

Industriefaser – Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview

Industrial Fibre – Quality Assessment and Influence of Crop Management in Fibre Crops: a Literature Review

Monika Scheer-Triebel & J. Léon
Institut für Pflanzenbau, Universität Bonn

Zusammenfassung

Aufgrund des zunehmenden Interesses verschiedener Wirtschaftszweige an Industriefasern aus Naturfaserpflanzen wird in vorliegender Untersuchung der Stand der Forschung bezüglich der Qualitätsbeschreibung und der pflanzenbaulichen Beeinflussungsmöglichkeiten bei verschiedenen Faserpflanzen für den mitteleuropäischen Raum zusammengestellt. Neben dem Faserlein, der bereits seit einigen Jahren in wissenschaftlicher Bearbeitung ist, sind andere, bislang weitgehend unerforschte Faserpflanzen wie Hanf, Fasernessel, Kenaf und Ramie im Gespräch, die gute Anbaueignung besitzen sollen. Die vorliegende Literatur in bezug auf Faserleistung und Faserqualität ist zusammengefasst. Allerdings ist die Vergleichbarkeit der Untersuchungen eingeschränkt, da keine Versuche unter vergleichbaren Anbaubedingungen und gleicher Methodik der Ertragsfeststellung und Qualitätsanalytik vorliegen. Es werden die verschiedenen Methoden zur Untersuchung der Faserleistung und -qualität vorgestellt und die vorhandenen Ergebnisse bei den Arten diskutiert. So wurden bei Lein und Hanf sortenabhängige Qualitätsdifferenzen nachgewiesen. In der Anbautechnik wird für Faserlein mit 2000 Körnern m⁻² die zehnfache Saatmenge wie für Hanf mit 200 Körnern m⁻² empfohlen. Der Hanf reagiert positiv auf Erhöhung der N-Düngung, die beim Leinanbau eher zu Lager und Ertragsabfall führt. Es liegen bislang kaum aktuelle Untersuchungen zu Fasernessel, Kenaf und Ramie vor, so dass über diese Arten erst wenig Aussagen möglich sind. Der Forschungsbedarf für eine vergleichende Bewertung der Faserpflanzen wird aufgezeigt.

Schlüsselworte: Faserlein (*Linum usitatissimum* L.), Hanf (*Cannabis sativa* L.), Nessel (*Urtica dioica* L.), Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), Ramie (*Boehmeria nivea* L.), Faserqualität, Anbauverfahren

Summary

There is a growing interest of industries in fibres from natural fibre crops. The present paper gives an overview on the status of research in different fibre crops concerning the definition of fibre quality and the possibilities to influence the fibre quality by crop management. Besides flax, which is already under scientific research since several years, there are other, so far unexplored fibre crops, such as hemp, nettle, kenaf and ramie, under discussion. These crops are also reported to have good fibre quality. The

literature concerning fibre yield and fibre quality of the fibre crops is summarized. The comparison of the results is critical, because the trials were done under different growing conditions and with different methods of analysing yield and quality. The methods of analysing fibre content and fibre quality properties are presented and the achieved results are discussed. It can be shown that there are differences in fibre quality depending on the varieties for flax and hemp. The crop management such as seed density is completely different for the fibre crops. An increase of nitrogen fertilisation improves the hemp yield, but can decrease yield due to lodging of flax. There is only little research done for nettle, kenaf and ramie. The need for research to compare the different fibre crops is pointed out.

Key words: Flax (*Linum usitatissimum* L.), hemp (*Cannabis sativa* L.), nettle (*Urtica dioica* L.), kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), ramie (*Boehmeria nivea* L.), fibre quality, crop management

Einleitung

Die Faserpflanzen gehören zu den ältesten Kulturarten. Erste Hanffunde stammen von 8000–7000 v. Chr., der Faserlein wurde bereits 5000–4000 v. Chr. systematisch von den Ägyptern, Babyloniern, Phöniziern und anderen Kulturvölkern angebaut (DAMBROTH & SEEHUBER 1988, HERER 1994). Einheimische Faserpflanzen, wie Faserlein, Hanf und Nessel, haben im 19. Jahrhundert in Europa große Anbaubedeutung für die Produktion von Textilfasern besessen. Allerdings ist durch die Mechanisierung der Baumwollernte und -verarbeitung und die Entwicklung von Chemiefasern deren Anbau kontinuierlich zurückgegangen. Der Faserleinanbau wurde zu Beginn der 60er Jahre in Deutschland vollkommen eingestellt; der Hanfanbau war schon vorher weitgehend bedeutungslos und wurde 1982 mit der Veränderung des Betäubungsmittelgesetzes aufgrund der psychoaktiven Inhaltsstoffe (Tetrahydrocannabinol – THC) generell verboten.

Neben der textilen Verwertung besteht heute in verschiedenen „nicht-textilen“ Industriezweigen ein wachsendes Interesse an Naturfasern, denn die Naturfasern besitzen gegenüber den Chemiefasern Vorteile bei der Wiederverwertung bzw. bei der Entsorgung (KNOTHE 1997). Eine gezielte Substitution von Chemiefasern (Jahresverbrauch Glasfaser: 300000 t) durch bioabbaubare Naturfasern würde der einheimischen Landwirtschaft

sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bieten.

Eine nachhaltige, weitgehend subventionsfreie Wettbewerbsfähigkeit des Naturfaseranbaus kann jedoch nur unter der Prämisse der Produktion von qualitativ hochwertigem, homogenem Fasermaterial, das unter optimalen Anbaubedingungen kostengünstig und umweltverträglich erzeugt wird, realisiert werden.

Ziel vorliegender Untersuchung ist es, den aktuellen Stand der Forschung über die Industriefaser, deren Qualität und die pflanzenbaulichen Beeinflussungsmöglichkeiten bei verschiedenen Faserpflanzenarten zu dokumentieren.

Faserpflanzenarten

Es gibt eine Vielzahl von Faserpflanzen, bei denen die Fasern aus den unterschiedlichen Pflanzenteilen gewonnen werden können. Zur Einordnung der Naturpflanzenfasern in den gesamten Faserbereich ist in Tab. 1 eine Einteilung der Fasern nach Herkunft und stofflicher Beschaffenheit zusammengestellt.

Die Pflanzenfasern bilden mit den tierischen und mineralischen Fasern die Gruppe der Naturfasern. Diese steht den Gruppen der Chemiefasern und den industriell hergestellten Fasern auf anorganischer Grundlage gegenüber. Interessanterweise zählt damit auch die Asbestfaser, die lungenkrebsgefährdend ist (ANONYM 1994), zu den Naturfasern. Im Gegensatz zu den tierischen Fasern bestehen die Pflanzenfasern überwiegend aus Zellulose. Bei den Samenfasern bilden die Pflanzenhaare der Epidermis des Samens die Fasern, die z. B. bei Baumwolle in nahezu spinnfertigem Zustand von der Pflanze geliefert werden (WULFHORST & KÜLTER 1989). Die Hartfasern bestehen aus Gefäßbündel(teilen) oder reinen Bastfasersträngen aus den Blättern der jeweiligen Art. Bei den Fruchtfasern handelt es sich um Mesokarpshüllen, die bei der Ernte von

Tab. 1: Einteilung von Fasern nach Herkunft und stofflicher Beschaffenheit (DIN 60000 1969, FRANKE 1981, JOSEPH 1981, DIN 600001 1988, 1990, ANONYM 1991, 1994)

Classification of fibres related to origin and material composition

Naturfasern	Herkunft
<i>pflanzliche (Zellulosefasern)</i>	
– Samenfasern	Baumwolle, Kapok
– Bastfasern	Lein, Hanf, Nessel, Kenaf, Ramie
– Hartfasern	Sisal, Yucca, Ananas, Manihot, Zwergpalme, Bastpalme
– Fruchtfasern	Kokos
<i>tierische (Eiweißfasern)</i>	
– Tierhaare	Schafwolle, Angora, Kaschmir, Lama, Mohair, Roßhaar
– tierische Sekrete	Seide
<i>mineralische</i>	
	Asbest
<i>Chemiefasern</i>	
<i>aus natürlichen Polymeren</i>	Zellulose (z.B. Viskose), Gummi (z.B. Kautschuk)
<i>aus synthetischen Polymeren</i>	Aramid, Polyethylen, -propylen, -ester, -acryl
<i>Industriell hergestellte Fasern</i>	
<i>aus anorg. Substanzen</i>	Glas-, Kohlenstoff-, Metallfasern

den Steinkernen der Kokosnuss gewonnen werden können (FRANKE 1981).

Aus der Gruppe der Faserpflanzen sind für den Anbau in Mitteleuropa vor allem die Arten interessant, bei denen die Bastfasern aus dem Stengel gewonnen werden. Dies sind die sommerannuellen Arten Faserlein (*Linum usitatissimum* L.), Hanf (*Cannabis sativa* L.), dessen Anbau seit 1996 wieder erlaubt ist, und die mehrjährige Fasernessel (*Urtica dioica* L.). Darüber hinaus gibt es erste Untersuchungen über tropische Faserpflanzenarten, die die Angebotspalette an einheimischen Faserpflanzenarten ergänzen können. Dazu gehören die sommerannuelle Art Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) aus der Familie der Malvengewächse und die mehrjährige, aus China stammende Brennesselart Ramie (*Boehmeria nivea* L.).

Biomasseertrag

Das Ertragspotential an (oberirdischer) Biomasse unterliegt bei den Faserpflanzen großen Schwankungen sowohl zwischen als auch innerhalb der Arten. Tab. 2 zeigt einen Überblick über die in verschiedenen neueren Untersuchungen festgestellten Variabilitäten in Abhängigkeit von Jahres (J) – und Standorteffekten (O) und genotypischen Differenzen (G).

So sind bei Lein die Stroherträge von Ölleinsorten mit maximal 70 dt ha⁻¹ (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b, RENNEBAUM et al. 1998) deutlich geringer als die von Faserleinsorten mit bis zu 120 dt ha⁻¹ (RENNEBAUM et al. 1998). Die Ursache liegt in der größeren Wuchshöhe von Faserlein im Vergleich zu Öllein. Im Vergleich eines Faserleinsortiments an verschiedenen Standorten zeigt sich, dass die Wahl des Standortes die Ertragshöhe weit mehr beeinflusst als die Sortenwahl. Vor allem eine ausreichende Wasserversorgung während der Hauptvegetationszeit im Mai/Juni ist dabei für die optimale Ausschöpfung des Ertragspotentials der Sorten entscheidend (DAMBROTH & SEEHUBER 1988, KÄMMERLING 1990, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b). Im günstigsten Fall wurde ein Strohertrag von 150 dt ha⁻¹ gemessen. SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b) fanden größere Differenzen zwischen den Jahren als zwischen den Standorten; ein Hinweis darauf, dass der Lein keine großen Ansprüche an die Bodenart stellt.

Hanf hat mit maximal 180 dt ha⁻¹ ein höheres Ertragspotential als Lein; die Schwankungen zeigen jedoch, dass unter ungünstigen Standortbedingungen geringere Biomasseerträge als bei Lein möglich sind (Tab. 2). In einem feuchten Versuchsjahr konnte die Sorte Kompolti den Biomasseertrag im Vergleich zu einem trockenen Anbaujahr nahezu verdoppeln, d. h. auch bei Hanf ist eine ausreichende Wasserversorgung zur Realisierung des Ertragspotentials entscheidend (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994). Die Differenzen zwischen den Sorten von bis zu 50% sind nach Untersuchungen von VON BUTTLAR et al. (1997) deutlich höher als zwischen verschiedenen Standorten. Auch MÜNZER (1999) fand größere Differenzen zwischen den Sorten als zwischen den geprüften Orten und Jahren, wobei die spätreife Sorte Kompolti die ertragsreichste war und die frühreife Sorte Fasamo die geringsten Erträge erzielte.

In älteren Untersuchungen über Nessel, die bei BREDEMANN (1959) zusammengefaßt sind, wird von einem Ertragspotential von 30–40 dt ha⁻¹ berichtet. Neuere Versuche sprechen jedoch von deutlich höheren Biomasseerträgen, wobei einzelne Genotypen bereits im 2. Standjahr bis zu 130 dt ha⁻¹ erreichten (WURL & VETTER 1994, DREYER 1999). Geringe Erträge von 20–50 dt ha⁻¹ wurden hinge-

Tab. 2: Biomasseerträge (dt ha⁻¹) von Faserpflanzen*Biomass yield (dt ha⁻¹) of fibre crops*

Art	Oberirdische Biomasse (dt ha ⁻¹)	Variationsursache*	Prüfort**	Quelle
Lein	70–150	O, G	D	DAMBROTH & SEEHUBER (1988)
	70–90	J, G	D	KÄMMERLING (1990)
	30–80	J, G	D	EULENSTEIN (1997)
	40–90	J, O, G	D	SCHEER-TRIEBEL et al. (1997a, b, 1999)
	60–120	G	D	RENNEBAUM et al. (1998)
	35–66	J, O, G	D	VETTER & GRAF (1999)
Hanf	130–170	J, G	NL	VAN DER WERF et al. (1994a)
	100–180	J, G	D	HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1994, 1999)
	82–141	O, G	D	VON BUTTLAR et al. (1997)
	97–174	O, G	D	MASTEL et al. (1998)
	74–132	G	D	MÜNZER (1999)
	104–115	O	D	MÜNZER (1999)
	100–120	J	D	MÜNZER (1999)
	72–120	J, O, G	D	VETTER & GRAF (1999)
Fasernessel	30–40	G	D	BREDEMANN (1959)
	50–130	J, G	D	WURL & VETTER (1994)
	50–120	J, G	D	DREYER et al. (1996), DREYER (1999)
	20–50	J, G	D	SCHMIDTKE et al. (1998)
	60–90	J, G	D	VETTER & GRAF (1999)
Kenaf	40–90	J, G	D	SCHWEIGER (1996)
	20–80	G	D	KONERMANN et al. (1997)
	120–220	G	I	PACE et al. (1996)
	80–160	J	AUS	MUCHOW (1980)
	80–250	O, J	AUS	CANBERRY & MUCHOW (1992)
	200–290	G	USA	MC MILLIN et al. (1998)
Ramie	100–200	J	D	EUSTERSCHULTE & KAHNT (1996)
	150–250	J	I	ANGELINI et al. (1999)

* Variationsursache: Jahr (J), Standort (O), Genotyp (G)

** Prüfort: Deutschland (D), Niederlande (NL), Italien (I), Australien (AUS)

gen beim Anbau von Nessel im ökologischen Anbau unter Verzicht auf N-Düngung erzielt (SCHMIDTKE et al. 1998).

Die in Deutschland ermittelten Biomasseerträge von Kenaf erreichen mit 40–90 dt ha⁻¹ höchstens die Größenordnung von Lein (SCHWEIGER 1996, KONERMANN 1997), wobei die jahresbedingten Differenzen die Sortenunterschiede übertreffen. Die Biomasseerträge der Versuche aus Südeuropa, Australien und USA zeigen, dass Kenaf ein deutlich höheres Ertragspotential von mehr als 200 dt ha⁻¹ besitzt (MUCHOW 1980, CANBERRY & MUCHOW 1992, PACE et al. 1996, MCMILLIN et al. 1998). Dieses Ertragspotential kann jedoch nur unter tropischen bis subtropischen Klimabedingungen ausgeschöpft werden. Zusätzlich ist in jedem Fall eine Bewässerung leistungssteigernd gewesen.

Ramie kann als tropische Faserpflanze in Deutschland Erträge von 100–200 dt ha⁻¹ bei zwei Ernten/Jahr erzielen, ist jedoch nicht winterfest, wodurch der Anbau problematisch ist (EUSTERSCHULTE & KAHNT 1996). In Südeuropa werden bis zu 250 dt ha⁻¹ bei 3 Ernten pro Jahr erreicht (ANGELINI 1999). Vergleichende Untersuchungen zwischen den Arten aus gleichen Jahren und Standorten liegen bisher nicht vor. Es wird dennoch deutlich, dass unter mitteleuropäischen Klimabedingungen bezüglich des Ertragspotentials an Biomasse die Arten Lein, Hanf und Nessel anbauwürdig sind, während die bisher geprüften Sorten der tropischen Faserarten Kenaf und Ramie ihr Leistungspotential nicht ausschöpfen können.

Faseraufschluss

Die Höhe des Faserertrages als Produkt aus Strohertrag (oberirdischer Biomasseertrag ohne Samen und Blätter) und Faseranteil ist in erheblichem Maße von der Methode der Ernte, des Faseraufschlusses und der Faseranteilsbestimmung abhängig.

Grundsätzlich unterscheiden sich hierbei die Methoden des großtechnischen Faseraufschlusses von den Laboranalysemethoden (Tab. 3).

Auch innerhalb der großtechnischen Faseraufschlussverfahren sind die Unterschiede so groß, dass Auswirkungen auf den Faserertrag und die Faserqualität allein aus der Wahl der Aufschlußmethode resultieren.

Für die textile Verwertung, beispielsweise des Faserleins, wird klassischerweise eine Feldröste durchgeführt, bei der zunächst das Stroh gerauft und einer mehrwöchigen Feldröste unterzogen wird (SULTANA 1992). Die Feldröste stellt einen biologischen Abbau dar; die hierfür notwendige mikrobielle Aktivität ist stark von den Witterungsbedingungen abhängig. Anschließend wird in einer stationären Schwinge aus dem gerösteten Stroh durch Knicken, Schwingen und Hecheln die Faser mechanisch aufgeschlossen. Faserprodukte sind die textilen Langfasern und die Kurzfasern, die auch als Werg bezeichnet werden. Beim Grünflachsaufschluss (HEYLAND et al. 1995) wird nach der Raufe das ungeröstete, aber abgetrocknete Stroh auf dem Feld mittels mobiler Feldentholungsgeräte geknickt, um die Faser freizulegen (mechani-

Tab. 3: Methoden des Faseraufschlusses

Methods of fibre extraction

Grosstechnik	Faserprodukte	Quelle
<u>Röstflachsaufschluss</u> Feldröste (biologisch) + Schwinge (mechanisch)	textile Langfasern (+ Kurzfasern (Werg))	SULTANA (1992)
<u>Grünflachsaufschluss</u> Feldentholzung (mechanisch) + stationäre Feinentholzung (mechanisch)	technisch nutzbare Fasern (= Summe aus Lang- und Kurzfasern)	HEYLAND et al. (1995)
Labortechnik		
Wasserröste (biologisch) + Laborschwinge (mechanisch)	textile Langfasern (+ Kurzfasern (Werg))	FRIED (1939) VLASWINKEL (1998)
Laborentholzung (mechanisch) + NaOH-Aufschluss (chemisch)	Reinfasern	BREDEMANN (1922, 1959) HEMKER (1989)
Laborentholzung (mechanisch)	technisch nutzbare Fasern (= Summe aus Lang- und Kurzfasern)	KOCH et al. (1995) HEYLAND et al. (1995)
Dampfdruck (physikalisch)	Reinfasern	WURSTER & DAUL (1988) KESSLER & KOHLER (1996) KESSLER et al. (1998)

scher Aufschluss). Da hierbei der biologische Aufschluss durch die Röste entfällt, ist ein intensiverer mechanischer Aufschluss erforderlich, der zu einer stärkeren Einkürzung der Fasern führt. Für zahlreiche „nicht-textile“ Anwendungen ist dies jedoch ohne Nachteil. Nach drei mobilen Knickvorgängen auf dem Feld erfolgt anschließend die Feinentholzung des vorentholzten Fasermaterials stationär. Erzeugt wird ein grobes, in Wirrlage befindliches Fasermaterial. Für dieses Material hat sich bei Lein der Begriff „Industriefasern“ oder „technisch nutzbare Fasern“ geprägt, um Verwechslungen mit der textilen Langfaser zu vermeiden (HEYLAND et al. 1995). Vorteil der Grümentholzung ohne Feldröste ist eine Verminderung des Ernterisikos, da das Stroh nur kurze Zeit auf dem Feld verbleibt.

Bei der Ernte des Hanfs sind verschiedene Mähtechniken in Erprobung (EHLERT et al. 1997, MARTENS & MÜSSIG 1997). Dabei erwiesen sich Doppelmesserbalcken geeigneter als Scheibenmähwerke. Ein Zweiebenen-Mähwerk zur Einkürzung des bis zu 3 m langen Strohs erscheint sinnvoll, wobei eine Einkürzung der Stengel auf 60–80 cm als optimal für die Weiterverarbeitung angesehen wird (MASTEL et al. 1998). Auch Feldhäcksler wurden erprobt mit positiven Effekten bezüglich der Abtrocknung des Erntegutes, allerdings wird durch die starke mechanische Belastung die Faserqualität vermindert. Nach kurzer Röste wird das Stroh gepreßt und später stationär entholzt (biologischer und mechanischer Aufschluss).

Für Nessel, Kenaf und Ramie finden sich in der Literatur keine Vergleiche verschiedener Ernteverfahren.

Labortechnisch kann der Faseranteil an kleinen Proben durch mechanischen, physikalischen oder die Kombination von mechanischem mit biologischem oder chemischem Aufschluss festgestellt werden. Die Kombination von Wasserröste (biologischer Aufschluss) und Laborschwinge (mechanischer Aufschluss) simuliert im Labormaßstab die Feldröste. Eine Laborentholzung (mechanischer Aufschluss) mit anschließendem NaOH-Aufschluss (chemischer Aufschluss) soll zu ähnlichen Ergebnissen führen. Beim Dampfdruckaufschluss (physikalischer Aufschluss) wird die Probe zunächst unter hohem Druck er-

hitzt. Bei der nachfolgenden schnellen Druckabsenkung erfolgt durch das Verdampfen des Wassers in den Zellstrukturen eine Cottonisierung der Faserzellen, d. h. der Zellverbund wird bis zur Einzelfaser zerlegt (WURSTER & DAUL 1988, KESSLER & KOHLER 1996, KESSLER et al. 1998). Die ausschließlich mechanische Laborentholzung entspricht im Labormaßstab dem Grünflachsaufschluß. Andere Faseraufschlussverfahren, wie z. B. durch Lignine (WURSTER & DAUL 1988) oder Enzyme (VAN SUMERE 1992, AKIN et al. 1997a, b, AKIN & RIGSBY 1999) sind bislang nur im Versuchsmaßstab durchgeführt worden. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Labormethoden der Faserfreilegung bei 18 Genotypen von Lein zeigt, dass der ungeröstete Strohertrag ca. 15% höher als der geröstete Strohertrag liegt (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997a, Abb. 1).

Der Anteil an technisch nutzbaren Fasern ist gegenüber dem Langfaseranteil um 34% erhöht; dies entspricht in etwa dem Kurzfasernanteil, der bei der Schwinge als Werg anfällt (SCHEER-TRIEBEL et al. 1995). Der Anteil an Reinfasern nach mechanischem und chemischem Aufschluss ist um 23% geringer als der Anteil an textilen Langfasern. Im Faserertrag liegen Lang- und Reinfaserertrag in der gleichen Größenordnung, der technisch nutzbare Faserertrag ist um ca. 50% höher. Es wird deutlich, dass es schon innerhalb einer Faserpflanzenart aufgrund methodischer Unterschiede schwer möglich ist, zu vergleichbaren Ergebnissen bei Stroherträgen, Faseranteilen und Fasererträgen zu kommen.

Faseranteil und Faserertrag

Da sich die bei den verschiedenen Faserfreilegungsverfahren ermittelten Faseranteile in ihrer Höhe in Abhängigkeit von der Methode der Faserfreilegung unterscheiden, ist bei der Zusammenstellung der Faseranteile und Fasererträge in Tab. 4 die Art der Faserfreilegung, soweit bekannt, mitgenannt.

So beziehen sich bei Lein die Faseranteile, die mittels Feldröste und Schwinge ermittelt wurden, in der Regel auf

Strohertrag (dt ha⁻¹)		
Wasserröste		keine Röste
64,9		74,4
Faseranteil (%)		
textile Langfasern	technisch nutzbare Fasern	Reinfasern
Laborschwinde (mech.)	Laborentholzung (mech.)	Laborentholzung (mech.) NaOH-Aufschluss (chem.)
24,6	33,0	19,0
Faserertrag (dt ha⁻¹)		
Langfaserertrag	technisch nutzbarer Faserertrag	Reinfaserertrag
16,2	24,7	16,7

Abb. 1: Vergleich von Stroherträgen, Faseranteilen und Fasererträgen bei Lein in Abhängigkeit von der Methode der Faserfreilegung (nach SCHEER-TRIEBEL et al. 1997a, ergänzt)

Comparison of straw yield, fibre content and fibre yield of flax depending on the method of fibre extraction

das Produkt aus Röststrohertrag und Langfaseranteil. Bei der Faseranteilsbestimmung mittels mechanisch-chemischer Faserfreilegung wird der Faserertrag über den ungerösteten Strohertrag errechnet. Beim ausschließlich mechanischen Faseraufschluss wird das Produkt aus Strohertrag (geraut, ungeröstet) und technisch nutzbarem Faseranteil von den Autoren (HEYLAND et al. 1995) als technisch nutzbarer Faserertrag bezeichnet, weil dies die Menge an Faser ist, die im „nicht textilen“ Bereich industriell nutzbar ist. Bei Lein ist zusätzlich noch zwischen der Ernte mittels Raufe, die bei der Fasernutzung üblich ist und der Ernte mittels Mähdrusch, die bei der Ölleinnutzung verwendet wird, zu unterscheiden. Bei der Ernte durch Mähdrusch verbleibt mit den Stoppeln ein Teil des Stroh auf dem Feld; die durch diese Unterschiede in der Erntetechnik verursachte Differenz in den gemessenen Fasererträgen liegt nach KÄMMERLING (1990) bei ca. 20%.

Die Faseranteile bei Hanf werden z. T. nach Röste und Schwinde (biologisch und mechanisch) (VON BUTTLAR et al. 1997), in anderen Untersuchungen nach mechanischer Entholzung (RÖHRICHT et al. 1997) ermittelt. Die

Faseranteilsbestimmung bei Fasernessel erfolgte bisher ausschließlich nach chemischer Faserfreilegung.

Den Literaturangaben über Faseranteile und -erträge bei Kenaf und Ramie ist nicht zu entnehmen, wie die Fasererzeugung erfolgte.

Die in Tab. 4 beispielhaft zusammengefaßten Differenzen in den Faseranteilen und Fasererträgen sind neben den methodisch bedingten Unterschieden durch genotypische Effekte, Unterschiede zwischen den Standorten und in der Jahreswitterung zu erklären. Bei Lein wurden in einem Sortenvergleich maximale Faseranteile von 38% und Fasererträge von 35,7 dt ha⁻¹ von neuen Zuchtstämmen im Vergleich zu Faser- und Ölleinsorten erreicht (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b, Abb. 2).

Es wurden aber auch erhebliche Differenzen zwischen Jahren und Orten nachgewiesen (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997a, Abb. 3).

Bei Hanf erreicht die beste Sorte Kompolti Faseranteile von 34% und Fasererträge von 44,8 dt ha⁻¹, wobei die Differenzen in den Faseranteilen zwischen den Orten bei den Sorten bis zu 10% betragen können (VON BUTTLAR et al. 1997).

Tab. 4: Faseranteile (%) und Fasererträge (dt ha⁻¹) von Faserpflanzen
Fibre contents (%) and fibre yields (dt ha⁻¹) of fibre crops

Art	Labortechnik	Faseranteil (%)	Faserertrag (dt ha ⁻¹)	Quelle
Lein	mech./chem.	14,0–26,5	10,0–22,0	KÄMMERLING (1990)
	mech./chem.	15,1–23,5	8,0–16,0	SCHEER-TRIEBEL et al. (1997a)
	mech.	25,0–40,0	15,0–35,7	SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b, 1999)
	mech.	16,4–35,1	9,6–30,6	RÖHRICHT et al. (1997)
	mech.	16,7–38,5	9,8–41,4	RENNEBAUM et al. (1998)
	biol./mech.	16,9–32,3	7,7–21,2	VETTER & GRAF (1999)
Hanf	biol./mech.	15,0–34,0	17,5–44,8	VON BUTTLAR et al. (1997)
	mech.	25,1–31,7	17,4–25,2	RÖHRICHT et al. (1997)
	mech.	26,2–36,4	23,2–44,8	HÖPPNER & MENGE-HARTMANN (1999)
	mech.	27,8–41,7		MÜNZER (1999)
	biol./mech.	14,8–23,8	15,8–20,2	VETTER & GRAF (1999)
Fasernessel	mech./chem.	2,0–17,0		BREDEMANN (1959)
	mech./chem.	1,2–14,0	1,4–13,8	DREYER et al. (1996)
	mech./chem.	7,4–14,5	3,0–6,0	DREYER (1999) SCHMIDTKE et al. (1998)
Kenaf	keine Angabe		17,0–22,0	NAUPERT et al. (1963)
		18,0–22,0	10,0–35,0	REHM & ESPIG (1976)
Ramie	keine Angabe	15,0		DEMPSEY (1975)
			20,0	

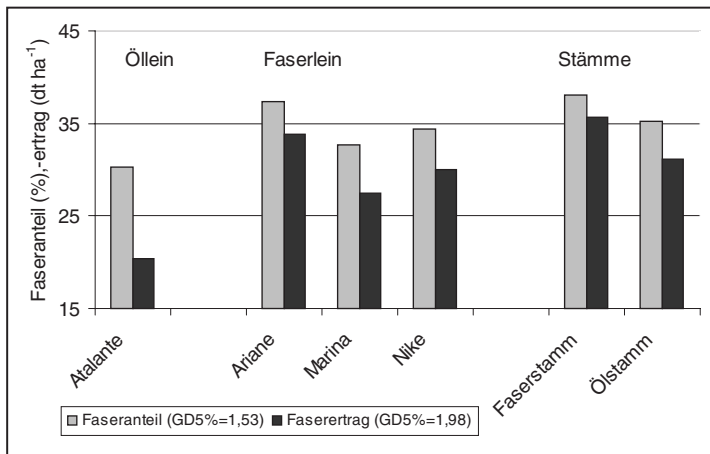


Abb. 2: Einfluss des Genotyps auf Faseranteil und Faserertrag bei Lein (nach SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b)

Influence of genotype on fibre content and fibre yield of flax

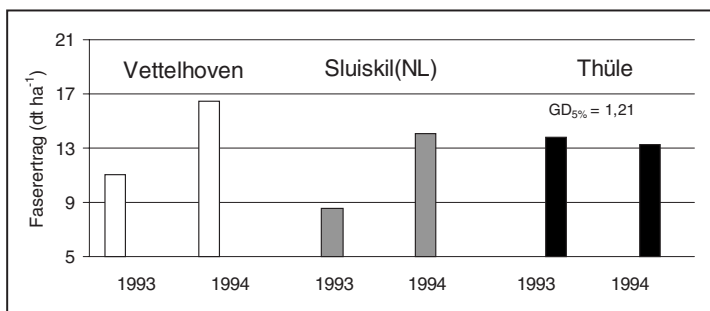


Abb. 3: Einfluss von Standort und Jahr auf den Faserertrag von Lein (nach SCHEER-TRIEBEL et al. 1997a)

Influence of location and year on the fibre yield of flax

Bei der Fasernessel wurden in Züchtungsarbeiten von BREDEMANN (1959) die Faseranteile, die bei der Wildnessel 2% betragen, auf 17% erhöht. In aktuellen Untersuchungen mit diesem Material wurden maximal 14% Faseranteil gemessen (DREYER 1999). Diese sind jedoch niedriger als die bei den anderen Arten zu erzielenden Faseranteile. Entsprechend gering ist deshalb der erreichbare Faserertrag. Die von Kenaf und Ramie bekannten Faseranteile und -erträge sind allgemein aus Lehrbüchern entnommen und dort nicht näher erläutert.

Die Literaturauswertung zeigt, dass ein erheblicher Forschungsbedarf im Bereich der Untersuchung von vergleichbaren Faserleistungen zwischen den verschiedenen Faserpflanzenarten besteht, um „echte“ Leistungspotentiale in Abhängigkeit von Genotyp und Umwelt (Ort, Jahr) zu ermitteln.

Zusätzlich ist auch nachgewiesen, dass die Faserqualität in Abhängigkeit von der Methode der Faserfreilegung differiert, wie in den weiteren Ausführungen gezeigt werden soll.

Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen auf Strohertrag, Faseranteil und Faserertrag

Neben den bisher dargestellten Unterschieden in der Ertragsfähigkeit bei allen Faserpflanzenarten in Abhängigkeit von Genotyp, Jahr und Standort reagieren die verschiedenen Arten unterschiedlich auf pflanzenbauliche Maßnahmen.

Bei Lein ist die Wahl der Saatstärke grundsätzlich von der Hauptnutzung abhängig. Für die Samennutzung werden bei geringen Saatstärken von 400 keimfähigen Körnern m⁻² die höchsten Samenerträge erreicht (DIEPENBROCK & PÖRKSEN 1993). Im Hinblick auf die Nutzung der Fasern ist mit zunehmender Saatstärke bis zu 2000 keimfähigen Körnern m⁻² ein Anstieg des Faserer-

trages zu erzielen (HOFFMANN 1961, ROWLAND 1980, HEMKER 1989, EULENSTEIN 1997, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b), der sowohl über Erhöhung des Strohertrages als auch über eine Zunahme des Faseranteils aufgrund des geringeren Stengeldurchmessers erklärt werden kann. Die Wuchshöhe ist in allen Fällen reduziert. Es wird allerdings auch mit zunehmender Saatstärke das Lagerrisiko erhöht, wodurch es zu Ertragseinbußen kommen kann (Abb. 4).

Zur Erhöhung der Ertragsicherheit empfehlen deshalb SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b) eine Saatstärke von 1600 keimfähigen Körnern m⁻². Im Faserleinanbau ist wegen der Lageranfälligkeit auch die N-Düngung auf niedrigem Niveau zu halten. In Untersuchungen von KÄMMERLING (1990) führten schon N-Gaben über 30 kg ha⁻¹ zu Lager und Ertragsabfall (Abb. 5). Dies galt sowohl bei niedrigem (1987 = 10 kg N ha⁻¹) als auch bei hohem (1986 = 56 kg N ha⁻¹) N_{min}-Gehalt des Bodens, die noch zur Düngung dazugerechnet werden müssen.

Beim Fremdbefruchter Hanf ist die Ertragshöhe in starkem Maß vom Befruchtungssystem der Sorte (monözisch, diözisch) und bei den diözischen Sorten vom Geschlecht (weiblich, männlich) abhängig. Die spätreifen diözischen Sorten erreichen die größten Wuchshöhen und die höchsten Erträge im Vergleich zu den monözischen Sorten (VON BUTTLAR et al. 1997, HÖPPNER & MENGEHARTMANN 1999). Mit der verspäteten Abreife steigt jedoch auch das Ernterisiko, sodass diese Sorten nur für frühe Standorte empfohlen werden (MASTEL et al. 1998). Die Hanfaussaat kann zwischen Ende April und Ende Mai erfolgen; späte Saattermine im Mai hatten nach Untersuchungen von MASTEL et al. (1998) keine Mindererträge. MEIJER et al. (1995) beschrieben bei Hanf das Phänomen des „Self-Thinning“ (= Selbstausdünnung), d. h. unabhängig von der Höhe der Saatstärke und des Feldaufganges reduziert sich die Pflanzenzahl im Entwicklungsverlauf bis zur Ernte auf ca. 100 Pflanzen m⁻². Der Grad der Selbstausdünnung schwankte im Vergleich zweier Standorte

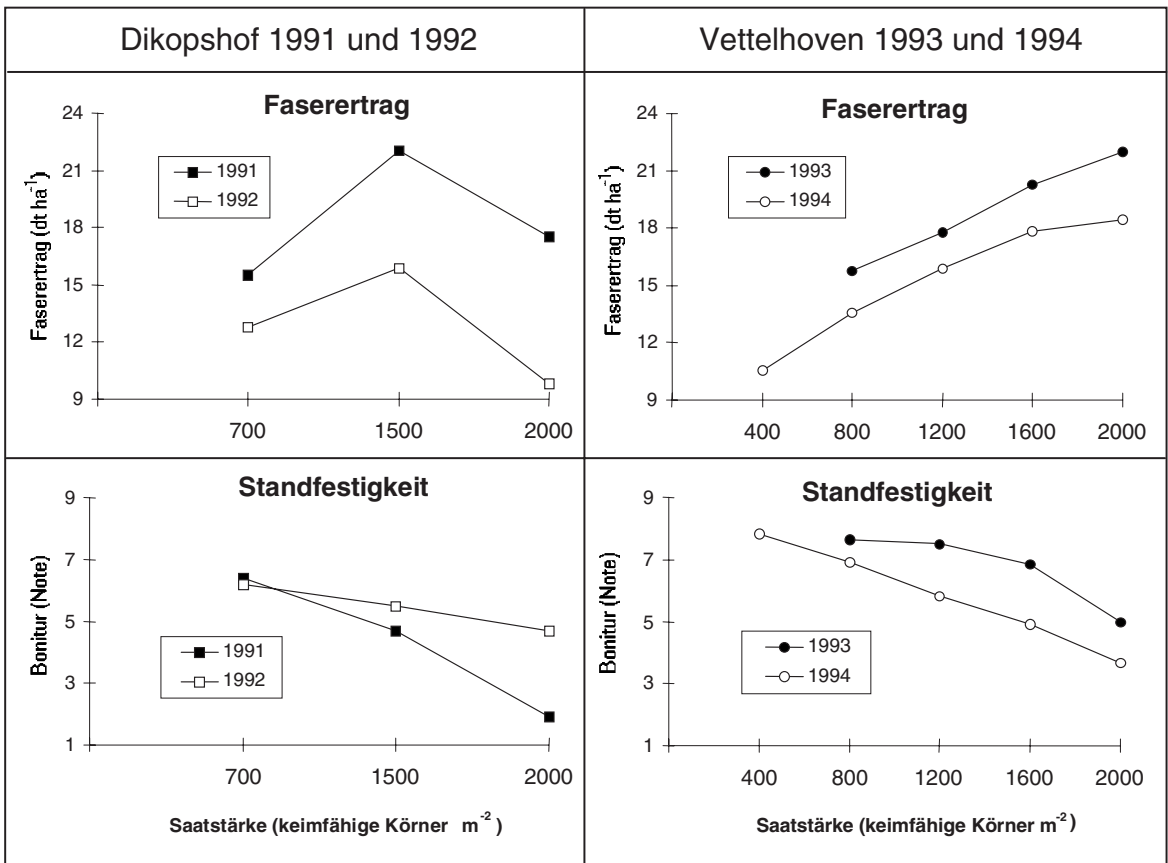


Abb. 4: Einfluss der Saatstärke auf Standfestigkeit und Faserertrag bei Lein (nach SCHEER-TRIEBEL & HEYLAND 1993, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997 b)

Influence of seed density on lodging resistance and fibre yield of flax

zwischen 30 und 46% (VON BUTTLAR et al. 1997) und konnte durch Verminderung der Saatstärke auf 50 keimfähige Körner m⁻² und eine bessere Verteilung der Pflanzen über die Fläche durch geringere Reihenabstände reduziert werden (HÖPPNER 1997). Maximale Erträge wurden jedoch erst bei Saatstärken von 150–250 keimfähigen Körnern m⁻² erzielt (HÖPPNER & MENGE-HARTMANN 1994). Bei weiterer Saatstärkensteigerung konnte kein Ertragsanstieg gemessen werden (MASTEL et al. 1998, MÜNZER 1999). Eine Erhöhung der N-Düngung von 60 auf 120 kg ha⁻¹ war in den Untersuchungen von RÖHRICHT et al. (1997) ertragswirksam; auf Sandstandorten lohnt sogar eine N-Steigerung bis 160 kg ha⁻¹ (MASTEL et al. 1998). Es kann also im Vergleich zum Faserlein deutlich mehr Stickstoff in Ertrag umgesetzt

werden, was auch auf die geringe Lageranfälligkeit des Hanfs zurückgeführt werden kann. Bei einem Vergleich der N-Gaben 80 und 200 kg ha⁻¹ wies die höhere N-Gabe aber auch höhere Variationskoeffizienten im Stengelertrag der Einzelpflanzen auf, d. h. der Bestand wird ungleichmäßiger (VAN DER WERF & VAN DEN BERG 1995).

Für Kenaf werden Saatstärken von 20–80 keimfähigen Körnern m⁻² und N-Mengen von 60–90 kg ha⁻¹ empfohlen (KONERMANN et al. 1997). SCHWEIGER (1996) konnte einen Anstieg des Faseranteils bis zu einer Saatstärke von 120 keimfähigen Körnern m⁻² feststellen. Eine Erhöhung der N-Gabe von 80 auf 150 kg N ha⁻¹ führte in seinen Untersuchungen zu kontinuierlich sinkenden Faseranteilen.

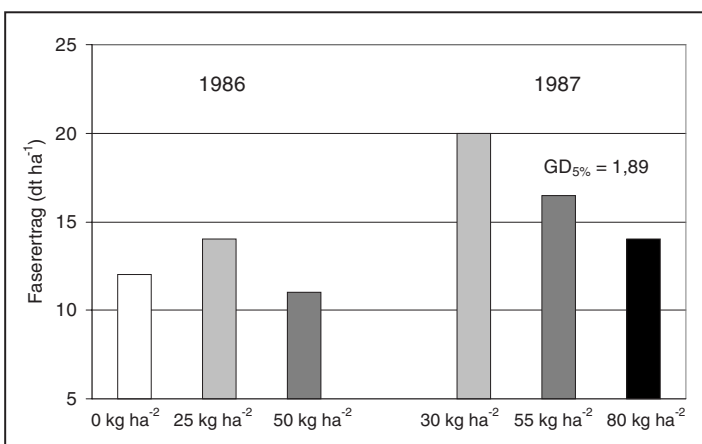


Abb. 5: Einfluss der N-Düngung auf den Faserertrag bei Lein (nach KÄMMERLING 1990)

Influence of N fertilization on fibre yield of flax

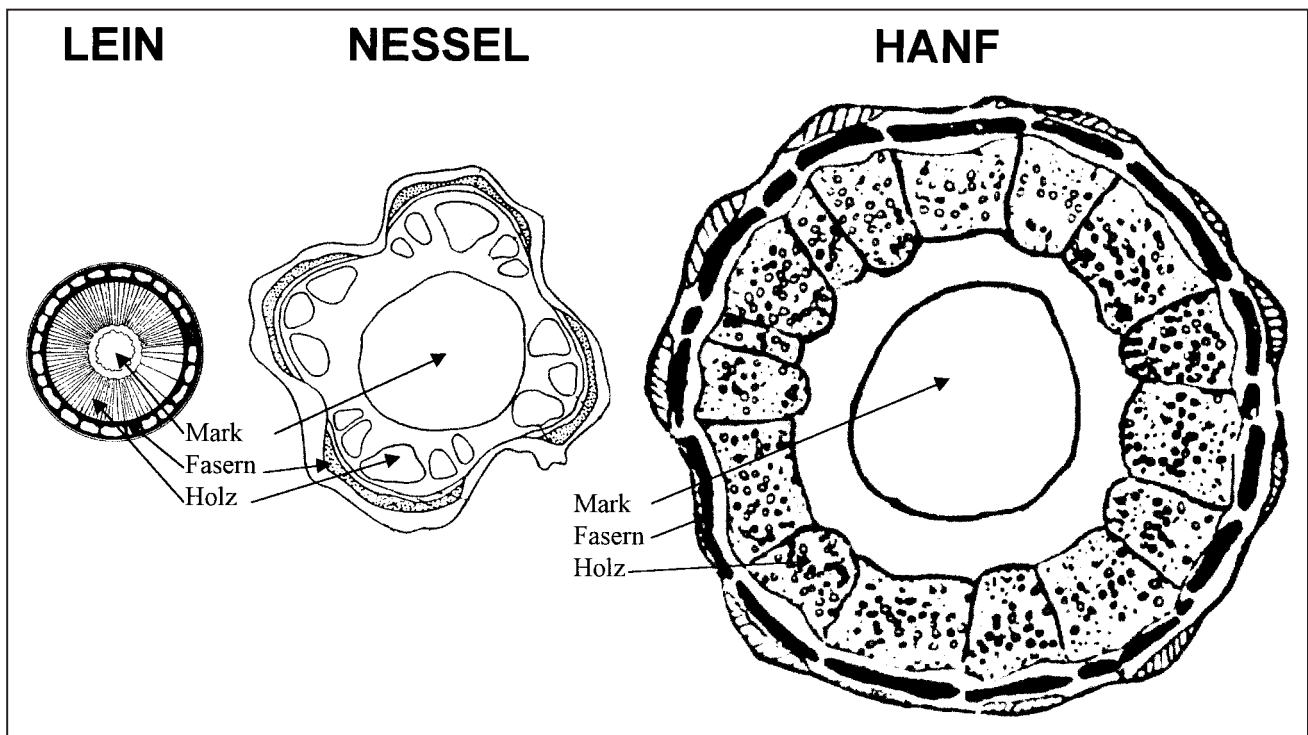


Abb. 6: Vergleich der Stengelquerschnitte von Lein (Ø 2 mm; nach HOFFMANN 1961), Nessel (Ø 4 mm; nach BREDEMANN 1959) und Hanf (Ø 8 mm; nach HOFFMANN 1961); schematisch

Comparison of the cross sections of flax (Ø 2 mm), nettle (Ø 4 mm) and hemp (Ø 8 mm); schematic

Die mehrjährige Fasernessel wird im Gegensatz zu den einjährigen Faserpflanzen aufgrund ihres geringen Tausendkorngewichtes von ca. 0,03 g mittels Stecklingen gepflanzt. Ältere Untersuchungen zur Saat von Nessel mit Sandbeimischung führten zu ungleichmäßigen Beständen (BREDEMANN 1959). Als optimale Saat- bzw. Pflanzstärke werden 6–9 Pflanzen m^{-2} genannt, die je 60–70 Seitentriebe ausbilden. Die Gesamtnutzungsdauer beträgt 4–5 Jahre (BREDEMANN 1959) bei 1–2 Schnitten/Jahr. Ähnliche Anbaubedingungen werden für die tropische Fasernessel Ramie empfohlen (EUSTERSCHULTE & KAHNT 1996).

Der Anbau mit unterschiedlichen Saatstärken führt bei den Faserpflanzenarten zu Differenzen in der Stengeldicke von 1–2 mm bei Lein über 4 mm bei der Nessel und bis zu 6–9 mm bei Hanf (RÖHRICHT et al. 1997, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b, c, 1999). In Abb. 6 sind die in der Literatur veröffentlichten schematischen Stengelquerschnitte der 3 Arten entsprechend ihrer Größe zusammengestellt. Bei allen Arten liegen die Fasern unter der Epidermis im Rindengewebe des Stengels um das Holz- oder Xylemgewebe, das einen größeren Stengelhohlraum (Markhöhle) umschließt. Bei Lein sind die Fasern in Bündeln zusammengefaßt, im vierkantigen Stengel von Nessel finden sich die Fasern jeweils in den Ausbuchtungen, bei Hanf sieht man einen mehr oder weniger zusammenhängenden Faserbündelring. Der Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Faserstrukturen bei den verschiedenen Arten wurde bislang nicht erforscht.

Verwendung von Naturfasern

Die Bewertung der Faserqualität wird stark von der angestrebten Nutzung bestimmt. Es werden in der Literatur eine Vielzahl von möglichen Einsatzbereichen für die

Naturfasern genannt, die für Faserlein bei BECKMANN (1998) zusammengefaßt sind (Tab. 5).

Die traditionelle Nutzung der Fasern erfolgt im textilen Bereich; neue Verwertungsmöglichkeiten erschließen sich im technischen Bereich, z. T. als Ersatz für Glas- oder Asbestfasern.

Ein Grund für die zögerliche Erschließung neuer Absatzmärkte für Naturfasern sind die nicht definierten und nicht bekannten Qualitätskriterien der Naturfasern bei den potentiellen Verwendern. Daraus wiederum resultiert die mangelnde Kenntnis der Anbieter über die Anforderungen an die Fasern im Verarbeitungsprozess (WIEDEMANN & TSCHMARKE 1991). Die industrielle Nutzung von Naturfasern in technischen Anwendungen erfordert also eine exakte Beschreibung und Meßbarkeit der Faserqualität. Aufgrund der bisher sehr eingeschränkten Nutzung der Naturfasern fehlt industrielles und wissenschaftliches Know-how, insbesondere auch im Hinblick auf qualitätsbeschreibende Prüfmethode. Für das Qualitätsmanagement der Naturfasern muss berücksichtigt werden, dass sich bisherige Prüfkriterien, speziell bei Faserlein, an der textilen Verwertung orientieren und daher die vorhandenen Prüfmethode für die Industriefasernutzung nur bedingt geeignet sind und deshalb modifiziert oder neu entwickelt werden müssen.

Qualitätseigenschaften für die textile und technische Nutzung von Naturfasern

Der Begriff der Qualität von Naturfasern kann zum einen im weiteren Sinne als die Gesamtheit der Fasereigenschaften als wertfreies Charakteristikum des jeweiligen Materials, zum anderen im engeren Sinne als die Eignung der jeweiligen Faser für einen bestimmten Zweck definiert werden (KÖHLER 1994). Die in Tab. 6 zusammengestellten Stoffeigenschaften von Naturfasern wurden von BECK-

Tab. 5: Verwendungsmöglichkeiten von Naturfasern am Beispiel von Lein (nach BECKMANN 1998)

Utilisation of natural fibres, demonstrated with flax as an example

Textile Nutzung	
Bekleidung	Oberbekleidung (Hemden, Blusen)
Haushaltstextilien	Geschirr-, Taschen-, Handtücher, Leinendamast, Tisch-, Bettwäsche, Garne, Zwirne, Bindfäden, Schnüre
Heimtextilien	Dekor- und Möbelbezugsstoffe, Teppich, Gewebe für Teppichrücken, Matratzendrell, Tapeten, Malerleinen, Gardinenkordeln
Möbelindustrie	Polstermöbelfüllungen, Möbelbezugsstoffe, Gewebe für Schrankrollen
Technische Nutzung	
technische Textilien	Taue, Seile, Schuh-, Bindgarne, Geld-, Postsäcke, Textilgurte
Geotextilien	Erosionsschuttmatten, Trägermaterial für Rollrasen
Vliese, Vliesstoffe	Vliesstoffe für Verbundwerkstoffe, Geotextilien und Bauindustrie, Mehrwegverpackungen
Verbundwerkstoffe	PKW/LKW: Armaturen, Innenverkleidung, Gehäuse, Dachhimmel, Motorkapselung, Fahrerkabinen, Karosserie; Hohlkörper, Halbzeuge, Bauzubehör, Möbel
Reibbeläge	Reib-, Brems-, Kupplungsbeläge
Bauindustrie	Dämmstoffe, Dachbahnen
Papierindustrie	Karton, Packpapier, Spezialpapiere (Landkarten-, Banknoten-, Zigarettenpapier)

Tab. 6: Wichtige Stoffeigenschaften von Naturfasern (nach REZNICEK 1988, PÜTZ 1993)

Important properties of natural fibres

Gruppe	Stoffeigenschaft
Geometrische Eigenschaften	Länge, Durchmesser, Querschnittsfläche
Gravimetrische Eigenschaften	Feinheit, Dichte, Trockenmasseanteil, Feuchteanteil, Feuchtegrad
Mechanische Eigenschaften	feinheitsbezogene Höchstzugkraft, Zugfestigkeit, Dehnung, E-Modul, Biegefestigkeit
Thermisch Eigenschaften	Hitzebeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Heiz- und Brennwert
Optisch Eigenschaften	Farbe, Glanz
Akustische Eigenschaften	Schallreflexion und -absorption
Aero- und hydrodynamische Eigenschaften	Strömungswiderstand, Schwebeschwindigkeit
Elektromagnetische Eigenschaften	Elektrostatistische Aufladung
Sonstige Eigenschaften	Geruch Entholzungseigenschaften Faser-Matrix Haftung

MANN (1998) anhand einer Umfrage in ihrer Bedeutung für verschiedene Verwendungsmöglichkeiten bewertet. So sind die geometrischen und gravimetrischen Eigenschaften für alle befragten Verwerter wichtig.

Die Faserlänge ist z. B. zum Verspinnen der Fasern von Bedeutung, aber auch für das Verschleißverhalten, die Festigkeit von Vliesen, die Reibbelag-Eigenschaften sowie für die Wärmeleitfähigkeit in Dämmstoffen und die Eigenschaften von Papieren. Die Faserfeinheit beeinflusst Verschleißverhalten, Formbeständigkeit, physiologisches und hygienisches Verhalten und Oberflächenbeschaffenheit von Textilien und technischen Geweben. Die mechanischen Eigenschaften sind in vielen Bereichen schon im Verarbeitungsprozess wichtig. So treten in der textilen Verarbeitung von Fasern leicht Faserbrüche in der Spinnerei und Fadenbrüche beim Weben auf. Auch bei der Verwendung von Textilien ist eine gewisse Mindestfestigkeit für das Verschleißverhalten mitbestimmend. Dagegen ist die Festigkeit für die Funktion eines Dämmstoffs in der Bauindustrie von untergeordneter Bedeutung, weil dieser

kaum mechanischen Belastungen ausgesetzt ist. Die thermischen Eigenschaften Hitzebeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit sind in der Textil-, Verbundwerkstoff- und Bauindustrie bedeutsam, während für die Vliesstoffherstellung besonders die aero- und hydrodynamischen Eigenschaften Strömungswiderstand und Schwebeschwindigkeit wichtig sind. In Verbundwerkstoffen und in Reibbelägen sollten die eingesetzten Fasern eine hohe Faser-Matrix Haftung ermöglichen, da sie maßgeblich die Verstärkungswirkung der Faser-Matrix-Kombination und damit die spätere Bauteilqualität beeinflusst.

Methoden zur Untersuchung der Qualitätseigenschaften von Naturfasern

In den kommerziellen Flachsschwingen werden bis heute häufig noch organoleptische Prüfmethode wie Geruch, Glanz u. a. zur Bewertung der Faserqualität genutzt (ARCHIBALD 1992).

Tab. 7: Untersuchungsmethoden zur objektiven Bestimmung von Qualitätseigenschaften von Naturfasern (nach HEYLAND et al. 1995, BECKMANN 1998)

Analysis methods for the objective determination of quality properties of natural fibres

Stoffeigenschaft	Einheit	Untersuchungsmethode	Beschreibung
Geometrische Eigenschaften			
Faserlänge	mm	Länge messen	Länge Fasern oder Faserbündel
Faserdurchmesser	mm	Lasermikrometer, Mikroskopie + Bildanalyse	Durchmesser Faserbündel, Durchmesser Fasern oder Faserbündel
Faserquerschnittsfläche	mm ⁻²	Mikroskopie + Bildanalyse	Fläche Fasern oder Faserbündel
Gravimetrische Eigenschaften			
Feinheit	tex IFS-Index	Länge messen und Masse wiegen, ÖTI-Flax-Flowmeter, Micronaire	Masse pro Längeneinheit (1g pro 1000 m) oder Luftdurchlässigkeitsprüfung
Dichte	g m ⁻³	Masse wiegen, Volumen über Wasserverdrängung oder Luftentzug messen	Masse pro Volumeneinheit
Wasserdampfaufnahme	%	Masse wiegen vor und nach Wasser- aufnahme im Klimaschrank	Massezunahme gegenüber Trockenmasse
Mechanische Eigenschaften			
feinheitsbezogene Höchstzugkraft	cN tex	Zugversuch	Höchstzugkraft bezogen auf Feinheit
Zugfestigkeit	MPa	Zugversuch	Höchstzugkraft bezogen auf Faserbündeldurchmesser
Dehnung	%	Zugversuch	Längenänderung bezogen auf Ausgangslänge
E-Modul	GPa	Zugversuch	Steigung im Spannungs-Dehnungs Diagramm
Sonstige Eigenschaften			
Entholungsgrad	%	mechanische Teil- und Vollentholzung	Holzverlust nach Teilentholzung bezogen auf gesamten Holzverlust
Restholzanteil	%	mechanische Teil- und Vollentholzung	Holzverlust zwischen Teil- und Vollenthol- zung bezogen auf Ausgangsbasis Teil- entholzung

Bei BECKMANN (1998) sind die objektiven Messmethoden zur Bestimmung der Faserqualitätseigenschaften sowohl für die textile als auch die technische Fasernutzung ausführlich beschrieben. In Tab. 7 sind die Qualitätseigenschaften zusammengefaßt, mit denen bereits Untersuchungen an Naturfasern durchgeführt wurden.

Die gewonnenen Meßergebnisse sind zum einen davon abhängig, wie die Fasern oder Faserbündel freigelegt wurden, zum anderen von den Prüfbedingungen.

Im Zugversuch z. B. werden die Fasern zwischen zwei Klemmbacken eines Prüfgerätes eingespannt und bis zum Zerreißen der Faserprobe auseinandergezogen. Dabei spielt die Einspannlänge zwischen den Klemmbacken für die erreichbare Höhe der Zugfestigkeit eine wichtige Rolle. Je geringer die Einspannlänge, desto eher wird die Substanzfestigkeit, also die Festigkeit der Einzelfaser selbst untersucht. Bei größerer Einspannlänge wird eher die Verbundfestigkeit der Einzelfasern, die deutlich geringer als die Festigkeit der Elementarfaser ist, geprüft (KESSLER & KOHLER 1996, KNOTHE 1997, Abb. 7).

Eine höhere Zugfestigkeit von Einzelfasern (1097 MPa) im Vergleich zu Faserbündeln (740 MPa) wurde auch von ALBRECHT et al. (1997) nachgewiesen. Vereinfacht werden kann die Methode durch Prüfung von Faserkollektiven

statt Faserbündeln; die Ergebnisse sind jedoch nicht direkt übertragbar (MARTENS & MÜSSIG 1999).

Bei der Prüfung der Wasserdampfaufnahme von Faserbündeln im Klimaschrank wurde bei Lein eine Abhängigkeit der Höhe der Wasserdampfaufnahme von der Fasermenge, der Temperatur und Luftfeuchte im Klimaschrank und der Dauer des Verbleibs im Klimaschrank nachgewiesen (SCHEER-TRIEBEL & HEYLAND 1994).

Es wird deutlich, dass bei der Veröffentlichung von Analysenergebnissen sowohl die Faserherkunft und Fasergewinnung, als auch die Untersuchungsmethode genau zu beschreiben sind. Dies ist in der Literatur häufig nicht der Fall, so dass die im folgenden zusammengestellten Versuchsergebnisse nur begrenzte Aussagefähigkeit besitzen.

Bewertung von Faserqualitätseigenschaften

Zum Vergleich der Faserpflanzen untereinander und zur Glasfaser sind einige der bislang untersuchten Qualitätseigenschaften in Tab. 8 zusammengefaßt.

Die Ergebnisse verschiedener Literaturquellen zeigen die Variabilitäten und damit die Potentiale der einzelnen Arten auf. Die gefundenen Variabilitäten innerhalb einer

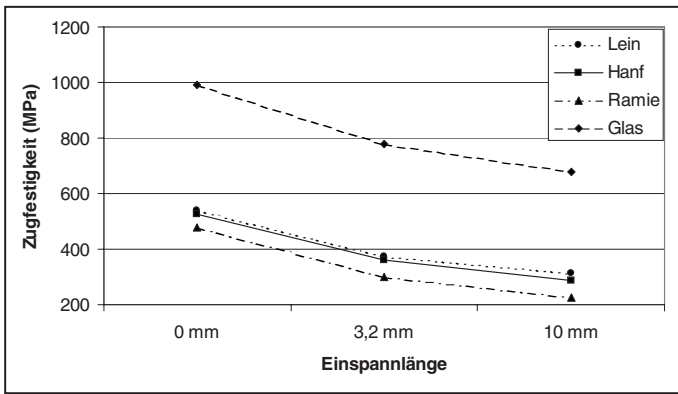


Abb. 7: Zugfestigkeit (MPa) von Faserbündeln in Abhängigkeit von der Einspannlänge im Zugprüfgerät (nach KNOTHE 1997)
Tensile strength of fibre bundles depending on the length of the tested fibres in the tensile test machine

Art sind neben Faserherkunft, Fasergewinnung und Differenzen in der Untersuchungsmethode auch auf unterschiedliche Position der Fasern im Stengel zurückzuführen. So fand TAMMES (1907) bei Lein Faserlängen von 2,5 mm im unteren bis 120 mm im oberen Stengelbereich. Die Einzelfaserdicke nimmt vom unteren bis zum oberen Stengelabschnitt von 30 µm auf 19 µm ab (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997 c).

Im direkten Vergleich der Faserqualität zwischen den Arten finden sich in der Literatur widersprüchliche Ergebnisse. Während SATLOW et al. (1994) und KOHLER et al. (1997) über höhere Zugfestigkeiten der Hanffaser gegenüber der Leinfaser berichten, fanden andere Autoren gleiche (FÖLSTER 1995) oder niedrigere Werte (ROBSON 1994). Kenaf erreicht ähnliche Werte wie Faserlein, bei Ramie und Nessel wurden die geringsten Zugfestigkeiten gemessen (KOHLER et al. 1997). LÜTZKENDORF et al. (1999) dagegen fanden bei Nessel höhere Zugfestigkeit und E-Modul als bei Lein. In keiner der vorgestellten Untersuchungen werden Aussagen über die statistische Absicherung der Ergebnisse getroffen. In Untersuchungen von SCHEER-TRIEBEL et al. (1997 a) waren ca. 15–20% an Differenz in der Zugfestigkeit erforderlich, um Unterschiede zwischen Varianten statistisch abzusichern. Die Ursachen für diese hohen Grenzdifferenzen liegen in der großen Variabilität der Fasereigenschaften innerhalb einer Untersuchungsprobe.

Vergleicht man die Faserqualität der Naturfasern zur Glasfaser, so erreicht die Naturfaser bei der dichtebezoge-

nen Zugfestigkeit vergleichbare Werte wie die Glasfaser (ROBSON 1994, KNOTHE 1997, KOHLER et al. 1997). Bei faserleinverstärkten Bauteilen wurde die gleiche Festigkeit wie bei glasfaserverstärkten Teilen bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung um 30% gemessen (HAEPP 1996).

Pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten von Faserqualitätseigenschaften

Nicht beeinflussbare Umweltfaktoren wie Jahr und Ort haben großen Einfluss auf die Qualitätseigenschaften Entholungsgrad, Restholzanteil, Wasserdampfaufnahme und mechanische Eigenschaften von Leinfasern (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997 a, Abb. 8).

Es lassen sich jedoch auch Sortendifferenzen nachweisen. Ein Vergleich verschiedener Qualitätseigenschaften von Zuchtmaterial bei Lein zeigt die züchterischen Möglichkeiten auf, durch gezielte Selektion Sorten mit verbesserten Faserqualitäten zu produzieren (Tab. 9). Zwei der geprüften Zuchtstämme sind inzwischen als Industriefaserleinsorten zugelassen (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999).

RÖHRICHT et al. (1997) fanden Sortendifferenzen in der Höchstzugkraft zwischen 15 cN tex bei der Ölleinsorte Mc Gregor und 56 cN tex bei der Faserleinsorte Elise; die Feinheit schwankte zwischen 94 IFS-Index bei der Ölleinsorte Mc Gregor und 171 IFS-Index beim Industriefaserleinstamm DSV2/V6 (RÖHRICHT et al. 1997).

Tab. 8: Qualitätseigenschaften von Naturfasern im Vergleich zu Glasfaser (nach BREDEMANN 1959, NAUPERT et al. 1963, FRANKE 1981, SATLOW et al. 1994, ROBSON 1994, ALBRECHT et al. 1997, KNOTHE 1997, KOHLER et al. 1997, PURZ et al. 1998)

Quality properties of natural fibres compared to glass fibre

Stoffeigenschaft	Einheit	Lein	Hanf	Nessel	Kenaf	Ramie	Glas
Geometrische Eigenschaften							
Faserlänge	mm	20–100	15–30	2–215	1,5–4,0	60–260	beliebig
Faserdurchmesser	µm	11–33	15–50	15–25	10–30	40–80	–
Gravimetrische Eigenschaften							
Feinheit	tex	10–70	20–60	–	50	50–130	–
Dichte	g m ⁻³	1,4–1,5	1,5	1,5	–	1,5	2,6
Wasserdampfaufnahme	%	8–10	8,5–10	7,2	–	12–17	–
Mechanische Eigenschaften							
feinheitsbezogene Höchstzugkraft	cN tex	30–62	35–74	41	62	40–70	65–71
Zugfestigkeit	MPa	195–800	173–1000	740	150–180	393–1050	680–1748
Dehnung	%	1,5–4,0	1,0–6,0	1,2	1,7–2,1	2,0–3,0	2,1
Elastizitäts-Modul	GPa	8–10	–	7	–	5–7	–

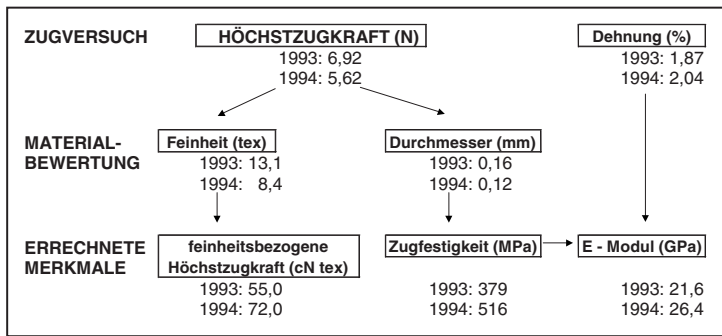


Abb. 8: Einfluss des Versuchsjahres auf die mechanischen Eigenschaften von Leinfasern (Mittel = 10 Genotypen × 2 Feldwiederholungen × 24 Faserbündel, Vettelhoven; nach SCHEER-TRIEBEL 1997a)

Influence of the year on the mechanical properties of flax fibres (Mean = 10 genotypes × 2 field replications × 24 fibre bundles, Vettelhoven)

Tab. 9: Genotypische Variabilität von Faserqualitätseigenschaften bei Zuchtstämmen von Industriefaserlein (Vettelhoven 1994, n = 57 Zuchtstämme, je 24 Faserbündel; nach SCHEER-TRIEBEL & HEYLAND, unveröffentlicht)

Genotypic variability of fibre quality properties among breeding lines of industrial fibre flax (Vettelhoven 1994; n = 57 breeding lines, 24 fibre bundles)

Eigenschaft	Mittel	Min	Max	CV*
Faserdurchmesser (µm)	14	10	18	7,69
Dehnung (%)	2,11	1,59	3,20	9,17
Zugfestigkeit (MPa)	450	288	642	3,05
E-Modul (GPa)	23,0	14,3	29,7	8,44

* CV = Variationskoeffizient

Durch eine Erhöhung der Saatstärke wird der Stengel- und Bündeldurchmesser geringer, die Fasern werden feiner. Das kann zu einer Verminderung der mechanischen Eigenschaften führen (RÖHRICHT et al. 1997, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b). Die Wasserdampfaufnahme der Faserbündel steigt bis zu einem Saatstärkeoptimum (1200–1600 keimfähige Körner m⁻²), um dann wieder abzufallen (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997c). Die N-Düngung wirkt sich bei Faserlein ungünstig auf die Faserqualität aus. Eine Steigerung von 0, 40, 80 kg N ha⁻¹ senkte die feinheitsbezogene Höchstzugkraft und die Dehnung. Die Feinheit ist in der mittleren Variante am geringsten (RÖHRICHT et al. 1997).

Ein intensiver Herbizideinsatz vermindert die Höchstzugkraft (RÖHRICHT et al. 1997).

Die Wahl des Erntetermins ist im Hinblick auf die Faserqualität differenziert zu betrachten. So ist die für die Langfaserqualität wichtige Feinheit bei einer Ernte zur Strohreife am besten, die Zugfestigkeit als wichtiges Qualitätskriterium der Industriefaser steigt bis zur Kapselreife an. Damit wird eine gleichzeitige Samennutzung möglich (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997c). Im Vergleich der Entholungsverfahren liefert die Variante ohne Röste die größten Fasern, die Feinheit nimmt mit zunehmender Röstdauer von 4 bis 8 Wochen zu (HEINEMANN 1997). Die feinheitsbezogene Höchstzugkraft nimmt jedoch ab, so dass die Entholungstechnik mit Röste für die mechanischen Eigenschaften und damit die technische Nutzung von Lein ungünstig zu beurteilen ist. Auch PALLESEN (1996) wies mit zunehmender Röstdauer abnehmende Faserfestigkeit bei Lein nach.

Da der Anbau von Hanf erst seit 1996 in Deutschland wieder erlaubt ist, liegen erst wenige Untersuchungen zum pflanzenbaulichen Einfluss auf die Faserqualität vor. Es wurden Sortendifferenzen in der Höchstzugkraft von 31 bis 37 cN tex nachgewiesen (RÖHRICHT et al. 1997). Nach MÜNZER (1996) sind die Sortendifferenzen jedoch gerin-

ger als die Unterschiede zwischen den Orten. Zunehmende Saatstärke führt zu abnehmenden Stengelgewichten, wodurch die Feinheit erhöht werden könnte (MASTEL et al. 1998). Allerdings steigt mit der Bestandesdichte der Anteil an nutzlosem Unterhanf und die Festigkeit der Fasern sinkt (MÜNZER 1996, 1999). Die Ergebnisse zum Einfluss der N-Düngung auf die Faserqualität bei Hanf sind widersprüchlich. MENGE-HARTMANN & HÖPPNER (1995) fanden hohe Höchstzugkraft bei der ungedüngten Variante mit 75,8 cN tex. Bei einer N-Düngung von 120 kg ha⁻¹ sank die Höchstzugkraft auf 63,7 cN tex ab. Dagegen führte in Untersuchungen von RÖHRICHT et al. (1997) die Erhöhung der N-Gabe auf 60 kg ha⁻¹ zu einer Zunahme der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft. Bei weiterer Erhöhung sank sie wieder ab. Auch die Fasern sind in der mittleren N-Stufe am größten und die Dehnung am höchsten. Im Vergleich zu Lein sind die Hanffasern gröber, dehnen sich stärker und die Höchstzugkraft ist etwas besser. Die vergleichenden Ergebnisse sind jedoch nur als erste Anhaltspunkte anzusehen, da die Versuche mit Lein und Hanf aus verschiedenen Jahren stammen und keine statistische Prüfung der Differenzen vorliegt.

Im Gegensatz zu Lein ist bei Hanf keine Abhängigkeit zwischen zunehmender Röstdauer und abnehmender feinheitsbezogener Höchstzugkraft festgestellt worden (MARTENS & MÜSSIG 1997). Starke mechanische Beanspruchung bei der Ernte vermindert die Faserlänge von > 50 mm auf 20–50 mm; entsprechend sinkt die feinheitsbezogene Höchstzugkraft. KOHLER et al (1997) bewerten eine Röste sowohl bei Hanf als auch bei Lein positiv im Hinblick auf die Faserqualität und die Qualität daraus erzeugter Pressplatten und erklären die besseren Werte durch eine höhere Faser-Matrix-Haftung der feinen Fasern, die durch einen zusätzlichen Dampfdruckaufschluss der Fasern noch weiter verbessert werden kann.

Über den pflanzenbaulichen Einfluss auf Qualitätseigenschaften bei Nessel, Kenaf und Ramie finden sich in der Literatur keine Hinweise.

Die Kenntnis der Ursachen für Faserqualitätsdifferenzen ist Voraussetzung sowohl für die Qualitätsselektion als auch für die Optimierung des Anbaus zur Produktion qualitativ hochwertiger Naturfasern. Ursachen für Differenzen in der Faserqualität sind in der Morphologie der Faserzellen bzw. der Faserverbände zu suchen. Die einzige Methode, die eine Bewertung der Fasern in Größe, Form und Verteilung ohne jede äußere Beeinflussung (wie z. B. Faseraufschluss) ermöglicht, ist die Mikroskopie von Stengelquerschnitten und deren bildanalytische Auswertung (VAN LANGENHOVE & BRUGGEMANN 1992, FRANKEN 1999). SCHEER-TRIEBEL et al. (1997c) konnten bei Lein die prinzipiellen Veränderungen der morphologischen Merkmale im unteren, mittleren und oberen Teil des unverzweigten Stengels aufzeigen. Die Anzahl der Faserbündel und Faserzellen ist in der Stengelmittle am höch-

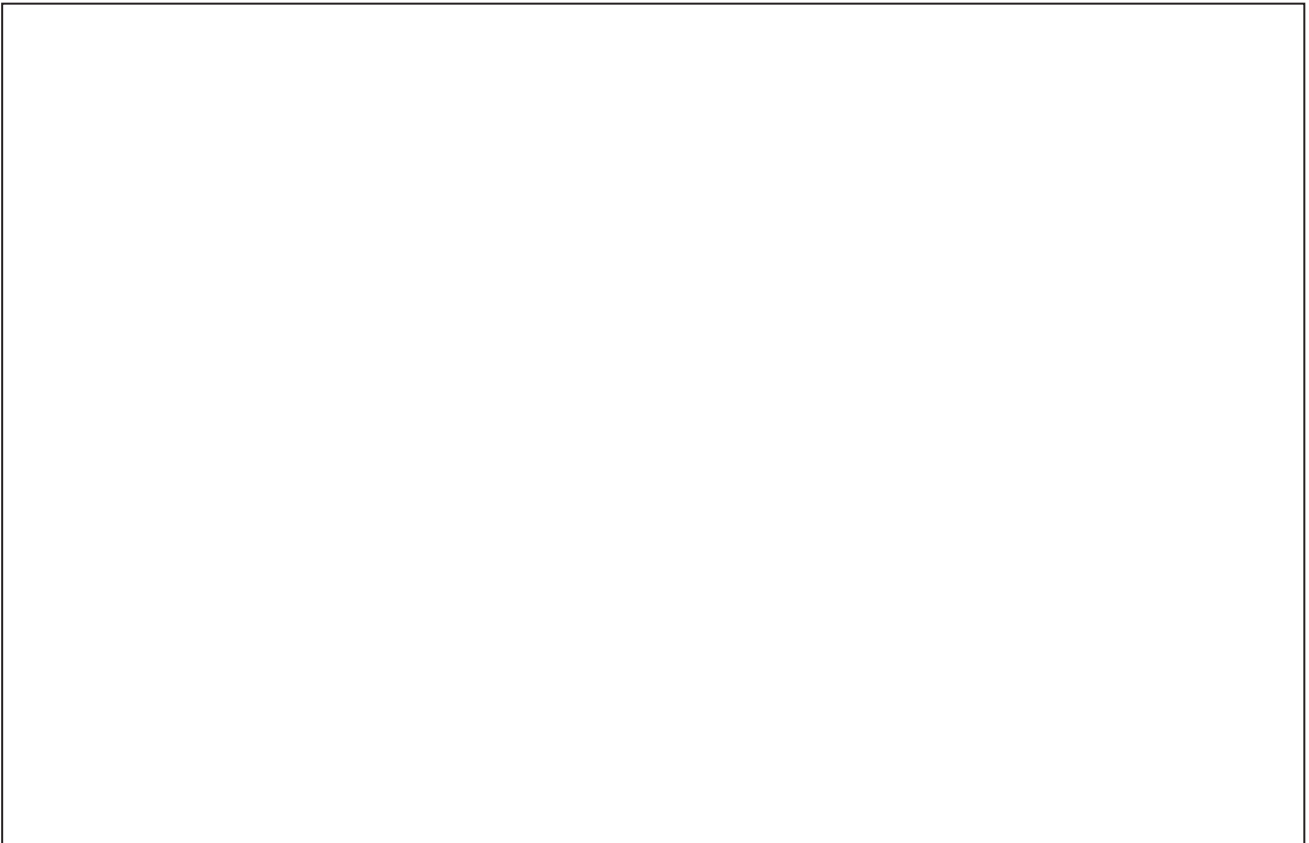


Abb. 9: Fasern von Faserlein, Öllein, Hanf und Nessel im mikroskopischen Bild (Vergrößerung: 100×; VON FRANCKEN-WELZ 1999, unveröffentlicht)

Fibres of flax, linseed, hemp and nettle under microscope (enlargement: 100×)

sten. Während die Durchmesser der Stengel, Faserbündel und -zellen von unten nach oben kontinuierlich abnehmen, steigt der Faseranteil von unten nach oben an. FRANKEN (1999) fand genotypische Differenzen in der Anzahl Faserbündel, Faserzellen, lignifizierter Zellen und der Zellform. Im Abreifeverlauf vermindert sich der Lumenanteil, die Lignifizierung der Zellen nimmt zu. Dies hat jedoch entgegen den Ergebnissen älterer Untersuchungen (HOFFMANN 1961), bei denen frühe Ernte zur Strohreife feine Fasern mit guter Eignung für die textile Nutzung lieferte, eher fördernde Wirkung auf die Zugfestigkeit als eines der wichtigen Qualitätskriterien für die Industriefasernutzung (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997c). Somit ist für diese Verwertungsrichtung eine spätere Ernte möglich und damit wird auch eine gleichzeitige Samennutzung möglich. Bei Hanf zeigen sich im mikroskopischen Bild aus unterem, mittlerem und oberem Stengelabschnitt große Variabilitäten in der Abreife der Zellen, wodurch Inhomogenitäten in den Qualitätseigenschaften erzeugt werden, die für die Weiterverarbeitung problematisch sind (KESSLER et al. 1997).

Im Vergleich der Arten wird im mikroskopischen Bild die unterschiedliche Ausprägung der Einzelfasern deutlich (Abb. 9). Die Faserleinbündel sind kompakt, die einzelne Bastfaser ist rundlich und hat einen geringen Lumenanteil. Die Faserbündel beim Öllein sind kleiner als bei Faserlein, die Faserzellen sind länglich mit höherem Lumenanteil als die Faserleinzellen. Die Fasern von Hanf liegen in einer Primär- und Sekundärfaserschicht vor. Die Bündel sind nicht so klar voneinander abgegrenzt wie bei Lein. Die Faserzellen sind größer, haben höheren Lumenanteil und sind in Größe, Form und Verteilung im Vergleich zum Lein ungleichmäßiger. Die Nesselzellen liegen einzeln

vor, sind größer als die Hanfzellen mit noch höherem Lumenanteil, aber ähnlich inhomogen in der Ausprägung der Einzelzelle.

Die Aufklärung der Beziehungen zwischen morphologischen Merkmalen und Qualitätseigenschaften ist für die Interpretation gefundener Qualitätsdifferenzen eine wichtige Voraussetzung. Erst durch die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Morphologie und Faserqualität wird eine gezielte Optimierung durch anbautechnische Maßnahmen möglich.

Schlussfolgerung

Das Leistungs- und Qualitätspotential der einheimischen Faserpflanzen Lein, Hanf und Nessel ist vorhanden, um einen wirtschaftlichen Anbau durchführen zu können. Bei den tropischen Faserpflanzen Kenaf und Ramie ist erst durch züchterische Anpassung der Genotypen eine Anbaueignung für Mitteleuropa zu erreichen. Es bestehen auch bei Lein, Hanf und Nessel Optimierungsmöglichkeiten durch züchterische Arbeit und Spezifizierung des Anbaus im Hinblick auf Ertragssicherheit, Ertragshöhe und Qualitätsverbesserung. Vor allem bei der Nessel ist eine züchterische Erhöhung des Faseranteils wichtige Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Anbau. Um die Vorzüge der einzelnen Arten für bestimmte Verwertungen beurteilen zu können, sind neben der Konkretisierung der industriellen Anforderungen an die Faserqualität, die Standardisierung der Meßverfahren und Anbauversuche unter vergleichbaren Standortbedingungen und Ernte- und Fasergewinnungsverfahren unbedingt erforderlich. Erst dann kann im Vergleich der Faserpflanzenarten die Einzelfasernent-

wicklung, Abreife, Faserleistung und -qualität und die Homogenität in diesen Eigenschaften beurteilt werden. Es müssen verlässliche Kenndaten für die Faserbeurteilung und die genotypischen und umweltbedingten Einflüsse ermittelt werden. Zur Bewertung von Qualitätsdifferenzen ist die bildanalytische Auswertung mikroskopischer Stengelquerschnitte notwendig. Daraus können für die Züchtung Selektionskriterien abgeleitet werden. Für den Anbau sind Untersuchungen erforderlich, die den Zusammenhang zwischen der Faserqualität im Ausgangsmaterial und dem späteren Endprodukt aufzeigen.

Literatur

- AKIN, D. E., W. H. MORRISON III, G. R. GAMBLE, L. L. RIGSBY, G. HENDRIKSON & K.-E. L. ERIKSON, 1997a: Effect of Retting Enzymes on The Structure and Composition of Flax Cell Walls: Textile Res. J. **67** (4), 279–287.
- AKIN, D. E., L. L. RIGSBY, N. PATEL & K.-E. L. ERIKSON, 1997b: Influence of Chelating Agents and Mechanical Pretreatment on Enzymatic Retting of Flax: Textile Res. J. **67** (11), 829–836.
- AKIN, D. E. & L. L. RIGSBY, 1999: Quality Properties of Flax Fibers Retted with Enzymes. Textile Res. J. **69** (10), 747–753.
- ALBRECHT, B., G. WURL, A. BIERTÜMPEL & A. VETTER, 1997: Untersuchung zum feldmäßigen Anbau der großen Brennessel zur Fasergewinnung. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 147–152.
- ANGELINI, L. G., G. LEVITA, A. LAZZARI, C. BOZZI & D. FONTANELLI, 1999: Physical and mechanical properties of ramie (*Boehmeria nivea gaud.*) and spanish broom (*Spartum junceum* L.) fibres for fibre-reinforced composite materials. Delegate manual: Sixth Symposium on Renewable Resources for the Chemical Industry, 23.–25. 3. 1999. 119.
- ANONYM, 1991: Die Chemiefaser-Industrie in der Bundesrepublik Deutschland 1990. Broschüre der Industrievereinigung Chemiefaser e.V., Frankfurt.
- ANONYM, 1994: Künstliche Mineralfasern. Presse Informationen 27/94 Umweltbundesamt, Berlin.
- ARCHIBALD, L. B., 1992: Quality in Flax Fibre: In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE (eds.): The Biology and Processing of Flax, M. Publications, Belfast. 297–309.
- BECKMANN, A., 1998: Methoden zur Messung physikalischer Eigenschaften von Industriefaser-Lein (Flachs) und damit verstärkten Kunststoffen. Diss. Aachen.
- BREDEMANN, G., 1922: Die Bestimmung des Fasergehaltes in Bastpflanzen bei züchterischen Untersuchungen. Faserforschung **2**, 239–258.
- BREDEMANN, G., 1959: Die große Brennessel. Akademie-Verlag, Berlin.
- CANBERRY, P. S. & R. C. MUCHOW, 1992: A simulation model of kenaf for assisting fibre industry planning in Northern Australia. III. Modell description and validation. Aust. J. Agric. Res. **43**, 1527–1545.
- DAMBROTH, M. & R. SEEHUBER, 1988: Flachs – Züchtung, Anbau und Verarbeitung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DEMPSEY, J. M., 1975: Fibre crops. The University Presses of Florida, Gainesville.
- DIEPENBROCK, W. & N. PÖRKSEN, 1993: Effect of stand establishment and nitrogen fertilization on yield and yield physiology of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Industrial Crops and Products **1**, 165–173.
- DIN 60000, 1969: Textilien; Grundbegriffe. Berlin, Köln: Beuth-Verlag GmbH.
- DIN 600001, Teil 3, 1988: Textile Faserstoffe; Chemiefasern. Berlin, Köln: Beuth-Verlag GmbH.
- DIN 600001, Teil 1, 1990: Textile Faserstoffe; Naturfasern. Berlin, Köln: Beuth-Verlag GmbH.
- DREYER, J., 1999: Die Fasernessel als nachwachsender Rohstoff: Leistungsprüfung von Fasernesseln (*Urtica dioica* L., Große Brennessel) unter besonderer Berücksichtigung der phänotypischen Differenzierung anbauwürdiger Klone. Diss. Hamburg, Verlag Dr. Kovac, Schriftenreihe Naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse **62**, ISSN 1435-6511.
- DREYER, J., G. DREYLING & F. FELDMANN, 1996: Wiederinkulturturnahme der Fasernessel (*Urtica dioica* L.) als nachwachsender Rohstoff zur Faser- und Zellstoffproduktion: Qualitative und quantitative Differenzierung von ehemals genutzten Klone. Angew. Bot. **70**, 28–39.
- EHLERT, D., C. IDLER & I. ACKERMANN, 1997: Hanfernte 96 in Brandenburg. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 80–92.
- EULENSTEIN, S., 1997: Untersuchungen zur Bedeutung der Nutzung als Industriefaser für die Züchtung, Qualitätsbeurteilung und Produktionstechnik des Lein (*Linum usitatissimum* L.). Diss. Bonn.
- EUSTERSCHULTE, B. & G. KAHNT, 1996: Ertragsleistung und Anbauprobleme von Ramie (*Boehmeria nivea* L.). Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften **9**, 249–250.
- FÖLSTER, TH., 1995: Nachwachsende Rohstoffe in technischen Anwendungen am Beispiel Fasern/Vliese. Textilveredelung **30**, Nr. 12.
- FRANKE, W., 1981: Nutzpflanzenkunde. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- FRANKEN, S., 1999: Möglichkeiten der Bildanalytik zur Beschreibung genotypischer Differenzen in der Morphologie von Leinstengeln und -fasern und Nutzung dieser Methode für die Selektion eines zur Industriefasernutzung geeigneten Leins (*Linum usitatissimum* L.). Diss. Bonn.
- FRIED, H., 1939: Neue Beobachtungen über Röstverlauf und Röstunterschiede am Flachsstengel. Faserforschung **12**, 197–223.
- HAEPPEL, H. J., 1996: Künftige Bedeutung von Naturfasern im Entwicklungskonzept der Daimler-Benz AG. Forum – Pflanzenfasern – ein moderner nachwachsender Industrierohstoff. 13. 2. 1996. Stuttgart. 1–6.
- HEINEMANN, O., 1997: Standröste von Flachs – Innovation in der Flachserntetechnik. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 101–107.
- HEMKER, R., 1989: Über die Eignung vegetativer und generativer Merkmale als Selektionskriterien für das Zuchtziel einer gleichzeitigen Nutzung von Öl und Fasern bei Lein. Diss. Bonn.
- HERER, J., 1994: Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf. Zweitausendeins Verlag, Frankfurt. 25–28.
- HEYLAND, K.-U., K.-H. KROMER, A. BECKMANN, H. GOTTSCHALK & M. SCHEER-TRIEBEL, 1995: Methodenbuch Industriefaser Lein. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. **18**.
- HÖPPNER, F., 1997: Einfluß von Saattiefe und Reihenweite auf die Korn- und Ölertragsleistung von Faserhanf (*Cannabis sativa* L.). Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt. 220–224.
- HÖPPNER, F. & U. MENGE-HARTMANN, 1994: Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf. Landbauforschung Völkenrode **44**, 314–324.
- HÖPPNER, F. & U. MENGE-HARTMANN, 1999: Einfluß der Bestandesführung auf Erträge und Qualität von Hanf. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn **28**, 6–12.
- HOFFMANN, W., 1961: Lein, *Linum usitatissimum* L. In: TH. ROEMER & W. RUDOLF (ed.): Handbuch der Pflanzenzüchtung. 2. Aufl., Bd. V, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- JOSEPH, M. L., 1981: Textile Science. New York.
- KÄMMERLING, B., 1990: Die Bedeutung von Anbau- und Ernteverfahren sowie der Sorte für die Nutzung eines zur Kurzfasergewinnung geeigneten Leins. Diss. Bonn.
- KEIJZER, P. & P. METZ, 1992: Breeding of flax for fibre production in Western Europe. In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE (ed.): The Biology and Processing of Flax. M. Publications, Belfast, 33–66.
- KESSLER, R. W. & R. KOHLER, 1996: New strategies for exploiting flax and hemp. Chemtech. Dezember 1996, 34–42.
- KESSLER, R. W., K. NEBEL, B. QUINT & H. WERNER, 1997: Fibre Disign and Smart Processing by Integrated Quality Control. Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt. 330–343.

- KESSLER, R. W., U. BECKER, R. KOHLER & B. GOTH, 1998: Steam explosion of flax – a superior technique for upgrading fibre value. *Biomass and Bioenergy* **14** (3), 237–249.
- KNOTHE, J., 1997: Herstellung und Eignung von naturfaserverstärkten Kunststoffbauteilen für die Automobilindustrie. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 136–144.
- KOCH, K., A. BECKMANN & K.-H. KROMER, 1995: Untersuchungen zur Entwicklung einer Methode für die Bestimmung des Faseranteils und der Entholzbarkeit von Leinstroh. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn **17**.
- KOHLER, R., 1994: Wege zu hochwertigen Flachsfasern für technische Anwendungen. Tagungsband 5. Reutlinger Flachssymposium Quo vadis Flachs?
- KOHLER, R., M. WEDLER & P. BARTHOLD, 1997: Technische Anwendungen von Hanffasern – Voraussetzungen und Ziele. Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt. 348–358.
- KONERMANN, M., R. VETTER & V. MEDIAVILLA, 1997: Prüfung des Anbaus von Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Baden-Württemberg und der Schweiz. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 14–18.
- LÜTZKENDORF, R., K. P. MIECK & T. REUBMANN, 1999: Nesselfaserverbundwerkstoffe für Fahrzeuginnenteile – Was können sie? Tagungsband 2. Int. Symposium: Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Erfurt.
- MARTENS, R. & J. MÜSSIG, 1997: Qualität von Hanffasern auf der Basis unterschiedlicher Beerntungs- und Bergetechniken. Tagungsdokumentation NRW-Hanftag der LWK Westfalen-Lippe, 28. 8. 97, 21–33.
- MARTENS, R. & J. MÜSSIG, 1999: Untersuchungen der Qualitäten von Naturfasern, Hanf. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn **28**, 56–65.
- MASTEL, K., K. STOLZENBERG & B. SEITH, 1998: Informationen für die Pflanzenproduktion: Untersuchungen zu pflanzenbaulichen, erntetechnischen und ökonomischen Fragen des Anbaus von Faser- und Körnerhanf. LAP Forchheim, Heft 7.
- MC MILLIN, J. D., M. R. WAGNER, C. H. WEBBER, S. S. MANN, J. D. NICHOLS & L. JECH, 1998: Potential for kenaf cultivation in south central Arizona. *Industrial Crops and Products* **9**, 73–77.
- MEIJER, W. J. M., H. M. G. VAN DER WERF, E. W. J. M. MATHIJSSEN & P. W. M. VAN DEN BRINK, 1995: Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Eur. J. Agron.* **4** (1), 109–117.
- MENGE-HARTMANN, U. & F. HÖPPNER, 1995: Einfluß variierter Anbaubedingungen auf die Faserausbildung zweier Faserhanfsorten. *Landbauforschung Völkenrode* **45** (4), 168–176.
- MUCHOW, R. C., 1980: Effect of plant population and season on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) grown under irrigation in tropical australia. *Field Crop Research* **3**, 27–32.
- MÜNZER, W., 1996: Versuchsergebnisse aus Bayern. Hanf: Ertrag, Faserqualität, Inhaltsstoffe von Öl und Presskuchen. Bayr. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.
- MÜNZER, W., 1999: Zusammenfassende Ergebnisse aus Forschungsvorhaben mit ausgewählten Rohstoffpflanzen. 7. Symposium: Im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft. CARMEN e.V., 6/1999, 95–113.
- NAUPERT et al. (Autorenkollektiv), 1963: *Textile Faserstoffe*, VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- PACE, S., I. PISCIONERI, I. SETTANI & M. DI VITO, 1996: Breeding activities on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in South Italy. 3. European Symposium on Industrial Crops and Products, Reims, 22.–24. 4. 1996.
- PALLESEN, B. E., 1996: The quality of combine-harvested fibre flax for industrial purposes depends on the degree of retting. *Industrial Crops and Products* **5**, 65–78.
- PÜTZ, P., 1993: Datenbank für physikalische Eigenschaften von festen landwirtschaftlichen Stoffen und deren Anwendung für Faserlein. Diss. Bonn.
- PURZ, H. J., H.-P. FINK & H. GRAF, 1998: Zur Struktur zelluloseischer Naturfasern. *Das Papier* **6**, 315–324.
- REHM, S. & G. ESPIG, 1976: *Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- RENNEBAUM, H., GRIMM, E. & W. DIEPENBROCK, 1998: Qualität von Ölleinfasern. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **11**, 73–74.
- REZNICEK, R., 1988: *Physical Properties of Agricultural Materials and Products*. London: Hemisphere Publishing Corporation, Washington, New York.
- ROBSON, D., 1994: The potential of biocomposites. Conference proceedings: Non wood fibres for industry. Proceedings of the Pira International/Silsoe Research Institute Joint Conference. 23. 3. 1994.
- RÖHRICHT, C., J. SCHULZ & E. REXROTH, 1997: Einfluß anbautechnischer Maßnahmen auf Ausbeute und Qualität der Fasern von Faserlein (*Linum usitatissimum* L.) und Hanf (*Cannabis sativa* L.). VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 166–182.
- ROWLAND, G. G., 1980: An agronomic evaluation of fibre flax in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* **60**, 55–59.
- SATLOW, G., S. ZAREMBA & B. WULFHORST, 1994: Flachs und andere Bast- und Hartfasern. *Chemiefasern/Textilindustrie*, **44/96**.
- SCHEEER-TRIEBEL, M. & K.-U. HEYLAND, 1993: Qualitätszüchtung bei Flachs (*Linum usitatissimum* L.) im Hinblick auf eine „nicht textile Verwertung“. Bericht über die 44. Arbeitstagung 1993 der Saatzuchtler im Rahmen der „Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter“, BAL Gumpenstein, 23.–25. 11. 1993, 165–170.
- SCHEEER-TRIEBEL, M. & K.-U. HEYLAND, 1994: Entwicklung von Schnelltests zur Untersuchung von Faserleistung und Faserqualität von *Lein* (*Linum usitatissimum* L.) und Bewertung von Genotyp und Umwelt im Hinblick auf industrielle Nutzung. *VDLÜFA-Schriftenreihe* **38**, 497–500.
- SCHEEER-TRIEBEL, M., K.-U. HEYLAND, S. FRANKEN, E. KRUKELMANN, K.-H. KROMER, A. BECKMANN & H. GOTTSCHALK, 1995: Züchtung und Anbau von Öllein. Tagungsband: Seminar A-1/95. 1. Hunsrücker Leintage, Emmelshausen, 2./3. 8. 1995, 25–36.
- SCHEEER-TRIEBEL, M., E. KRUKELMANN & K.-U. HEYLAND, 1997a: Einfluss von Umwelt und Genotyp auf die Ertrags- und Qualitätsbildung von Faser- und Öllein. *Pflanzenbauwissenschaften* **1** (2), 73–83.
- SCHEEER-TRIEBEL, M., E. KRUKELMANN & K.-U. HEYLAND, 1997b: Leistungspotentiale eines zur technischen Faserverwertung bestimmten Doppelnutzungsleins (*Linum usitatissimum* L.) in Abhängigkeit von Genotyp und Saatstärke. *Angew. Bot.* **71**, 24–30.
- SCHEEER-TRIEBEL, M., KRAUME, S., FRANKEN, S. & K.-U. HEYLAND, 1997c: Entwicklung und Abreife von Lein im Hinblick auf die Wahl des Erntetermins. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik: Erzeugung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Naturfasern für nichttextile Zwecke, Bonn, ISSN 0939-3048. 44–66.
- SCHEEER-TRIEBEL, M., H. VON FRANCKEN-WELZ, K.-U. HEYLAND & J. LÉON, 1999: Leistungs- und Qualitätspotentiale von Lein und Vergleich zu Hanf und Nessel. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn **28**, 22–38.
- SCHMIDTKE, K., R. RAUBER & K. KOHLER, 1998: Ertragsbildung von Farnesseln (*Urtica dioica* L.). *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **11**, 107–108.
- SCHWEIGER, P., 1995: Kenaf, die wärmeliefernde Faserpflanze. Merkblätter für die umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 9, Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, 52–54.
- SCHWEIGER, P., 1996: Anbauversuche mit Kenaf. Tätigkeitsbericht der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Nr. 17.
- SULTANA, C., 1992: Growing and harvesting of flax. In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE (eds.): *The Biology and Processing of Flax*. M. Publications, Belfast. 83–109.
- TAMMES, T., 1907: *Der Flachsstengel*. Eine statistisch-anatomische Monographie – Naturkundige Verhandlungen von de hollandsche maatschapij der wetenschappen, Derde Verzameling, Deel VI, Vierde Stuk, Haarlem.
- VAN DER WERF, H. M. G., H. J. HAASKEN & M. WIJLHUISEN, 1994: The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp. *Eur. J. Agron.* **3**, 117–123.

- VAN DER WERF, H. M. G. & W. VAN DEN BERG, 1995: Nitrogen fertilization and sex expression affect size variability of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Oecologia* **103**, 462–470.
- VAN LANGENHOVE, L. & J. P. BRUGGEMANN, 1992: Methods of Fibre Analysis. In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE (eds.): *The Biology and Processing of Flax*. M. Publications, Belfast, 311–327.
- VAN SUMERE, C. F., 1992: Retting of Flax with Special Reference to Enzyme-retting. In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE (eds.): *The Biology and Processing of Flax*. M. Publications, Belfast, 157–198.
- VETTER, A. & T. GRAF, 1999: Ausgangssituation, Markt und Innovationspotential pflanzlicher Inhaltsstoffe für die Landwirtschaft und die Industrie. Tagungsband 2. Int. Symposium: Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Erfurt.
- VLASWINKEL, L., 1998: Persönliche Mitteilung.
- VON BUTTLAR, H.-B., F. HÖPPNER, U. MENGE-HARTMANN, K. SCHEFFER & B. MISPELHORN, 1997: Europäische Hanfsorten im Standortvergleich zweier deutscher Anbauregionen. Tagungsband 2. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt, 209–219.
- WIEDEMANN, A. & A. TSCHMARKE, 1991: Forschungsförderung Nachwachsende Rohstoffe-Bereich Flachs. Schriftenreihe: Forschungsberichte Dachverband Agrarforschung, Band 6.
- WULFHORST, B. & H. KÜLTER, 1989: Faserstoff-Tabellen nach P.-A. Koch: Baumwolle. Sonderdruck aus Chemiefasern/Textilindustrie **39/91**.
- WURL, G. & A. VETTER, 1994: Anbau, Ertrag und Qualität von Fasernesseln unter Thüringer Bedingungen. *VDLUFA Schriftenreihe* **38**, 891–894.
- WURSTER, J. & D. DAUL, 1988: Flachs, eine durch Forschung moderne alte Kulturpflanze. *Melliard Textilberichte* **69**, 851–861.

Eingegangen am 31. August 1999;
angenommen am 10. März 2000

Anschrift der Verfasser:

Dr. Monika Scheer-Triebel, Prof. Dr. Jens Léon, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Professur für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Katzenburgweg 5, D-53115 Bonn