3,0
Stempeldurchdrückkraft in kN	$\geq 1,0$	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 3,5$
Stempeldurchdrückverform. in %	≥ 40	≥ 40	≥ 40	≥ 40
Höchstzugkraft längs in kN/m	$\geq 4,0$	$\geq 6,0$	$\geq 9,0$	$\geq 13,0$
Höchstzugkraft- dehnung längs in %	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Höchstzugkraft quer in kN/m	$\geq 6,0$	$\geq 10,0$	$\geq 13,5$	$\geq 20,5$
Höchstzugkraft- dehnung quer in %	≥ 40	≥ 40	≥ 40	≥ 40
GRK-Klasse	2	3	4	5

Tabelle 8: Secutex – Tabelle technischer Daten (Quelle: [NAUE FASERTECHNIK 1995] .- Auszug)

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen der Hanfnadelfilze sind sehr vielversprechend und deuten auf eine mögliche Einsatztauglichkeit von Hanfnadelfilzen im Bereich der Geotextilien hin. Zur Einstufung der Nadelfilze in die GRK wurden von der Firma NAUE FASERTECHNIK GmbH & Co. KG Stempeldurchdrückversuche an den Nadelfilzen V4 bis V9 durchgeführt. Für die Nadelfilze V4 bis V9 sind, entsprechend der Tabelle 8, die technischen Daten in Tabelle 9 zusammenfassend dargestellt.

Nadelfilze aus 100% Hanf

Aus den Ergebnissen geht hervor, daß die hergestellten Nadelfilze aus 100% Hanf ohne Gewebeerstärkung (V1, V5, V16, V20 und V21) nicht einmal die geforderten Eigenschaften der GRK 1 erreichen.

Nadelfilze aus 100% Hanf mit Gewebe

Durch die Verstärkung mittels Trägergewebe konnte eine deutliche Erhöhung der Höchstzugkraft in Längs- und Querrichtung und der Stempeldurchdrückkraft bei den Nadelfilzen V2, V3 und V4 erreicht werden. Der geforderte Wert der Stempeldurchdrückkraft von $\geq 1,0 \text{ kN}$ in der GRK 2 wurde allerdings nicht erreicht. Durch den Einsatz eines geeigneteren Gewebes erscheint es sehr realistisch, eine Erhöhung der Werte der Stempeldurchdrückkraft zu erzielen und damit GRK 2 oder sogar GRK 3 zu erreichen. Für gewebeerstärkte Flachsnadelfilze konnte dies bereits

Type	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Flächenmasse in g/m ²	1273	625	1371	770	1090	995
Dicke in mm	6,8	5,8	7,3	7,3	8,6	5,8
Stempeldurch- drückkraft in kN	0,8	0,2	3,7	3,1	1,9	1
Stempeldurch- drückverform. in %	12	32	68	91	54	20
Höchstzugkraft längs in kN/m	6,7	0,7	17,5	12,4	6,9	7,5
Höchstzugkraft- dehnung längs in %	3,9	53,7	133,5	148,8	128,2	4,9
Höchstzugkraft quer in kN/m	6,9	2,0	53,6	37,2	18,4	11,2
Höchstzugkraft- dehnung quer in %	20,2	39,1	70,0	73,4	55,0	52,0
GRK-Klasse	1	—	5	4	3	2

Tabelle 9: Hanfnadelfilze – Tabelle technischer Daten

nachgewiesen werden [Saathoff/Müller 1995]. Ein Nachteil des Gewebeeinsatzes ist die starke Reduzierung der Dehnungswerte im Vergleich zum unverstärkten Nadelfilz. Beim Nadelfilz V4 liegen die Dehnungswerte deutlich unter den Vorgabewerten der Secutex[®]-Typen.

Nadelfilze aus 50% Hanf und 50% Wolle

Durch die Verarbeitung von Mischungen verschiedener Faserarten wurde versucht, die Festigkeitseigenschaften der Hanfnadelfilze zu verbessern. Eine Mischung von 50% Hanf- und 50% Wollfasern führte zu einer deutlichen Steigerung der Festigkeiten. Im Vergleich zu dem Nadelfilz V14 aus 100% Wollfasern erreichten die Nadelfilze V8 und V10 aus 50% Hanf und 50% Wolle Höchstzugkräfte und Dehnungen in Längs- und Querrichtung in der gleichen Größenordnung. Nach Ermittlung der Stempeldurchdrückkraft kann die Variante V8 in die GRK 3 eingeordnet werden. Im Vergleich mit dem Produkt Secutex[®]201-GRK 3 (vgl. Tabelle 8) werden alle Vorgaben erreicht.

Durch die Verwendung eines Gewebes konnte keine Festigkeitssteigerung erzielt werden, da die Gewebefestigkeit in Längsrichtung ungefähr die gleichen Werte wie das unverstärkte Nadelfilz erreicht. Dadurch liegt der Dehnungswert (längs) der Variante V9 auch deutlich unter den Vorgabewerten. In Querrichtung versagt das Gewebe bereits vor Erreichung der Höchstzugkraft. Das mechanische Verhalten wird nach Versagen des Gewebes durch den Nadelfilz bestimmt. Der Dehnungswert (quer) der Variante V9 ist dadurch mit dem Dehnungswert (quer) der Variante V8 zu vergleichen. Der geforderte Wert der Stempeldurchdrückkraft von $\geq 1,0$ kN in der GRK 2 wurde erreicht. Die Stempeldurchdrückverformung liegt unterhalb der Vorgabewerte. Der Unterschied der Eigenschaften zwischen V8 und V9 ist auf die unterschiedlichen Massen pro Flächeneinheit zurückzuführen. V8 verfügt über eine flächenbezogene Masse von 1090 g/m². Wird von der Flächenmasse der Variante V9 die Masse des

Trägergewebes abgezogen, ergibt sich ein Wert von 750 g/m².

Nadelfilze aus 50% Hanf und 50% Polypropylen

Eine Mischung von 50% Hanf- und 50% Polypropylenfasern führte zu einer extremen Steigerung der Festigkeiten. Die Nadelfilze V7 und V12 aus 50% Hanf und 50% Polypropylen erreichten Höchstzugkräfte und Dehnungen in Längs- und Querrichtung in gleicher Größenordnung. Nach Ermittlung der Stempeldurchdrückkraft kann die Variante V7 (vgl. Tabelle 9) der GRK 4 zugeordnet werden. Im Vergleich mit dem Produkt Secutex[®]301-GRK 4 (vgl. Tabelle 8) werden alle Vorgaben erreicht.

Die hohen Festigkeiten der Nadelfilze V6 und V13 sind nicht auf eine Verstärkung durch das Gewebe zurückzuführen. Das Gewebe übernimmt vielmehr die Funktion, bei der erhöhten Vernadelungsdichte den Verzug zu minimieren. Der Unterschied der Eigenschaften zwischen den Varianten V6 und V7 bzw. V12 und V13 ist auf die unterschiedlichen Massen pro Flächeneinheit zurückzuführen. V6 verfügt z.B. über eine Masse pro Flächeneinheit von 770 g/m². Wird von der Flächenmasse der Variante V6 die Masse des Trägergewebes abgezogen, ergibt sich ein Wert von 1126 g/m². Bei den Nadelfilzen mit Gewebe (V6 und V13) versagt das Gewebe weit vor Erreichen der Höchstzugkraft. Die Höchstzugkräfte und die Dehnungen in beiden Richtungen werden somit vom Nadelfilz bestimmt. Der geforderte Wert der Stempeldurchdrückkraft von $\geq 3,5$ kN in der GRK 5 wurde erreicht. Im Vergleich mit dem Produkt Secutex[®]351-GRK 5 (vgl. Tabelle 8) werden alle Vorgaben erreicht.

Zusammenfassung

Insgesamt läßt sich festhalten, daß der Einsatz von Hanffasern im Bereich der Textilien für den Erdbau sehr vielversprechend ist. Durch die Kombination mit Gewebe und anderen Faserarten konnten die entsprechenden Anforderungen der Geotextil-Robustheits-Klassen bezüglich der mechanischen Eigenschaften erreicht werden. Vor dem Hintergrund, daß noch sehr viele Optimierungsmöglichkeiten bestehen, sind diese Ergebnisse äußerst positiv zu bewerten. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden nur die mechanischen Eigenschaften berücksichtigt. Für die Einsatztauglichkeit sind die technischen Daten, wie die wirksame Öffnungsweite, die Wasserdurchlässigkeit, das Bodenrückhaltevermögen etc. zu prüfen.

Nach dem Merkblatt FGSV 535 treten insbesondere beim Einbau der Textilien hohe Belastungen auf. Aus diesem Grund richtet sich die Dimensionierung der Produkte auch nach diesen Belastungen [Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1994]. Werden Textilien im Erdbau bei einer geforderten Langzeitbeständigkeit eingesetzt, könnte eine Kombination von Hanf- und Polypropylenfasern sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bieten. Die geforderten Eigenschaften während des Einbaus können, wie in dieser Untersuchung bestätigt wurde, durch eine Mischung erreicht werden. Im eingebauten Zustand sind die Anforderungen an das Textil deutlich geringer. Die Langzeitstabilität wird durch die Polypropylenfasern garantiert. Die Hanffasern verlieren ihre Funktion und können biologisch abgebaut werden. Durch diese

Kombination könnte die Masse der benötigten Polypropylenfasern reduziert werden. Aus ökonomischer Sicht würde sich diese Kombination ebenfalls lohnen. Bei einem Einkaufspreis von ca. 2,- DM für ein kg Polypropylenfasern kann sich ein Einsatz von Hanffasern rechnen, wenn unter Berücksichtigung des Mehraufwandes durch die Mischung der Kilogrammpreis von Hanffasern unter 1,50 DM liegt.

5.1.2 Anforderungen an Textilien für den Wasserbau

Zur Prüfung der Einsatztauglichkeit der Nadelfilze für den Wasserbau wird zum Vergleich ein Produkt aus Chemiefasern mit den Warenbezeichnungen Terrafix® 600 gewählt. Für die Anwendungsgebiete von Terrafix® 600 werden Höchstzugkräfte in Längs- und Querrichtung von mindestens 1200 N/10cm gefordert [Saathoff/Müller 1995].

Bei der Diskussion der Ergebnisse über den möglichen Einsatz von Hanfnadelfilzen im Bereich des Wasserbaus sind die Schlüsse mit denen im Kapitel 5.1.1 zu vergleichen. Nadelfilze aus 100% Hanf ohne Gewebeverstärkung können die geforderten Eigenschaften nicht erreichen.

Durch die Verstärkung mittels Trägergewebe konnte zwar eine Erhöhung der Höchstzugkraft in Längs- und Querrichtung bei den Nadelfilzen V2, V3 und V4 erreicht werden. Der geforderte Wert von 1200 N/10cm wurde allerdings nicht erreicht. Durch den Einsatz eines geeigneteren Gewebes erscheint es sehr realistisch, eine Erhöhung der Werte zu erzielen. Ein Nachteil des Gewebeeinsatzes ist die starke Reduzierung der Dehnungswerte im Vergleich zum Produkt Terrafix® 600.

Von allen hergestellten Nadelfilzen genügen die Nadelfilze V8, V9, V10, V11, V14 und V 15 nur bedingt den Anforderungen, da die Höchstzugkräfte in Längsrichtung nicht den Vorgaben entsprechen. Die geforderten Höchstzugkräfte in Querrichtung werden sogar überschritten.

Die Varianten V6, V7, V12 und V13 überschreiten bezüglich der Höchstzugkraft und der Dehnung die Vorgaben des Vergleichsproduktes.

Danksagung

Das diesem Projekt zugrunde liegende Vorhaben wurde von der Freien Hansestadt Bremen mit Mitteln aus dem Förderprogramm *Arbeit und Umwelt* im Programmteil *Angewandte Umweltforschung* gefördert, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

Herrn Professor Grütz danken wir für die Ermöglichung der Faserherstellung im Technikum der Fachhochschule Niederrhein, Abteilung Mönchengladbach. Bedanken möchten wir uns bei Herrn Dahmen für die Betreuung der Verarbeitungsversuche und die vielen Hinweise bei der Durchführung der Versuche.

Weiterhin danken wir den Herren Lochner, Berns und Taimer von der Firma Singer Spezialnadelfabrik in Würselen für die Möglichkeit der Durchführung der Nadelfilzherstellung, sowie für viele einschlägige Informationen.

Herrn Dr. Saathoff von der Firma NAUE FASERTECHNIK danken wir für die Durchführung der Stempeldurchdruckversuche und die Diskussion über den möglichen Einsatz von Naturfasern in Textilien für den Erd- und Wasserbau.

Literatur

- Bahmer 1996b:** *Mechanische Bastpflanzen - Kurzfaseraufbereitung FLAKSY ...* ./ Steinheim-Söhnstetten: Gebr. Bahmer Maschinenbau GmbH, 1996.- Produktinformation
- FIBRE 1997:** *Herstellung von technischen „Nonwoven“-Produkten (Vliesen) unter Einsatz von Naturfasern/* Bremen: Faserinstitut Bremen e.V. -FIBRE-, Januar 1997.- Abschlußbericht / Projekt FV 057 gefördert von der Freien Hansestadt Bremen
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 94:** *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus.* Köln: (Hrsg.) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen / Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, 1994.- Merkblatt FGSV 535
- Heinrich, J. 1996:** *Mehr Geokunststoffe im Tief- und Erdbau.* In: VDI Nachrichten Nr. 12, 1996, S. 13
- Müssig, J./Bäumer, R./Hasenpath, J. 1996:** *Mechanischer Aufschluß von Hanfstroh.* In: Melliand Textilberichte (1996), 302 - 303
- NAUE FASERTECHNIK 1995:** *Secutex® - Tabelle technischer Daten/* Lübbecke: NAUE FASERTECHNIK GmbH & Co. KG, 1995.- Produktinformation, Stand 19. Dezember 1995
- NAUE FASERTECHNIK 1996:** *Geokunststoffe für den Tiefbau/* Lübbecke: NAUE FASERTECHNIK GmbH & Co. KG, 1996.- Produktinformation
- Niestegge, Rita 1996:** *persönliche Mitteilung:* Gespräch mit Frau Dipl.-Ing. Niestegge in Oyten. September 1996 (Hansa Textilchemie GmbH Oyten)
- Saathoff, F./Müller, V./Voß, A./Schmalz, E. 1994:** *Entwicklung und Anwendbarkeit von Flachsfasern als geotextile Vlies- und Verbundstoffe für den Erd- und Wasserbau.* BML (Veranst.): Statusseminar Flachs (Messe Leipzig, 15. und 16. November 1993). Bonn: BML, 1994.- 205 - 223
- Saathoff, F./Müller V. 1995:** *Entwicklung und Anwendbarkeit von Flachsfasern als geotextile Vlies- und Verbundstoffe für den Erd- und Wasserbau/* Lübbecke: NAUE FASERTECHNIK GmbH & Co. KG, Mai 1995.- Abschlußbericht
- Schnegelsberg, Günter 1971:** *Systematik der Textilien.* verbesserter, fotomechanisch vervielfältigter Nachdruck der 1. Auflage. München: Wilhelm Goldmann Verlag, 1971 (Das Wissenschaftliche Taschenbuch, Abteilung Technik)
- Zitscher, F.-F. 1994:** *Anwendung von Geotextilien im Wasserbau.* Hamburg/Berlin: Verlag Paul Parey, 1994.- (Hrsg.) Deutscher Verband Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Merkblatt 221