



Das Lebensmittelministerium



Hanf - Abschlussbericht

„Erprobung vereinfachter Anbau-, Ernte- und Verarbeitungstechnologien von Hanf für technische Einsatzgebiete“

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: WWW.LANDWIRTSCHAFT.SACHSEN.DE/LFL
- Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau
Herr Dr. habil. Christian Röhricht

Herr Dr. Jürgen Schulz
Referat Nachwachsende Rohstoffe
PF 22 11 61
04131 Leipzig

Tel.: 0341/ 9174-0 Fax: 0341/ 9174-111
e-mail: christian.roehricht@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
(Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)
- Redaktionsschluss:** Mai 2003
- Fotos:** Herr Dr. Jürgen Schulz,
Sächsische Landesanstalt für Landesanstalt
- Auflagenhöhe:** 50 Exemplare
- Bestelladresse:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Herr Dr. habil. Christian Röhricht
PF 22 11 61
04131 Leipzig
Tel.: 0341/ 9174-0 Fax: 0341/ 9174-111
e-mail: christian.roehricht@leipzig.lfl.smul.sachsen.de
(Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)
- Schutzgebühr:** 23.- €

Danksagung

Allen Beteiligten an Praxis- und Parzellenversuchen sowie den Kooperationspartnern sei für ihre engagierte Mitarbeit gedankt.

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft gefördert.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>		Seite
1	Einleitung	3
2	Ziel und Durchführung des Projektes	4
3	Ergebnisse pflanzenbaulicher Anbauversuche	7
3.1	Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Hanf- und Flachssorten an sächsischen Standorten	7
3.2	Prüfung extensiver Anbauformen bei Faserhanf	18
3.3	Entwicklung eines neuen Hanfernteverfahrens - die Köpfschnittmethode	23
4	Rationalisierung des Verfahrens der Ernte und Erstverarbeitung von Faserhanf	28
4.1	Hanfröststrohernte – Vergleich der Pressgutlinie mit der erstmals erprobten Ladewagentechnologie	28
4.2	Fasergewinnung aus Hanfröststroh der Pressgutlinie und der Ladewagentechnologie mit einer low – cost – Pilotanlage der LEHMANN Maschinenbau Jocketa	31
4.2.1	Aufbau und Funktionsweise der Pilotanlage	31
4.2.2	Ergebnisse der Verarbeitungsversuche	32
4.2.3	Wirtschaftlichkeit der Hanferstverarbeitung mit Varianten der low – cost – Anlage	35
4.3	Umsetzung des low – cost – Verarbeitungssystems in Sachsen	36
5	Überprüfung von Weiterverarbeitungsmöglichkeiten der low - cost- Fasern	38
5.1	Vliese und Weiterverarbeitungsprodukte	38
5.1.1	Herstellung von Vliesen aus Hanffasern und Polypropylen	38
5.1.2	Weiterverarbeitung von Hanf – Polypropylen - Vliesen zu Tiefziehteilen	43
5.1.3	Weiterverarbeitung von Hanf – Polypropylen - Vliesen zu Platten und Formpressteilen	45
5.2	Herstellung von Spritzgussteilen aus Hanffaserstoff bzw. Hanffasern und Polypropylen	51
5.2.1	Herstellung der Ausgangsmaterialien Hanffaserstoff und Hanffasern	51
5.2.2	Weiterverarbeitung von Hanffaserstoff bzw. Hanffasern mit Polypropylen zu Granulat	53
5.2.3	Herstellung von Spritzgussteilen	56
6	Erprobung der Feuchtkonservierung von Hanf	62
7	Nutzung von Hanfblüten für die Gewinnung ätherischer Öle	66
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	68
9	Kooperationspartner	71
10	Verzeichnis der Tabellen, Bilder und Anlagen	71
11	Literaturverzeichnis	74

1 Einleitung

Die für den Anfang der 90er Jahre prognostizierten großen Marktpotentiale für Verbundwerkstoffe und Dämmstoffe aus Flachskurzfasern und anderen Naturfasern erwiesen sich wegen sehr schwieriger Markterschließung als zu optimistisch. Erst in den letzten Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelte sich eine wirkliche industrielle Nachfrage nach Naturfasern im Verbundwerkstoff- und Dämmstoffbereich. Diese technischen Märkte für Flachs- und Hanfkurzfasern haben das Potential, mittel- bis langfristig die Märkte für Langfasern in Volumen und Bedeutung zu übertreffen (KARUS et al., 2000).

Bis zum Jahr 2000 war die Zunahme der Verwendung von Naturfasern in starkem Maße durch Flachsfasern bedingt.

Die Flachswergpreise stiegen im Jahr 2001, verursacht durch eine Flachsmodewelle, stark an. Die Hanffaser zeigt einen kontinuierlichen Zuwachs, konnte aber die Bedarfslücke, die sich aus der wachsenden Nachfrage und den hohen Flachswergpreisen ergab, nicht decken. Deshalb konnten die bis dahin stagnierenden bzw. rückläufigen „Exotic“-Importfasern Jute, Kenaf und Sisal einen deutlichen Zuwachs erreichen (Tabelle 1). Das durchschnittliche Preisniveau für Naturfasern lag 2002 bei 0,55 bis 0,62 €/kg (KAUP et al. 2003).

Wichtigster Abnehmer von Flachs- und Hanffasern, aber auch von Naturfasern aus wärmeren Regionen ist die Automobilindustrie. Die deutsche und österreichische Automobil (zuliefer) industrie nimmt dabei eine Vorreiterrolle ein. (Tabelle 1).

Tabelle 1: Entwicklung des Naturfasereinsatzes in der Automobilindustrie (nur Verbundwerkstoffe) in Deutschland und Österreich, 1996-2002, (t)

Faserart	1996	1999	2000	2001	2002	Zuwachs 1999 - 2002
Flachs	2.000	7.000	9.000	8.500	9.000	+ 28 %
Exotic (Jute etc.)	2.000	2.300	2.000	5.000	6.000	+ 160 %
Hanf	0	300	1.200	1.600	2.200	+ 633 %
Gesamt	4.000	9.600	12.200	15.100	17.200	+ 79 %

nach KAUP et al., 2003

Die Automobilwirtschaft in Frankreich, Italien, Spanien und Schweden führte Naturfasern mit etwa zweijähriger Verzögerung gegenüber Deutschland ein. Infolge des Nachholbedarfs werden in diesen Ländern mittelfristig hohe Zuwachsraten erwartet KARUS u. KAUP, 2001, rechnen damit, dass 2005 in Europas Autoindustrie 50.000 bis 70.000 t Naturfasern, darunter ein hoher Anteil Flachs und Hanf, zum Einsatz kommen werden.

Aus Naturfasern (vor allem Hanf und Flachs) hergestellte Dämmstoffe haben in Deutschland mit ca. 3 % einen noch geringen Marktanteil. Der energetische Aufwand bei der Herstellung solcher Pflanzenfaser-Dämmstoffe liegt deutlich niedriger als bei Mineral- und Glaswolle, der gesamtwirtschaftliche Aufwand ist aber infolge z. Z. noch höherer Rohstoff- Verarbeitungs- und Markterschließungskosten größer als bei Mineralfaserdämmstoffen.

Gegenwärtig befindet sich die deutsche Hanfwirtschaft in einer kritischen Situation. Eine Ursache dafür ist die allgemeine weltweite Wirtschaftskrise, welche den Preis und die Absatzchancen für technische Hanffasern ver-

schlechtert. Aber auch die gegenwärtig in Deutschland übliche kostenintensive Erstverarbeitungstechnologie muss genannt werden. Zusammen mit einer durch den Weltmarkt diktierten oberen Preisgrenze für technische Hanffasern führt die teure Erstverarbeitungstechnologie dazu, dass der Landwirtschaft nur geringe Preise für den Rohstoff Hanfröstkstroh gezahlt werden können. Ebenso führt die drastisch gesunkene EU-Hanfbeihilfe zu einer Beeinträchtigung der relativen Vorzüglichkeit des Hanfanbaus gegenüber dem Anbau anderer Marktfrüchte. Für die Landwirtschaft ist damit der Hanfanbau wenig attraktiv, er wird eingeschränkt bzw. ganz eingestellt. Den Hanfverarbeitern fehlt damit zunehmend die Rohstoffgrundlage. Einen Beitrag zur Verbesserung dieser Lage soll eine seit kurzem bestehende, zeitlich begrenzte Förderung von Naturfaserdämmstoffen leisten. Ziel ist die Erhöhung des Marktanteils dieser Materialien (GABRIEL, 2002). Der Sachsen Leinen e. V. geht in diesem Zusammenhang von einem kurzfristig steigenden und mittelfristig auf einem höherem Niveau verbleibenden Bedarf an Flachs- und Hanffasern aus (BRÜCKNER, 2003).

Tabelle 2: Anbaufläche von Faserpflanzen in Sachsen 1997 – 2002 (ha)

Anbaujahr	Flachs	Hanf	Gesamt
1997	134	112	246
1998	23	151	174
1999	104	80	184
2000	145	108	253
2001	150	12	162
2002	145	12	157

Stand der Faserpflanzenwirtschaft im Freistaat Sachsen

Die Entwicklung der Faserpflanzenanbaufläche im Freistaat Sachsen zeigt Tabelle 2.

Der Flachsanzbau in Sachsen konzentriert sich gegenwärtig fast ausschließlich auf die Belieferung der Flachsfaseraufbereitungsanlage der Erzgebirgischen Flachs GmbH in Voigtsdorf (Osterzgebirge). Dort werden seit 1999 technische und verspinnbare Kurzfasern aus Flachs gewonnen. Eine vorgesehene Erhöhung der Durchsatzleistung kann eine Ausweitung des Flachsanzbaus notwendig machen. Der geringe und stark schwankende sächsische Hanfanbau resultiert maßgeblich aus dem Fehlen von Erstverarbeitungskapazitäten für Hanf im Freistaat Sachsen und den angrenzenden Gebieten. Ein Transport von Hanfröststroh zu weit entfernten Erstverarbeitern ist unwirtschaftlich. Im Mai 2003 wurde in Greiz (Ostthüringen) durch die CANATEX GmbH ein Hanfverarbeitungszentrum in Betrieb genommen, welches ungeröstetes Hanfstroh, vorrangig aus regionalem Anbau, verarbeiten soll. Daraus können sich auch Chancen für sächsische Hanfanbauer ergeben. Perspektivisch wird dort auch die Verarbeitung von Faserlein- und Ölleinstroh möglich sein.

Die LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa (Vogtland) verfügt über ein noch nicht ausge-reiftes Versuchsmuster einer kleineren Hanferstverarbeitungsanlage. Diese aus einfachen Modulen aufgebaute low - cost - Anlage soll nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten in der Lage sein, Hanfröststroh kostengünstiger als bestehende Anlagen zu technischen Hanffasern und Schäben zu verarbeiten.

Eine in Limbach-Oberfrohna 2000/2001 geplante Hanfverarbeitungsanlage der Sachsen-Hanf GmbH sollte als Projektpartner maßgeblich in die Untersuchungen des vorliegenden Projektes einbezogen werden. Sie wurde aber, auch- bedingt durch die sich abzeichnenden wirt-

schaftlichen Probleme der Hanfwirtschaft, nicht realisiert.

Das vorliegende Projekt musste an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. Aus gegebenem Anlass fand eine noch stärkere Konzentration auf Untersuchungen zu Möglichkeiten der Kostenreduzierung statt. Als neuer Partner an Stelle der Sachsen-Hanf GmbH wurde u. a. die LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa mit ihrer in Entwicklung befindlichen low-cost-Hanfverarbeitungsanlage gewonnen.

2 Ziel und Durchführung des Projektes

Zur Gestaltung qualitäts- und verwendungsorientierter effektiver Anbauverfahren für Flachs und Hanf wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt, so dass hier bereits gute Ergebnisse vorliegen (RÖHRICHT u. SCHULZ, 1997 und 2000).

Schwerpunkt der Bearbeitung des vorliegenden Projektes war es, einen Beitrag zur Minimierung der Kosten des Produktionsverfahrens als Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des Hanfanbaus zu leisten. Das Ziel bestand nicht in der Erreichung der höchstmöglichen Qualität von Hanffasern und Weiterverarbeitungsprodukten, sondern in einer für den Verwendungszweck ausreichenden Qualität bei geringstmöglichen Herstellungskosten. Die Untersuchungen umfassten die Bereiche Anbau, Ernte, Lagerung, Erstverarbeitung und Weiterverarbeitung von Hanf. Mit Versuchen zur Weiterverarbeitung der mit kostengünstigen Verfahren gewonnenen Fasern sollte festgestellt werden, ob aus preisgünstig hergestellten Fasern Produkte mit ausreichenden Qualitätseigenschaften erzeugt werden können. In Tabelle 3 sind die durchgeführten pflanzenbaulichen Untersuchungen, in Tabelle 5 die Hanfverarbeitungs- und Weiterverarbeitungsversuche zusammengestellt.

Tabelle 3: Pflanzenbauliche Anbauversuche

Versuchsfrage	Projektpartner/ Versuchsort	Jahr
Praxisnahe Großversuche		
Optimierung der Hanfsamengewinnung durch Köpfschnitt im Jugendstadium	Technofarm GbR/Adorf	1999
	Landwirtschaftsbetrieb Stiegler/Raum Limbach-Oberfrohna	2000
	Wirtschaftshof Sachsenland Röhrsdorf /Raum Limbach- Oberfrohna	2001
alternative Hanferntemethoden (Ladewagentechnologie, Mietenlagerung, Konservierung)	Technofarm GbR/Adorf (Erzgebirge).	2001, 2002
Ertrag und Faserqualität von Faserhanf im Erzgebirgsvorland	Landwirtschaftsbetrieb Stiegler, Wirtschaftshof Sachsenland Röhrsdorf /beide Raum Limbach-O.	2000 2001
Ertrag und Faserqualität von Faserhanf, Lausitzer D 2-Standorte	Schlesische Agrargenossenschaft Daubitz e.G. und Missionshof Lieske	2002
Ertrag und Faserqualität von Faserhanf, Lausitzer D 4-Standort	Agrargenossenschaft Gebelzig e. G. /Gebelzig	2000, 2001
Eignung von Hanfblüten für die Gewinnung ätherischer Öle	Landwirtschaftsbetrieb Einsiedel/ Kossa	2001
Parzellenversuche		
Ertrag und Faserqualität von Flachssorten, V 8-Standort	LfL, Prüffeld Forchheim	2000-2002
Ertrag und Faserqualität von Faserhanf, Lößstandort	LfL, Versuchsstation Nossen	2000-2002
Einfluss verschiedener Extensivierungsstufen auf Ertrag und Faserqualität von Hanf	LfL, Versuchsstation Roda	2002
Ertrag und Faserqualität von Faserhanfsorten, Kippenstandort	Weißkollmer Agrarproduktions GmbH/Lohsa	2002
Einfluss verschiedener Extensivierungsstufen auf Ertrag und Faserqualität von Hanf	BioChem Agrar GmbH /Nerchau	2002

Die pflanzenbaulichen Untersuchungen zu Hanf und Flachs wurden an insgesamt 12 Standorten, die in ihrer Gesamtheit einen erheblichen Anteil der potentiellen sächsischen Faserpflanzenanbaubereiche repräsentieren, durchgeführt.

Bild 1 zeigt die Standorte der Anbauversuche, der Erstverarbeitungsanlagen für Faserpflanzen und der an den Untersuchungen beteiligten Faserweiterverarbeiter.

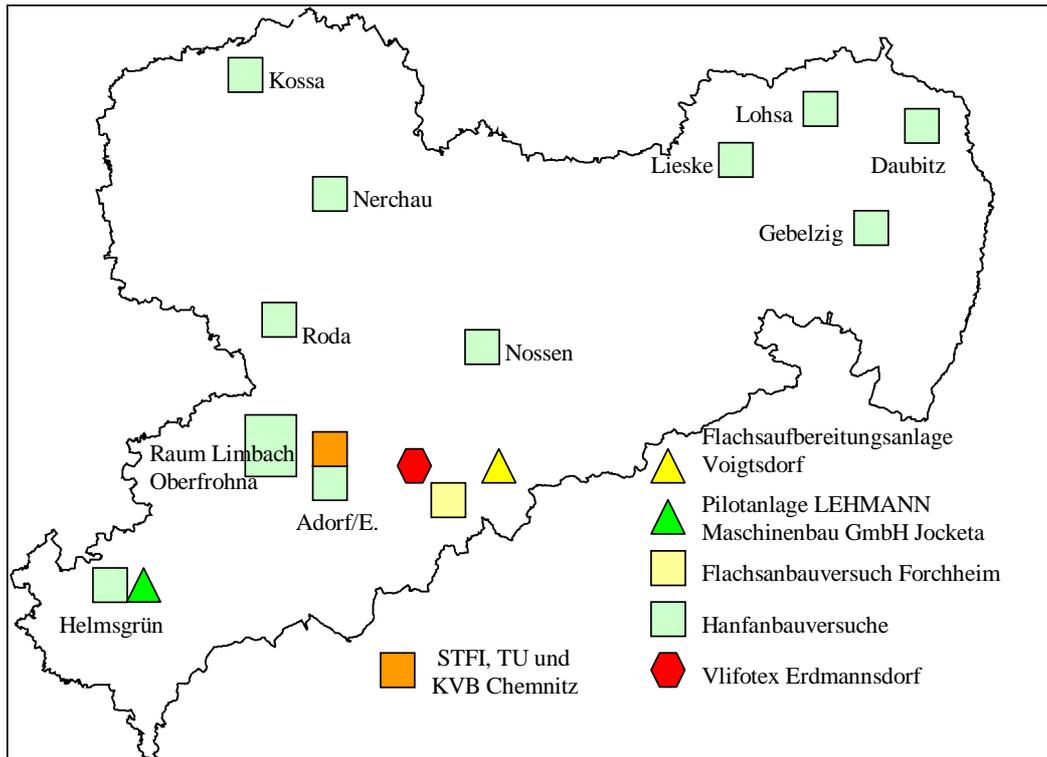


Bild 1: Standorte der Anbauversuche sowie der an den Untersuchungen beteiligten Faserpflanzenerstverarbeiter, Faserverarbeiter und Institute im Freistaat Sachsen

Tabelle 4 zeigt die bodenklimatischen Bedingungen der in die pflanzenbaulichen Untersuchungen einbezogenen Versuchsstandorte.

Tabelle 4: Bodenklimatische Bedingungen der Versuchsstandorte

Versuchsort	Bodenwert-zahl	geolog. Entstehung	Höhe über NN (m)	Jahresmitteltemperatur (°C)	Jahresniederschlag (mm)
Adorf/Erzgeb.	33	V 5	ca. 350	8,0	723
Daubitz	27	D 2	146	8,0	673
Forchheim	33	V 8	565	6,5	879
Gebelzig	41	D 4	215	8,0	673
Helmsgrün	30	V 5	400	7,5	650
Kossa		D 3	125	8,8	547
Lieske	28	D2	140	8,6	673
Raum Limbach-Oberfrohna	35 - 45	V 6/Lö 6	250 - 350	ca. 8,0	720 - 750
Lohsa		rekult.Kippe	130	8,6	673
Nerchau	68	Lö 4	120	8,6	643
Nossen	65	Lö 4	255	8,1	643
Roda	68	Lö 4	224	8,6	711

Tabelle 5: Versuche zur Erstverarbeitung von Hanf und zur Weiterverarbeitung der Erstverarbeitungsprodukte

Versuchsfrage	Projektpartner	Versuchsjahr
Faserausbeute und –qualität bei Verarbeitung von Hanfröststrohhallen und bei Verarbeitung von loseem Hanfröststroh aus Ladewagentechnologie / Mietenlagerung, jeweils bei Verarbeitung mit der low-cost-Pilotanlage Jocketa Gewinnung von Hanfganzpflanzen-Faserstoff aus frischem Grünhanf im Doppelschneckenextruder	LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa	2001, 2002
Verarbeitbarkeit von Hanffasern verschiedener Herkunft und Hanffaser-Polypropylen-Gemischen zu Nadelvliesen	STFI Chemnitz VLIFOTEX Erdmannsdorf	2002 2002
Verarbeitbarkeit von Nadelvliesen aus Hanffaser-Polypropylen-Gemischen zu Tiefziehteilen, Platten und Formpressteilen	Institut f. Konstruktion und Verbundbauweisen e.V. der TU Chemnitz (KVB)	2002, 2003
Verarbeitbarkeit von Hanfganzpflanzen-Faserstoff und Hanffasern im Gemisch mit Polypropylen zu Spritzgussteilen	TU Chemnitz, Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik (TU)	2002

3 Ergebnisse pflanzenbaulicher Anbauversuche

Für die pflanzenbaulichen Untersuchungen wurden wie bereits in den Vorgängerprojekten die Versuchsebenen Parzellenversuch und praxisnaher Großversuch gewählt. Die Flächen der praxisnahen Großversuche dienten nach Sicherung der für pflanzenbauliche Fragestellungen erforderlichen Daten und Proben zusätzlich der Erprobung verschiedener Erntemaschinen. Die Methodik der pflanzenbaulichen Anbauversuche und der Untersuchungen von Fasergehalt, Faserertrag und Faserqualität wurde mit einer Ausnahme bereits im Vorgängerprojekt angewandt und ist bei RÖHRICHT und SCHULZ, 2000 nachzulesen. Die Ausnahme besteht darin, dass die Ertragsermittlung bei praxisnahen Anbauversuchen zur Ermittlung der Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Hanf nicht die gesamte Biomasse von zwei laufenden Metern zweier nebeneinander liegender Hanfreihe eingewogen wurde. Vielmehr erfolgte die Einwaage der gesamten Biomasse von jeweils zwei Quadratmetern je Wiederholung. Durch diese Veränderung wird eine größere Fläche je Wiederholung beprobt und eine bessere Aussagefähigkeit der Ergebnisse erwartet.

3.1 Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Hanf- und Flachssorten an sächsischen Standorten

Die im Vorgängerprojekt begonnene Prüfung der Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Hanf- und Flachssorten an bodenklimatisch unterschiedlichen sächsischen Standorten wurde unter Einbeziehung bisher nicht untersuchter Sorten fortgesetzt. Einige Sorten konnten wegen Nichtverfügbarkeit von Saatgut nicht wie vorgesehen während des gesamten Projektzeitraumes geprüft werden. Im Zusammenhang mit geplanten Hanferstverarbeitungsanlagen im Raum Limbach-Oberfrohna (Erzgebirgsvorland) und im Raum Spremberg (Oberlausitz) wurden erstmals auch in diesen Gebieten Hanfanbauversuche mit verschiedenen Sorten durchgeführt. Die auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse mögliche qualifizierte standortbezogene Sortenwahl ist eine wichtige ertrags- und qualitätssichernde Maßnahme und somit eine Voraussetzung für den effizienten Hanfanbau.

Hanfsortenversuch Nossen (Parzellenversuch)

Die Hanfsortenversuche in Nossen wurden in der Versuchsstation der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft als Blockanlage mit vier Wiederholungen und Parzellengrößen von

12 m² angelegt. Die am Standort Nossen im Projektzeitraum geprüften Sorten sowie die in den einzelnen Versuchsjahren erreichten Stängel- und Fasererträge sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Nossen 2000 bis 2002 (Lö4-Standort)

Sorten	Stängelertrag ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)			Faserertrag (dt/ha)		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Beniko	138,38	122,57	kein Anbau	36,67	34,81	kein Anbau
Bialobrzeskie	107,61	132,09	81,09	26,44	36,29	16,68
Epsilon 68	140,37	172,66	123,28	28,16	34,24	20,01
Fedora 17	108,01	140,04	123,22	21,71	30,39	20,25
Felina 34	111,16	139,08	121,52	24,15	30,11	23,17
Ferimon 12	kein Anbau	128,85	131,50	kein Anbau	29,89	25,81
Futura 75	140,85	164,14	152,07	27,93	29,38	27,48
USO 14	76,80	kein Anbau	kein Anbau	19,62	kein Anbau	kein Anbau
USO 31	78,37	101,83	73,72	20,96	28,85	16,64
Mittel	112,69	137,66	115,20	25,71	31,74	21,43
GD 5 %	25,47	36,38	33,76	6,23	8,14	6,17

Zwischen den geprüften Sorten bestanden 2000 starke Ertragsunterschiede. Die spätreifenden Sorten Futura 75 und Epsilon 68 erreichten die höchsten Stängelerträge bei allerdings geringen Fasergehalten des Stängels, so dass die Fasererträge im Mittelfeld lagen. Die mittelspäte Sorte Beniko konnte ähnlich hohe Stängelerträge bei gleichzeitig hohem Faseranteil im Stängel erreichen. Diese Kombination führte zu den höchsten im Versuch gemessenen Fasererträgen. Die frühreifenden Sorten USO 14 und USO 31 lagen beim Stängelertrag weit unter dem Sortendurchschnitt, konnten dies aber - wie bereits in den Vorjahren - durch hohe Fasergehalte teilweise kompensieren.

Auch im Jahr 2001 differierten die Stängelerträge der untersuchten Hanfsorten bei insgesamt viel höherem Ertragsniveau sehr stark. Die Unterschiede bei den Fasererträgen waren dagegen geringer, sie lassen sich statistisch nicht sichern. Sorten mit hohen Stängelerträgen wiesen auch 2001 tendenziell deutlich geringere Fasergehalte als Sorten mit geringeren Stängelerträgen auf. Die Sorten USO 31 und Fedora 17, deren Reife zum einheitlichen Erntetermin (12. 9.) am weitesten fortgeschritten war, zeigen die besten Faserfestigkeiten und Dehnbarkeiten.

2002 lagen ungünstige Versuchsbedingungen vor. Die Aussaat konnte erst am 15. Mai in ein

noch nasses Saatbett erfolgen. Das Saatgut der Sorten Beniko und Bialobrzeskie wies eine verringerte Laborkeimfähigkeit auf und wurde mit entsprechend höherer Saatstärke ausgesät. Beniko lief trotzdem praktisch nicht auf, die Parzellen wurden umgebrochen. Bialobrzeskie erreichte nur eine geringe Bestandesdichte, die zu niedrigen Stängel- und Fasererträgen führte. Die Ergebnisse der Sorte Bialobrzeskie sind nicht voll verwertbar. Auch Epsilon 68 zeigte einen etwas verminderten Aufgang. Alle anderen Sorten liefen gleichmäßig auf. Die folgende sehr stark wechselnde Witterung führte zu Phasen langsamen und sehr schnellen Wachstums. Zu Beginn der 3. Junidekade und am 12/13. August bildete sich infolge von Starkniederschlägen etwas Lager, das zu Ernteschwermissen, möglicherweise auch zu Ertragsbeeinträchtigungen führte. Die Ernte erfolgte am 20. 8. während der Blüte der mittelfrühen Sorten. Die Stängelerträge der untersuchten Hanfsorten differieren auch 2002 sehr stark. Die Fasergehalte im Stängel waren 2002 vergleichsweise gering, daraus resultierend ebenso die Fasererträge. Infolge großer Ertragsschwankungen innerhalb der Versuchsvarianten lassen sich Ertragsunterschiede zwischen den Sorten nur begrenzt statistisch sichern.

Tabelle 7: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Nossen 2000 bis 2002 (Lö4-Standort)

Sorten	Faserfestigkeit (cN/tex)			Höchstzugkraft-Dehnung (%)		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Beniko	44,20	24,78	kein Anbau	2,05	1,32	kein Anbau
Bialobrzeskie	37,72	30,64	27,30	1,59	1,68	1,96
Epsilon 68	44,75	27,81	23,75	1,67	1,55	1,74
Fedora 17	44,23	35,02	31,81	1,74	1,87	1,86
Felina 34	46,20	29,19	30,09	1,93	1,48	1,85
Ferimon 12	kein Anbau	26,52	31,21	kein Anbau	1,35	2,08
Futura 75	37,02	30,70	31,43	1,67	1,52	1,82
USO 14	45,21	kein Anbau	kein Anbau	1,94	kein Anbau	kein Anbau
USO 31	44,24	37,70	27,77	1,91	2,36	1,72
Mittel	42,95	30,30	29,05	1,81	1,64	1,86

Eine in allen Versuchsjahren überdurchschnittliche Faserfestigkeit war nur bei der Sorte Fedora 17 zu beobachten, vergleichsweise gute Ergebnisse bei diesem Merkmal zeigten aber auch die Sorten Felina 34 und USO 31. Dagegen konnten Epsilon und Bialobrzeskie im Mittel nur unterdurchschnittliche Festigkeitswerte erreichen (Tabelle 7).

Hanfsortenversuch Gebelzig (Parzellenversuch)

Die Hanfsortenversuche in Gebelzig 2000 und 2001 entsprachen den in den gleichen Jahren in Nossen angelegten Parzellenversuchen. Allerdings wurden sie nicht wie in Nossen in einer Versuchsstation, sondern in enger Zusammenarbeit mit der BioChem Agrar GmbH auf Flächen der Agrargenossenschaft Gebelzig bzw. ihrer Nachfolgbetriebe angelegt. Tabelle 8 zeigt die in beiden Versuchsjahren abgebauten Sorten sowie die erreichten Stängel- und Fasererträge.

Tabelle 8: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Gebelzig 2000 und 2001 (D4-Standort)

Sorten	Stängelertrag ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)		Faserertrag (dt/ha)	
	2000	2001	2000	2001
Beniko	136,75	56,12	36,24	19,86
Bialobrzeskie	143,17	61,72	32,21	18,02
Epsilon 68	150,46	62,00	25,43	14,85
Fedora 17	133,75	57,52	25,55	13,34
Felina 34	136,75	54,51	27,35	14,72
Ferimon 12	kein Anbau	73,09	kein Anbau	18,86
Futura 75	155,80	75,41	28,20	16,70
USO 14	88,18	kein Anbau	21,25	kein Anbau
USO 31	94,05	43,10	20,69	11,85
Mittel	129,86	60,43	27,12	16,03
GD 5 %	21,12	20,80	4,60	6,01

Auffallend sind die für einen Praxisschlag hervorragenden Ertragsleistungen im Jahr 2000, die im krassen Gegensatz zu den 2001 gemessenen schlechten Werten stehen. Der 2000 erreichte Stängelertrag von 129,86 dt/ha entspricht bei 20 Prozent Röstverlust einem Röst-

strohertrag von 104 dt/ha. 2000 lagen am Versuchsstandort optimale Bedingungen mit hohen Temperaturen und ausreichenden, relativ gleichmäßig verteilten Niederschlägen vor. Die schlechten Ergebnisse 2001 sind in erster Linie auf ungünstige Bodenverhältnisse (Bodenverdichtung), die zum Zeitpunkt der Aussaat noch

nicht erkennbar waren, in geringerem Maße auch auf die niedrigeren Temperaturen zurückzuführen. Die Ergebnisse des Jahres 2001 sind deshalb für einen Vergleich mit anderen Standorten nicht verwertbar. Eine Differenzierung der Ertragsfähigkeit der geprüften Sorten kann aber in beiden Jahren beobachtet werden. Futura 75 und Epsilon 68 erreichten 2000 wie in Nossen die höchsten Stängelträge, konnten diese infolge geringer Fasergehalte aber auch hier nur in mittlere Fasererträge umsetzen. USO 14 und USO 31 wiesen auch in Gebelzig die geringsten Stängelträge bei hohen Fasergehalten auf.

2001 konnte ein ähnliches Ertragsverhalten, allerdings auf deutlich niedrigerem Ertragsniveau, beobachtet werden. Die Sorte USO 14 stand nicht mehr zur Verfügung, dafür wurde Ferimon 12 in das Versuchsprogramm aufgenommen. Diese Sorte erreichte, obwohl sie als früh reifend eingestuft ist, neben Futura 75 den

besten Stängeltrag. Ferimon 12 wies aber einen erheblich höheren Fasergehalt als Futura 75 auf und konnte dadurch einen höheren Faserertrag erreichen. Beniko überzeugte wie bereits 2000 durch sehr hohe Fasergehalte im Stängel, die in Verbindung mit mittleren Stängelträgen zu Spitzenergebnissen beim Faserertrag führten.

Die in Gebelzig im Jahr 2000 beobachtete Festigkeit der Fasern der geprüften Sorten lag ausnahmslos unter den Festigkeitswerten der im gleichen Jahr in Nossen untersuchten Sorten (Tabelle 9). Dagegen gab es 2001 kaum Unterschiede zwischen den an beiden Standorten im Mittel festgestellten Faserfestigkeiten, die insgesamt auf niedrigerem Niveau lagen. Am Standort Gebelzig konnten 2001 aber sehr starke Unterschiede der Faserfestigkeiten verschiedener Sorten beobachtet werden. Beniko und Ferimon 12 schnitten dabei mit Abstand am besten ab.

Tabelle 9: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Gebelzig 2000 und 2001 (D4-Standort)

Sorten	Faserfestigkeit (cN/tex)		Höchstzugkraft-Dehnung (%)	
	2000	2001	2000	2001
Beniko	36,49	40,50	1,74	2,50
Bialobrzeskie	29,69	29,20	1,32	2,40
Epsilon 68	30,97	27,95	1,33	2,41
Fedora 17	31,83	23,20	0,94	2,43
Felina 34	35,87	27,00	1,45	2,80
Ferimon 12	kein Anbau	40,30	kein Anbau	2,30
Futura 75	37,01	22,15	1,19	1,91
USO 14	33,28	kein Anbau	1,55	kein Anbau
USO 31	34,18	27,50	1,35	2,55
Mittel	33,67	29,73	1,36	2,41

Beim Qualitätsmerkmal Dehnbarkeit waren in Gebelzig große Unterschiede zwischen beiden Versuchsjahren feststellbar. Die 2001 ermittelten hohen Dehnbarkeiten, verbunden mit geringen Faserfestigkeitswerten unter 30 cN/tex, können die Eignung der Fasern für die Verwendung als Verstärkung in Verbundwerkstoffen bereits einschränken. Die 2001 ungünstigen Standortbedingungen (Bodenverdichtung) bewirken offensichtlich nicht nur einen starken Ertragsabfall, sondern auch eine deutliche Qualitätsverschlechterung der Fasern. Daraus ist abzuleiten, dass bei beabsichtigtem Hanfanbau der Feldauswahl und dem Bodenzustand höchste Beachtung zu schenken ist. Die vorliegenden Versuchsergebnisse und Untersuchungen von RÖHRICHT u. SCHULZ, 2000 zeigen,

dass unter der Voraussetzung günstiger Anbaubedingungen und Verwendung geeigneter Sorten auf speicherfähigen, besseren D-Standorten der Oberlausitz mit mittleren Hanfröststroherträgen von 70 – 90 dt/ha gerechnet werden kann. Jahresbedingte Ertragsschwankungen können wegen des im Vergleich zu anderen sächsischen Standorten etwas höheren Trockenheitsrisikos tendenziell größer sein.

Hanfsortenversuche (Praxisversuche) im Raum Limbach-Oberfrohna

Die praxisnahen, großflächigen Streulageversuche im Raum Limbach-Oberfrohna (Hartmannsdorf 2000 und Pleiße 2001) wurden im Zusammenhang mit der in diesem Gebiet vorgesehenen Errichtung einer Hanferstverarbeitungsanlage angelegt und dienen der Ermitt-

lung von Ertragsfähigkeit und Qualitätseigenschaften ausgewählter Sorten an diesen Standorten des Erzgebirgsvorlandes. Das auf den Versuchsflächen gewonnene Hanfstroh sollte darüber hinaus als Rohstoff für die Einlaufphase der Hanfverarbeitungsanlage dienen. Die Anlage wurde trotz fortgeschrittener Planungsarbeiten nicht realisiert.

Im Anbauversuch Hartmannsdorf (Lö6-Standort, ca. 320 m ü. NN, Saatstärke 40 kg/ha, N-Düngung 60 kg/ha) war 2000 trotz einer ausgeprägten Frühsommertrockenheit ein für einen Praxisversuch hohes Ertragsniveau,

das außer bei der Sorte Beniko sogar höher lag als in der Versuchsstation Nossen, zu beobachten. Die angebauten Sorten erreichten im Mittel einen Stängeltrug (ungeröstet) von 115,83 dt/ha (Tabelle 10). Bei einem unterstellten Röstverlust von 20 % entspricht dies einem Hanfröststrohertrag von 93 dt/ha. Überdurchschnittliche Temperaturen während des größten Teils der Vegetationsperiode und reichliche Niederschläge im Juli und August sind eine wesentliche Ursache für das gute Ergebnis. Der Fasergehalt des Hanfstrohes und Faserqualitätsmerkmale wurden nicht ermittelt.

Tabelle 10: Stängeltrüge ausgewählter Hanfsorten, Hartmannsdorf 2000 (Lö6-Standort)

Sorten	Stängeltrug ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)
Beniko	117,50
Bialobrzeskie	100,83
Epsilon 68	131,67
Felina 34	113,33
Mittel	115,83

Ungünstigere Ergebnisse waren 2001 am Standort Pleißa (V6 – Standort, ca. 380 m ü. NN, Anbauschlag leicht nach Norden geneigt), der nur wenige Kilometer von Hartmannsdorf entfernt ist, zu beobachten. Bei gleicher Saat-

stärke und N-Düngung wie in Hartmannsdorf 2000 lag das Mittel der Stängeltrüge von sechs angebauten Sorten bei vergleichsweise geringen Sortenunterschieden nur bei 85,87 dt/ha (Tabelle 11).

Tabelle 11: Stängel- und Faserertrüge von Hanfsorten, Pleißa 2001 (V6-Standort)

Sorten	Stängeltrug ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)	Faserertrag (dt/ha)
Beniko	79,50	28,30
Bialobrzeskie	87,50	26,38
Epsilon 68	86,50	20,85
Felina 34	87,00	20,71
Futura 75	98,00	20,19
USO 31	78,50	22,73
Mittel	86,16	23,19

Dies entspricht bei 20 % Röstverlust einem Röststrohertrag von 69 dt/ha. Hohe Fasergehalte der Sorten Bialobrzeskie und vor allem Beniko (Tabelle 12) führten trotz der mäßigen Stängeltrüge zu hohen Fasererträgen. Dagegen konnte die Sorte Futura 75 trotz der höchsten im Versuch erreichten Stängeltrüge infolge sehr geringer Fasergehalte der Stängel nur die geringsten Fasererträge erzielen. Das geringere Ertragsniveau in Pleißa 2001 kann im Wesentlichen auf deutlich geringere Tempera-

turen während der Hauptwachstumszeit im Juni, sicher aber auch auf die im Vergleich zu Hartmannsdorf ungünstigeren Standortbedingungen zurückgeführt werden. Die im Sortenversuch Pleißa 2001 beobachteten Faserfestigkeiten differieren zwischen den Sorten kaum und liegen auf einem vergleichsweise hohen Niveau. In Verbindung damit ist die relativ geringe Dehnbarkeit der Fasern positiv zu bewerten. Fasern mit hoher Reißfestigkeit bei geringer Dehnbarkeit sind als Verstärkungsfasern z. B. in Verbundwerkstoffen gut geeignet.

Tabelle 12: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Pleißa 2001 (V6-Standort)

Sorten	Fasergehalt des Stängels (%)	Faserfestigkeit (cN/tex)	Höchstzugkraft-Dehnung (%)
Beniko	35,60	40,64	1,94
Bialobrzeskie	30,15	39,62	1,95
Epsilon 68	24,10	39,45	1,68
Felina 34	23,80	40,87	1,79
Futura 75	20,60	40,03	1,75
USO 31	28,95	41,83	1,92
Mittel	27,20	40,41	1,83

Die Ergebnisse der Anbauversuche im Raum Limbach-Oberfrohna belegen, dass das am Rand des Erzgebirges gelegene, niederschlagsreiche und noch ausreichend warme Gebiet für den Anbau von Hanf gut geeignet ist. Mit jahres- und standortabhängigen Ertragschwankungen muss aber gerechnet werden. Im Interesse einer hohen Versorgungssicherheit sollte man in diesem Gebiet mit durchschnittlichen Röststroherträgen (lufttrocken) von nicht über 70 – 80 dt/ha kalkulieren.

Hanfanbauversuche in der Oberlausitz

Gegenwärtig laufen Vorbereitungen zum Aufbau eines Hanfverarbeitungszentrums am Standort Schwarze Pumpe bei Spremberg. Diese unmittelbar an der Sächsisch-Brandenburgischen Grenze gelegene Anlage soll zukünftig auch Hanf aus sächsischem Anbau verarbeiten. Im Einzugsgebiet der geplanten Anlage befinden sich hauptsächlich sehr leichte D-Standorte und Rekultivierungsflächen, die in den letzten Jahrzehnten durch Rekultivierung ehemaliger Kippenflächen der Braunkohletagebaue entstanden.

Es ist vorgesehen, einen erheblichen Teil des Hanfes für dieses Verwertungszentrum in der sächsischen Oberlausitz auf sehr leichten Sandböden bzw. auf rekultivierten Kippenstandorten anzubauen. Für diese Gebiete liegen keinerlei Anbauerfahrungen für Hanf vor, Versuchsergebnisse aus Gebelzig sind dafür nicht repräsentativ. Um die Erfolgsaussichten des Hanfanbaus in diesem Gebiet zu testen, wurden 2002 Untersuchungen zur Ertragsfähigkeit verschiedener Sorten auf für das Gebiet repräsentativen Standorten durchgeführt:

- rekultivierter Kippenstandort (Lohsa)
- grundwasserbeeinflusster D1- D2 - Standort (Daubitz)
- wenig grundwasserbeeinflusster D1 - Standort (Lieske)

Hanfsortenversuch (Parzellenversuch) Lohsa 2002

Der Sortenversuch mit sechs Hanfsorten wurde 2002 in enger Zusammenarbeit mit der Bio-Chem Agrar GmbH auf einer in den 80er Jahren rekultivierten Fläche der Weißkollmer Agrarproduktions GmbH am Standort Lohsa als Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Rekultivierungsfläche weist an der Oberfläche eine im Rekultivierungsprozess aufgetragene Schluffschicht von etwa zwei Metern auf, der pH-Wert lag bei 5,7, die Versorgung mit Kalium und Magnesium war gut bis sehr gut, lediglich bei Phosphor lag sie im unteren Bereich. Seit der Rekultivierung wurden Getreide, Raps und Futterpflanzen, im Jahr vor dem Hanfanbauversuch Silomais angebaut. Die dabei erreichten Erträge lagen weit unter dem Durchschnitt und schwankten sehr stark (z. B. Getreide von 6,8 dt/ha bis 32,0 dt/ha). Unmittelbar vor der Anlage des Hanfversuches wurden 120 kg N, 80 kg P und 80 kg K je Hektar ausgebracht. Nach der Aussaat am 14. Mai kam es zu einer langsamen Pflanzenentwicklung, während der Vegetationsperiode infolge des schwachen Wuchses der Hanfpflanzen zu zunehmendem Unkrautdruck, aber nicht zu trockenheitsbedingten Stresssituationen. Tabelle 13 zeigt die am Standort Lohsa geprüften Sorten und die erreichten Stängel- und Fasererträge.

Tabelle 13: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Lohsa 2002 (rekult. Kippenstandort)

Sorten	Stängelertrag ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)	Faserertrag (dt/ha)
Epsilon 68	55,31	9,49
Fedora 17	71,75	14,31
Felina 34	64,00	13,02
Ferimon 12	66,11	13,52
Futura 75	84,64	16,76
USO 31	42,56	10,87
Mittel	64,06	13,00
GD 5 %	10,79	2,88

Die Stängel- und Fasererträge lagen insgesamt deutlich unter denen anderer Versuchsstandorte. Die Ertragsunterschiede zwischen den Sorten waren vor allem beim Stängelertrag erheblich. Die Tatsache, dass Sorten mit niedrigen

Stängelerträgen hohe Faseranteile in den Stängeln aufweisen und dadurch noch mittlere Fasererträge erreichen, konnte auch am Standort Lohsa beobachtet werden.

Tabelle 14: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Lohsa 2002 (rekult. Kippenstandort)

Sorten	Fasergehalt des Stängels (%)	Faserfestigkeit (cN/tex)	Höchstzugkraft-Dehnung (%)
Epsilon 68	17,15	39,94	2,60
Fedora 17	19,95	49,75	3,19
Felina 34	20,35	42,52	2,19
Ferimon 12	20,45	39,40	2,66
Futura 75	19,80	40,85	1,89
USO 31	25,55	43,33	2,17
Mittel	20,54	42,63	2,45

Im Gegensatz zu den gemessenen sortenbedingten Ertragsdifferenzen waren beim Qualitätsmerkmal Faserfestigkeit bei insgesamt hohem Niveau die Sortenunterschiede gering (Tabelle 14). Lediglich Fedora 17 wies eine überdurchschnittliche Faserfestigkeit auf.

Hanfanbauversuche (Praxisversuch) Daubitz und Lieske 2002

Unmittelbar am Südrand der Muskauer Heide wurde 2002 auf einem grundwassernahen D 2-Standort der Schlesischen Agrargesellschaft Daubitz e. G. ein Anbauversuch mit drei sehr unterschiedlichen Hanfsorten durchgeführt: der sehr frühreifenden USO 31, der mittel-frühen Fedora 17 und der spätreifenden Epsilon 68. Parallel dazu erfolgte im Landkreis Kamenz auf einem wenig grundwasserbeeinflussten D2-Standort des Missionshofes Lieske der Anbau der Sorten Fedora 17 (mittelfrüh) und Futura 75 (spätreifend). Die Aussaat erfolgte mit 40 kg Saatgut/ha an beiden Standorten am 4. Mai. Stickstoff wurde als Kalkammonsalpeter (120 kg N abzüglich Nmin) ausgebracht. Die Saaten liefen an beiden Standorten zügig auf und entwickelten sich bei ausreichenden Niederschlä-

gen und überdurchschnittlichen Temperaturen gut. Im Verlauf der Vegetationsperiode kam es in Daubitz zu einer sortenbedingten starken Differenzierung in der Wuchshöhe, die in diesem Ausmaß in Sachsen bisher nicht beobachtet wurde. Während USO 31 mit etwa 1,80 m und Fedora 17 mit etwa 2,30 m zum Erntetermin am 26. August sortentypische Wuchshöhen aufwiesen, konnten bei Epsilon 68 mittlere Wuchshöhen von etwa 3,60 m beobachtet werden, wobei viele Pflanzen über vier Meter Wuchshöhe erreichten. Allerdings ging die große Wuchshöhe mit einer starken Selbstausdünnung des Bestandes durch frühes Absterben vieler Pflanzen einher. Die Sorte Epsilon 68 erreichte bis zum Erntetermin nicht das Stadium der Vollblüte. Infolge der ungenügenden Reife (geringer Trockensubstanzgehalt) und der geringen Bestandesdichte zum Erntetermin konnte Epsilon 68 trotz sehr großer Wuchshöhe keine Spitzenerträge erzielen. Am Standort Lieske unterschieden sich die beiden angebaute Sorten in der Wuchshöhe wenig und lagen bei etwa 2,20 m. Die an beiden Standorten erreichten Erträge sind in Tabelle 15, die Faserqualitätsmerkmale in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 15: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Daubitz und Lieske 2002

Sorten	Stängelерtrag ungeröstet, ohne Blätter und Samen, lufttrocken (dt/ha)	Faserertrag (dt/ha)
Standort Daubitz (D1-D2, grundwasserbeeinflusst)		
Fedora 17	108,50	24,09
Epsilon 68	98,00	17,93
USO 31	69,00	16,91
Mittel	91,83	19,64
Standort Lieske (D1, wenig grundwasserbeeinflusst)		
Fedora 17	75,50	15,40
Futura 75	102,00	19,89
Mittel	88,75	17,65

Das an beiden Standorten erreichte Ertragsniveau ist unter Berücksichtigung der geringen Bodenqualität und der verwendeten Sorten als gut einzuschätzen. Der in Daubitz bei Fedora 17 im Vergleich zu Lieske gemessene höhere Ertrag und die besseren Qualitätseigenschaften können mit der in Daubitz besseren Wasser-

versorgung (grundwasserbeeinflusst) erklärt werden. Auch die große Wuchshöhe der Sorte Epsilon 68 und ihre verzögerte Ausreife, verbunden mit einem geringen Fasergehalt des Stängels, ist möglicherweise die Folge einer reichlichen Wasserverfügbarkeit.

Tabelle 16: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Daubitz und Lieske 2002

Sorten	Fasergehalt des Stängels (%)	Faserfestigkeit (cN/tex)	Höchstzugkraft-Dehnung (%)
Standort Daubitz (D1-D2, grundwasserbeeinflusst)			
Fedora 17	22,2	40,74	1,72
Epsilon 68	18,30	29,36	1,27
USO 31	24,50	36,14	1,55
Mittel	21,67	35,41	1,51
Standort Lieske (D1, wenig grundwasserbeeinflusst)			
Fedora 17	20,4	37,31	1,74
Futura 75	19,50	37,05	1,62
Mittel	19,95	37,18	1,68

Die beobachteten Qualitätsmerkmale entsprechen in ihrer Tendenz den Ergebnissen von Anbauversuchen an anderen Standorten. Eine Ausnahme bildet die Sorte Epsilon 68, die wegen ungenügender Reife schlechtere Qualitätseigenschaften aufwies.

Die Ergebnisse der im Zusammenhang mit dem vorgesehenen Aufbau eines Hanfverarbeitungs-zentrums in der Oberlausitz 2002 durchgeführten Hanfanbauversuche deuten darauf hin, dass

- auf rekultivierten Kippenstandorten nur sehr geringe Hanfstroherträge, die keinen wirtschaftlichen Anbau erlauben, zu erwarten sind.
- auf leichten D-Standorten bei ausreichender Wasserversorgung und an-

gemessener Düngung mittlere Hanfstroherträge erreicht werden können.

- sich der Anbau auf rekultivierten Kippenstandorten und leichten D-Standorten bei ausreichender Ausreife nicht negativ auf die Faserqualität auswirkt.

Es ist aber zu beachten, dass auf der Grundlage der vorliegenden nur einjährigen Untersuchungsergebnisse noch keine belastbaren Aussagen möglich sind. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die 2002 erreichten Ergebnisse sicher wiederholbar sind, da im Untersuchungs-jahr überdurchschnittliche Temperaturen und eine für den Hanf nahezu optimale Niederschlagsverteilung zu verzeichnen war.

In Jahren mit ausgeprägter Sommertrockenheit sind auf leichten Böden, falls der Hanf das Grundwasser nicht erreichen kann, starke Ertragsbeeinträchtigungen möglich. Dies sollte bei Hanfanbau für Erstverarbeitungsanlagen Berücksichtigung finden. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, sollte eine Reserve für den Ausgleich von trockenheitsbedingten Mindererträgen gebildet werden.

Vergleich des Ertrags- und Qualitätsniveaus von Hanf an unterschiedlichen sächsischen Standorten

Einen Vergleich der während des Projektzeitraumes an unterschiedlichen sächsischen Standorten erreichten Ertrags- und Qualitätsparameter zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Ertrag und Faserfestigkeit von Hanf an unterschiedlichen sächsischen Standorten, Durchschnitt der pro Untersuchungsjahr angebauten Sorten

Standorte	Stängelерtrag, ungeröstet, ohne Blätter und Samen (dt/ha)	Faserertrag (dt/ha)	Faserfestigkeit (cN/tex)
2000			
Nossen	112,69	25,71	42,95
Gebelzig	129,86	27,12	33,67
Hartmannsdorf	118,30	n. e.	n. e.
2001			
Nossen	137,66	31,74	30,30
Gebelzig	60,43	16,03	29,73
Pleißä	85,87	23,19	40,41
2002			
Nossen	115,20	21,43	29,05
Lohsa	64,06	13,00	42,63
Daubitz	91,83	19,64	35,41
Lieske	88,75	17,65	37,18

n.e.: nicht ermittelt,

Die 2000 in Sachsen stark ausgeprägte Fröhsommertrockenheit mit hohen Temperaturen wirkte sich in der etwas niederschlagsreicheren Vorgebirgslage Hartmannsdorf weniger negativ auf den Hanfertrag aus als in Nossen mit geringeren Niederschlägen bei deutlich besseren Böden. Besonders in trockenen Jahren kann das Erzgebirgsvorland einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Die besten Ergebnisse waren 2000 am Oberlausitzer Standort Gebelzig, wo eine relativ gleichmäßige Niederschlagsverteilung vorlag, zu beobachten.

Im Fröhsommer des Jahres 2001 waren im Erzgebirgsvorland geringere Fröhsommertemperaturen bei höheren Niederschlägen zu verzeichnen als 2000. Die geringeren Temperaturen führten 2001 am Standort Pleißä im Jugendstadium des Hanfs zu verzögertem Wachstum und in der Folge zu geringeren Stängelерträgen als 2000 im benachbarten Hartmannsdorf. Dagegen wurden in Nossen Spitzenerträge erreicht. Der 2001 beobachtete geringe Durchschnittsertrag in Gebelzig ist hauptsächlich auf ungünstige lokale Bodenverhältnisse (Bodenverdichtung) zurückzuführen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Hanferträge über die Jahre stark differieren können. Die höchste Stabilität wiesen die Erträge in Nossen auf. Der dort vorhandene Lößboden kann durch seine hohe Wasserspeicherfähigkeit Trockenperioden besser ausgleichen. Der gleichzeitige Hanfanbau an unterschiedlichen Standorten trägt dazu bei, Ertragschwankungen teilweise auszugleichen und somit die Versorgungssicherheit zu verbessern.

Gemessen an den jahresabhängig beachtlichen Unterschieden der Ertragsmerkmale Stängel- und Faserertrag sind die Schwankungen der Festigkeit der Fasern relativ gering. Die meisten Sorten erreichten mittlere Reißfestigkeiten (30 – 40 cN/tex).

Hanfartenempfehlungen für sächsische Standorte

Im Ergebnis der vorliegenden Anbauversuche, der Untersuchungsergebnisse von RÖHRICHT und SCHULZ, 2000 sowie weiterer Anbauerfahrungen können die in Tabelle 18 dargestellten Empfehlungen zur Hanfsortenwahl für unterschiedliche sächsische Anbauggebiete gegeben werden.

Tabelle 18: Hanfsortenempfehlungen für sächsische Anbauggebiete

Standort	empfohlene Hanfsorten und Reifetermin #
Mittelsächsisches Hügelland (Lö- Standorte)	Beniko (m), Epsilon 68 (s), Futura 75 (s), Felina 34 (m), Ferimon 12 (f), Fedora 17 (m)
Erzgebirgsvorland (Lö 6- und besse- re V-Standorte)	Beniko (m), Bialobrzeskie (m), Felina 34 (m), Fedo- ra 17 (m), USO 31* (sf)
bessere D-Standorte der Oberlausitz	Beniko (m), Ferimon 12 (f), Bialobrzeskie (m), Fe- dora 17 (m), Futura 75 (s), Felina 34 (m), Epsilon 68 (s)

Reifeterminen: sf = sehr früh, f = früh, m = mittel, s = spät; * für Lagen über ca. 300 m ü. NN

Hauptkriterium für die Empfehlung ist der erreichbare Faserertrag. Vor dem Anbau ist aber stets die aktuelle Zulassungssituation, die bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung in Frankfurt a. M. erfragt werden kann, zu beachten.

Im Einzugsbereich jeder Erstverarbeitungsanlage sollten mehrere Sorten mit unterschiedlichen Reifeterminen angebaut werden, um das Ernterisiko zu minimieren und die Erntetechnik besser auslasten zu können.

Ertragsfähigkeit und Faserqualität von Flachssorten am Standort Forchheim

Die bereits in den 90er Jahren begonnene Prüfung von Flachssorten am Standort Forchheim/Erzgebirge wurde in den Jahren 2000 bis 2002 weitergeführt. Im Jahr 2002 kam es im Gegensatz zu den Vorjahren nicht zur Ermittlung des Fasergehaltes und der Faserqualitätsmerkmale Faserfestigkeit und Faserfeinheit, da das in diesem Jahr geerntete Flachstroh unwetterbedingt eine sehr schlechte Qualität aufwies. Deshalb konnte für 2002 auch kein Faserertrag berechnet werden. In Tabelle 19 sind die erzielten Grünstroh- und Fasererträge, in Tabelle 20 die ermittelten Faserqualitätsmerkmale dargestellt.

Tabelle 19: Grünstroh- und Fasererträge von Flachssorten, Forchheim 2000 bis 2002 (V8)

Sorten	Grünstrohertrag, geriffelt, lufttrocken (dt/ha)			Faserertrag (dt/ha)	
	2000	2001	2002	2000	2001
Agatha	kein Anbau	kein Anbau	79,38	kein Anbau	kein Anbau
Ariane	76,10	kein Anbau	kein Anbau	23,59	kein Anbau
Elektra	76,45	79,38	90,63	20,56	22,46
Escalina	68,65	kein Anbau	kein Anbau	18,88	kein Anbau
Evelin	79,69	76,25	74,38	24,23	24,63
Hermes	71,61	86,88	76,88	21,27	27,45
Ilona	69,28	80,63	80,63	19,19	27,74
Laura	82,30	66,88	80,63	23,13	17,39
Liviola	67,84	kein Anbau	kein Anbau	19,40	kein Anbau
Liflax	74,48	kein Anbau	kein Anbau	21,30	kein Anbau
Marylin	73,43	78,13	85,63	19,53	26,95
Veralin	kein Anbau	78,13	83,13	kein Anbau	23,60
Viola	76,54	81,88	kein Anbau	23,27	24,97
Sortenmischungen (je 50 % beider Sorten)					
Laura+ Viola	84,46	80,00	kein Anbau	21,20	22,40
Laura+ Marylin	79,81	73,13	kein Anbau	22,59	22,01
Mittel	75,43	78,13	81,41	21,40	23,96

Die in Forchheim erreichten Flachsgrünstroh- und Fasererträge lagen im gesamten Projektzeitraum auf einem hohen Niveau und

schwankten jahresbedingt nur wenig. Dies spricht für die gute Eignung des Standortes für den Flachs-anbau. Zu beachten ist, dass es sich

um Ergebnisse von Parzellenversuchen handelt, bei denen infolge optimaler Anbaubedingun- gen in der Regel um etwa 20 Prozent höhere Erträge als im Praxisanbau erwartet werden können.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache sind im Anbaugebiet bei Nutzung des gesamten geprüf- ten Sortenspektrums Flachsröhrstroherträge von 60 bis 65 dt/ha und Fasererträge (im Stroh

enthaltene Fasermengen ohne Verarbeitungs- verluste) von 17 – 18 dt/ha realistisch. Bei Unter- stellung eines Röstverlustes von 20 Prozent, bezogen auf den Flachsröhrstrohertrag, sind erntbare Flachsröhrstroherträge von etwa 50 dt/ha zu erwarten. Bei Optimierung des Sorten- spektrums durch bevorzugten Anbau der er- tragreichsten Sorten lässt sich das Ertragsni- veau weiter steigern.

Tabelle 20: Faserqualitätsmerkmale von Flachssorten, Forchheim 2000 und 2001 (V8)

Sorten	Faserfestigkeit (cN/tex)		Faserfeinheit (IFS-Index)		Höchstzugkraft-Dehnung (%)	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Ariane	31,81	kein Anbau	192,27	kein Anbau	1,88	kein Anbau
Elektra	32,74	40,23	145,96	146,12	2,20	1,96
Escalina	36,87	kein Anbau	222,64	kein Anbau	1,94	kein Anbau
Evelin	40,61	42,03	146,64	214,97	2,45	1,78
Hermes	31,57	42,48	139,47	299,94	2,01	1,97
Ilona	38,51	46,86	203,16	152,13	2,28	2,14
Laura	40,65	41,69	284,76	226,79	2,55	1,74
Liviola	42,42	kein Anbau	203,24	kein Anbau	2,46	kein Anbau
Lifflax	39,03	kein Anbau	188,06	kein Anbau	2,35	kein Anbau
Marylin	38,49	43,48	211,77	270,29	2,32	2,17
Veralin	kein Anbau	44,52	kein Anbau	235,82	kein Anbau	2,05
Viola	36,62	46,35	357,94	238,99	2,08	2,10
Sortenmischungen (je 50 % beider Sorten)						
Laura+ Viola	35,23	44,57	274,37	246,87	2,00	2,02
Laura+ Marylin	35,93	39,02	219,78	202,00	2,15	1,90
Mittel	36,96	43,12	214,62	223,39	2,21	1,98

Die gemessenen feinheitenbezogenen Faserfestigkeiten liegen bei allen Sorten und Sortenmischungen mit 30 bis 40 cN/tex im mittleren bzw. mit über 40 cN/tex im oberen Bereich. Damit sind gute Voraussetzungen für die Verwendung in textilen und technischen Einsatzbereichen gegeben. In der Langfaserlinie werden hohe Festigkeiten von 40 cN/tex und mehr erwartet. Mittlere Faserfestigkeiten von über 30 cN/tex erlauben - einen entsprechenden Aufschluss der Fasern vorausgesetzt - die Verwendung des Materials in der Produktlinie verspinnbare Kurzfasern mit dem Ziel der Herstellung von Obertrikotagen (HALKE, 1999). Für die Produktion von Möbel- und Autositzbezugsstoffen sind höhere Festigkeiten günstig zu bewerten (HALKE u. BIEBER, 2000).

Auch in technischen Anwendungsbereichen von Naturfasern, z. B. als Verstärkungsfaser in Verbundwerkstoffen, sind hohe Festigkeiten vorteilhaft (KÖHLER u. KESSLER, 1998; AUTORENKOLLEKTIV, 1995; HEIER et al., 1998; MIECK und REUßMANN, 1998). Eine gute Faserfeinheit wird für verspinnbare Kurzfasern verlangt. Auch in den Bereichen Verbundwerkstoffe und Geotextilien sind feine Fasern von Vorteil. Die in Form des IFS-Index vorliegenden

Messwerte zur Faserfeinheit (geringer IFS-Wert entspricht besserer Feinheit) sind nur eingeschränkt für die Bewertung von Flachskurzfasern nutzbar. Jedoch besteht eine noch nicht näher definierte Korrelation zwischen IFS-Index und Faserfeinheit (HALKE, 1999). Die ermittelte geringe Dehnbarkeit der Flachsfasern von nur 1,7 bis 2,5 Prozent (Baumwollfasern weisen eine Dehnfähigkeit von 8 bis 12 Prozent auf) ist im textilen Einsatzbereich bei der Herstellung von Mischgarnen nachteilig, für Verbundwerkstoffe jedoch vorteilhaft. Zwischen den geprüften Sorten bestehen insgesamt nur geringe Unterschiede in der Dehnbarkeit.

Sortenempfehlungen für Flachs

Auf der Grundlage der Ergebnisse des vorliegenden Sortenversuches und der im Vorgängerprojekt gewonnenen Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend Sortenempfehlungen für den Anbau von Flachs im Erzgebirgsraum gegeben. Vor der Anbauplanung sind die aktuelle Zulassungssituation und die Saatgutverfügbarkeit zu prüfen.

Aus der Sicht des erreichbaren Faserertrages sind die Sorten Hermes, Argos, Lifflax, Evelin, Ariane, Viking, Marylin und Ilona besonders

geeignet. Bei Hermes zeichnete sich allerdings in den letzten beiden Anbaujahren eine erhöhte Anfälligkeit für Mehltau ab, die weiter beobachtet werden sollte.

Im Interesse einer größeren Vielfalt der angebauten Sorten können auch Viola, Elektra, Veralin, Elise und Opaline, wenn auch mit geringeren Flächenanteilen, in den Anbau einbezogen werden. Bei Viola war wiederholt verstärkte Lagerneigung zu beobachten.

Die Sorten Liviola und Escalina sollten wegen unter den gegebenen Anbaubedingungen ungenügender Ertragsleistungen nicht mehr zum Anbau kommen. Laura und die Sortenmischungen von Laura mit Viola und Marylin konnten ebenfalls die Ertrags Erwartungen nicht erfüllen. Laura war aber in den letzten Jahren die Sorte mit der besten Standfestigkeit und wurde für die Herstellung verspinnbarer Flachskurzfaser bevorzugt.

3.2 Prüfung extensiver Anbauformen bei Faserhanf

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, weitere Möglichkeiten der Kostenminimierung im Anbauverfahren des Hanfs zu finden, die keine oder nur geringfügige negative Auswirkungen auf wichtige Ertrags- und Qualitätsmerkmale haben. Mit Hilfe von Parzellenversuchen wurde untersucht, ob und in welchem Maße sich diese Merkmale negativ verändern, wenn die Intensität bei den Faktoren Bodenbe-

arbeitung, Stickstoffdüngung und Saatstärke gegenüber einer in der Praxis üblichen „Standardvariante“ vermindert wird. Aufbauend auf den dabei gewonnenen Ergebnissen wurde ein Vergleich zwischen dem in den einzelnen Intensitätsstufen unter Praxisbedingungen notwendigen finanziellen Produktionsaufwand und den zu erwartenden Einnahmen aus dem Verkauf des Produktes Hanfröststroh angestellt, um die wirtschaftliche Auswirkung der Einsparung der Produktionsfaktoren herauszustellen. Die Vergleichsberechnungen erfolgten auf der Grundlage von gemeinsam mit SCHAERFF, 2002 und 2003 erarbeiteten Daten zu den Kosten der in den Versuchsvarianten nachgestellten Produktionsverfahren. Als betriebswirtschaftliche Vergleichsgröße wurde das „Ergebnis ohne Gemeinkosten“ gewählt.

Minimierung von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung

Die Untersuchungen zum Einfluss minimierter Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen gegenüber einer praxisüblichen Standardvariante verringerten Stickstoffgaben wurden 2002 am Standort Nerchau in Zusammenarbeit mit der BioChem agrar GmbH auf Flächen der Nerchau-Mutzschener Agrar- und Service GmbH durchgeführt. Die Varianten des nach Maisvorfrucht mit vier Wiederholungen angelegten Parzellenversuches (Parzellengröße je 12 m²) zeigt Tabelle 21.

Tabelle 21: Prüfglieder eines Versuches zur Minimierung von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung, Nerchau 2002 (Lö4-Standort)

Prüfglied	Beschreibung
	mit Pflugfurche)
1.1	„Standardvariante“: 120 kg N/ha abzüglich N _{min} im Frühjahr, als KAS
1.2	60 kg N/ha mineralisch (KAS)
1.3	30 kg N/ha mineralisch (KAS)
	Minimalbodenbearbeitung
2.1	120 kg N/ha abzüglich N _{min} im Frühjahr, als KAS
2.2	60 kg N/ha mineralisch (KAS)
2.3	30 kg N/ha mineralisch (KAS)

Die Bodenbearbeitungsvarianten sind wie folgt definiert:

Varianten „mit Pflugfurche“:

Stoppelbearbeitung, Pflugfurche (ca. 25 cm), Saatbettbereitung im Frühjahr: zweimal Saatbettkombination

Varianten „Minimalbodenbearbeitung“:

Stoppelbearbeitung im Herbst, Saatbettbereitung im Frühjahr: Grubber und Saatbettkombination

Zur Aussaat kam Saatgut der Sorte Fedora 17 mit einer Saatstärke von einheitlich 250 keimfähigen Samen/m² (entspricht bei TKM von 14,5 g und Keimfähigkeit von 90 % ca. 40 kg Saatgut/ha) mit getreideüblichem Reihenabstand (13,5 cm) und einer Saattiefe von 3 cm.

Erträge und Qualitätseigenschaften

Bei Wuchshöhe und Stängeldurchmesser sind deutliche Unterschiede zwischen den Varianten

Pflugfurche und Minimalbodenbearbeitung erkennbar. Die Überlegenheit der Pflugfurchevarianten lässt sich beim Merkmal

Wuchshöhe durchgängig auch statistisch absichern (Tabelle 22).

Tabelle 22: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf Stängeldurchmesser und Wuchshöhe von Hanf, Nerchau 2002 (Lö4)

Varianten	Stängeldurchmesser (mm)	Wuchshöhe (cm)
mit Pflugfurche		
Standardvariante	10,43	270,19
60 kg N/ha (KAS)	9,85	263,56
30 N kg N/ha (KAS)	9,11	259,61
Mittel Pflugfurche	9,80	264,45
Minimalbodenbearbeitung		
120 kg N/ha (KAS) abzügl. Nmin	9,80	247,13
60 kg N/ha (KAS)	9,55	245,38
30 N kg N/ha (KAS)	8,88	241,13
Mittel Minimalbodenbearbeitung	9,41	244,55
Mittel alle Varianten	9,60	254,50
GD 5 %	0,54	6,57

Innerhalb beider Bodenbearbeitungsvarianten wird deutlich, dass geringere Stickstoffgaben stets auch zu geringeren Stängeldurchmessern und Wuchshöhen führen.

Die Überlegenheit der Pflugfurche ist in noch stärkerem Maße beim Stängelertrag (ungeröstet, ohne Blätter und Samen), beim Fasergehalt des Stängels und beim Faserertrag zu beobachten (Tabelle 23).

Eine Verschlechterung der Ertragsparameter und des Fasergehaltes im Stängel durch geringere Stickstoffgaben ist nur bei den Varianten mit Minimalbodenbearbeitung nachweisbar. Das hohe Ertragsniveau der Variante Pflugfurche/30 kg N ist nicht erklärbar und sollte nicht überbewertet werden. Ursache ist möglicherweise eine nicht erkannte Unregelmäßigkeit des Anbauschlages.

Tabelle 23: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf den Ertrag und Fasergehalt von Hanf, Nerchau 2002 (Lö4)

Varianten	Stängelertrag (dt/ha)	Fasergehalt des Stängels (%)	Faserertrag (dt/ha)
mit Pflugfurche			
Standardvariante	99,91	17,48	17,47
60 kg N/ha (KAS)	97,57	18,34	17,90
30 N kg N/ha (KAS)	106,41	18,20	19,36
Mittel Pflugfurche	101,30	18,01	18,24
Minimalbodenbearbeitung			
120 kg N/ha (KAS) abzügl. Nmin	75,63	14,14	10,70
60 kg N/ha (KAS)	68,41	13,00	8,89
30 N kg N/ha (KAS)	67,75	12,53	8,49
Mittel Minimalbodenbearbeitung	70,59	13,22	9,36
Mittel alle Varianten	85,95	15,62	13,80
GD 5 %	16,05		2,94

Die Faserqualitätsmerkmale feinheitbezogene Faserfestigkeit (Reißkraft in cN/tex) und Dehnbarkeit bei Höchstzugkraft werden durch unterschiedliche Bodenbearbeitungsmaßnahmen

kaum beeinflusst. Auch bei unterschiedlicher Intensität der Stickstoffdüngung zeigten sich keine eindeutigen Auswirkungen auf die Qualitätsmerkmale (Tabelle 24).

Tabelle 24: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf Qualitätsmerkmale von Hanffasern, Nerchau 2002 (L64)

Varianten	Faserfestigkeit (cN/tex)	Höchstzugkraft-Dehnung (%)
mit Pflugfurche		
Standardvariante	28,64	1,99
60 kg N/ha (KAS)	26,68	1,59
30 N kg N/ha (KAS)	31,72	2,01
Mittel Pflugfurche	29,01	1,86
Minimalbodenbearbeitung		
120 kg N/ha (KAS) abzügl. Nmin	28,51	1,95
60 kg N/ha (KAS)	31,02	1,85
30 N kg N/ha (KAS)	26,43	1,61
Mittel Minimalbodenbearbeitung	28,65	1,80
Mittel alle Varianten	28,83	1,83

Im Ergebnis der Auswertung des Versuches ist festzustellen, dass sich beim Hanfanbau der Verzicht auf eine Herbstfurche zugunsten der Minimalbodenbearbeitung sehr negativ vor allem auf die Ertragsparameter Stängeltrag und Faserertrag auswirkt. Die Qualität wird dagegen kaum beeinflusst.

Einfluss verringerter Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf die Wirtschaftlichkeit

Die stark ausgeprägte Überlegenheit der Pflugfurche gegenüber der Minimalbodenbearbei-

tung beim Stängeltrag wirkt sich auch auf das wirtschaftliche Ergebnis aus (Tabelle 25). Bei der in Zusammenarbeit mit SCHAERFF, 2003 durchgeführten Berechnung wurde von den im Versuch erreichten Stängelträgen, einem Röstverlust von 20 Prozent, einem Röststrohverkaufspreis von 80 €/t und der für Sachsen z. Z. gültigen Hanfbeihe von 392,49 €/ha ausgegangen. Als Saatgutkosten wurden 164 €/ha (40 kg Saatgut/ha bei einem mittleren Saatgutpreis von 4,10 €/kg) angenommen.

Tabelle 25: Einfluss verringerter Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf das wirtschaftliche Ergebnis der Hanfröststroherzeugung, Basis: Parzellenversuch Nerchau 2002

Variante	Stängel- ertrag (dtha)	Röst- stroh- ertrag (dt/ha)	Erlös (€/ha)	Einnah- men mit Beihe (€/ha)	Kosten o. Gemeink. (€/ha)	Ergebnis o. Ge- meink. (€/ha)	Vergleich zu Stan- dardvar. (+/- €/ha)
mit Pflugfurche							
Standardvariante*	99,91	79,93	639,42	1031,91	830,76	201,15	0
60 kg N/ha	97,57	78,06	624,45	1016,94	813,96	202,98	+ 1,83
30 N kg N/ha	106,41	85,13	681,02	1073,51	797,16	276,35	+ 75,20
Minimalbodenbearbeitung							
120 kg N/ha abzügl. Nmin*	75,63	60,50	484,03	876,52	759,58	116,94	- 84,21
60 kg N/ha	68,41	54,73	437,82	830,31	742,78	87,53	- 113,62
30 N kg N/ha	67,75	54,20	433,60	826,09	725,98	100,11	- 101,04

* Annahme für wirtschaftliche Berechnung: 30 kg Nmin/ha, deshalb Düngung von 90 kg N/ha als KAS

Die durch verringerte Bodenbearbeitung um 71,18 €/ha geringeren Kosten können die deutlich niedrigeren Erträge und Verkaufserlöse nicht ausgleichen. Das wirtschaftliche Ergebnis aller Varianten mit Minimalbodenbearbeitung

liegt erheblich unter dem der Varianten mit Pflugfurche. Aus den Ergebnissen des Versuches ist ableitbar, dass bei Hanfanbau auf eine Pflugfurche trotz der damit verbundenen höheren Kosten nicht verzichtet werden sollte.

Reduzierte Saatstärke bei verringerter Stickstoffdüngung

Im Jahr 2002 wurden mit Hilfe eines Parzellenversuches in der Versuchsstation Roda der LfL die Auswirkungen einer reduzierten Saatstärke bei gleichzeitig verringerter Stickstoffdüngung und verschiedenen Stickstoffformen (mineralisch und als Gülle – Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)) im Vergleich zur in der Praxis üblichen „Standardvariante“ untersucht. Hanfsaatgut der Sorte Fedora 17 wurde nach Phaceliavorfrucht

mit einem Reihenabstand von 16 cm und einer Saattiefe von 4 cm ausgesät. Die für die Prüfglieder verwendeten Saatstärken und Stickstoffstufen sind in Tabelle 26 ersichtlich. Die „Standardvariante“ entspricht der im oben beschriebenen Versuch verwendeten gleichnamigen Version. Die Düngerausbringung erfolgte vor der Aussaat. Als mineralischer Stickstoffdünger wurde Kalkammonsalpeter verwendet, in den Güllevarianten kam Rindergülle zum Einsatz.

Tabelle 26: Prüfglieder eines Versuches zur Minimierung der Saatstärke und bei verringerter Stickstoffdüngung mit unterschiedlichen N - Formen, Roda 2002 (L64)

Prüfglied	Beschreibung
1	„Standardvariante“ (250 keimf. Samen/m ² , 120 kg N/ha abzügl. N _{min} als KAS)
125 keimfähige Samen/m ²	
2	60 kg N/ha mineralisch (KAS)
3	30 kg N/ha mineralisch (KAS)
4	60 kg N/ha als Gülle-Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)
5	30 kg N/ha als Gülle- Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)
250 keimfähige Samen/m ²	
6	60 kg N/ha mineralisch (KAS)
7	30 kg N/ha mineralisch (KAS)
8	60 kg N/ha als Gülle- Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)
9	30 kg N/ha als Gülle- Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)

Die Varianten mit Saatstärken von 125 keimfähigen Samen/m² wiesen im Durchschnitt statistisch abgesichert deutlich höhere Stängel- und

Fasererträge als die mit der höheren Saatstärke und vergleichbarer N-Gabe auf (Tabelle 27).

Tabelle 27: Einfluss unterschiedlicher Saatstärken und Stickstoffgaben auf den Ertrag und Fasergehalt von Hanf, Roda 2002 (L64)

Varianten	Stängelertrag (dt/ha)	Fasergehalt Stängel (%)	Faserertrag (dt/ha)
Standardvariante	122,33	18,50	22,63
125 keimfähige Samen/m ²			
60 kg N (KAS)	125,81	18,67	23,49
30 kg N (KAS)	115,72	22,23	25,72
60 kg N (Gülle - MDÄ)	120,46	19,67	23,69
30 kg N (Gülle - MDÄ)	115,96	21,33	24,73
Mittel 125 keimf. Samen m ²	119,49	20,48	24,41
250 keimfähige Samen/m ²			
60 kg N (KAS)	113,51	20,80	23,61
30 kg N (KAS)	106,19	17,70	18,79
60 kg N (Gülle - MDÄ)	111,79	17,37	19,42
30 kg N (Gülle - MDÄ)	113,54	18,97	21,54
Mittel 250 keimf. Samen/m ²	111,26	18,71	20,84
Mittel alle Varianten	115,37	19,59	22,63
GD 5 %	13,60		2,57

Die Fasergehalte der Stängel und die geprüften Faserqualitätsmerkmale verhielten sich analog (Tabelle 28). Eine statistische Sicherung war aber hier nicht möglich, da Fasergehalt und Faserqualitätsmerkmale auf Einzelmessungen

beruhen. Die in der Praxis häufig angewandte „Standardvariante“ erreichte hohe Stängelerträge bei relativ geringen Fasergehalten des Stängels und vergleichsweise geringen Faserqualitäten.

Tabelle 28: Einfluss verschiedener Saatstärken und Stickstoffgaben auf Stängeldurchmesser und Qualitätsmerkmale von Hanffasern, Roda 2002 (Lö4)

Varianten	Stängeldurchmesser (mm)	Faserfestigkeit (cN/tex)	Höchstzugkraft-Dehnung (%)
Standardvariante	6,59	33,23	1,49
125 keimfähige Samen/m ²			
60 kg N (KAS)	7,64	35,78	1,65
30 kg N (KAS)	6,75	42,83	1,90
60 kg N (Gülle - MDÄ)	7,33	38,25	1,86
30 kg N (Gülle - MDÄ)	7,23	38,33	1,72
Mittel 125 keimf. Samen/m ²	7,23	38,80	1,78
250 keimfähige Samen/m ²			
60 kg N (KAS)	6,47	35,44	1,60
30 kg N (KAS)	6,02	36,22	1,64
60 kg N (Gülle - MDÄ)	6,42	35,78	1,79
30 kg N (Gülle - MDÄ)	6,48	33,68	1,62
Mittel 250 keimf. Samen/m ²	6,35	35,28	1,66
Mittel alle Varianten	6,77	37,04	1,72
GD 5 %	0,43		

Eine Abhängigkeit der Ertrags- und Qualitätsmerkmale von den Varianten der N-Düngung lässt sich nur bei der Saatstärke 125 keimfähige Samen feststellen (Tabelle 27). Geringere N-Gaben führen zu niedrigeren Stängelerträgen, aber auch zu höheren Fasergehalten im Stängel und besseren Faserqualitäten. Bei höheren Saatstärken sind solche Zusammenhänge nicht durchgängig zu beobachten.

Bei geringeren Saatstärken waren wegen des für die Einzelpflanzen verfügbaren größeren Standraumes durchgängig etwas größere Stängeldurchmesser zu beobachten als bei vergleichbaren Varianten mit höherer Saatstärke. Eine statistische Sicherung war aber nicht möglich. Eine Beeinträchtigung der Verarbeitbarkeit ist durch die geringfügig größeren Stängeldurchmesser nicht zu erwarten.

Einfluss verringerter Saatstärke und Stickstoffdüngung auf die Wirtschaftlichkeit

Bei der Berechnung der Auswirkung des verringerten Einsatzes von Produktionsfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit der Hanfröststroherzeugung wurde von den im Versuch erreichten Stängelerträgen und den gleichen Bedingungen bei Röstverlust, Verkaufspreis und Hanfbehilfe wie im oben beschriebenen Versuch ausgegangen. Als Saatgutkosten wurden bei den Varianten mit 125 keimfähigen Samen/m²

82 €/ha, bei denen mit 250 keimfähigen Samen/m² 164 €/ha angenommen. In Tabelle 29 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Das Ergebnis ohne Gemeinkosten konnte durch die Halbierung des Saatguteinsatzes bei allen Düngungsvarianten erheblich verbessert werden. Dazu trägt neben der unmittelbaren Einsparung von Saatgutkosten in Höhe von 82 €/ha auch der bei allen Versuchsvarianten mit geringerer Saatstärke festgestellte, im Vergleich zu den entsprechenden Varianten mit 250 keimfähigen Samen/m², höhere Stängelertrag bei.

Die Form der Stickstoffdüngung beeinflusst den Stängelertrag kaum. Das bei Gülleverwendung im Vergleich zur Mineraldüngung deutlich günstigere wirtschaftliche Ergebnis ist auf die geringeren Kosten zurückzuführen. Allerdings ist dabei zu beachten, dass in der Berechnung für die Gülle selbst keine Materialkosten, sondern nur die Kosten für Ausbringung angesetzt wurden. Ferner wurde unterstellt, dass die Gülle auch den Bedarf an Phosphor und Kalium deckt und deshalb keine zusätzliche PK - Düngung erfolgt. Dagegen sind bei mineralischer N - Düngung Kosten für die PK - Düngung berücksichtigt.

Tabelle 29: Einfluss verringerter Saatstärke und unterschiedlicher Stickstoffdüngung auf das wirtschaftliche Ergebnis der Hanfröststroherzeugung, Basis: Parzellenversuch Roda 2002 (L64)

Variante	Stängel- ertrag (dtha)	Röst- stroh- ertrag (dt/ha)	Erlös (€/ha)	Einnah- men mit Beihilfe (€/ha)	Kosten o. Gemeink. (€/ha)	Ergebn.o. Gemeink. (€/ha)	Vergleich zu Stan- dardvar. (+/- €/ha)
Standardvariante *	122,33	97,86	782,91	1175,40	830,76	344,64	0
125 keimfähige Samen/m ²							
60 kg N (KAS)	125,81	100,65	805,18	1197,67	731,96	465,71	+ 121,07
30 kg N (KAS)	115,72	92,58	740,61	1133,10	715,16	417,94	+ 73,30
60 kg N (Gülle-MDÄ)	120,46	96,37	770,94	1163,43	681,20	482,23	+ 137,59
30 kg N (Gülle-MDÄ)	115,96	92,77	742,14	1134,63	642,14	492,49	+ 147,85
250 keimfähige Samen/m ²							
60 kg N (KAS)	113,51	90,81	726,46	1118,95	813,96	304,99	- 39,65
30 kg N (KAS)	106,19	84,95	679,62	1072,11	797,16	274,95	- 69,66
60 kg N (Gülle-MDÄ)	111,79	89,43	715,46	1107,95	763,20	344,75	+ 0,11
30 kg N (Gülle-MDÄ)	113,54	90,83	726,66	1119,15	724,14	395,01	+ 50,36

* Pflugfurche, 250 keimfähige Samen/m², 120 kg N/ha (KAS) abzüglich Nmin; Annahme : 30 kg Nmin/ha

Wenn für die Gülle selbst Kosten anfallen, ist bei einem unterstelltem Preis von 3,55 €/m³, einem NH₄-N -Gehalt von 1,80 kg/m³ (ALBERT et al., 1997) und einem Mineraldüngeräquivalent von 60 % in Abhängigkeit von der auszubringenden Stickstoffmenge mit folgenden zusätzlichen Kosten zu rechnen:

30 kg N/ha als Gülle – MDÄ: 98,69 €/ha

60 kg N/ha als Gülle – MDÄ: 197,38 €/ha

Damit wäre vor allem bei Ausbringung der höheren Güllemenge eine starke Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit der N – Düngung in Form von Gülle gegenüber der Mineraldüngung gegeben. Die vorliegenden einjährigen Versuchsergebnisse bedürfen einer weiteren Überprüfung, deshalb wäre eine Wiederholung des Versuches sinnvoll.

3.3 Entwicklung eines neuen Hanfernte- verfahrens - die Köpfschnittmethode

Neben den Hanffasern sind auch die Hanfsamen vielseitig verwendbar. Aus ihnen kann z. B. Öl gewonnen werden, welches als Speiseöl, aber auch als Rohstoff für die Herstellung von Farben, Margarine und Kosmetika verwendet wird. Hanfsamen können auch direkt zur Nahrungsmittelherstellung (z. B. als Backzutaten) oder als Vogelfutter dienen.

Ein wichtiges Einsatzgebiet von Hanfsamen ist die Aufbereitung zu Saatgut. Hanfsaatgut ist relativ teuer, es kostet gegenwärtig etwa 3,00 bis 4,50 €/kg, wodurch sich bei einer Saatstärke

von 40 kg/ha Saatgutkosten von 120 bis 180 € je Hektar ergeben.

Die Gewinnung von Hanfsamen ist wegen der großen Wuchshöhe der Hanfpflanzen (sortenbedingt ca. zwei bis deutlich über drei Metern) mit herkömmlichen Mähdreschern, die meist eine maximale Schnitthöhe von etwa 1,2 bis 1,4 Metern haben, schwierig. Der Mähdrescher muss deshalb neben den gewünschten Samenständen erhebliche Mengen an Hanfstängeln aufnehmen, wodurch starke Belastungen der Dresch- und Reinigungsaggregate entstehen. Stillstandszeiten durch Verstopfungen und erhöhte Reparaturkosten sind die Folge.

Deshalb wurde nach einem Verfahren gesucht, mit dessen Hilfe die Samengewinnung mit herkömmlicher Technik (Mähdrescher) möglich ist. Gleichzeitig wurde untersucht, ob der Samenertrag gesteigert werden kann und das Koppelprodukt Hanfstroh noch nutzbar ist.

Ausgangspunkt, Fragestellung und Versuchsdurchführung

Wie die meisten dikotylen Pflanzen reagiert auch der Hanf bei Entfernung der Spitze des Haupttriebes („Köpfen“) mit der Ausbildung von Seitentrieben. Bei weiblichen Pflanzen bilden diese Seitentriebe Samenstände aus. Inwieweit sich diese Tatsache bei Hanf für die Samenertragssteigerung und Ernteerleichterung nutzen lässt, war unklar. Es stellten sich folgende Einzelfragen:

- In welchem Maße tolerieren Hanfpflanzen das Köpfen?
- Welche Saatstärke ist erforderlich?
- Bei welcher Wuchshöhe soll geköpft werden und in welcher Höhe soll der Schnitt erfolgen?
- Ist wegen der durch den Köpfschnitt verursachten zeitweiligen Schwächung der Hanfs mit verstärkter Verunkrautung zu rechnen?
- Wie viele Seitentriebe entwickeln sich und bilden sie Samenstände aus?
- Welche Wuchshöhe erreichen geköpfte Pflanzen im Vergleich zu nicht geköpften Pflanzen?
- Wie werden Samenertrag, Stängeltrag und Faserqualität beeinflusst?
- Ist der Mähdrusch des im Jugendstadium geköpften Hanfbestandes möglich?

Versuchsdurchführung

In der Literatur waren keine Antworten auf diese Fragen auffindbar. Deshalb wurden auf Flächen landwirtschaftlicher Unternehmen (Tabelle 30) von 1999 bis 2001 Anbauversuche zu den genannten Fragestellungen durchgeführt.

Tabelle 30: Versuchsorte des Köpfversuches und verwendete Hanfsorten

Versuchsjahr	Hanfsorte	Versuchsort	Unternehmen
1999	USO 31	Adorf (Erzgebirge)	Technofarm GbR Adorf
2000	Felina 34	Hartmannsdorf (b. Chemnitz)	Landwirtschaftsbetrieb St. Stiegler, Waldenburg
2001	Felina 34	Pleißä (b. Limbach-Oberfrohna)	Wirtschaftshof Sachsenland Röhrsdorf

Die Versuchsvarianten sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Varianten des Köpfversuches

Variante	Saatstärke (kg/ha)	Wuchshöhe des Hanfs bei Köpfschnitt (cm)	Höhe des Schnittes (cm)
1.1*	10	ohne Köpfschitt	
1.2*	10	50 - 60	40
1.3*	10	90 - 100	80
2.1	20	ohne Köpfschitt	
2.2	20	50 - 60	40
2.3	20	90 - 100	80

* nur 1999

Die Versuchspartellen mit einer Größe von jeweils etwa 0,2 ha waren nebeneinander angeordnet. Der Hanf wurde mit Reihenabständen von 45 cm ausgesät, um die für die Durchführung des Köpfschnittes notwendige Befahrbarkeit durch einen mit schmalen Pflegerädern ausgerüsteten Traktor zu sichern. Die Saatstärke war im Vergleich zum normalen Faserhanfanbau auf ein im Samenhanfanbau übliches Maß reduziert. Nach Erreichen der jeweils durch den Versuchsplan vorgegebenen Wuchshöhe wurde der Köpfschnitt 1999 mit einem am Traktor angebauten modifizierten BCS - Anbaumähbalken durchgeführt (Bild 2). In den Jahren 2000 und 2001 erfolgte der Köpfschnitt in gleicher Qualität mit einem Frontan-

baumähwerk. Für eine gleichmäßige Mahd ist eine Fortschrittsgeschwindigkeit von mindestens 6 – 8 km/h notwendig. Bei geringerer Geschwindigkeit haben die Pflanzen die Möglichkeit des Ausweichens, sie biegen sich bei Berührung mit dem Mähwerk vor dem eigentlichen Schnitt zu stark nach vorn, so dass der Schnitt höher am Stängel erfolgt.

Die durch die Berührung mit dem Traktor während der Überfahrt nach vorn umgebogenen (nicht überrollten) Hanfpflanzen richten sich unmittelbar nach der Überfahrt wieder vollständig auf. Bei exakter Fahrweise und geeigneter schmaler Bereifung kommt es nicht zum Überrollen von Hanfpflanzen.



Bild 2: Köpfen von Hanf mit modifiziertem Anbaumähbalken, Adorf 1999

In den 1999 in Adorf angelegten Versuchsvarianten mit einer Saatstärke von nur 10 kg/ha (1.1 bis 1.3) konnte sich der Hanf nicht erfolgreich gegen Unkräuter durchsetzen. Besonders starke Verunkrautung war in den Parzellen mit geköpftem und damit zeitweilig geschwächtem Hanf zu beobachten. Die Varianten mit geringer Saatstärke (1.1 bis 1.3) wurden deshalb als nicht aussichtsreich eingeschätzt und nicht in die weitere Auswertung einbezogen. In den Jahren 2000 und 2001 kamen nur noch die Varianten 2.1 bis 2.3 zum Anbau. Die Messungen der Wuchshöhe und die Zählungen der Anzahl der Austriebe erfolgte je Variante an fünf gleichmäßig über die Parzelle verteilten

Stellen an jeweils 20 Pflanzen, insgesamt an 100 Pflanzen/Variante. Die Stängel- und Fasererträge wurden in fünffacher Wiederholung ermittelt, die Faserqualitätsmerkmale je Variante anhand einer Mischprobe aus fünf Einzelproben.

Ergebnisse

Praktisch alle geköpften Hanfpflanzen treiben wieder aus und bilden meist zwei, mitunter auch vier Seitentriebe. Bild 3 zeigt frisch geköpfte Hanfpflanzen und den beginnenden Wiederaustrieb nach ca. zwei Wochen.



Bild 3: Hanfschlag nach dem Köpfschnitt (links) und bei 80 cm Schnitthöhe geköpfte Hanfpflanze ca. 2 Wochen nach dem Köpfschnitt mit beginnendem Wiederaustrieb (rechts)

Tabelle 32: Abhängigkeit der Anzahl der Samenstände je weiblicher Pflanze von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Versuche 1999 - 2001

Variante	1999	2000	2001	Mittel
ohne Köpfschnitt	1,00	1,00	1,00	1,00
Köpfschnitt 40 cm (ca. 50 cm Wuchshöhe)	1,49	2,28	2,20	1,99
Köpfschnitt 80 cm (ca. 100 cm Wuchshöhe)	1,79	2,42	2,25	2,15

Tabelle 32 zeigt, dass jede nicht geköpfte weibliche Pflanze einen Samenstand ausbildete. Die bei 40 cm geköpften Pflanzen bildeten im Mittel etwa zwei Samenstände, während die zu einem späteren Zeitpunkt bei 80 cm geköpften im Durchschnitt eine etwas höhere Rate an samen tragenden Neuaustrieben aufwiesen. Die 1999 beobachteten geringeren Anteile an Neuaustrieben sind möglicherweise auf die andere verwendete Hanfsorte USO 31 zurückzuführen. Bei der 2000 und 2001 angebauten Sorte Felina 34 konnte eine größere Wiederaustriebs-

rate beobachtet werden. Die Wuchshöhen der Hanfpflanzen verschiedener Varianten differierten zum Erntezeitpunkt deutlich (Tabelle 33). Die in ihrem natürlichen Wachstum nicht behinderten, nicht geköpften Pflanzen wiesen zur Ernte im September die größten Wuchshöhen auf. Die zu einem frühen Zeitpunkt bei 40 cm Höhe geköpften Pflanzen erreichten im Vergleich zu den später bei 80 cm geköpften Exemplaren nur eine im Mittel um 30 cm geringere endgültige Wuchshöhe.

Tabelle 33: Abhängigkeit der Wuchshöhe der Hanfpflanzen zum Erntezeitpunkt von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Versuche 1999 - 2001

Variante	Wuchshöhe der Pflanzen zum Erntezeitpunkt (cm)			
	1999	2000	2001	Mittel
Jahr				
ohne Köpfschnitt	222	216	216	218
Köpfschnitt 40 cm (ca. 50 cm Wuchshöhe)	147	136	134	139
Köpfschnitt 80 cm (ca. 100 cm Wuchshöhe)	156	176	174	169

Im Jahr 2000 wurde die Auswirkung des Köpfschnitts auf wichtige Ertrags- und Qualitätsmerkmale des Hanfs untersucht. Bei Stängel- und Faserertrag waren keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Variante „ohne Köpfschnitt“ und „Köpfschnitt bei 80 cm“ erkennbar, die Variante „Köpfschnitt bei 40 cm“ schnitt wesentlich schlechter ab. Beim Samen ertrag wurde eine deutliche Überlegenheit der

bei 80 cm geköpften Hanfpflanzen sichtbar. Die bereits bei 40 cm geköpften Pflanzen entwickelten nur kleine Samenstände. Sie erreichten trotz einer gegenüber der ungeköpften Variante verdoppelten Samenstandsanzahl die geringsten Samenerträge (Tabelle 34). Insgesamt blieb das Ertragsniveau bei Stängel, Fasern und Samen im Vergleich zu anderen Anbauversuchen und Praxisergebnissen gering.

Tabelle 34: Abhängigkeit wichtiger Ertragsmerkmale von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Praxisversuch Hartmannsdorf 2000

Variante	Stängelertrag, lufttrocken		Faserertrag		Samenertrag	
	dt/ha	% z. Standard	dt/ha	% z. Standard	dt/ha	% z. Standard
ohne Köpfschnitt (Standard)	64,40	100,00	18,42	100,00	2,99	100,00
Köpfschnitt 40 cm (ca. 50 cm Wuchshöhe)	41,20	63,98	10,79	58,58	2,56	85,62
Köpfschnitt 80 cm (ca. 100 cm Wuchshöhe)	66,80	103,72	19,64	106,62	4,79	160,20

Untersuchte Qualitätsmerkmale wurden durch den Köpfschnitt kaum beeinflusst (Tabelle 35).

Tabelle 35: Abhängigkeit wichtiger Qualitätsmerkmale von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Praxisversuch Hartmannsdorf 2000

Variante	Fasergehalt des Stängels		Faserfestigkeit (Reißkraft)		Faserdehnung bei Höchstzugkraft	
	% absolut	% z. Standard	cN/tex	% z. Standard	% absolut	% z. Standard
ohne Köpfschnitt (Standard)	28,60	100,00	28,97	100,00	1,08	100,00
Köpfschnitt 40 cm (ca. 50 cm Wuchshöhe)	26,20	91,60	29,06	100,31	1,08	100,00
Köpfschnitt 80 cm (ca. 100 cm Wuchshöhe)	29,40	102,80	31,05	107,18	1,36	125,92

Lediglich der Fasergehalt des Stängels geht durch einen frühen Köpfschnitt bei 40 cm etwas zurück. Ein späterer Köpfschnitt (80 cm) führt gegenüber dem Standard zu Verbesserungen bei allen untersuchten Qualitätsmerkmalen.

Am 15. September 1999 wurde der Mähdreschereinsatz im geköpften Hanfbestand (Stadium Samenreife) erprobt (Bild 4 links). In den Parzellen aller Varianten mit Köpfschnitt (insgesamt ca. 0,65 ha) traten beim Mähdrusch (Schnitthöhe ca. 90 bis 100 cm) keinerlei Probleme auf. Die Mäh-, Dresch- und Reinigungsaggregate des Mähdreschers mussten nur die

oberhalb der Köpfstelle befindlichen relativ dünnen Stängelanteile verarbeiten. Die Flächenleistung war mit der beim Drusch von Getreide vergleichbar. Das ausgedroschene Hanfstroh fiel auf die noch stehenden Reststängel und blieb im oberen Teil der Reststängel hängen (Bild 4 rechts). Die anschließende Mahd der Reststängel mit dem Anbaumähbalken wurde durch das aus dem Druschprozess stammende, zum Teil aufgefaserte, oben an den Reststängeln hängende Stroh nicht behindert.



Bild 4: Mähdrusch von bei 40 cm (Wuchshöhe ca. 50 cm) geköpften Hanf, (links) und Reststängel nach dem Mähdrusch, (rechts), Praxisversuch Adorf 1999

Beim anschließenden Mähdrusch der insgesamt ca. 0,35 ha großen Parzellen mit nicht geköpften Hanfpflanzen (gleiche Schnitthöhe wie bei geköpften Varianten) musste die Fortschrittsgeschwindigkeit wiederholt reduziert werden, teilweise bis zum Stopp, um die Drusch- und Reinigungsaggregate nicht zu überlasten. Zu ernsthaften Havarien mit längeren Stillstandszeiten kam es aber nicht, beginnende Wickelbildung an den Einzugsaggregaten war aber zu beobachten. Beim Mähdrusch

größerer Flächen und längerer Einsatzzeit des Mähdreschers wären durch zunehmende Wickelbildungen Havarien absehbar gewesen. Insgesamt war zu beobachten, dass beim Mähdrusch von Flächen mit geköpften Hanfpflanzen deutlich höhere Flächenleistungen bei geringerer Belastung des Mähdreschers möglich sind als bei ungeküpften Hanfflächen. Dadurch dürften die Kosten des Mähdruschs von geköpftem Hanf deutlich unter denen des Mähdruschs von ungeküpftem Hanf liegen.

Wegen der geringen für den Mähdrusch verfügbaren Fläche und deren Parzellierung konnten keine genauen Messungen zur Flächenleistung des Mähdreschers in den verschiedenen Versuchsvarianten durchgeführt werden. Deshalb waren auch keine Berechnungen zu den Erntekosten und zur Wirtschaftlichkeit möglich. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse kann festgestellt werden, dass durch die Köpfschnittmethode eine Erleichterung des Mähdrusches von speziell für die Samengewinnung bestimmten Hanfes möglich ist. Dem erleichterten Mähdrusch steht aber ein erhöhter Aufwand für die Durchführung des Köpfschnittes gegenüber. Voraussetzungen für die erfolgreiche Anwendung der Köpfschnittmethode sind

- ein gegenüber dem normalen Faserhanfanbau deutlich größerer Reihenabstand (ca. 45 cm)
- eine Saatstärke von etwa 20 kg/ha, deutlich geringere Saatstärken führen zu Verunkrautung
- Durchführung des Köpfschnittes erst bei einer Wuchshöhe von ca. einem Meter, Schnitthöhe ca. 80 cm. Ein früherer Köpfschnitt führt zu Ertragsverlusten und höherer Verunkrautung.

4 Rationalisierung des Verfahrens der Ernte und Erstverarbeitung von Faserhanf

Das Anbauverfahren für Faserhanf ist im Ergebnis umfangreicher Forschungsarbeiten (HÖPPNER u. MENGE-HARTMANN, 1994; AUTORENKOLLEKTIV, 1995; SCHULZE, 1995; AUTORENKOLLEKTIV, 1996; HANF, 1996; SCHWEIGER, 1996; SCHWEIGER et al., 1996; MASTEL, K.; et al., 1998; SCHULZ et al., 1999; LEON et al., 2000; RÖHRICHT u. SCHULZ, 2000; SCHULZ u. RÖHRICHT, 2000) und praktischer Anbauerfahrungen inzwischen soweit optimiert, dass ohne Ertrags- oder Qualitätsverschlechterungen nur noch sehr begrenzt Kostensenkungen möglich sind. Nur beim Ern-

teverfahren, dem größten Kostenfaktor der Hanfstroherzeugung, sind unter bestimmten Voraussetzungen Einsparpotentiale gegeben.

4.1 Hanfröststrohernte – Vergleich der Pressgutlinie mit der erstmals erprobten Ladewagentechnologie

Die Hanfernte gliedert sich in drei Abschnitte:

- die Mahd mit gleichzeitiger Einkürzung der Hanfstängel,
- die Bearbeitung des gemähnten Hanfstrohes zur Optimierung der Feldröste,
- und die Bergung des gerösteten Hanfstrohes.

Während es für die ersten beiden Abschnitte inzwischen kostengünstige Lösungen (Stufenmähwerk, Kreiselschwader) gibt, ist die Bergung des Hanfstrohes mit Quader- oder Rundballenpressen mit erheblichem Kostenaufwand verbunden. Das Pressen des Hanfstrohes ist aber Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Transport über mittlere Entfernungen und die optimale Nutzung des meist knappen Lagerraums unter Dach. Auch können bestehende Verarbeitungsanlagen nur gepresstes Hanfstroh verarbeiten.

Es wurde erprobt, ob unter der Voraussetzung kurzer Transportwege vom Anbauslag zur Erstverarbeitung und der Fähigkeit der Erstverarbeitungsanlage zur Verarbeitung losen Erntegutes die Bergung des Hanfröststrohes kostengünstiger gestaltet werden kann. Dabei wurde die allgemein übliche Pressgutlinie, bei der das Hanfröststroh gepresst, zum Lager transportiert und dort eingelagert wird, mit der erstmalig erprobten Ladewagentechnologie verglichen. Die Arbeitsschritte beider Technologien zeigt Bild 5.

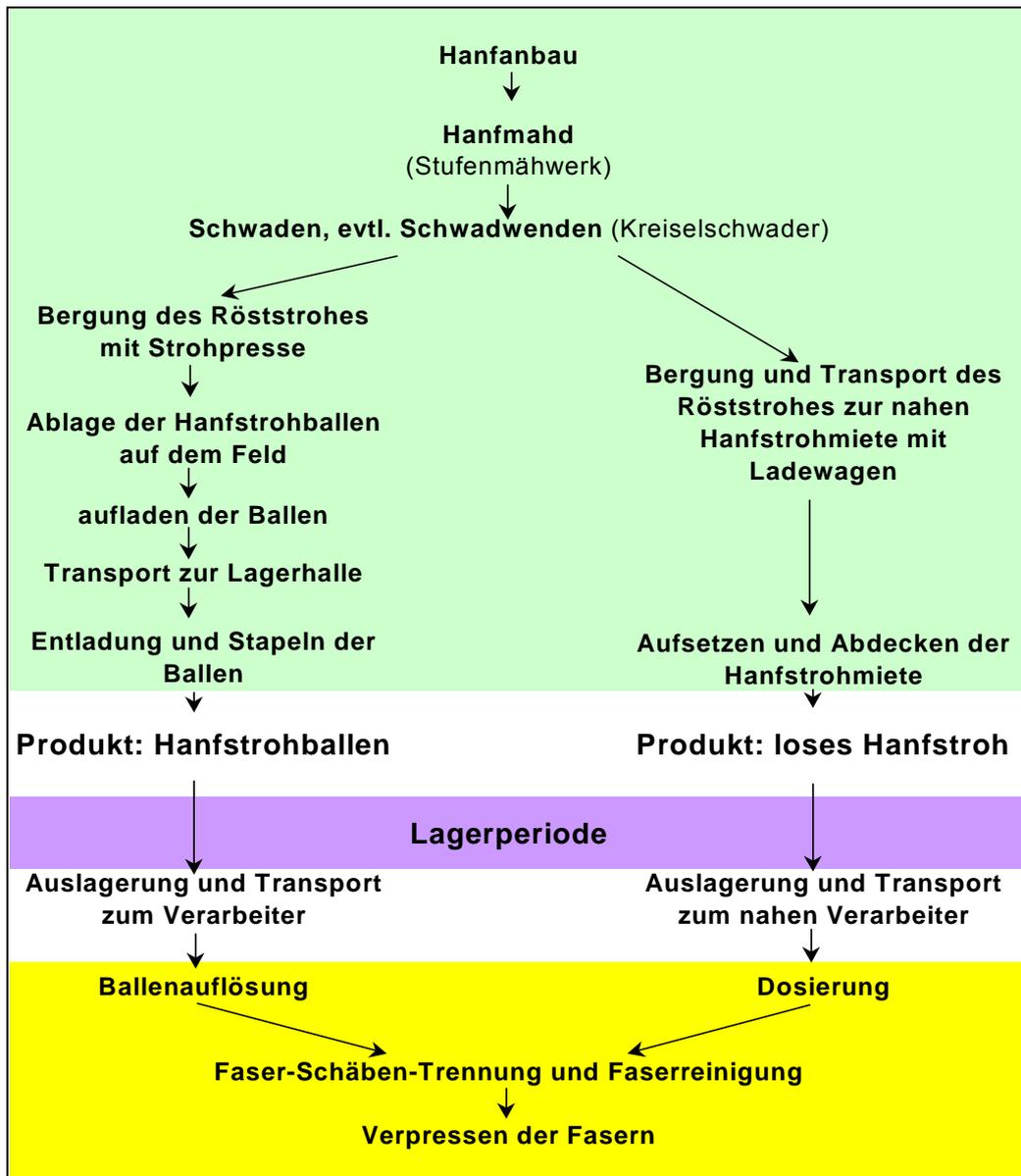


Bild 5: Ablauf von Hanfernte, Lagerung und Verarbeitung bei unterschiedlichen Ernteverfahren (links: Pressgutlinie, rechts: Ladewagentechnologie)

Technische Erprobung der Ladewagentechnologie

Bei der Ladewagentechnologie erfolgt die Bergung des trockenen Hanfröststrohes in loser

Form mit in Landwirtschaftsbetrieben vorhandenen Futterladewagen, die das Erntegut selbst aufnehmen. Am Zielort können sie sich selbst entladen oder von einem mobilen Lader (Bild 6) entladen werden.



Bild 6: Ladewagen bei der Bergung von Hanfröststroh (links) sowie Entladung des Ladewagens und Aufsetzen der Versuchshanfstromiete, Technofarm Adorf 2001



Bild 7: fertige Versuchs-Hanfstromiete, Technofarm Adorf 2001

Die Ladewagen transportieren das Erntegut zu einem am Feldrand oder in Feldnähe gelegenen Platz, der zum Schutz gegen die Bodenfeuchtigkeit mit Getreidestrohballen ausgelegt ist. Dort wird das Hanfröststroh von einem Lader zu einer Miete aufgesetzt und anschließend mit geeigneter Folie regen- und windsicher abgedeckt (Bild 7). Nach der Lagerperiode wird das lose Hanfröststroh mit einem Lader entnommen und mit einem großvolumigen Fahrzeug zur Verarbeitungsanlage transportiert.

Die technische Machbarkeit der Ladewagentechnologie wurde 2001 – 2002 in der Technofarm Adorf/Erzgebirge erstmals erprobt. Es stellte sich heraus, dass das Verfahren prinzi-

piell für die Bergung und Lagerung von Hanfröststroh geeignet ist. Es traten aber folgende Probleme auf:

- Wickelbildungen an den Einzugsorganen des Ladewagens – Abhilfe wäre durch Leiteinrichtungen, Abrundungen von Kanten, Schrauben etc. möglich
- Zerstörung der stabilen Abdeckfolie an einer Seite der Hanfstromiete, Grund unklar, evtl. „Abenteuerspielplatz“? – Abhilfe durch Anlage der Miete an einem sicheren Ort

Durch die teilweise Zerstörung der Abdeckfolie an eine Seite der Miete und das Eindringen von Regenwasser kam es zum Verderb eines Teils

des eingelagerten Hanfstrohes. Es ist nicht vollständig auszuschließen, dass auch der nicht unmittelbar durch Regenwasser geschädigte Teil des Hanfstrohes Qualitätsbeeinträchtigungen erlitt. Das Hanfstroh wurde im Frühjahr 2002 selektiv aufgelagert.

Nur die augenscheinlich nicht beeinträchtigten Anteile wurden für die Probeverarbeitung in der Pilotanlage Jocketa (Variante *Pilotanlage / Dosierer*), s. Punkt 4.2, und die nachfolgenden Weiterverarbeitungsversuche genutzt.

Tabelle: 36: Einfluss des Verfahrens der Hanfstrohbergung auf das finanzielle Ergebnis der Hanfröststroherzeugung (ohne Gemeinkosten) bei unterschiedlichem Ertragsniveau

Röststrohertrag (dt/ha)	Ergebnis ohne Gemeinkosten (€/ha)*	
	Pressgutlinie	Ladewagentechnologie
60	153,06	262,40
70	180,52	308,04
80	206,84	353,43
100	264,61	445,46

*bei Verkaufspreis Hanfröststroh von 80 €/t

Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Pressgutlinie und Ladewagentechnologie

Die Wirtschaftlichkeit des gesamten Verfahrens der Hanfröststroherzeugung könnte nach bisherigen Erkenntnissen durch den Einsatz der Ladewagentechnologie und Verzicht auf das Pressen des Erntegutes deutlich verbessert werden. In Tabelle 36 werden die Varianten Pressgutlinie und Ladewagentechnologie miteinander verglichen. Dabei wird von durchschnittlichen Anbaukosten, der Mahd des Hanfs mit dem Stufenmäherwerk, mittleren Verkaufserlösen von 80 €/t Hanfröststroh und der für Sachsen üblichen EU-Hanfbeihilfe von 392 €/ha ausgegangen. Kosten und Einnahmen wurden entsprechend dem Ertrag variiert. Die ausführliche Kalkulation ist in den Anlagen 1 und 2 ersichtlich.

Es wird darauf hingewiesen, dass zur Bergung losen Hanfstrohes mit dem Ladewagen und zur Lagerung in Mieten nur einjährige Erprobungsergebnisse vorliegen und das Verfahren nicht ausgereift ist.

4.2 Fasergewinnung aus Hanfröststroh der Pressgutlinie und der Ladewagentechnologie mit einer low – cost – Pilotanlage der LEHMANN Maschinenbau Jocketa

4.2.1 Aufbau und Funktionsweise der Pilotanlage

Die LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa arbeitet an der Komplettierung und Optimierung einer Hanfaufbereitungsanlage, die mittels einfacher Module auf rein mechanischem Wege Hanfröststroh in seine Hauptbestandteile Fasern und Schäben trennt und diese weitgehend voneinander separiert (Bild 8).

Die gewonnenen Fasern dienen in nachfolgenden Weiterverarbeitungsversuchen (Punkte 5 und 6) als Ausgangsmaterial.

Für die Variante „Ballenauflöser“ wurde Hanfröststroh in Form von Quaderballen aus dem Anbauversuch Pleißa 2001 (Mahd mit Stufenmäherwerk SMU 2, Röstgrad 7 – 8 nach der Claas-Skala, Lagerung der Ballen unter Dach) verwendet. Da noch kein Ballenauflöser vorhanden ist, musste die Auflösung der Hanfstrohballen in einer Fremdfirma (Recyclingverfahren Neuenmarkt GmbH) erfolgen. Das dort aufgelöste und durch eine Schneideeinrichtung vorzerkleinerte Material wurde der Pilotanlage Jocketa per Hand zugeführt. Die auf diese Weise gewonnenen Fasern werden in nachfolgenden Weiterverarbeitungsversuchen die Bezeichnung Pilotanlage/Ballenauflöser tragen.

Zur Untersuchung der Variante „Dosierer“ diente loses Hanfröststroh aus den Ernte- und Lagerungsversuch Adorf/Erzgebirge (Mahd mit

Stufenmäherwerk SMU 2, Röstgrad ca. 8, Ladewagentechnologie, Mietenlagerung, siehe Punkt 4.1). Das aus der Miete ausgelagerte lose Hanfröststroh wurde der Pilotanlage ebenfalls per Hand zugeführt. Die in nachfolgenden Weiterverarbeitungsversuchen für die so gewonnenen Fasern verwendete Bezeichnung ist Pilotanlage/Dosierer.

Im Vergleich dazu werden auch Ergebnisse von Verarbeitungsversuchen mit der Hanfverarbeitungsanlage der VERNARO Gardelegen dargestellt. Als Ausgangsmaterial dieser Versuche dienten Hanfröststroh – Quaderballen aus einem Ernteversuch (Stufenmäherwerk SMU 2, Röstgrad ca. 5, Lagerung der Ballen unter Dach). Die in Gardelegen gewonnenen Fasern tragen in Weiterverarbeitungsversuchen die Bezeichnung VERNARO Gardelegen. Ausgewählte Ergebnisse der Verarbeitungsversuche zeigt Tabelle 38.

Tabelle 38: Ergebnisse von Verarbeitungsversuchen mit der low –cost –Pilotanlage Jocketa und der Hanfverarbeitungsanlage VERNARO Gardelegen

	Pilotanlage / Ballenauflöser	Pilotanlage / Dosierer	VERNARO Gardelegen
eingesetztes Hanfstroh (Ballen)	550 kg	-	2780 kg
Hanfstroh (aufgelöst, geschnitten)	470 kg	-	
eingesetztes Hanfstroh (lose, lang)	-	155,70 kg	
gewonnene Fasermenge	124,45 kg	34,00 kg	442,50 kg
Faserausbeute (% zur anfangs eingesetzten Hanfstrohmenge)	22,63 %	21,84 %	20,30 %
Schäbenanteil in den Fasern	5,38 %	7,15 %	1,38 %

Die Faserausbeuten beider Varianten der low – cost – Anlage Jocketa in Bezug auf das eingesetzte Hanfstroh sind vergleichbar. Dagegen ist der Schäbenanteil in den Fasern bei der Variante Dosierer deutlich höher und damit ungünstiger. Der geringere Schäbenanteil der Variante Ballenauflöser kann auf die bereits im Prozess der Ballenauflösung erfolgte teilweise Schäbenabscheidung – ersichtlich in der Differenz zwischen Gewicht der eingesetzten Hanfstrohballen und dem gewonnenen aufgelösten Hanfstroh - zurückgeführt werden.

Im Verlauf der Verarbeitungsversuche in Jocketa traten wiederholt technische Störungen auf, die eine realistische Messung der Durchsatzleistung verhinderten. Ursache dafür waren in erster Linie Stockungen im Materialfluss, vor allem bei der Zuführung zum Faserselektor 1.

Gelegentlich führten Verstopfungen des Faserselektors 1, deren Beseitigung viel Zeit erforderten, zum Stillstand. An Übergabestellen zwischen Einzelaggregaten traten durch Herausfallen von Material Verluste auf. Das herausgefallene Material konnte z. T. per Hand dem Prozess wieder zugeführt werden. Bei der Weiterentwicklung der Anlage ist die Verbesserung des Materialflusses und die Verlustminderung an den Übergabestellen eine vorrangige Aufgabe. Gemeinsam mit der LEHMANN Maschinenbau Jocketa wird eingeschätzt, dass nach Beseitigung der genannten Schwachstellen und Verlustquellen, eine kontinuierliche Arbeit möglich ist und mittlere Faserausbeuten von 24 % in Bezug auf das eingesetzte Röststroh realistisch sind. Der Schäbenanteil soll auf unter 3 % sinken.

Die Bilder 9 und 10 zeigen Stapeldiagramme der mit der low – cost – Pilotanlage in Jocketa gewonnenen Fasern (Varianten Ballenauflöser und Dosierer) und zum Vergleich ein Stapeldiagramm von Hanffasern der VERNARO Garde-

legen (Bild 11), die mit einer wesentlich aufwändigeren Verarbeitungsanlage gewonnen wurden. Die Fasern aus Gardelegen wiesen einen deutlich geringeren Schäbenanteil (1,38 %) auf.



Bild 9: Stapeldiagramm von Hanffasern der Pilotanlage Lehmann Maschinenbau GmbH Jocketa, Variante „Ballenauflöser“, Ausgangsmaterial: Hanfröststroh aus Pressgutlinie und Lagerung unter Dach



Bild 10: Stapeldiagramm von Hanffasern der Pilotanlage Lehmann Maschinenbau GmbH Jocketa, Variante „Dosierer“, Ausgangsmaterial: loses Hanfröststroh aus Ladewagentechnologie und Mietenlagerung



Bild 11: Stapeldiagramm von Hanffasern der VERNARO GmbH Gardelegen,
Ausgangsmaterial: Hanfröststroh aus Pressgutlinie und Lagerung unter Dach

Die Fasern aus Jocketa sind insgesamt länger als die aus Gardelegen. Die Fasern der Verarbeitungsvariante „Ballenauflöser“ weisen Längen von 40 bis etwa 300 mm mit einer relativ gleichmäßigen Verteilung über das gesamte Spektrum auf. In der Variante „Dosierer“ weist der größte Teil der Fasern ebenfalls Längen von 40 bis 300 mm auf. Im Unterschied zur Variante „Ballenauflöser“ sind aber auch einige Fasern mit Längen bis 400 mm, Einzelfasern auch bis über 500 mm zu beobachten. Diese Anteile längerer Fasern können bei Weiterverarbeitern möglicherweise zu Verarbeitungsproblemen durch Wickelbildungen führen. Durch Zwischenschaltung einer Schneideeinrichtung zwischen Dosierer und Faserselektor I könnten auch bei der Variante „Dosierer“ zuverlässig überlange Fasern verhindert werden.

Bei den Fasern aus Gardelegen ist der Anteil kurzer Fasern (25 – 70 mm) sehr groß. Es kommen nur wenige bis zu 200 mm und einzelne bis zu 300 mm lange Fasern vor.

4.2.3 Wirtschaftlichkeit der Hanferstverarbeitung mit Varianten der low-cost-Anlage

Am Beispiel der Pilotanlage wurde die Wirtschaftlichkeit der Hanferstverarbeitung mit einer low-cost-Verarbeitungsanlage, Varianten

Ballenauflöser und Dosierer, untersucht. Bei Verzicht auf den teuren und energieaufwändigen Ballenauflöser und dessen Ersatz durch einen wesentlich kostengünstigeren Dosierer für loses Hanfstroh kann die Wirtschaftlichkeit der Fasergewinnung deutlich verbessert werden. Tabelle 39 zeigt die Wirtschaftlichkeit beider Varianten bei unterschiedlichen Röststroheinkaufspreisen. Folgende weiteren Bedingungen wurden einheitlich für beide Varianten unterstellt:

- Verarbeitungsmenge Hanfröststroh: 2400 t/Jahr
- Maschinenlaufzeit : 3000 Stunden/Jahr
- Ausbeute Hanffasern: 24 % v. Röststroh
- Ausbeute ungereinigte Hanfschäben: 65 % v. Röststroh
- erzeugte Fasermenge: 576 t/Jahr
- Verkaufspreis Hanffasern: 0,55 €/ kg
- Verkaufspreis ungereinigte Hanfschäben: 0,06 €/ kg

Außerdem wurden die Auswirkungen eines möglichen Wegfalls der vorläufig bis 2005 gezahlten EU-Verarbeitungsbeihilfe in Höhe von 90 €/t erzeugte Faser berücksichtigt.

Tabelle 39: Wirtschaftlichkeit der Hanfaufbereitung am Beispiel der low-cost-Verarbeitungsanlage Jocketa, Varianten Ballenauflöser und Dosierer

	Gewinn/ Verlust (€/Jahr)			
	mit EU-Verarbeitungsbeihilfe		ohne EU-Verarbeitungsbeihilfe	
Einkaufspreis Röststroh (€/t)	Variante Ballenauflöser	Variante Dosierer	Variante Ballenauflöser	Variante Dosierer
70	63.048	97.108	11.208	45.268
80	39.048	73.108	-12.792	21.268
90	15.048	49.108	-36.792	-2.732
100	-8.952	25.108	-60.792	-26.772

Zu beachten ist, dass bei der Variante Ballenauflöser Hanfstrohballen (Einkaufspreis ca. 90 – 100 €/t) benötigt werden, während bei der Variante Dosierer mit Preisen für loses Hanfröststroh von etwa 80 €/t kalkuliert werden kann.

Die Kombination der Ernte losen Hanfröststrohs mittels Ladewagentechnologie mit der Erstverarbeitung in einfachen low-cost-Anlagen, die anstelle des teuren und energieintensiven Ballenauflösers mit einer wesentlich kostengünstigeren Dosiereinrichtung für loses Hanfstroh ausgerüstet sind, kann ein Beitrag für die wettbewerbsfähige Hanffasererzeugung für die Herstellung von Vliesen und andere technische Einsatzbereiche sein. Diese Variante kann – gleiche Faserverkaufspreise wie bei der Variante Ballenauflöser vorausgesetzt – auch nach Wegfall der EU – Verarbeitungsbeihilfen bei Röststroh-Einkaufspreisen von 70 bis 80 €/t noch wirtschaftlich arbeiten.

Wegen der geringen Transportwürdigkeit des losen Hanfröststrohs sind jedoch geringe Entfernungen (max. 5 – 6 km) zwischen Anbauschlag, Ort der Lagerung und Erstverarbeitungsanlage Voraussetzung für diese Technologie der Ernte und Erstverarbeitung.

4.3 Umsetzung des low – cost – Verarbeitungssystems in Sachsen

Bei einem angenommenen Durchsatz einer low – cost – Verarbeitungsanlage von 2400 t/Jahr und einem unterstellten Röststrohertrag von 7 t/ha wird für eine Erstverarbeitungsanlage eine Hanfanbaufläche von etwa 343 ha benötigt. Im Interesse kurzer Transportwege für das wenig transportwürdige Hanfröststroh sollte diese Anbaufläche in der näheren Umgebung der Erstverarbeitungsanlage liegen. In Abhän-

gigkeit von der Flächenstruktur des Anbaugesbietes, vom Anteil des Hanfanbaus an der verfügbaren Ackerfläche und vom erreichbaren Ertrag lässt sich der Radius des Einzugsbereiches ermitteln.

Dabei wird von einer für Sachsen typischen Flächenstruktur (AUTORENKOLLEKTIV, 2001) ausgegangen:

- Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Landesfläche: 56 %
- Anteil der Ackerfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche: 79 %

Bild 12 zeigt den Radius des notwendigen Einzugsbereiches einer Hanferstverarbeitungsanlage (Verarbeitungskapazität 2400 t Röststroh/ Jahr) in Abhängigkeit vom Hanfanteil an der Ackerfläche und vom Hanfertrag.

Der Radius des Einzugsgebietes bei mittleren Hanfröststroherträgen von 7 – 8 t/ha und einem Hanfanteil an der Ackerfläche des Einzugsgebietes von etwa 10 % beträgt weniger als 5 km. Hanfanteile in der Fruchtfolge von weniger als 6 – 8 % lassen den Radius des Einzugsbereiches und damit die Transportentfernungen stark anwachsen. Andererseits bringen Hanfanteile von mehr als 10 Prozent zunehmend geringere Vorteile bei der Transportentfernung und sind auch aus acker- und pflanzenbaulicher Sicht wenig sinnvoll. Es wird deutlich, dass die Versorgung einer low – cost – Hanfverarbeitungsanlage mit Hanfröststroh aus der unmittelbaren Umgebung möglich ist, wenn bei mittleren Erträgen Hanfanteile an der Ackerfläche von 8 – 10 % realisiert werden. Die geringen Transportentfernungen ermöglichen auch die Anwendung der Ladewagentechnologie in Kombination mit der Mietenlagerung des losen Hanfröststrohs und der Verarbeitung in der low – cost – Anlage (Variante Dosierer).

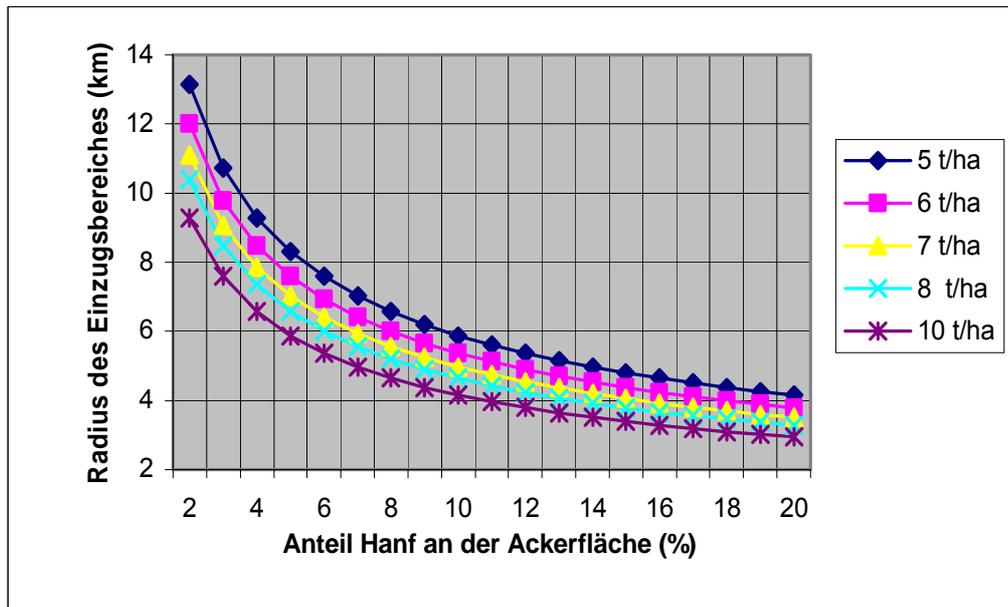


Bild 12: Einzugsbereich einer Hanferstverarbeitungsanlage (2400 t Röststroh/Jahr) in Abhängigkeit von Hanfanteil an der AF und Hanfertrag, mittlere sächsische Flächenstruktur

Eine low – cost – Verarbeitungsanlage mit einer Verarbeitungskapazität von 2400 t Hanfröststroh/ha erzeugt bei einer Faserausbeute von 24 Prozent jährlich 576 t Fasern. Eine solche Menge ist für große Weiterverarbeiter wie z. B. in den Bereichen Automobilzulieferer und Dämmstoffe in der Regel nicht ausreichend. Diese benötigen größere Partien Hanffasern gleich bleibender Qualität.

Ausgehend davon erscheint der Aufbau mehrerer low – cost – Verarbeitungsanlagen in verschiedenen Anbaugebieten Sachsens, aber auch angrenzender Länder, die ihre Produkte über einen gemeinsamen Faserpool vermarkten, aussichtsreich. In Bild 13 ist das Zusammenwirken von Anbauern, Hanfverarbeitern und Faserpool schematisch dargestellt

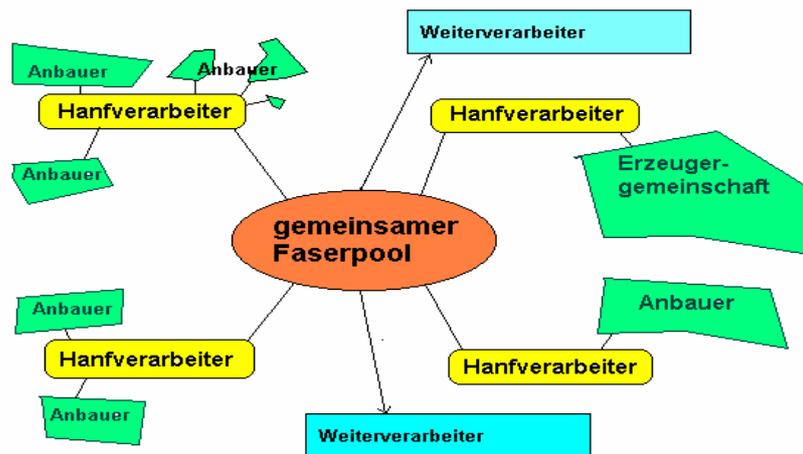


Bild 13: Hanfanbau und -verarbeitung mit kleinen, dezentralen Verarbeitungsanlagen und gemeinsamer Vermarktung über Faserpool, schematisch

Ein solcher Verbund mehrerer kleiner Erstverarbeiter würde folgende Vorteile bewirken:

- Möglichkeit der Belieferung auch großer Weiterverarbeiter mit Hanffasern vergleichbarer Qualität - vier kleine dezentrale Hanfverarbeiter könnten gemeinsam z. B. jährlich über 2000 t Hanffasern bereitstellen
- kürzere Transportentfernungen für das wenig transportwürdige Hanfröststroh im Vergleich zu einer zentralen Großverarbeitungsanlage
- Ausgleich witterungsbedingter lokaler Ertrags- und Qualitätsschwankungen ist möglich
- gemeinsame Nutzung vorhandenen Know-hows
- bessere Auslastung von Spezialerntemaschinen durch Verlängerung ihres Einsatzzeitraumes bei Einsatz in bodenklimatisch unterschiedlichen Anbaugebieten

5 Überprüfung von Weiterverarbeitungsmöglichkeiten der low - cost-Fasern

Die low – cost - Pilotanlage der LEHMANN Maschinenbau Jocketa ist prinzipiell für die Gewinnung von Hanffasern aus Hanfröststroh mit unterschiedlichen Qualitätseigenschaften geeignet. Die Tauglichkeit dieser Fasern für die Verarbeitung zu technischen Zwischen- und Weiterverarbeitungsprodukten war aber noch

zu prüfen. Deshalb wurde untersucht, ob sich die Fasern aus den untersuchten Ernte- und Erstverarbeitungsverfahren allein bzw. mit dem Mischungspartner Polypropylenfasern zu Vliesen und diese weiter zu Tiefzieh- und Formpressteilen verarbeiten lassen. Als Vergleichsmaterial wurden z. T. Fasern aus der wesentlich aufwändigeren Hanfaufbereitungsanlage der VERNARO Gardelegen verwendet.

5.1 Vliese und Weiterverarbeitungsprodukte

5.1.1 Herstellung von Vliesen aus Hanffasern und Polypropylen

Versuche zur Vliesherstellung im Sächsischen Textilforschungsinstitut Chemnitz

Im März 2002 wurden im Technikum des STFI Chemnitz mit zwei Faserqualitäten Vorversuche zur Verarbeitbarkeit von Hanffasern zu Nadelvliesen durchgeführt.

1. Hanffasern aus der low – cost - Pilotanlage der Lehmann Maschinenbau GmbH Jocketa, Variante Ballenauflöser
2. Hanffasern aus der Hanfverarbeitungsanlage der VERNARO GmbH Gardelegen

In Tabelle 40 sind ausgewählte Ergebnisse der Vorversuche zur Nadelvliesherstellung im STFI Chemnitz dargestellt.

Tabelle 40: Ausgewählte Ergebnisse von Versuchen zur Nadelvliesbildung, STFI Chemnitz, März 2002

Herkunft der Hanffasern	Pilotanlage / Ballenauflöser	VERNARO Gardelegen
Vliesausbeute (zu eingesetzten Hanffasern mit Schäbenanteil)	65,71 %	57,78 %
Vliesausbeute (zu eingesetztem Hanfröststroh, nicht aufgelöst)	14,87 %	12,37 %

Bei beiden eingesetzten Faserqualitäten, besonders aber bei Verwendung der überwiegend kurzen Fasern der VERNARO Gardelegen, traten im Prozess der Vliesherstellung im STFI

hohe Faserverluste auf. Ein Teil der Fasern fiel zwischen den Krempelwalzen durch. Die Gleichmäßigkeit der Vliese (Bild 14), besonders bei Verwendung von Fasern der VERNARO Gardelegen, war unbefriedigend.

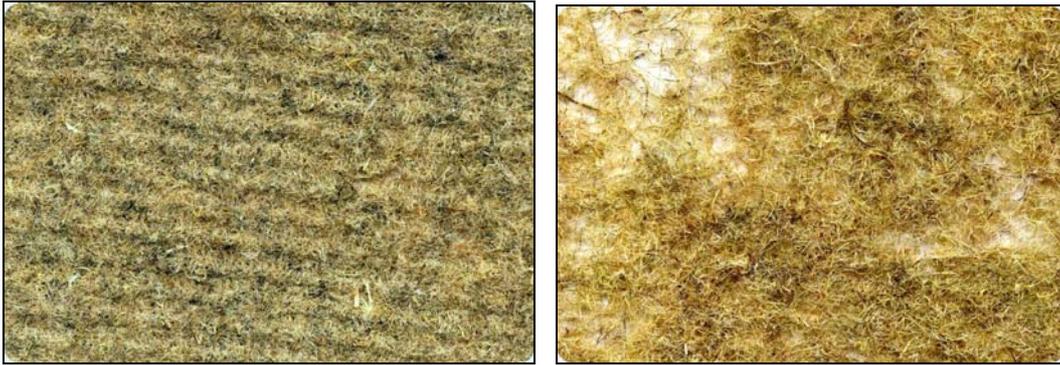


Bild 14: Hanfvliese aus Vorversuchen zur Hanffaserverarbeitung im STFI Chemnitz, links: Vlies aus Fasern der Pilotanlage Jocketa/Ballenauflöser, rechts: aus Fasern von VERNARO

Auch die mechanische Belastbarkeit war sehr gering, bei geringer Krafterwendung trat erheblicher Verzug auf bzw. das Vlies zerriss leicht. Im Verlauf der Probeverarbeitung im Technikum des STFI Chemnitz setzten sich zunehmend Schäben in den Krempelwalzen der Vlieslegeanlage fest. Es wurde eingeschätzt, dass die Verarbeitung der eingesetzten Faserqualitäten auf der kleinen Technikumanlage wenig Erfolg versprechend ist. Deshalb wurden dort keine weiteren Versuche durchgeführt.

Versuche zur Herstellung von Vliesen bei VLIFOTEX Erdmannsdorf

Die Möglichkeit der Verarbeitung der Hanffasern zu Nadelvliesen auf größeren, industriellen Vlieslegemaschinen wurde 2002 bei der Firma

Vlifotex Erdmannsdorf mit der Maschinenanordnung Kastenspeiser - Krempel mit Vorreißer - Täfler (Vliesleger) - Nadelmaschine untersucht.

Versuche mit reinen Hanffasern

Zunächst kamen dieselben Faserqualitäten wie in den Vorversuchen im STFI zum Einsatz. Im Verlauf dieser Vlieslegungsversuche kam es bei beiden Faserqualitäten, besonders aber bei der Verarbeitung der Fasern von VERNARO, wiederholt zum Abreißen des Faserstroms auf der Vlieslegemaschine. Die Störungen wurden manuell beseitigt. Die erreichten Vliesfaserausbeuten (noch nicht vernadelt) sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Vliesfaserausbeuten von Verarbeitungsversuchen bei VLIFOTEX Erdmannsdorf, April 2002

Herkunft der Hanffasern	Pilotanlage / Ballenauflöser	VERNARO Gardelegen
Vliesfaserausbeute (zu eingesetzten Hanffasern mit Schäbenanteil)	73,00	59,50
Vliesfaserausbeute (zu eingesetztem Hanfröstroh, nicht aufgelöst)	16,52	12,74

Die bei VLIFOTEX erreichten Ausbeuten waren im Vergleich zu den Ergebnissen der Vorversuche im STFI bei Verwendung von Fasern aus der Pilotanlage / Ballenauflöser deutlich besser. Mit Fasern von VERNARO konnten nur geringfügig günstigere Ergebnisse erreicht werden. Trotz der Verbesserungen waren die Vliesfaserausbeuten immer noch unbefriedigend.

Versuche, die Vliesfasern nach Verlassen des Vlieslegers zu vernadeln, lieferten ähnlich unbefriedigende Ergebnisse wie die vergleichbaren Vorversuche im STFI Chemnitz. Gemeinsam mit dem Betreiber von VLIFOTEX (TÜRPE, 2002) wurde eingeschätzt, dass weitere

Versuche zur Vernadlung von reinen Hanfvliesfasern nicht sinnvoll sind. Als Alternativen boten sich die Vernadlung von reinen Hanfvliesfasern auf einem Träger aus Polypropylen und die Herstellung von Vliesen aus Gemischen aus Hanf- und Polypropylenfasern (PP-Fasern) an.

Vernadlung reiner Hanffasern mit einem Polypropylen-Träger

Die bereits im vorangegangenen Versuch verwendeten reinen Hanfvliesfasern (Herkunft: Pilotanlage / Ballenauflöser) wurden zusammen mit einem Polypropylen-Träger (Flächengewicht

ca. 80 g/m²) problemlos zu gleichmäßigen, stabilen Vliesen vernadelt. Dabei wurden die Vliesfaser - Zuführmengen variiert. Die gewonnenen Vliese hatten in Abhängigkeit von den

Hanfvliesfaser - Zuführmengen Flächengewichte von 346 g/m² bzw. 609 g/m² (Bild 15) und Hanffaseranteile von 76,9 % bzw. 86,9 Prozent.

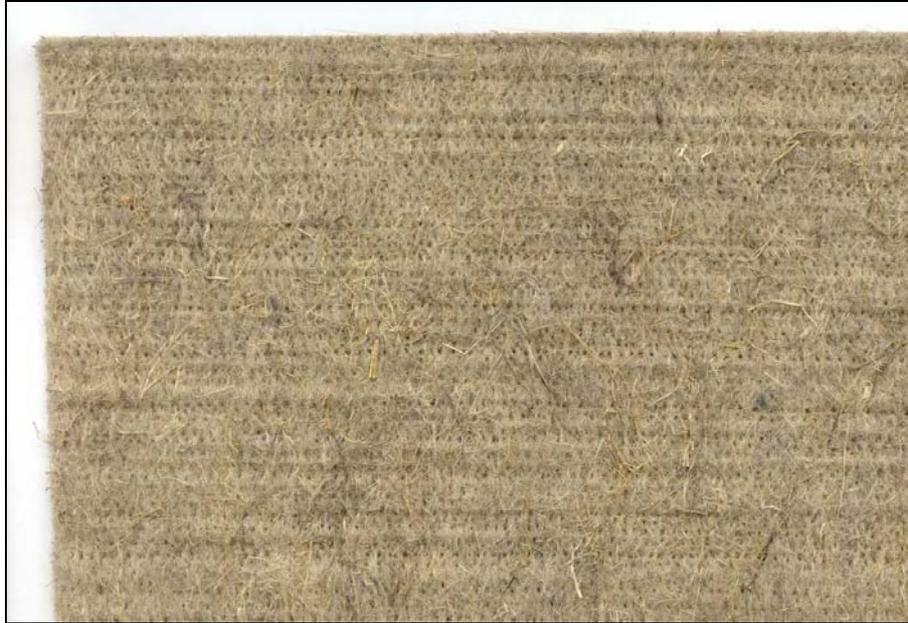


Bild 15: Vlies aus Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) mit Polypropylen - Träger, 609 g/m², Hanffaseranteil 86,9 Prozent

Bei den Vliesen aus Hanffasern auf Polypropylenträgern liegt keine homogene Verteilung der sehr unterschiedlichen Ausgangsmaterialien vor. Dies kann für die Weiterverarbeitung zu Formteilen nachteilig sein. Deshalb wurde versucht, Vliese mit homogener Verteilung beider Bestandteile herzustellen.

Herstellung von Vliesen aus Gemischen von Hanf- und Polypropylenfasern

Als Ausgangsmaterial dienten Hanffasern (Herkunft: Pilotanlage / Ballenauflöser) und von VLIFOTEX bereitgestellte Polypropylenfasern. Diese wurden im Verhältnis 80 % Hanf- und 20 % PP- Fasern gemischt und anschließend über die Krempel der Vlieslege- und Nadelmaschine zugeführt. Das Gemisch lies sich ohne Probleme verarbeiten.

Der Faserstrom riss trotz geringer je Zeiteinheit zugeführter Fasermengen nicht wie bei der

Verwendung reiner Hanffasern ab.

Die Vliesfaserausbeute lag mit 87,2 %, bezogen auf die eingesetzte Hanf- und PP-Fasermenge, deutlich höher als bei Verwendung reiner Hanffasern. Das erzeugte Vlies (Bild 16) hatte eine gleichmäßige Struktur, aber – sicher auch bedingt durch die geringe Flächenmasse von 186 g/m² - nur eine geringe Formstabilität. Die produzierten Vliesmuster wurden Fachleuten des Sächsischen Textilforschungsinstitutes Chemnitz e. V. (HALKE und BÖTTCHER, 2002) und des Institutes für Konstruktion und Verbundbauweisen e. V. (KVB) Chemnitz (THIELEMANN, 2002) vorgestellt. Diese schätzten ein, dass Vliese aus einem Gemisch aus Hanf- und Polypropylenfasern die besten Voraussetzungen für die Herstellung von Umformteilen bieten. Die mangelhafte Formstabilität sollte durch höhere Flächengewichte verbessert werden.



Bild 16: Vlies aus Mischfaser 80 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) und 20 % Polypropylenfasern, ohne Träger

Herstellung von Hanf – Polypropylen – Vliesen für Umformversuche

Basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen der im STFI Chemnitz und bei VLIFOTEX Erdmannsdorf durchgeführten Versuche zur

Vliesherstellung wurden im Dezember 2002 bei VLIFOTEX Vliese aus Gemischen von Hanffasern unterschiedlicher Herkunft und Polypropylenfasern hergestellt (Tabelle 42). Die Bilder 17 bis 19 zeigen Beispiele der Vliese.

Tabelle 42: Textil – physikalische Parameter der bei VLIFOTEX hergestellten, für Weiterverarbeitungsversuche vorgesehenen Vliese

Lfd. Nr. Vlies	Vlieszusammensetzung und Flächenmasse g/m ²	Reißfestigkeit (Höchstzugkraft in cN/tex)		Dehnung bei Höchstzugkraft (%)	
		längs	quer	längs	quer
1	60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 40 % PP - Fasern 264,5	0,963	1,956	100,19	82,49
2	60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 40 % PP - Fasern 515,5	0,684	1,090	100,30	56,36
3	70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 30 % PP - Fasern 224,5	0,322	0,543	95,58	77,55
4	70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 30 % PP - Fasern 561,0	0,494	1,052	83,93	51,60
5	70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser), 30 % PP - Fasern 332,0	1,120	1,913	113,27	92,89

Die erzeugten Vliese wurden im STFI Chemnitz auf die textil – physikalischen Parameter Reißfestigkeit und Dehnbarkeit geprüft. Dazu wurden Vliesstreifen in eine Zugvorrichtung mit einer Einspannlänge von 100 mm eingespannt und einer kontinuierlich ansteigenden Zugbe-

lastung ausgesetzt. Die gemessenen Prüfwerte, bei denen die Vliesstärke (Flächenmasse)

Berücksichtigung findet, zeigt Tabelle 42. Beim Einsatz von Vliesen mit Hanffasern aus der kostengünstigsten Ernte- und Verarbeitungslinie (Ladewagentechnologie – Mietenlagerung – Pilotanlage/Dosierer) sind deutliche Unter-

schiede bei der Reißfestigkeit zwischen den Vliesvarianten mit 40 % PP – Faseranteil einerseits und denen mit 30 % PP – Faseranteil andererseits zu erkennen. Höhere PP – Faseranteile im Vlies führen bei ähnlicher Flächenmasse zu erheblich besseren Werten.

Dagegen konnten bei der Prüfung von Vliesen mit Hanffasern aus der etwas kostenaufwändigeren Ernte- und Verarbeitungslinie Pressgutli-

nie – Pilotanlage / Ballenauflöser auch mit dem geringeren PP – Faseranteil von 30 % wesentlich bessere Reißfestigkeitswerte erreicht werden als mit allen anderen Vergleichsvarianten. Dieser Vergleich zeigt, dass die Hanffasern, die aus in der Miete gelagertem Hanfstroh stammen, eine geringere Reißfestigkeit aufweisen. Offensichtlich wurde das Hanfstroh durch die Lagerung in der beschädigten Miete mehr in ihrer Qualität beeinträchtigt als angenommen.



Bild 17: Vlies aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 40 % PP – Fasern, Flächengewicht 515,5 g/m², (Ifd. Nr. 2)

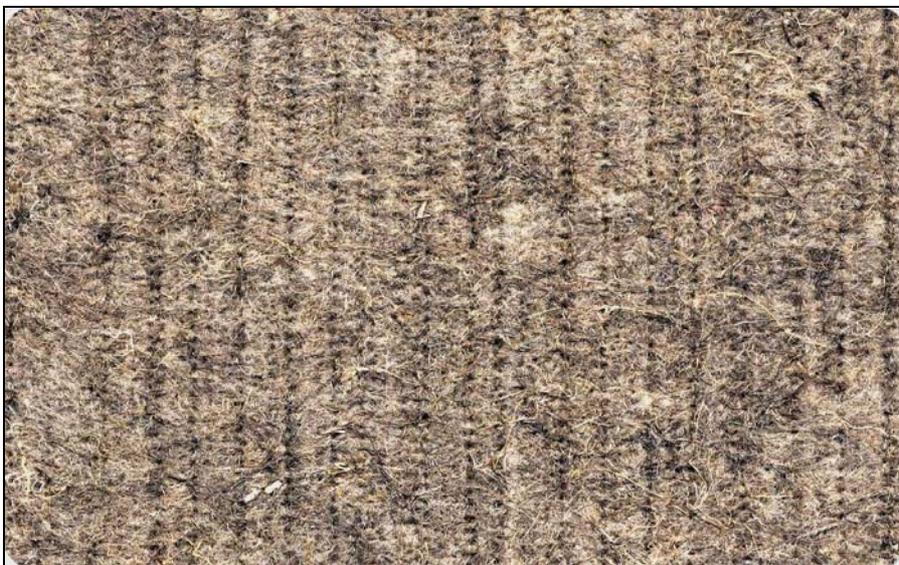


Bild 18: Vlies aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % PP – Fasern, Flächengewicht 561 g/m², (Ifd. Nr. 4)



Bild 19: Vlies aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) und 30 % PP – Fasern, Flächengewicht 332 g/m², (lfd. Nr. 5)

Tabelle 43: Bewertung des Geruchsverhaltens bei ausgewählten Vliesqualitäten

Lfd. Nr.	Vlieszusammensetzung	Bewertung bei 40°C (Note)	Bewertung bei 80°C (Note)
3	70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 30 % PP - Fasern	Geruch störend (Note 4)	Geruch deutlich wahrnehmbar, aber noch nicht störend (Note 3)
5	70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser), 30 % PP - Fasern	Geruch störend (Note 4)	Geruch deutlich wahrnehmbar, aber noch nicht störend (Note 3)

Neben textil-physikalischen Kennwerten wurde durch das STFI Chemnitz bei zwei Vliesqualitäten auch das Geruchsverhalten nach DIN 50 011-12 bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht (Tabelle 43). Dabei wurden trotz unterschiedlicher Herkunft des Ausgangsmaterials der Hanffasern keine deutlichen Unterschiede zwischen den Vliesqualitäten erkennbar. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass eine beträchtliche Geruchsbelastung vorliegt, die das Einsatzspektrum der Vliese einschränken kann.

5.1.2 Weiterverarbeitung von Hanf – Polypropylen - Vliesen zu Tiefziehteilen

Eine Anwendungsmöglichkeit von Hanf – Polypropylen – Vliesen kann die Weiterverarbeitung zu Tiefziehteilen sein. Die Versuche zur Eignung der bei VLIFOTEX Erdmannsdorf 2002 hergestellten Hanf – PP – Vliese für die Weiterverarbeitung zu Tiefziehteilen wurden im Januar 2003 im Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen e. V. Chemnitz durchgeführt. Die Tiefziehvorrich-

tung ist in Bild 20 dargestellt.

Kreisförmige Vliesstücke mit 35 cm Durchmesser wurden in einem Elektroofen erwärmt. Nach Abschluss der Erwärmung und Entnahme des Vlieses aus dem Ofen erfolgten unverzüglich das Einlegen in die Tiefziehvorrichtung und der Tiefziehvorgang mit dem vorgewärmten Werkzeug. Nach zahlreichen Versuchen zur Optimierung der Verarbeitungstemperatur gelang es, Tiefziehteile herzustellen. In Tabelle 44 sind die Versuchsbedingungen, die verwendeten Vliesqualitäten und die erreichten Ergebnisse einiger Einzelversuche ersichtlich. Ein Problem bei der Temperaturoptimierung bestand darin, dass einerseits die Temperatur so hoch wie möglich gewählt werden sollte, um beim im Vlies enthaltenen PP – Anteil einen thermoplastischen Verformungseffekt zu erreichen, andererseits die Temperatur zu begrenzen, um ungewollte Verformungserscheinungen vor dem Tiefziehvorgang auszuschließen und negative Einflüsse auf den Geruch zu minimieren.



Bild 20: Tiefzieh- Versuchsanordnung im KVB Chemnitz mit eingelegtem Hanf – Polypropylen - Vlies (rechts) und während des Tiefziehvorganges (links)

Im Verlauf der Versuche stellte sich eine Temperatur von 163°C als am besten geeignet heraus. Höhere Temperaturen führten bereits vor dem Tiefziehvorgang zu Strukturveränderungen des Vlieses. Bei der Dauer der Vorwärmung im Elektroofen war zwischen dünneren

und dickeren Vliesen zu unterscheiden. Für Vliese mit Flächengewichten unter 300 g/m² waren fünf Minuten, für Vliese mit über 500 g/m² sieben Minuten für eine optimale Durchwärmung erforderlich.

Tabelle 44: Versuchsbedingungen, Vliesqualitäten und Ergebnisse von Tiefziehversuchen

Vers. Nr.	lfd. Nr. Vlies	Flächengewicht (g/m ²)	Hanfanteil (%)	Lagen	Temperatur (°C)	Vorwärmzeit (min)	Ergebnis des Tiefziehvorganges
1	1	264	60	1	160	5	Formteil sehr dünn, formstabil
2	1	264	60	1	170	5	angeschmolzen, unbrauchbar
3	1	264	60	2	165	5	Lagen nicht verbunden, formstabil
4	1	264	60	1	163	5	Formteil dünn, Stabilität besser als Vers.-Nr. 1
5	2	516	60	1	163	7	Fehlversuch, falsch eingelegt
6	2	516	60	1	163	7	gute Formstabilität
7	3	224	70	1	163	5	ingerissen (überdehnt)
8	1	264	60	1	163	5	wie Vers.- Nr. 4
9	4	561	70	1	163	7	gute Formstabilität
10	4	561	70	1	163	7	gute Formstabilität
11	2	516	60	1	163	7	gute Formstabilität, besser als Vers.-Nr. 9 u. 10
12	2	516	60	1	163	7	gute Formstabilität, besser als Vers.- Nr. 9 u. 10

Ein höherer PP – Anteil (40 %) im Vlies führte bei sonst gleichen Bedingungen zu besserer Formstabilität der Tiefziehteile als bei geringerem PP – Anteil (30 %). Vlies mit geringerem Flächengewicht (224 g/m²) und einem PP-Anteil von 30 % wurde beim Tiefziehvorgang

überdehnt, während Vlies mit nur geringfügig höherem Flächengewicht (264 g/m²), aber einem PP – Anteil von 40 % sich zu zwar dünnen, aber relativ formstabilen Teilen verarbeiten ließ. Bild 21 zeigt ein Tiefziehteil aus Hanfvlies mit 70 % Hanf- und 30 % PP-Fasern.



Bild 21: Vlies (Ifd. Nr. 4) aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % Polypropylenfasern, (links) und daraus hergestelltes Tiefziehteil (rechts)

Die Versuche zeigen, dass Vliese aus Gemischen von Hanffasern, die mit dem low – cost – Verfahren Pilotanlage/Dosierer hergestellt wurden, und PP– Fasern zu Tiefziehteilen unterschiedlicher Formstabilität verarbeitet werden können. Bei Verbesserung der Versuchsbedingungen, insbesondere der Verkürzung der Zeit zwischen Erwärmung und Tiefziehvorgang, ließen sich die Qualitäten mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter verbessern. Anwendungsmöglichkeiten sind z. B. im Bereich Kofferraumauskleidung bei PKW denkbar.

5.1.3 Weiterverarbeitung von Hanf- Polypropylen - Vliesen zu Platten und Formpressteilen

Ein wichtiges Anwendungsfeld für Naturfasern ist bereits heute die Herstellung von Formpressteilen. Sie werden wegen ihrer vergleichsweise geringen Dichte bei günstigen Festigkeits- und Crasheigenschaften sowie guter Recyclefähigkeit vor allem im Fahrzeugbau eingesetzt. In vorliegenden Versuchen sollte untersucht werden, ob unterschiedliche Qualitäten und Zusammensetzungen von Vliesen aus Hanf – PP - Fasermischungen bei ihrer Verpressung zu Platten und Formpressteilen zu unterschiedlichen Qualitäten dieser Produkte führen. Die Versuche wurden von Januar bis März 2003 im KVB Chemnitz, das über Erfahrungen bei der Herstellung faserverstärkter Werkstoffe verfügt, durchgeführt. Allerdings lagen keine Erfahrungen zur Verarbeitung von Hanf – Polypropylen – Vliesen, bei denen der Matrixwerkstoff Polypropylen integraler Be-

standteil der Vliese ist, vor. Eine zusätzliche Aufbringung des Matrixwerkstoffes auf das Vlies war nicht vorgesehen.

Herstellung von Platten

Als Ausgangsmaterial für die erste Versuchsreihe dienten die gleichen Hanf- Polypropylen – Vliesqualitäten aus den Versuchen bei VLIFOTEX Erdmannsdorf wie bei der Herstellung von Tiefziehteilen. Die 1. Versuchsreihe sollte Aufschluss über geeignete Prozessdaten geben und Erkenntnisse über die für die Erreichung bestimmter Plattenstärken notwendige Anzahl von Vlieslagen liefern.

Quadratische Vliesabschnitte mit Kantenlängen von 30 cm wurden aufbauend auf den Erfahrungen der Tiefziehversuche im Elektrofen 5 Minuten bei 163°C erwärmt. Unmittelbar nach der Entnahme aus dem Ofen erfolgte die Verpressung einer oder mehrerer Vlieslagen auf einer auf 180°C vorgewärmten Presse (Versuchs-Nr. 1 nur 160°C). Der Pressdruck von 25 bar wurde in Abhängigkeit von der Anzahl der Vlieslagen 5 bis 10 Minuten aufrechterhalten, um eine Aufheizung des Vliesstapels auf die vorgegebene Presstemperatur zu erreichen. Nach Abschluss des eigentlichen Pressvorganges wurden die Platten aus der Presse entnommen und sofort in eine andere Presse eingelegt, wo sie 5 Minuten bei 25 bar und 70°C nachgepresst und abgekühlt wurden. Tabelle 45 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Vorversuche, in Bild 22 ist eine Pressplatte aus der Versuchsreihe dargestellt.

Tabelle 45: Varianten und Ergebnisse der 1. Versuchsreihe zur Herstellung von Platten aus Hanf- Polypropylen- Vliesen

Vers Nr.	lfd. Nr. Vlies	Vliesgewicht (g/m ²)	Hanfanteil (%)	Anzahl Vlies-Lagen	Plattendicke (mm)	Plattendichte (g/cm ³)	Ergebnis des Pressvorgangs
1	3	224	70	2	1,32	0,31	keine Schmelze des PP, keine Verklebung der Lagen
2	3	224	70	2	0,56	0,68	dünne, biegsame Platte, Lagen fest verbunden
3	3	224	70	5	1,56	0,70	noch biegsame Platte, Lagen fest verbunden
4	4	561	70	1	0,55	0,63	dünne, biegsame Platte
5	4	561	70	4	2,08	0,71	stabile Platte, Lagen fest verbunden
6	1	264	60	1	0,46	0,66	sehr dünne, biegsame Platte, Oberfläche glatter als Nr. 4
7	2	516	60	4	2,35	0,82	stabile Platte, Lagen fest verbunden
8	1	264	60	4	1,32	0,86	noch biegsame Platte, Lagen fest verbunden
9	2	516	60	10	5,52	0,88	sehr stabile Platte, Lagen fest verbunden



Bild 22: Pressplatte aus 70 % Hanffaser (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % Polypropylenfaser (erste Versuchsreihe, Versuchsnummer 5)

Einige ausgewählte Platten mit unterschiedlichen Stärken wurden auf wichtige mechanische Eigenschaften untersucht (Tabelle 46). Die gemessenen Elastizitäts- Moduli (E-Modul), Festigkeiten und Dehnbarkeiten waren mit Ausnahme der Variante 8 völlig unbefriedigend

und schlechter als die Eigenschaften des reinen Matrixwerkstoffes Polypropylen. Die Oberfläche der Platten war bei Verarbeitung von Vliesen mit 40 % PP – Anteil glatter als die der Platten aus Vliesen mit 30 % PP – Anteil.

Tabelle 46: Mechanische Eigenschaften von Pressplatten aus Hanffaservliesen unterschiedlicher Zusammensetzung, 1. Versuchsreihe, Mittel von je 5 Prüfungen

Versuchsnummer	E-Modul (GPa)	Festigkeit (MPa)	Dehnung (%)*
3	0,52	13,04	9,95
5	0,70	19,43	8,31
7	0,73	23,30	9,84
8	3,19	49,73	5,57
reines Polypropylen (nach MIECK u. REUßMANN, 1999, z. Vergleich)	1,30	30,00	k. A.

*bei maximaler Spannung

Da die in der 1. Versuchsreihe hergestellten Pressplatten nur wenig befriedigende Eigenschaften aufwiesen, wurde gemeinsam mit THIELEMANN, 2003 entschieden, diese nicht zu Formpressteilen weiter zu verarbeiten. Unter Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine neue, 2. Versuchsreihe zur Herstellung von Platten mit besseren Qualitätseigenschaften durchgeführt. Als Ausgangsmaterial dienten folgende in Tabelle 42 und den Bildern 17 bis 19 bereits vorgestellte Vliesqualitäten:

60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer),
40 % PP-Fasern (Ifd. Nr. Vlies 2)

70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer),
30 % PP-Fasern (Ifd. Nr. Vlies 4)

70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser),
30 % PP-Fasern (Ifd. Nr. Vlies 5)

Um weitgehend einheitliche Plattendicken zu erreichen, wurde die Anzahl der je Pressvorgang eingelegten Vlieslagen in Abhängigkeit vom Vliesflächengewicht variiert.

Der Pressvorgang erfolgte einheitlich bei einer Temperatur von 190°C und einem Pressdruck von 0,65 N/mm². Die gepressten Platten wurde nach dem eigentlichen Pressvorgang unter Druck in der Presse belassen und abgekühlt. Erst nach der Abkühlung erfolgte die Entnahme. Tabelle 47 zeigt Varianten und Ergebnisse der Pressversuche.

In den Bildern 23 bis 25 sind Ausschnitte aus den erzeugten Platten zu sehen. Sie sind insgesamt von deutlich besserer Qualität als die Platten der 1. Versuchsreihe.



Bild 23: Platte aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 40 % PP-Fasern (Vlies Ifd. Nr.2)



Bild 24: Platte aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 30 % PP-Fasern (Vlies lfd. Nr. 4)

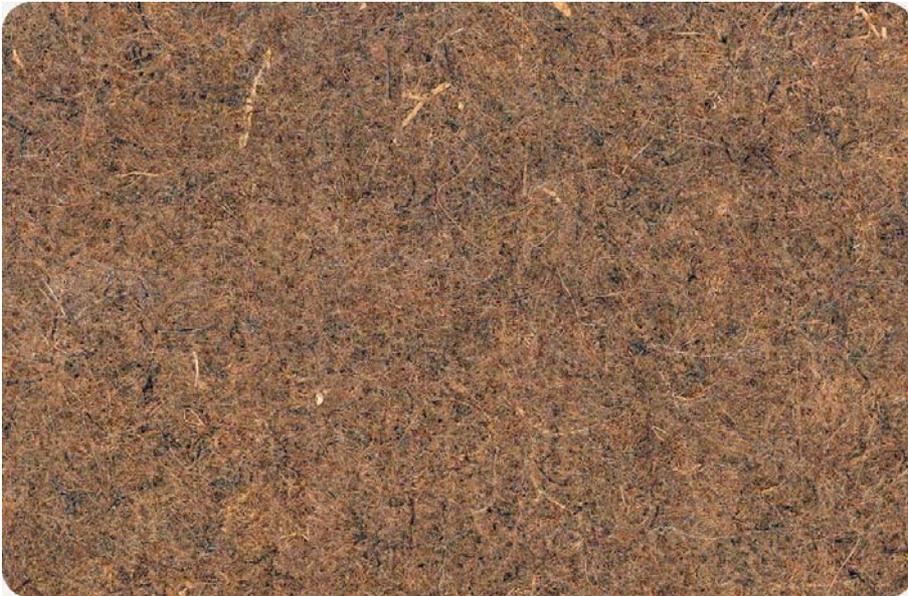


Bild 25: Platte aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser), 30 % PP-Fasern (Vlies lfd. Nr. 5)

Die in Tabelle 47 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass bei geringerem Hanf- und erhöhtem Polypropylenanteil glattere Plattenoberflächen und geringfügig höhere Plattendichten zu erreichen sind, wenn die Qualität der in den Vliesen verarbeiteten Hanffasern (beide aus Pilotanlage/Dosierer) gleich ist.

Die bei Verpressung des Vlieses aus 70 % Hanffasern aus der Variante Pilotanlage/Ballenauflöser und 30 % PP Fasern (lfd. Nr.

Vlies 5) beobachtete geringere Plattendichte resultiert offenbar aus einer größeren Widerstandsfähigkeit bzw. Steifheit dieses qualitativ höherwertigeren Vlieses (siehe Punkt 5.5.1, Tabelle 42) gegenüber dem Pressdruck. Die geringere Dichte kann für viele Anwendungsgebiete ein Vorteil sein, wenn eine ausreichende Festigkeit trotzdem gegeben ist.

Tabelle 47: Varianten und Ergebnisse der Versuche zur Herstellung von Platten aus Hanf- Polypropylen- Vliesen, 2. Versuchsreihe

Vers Nr.	lfd. Nr. Vlies	Vliesgewicht (g/m ²)	Hanfanteil (%)	Anzahl Vlies-Lagen	Plattendicke (mm)	Plattendichte (g/cm ³)	Ergebnis des Pressvorgangs
1	2	516	60	2	0,98	0,956	gleichmäßige Platte, über 90 % glatte Oberfläche
2	4	561	70	2	1,28	0,931	gleichmäßige Platte, ca. 50 % glatte Oberfläche
3	5	332	70	3	1,14	0,797	gleichmäßige Platte, ca. 70 % glatte Oberfläche

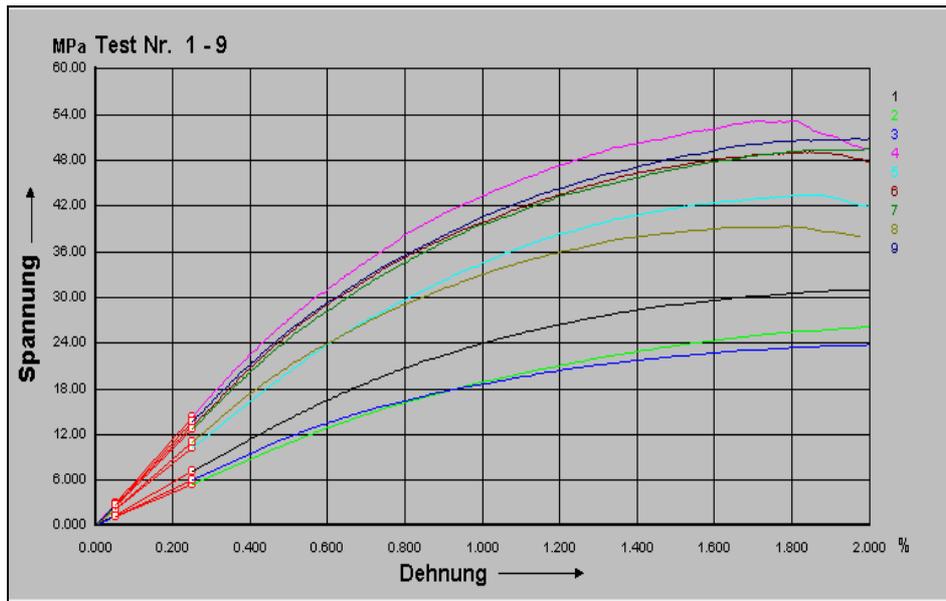


Bild 26: Spannungs- Dehnungs- Diagramm, Biegeversuche an Pressplatten aus Hanf- Polypropylen - Vliesen unterschiedlicher Zusammensetzung (s. Legende)

Legende zu Bild 26:

1 bis 3: 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 30 % PP-Fasern (Vlies lfd. Nr. 4)

4 bis 6: 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 40 % PP-Fasern (Vlies lfd. Nr. 2)

7 bis 9: 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser), 30 % PP-Fasern (Vlies lfd. Nr. 5)

Tabelle 48: Qualitätseigenschaften von Pressplatten aus Hanffaser – PP – Vliesen, 2. Versuchsreihe, Mittel von je 3 Prüfungen im Vergleich zu reinem PP

Variante Pressplattenzusammensetzung	lfd. Nr. Vlies	E-Modul (GPa)	Festigkeit (MPa)	Dehnung (%)*
70 % Hanffaser Pilotanlage/Dosierer, 30 % PP-Faser	4	3,11	27,21	2,19
60 % Hanffaser Pilotanlage/Dosierer, 40 % PP-Faser	2	5,83	48,48	1,70
70 % Hanffaser Pilotanlage/Ballenauflöser, 30 % PP-Faser	5	5,80	46,56	1,90
reines Polypropylen (nach MIECK u. REUßMANN, 1999)		1,30	30,00	k. A.

*bei maximaler Spannung

Die aus Hanffaser – Polypropylenfaser – Verbund bestehenden Platten der 2. Versuchsreihe weisen deutlich bessere mechanische Kennwerte auf als der reine Matrixwerkstoff Polypropylen (Bild 26, Tabelle 48). Damit ist eine echte Verstärkungswirkung der Hanffasern gegeben. Besonders gute Ergebnisse erzielte die Mischung mit 40 % PP – Anteil. Der Vergleich von E-Modul und Festigkeit der Platten mit 30 % PP- Anteil untereinander zeigt eine deutliche Überlegenheit des Materials mit Hanffasern aus der Fasergewinnungsvariante Pilotanlage/

Ballenaflöser. Dies bestätigt die Vermutung, dass das aus der Mietenlagerung stammende Rohmaterial durch die teilweise Beschädigung der Miete qualitativ beeinträchtigt war.

Weiterverarbeitung der Platten zu Formpressteilen

Die im Verlauf der 2. Versuchsreihe gewonnenen Hanf – Polypropylenplatten wurden mit der in Bild 27 dargestellten Versuchsanordnung zu Formpressteil - Rohlingen (Beispiele Bild 28) verarbeitet.



Bild 27: Umformwerkzeug für die Herstellung von Formpressteilen



Bild 28: Formpressteil-Rohlinge, hergestellt aus Hanf-PP-Vliesen unterschiedlicher Zusammensetzung

- links: 70 % Hanffaser Pilotanlage / Dosierer und 30 % PP-Faser (Vlies lfd. Nr. 4)
- Mitte: 60 % Hanffaser Pilotanlage / Dosierer und 40 % PP-Faser (Vlies lfd. Nr. 2)
- rechts: 70 % Hanffaser Pilotanlage / Ballenaflöser und 30 % PP-Faser (Vlies lfd. Nr. 5)

Ein Querschnitt durch einen solchen Formpressteil - Rohling (Bild 29) beweist, dass auch bei anspruchsvollen Formen sehr geringe und dabei gleichmäßige Wandstärken der Pressteile

(unterer Bereich des Rohlings) möglich sind. Größere Wandstärken sind noch unkomplizierter herstellbar.

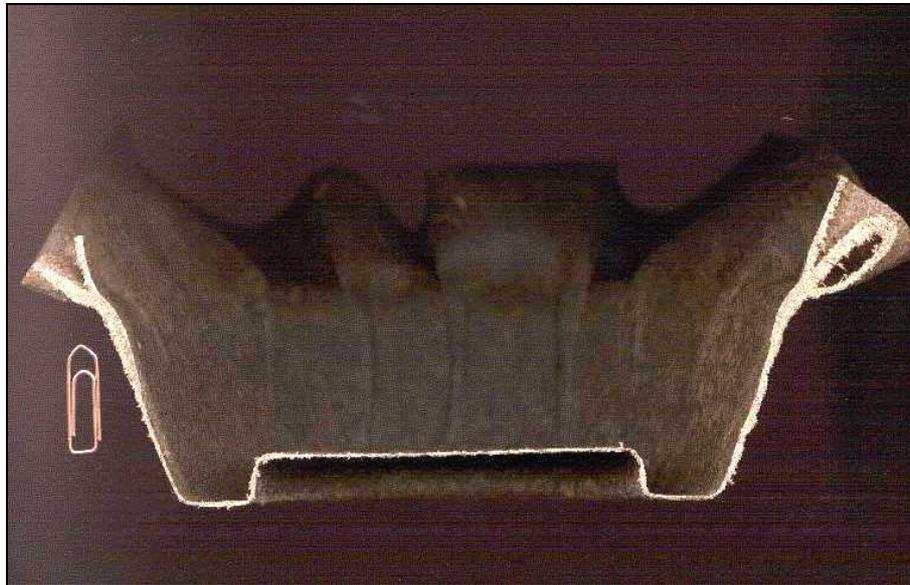


Bild 29: Querschnitt durch einen Formpressteil-Rohling aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 40 % PP-Fasern, (zum Größenvergleich: Büroklammer)

Dies kann dem Material ein breites Einsatzfeld eröffnen, z. B. in den Bereichen Fahrzeuginnenausbau, Gerätegehäuse, Bau- und Möbelindustrie. Voraussetzung für viele dieser Einsatzbereiche ist die Beseitigung bzw. Kaschierung der von den Teilen ausgehenden Geruchsbelastung. Dieses Problem ist gegenwärtig noch nicht gelöst.

Insgesamt konnte aber nachgewiesen werden, dass mit Hilfe der bei LEHMANN Maschinenbau Jocketa entwickelten low – cost – Hanfverarbeitungsanlage die kostengünstige Herstellung von Hanffasern mit für technische Einsatzgebiete ausreichenden Qualitätseigenschaften möglich ist.

5.2 Herstellung von Spritzgussteilen aus Hanffaserstoff bzw. Hanffasern und Polypropylen

Zielstellung der Untersuchungen war es, die Eignung von Hanffaserstoff aus Grünhanfganzpflanzen sowie von gereinigten Hanffasern aus Hanfröststroh für die Herstellung von Spritzgussformteilen zu untersuchen. Dabei sollte das Mischungsverhalten beider Hanfmaterialien mit Kunststoffgranulat aus Polypropylen PP 1100 UC (PP) und anschließend die Verarbeitbarkeit der Mischung auf einer Spritzgussmaschine, jeweils in Abhängigkeit vom

Hanfanteil in der Mischung, analysiert werden. Im Anschluss war der Einfluss des Anteils von Hanffaserstoff bzw. Hanffasern an der Mischung auf wichtige Materialkennwerte (Biegefestigkeit, Dehnbarkeit, E-Modul, Zugspannung, Zugfestigkeit) der gewonnenen Prüfkörper (Zugstäbe) zu prüfen.

5.2.1 Herstellung der Ausgangsmaterialien Hanffaserstoff und Hanffasern

Hanffaserstoff

Erntefrische Hanfganzpflanzen aus dem Anbauversuch Lieske 2002 (siehe Punkt 3.1) mit einem Trockensubstanzgehalt von etwa 40 Prozent wurden in einem Doppelschneckenextruder der Firma LEHMANN Maschinenbau Jocketa extrudiert, abschließend mit einem Heißlufttrockner getrocknet und nochmals dem Extruder zugeführt. Bild 30 zeigt den gewonnenen Hanffaserstoff.

Der Feuchtegehalt des Hanffaserstoffes und der Hanffasern wurde mit einem Feuchtemessgerät der Fa. Sartorius MA 30 bestimmt. Er lag bei Hanffaserstoff zwischen 10,9 % und 11,9 %. Im Faserstoff waren die einzelnen aufgeschlossenen Fasern z. T. zu Bündeln bzw. fadenähnlichen Abschnitten zusammengedreht, was eine kontinuierliche Förderung erschwerte.



Bild 30: Hanffaserstoff

Hanffasern

Es wurden Hanffasern aus einem Verarbeitungsversuch in Jocketa (Variante Pilotanlage / Dosierer, s. Punkt 4.2) verwendet (Bild 31). Sie hatten einen Feuchtegehalt von 8,9 bis 9,9 % und waren wegen ihrer Länge für die Weiterverarbeitung in der Spritzgussmaschine nicht geeignet. Probleme beim Mischen, bei der Granulierung und bei der Förderung des Granu-

lates in der Spritzgussmaschine (Verstopfen) waren zu erwarten, so dass eine Vorzerkleinerung notwendig wurde.

Die Vorzerkleinerung erfolgte in einer Laborschneidmühle der Fa. RETSCH auf eine mittlere Länge von 6 mm durch Verwendung eines Einlegesiebes mit einer Siebweite von 6 mm. Bild 31 (rechts) zeigt die zerkleinerten Hanffasern.



Bild 31: Hanffasern vor dem Zerkleinern (links) und nach dem Zerkleinern mit der Laborschneidmühle

5.2.2 Weiterverarbeitung von Hanffaserstoff bzw. Hanffasern mit Polypropylen zu Granulat

Die Verfahrensschritte zur Herstellung von Spritzgussteilen aus Hanffasern bzw. Hanffaserstoff einerseits und PP andererseits sind in Bild 32 schematisch dargestellt. Zur Realisierung der Versuchsanordnung wurde die an der TU Chemnitz im Technikum der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik vorhandene Labortechnik genutzt. Zum Mischen standen zwei Typen von Knetern zur Verfügung:

ein Knetter für Füllmengen von 3 – 4 kg und ein Laborstempelknetter (Füllmenge 70 – 80 g). Die im Knetter erwärmten und homogenisierten Mischungen wurden warm auf einem Walzwerk geformt, nach dem Erkalten mit einer Säge grob zerkleinert und anschließend mit einem Schredder (Mischungen mit Hanffaserstoff) bzw. mit einer Schneidemühle (Mischungen mit Hanffasern) granuliert. Diese Zerkleinerungsschritte waren notwendig, um ein für die Zuführung zur Spritzgussmaschine geeignetes, fließfähiges Material zu erhalten.

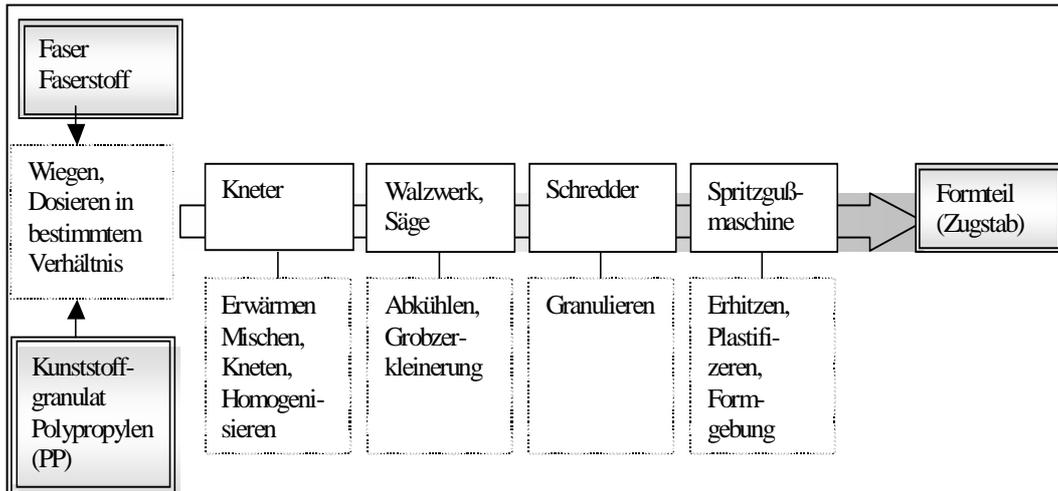


Bild 32: Verfahrensschritte zur Herstellung von Spritzgussteilen aus Hanffasern bzw. Hanffaserstoff und Polypropylen im Labor

Mischen von Hanffaserstoff mit Polypropylen

Auf Grund der Struktur des Hanffaserstoffes konnte zum Mischen nur der größere Knetter eingesetzt werden. Tabelle 49 zeigt die untersuchten Mischungsverhältnisse und Versuchsbedingungen.

Die Mischungen (Formmassen) wurden warm auf einem Walzwerk geformt.

In Bild 33 sind die verschiedenen ausgewalzten Mischungen nach dem Erkalten dargestellt.

Tabelle 49 : Mischungsverhältnisse von Hanffaserstoff und Polypropylen

Nr.	Mischungsverhältnis	Mischtemperatur	Mischzeit	Drehzahl	Bemerkung
1	Hanffaserstoff (50 %), PP (50 %)	160°C	3 min	70 U/min	sehr zäh beim Mischen, schlechte Homogenisierung
2	Hanffaserstoff (40 %), PP (60 %)	160°C	3 min	70 U/min	Faserreste kleben im Mischer fest, z. T. nicht alle Fasern an das PP gebunden
3	Hanffaserstoff (30 %), PP (70 %)	160°C	3 min	70 U/min	relativ gute Mischung

Abbildung	Anteil Hanffaserstoff	Bemerkung
	30 %	überwiegend homogene Mischung
	40 %	relativ homogen, aber Absonderung von Faserbündeln (helle Stellen)
	50 %	sehr bröcklig, bricht bei geringer Belastung Fasern (helle Stellen) deutlich erkennbar

Bild 33: Mischungen aus Hanffaserstoff und PP nach dem Auswalzen und Erkalten

Mischen von Hanffasern mit Polypropylen

Die Hanffasern wurden auf eine Länge von 6 mm zerkleinert und ein Mischer mit einer kleineren Mischkammer (Füllmenge 70...80 g, je nach Dichte des Gutes) verwendet, um die

Homogenität der Mischung zu verbessern und Faseranhäufungen zu vermeiden. Um die Menge an spritzfähigem Granulat herzustellen, waren mindestens 5 Mischkammerfüllungen notwendig. Folgende Mischungsverhältnisse wurden untersucht (Tabelle 50):

Tabelle 50: Mischungsverhältnisse Hanffaserstoff - Polypropylen

Nr.	Gutart	Mischtemperatur	Mischzeit	Drehzahl	Bemerkung
1	Hanf (50 %), PP (50 %)	190°C	5 min	50 U/min	gute Homogenisierung, gute Verbindung zwischen Fasern und PP
2	Hanf (30 %) PP (70 %)	190°C	5 min	50 U/min	gute Homogenisierung, gute Verbindung zwischen Fasern und PP
3	Hanf (40 %) PP (60 %)	190°C	5 min	50 U/min	gute Homogenisierung, gute Verbindung zwischen Fasern und PP
4	Hanf (60 %) PP (40 %)	190°C	5 min	50 U/min	relativ gute Homogenisierung, Mischung z. T. bröcklig
5	Hanf (70 %) PP (30 %)	190°C	5 min	50 U/min	relativ gute Homogenisierung, Mischung spröde („krümelt“)



Bild 34: Mischung aus 60 % Hanffasern und 40 % PP nach Verlassen des Mixers und Auswalzen

Bei der Verwendung von zerkleinerten Hanffasern wurden sehr gute, homogene Mischungen erreicht (Bild 34). Qualitätsunterschiede in der Homogenisierung in Abhängigkeit der unterschiedlichen Faseranteile waren nicht feststellbar. Jedoch lag mit höherem Faseranteil (70 %) keine zusammenhängende Gutmasse mehr vor, die Mischung „bröckelt“ auseinander, d. h. Polypropylen wirkte bei geringen Anteilen nicht mehr als Bindemittel, sondern wurde vollständig von den Fasern aufgesaugt.

Herstellung von Granulat

Die erkalteten Mischungen wurden im Schredder (Mischungen mit Hanffaserstoff) bzw. in der Schneidmühle (Mischungen mit Hanffasern) granuliert. Die Verwendung der unterschiedlichen Versuchsapparaturen resultiert aus der Menge und Handhabbarkeit der erkalteten Mischung. Ein mit dem Schredder hergestelltes Granulat zeigt Bild 35.



Bild 35: Granulat aus Hanffaserstoff und Polypropylen

5.2.3 Herstellung von Spritzgussteilen

Aus dem hergestellten Material (Granulat mit Anteilen von Hanffaserstoff bzw. Hanffasern) wurden auf einer Spritzgussmaschine bei einer Verarbeitungstemperatur von 170°C Zugstäbe hergestellt.

Beim Spritzgießen konnte folgende Beobachtungen gemacht werden:

In den Zugstäben mit gereinigten Hanffasern war im Vergleich zur Verwendung von Hanffaserstoff eine bessere Verteilung des Hanfanteils zu erkennen. Faseranhäufungen und große Partikel waren kaum vorhanden, die Formteile hatten eine homogene Oberfläche.

Ab 50 % Anteil Hanffaserstoff in der Mischung konnte die an der Maschine vorhandene Eintragsvorrichtung nicht mehr genutzt werden. Dieses Granulat war, bedingt durch herausstehende Fasern, nicht fließfähig, es kam zur Brückenbildung. Abhilfe wurde durch manuelle Dosierung erreicht.

Auch bei der Verarbeitung aller Mischungen mit Hanffasern konnte die vorhandene Eintragsvorrichtung nicht genutzt werden. Das Granulat aus Hanffasern und PP hatte zwar im Vergleich zu dem mit Hanffaserstoff eine glattere Struktur

und Fasern standen kaum ab. Es kam aber zu starken elektrostatischen Aufladungen, das Material wurde so von Oberflächen angezogen. Abhilfe wurde auch hier durch manuelle Dosierung erreicht.

Teilweise traten Störungen im kontinuierlichen Betrieb durch o. g. schlechtes Einziehen des Gutes in die Plastifiziereinheit auf.

Bei der Verwendung der Mischung ab 50 % Hanffasern war ein höherer Spritzdruck bzw. Nachdruck erforderlich, um die Form vollständig ausfüllen zu können.

Verarbeitungsgrenzen waren bei der genutzten Spritzgusstechnik mit einem Hanffaseranteil von 60 % erreicht. Um die vollständige Ausfüllung der Form zu gewährleisten, musste im Vergleich zu den Versuchen mit geringeren Faseranteilen die Verarbeitungstemperatur auf 190°C erhöht werden. Ebenso war ein wesentlich höherer Spritzdruck und Nachdruck notwendig. In den Spritzgussteilen sind durch die höhere Verarbeitungstemperatur stärkere Geruchsbelästigungen (evtl. thermische Faserschädigung?) festzustellen. Bei noch höheren Faseranteilen treten Entmischungen auf (Bild 36).

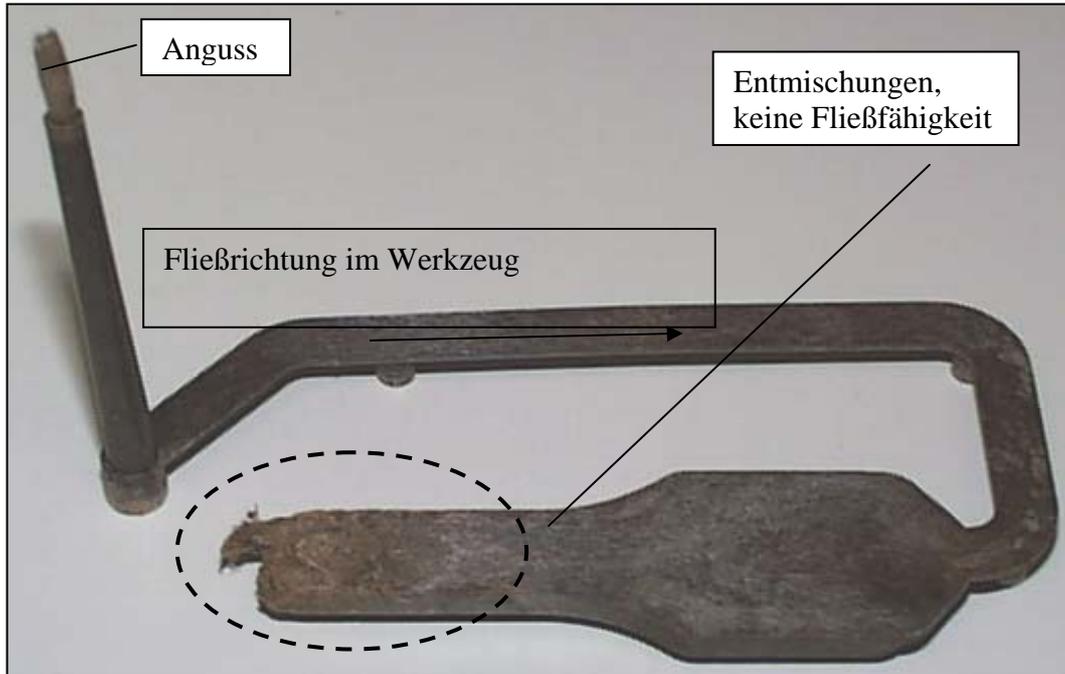


Bild 36: Spritzgussversuch mit 70 % Hanffaseranteil

Eigenschaften der Spritzgussteile

Die Bestimmung der Eigenschaften des Materials konzentrierte sich auf die Ermittlung der Biege- und Zugfestigkeit.

Biegefestigkeit

Die aus Mischungen unterschiedlicher Anteile von Hanffaserstoff bzw. Hanffasern mit Polypropylen im Spritzgussverfahren hergestellten Probekörper (Bilder 37 und 38) wurden mit dem in Bild 39 dargestellten Versuchsaufbau nach den Kriterien Biegespannung, maximale Dehnung und E-Modul geprüft.

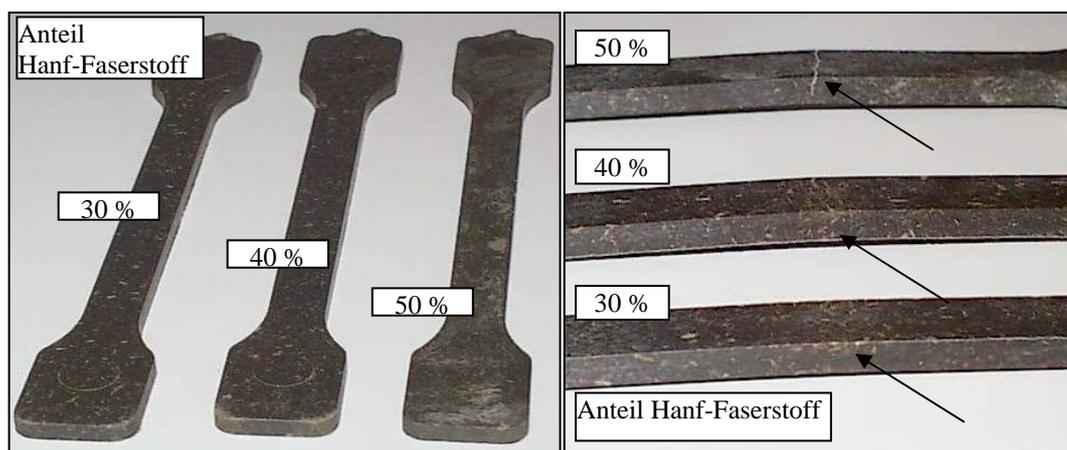


Bild 37: Probekörper mit Hanffaserstoff vor der Prüfung (links) und nach der Biegeprüfung (rechts), Detail: Bruchstelle

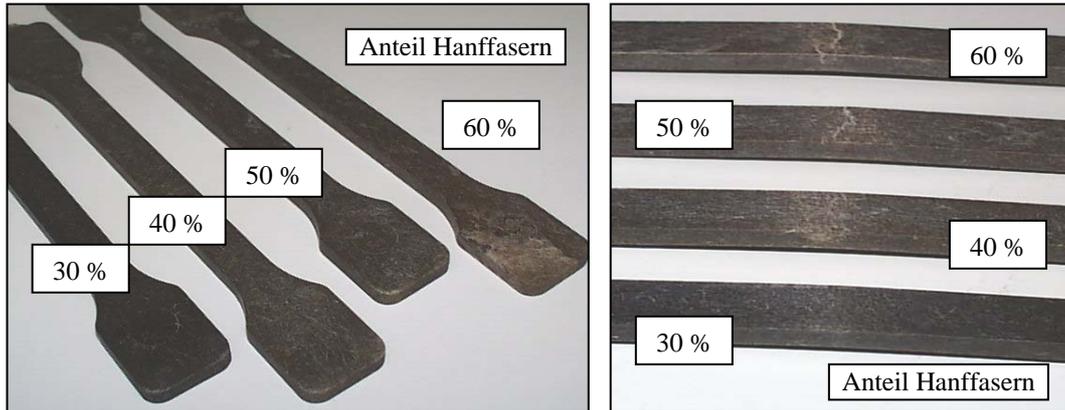


Bild 38: Probekörper mit Hanffasern vor der Prüfung (Biegung bzw. Zug)

Probekörper mit Hanffasern nach der Biegeprüfung

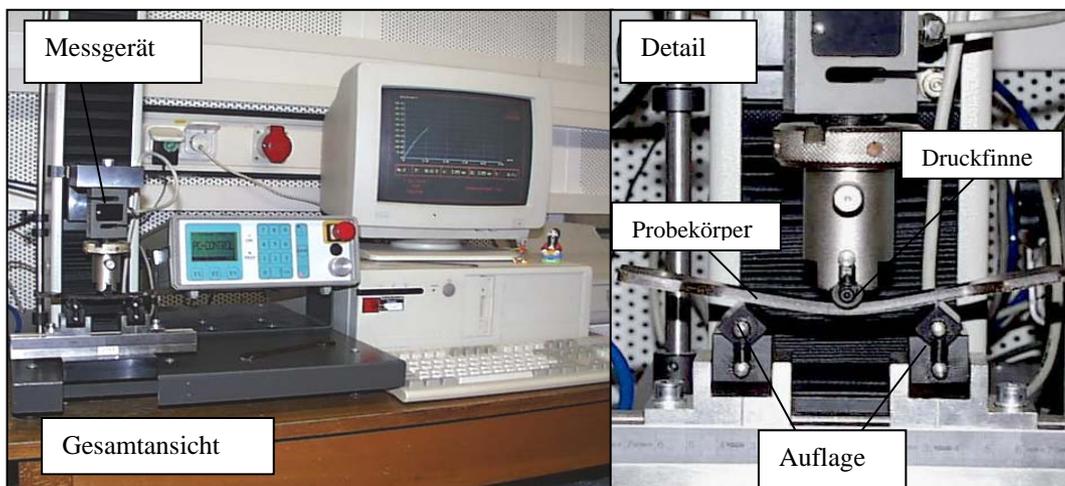


Bild 39: Versuchsaufbau zur Messung der Biegefestigkeit

Die bei den Messungen ermittelten Werte sind in Tabelle 51 zusammengestellt.

Tabelle 51: Messwerte zur Biegefestigkeit von Spritzguss-Probekörpern mit unterschiedlichen Anteilen an Hanffaserstoff bzw. Hanffasern

Material	Biegespannung (N/mm ²)	max. Dehnung (%)*	E-Modul (kN/mm ²)
Mischungen mit Hanfganzpflanzenfaserstoff			
PP mit 30 % Hanffaserstoff	42,98	3,50*	2,54
PP mit 40 % Hanffaserstoff	44,42	3,37	3,08
PP mit 50 % Hanffaserstoff	45,34	2,22	3,57
Mischungen mit zerkleinerten Hanffasern (6 mm)			
PP mit 30 % Hanffasern	51,84*	3,50*	2,84
PP mit 40 % Hanffasern	57,16*	3,50*	4,04
PP mit 50 % Hanffasern	59,16	3,14	4,64
PP mit 60 % Hanffasern	53,29	2,22	5,68

* 3,5 % Dehnung als Abbruchkriterium

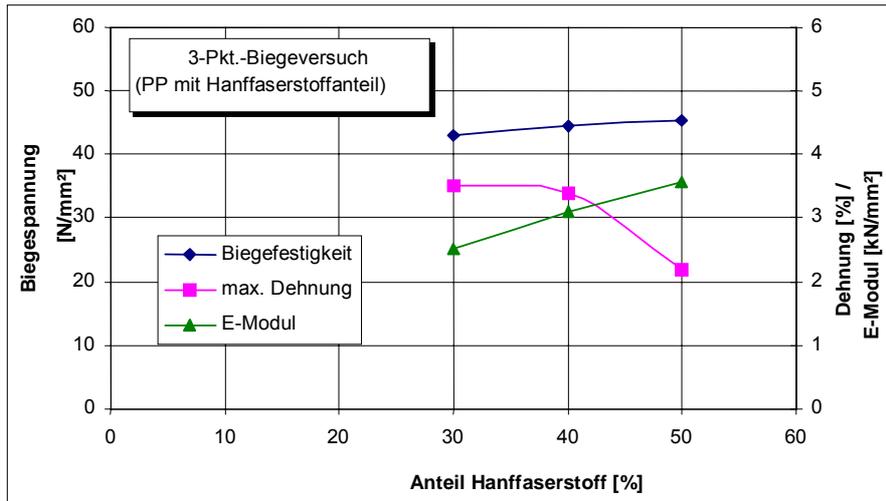


Bild 40: Einfluss des Hanffaserstoffanteils auf die Biegefestigkeit von Spritzgussteilen

Bei der Biegeprüfung zeigte sich deutlich die zunehmende Sprödigkeit des Materials mit abnehmendem PP-Anteil, vor allem bei Mischungen mit Hanffaserstoff.

Bei einem Hanffaserstoffanteil von 50 % brechen die Proben ohne wesentlichen Kraftaufwand durch (Bild 40).

Bei der Verwendung von zerkleinerten Hanffasern ist eine Verbesserung der Festigkeitswerte gegenüber den Proben mit Hanffaserstoff zu erkennen (Tabelle 51). Diese Proben brachen selbst bei hohem Hanffaseranteil nicht durch. Jedoch wurden auch bei der Verwendung von Fasern die Proben mit zunehmendem Faseranteil spröder, d. h. die erreichbare Biegespannung bis zum Bruch nahm ab bzw. die Proben brachen bei

einer geringen Dehnung.

Die Dehnung infolge Biegebewehrung ist bei Faseranteilen bis zu 40 % ausreichend hoch, d. h. die nach DIN 53452 vorgeschriebenen 3,5 % als Abbruchkriterium für die Prüfung werden erreicht. Die zu diesen bei 3,5 % Dehnung abgebrochenen Versuchen gehörenden Spannungen wären bei einer Versuchsdurchführung bis zum Bruch der Probe höher. Daraus resultiert der Abfall der Biegefestigkeitskurve bei 60 % Faseranteil (Bild 41).

Im Vergleich zum reinen PP wird die Biegefestigkeit bzw. die Elastizität mit zunehmendem Faseranteil geringer. Je geringer der Faseranteil ist, umso weniger ist eine bleibende Verformung festzustellen.

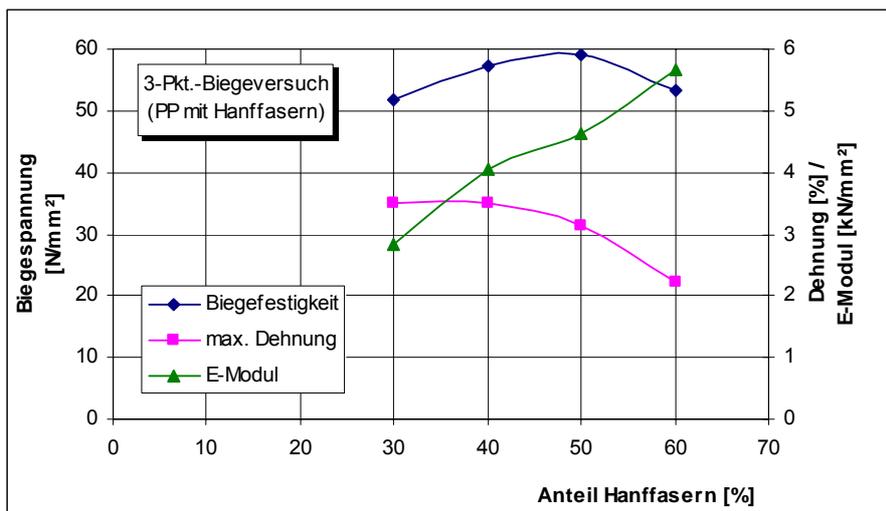


Bild 41: Einfluss des Hanffaseranteils auf die Biegefestigkeit von Spritzgussteilen

Insgesamt bleiben die Einflüsse auf die Biegefestigkeit in Abhängigkeit vom Faseranteil relativ gering. Die abnehmende Elastizität des Materials und die zunehmende Sprödigkeit, jeweils bei steigendem Faseranteil werden durch den steigenden E-Modul und die abnehmende Dehnung belegt.

Zugfestigkeit

Beim Zugversuch (Versuchsaufbau Bild 42) wurden Zugfestigkeit, Bruchdehnung und E-Modul bestimmt. Die ermittelten Messwerte sind in Tabelle 52 zusammengestellt.

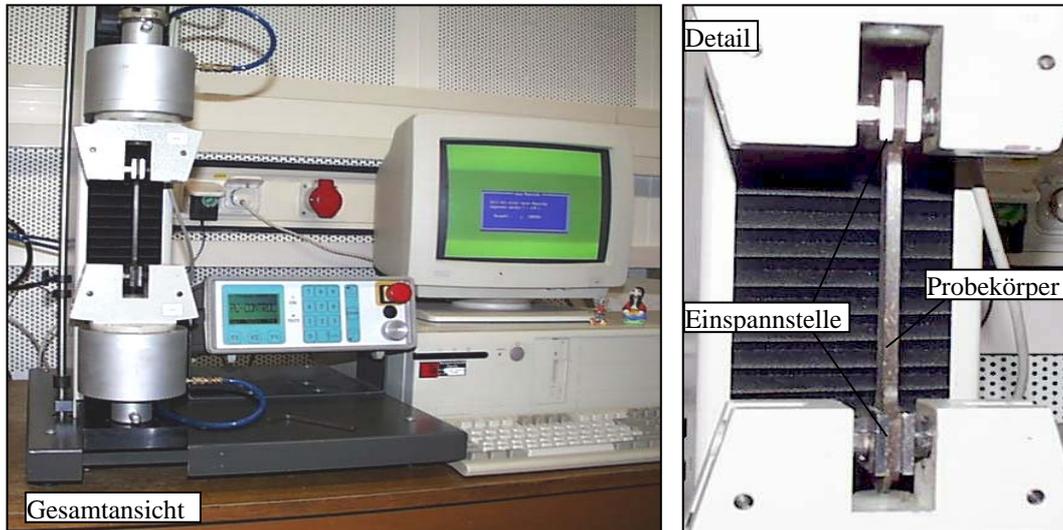


Bild 42: Versuchsaufbau zur Messung der Zugfestigkeit

Tabelle 52: Messwerte zur Zugfestigkeit von Spritzguss-Probekörpern mit unterschiedlichen Anteilen an Hanffaserstoff bzw. Hanffasern im Vergleich zu Probekörpern aus reinem PP

Material	Zugspannung (N/mm ²)	max. Dehnung (%)**	E-Modul (kN/mm ²)
PP 1100 UC (100 %)	34,30	17,50	1,28
Mischungen mit Hanffaserstoff			
PP mit 30 % Hanffaserstoff	27,86	3,72	1,70
PP mit 40 % Hanffaserstoff	26,26	2,82	1,72
PP mit 50 % Hanffaserstoff	26,10	2,18	2,06
Mischungen mit zerkleinerten Hanffasern (6 mm)			
PP mit 30 % Hanffasern	33,87	4,46	2,09
PP mit 40 % Hanffasern	33,68	3,84	2,29
PP mit 50 % Hanffasern	32,40	3,11	2,28
PP mit 60 % Hanffasern	25,03	2,34	2,00

** 20 % als Abbruchkriterium

Auch die Festigkeit nimmt mit zunehmendem Hanfanteil ab. Gegenüber dem ungefüllten Polypropylen ist insbesondere die bei der Verwendung von Hanffaserstoff zu beobachtende Minderung der Reißdehnung hervorzuheben, die auf weniger als 25 % sinkt.

Bei Einsatz von zerkleinerten Hanffasern tritt bis zu einem Faseranteil von 50 % nahezu keine Minderung in der Zugspannung auf, im

Vergleich zu Ganzpflanzenfaserstoff werden deutlich höhere Dehnungswerte erreicht. Jedoch wird das Material bei Faseranteilen über 50 % zunehmend hart und spröde (höherer E-Modul), die Zugfestigkeit und die Dehnung verringern sich deutlich. Mit steigendem Faser- bzw. Faserstoffanteil erhöht sich die Härte und Sprödigkeit dieser Proben, was im gestiegenen E-Modul zu erkennen ist (Bild 44).

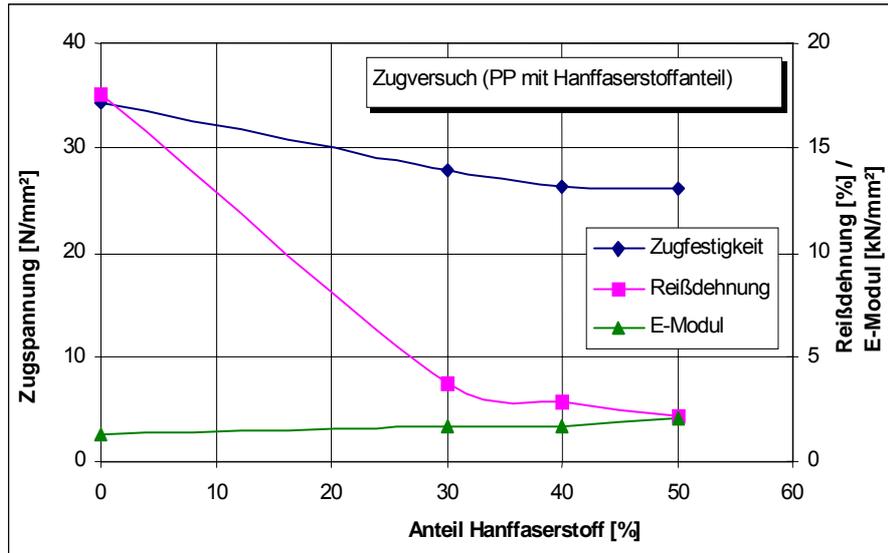


Bild 43: Einfluss des Hanffaserstoffanteils auf die Zugfestigkeit von Spritzgussteilen

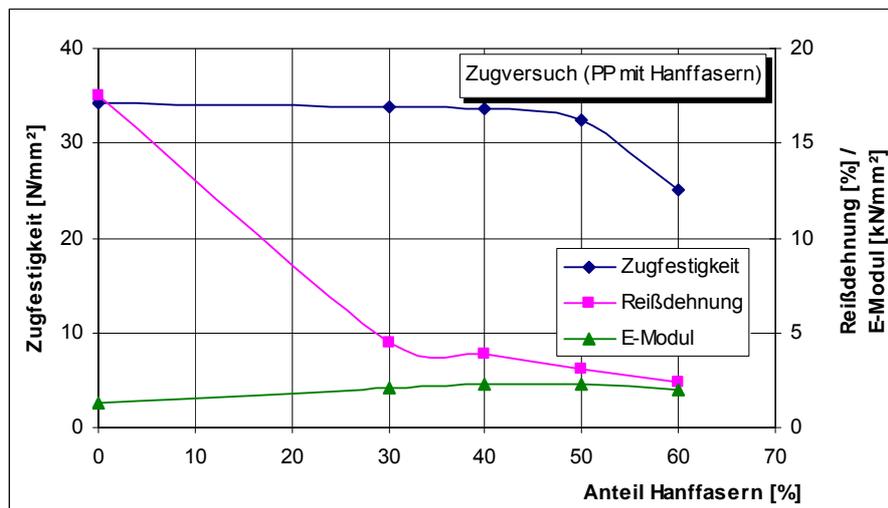


Bild 44: Einfluss des Hanffaseranteils auf die Zugfestigkeit von Spritzgussteilen

Zusammenfassung Spritzgussversuche

Grundsätzlich ist es möglich, Hanffaserstoff bzw. -fasern in Spritzgussteile mit einem hohen Anteil einzubringen bzw. auf Spritzgussmaschinen zu verarbeiten. Schwierigkeiten sind jedoch beim Herstellen einer homogenen Mischung aus Kunststoff und Fasern zu sehen, der Kunststoff wird nicht ausreichend an die Fasern gebunden.

Eine ausreichende Homogenisierung und Gleichverteilung der Hanffasern im Kunststoff ist nur bei Verwendung von zerkleinerten

Fasern (im Versuch mittlere Länge von 6 mm) gegeben.

Im Hanffaserstoff sind „fadenähnliche“ Abschnitte vorhanden, die starke Inhomogenitäten in der Mischung verursachen. Große Partikel (Schäben) können zudem Düsen der Spritzgussmaschine verstopfen.

Hanffaserstoff-Granulat ist durch herausstehende Fasern nicht fließfähig, auch wurde ein elektrostatisches Aufladen und dadurch bedingtes Anhaften festgestellt.

Als Grenze für die Verarbeitbarkeit zu Spritzgussteilen wurde ein Hanfanteil von 50 bis 60 % (je nach Ausgangsrohstoff) ermittelt. Bei hohem Hanfanteil sinkt die Fließfähigkeit des Materials, das Spritzgusswerkzeug wird nicht mehr vollständig gefüllt.

Der als Mischungspartner eingesetzte Kunststoff muss eine niedrige Schmelztemperatur (160...180°C) aufweisen, da bei höheren Temperaturen die Faserschädigungen und zunehmend auch anhaltende Geruchsbelastungen auftreten.

Aus den Festigkeitsuntersuchungen wird abgeleitet, dass die Verstärkung von PP mit Hanffasern bessere Ergebnisse bringt als mit Hanffaserstoff. Der Einsatz von Hanffaserstoff bringt durch die enthaltenen Anteile an Schäben, Schmutz u. ä. mehr Fehlstellen in den Kunststoff ein.

Insgesamt bestehen große Unterschiede in der Zug- und Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Hanfaufbereitungsart. Die Zumischung von Hanffaserstoff hat vor allem bei Belastungen auf Zug eine festigkeitsmindernde Wirkung. Dagegen sind die Einflüsse auf die Biegefestigkeit gering. Die Verwendung von gereinigten, zerkleinerten Hanffasern bewirkt höhere Festigkeitswerte. Bis zu Faseranteilen von 50 % sind keine wesentlichen Einflüsse auf die Zug- und Biegefestigkeit zu erkennen. Das Material wird erst ab einem Anteil über 50 % Fasern zunehmend spröde.

Die hergestellten Materialien wären in Bauteilen ohne Zugbeanspruchung verwendbar, wobei auf Grund des Geruches der Teile verschiedene Einsatzzwecke ausscheiden.

6 Erprobung der Feuchtkonservierung von Hanf

Hanfernteverfahren der Trockengutlinie verfolgen das Ziel, trockenes Hanfröststroh mit einem für den Verwendungszweck optimalen Röstgrad zu gewinnen, welches auf Grund eines geringen Feuchtegehaltes (maximal 16 Prozent) über längere Zeiträume lagerfähig ist. Diese Ernteverfahren sind immer stark wetterabhängig. Die Dauer des Röst- und Trocknungsprozesses kann stark schwanken. Besonders ertragreiche Sorten benötigen eine lange Vegetationszeit, reifen spät und können meist erst ab Mitte September gemäht werden. Das kann dazu führen, dass nicht ausreichend Zeit für die erforderliche Feldröste und eine für die Langzeitlagerung ausreichende Abtrocknung zur Verfügung steht. Bei ungünstiger Witterung kann es zur Überröste bzw. zum Verderb kommen. Andererseits kann sich der Röstprozess bei trockenem und kühlem Wetter verzögern und die Bergung des Hanfröststrohes bis weit in

den Herbst hinein verzögern. Dies erschwert wiederum die Erreichung des für die Lagerfähigkeit erforderlichen geringen Feuchtegehaltes.

Deshalb wurden Überlegungen angestellt, ob für einen Teil des jährlich abzuerntenden Hanfs alternative Erntemethoden mit geringerer Witterungsabhängigkeit in Frage kommen können.

Eine Möglichkeit der alternativen Ernte und Lagerung besteht in der Feuchtkonservierung bzw. Silierung. Dieses Verfahren wird für Futtermittel wie Gras, Kleegrasmischungen und Mais, z. T. unter Verwendung von Silierhilfsmitteln, seit langem erfolgreich angewandt. Die Anwendung des Feuchtkonservierungsverfahrens bei Hanf würde das Ernterisiko stark vermindern, da das Erntegut auf dem Feld weder rösten noch abtrocknen muss. Außerdem könnte der Erntetermin weiter in den Herbst hinein verschoben werden, wodurch der Anbau spätreifender, hocheertragreicher Sorten möglich würde.

Um zu prüfen ob die Vorteile der Feuchtkonservierung von Hanf unter sächsischen Bedingungen genutzt werden können, wurden nach Konsultationen mit STEINHÖFEL, 1999, im Zeitraum 1999 bis 2002 zunächst Tastversuche, zum Teil mit Konservierungshilfsmitteln, und anschließend ein Konservierungsversuch im Technikummaßstab durchgeführt. Die gewonnenen Konservate wurden nach äußeren Merkmalen bonitiert, die Fasern der Konservate mit den besten Boniturergebnissen im Sächsischen Textilforschungsinstitut Chemnitz auf Qualitätseigenschaften untersucht.

Tastversuche zur Feuchtkonservierung

Als Ausgangsmaterial für den ersten Konservierungsversuch diente Hanf der Sorte Fedora 9 von einem im Landwirtschaftsbetrieb Ökologischer Landbau Kretzschmar, Gersdorf durchgeführten Anbauversuch. Jeweils 20 kg Hanfpflanzen wurden im Stadium der beginnenden Samenreife am 30. September 1999 mit einem handelsüblichen Gartenhäcksler (Prinzip Leisehäcksler) gequetscht und teilweise zerkleinert, z. T. mit Zusätzen versetzt und in luftdicht verschließbare Plastik-Sauerkrautfässer (Rauminhalt 120 l) gepackt. Nach einer intensiven Verdichtung des zu konservierenden Gutes durch Festtreten und dessen Beschwerung mit einem flexiblen, an den Innenwänden des Fasses anliegenden Wassersack wurden die Fässer luftdicht verschlossen und in einem frostfreien Raum gelagert. In Tabelle 53 sind die Konservierungsvarianten und die Ergebnisse der Bonitur der Konservate, die am 18. April 2000 erfolgte, dargestellt.

Tabelle 53: Varianten und Boniturergebnisse von Tastversuchen zur Hanf-Nasskonservierung, 1999 – 2000, TS-Gehalt des Hanfs 39,65 %, Sorte Fedora 19

Var. Nr.	Variante	Zusatz	Boniturergebnis (Note*)
1	ohne Zusatz	-	etwas Schimmel, ansonsten gute Konservierung (3)
2	Schaumasil	50 ml/kg	gut, fast kein Schimmel (2)
3	Kofasil	5 g/kg	gut, kaum Schimmel (2)
4	Sila-Bac	1 g/kg	stark verschimmelt (8)
5	Sila-Bac + Zucker	1 g Silabac + 100 g Zucker/kg	stark verschimmelt (7)
6	Milki ferm	0,2 ml/ + 0,1 g/kg	stark verschimmelt (6)
7	Zucker	100 g/kg	gute Konservierung (2)
8	Zucker + Tensid	100 g/kg + 0,1 % Tensid (v. Wassergehalt d. Hanfs)	schlechter als reiner Zucker, schlechter als ohne Hilfsmittel (5)
9	Branntkalk (gemahlen)	100 g/kg	stellenweise verschimmelt (5)
10	Natronlauge (3 %)	8 % v. Wassergehalt des Hanfs	etwas Schimmel (4)

*1 (gute Konservierung) bis 9 (totaler Verderb)

Die besten Boniturergebnisse erreichten die Varianten mit den Hilfsstoffen Zucker, Kofasil und Schaumasil. Die positive Wirkung des Zuckers ist auf die Verbesserung des bei Hanf im Vergleich zu den meisten Grünfütterarten ungünstigeren Zucker – Pufferkapazitätsquotienten zurückzuführen. Der Zucker begünstigt so die natürliche Tätigkeit der Milchsäurebakterien, die Absenkung des pH-Wertes und dadurch den Konservierungserfolg. Die Wirkung von Kofasil und Schaumasil beruht nicht auf einer Unterstützung der natürlichen Milchsäuregärung. Beide Mittel sind selbst Konservierungsstoffe und bewirken Hemmung von Bakterien und Pilzen, wodurch bei ausreichender Dosierung eine Konservierung des Hanfs erfolgt. Die Anwendungskosten dieser Mittel sind relativ hoch.

Bei Verwendung des Silierhilfsmittels Sila-Bac, das Milchsäurebakterien als Starterkultur für die Milchsäuregärung enthält, verdarb der eingelagerte Hanf fast vollständig. Auch bei zusätzlichem Zuckereinsatz waren nur geringfügig bessere Konservierungsergebnisse zu beobachten. Der Grund für das schlechte Abschneiden der Varianten mit dem in der Futterwirtschaft bewährten Mittel Sila-Bac ist unklar.

Neben den beschriebenen in der Futterkonservierung üblichen Hilfsstoffen wurde mit dem Einsatz von Natronlauge und gemahlenem Branntkalk nach alternativen Konservierungs-

möglichkeiten gesucht, die – im Gegensatz zur Silierung - ein basisches Milieu erzeugen und so eine konservierende Wirkung entfalten sollten. Beide Varianten bewirkten einen mittleren Konservierungserfolg, wobei Natronlauge etwas besser als Branntkalk abschnitt.

Die Versuchsvarianten mit den besten Konservierungsergebnissen wurden im Folgejahr (2000 bis 2001) wiederholt. Da die 1999 verwendete Sorte Fedora 19 im Jahr 2000 nicht mehr zur Verfügung stand, kam die Sorte Felina 34 vom Anbauort Pleiße zum Einsatz. Die Ernte und Silierung des Hanfs erfolgte im Stadium der beginnenden Samenreife am 11. September 2001 mit der gleichen Methodik wie 2000. Nach der Entnahme und Bonitur des Konservates am 14. Mai 2002 wurde ein Teil an der Luft getrocknet. Das STFI Chemnitz untersuchte die Reißfestigkeit und Dehnbarkeit der im Konservat befindlichen Fasern. Die Ergebnisse sind in Tabelle 54 dargestellt.

Die Boniturergebnisse der Varianten mit Schaumasil, Kofasil und Zucker stimmen mit denen des Vorjahresversuches überein, während die Varianten Natronlauge und ohne Zusatz bei der Bonitur geringfügig schlechter abschnitten. Der Zuckerzusatz wurde sehr hoch (10 % der zu silierenden Hanfmenge) bemessen. In der Praxis dürfte ein solch hoher Zuckereinsatz aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich sein.

Tabelle 54: Varianten und Boniturergebnisse von Versuchen zur Hanf-Nasskonservierung, 2000 – 2001, TS – Gehalt des Hanfs 39,51 %, Sorte Felina 34

Variante	Hilfsmittel	Boniturergebnis (Note*)	Faserfestigkeit (cN/tex)	Faserdehnung (%)
ohne Zusatz	-	etwas Schimmel (4)	7,99	2,00
Schaumasil	50 ml/kg Siliergut	fast kein Schimmel (2)	14,44	1,60
Kofasil	5 g in 50 ml Wasser/kg Siliergut	kaum Schimmel (2)	13,67	1,51
Zucker	100 g/kg Siliergut	kaum Schimmel (2)	10,11	1,51
Natronlauge 3 %	8 % v. Wassergehalt d. Einwaage	etwas Schimmel (5)	5,29	2,16

*1 (gute Konservierung) bis 9 (totaler Verderb); n = 10 (Faserprüfungen)

Die Festigkeit der Hanffasern wurde durch den Konservierungsprozess bei allen Varianten stark beeinträchtigt. Während die Faserfestigkeit in geröstetem Hanfstroh im Bereich von etwa 30 bis etwa 50 cN/tex liegt, konnten an aus Konservaten stammenden Fasern nur Festigkeiten von 5 bis unter 15 cN/tex gemessen werden. Damit sind Fasern aus feuchtkonserviertem Hanf schon wegen ihrer geringen Reißfestigkeit für den Textilbereich ungeeignet. Dort sind Festigkeiten von über 20 cN/tex beim Einsatz in Mischgarnen und deutlich über 30 cN/tex bei beabsichtigter Nutzung als reine Hanffaser notwendig. Ob die Faserfestigkeit zumindest der Varianten mit den etwas besseren Ergebnissen für den Einsatz als Verstärkungsfasern in Verbundwerkstoffen ausreicht, konnte mit den geringen verfügbaren Mengen nicht festgestellt werden. Deshalb wurde 2001 bis 2002 gemeinsam mit der Technofarm Adorf/Erzgebirge ein Hanfkonservierungsversuch im Technikummaßstab durchgeführt, um ausreichende Konservatmengen zu erhalten. Dabei wurde Hanf ohne chemische und bakterielle Hilfsmittel verwendet. Lediglich ein im Vergleich zur Tastversuchs-Variante „mit Zucker“ deutlich geringerer Zuckeranteil wurde dem Hanf zugefügt.

Ernte und Feuchtkonservierung im Technikummaßstab

Am Morgen des 23. August 2001 wurde auf Flächen der Technofarm Adorf Hanf der Sorte Felina 34 im Stadium der Vollblüte/beginnende Samenreife mit dem Stufenmäherwerk SMU 2 gemäht und gleichzeitig eingekürzt. Nach einem mehrstündigen Anwelken wurde das Material mit einem Kreiselschwader geschwadet. Um die Vergärbarkeit zu verbessern, wurden auf die für die Silierung bestimmten Schwade insgesamt 40 kg Zucker so aufgestreut, dass praktisch der gesamte Zucker an den noch

leicht feuchten Pflanzen anhaftete und nicht auf den Boden fiel. Da das Gewicht des Schwades unbekannt war, konnte zu diesem Zeitpunkt das genaue Verhältnis Siliergut/Zucker nicht bestimmt werden. Unmittelbar danach erfolgte die Bergung des Hanfs mit einem Futterladewagen (Bild 45). Dabei fand, wie beabsichtigt, eine intensive Vermischung des Pflanzenmaterials mit dem Zucker statt. Der mit einer Sartorius-Trockenwaage unmittelbar vor der Bergung ermittelte Trockenmassegehalt lag bei 38,6 %. Eine Schätzung (Waage war nicht verfügbar) ergab, dass sich auf dem Ladewagen etwa 3,5 t Hanf befanden. Daraus lässt sich ein Zuckeranteil im Erntegut von etwa 1,1 Prozent ableiten.

Das Erntegut wurde mit Hilfe eines Laders in ein aus abgedichteten Betonringen bestehendes Kleinsilo eingebracht, durch intensives Festtreten so weit wie möglich verdichtet und mit Silierfolie luftdicht abgedeckt. Anschließend erfolgte zur Verstetigung der Verdichtung eine Beschwerung des zu konservierenden Materials mit Betonteilen und Reifen (Bild 46). Innerhalb weniger Tage nahm das Volumen des eingelagerten Materials stark ab, am Boden des Silos trat etwas Sickersaft aus. Nach einer warmen niederschlagsarmen Periode Ende August/ Anfang September fielen in kurzer Zeit von vier Tagen (7. bis 10. September) etwa 73 mm Niederschlag, bis zum Monatsende insgesamt 144 mm. Dabei bildete sich innerhalb des Silos oberhalb der Folie eine Wasserlache, die zunächst wegen der Dichtheit der Folie bestehen blieb und das Siliergut offensichtlich nicht erreichte, denn weiterer Sickersaft trat in diesem Zeitraum nicht mehr aus. Im Verlauf des Winters 2001/02 verschwand das Wasser aber vollständig. Es musste davon ausgegangen werden, dass die Folie undicht wurde und das Wasser in das Siliergut eindrang. Damit war der Verderb des Siliergutes zu befürchten.



Bild 45: Schwaden (links) und Bergung mit dem Ladewagen (rechts) von angewelktem Hanfgrünstroh für die Silierung



Bild 46: Befüllung eines Versuchs-Kleinsilos mit angewelktem Hanfgrünstroh (links) und Silo, mit Silierfolie abgedeckt und beschwert (rechts)

Die Befürchtung bestätigte sich bei der Öffnung des Silos am 3. Juni 2002. Der eingelagerte Hanf wies eine Konsistenz vergleichbar mit halbverrottetem Kompost auf. An vielen Stellen war starke Schimmelbildung zu beobachten (Bild 47).



Bild 47: verdorbene Hanfsilage unmittelbar nach der Öffnung des Silos, rechts: Schimmelbildung

Die Qualität entsprach der Boniturnote 9 und war damit schlechter als alle in den vorangegangenen Tastversuchen beobachteten Qualitäten. Auf Grund des sehr schlechten Zustandes der noch vorhandener Faseranteile – sie rissen bei geringster Zugbeanspruchung – wurde auf Qualitätsprüfungen verzichtet. Die beabsichtigte Gewinnung einer größeren Menge Fasern für Weiterverarbeitungsversuche war nicht möglich.

Die Versuche zur Feuchtkonservierung von Hanf führten insgesamt nicht zum erhofften Ergebnis. Auch wenn der Verderb des Siliergutes möglicherweise auf das Eindringen von Regenwasser zurückzuführen war und bei weniger ungünstigen Bedingungen bessere Ergebnisse zu erwarten wären, wird die Fortführung von Untersuchungen zur Feuchtkonservierung als nicht aussichtsreich eingeschätzt.

7 Nutzung von Hanfblüten für die Gewinnung ätherischer Öle

Hanf enthält in den Blättern und Blüten unterschiedliche Anteile an ätherischen Ölen (MEDIAVILLA u. STEINEMANN, 1997;

WICHTL et al., 1997; BALD, 1998). Der höchste Anteil ist in den oberen Pflanzenteilen zu finden. Um Möglichkeiten einer dualen Nutzung des Hanfs (Fasern und ätherische Öle) zu prüfen, wurde mit Hilfe eines 2001 auf einer Fläche des Landwirtschaftsbetriebes Einsiedel in Kossa durchgeführten Hanfanbauversuches mit drei Faserhanfsorten untersucht, welche Gehalte an ätherischen Ölen diese auf hohe Fasererträge gezüchteten Sorten in den obersten Pflanzenteilen der Hanfpflanzen aufweisen.

In die Untersuchungen wurden die Sorten Beniko, Bialobrzeskie und USO 31 einbezogen. Die Aussaat erfolgte am 21. April 2001. Es wurden sechs nebeneinander liegende Parzellen angelegt (drei Sorten mit je zwei Saatstärken: 150 und 200 keimfähige Samen/m²). Die Saat lief sehr ungleichmäßig auf, so dass die Nutzbarkeit der Versuchsflächen zunächst in Frage stand. Repräsentative Auszählungen am 30. Mai (10 Wiederholungen je Parzelle) und kurz vor der Ernte (5 Wiederholungen je Parzelle) ergaben aber normale, auch in anderen Versuchen beobachtete, durchschnittliche Bestandesdichten (Tabelle 55).

Tabelle 55: Bestandesdichten des Hanfanbauversuches Kossa 2001 (D3)

Sorten	USO 31		Bialobrzeskie		Beniko	
	200	150	200	150	200	150
Saatstärke (keimf. Samen/m ²)	200	150	200	150	200	150
Bestandesdichte am 30. Mai 2001 (Pfl./m ²)	139	81	180	115	178	158
Bestandesdichte vor der Ernte (Pfl./m ²)	101	79	126	99	154	125



Bild 48: Hanfblüten im Stadium der Vollblüte (Probenahmetermin 1, links) und des Samenansatzes (Probenahmetermin 2, rechts)

Die Entnahme der Proben für die Bestimmung des Gehaltes an ätherischen Ölen erfolgte je Sorte in Abhängigkeit vom Reifezustand an jeweils zwei Terminen:

- Termin 1: Stadium der Vollblüte (Bild 48 links)
- Termin 2: Stadium des Samenansatzes (Bild 48 rechts)

Zu den genannten Terminen (Tabelle 56) wurden je Sorte jeweils 2 Mischproben der kompletten Blütenstände aus dem Gesamtbestand (je Mischprobe ca. 1 kg Frischmasse) geerntet. Bei jeweils einer Mischprobe je Sorte wurden unmittelbar nach der Ernte die Laubblätter entfernt. Danach wurden alle Mischproben

unter Dach an der Luft getrocknet. Die Proben der Sorte USO 31 mit Laubblättern wurden nicht in die Untersuchungen zur Bestimmung des Gehaltes an ätherischen Ölen einbezogen, da sie wegen offensichtlich nicht optimaler Trocknung Schimmelbildung aufwiesen.

Tabelle 56: Termine der Probenahme für Untersuchungen des Gehaltes an ätherischen Ölen (2001)

Sorte	Probenahmetermin 1 (Vollblüte)	Probenahmetermin 2 (Samenansatz)
Beniko	27. Juli	2. August
Bialobrzeskie	24. Juli	2. August
USO 31	2. Juli	12. Juli

Nach Abschluss der Trocknung aller Proben stellte die GERCID GmbH Berlin durch Wasserdampfdestillation den Gesamtgehalt jeder Probe an ätherischen Ölen fest. Mittels einer anschließenden Gaschromatographie und Massenspektroskopie wurden die Anteile einzelner ätherischer Öle ermittelt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 3 zusammengestellt. Der insgesamt geringe Gesamtgehalt an ätherischen Ölen ist in Blütenständen, bei denen die Laubblätter

entfernt wurden, höher als in Blütenständen mit Blättern.

Am Beispiel der Sorten Beniko und Bialobrzeskie wird auch deutlich, dass der Anteil ätherischer Öle in den Proben mit Blättern während des Reifeprozesses bei Beniko kaum noch zunimmt bzw. bei Bialobrzeskie sogar zurückgeht, während er in den laubblattlosen, reinen Blütenständen bei Beniko im gleichen Zeitraum noch ansteigt (Bild 49).

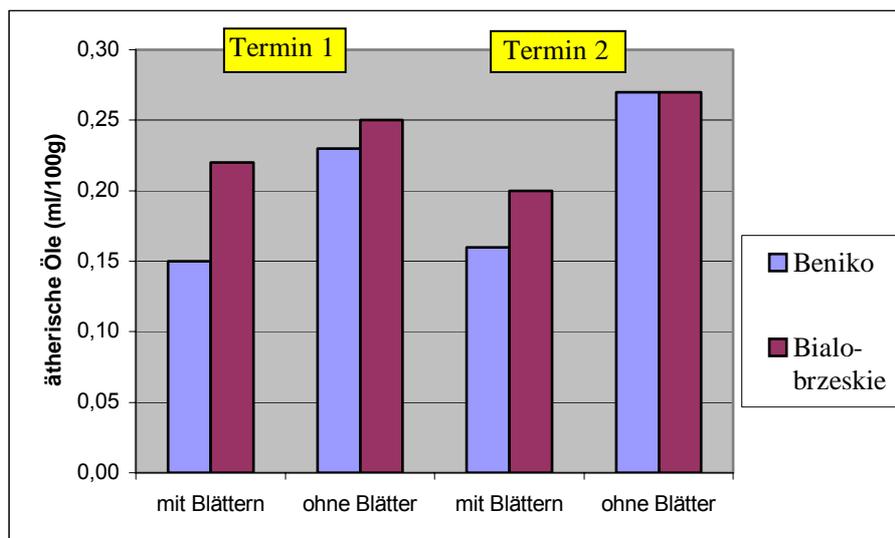


Bild 49: Entwicklung des Anteils ätherischer Öle während des Reifeprozesses bei ausgewählten Hanfsorten, Versuch Kossa 2001

Die Analyse der einzelnen ätherischen Öle zeigt, dass bei einer relativ geringen Schwankungsbreite im Mittel aller Varianten der Anteil des β -Caryophyllens etwa 40 Prozent und der Anteil des α -Caryophyllens (Humulens) etwa 15 Prozent des Gesamtgehaltes an ätherischen Ölen beträgt. Außer diesen beiden bestimmenden Stoffen sind noch α -Pinen, cis- β -Farnesen

und bei Blütenständen mit Blattanteil auch Caryophyllenoxid von gewisser Bedeutung.

BALD, 1998, berichtet von sortenbedingt großen Schwankungsbreiten der Gesamtgehalte an ätherischen Ölen, die von 0,07 ml/100 g bis zu 0,61 ml/100 g trockener Blüten mit Blättern reichen. Auch die Anteile der einzelnen ätherischen Öle am Gesamtgehalt weichen z. T.

deutlich von denen der vorliegenden Ergebnisse (Anlage 3) ab. So waren in unseren Untersuchungen die Caryophyllenanteile deutlich höher, die Anteile an Myrcen und Terpinolen dagegen viel geringer. MEDIAVILLA u. STEINEMANN, 1997 berichten von sehr hohen Myrcengehalten (über 50 %), während die Caryophyllengehalte mit ca. 15 %, jeweils bezogen auf den Gesamtgehalt an ätherischen Ölen, viel niedriger waren.

Diese stark voneinander abweichenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Gehalte und Zusammensetzungen ätherischer Öle in Hanfpflanzen stark von der Sorte, vom Standort und den konkreten Anbaubedingungen abhängen.

Caryophyllen, das u. a. auch in Gewürznelken vorkommt (WICHTL et al. 1997) kann wegen

seiner entzündungshemmenden Wirkung im pharmazeutischen Bereich Bedeutung erlangen und seine Gewinnung aus Hanfblüten möglicherweise interessant sein. Die Konzentration der innerhalb der ätherischen Öle bestimmten Komponente Caryophyllen unterschied sich im Versuch in Blütenständen mit Blättern wenig von der in entblätterten Blütenständen und nahm während des Reifeprozesses nur geringfügig ab. Damit wäre die Aberntung der Hanfblütenstände mit Hilfe eines Blütenstandsernters (Bild 50) mit dem Ziel der Caryophyllengewinnung zum optimalen Zeitpunkt der normalen Faserhanfernte (Vollblüte bis beginnende Samenreife) und somit die Nutzung sowohl der Blütenstände als auch der faserhaltigen Stängel möglich.



Bild 50: Hanf - Blütenstandsernter im Einsatz

Im zweistufigen Ernteverfahren könnte zunächst die Ernte der Blütenstände erfolgen, die sofort abtransportiert und getrocknet werden, um sie später der Extraktion zuzuführen. Unmittelbar nach dem Abernten der Blütenstände könnte die Mahd der verbleibenden Stängel z. B. mit einem Stufenmäherwerk erfolgen. Der sich anschließende Röst- und Bergungsprozess würde sich nicht von einer herkömmlichen Hanfröststrohernte unterscheiden.

Ob das in Hanfblütenständen vorhandene Caryophyllen bzw. auch der Gesamtgehalt ätherischer Öle auf diese Weise unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewinnbar ist, kann hier nicht beurteilt werden.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Hanfanbau in Sachsen – standortbezogene Sortenempfehlungen

Auf den Lößstandorten des Mittelsächsischen Hügellandes, den niederschlagsreichen und noch ausreichend warmen Lagen des unteren Erzgebirges (bis ca. 400 m ü. NN) und des Erzgebirgsvorlandes, sowie auf besseren D – Standorten der Oberlausitz sind hohe und auch relativ stabile Hanfstängelerträge möglich. Voraussetzung für einen erfolgreichen Anbau ist die Verwendung von für den Standort geeigneten Sorten. In jedem Anbauggebiet sollten im Interesse der Ertragsstabilität, der Minderung des Ernterisikos und der besseren Auslastung der Erntetechnik mehrere Sorten mit unter-

schiedlichen Reifeterminen angebaut werden. Für den Faserhanfanbau in den potentiellen sächsischen Anbaugebieten sind folgende Sorten empfehlenswert:

Mittelsächsisches Hügelland (Lö – Standorte):
Beniko, Epsilon 68, Futura 75, Felina 34,
Ferimon 12, Fedora 17

untere Lagen des Erzgebirges und
Erzgebirgsvorland:
Beniko, Bialobrzeskie, Felina 34,
Fedora 17, (USO 31 für Lagen über 300 m)

bessere D – Standorte der Oberlausitz:
Beniko, Ferimon 12, Bialobrzeskie,
Fedora 17, Futura 75, Felina 34,
Epsilon 68

Auswirkungen der Minimierung von Intensivierungsfaktoren im Hanfanbau

Es wurde untersucht, ob und in welchem Maße sich Ertrag und Qualitätsmerkmale des Hanfs negativ verändern, wenn die Intensität bei den Faktoren Bodenbearbeitung, Stickstoffdüngung und Saatstärke gegenüber einer in der Praxis inzwischen üblichen „Standardvariante“ (Pflugfurche, 120 kg N/ha, abzüglich N_{\min} vor der Aussaat, 250 keimfähige Samen/m²) vermindert wird. Die Anbauversuche ergaben, dass sich der Verzicht auf die Pflugfurche zugunsten einer kostengünstigeren Minimalbodenbearbeitung sehr negativ auf den Stängel- und Faserertrag auswirkt. Die Faserqualität wird dagegen kaum beeinflusst. Trotz Kostenersparnis ist in Folge der starken Ertragsminderung eine deutliche Verschlechterung des wirtschaftlichen Ergebnisses gegeben. Deshalb sollte bei Hanfanbau keinesfalls auf die Pflugfurche verzichtet werden.

Die Verminderung der Saatstärke von 250 auf 125 keimfähige Samen/m² führte bei ansonsten gleichen Versuchsbedingungen zu höheren Stängel- und Fasererträgen und besseren Fasereigenschaften. Dadurch wird in Verbindung mit der Halbierung der Saatgutkosten ein verbessertes wirtschaftliches Ergebnis erreicht.

Eine Verringerung der Stickstoffdüngung unter ein Niveau von 60 kg N/ha führt zu geringeren Stängel- und Fasererträgen, aber erhöhten Fasergehalten des Stängels. Die Fasererträge und Qualitätseigenschaften werden kaum beeinflusst. Die Wirkung der Stickstoff-Formen Kalkammonsalpeter und Gülle unterscheidet sich nur wenig. Durch Güllendüngung sind Kostenminderungen möglich, wenn nur die Ausbringungskosten Berücksichtigung finden, die Gülle selbst aber kostenlos zur Verfügung steht.

Rationalisierung des Verfahrens der Hanfernte und Hanferstverarbeitung

Hanferstverarbeitungsanlagen können meist nur Hanfstroh in gepresster Form verarbeiten. Die Bergung des Hanfröststrohes wird deshalb gegenwärtig nahezu ausschließlich mit Strohpressen durchgeführt (Pressgutlinie). Das Produkt dieses relativ kostenintensiven Verfahrens sind Hanfquader- oder Rundballen. Mit dem Ziel der Kostensenkung im Hanfernte- und Erstverarbeitungsprozess wurde untersucht, ob sich ein kostengünstigeres bei der Bergung von Heu übliches Verfahren (Ladewagentechnologie) auch für die Hanfröststrohbearbeitung eignet. Das Ernteprodukt dieser Technologie liegt in loser Form vor und setzt die Möglichkeit der Lagerung und Verarbeitung losen Hanfstrohes voraus. Einjährige Versuche ergaben, dass durch geringfügige Veränderungen an der Erntetechnik die Bergung von Hanfröststroh mit dem Ladewagen und die anschließende Lagerung in einer mit Folie abgedeckten Miete möglich sind. Die Kostenersparnis gegenüber der Pressgutlinie ist erheblich und liegt je nach Ertragsniveau zwischen 110 und 180 €/ha. Der Nachteil der Ladewagentechnologie besteht in der geringen Transportwürdigkeit des erzeugten losen Hanfröststrohes.

Bei der LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa wurde mit der dort vorhandenen, technisch noch nicht ausgereiften Pilotanlage zur Hanferstverarbeitung sowohl die Verarbeitung von Hanfstrohballen aus der Pressgutlinie als auch von losem Hanfstroh aus der Ladewagentechnologie im Versuchsmaßstab durchgeführt. Mit beiden Varianten wurden Hanfcurzfasern erzeugt. Eine Kalkulation ergab, dass die Verarbeitung von losem Hanfröststroh aus der Ladewagentechnologie gegenüber der von Hanfstrohpressballen deutlich geringere Kosten verursacht, da anstelle eines teuren und energieintensiven Ballenauflösers ein viel preisgünstigerer Dosierer verwendet wird.

Herstellung von Vliesen, Tiefziehteilen, Platten und Formpressteilen

Die Tauglichkeit der mit den Varianten Pressgutlinie – Ballenauflöser sowie Ladewagentechnologie – Dosierer erzeugten Hanfcurzfasern für die Herstellung von Vliesen und deren Weiterverarbeitung zu Tiefziehteilen, Platten und Formpressteilen wurde untersucht. Die Tests ergaben, dass eine erfolgreiche Weiterverarbeitung der Hanffasern zu gleichmäßigen, stabilen Vliesen nur möglich ist, wenn den Hanffasern vor der Vlieslegung 30 bis 40 Prozent Polypropylenfasern beigemischt werden.

Die so gewonnenen Mischfaservliese ließen sich im Ergebnis einer Versuchsreihe mit geeigneten Werkzeugen, entsprechender Wärmezufuhr und Druckbeaufschlagung gut zu Tiefziehtteilen, Platten und Formpressteilen verarbeiten. Materialprüfungen an den Verarbeitungsprodukten ergaben, dass bei Verwendung von Hanffasern aus der Verarbeitungsvariante Pressgutlinie – Ballenauflöser bessere Qualitätsparameter erreicht wurden als bei der Verarbeitung von Fasern aus der Linie Ladewagentechnologie - Dosierer. In beiden Fällen war aber bei Platten und Formpressteilen eine im Vergleich zum Einsatz reinen Polypropylens deutliche Verstärkungswirkung durch die eingesetzten Hanffasern gegeben.

Die low - cost - Fasergewinnungsanlage Jocketa kann Fasern zu konkurrenzfähigen Preisen (z. Z. ca. 0,55 €/kg) herstellen. Sie sind gutes Ausgangsmaterial für Vliese, Tiefzieh- und Formpressteile. Mit der Möglichkeit der kostengünstigen Herstellung von Hanffasern mit für technische Einsatzbereiche ausreichender Qualität ist ein entscheidender Schritt zur Konkurrenzfähigkeit einheimischer Hanffasern gegeben.

Herstellung von Spritzgussteilen

Es wurde untersucht, ob mit der low - cost - Verarbeitungsanlage Jocketa hergestellte Hanffasern sowie durch Extrusion und Trocknung aus erntefrischen Hanfganzpflanzen kostengünstig hergestellter Hanffaserstoff, jeweils zusammen mit unterschiedlichen Polypropylenanteilen, zu Spritzguss - Probekörpern verarbeitet werden können. Die Untersuchungen ergaben, dass die Hanffasern nach weiterer Zerkleinerung auf ca. 6 mm Faserlänge bis zu einem Anteil von maximal 60 Prozent in einer homogenen Mischung zusammen mit Polypropylen zu Spritzgussteilen verarbeitbar sind. Hanffaserstoff konnte nur bis zu einem Anteil von 50 Prozent mit Polypropylen gemischt werden. Höhere Anteile führten zu Verstopfungen der Spritzgussmaschine. Bei Verwendung zerkleinerter Hanffasern sind bis zu einem Anteil von 50 Prozent Hanffasern in geringem Umfang positive Wirkungen auf die mechanischen Eigenschaften feststellbar, während sich die Beimischung von Hanffaserstoff vor allem auf die Zugfestigkeit negativ auswirkt. Der Einsatz von Spritzguss aus mit Hanffaser- bzw. Hanffaserstoffanteil ist für die Herstellung von Bauteilen mit geringer Zugbeanspruchung denkbar, sofern die relativ starke Geruchsbelastung kein Ausschlussfaktor ist.

Feuchtkonservierung

Untersuchungen zu Möglichkeiten der Feuchtkonservierung von Hanf brachten insgesamt wenig Erfolg versprechende Ergebnisse. Durch die Verwendung von Hilfsstoffen (Kofasil, Schaumasil) bzw. durch Zusatz erheblicher Zuckermengen konnten in Versuchen mit luftdichten Behältern zwar gute bis befriedigende Konservierungsergebnisse erreicht werden, die Reißfestigkeit der Fasern litt aber so stark, dass die Nutzbarkeit für die meisten Einsatzbereiche fraglich ist. Ähnlich nachteilig dürfte sich die z. T. starke Geruchsintensität des feuchtkonservierten Materials auswirken. Ein im Technikmaßstab durchgeführter Silierversuch mit geringem Zuckerzusatz war nicht erfolgreich, Weiterverarbeitungsversuche konnten deshalb nicht durchgeführt werden. Weiterführende Untersuchungen zur Feuchtkonservierung von Hanf mit dem Ziel der Fasergewinnung werden als nicht aussichtsreich eingeschätzt.

Schlussfolgerungen

Durch die Ergebnisse der Untersuchungen zu kostengünstigen Hanfernte- und Erstverarbeitungsverfahren und die anschließenden erfolgreichen Weiterverarbeitungsversuche ist der Beweis erbracht, dass die Qualität der preisgünstig hergestellten Hanffasern den Anforderungen industrieller Weiterverarbeiter genügt. Daraus lässt sich ableiten, dass das Prinzip der low – cost – Hanferstverarbeitung mit Herstellungskosten von weniger als 0,60 €/kg Hanffasern für den Freistaat Sachsen, aber auch darüber hinaus, eine Perspektive haben kann. Für die Umsetzung des Verfahrens in der Praxis wäre es notwendig

- die technisch noch nicht ausgereifte Pilotanlage der LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa weiter zu entwickeln und mit Ballenauflöser bzw. Dosierer zu komplettieren.
- mehrere solcher Anlagen zu produzieren und sie dezentral in den geeigneten Anbaugebieten Sachsens (z. B. Erzgebirgsvorland, Mittelsächsisches Hügelland, Oberlausitz) zu installieren.
- die dezentral erzeugten Fasern über einen gemeinsamen Faserpool zu vermarkten, um auch große Weiterverarbeiter beliefern zu können.

Betreiber solcher low – cost – Hanferstverarbeitungsanlagen könnten z. B. große Landwirtschaftsbetriebe sein.

Dies hätte den Vorteil, dass die mit der Hanfverarbeitung verbundene Wertschöpfung im Bereich der Landwirtschaft erfolgt und zur wirtschaftlichen Stabilisierung der Betriebe beiträgt. Neben den wirtschaftlichen Chancen wäre durch den Hanfanbau eine Auflockerung der meist sehr engen Getreidefruchtfolgen mit den damit verbundenen positiven phytosanitären Wirkungen möglich.

Die Umsetzung dieser Technologie in Sachsen sollte durch das Land aktiv unterstützt werden.

9 Kooperationspartner

Agrargenossenschaft Gebelzig e. G.,
02627 Hohendubrau, OT Gebelzig

Agrofarm 2000 GmbH, An der IMPA 1,
08626 Eichigt/V.

Arbeits- und Sportstätten GmbH,
Annaburger Straße, 04880 Elsnig,
OT Neiden

BEGA Gahlenz e. G., Richard-Rentzsch-
Straße 40, 09569 Oederan

BioChem agrar, Kupferstraße 6,
04827 Gerichshain

Erzgebirgische Flachs GmbH, Hauptstraße 96,
09619 Dorfchemnitz, OT Voigtsdorf

GERCID GmbH, Köpenicker Str. 325/Haus 116

Ingenieurbüro für Naturfasertechnologien,
Heimgarten 11, 01259 Dresden

Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen
e. V. an der TU Chemnitz,
Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

Institut für Technische Textilien GmbH im
Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V.,
Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

Landwirtschaftsbetrieb Stephan Stiegler,
Ebersbacher Str. 1, 08396 Waldenburg,
OT Oberwinkel

LEHMANN Maschinenbau GmbH,
Bahnhofstraße 34, 08543 Jocketa

Missionshof Lieske, Hauptstraße 30,
01920 Lieske

Muldental Agrar GmbH & Co. KG,
Bahnhofstr. 50, 09328 Cossen

Ökologischer Landbau G. Kretzschmar,
Erlbacher Straße 6, 09355 Gersdorf

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Fachbereiche 3, 5 und 6

Schlesische Agrargenossenschaft Daubitz e.G.,
Heidehäuser Weg 8, 02956 Daubitz

Technische Universität Chemnitz, Fakultät für
Maschinenbau und Verfahrenstechnik,
09107 Chemnitz

Technofarm Adorf GbR,
Neukirchener Straße 13, 09221 Adorf

VERNARO GmbH, An der Breiten Gehre 13,
39638 Gardelegen

VLIFOTEX, Dittmannsdorfer Straße 9,
09572 Erdmannsdorf/Kunnersdorf

Wirtschaftshof Sachsenland Röhrsdorf/
Wittgensdorf e.G., Limbacher Straße 86,
09247 Röhrsdorf

10 Verzeichnis der Tabellen, Bilder und Anlagen

Tabellen

Tabelle 1: Entwicklung des Naturfasereinsatzes in der Automobilindustrie (nur Verbundwerkstoffe) in Deutschland und Österreich, 1996-2002

Tabelle 2: Anbaufläche von Faserpflanzen in Sachsen 1997 – 2002 (ha)

Tabelle 3: Pflanzenbauliche Anbauversuche

Tabelle 4: Bodenklimatische Bedingungen der Versuchsstandorte

Tabelle 5: Versuche zur Erstverarbeitung von Hanf und zur Weiterverarbeitung der Erstverarbeitungsprodukte

Tabelle 6: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Versuchsstation Nossen, 2000 bis 2002

Tabelle 7: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Standort Nossen, 2000 bis 2002

Tabelle 8: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Standort Gebelzig, 2000 und 2001

Tabelle 9: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Standort Gebelzig, 2000 und 2001

Tabelle 10: Stängelerträge ausgewählter Hanfsorten am Standort Hartmannsdorf, 2000

Tabelle 11: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Standort Pleiße 2001

Tabelle 12: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Standort Pleiße 2001

Tabelle 13: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Standort Lohsa 2002, (dt/ha)

Tabelle 14: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Standort Lohsa 2002

Tabelle 15: Stängel- und Fasererträge von Hanfsorten, Daubitz und Lieske 2002

Tabelle 16: Faserqualitätsmerkmale von Hanfsorten, Daubitz und Lieske 2002

- Tabelle 17: Ertrag und Faserfestigkeit von Hanf an unterschiedlichen sächsischen Standorten, Durchschnitt der pro Untersuchungs-jahr angebauten Sorten
- Tabelle 18: Hanfsortenempfehlungen für sächsische Anbaugebiete
- Tabelle 19: Grünstroh- und Fasererträge von Flachssorten, Prüffeld Forchheim, 2000 bis 2002
- Tabelle 20: Faserqualitätsmerkmale von Flachssorten, Prüffeld Forchheim, 2000 und 2001
- Tabelle 21: Prüfglieder eines Versuches zur Minimierung von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung, Nerchau 2002
- Tabelle 22: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf Stängeldurchmesser und Wuchshöhe von Hanf, Nerchau 2002
- Tabelle 23: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf den Ertrag und Fasergehalt von Hanf, Nerchau 2002
- Tabelle 24: Einfluss unterschiedlicher Intensität von Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf Qualitätsmerkmale von Hanffasern, Nerchau 2002
- Tabelle 25: Einfluss verringerter Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf das wirtschaftliche Ergebnis der Hanfröststroherzeugung, Basis: Parzellenversuch Nerchau 2002
- Tabelle 26: Prüfglieder eines Versuches zur Minimierung der Saatstärke und bei verringerter Stickstoffdüngung mit unterschiedlichen N - Formen, Roda 2002
- Tabelle 27: Einfluss unterschiedlicher Saatstärken und Stickstoffgaben auf den Ertrag und Fasergehalt von Hanf, Versuchsstation Roda 2002
- Tabelle 28: Einfluss verschiedener Saatstärken und Stickstoffgaben auf Stängeldurchmesser und Qualitätsmerkmale von Hanffasern, Versuchsstation Roda 2002
- Tabelle 29: Einfluss verringerter Saatstärke und unterschiedlicher Stickstoffdüngung auf das wirtschaftliche Ergebnis der Hanfröststroherzeugung, Basis: Parzellenversuch Roda 2002
- Tabelle 30: Versuchsorte des Köpfversuches
- Tabelle 31: Varianten des Köpfversuches
- Tabelle 32: Abhängigkeit der Anzahl der Samenstände je weiblicher Pflanze von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Versuche 1999 - 2001
- Tabelle 33: Abhängigkeit der Wuchshöhe der Hanfpflanzen zum Erntezeitpunkt von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Versuche 1999 - 2001
- Tabelle 34: Abhängigkeit wichtiger Ertragsmerkmale von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Praxisversuch Hartmannsdorf 2000
- Tabelle 35: Abhängigkeit wichtiger Qualitätsmerkmale von der Durchführung eines Köpfschnittes bei verschiedenen Wuchshöhen, Praxisversuch Hartmannsdorf 2000
- Tabelle 36: Einfluss des Verfahrens der Hanfstrohbergung auf das finanzielle Ergebnis der Hanfröststroherzeugung (ohne Gemeinkosten) bei unterschiedlichem Ertragsniveau
- Tabelle 37: Ausgewählte anlagentechnische Daten der Pilotanlage Jocketa
- Tabelle 38: Ergebnisse von Verarbeitungsversuchen mit der low -cost -Pilotanlage Jocketa und der Hanfverarbeitungsanlage VERNARO Gardelegen
- Tabelle 39: Wirtschaftlichkeit der Hanfaufbereitung am Beispiel der low - cost - Verarbeitungsanlage Jocketa, Varianten Ballenauflöser und Dosierer
- Tabelle 40: ausgewählte Ergebnisse von Versuchen zur Nadelvliesbildung, STFI Chemnitz, März 2002
- Tabelle 41: Vliesfaserausbeuten von Verarbeitungsversuchen bei VLIFOTEX Erdmannsdorf, April 2002
- Tabelle 42: Textil - physikalische Parameter der bei VLIFOTEX hergestellten, für Weiterverarbeitungsversuche vorgesehenen Vliese
- Tabelle 43: Bewertung des Geruchsverhaltens bei ausgewählten Vliesqualitäten
- Tabelle 44: Versuchsbedingungen, verwendete Vliesqualitäten und Ergebnisse ausgewählter Tiefziehversuche
- Tabelle 45: Varianten und Ergebnisse der 1. Versuchsreihe zur Herstellung von Platten aus Hanf- Polypropylen- Vliesen
- Tabelle 46: Mechanische Eigenschaften von Pressplatten aus Hanffaservliesen unterschiedlicher Zusammensetzung, 1. Versuchsreihe, Mittel von je 5 Prüfungen

Tabelle 47: Varianten und Ergebnisse der Versuche zur Herstellung von Platten aus Hanf-Polypropylen- Vliesen, 2. Versuchsreihe

Tabelle 48: Qualitätseigenschaften von Pressplatten aus Hanffaser – PP – Vliesen, 2. Versuchsreihe, Mittel von je 3 Prüfungen im Vergleich zu reinem PP

Tabelle 49: Mischungsverhältnisse von Hanffaserstoff und Polypropylen

Tabelle 50: Mischungsverhältnisse Hanffaserstoff - Polypropylen

Tabelle 51: Messwerte zur Biegefestigkeit von Spritzguss-Probekörpern mit unterschiedlichen Anteilen an Hanffaserstoff bzw. Hanffasern

Tabelle 52: Messwerte zur Zugfestigkeit von Spritzguss-Probekörpern mit unterschiedlichen Anteilen an Hanffaserstoff bzw. Hanffasern im Vergleich zu Probekörpern aus reinem PP

Tabelle 53: Varianten und Boniturergebnisse von Tastversuchen zur Hanf-Nasskonservierung, 1999 – 2000, TS-Gehalt des Hanfs 39,65 %, Sorte Fedora 19

Tabelle 54: Varianten und Boniturergebnisse von Versuchen zur Hanf-Nasskonservierung, 2000 – 2001, TS – Gehalt des Hanfs 39,51 %, Sorte Felina 34

Tabelle 55: Bestandesdichten des Hanfanbauversuches Kossa 2001

Tabelle 56: Termine der Probenahme für Untersuchungen des Gehaltes an ätherischen Ölen

Bilder

Bild 1: Standorte der Anbauversuche sowie der an den Untersuchungen beteiligten Faserpflanzenerstverarbeiter, Faserverarbeiter und Institute im Freistaat Sachsen

Bild 2: Köpfen von Hanf mit modifiziertem Anbaumähbalken, Adorf 1999

Bild 3: Hanfschlag nach dem Köpfschnitt (links) und bei 80 cm geköpfte Hanfpflanze ca. 2 Wochen nach dem Köpfschnitt mit beginnendem Wiederaustrieb (rechts)

Bild 4: Mähdrusch von bei 40 cm (Wuchshöhe ca. 50 cm) geköpften Hanf, (links) und Reststängel nach dem Mähdrusch (rechts), Praxisversuch Adorf 1999

Bild 5: Ablauf von Hanfernte, Lagerung und Verarbeitung bei unterschiedlichen Ernteverfahren (links: Pressgutlinie, rechts: Ladewagentechnologie)

Bild 6: Ladewagen bei der Bergung von Hanfröststroh (links) sowie Entladung des Ladewagens und Aufsetzen der Versuchshanfstrohmiete, Technofarm Adorf 2001

Bild 7: fertige Versuchs-Hanfstrohmiete, Technofarm Adorf 2001

Bild 8: Aufbau der Pilotanlage zur Hanfaufbereitung der LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa (schematisch)

Bild 9: Stapeldiagramm von Hanffasern der Pilotanlage Lehmann Maschinenbau GmbH Jocketa, Variante Ballenauflöser, Ausgangsmaterial: Hanfröststroh aus Pressgutlinie

Bild 10: Stapeldiagramm von Hanffasern der Pilotanlage Lehmann Maschinenbau GmbH Jocketa, Variante „Dosierer“, Ausgangsmaterial: loses Hanfröststroh aus Mietenlagerung

Bild 11: Stapeldiagramm von Hanffasern der VERNARO GmbH Gardelegen, Ausgangsmaterial: Hanfröststroh aus Pressgutlinie, sächsischer Anbau, Maßstab gleich

Bild 12: Einzugsbereich einer Hanferstverarbeitungsanlage (2400 t Röststroh/Jahr) in Abhängigkeit von Hanfanteil an der AF und Hanfertrag, mittlere sächsische Flächenstruktur

Bild 13: Hanfanbau und -verarbeitung mit kleinen, dezentralen Verarbeitungsanlagen und gemeinsamer Vermarktung über Faserpool, schematisch

Bild 14: Hanfvliese aus Vorversuchen zur Hanffaserverarbeitung im STFI Chemnitz, links: Vlies aus Fasern der Pilotanlage Jocketa/ Ballenauflöser, rechts: aus Fasern von VERNARO

Bild 15: Vlies aus Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) mit Polypropylen - Träger, 609 g/m², Hanffaseranteil 86,9 Prozent

Bild 16: Vlies aus Mischfaser 80 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) und 20 % Polypropylenfasern, ohne Träger

Bild 17: Vlies aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 40 % PP – Fasern, Flächengewicht 515,5 g/m², (Ifd. Nr. 2)

Bild 18: Vlies aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % PP – Fasern, Flächengewicht 561 g/m², (Ifd. Nr. 4)

Bild 19: Vlies aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser) und 30 % PP – Fasern Flächengewicht 332 g/m², (Ifd. Nr. 5)

Bild 20: Tiefzieh- Versuchsordnung im KVB Chemnitz mit eingelegtem Hanf-Polypropylen-Vlies (rechts) und während des Tiefziehvorganges (links)

Bild 21: Vlies (Ifd. Nr. 4) aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % Polypropylenfasern, (links) und daraus hergestelltes Tiefziehteil (rechts)

Bild 22: Pressplatte aus 70 % Hanffaser (Pilotanlage / Dosierer) und 30 % Polypropylenfaser (erste Versuchsreihe, Versuchsnummer 5)

Bild 23: Platte aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer), 40 % PP-Fasern (Vlies Ifd. Nr.2)

Bild 24: Platte aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer, 30 % PP-Fasern (Vlies Ifd. Nr. 4)

Bild 25: Platte aus 70 % Hanffasern (Pilotanlage / Ballenauflöser), 30 % PP-Fasern (Vlies Ifd. Nr. 5)

Bild 26: Spannungs- Dehnungs- Diagramm, Biegeversuche an Pressplatten aus Hanf- Polypropylen - Vliesen unterschiedlicher Zusammensetzung (s. Legende)

Bild 27: Umformwerkzeug für die Herstellung von Formpressteilen

Bild 28: Formpressteil - Rohlinge, hergestellt aus Hanf - PP - Vliesen unterschiedlicher Zusammensetzung

Bild 29: Querschnitt durch einen Formpressteil-Rohling aus 60 % Hanffasern (Pilotanlage / Dosierer) und 40 % PP-Fasern, (zum Größenvergleich: Büroklammer)

Bild 30: Hanffaserstoff

Bild 31: Hanffasern vor dem Zerkleinern (links) und nach dem Zerkleinern mit der Laborschneidmühle

Bild 32: Verfahrensschritte zur Herstellung von Spritzgussteilen aus Hanffasern bzw. Hanffaserstoff und Polypropylen im Labor

Bild 33: Mischungen aus Hanffaserstoff und PP nach dem Auswalzen und Erkalten

Bild 34: Mischung aus 60 % Hanffasern und 40 % PP nach den Verlassen des Mixers

Bild 35: Granulat aus Hanffaserstoff und Polypropylen

Bild 36: Spritzgussversuch mit 70 % Hanffaseranteil

Bild 37: Probekörper mit Hanffaserstoff vor der Prüfung (links) und nach der Biegeprüfung (rechts), Detail: Bruchstelle

Bild 38: Probekörper mit Hanffasern vor und nach der Biegeprüfung

Bild 39: Versuchsaufbau zur Messung der Biegefestigkeit

Bild 40: Einfluss des Hanffaserstoffanteils auf die Biegefestigkeit von Spritzgussteilen

Bild 41: Einfluss des Hanffaseranteils auf die Biegefestigkeit von Spritzgussteilen

Bild 42: Versuchsaufbau zur Messung der Zugfestigkeit

Bild 43: Einfluss des Hanffaserstoffanteils auf die Zugfestigkeit von Spritzgussteilen

Bild 44: Einfluss des Hanffaseranteils auf die Zugfestigkeit von Spritzgussteilen

Bild 45: Schwaden (links) und Bergung mit dem Ladewagen (rechts) von angewelktem Hanfgrünstroh für die Silierung

Bild 46: Befüllung eines Versuchs-Kleinsilos mit angewelktem Hanfgrünstroh (links) und Silo, mit Silierfolie abgedeckt und beschwert (rechts)

Bild 47: verdorbene Hanfsilage unmittelbar nach der Öffnung des Silos, rechts: Schimmelbildung

Bild 48: Hanfblüten im Stadium der Vollblüte (Probenahmetermin 1, links) und des Samenansatzes (Probenahmetermin 2, rechts)

Bild 49: Entwicklung des Anteils ätherischer Öle während des Reifeprozesses bei ausgewählten Hanfsorten, Versuch Kossa 2001

Bild 50: Hanf - Blütenstandsernter im Einsatz

Anlagen

Anlage 1: Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Faserhanfanbau (Kurzfaser)- Variante Pressgutlinie

Anlage 2: Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Faserhanfanbaus (Kurzfaser)- Variante Ladewagentechnologie

Anlage 3: Analyseergebnisse Ausbeute an ätherischen Ölen in Hanfblüten, Praxisversuch Kossa 2001

11 Literaturverzeichnis

ALBERT, E.; PÖßNECK, J.; ERNST, H. u. a.: „Ordnungsgemäßer Einsatz vom Düngern entsprechend der Düngeverordnung“, Sächsische Staatsministerien für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten sowie für Umwelt und Landesentwicklung, August 1997

AUTORENKOLLEKTIV: „Hanf in Brandenburg, Anbau und Verwertung aus landwirtschaftlicher und ökologischer Sicht“, Infobroschüre des Landes Brandenburg, November 1995

- AUTORENKOLLEKTIV: Machbarkeitsstudie „Umsetzung neuer Ernte- und Verarbeitungstechnologien für Flachs“, Schlussbericht, S. 37-45, CLAAS KGaA, 1995
- AUTORENKOLLEKTIV: „Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP)“, DBU - Projekt, Hürth/Köln, Dezember 1996
- AUTORENKOLLEKTIV: „Grünfütter- und Feuchtgetreidekonservierung – Siliermittel, Dosiergeräte und Silofolien“ Broschüre der Arbeitsgemeinschaft der norddeutschen Landwirtschaftskammern, 5. Ausgabe 1999
- AUTORENKOLLEKTIV: „Agrardaten Sachsen 2001“, Faltblatt des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 2001
- AUTORENKOLLEKTIV: „Siliermittelprüfungen nach der DLG-Richtlinie – DLG-Siliermittel: Aktueller Stand 20. 09. 2002“, www.lwks.de/fachinfo/ackerbau/futterqualitaet/inhalt.html
- BALD, B.- J.: „Untersuchungen zum Einfluss von Sorte und Aussaatstärke auf den Blütenertrag von Hanf (*Cannabis sativa* L.) – unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsbildungsverlaufes“, Diplomarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, Oktober 1998
- BRÜCKNER, T.: „Machbarkeitsuntersuchungen zu den Vor- und Nachteilen einer landwirtschaftlichen Faserproduktion und –veredlung in der Region Mittelsachsen unter Einbeziehung internationaler und historischer Erfahrungen“, Teilprojekt 3, Sachsen-Leinen GmbH, 2003
- CARLE, R.: Ätherische Öle – Anspruch und Wirklichkeit, Band 34, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 1993
- GABRIEL, T.: „Nachwachsende Rohstoffe – Markteinführung heißt das Gebot der Stunde“, Tagungsband zur 9. Internationalen Tagung „Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ am 20./21. März 2002 in Freiberg, S. 5 – 10
- HALKE, H.: „Technologische Optimierung des Aufbereitungsprozesses zur Herstellung hochwertiger Kurzfasern aus Naturfaserpflanzen“, Sächsisches Textilforschungsinstitut Chemnitz, Schlussbericht zum Forschungsthema, 29.10.1999
- HALKE, H. und BIEBER, B.: persönliche Mitteilung, Sächsisches Textilforschungsinstitut Chemnitz, Februar 2000
- HALKE, H. und BÖTTCHER, persönliche Gespräche, 2002
- HANF, C.- H.: „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“, Zusammenfassung, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 7, Teil 1 und 2, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster 1996
- HEIER, L.; HEINTGES, M. u. KROMER, K.-H.: „Industriefaserlein – Produktion und Qualität“, Tagungsband der 5. Internationalen Tagung „Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ v. 28.–29.10.1998 in Chemnitz, S. 75-81
- HOLM, G. u. HERBST, V.: Botanik und Drogenkunde“, Deutscher Apothekerverlag
- HÖPPNER, F.; Menge-Hartmann, U.: „Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf“, Landbauforschung Völknerode 44. Jg., Heft 4/1994
- KARUS, M.; KAUP, M. u. LOHMEYER, D.: „Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern (Deutschland und EU)“, nova-Institut, März 2000
- KARUS, M. u. KAUP, M., 2001: „Naturfasern für die europäische Automobilindustrie“
- KAUP, M.; KARUS, M.; ORTMANN, S.: „Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen in der deutschen und österreichischen Automobilindustrie – Status 2002, Analyse und Trends“, Auswertung der Markterhebung 2002, Februar 2003
- KOHLER, R. u. KESSLER, R.: „Faseraufbereitung und Qualitätskriterien von Naturfasern für Verbundwerkstoffe“, Tagungsband der 5. Internationalen Tagung „Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ v. 28.–29.10.1998 in Chemnitz, S. 51–60
- LEON, J. u. FRANCKEN-WELS, H.: „Vergleichende Bewertung der Leistungspotentiale und Faserqualität verschiedener Faserpflanzen und Entwicklung von umweltverträglichen Anbauverfahren zur Produktion von qualitativ hochwertigen Industriefasern“, Forschungsberichte Heft 82, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, 2000
- MEDIAVILLA, V. u. STEINEMANN, S.: „Ätherisches Hanföl – erste Prüfung einiger Herkünfte“, Tagungsband zum Symposium 2. Biorohstoff Hanf am 27. 02. bis 02. 03. 1997 Frankfurt am Main, S. 539 – 541
- MIECK, K.-P. u. REUßMANN, Th.: „Zur Schlagzähigkeitsmodifizierung naturfasermattenverstärkter Thermoplaste“, Tagungsband der 5. Internationalen Tagung „Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ v. 28.–29.10.1998 in Chemnitz, S. 127-133

MIECK, K.-P. und REUßMANN, Th.: „Schlagzähigkeitsmodifizierung naturfaser-mattenverstärkter Thermoplaste“, Kunststoffe 89/1999

www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lap/Faserpflanzen,

www.nova-institut.de

RÖHRICHT, Chr. u. SCHULZ, J.: „Entwicklung verwendungsorientierter Anbau- und Ernteverfahren für die Faserpflanzen Flachs und Hanf unter den Bedingungen des Freistaates Sachsen“ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, Juni 1997

SCHAERFF, A.: persönliche Gespräche, FB 3 der LfL, 2002 u. 2003

SCHMIDT, W.: persönliche Mitteilung, Duft- und Aroma GmbH, Miltitz

SCHULZ, J.; RÖHRICHT, Chr.; GRUNERT, M.: „Faserpflanzenanbau in Sachsen“, Broschüre der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Mai 1999

SCHULZ, J.; RÖHRICHT, Chr.: „Entwicklung verwendungsorientierter Anbau- und Ernteverfahren für die Faserpflanzen Flachs und Hanf unter den Bedingungen des Freistaates Sachsen“, Abschlussbericht zum Projekt, Mai 2000

SCHULZ, J.; Röhrich, Chr. u. Lehmann, T.: „Vereinfachtes Verfahren zur Gewinnung von Hanffasern für die Herstellung von Vliesstoffen“, Technische Textilien, Heft 2, April 2003

RÖHRICHT, Chr. u. SCHULZ, J.: „Ergebnisse von Untersuchungen zu Anbau, Ernte, Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit von Flachs und Hanf unter sächsischen Bedingungen“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, Mai 2000

SCHULZE, B.: „Pflanzenbauliche Aspekte des Anbaus von Hanf, (Cannabis sativa L.)“, Diplomarbeit, Kiel 1995

SCHWEIGER, P.: „Hanf - die wiederentdeckte Faserpflanze“, Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung (11) Nachwachsende Rohstoffe, Faserpflanzen Hanf 1996

SCHWEIGER, P.; MASTEL, K. u. STOLZENBURG, K.: Informationen für die Pflanzenproduktion, „Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaues von Faserhanf“, LAP Forchheim, Info-Heft 9/96

STEINHÖFEL, O.: persönliches Gespräch im FB 8 der LfL am 27. 09. 1999

THIELEMANN, G.: persönliche Gespräche, Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen e. V. Chemnitz, 2002 und 2003

TÜRPE, A.: persönliche Gespräche mit dem Betreiber der Firma VLIFOTEX Erdmannsdorf, 2002

WICHTL, M. et al.: „Teedrogen und Phyto-pharmaka“, 3. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, 1997

Anlage 1

Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Faserhanfanbaus (Kurzfaser)
Variante Pressgutlinie - Verkaufspreis Hanfröststroh 8 EURO/dt

Ertragsniveau	dt/ha	100	80	70	60
Preis	EUR/dt	8,00	8,00	8,00	8,00
Flächenprämie	EUR/ha	392,00	392,00	392,00	392,00
sonstige Prämien	EUR/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
Marktleistung gesamt	EUR/ha	1192	1032	952	872
Saatgut	kg/ha	40	40	40	40
Saatgutpreis (100% Zukauf)	EUR/kg	4,10	4,10	4,10	4,10
Saatgutkosten	EUR/ha	164,00	164,00	164,00	164,00
N	kg/ha	100	80	70	60
P2O5	kg/ha	80	64	56	48
K2O	kg/ha	100	80	70	60
Preis N	EUR/kg	0,56	0,56	0,56	0,56
Preis P2O5	EUR/kg	0,46	0,46	0,46	0,46
Preis K2O	EUR/kg	0,31	0,31	0,31	0,31
Düngemittelkosten	EUR/ha	123,80	99,04	86,66	74,28
Pflanzenschutz	EUR/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
Stoppelbearbeitung	EUR/ha	11,52	11,52	11,52	11,52
Pflügen	EUR/ha	28,76	28,76	28,76	28,76
Saatbettkombi (2x)	EUR/ha	14,31	14,31	14,31	14,31
Drillen	EUR/ha	5,68	5,68	5,68	5,68
Düngung	EUR/ha	5,52	5,52	5,52	5,52
Mähen (var.+Miete Mähwerk)	EUR/ha	37,20	34,58	33,23	31,97
Schwaden/Wenden (2x)	EUR/ha	25,42	22,71	21,36	20,00
Stroh pressen (6,50 €/Ballen)	EUR/ha	260,00	208,00	182,00	156,00
Laden, Transport, Stapeln	EUR/ha	57,00	46,00	40,00	34,00
Summe variable Kosten	EUR/ha	733,21	640,12	593,04	546,04
Deckungsbeitrag I	EUR/ha	458,79	391,88	358,96	325,96
Arbeitszeitbedarf	Akh/ha	7,6	7,4	7,3	7,2
Personalkosten (10,20 EUR/ha)	EUR/ha	77,52	75,48	74,46	73,44
Deckungsbeitrag II	EUR/ha	381,27	316,40	284,50	252,52
Stoppelbearbeitung	EUR/ha	13,30	13,30	13,30	13,30
Pflügen	EUR/ha	22,68	22,68	22,68	22,68
Saatbettkombi (2x)	EUR/ha	13,66	13,66	13,66	13,66
Drillen	EUR/ha	10,81	10,81	10,81	10,81
Düngung	EUR/ha	4,59	4,59	4,59	4,59
Mähen (fixe Schlepperkosten)	EUR/ha	7,09	5,57	4,78	4,05
Schwaden/Wenden (2x)	EUR/ha	16,53	14,95	14,16	13,37
Aufladen, Abladen	EUR/ha	28,00	24,00	20,00	17,00
Summe fixe Maschinenkosten	EUR/ha	116,66	109,56	103,98	99,46
Ergebnis ohne Gemeinkosten	EUR/ha	264,61	206,84	180,52	153,06
Pacht	EUR/ha	100,00	80,00	70,00	60,00
Grundsteuer	EUR/ha	10,30	7,70	5,10	5,10
Berufsgenossenschaft	EUR/ha	12,80	10,30	7,70	7,70
Kalkung	EUR/ha	28,00	28,00	28,00	28,00
Allgemeiner Betriebsaufwand	EUR/ha	128,00	128,00	128,00	128,00
Kalkulatorischer Gewinn	EUR/ha	-14,49	-47,16	-58,28	-75,74

Anlage 2

Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Faserhanfanbaus (Kurzfaser)

Variante Ladewagentechnologie - Verkaufspreis Hanfröststroh 8 EURO/dt

Ertragsniveau	dt/ha	100	80	70	60
Preis	EUR/dt	8,00	8,00	8,00	8,00
Flächenprämie	EUR/ha	392,00	392,00	392,00	392,00
sonstige Prämien	EUR/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
Marktleistung gesamt	EUR/ha	1192,00	1032,00	952,00	872,00
Saatgut	kg/ha	40	40	40	40
Saatgutpreis (100% Zukauf)	EUR/kg	4,10	4,10	4,10	4,10
Saatgutkosten	EUR/ha	164,00	164,00	164,00	164,00
N	kg/ha	100	80	70	60
P2O5	kg/ha	80	64	56	48
K2O	kg/ha	100	80	70	60
Preis N	EUR/kg	0,56	0,56	0,56	0,56
Preis P2O5	EUR/kg	0,46	0,46	0,46	0,46
Preis K2O	EUR/kg	0,31	0,31	0,31	0,31
Düngemittelkosten	EUR/ha	123,80	99,04	86,66	74,28
Pflanzenschutz	EUR/ha	0,00	0,00	0,00	0,00
Stoppelbearbeitung	EUR/ha	11,52	11,52	11,52	11,52
Pflügen	EUR/ha	28,76	28,76	28,76	28,76
Saatbettkombi (2x)	EUR/ha	14,31	14,31	14,31	14,31
Drillen	EUR/ha	5,68	5,68	5,68	5,68
Düngung	EUR/ha	5,52	5,52	5,52	5,52
Mähen (var.+Miete Mähwerk)	EUR/ha	37,20	34,58	33,23	31,97
Schwaden/Wenden (2x)	EUR/ha	25,42	22,71	21,36	20,00
Ladewagen (Laden+Transport)	EUR/ha	38,60	31,93	28,59	25,26
Miete setzen	EUR/ha	21,38	17,48	15,53	13,58
Abdeckfolie	EUR/ha	12,00	11,00	10,00	9,00
Summe variable Kosten	EUR/ha	488,19	446,53	425,16	403,88
Deckungsbeitrag I	EUR/ha	703,81	585,47	526,84	468,12
Arbeitszeitbedarf	Akh/ha	9,91	8,88	8,36	7,85
Personalkosten (10,20 EUR/ha)	EUR/ha	101,08	90,58	85,27	80,07
Deckungsbeitrag II	EUR/ha	602,73	494,89	441,57	388,05
Stoppelbearbeitung	EUR/ha	13,30	13,30	13,30	13,30
Pflügen	EUR/ha	22,68	22,68	22,68	22,68
Saatbettkombi (2x)	EUR/ha	13,66	13,66	13,66	13,66
Drillen	EUR/ha	10,81	10,81	10,81	10,81
Düngung	EUR/ha	4,59	4,59	4,59	4,59
Mähen (fixe Schlepperkosten)	EUR/ha	7,09	5,57	4,78	4,05
Schwaden/Wenden (2x)	EUR/ha	16,53	14,95	14,16	13,37
Ladewagen (Laden+Transport)	EUR/ha	41,25	33,72	29,96	26,20
Miete setzen	EUR/ha	27,36	22,18	19,59	16,99
Summe fixe Maschinenkosten	EUR/ha	157,27	141,46	133,53	125,65
Ergebnis ohne Gemeinkosten	EUR/ha	445,46	353,43	308,04	262,40
Pacht	EUR/ha	100,00	80,00	70,00	60,00
Grundsteuer	EUR/ha	10,30	7,70	5,10	5,10
Berufsgenossenschaft	EUR/ha	12,80	10,30	7,70	7,70
Kalkung	EUR/ha	28,00	28,00	28,00	28,00
Allgemeiner Betriebsaufwand	EUR/ha	128,00	128,00	128,00	128,00
Kalkulatorischer Gewinn	EUR/ha	166,36	99,43	69,24	33,60

Anlage 3 : Analyseergebnisse Ausbeute an ätherischen Ölen in Hanfblüten, Praxisversuch Kossa 2001

Hanfsorten	Beniko	Beniko	Beniko	Beniko	Bialobr.	Bialobr.	Bialobr.	Bialobr.	USO 31	USO 31
Erntetermine	27.07.	27.07.	02.08.	02.08.	24.07.	24.07.	02.08.	02.08.	02.07.	12.07.
Blattentfernung	mit Blättern	ohne Blätter	ohne Blätter	ohne Blätter						
sortenspezifischer Probenahmetermin	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2
ätherisches Öl gesamt (ml/100 g)*	0,15	0,23	0,16	0,27	0,22	0,25	0,20	0,27	0,20	0,18
davon in Prozent vom Gesamtgehalt										
□-Pinen	6,00	4,13	3,60	7,35	3,32	6,27	3,09	5,89	4,13	5,11
β-Pinen	1,90	1,40	1,30	2,51	1,06	2,16	0,84	1,68	1,58	1,86
Myrcen	1,34	2,07	2,54	3,02	1,11	2,49	0,82	2,41	0,49	0,72
Limonen	0,61	0,95	1,50	1,58	0,42	1,46	0,48	0,60	0,70	0,47
trans-Ocimen	1,56	0,77	1,20	0,41	0,89	1,44	1,10	2,85	1,36	1,48
Terpinolen	0,17	0,10	0,20	0,22	0,00	0,04	0,23	1,97	0,00	0,30
trans-α-Bergamoten	3,25	3,47	3,38	3,10	3,10	3,51	3,19	3,78	3,61	2,82
β-Caryophyllen	42,82	40,90	39,00	36,80	38,87	39,19	38,04	37,24	41,60	38,95
cis-β-Farnesen	4,72	4,95	5,00	4,44	3,69	4,17	3,95	4,59	4,58	3,69
α-Caryophyllen (Humulen)	15,56	15,30	15,80	13,27	15,94	11,94	17,43	15,34	16,19	16,40
β-Selinen	2,70	3,41	4,12	3,30	3,49	2,89	3,37	3,41	3,49	4,07
α-Selinen	2,16	2,84	3,21	2,75	2,78	2,22	2,63	2,74	2,63	3,11
β-Sesquiphellandren	3,44	4,82	2,23	4,10	1,34	3,56	0,21	0,42	0,66	0,49
Caryophyllenoxid	3,29	1,75	3,56	1,98	5,16	1,85	6,83	3,08	4,40	5,56

* bezogen auf Originalsubstanz

Analyselabor: GERCID GMBH Berlin

