Pflanzenbauwissenschaften, 4 (2), S. 91–102, 2000, ISSN 1431-8857, © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

Einfluss des Erntetermins auf Morphologie, Ertrag und Qualität verschiedener Leingenotypen

Influence of Harvest Date on Morphology, Yield and Quality of Different Flax and Linseed Genotypes

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

Zusammenfassung

Die Wahl des Erntetermins ist bei Lein für die Qualität der produzierten Fasern von großer Bedeutung. Ziel vorliegender Untersuchung war es deshalb, die Zusammenhänge zwischen Abreife, Faserentwicklung und Ertrags- und Qualitätsbildung bei Lein zu klären.

Dazu wurden in 2 Umwelten Versuche mit 9 Leingenotypen durchgeführt. Es wurden die Pflanzenentwicklung beobachtet und zu verschiedenen Terminen ab der Blüte Pflanzenproben auf Leistungs- und Qualitätsmerkmale untersucht. Zusätzlich ist mittels bildanalytischer Auswertung mikroskopischer Stängelquerschnitte die Entwicklung der Einzelfasern und Faserbündel analysiert worden.

Der Trockenmasseanteil des Strohs nimmt bis zur Kapselreife auf maximal 50% zu. Der Faseranteil steigt bis zur Strohreife, die relative Wasserdampfaufnahme der Fasern sinkt bis zur Kapselreife kontinuierlich ab. Mit zunehmender Abreife ist zunächst ein Anstieg der Zellzahl, später nur noch eine Vergrößerung der Zellen und Bündel festzustellen. Die Lignifizierung der Zellen und die Zellwanddicke nehmen zu, der Lumenanteil ab. Die Bedeutung des Erntetermins für die mechanischen Eigenschaften ist umwelt- und sortenabhängig. Da keine eindeutige Verschlechterung der Faserqualität zur Kapselreife nachgewiesen werden konnte, ist eine Ernte zur Kapselreife ohne Qualitätsverlust bei den Fasern möglich, wodurch eine gleichzeitige Samennutzung möglich wird.

Schlüsselworte: Lein (*Linum usitatissimum* L.), Erntetermin, Morphologie, Faserertrag, Faserqualität

Summary

The choice of the harvest date of flax is of great importance for the quality of the produced fibres. This study was conducted to determine the correlations between ripening, fibre development and yield and quality establishment in flax. Field trials with 9 genotypes of flax and linseed were conducted in two environments. The development of the plants was investigated and plant samples were taken at different stages for the investigation of yield and quality. Additionally the development of fibre cells and fibre bundles were analysed by microscopy and image analysis of cross sections from the stems.

The percentage of dry matter in the stems reaches a maximum of 50% at capsule maturity. The fibre content increases until the straw ripeness, the water absorption decreases continuous between flowering and capsule maturity. The morphological changes during the maturation are characterized first by an increase of the number of fibre cells, from straw ripening on only the size of cells and bundles enlarges. The lignification of the cells and the thickness of the cell walls rises between straw and capsule ripening, the lumen content declines. There are interactions between harvest date, environment and variety for the mechanical properties of the fibre bundles. Because there were no lower values for the fibre quality observed at capsule maturity than at straw maturity it can be concluded, that fibre flax for industrial use can be harvested at capsule maturity without loss of quality. Besides a use of the seeds from the capsules will be possible.

Keywords: Flax (*Linum usitatissimum* L.), harvest date, morphology, fibre yield, fibre quality

Einleitung

Eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Ausdehnung des Faserpflanzenanbaus in Deutschland ist die Bereitstellung von qualitativ hochwertigen und homogenen Fasern durch die Landwirte und die Erstverarbeiter. Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, könnte ein Ersatz der synthetischen Fasern durch Naturfasern in größerem Maßstab erfolgen. Eine der Möglichkeiten zur pflanzenbaulichen Beeinflussung der Faserqualität ist die Wahl des geeigneten Erntetermins. Dieser Termin ist bislang nur im Hinblick auf die textile Verwertung der Leinfasern ausgewählt worden und gilt als erreicht, wenn etwa die Hälfte bis zwei Drittel der Blätter abgefallen sind und das Stroh sich gelb verfärbt (DEMPSEY 1975). Zu diesem Zeitpunkt sind die Samen noch nicht ausgereift und demnach eine gleichzeitige Samennutzung zur Erhöhung der Rentabilität des Anbaus nicht möglich.

Durch die Züchtung von Industriefaserleinsorten (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999a) und den Einsatz von Industriefasern in technische Produkte mit modifizierten Qualitätsanforderungen stellt sich die Frage des geeigneten Erntezeitpunktes erneut. Um diese Frage beantworten zu können, muss die Ertragsbildung von Fasern bzw. Faserverbänden als auch die Pflanze mit ihren Nebenprodukten erneut geprüft werden.

Nach SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b) sind mit Abschluss der vegetativen Phase die Wuchshöhe und die Ertragskomponenten Faseranteil und Faserertrag bereits fixiert. Dahingegen fanden MEIJER et al. (1989) und KEIJZER & METZ (1992) maximale Fasererträge erst zwei bis drei Wochen nach der Blüte. Der Faseranteil erreicht sein Maximum, bevor der Strohertrag die höchsten Werte

erlangt (CHESSON 1979). Bis zur Kapselreife steigt der Trockenmasseanteil im Stroh auf maximal 60% an (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b).

Die Veränderungen in den Fasereigenschaften wurden mittels bildanalytischer Auswertung mikroskopischer Stängelquerschnitte untersucht. So stellte FRANKEN (1998) bei Lein mit 3 interaktiven Messprogrammen mehr als 20 morphologische Merkmale von der Faserfläche über Anzahl, Größe und Form von Faserbündeln und Einzelfasern bis zu Lumenanteilen und Lignifizierung quantitativ fest. Messungen mit diesen Programmen zeigten einen typischen Stängelaufbau: Die Anzahl von Bündeln, Zellen und Zellen/Bündel sind in der Stängelmitte am höchsten; die Durchmesser bzw. Flächen von Stängeln, Bündeln und Zellen nehmen von unten nach oben ab, die Faseranteile dagegen zu. Der Ligninanteil ist unten am höchsten, in der Mitte am geringsten. Darüber hinaus wurden für viele der morphologischen Merkmale gesicherte Sortendifferenzen gefunden (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999a, b). Sortenbedingte Unterschiede in den Pektin- und Ligninanteilen konnten auch KEIJZER (1989) und KESSLER & BLUME (1991) nachweisen. Einen Zusammenhang zwischen zunehmender Stängeldicke und zunehmenden Einzelfasermaßen fanden TOBLER et al. (1928) und MÜLLER (1940).

Mit zunehmender Abreife sinkt der Lumenanteil der Faserzellen (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b). Gleichzeitig steigen nach AHMED et al. (1982), SHARMA (1986) und MC DOUGALL (1991) die Ligningehalte kontinuierlich an. Die höchste Faserfeinheit wird zur Grünreife erreicht (AHMED et al. 1984, DAMBROTH & SEEHUBER 1988). Nach HOFFMANN (1961) gibt es jedoch Genotypen, die gegenüber einer Verzögerung des Erntetermins weniger empfindlich reagieren, was darauf hindeutet, dass bei der Faserqualität Interaktionen zwischen Genotyp und Erntetermin auftreten. Untersuchungen von SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b) konnten diese Annahme am Beispiel der Faserfeinheit und der Lignifizierung bestätigen, deren Veränderung mit der Abreife sortenabhängigen Schwankungen unterliegt. In der gleichen Untersuchung wurde eine Verschlechterung der Entholzung mit zunehmender Abreife nur bei Öllein festgestellt, während bei Faserlein die Entholzungseigenschaften unabhängig vom Erntetermin sind. KEIJZER (1989) fand Sortenunterschiede in der Abreife von Stroh und Korn und beschrieb einen kurzen Zeitraum zwischen Stroh- und Kapselreife als Reifesynchronisation.

Eine Beziehung zwischen Morphologie und Fasermenge und -qualität wurde von CROZIER (1950) bei Lein untersucht. Er beschrieb Anzahl Faserbündel und -zellen und versuchte, gravimetrisch den Faseranteil zu schätzen; fand allerdings keine enge Korrelation. Auch ein direkter Zusammenhang zwischen der Veränderung im Ligningehalt und der Faserqualität konnte nicht nachgewiesen werden (MENZEL 1961). Als Argument für einen frühen Erntetermin der Faserleine wird vor allem ein besserer Pektinabbau während der Röste gegenüber spät geerntetem Faserlein genannt (MEIJER 1995). Qualitätskriterien für die textile Fasernutzung sind jedoch nicht auf die technische Faserverwertung zu übertragen.

Die für den Einsatz der Fasern im technischem Bereich wichtigen Qualitätsanforderungen wie z. B. die mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit, E-Modul, Dehnung) werden von BECKMANN (1998) ausführlich beschrieben. Ein höherer E-Modul von Faser- und Industriefaserleinen (spezielle Selektion für technische Verwertung) gegenüber Ölleinen konnte auf größere Faserbündel und -zellen und einen höheren Ligninanteil zurückgeführt werden (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999b). Bessere Faserqualitäten, die in bestimmten Umwelten (Jahre, Orte) erreicht wurden, fanden sich bei Fasern, die sich durch geringe Lumenanteile und von der Form her runde Zellen auszeichneten (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999a).

Über die Bedeutung des Erntetermins für die technischen Fasereigenschaften finden sich in der Literatur widersprüchliche Ergebnisse. Während AHMED et al. (1984) die höchsten Zugfestigkeiten zur Gelbreife nachwiesen, zeigen Untersuchungen von SCHEER-TRIEBEL et al. (1997b) steigende Zugfestigkeiten bis zur Kapselreife. Zur Klärung dieser wichtigen Frage des optimalen Erntetermins für die technische Nutzung der Fasern sind also weitere Arbeiten erforderlich.

Die vorliegende Arbeit soll anhand der Untersuchung der Beziehung zwischen Faserentwicklung, Ertrags- und Qualitätsbildung Grundlagen für eine Optimierung der Wahl des Erntetermins für die technische Fasernutzung schaffen.

Material und Methoden

In den Jahren 1995 und 1996 sind auf den Standorten Vettelhoven (1995, Umwelt 1) und Dikopshof (1996, Umwelt 2), beides Standorte im Rheinland mit vergleichbaren Boden- und Klimabedingungen (Tab. 1), Feldversuche in 2 Blöcken mit 9 Öllein-, Faserlein- und Industriefaserleingenotypen durchgeführt worden.

Folgende Genotypen wurden geprüft: Faserlein (F): Ariane, Hermes, Laura, Marina, Viking. Öllein (Ö): Atalante. Industriefaserlein (I): Liflax, St6939IC, St6968EE.

Als Industriefaserleine sind solche Genotypen zu verstehen, die auf Doppelnutzung von Fasern und Samen und hohe Faserqualität für technische Verwertung selektiert wurden. Liflax ist seit 1998 als Sorte in Deutschland und Europa zugelassen. Diese Sorte und die beiden Zuchtstämme St6939IC und St6968EE sind aus Kreuzungen des Instituts für Pflanzenbaus und anschließender Teilramschzüchtung entstanden.

Es wurde eine gegenüber der im Faserleinanbau üblichen Saatnorm von 2000 keimfähigen Körnern m^{-2} verringerte Saatnorm von 1600 keimfähigen Körnern m^{-2} gewählt, um eine hohe Standfestigkeit zu erreichen und damit eine Produktion von hoher Leistung und Qualität zu garantieren (HEMKER 1989, SCHEER-TRIEBEL et al. 1997a). Die Saat- und Erntetermine der Versuche und die in den einzelnen Zeiträumen erreichten Wärmesummen (Summe der Tagesmittelwerte) sind Tab. 1 zu entnehmen.

Der Witterungsverlauf in den beiden Umwelten ist in Abb. 1 dargestellt. Zur Saat und Feldaufgangsphase war es 1995 feucht, 1996 trocken. Der Mai war 1995 trockener als 1996. Im Juni und Juli fielen allerdings 1995 mehr Niederschläge als 1996. Die Temperaturen während der Abreife im Juli lagen 1995 deutlich höher als 1996.

Der Feldaufgang (Tag im Jahr) wurde festgestellt, als 75% der Pflanzen den Boden durchstossen hatten (BUNDESSORTENAMT 1968). Ab der Blüte wurden in ca. 10tägigen Abständen Bonituren an den Pflanzen durchgeführt und an den Terminen Blüte, nach Blüte, Beginn und Ende Strohreife und Kapselreife Probenmaterial für Ertrags- und Qualitätsanalysen genommen. Es wurden die Pflanzenzahl, die Wuchshöhe (Länge zwischen Kotyledonenansatz und der höchsten Kapsel an 10 Pflanzen) und das Frischgewicht der geernteten Strohproben (Stängel und Blätter) festgestellt, nach Lufttrocknung bis zur Gewichtskonstanz (in einem trockenen Lager bei Raumtemperatur) das Trockengewicht. Die getrocknete Strohprobe wurde für die mechanische Entholzung und die Feststellung des Faser-

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsumwelten

Characterization of the experimental environments

UMWELT	UMWELT 1		UMWELT 2	
Standort	VETTELHOFEN		DIKOPSHOF	
Jahr	1995		1996	
Bodentyp	Parabraunerde		Parabraunerde	
Bodenart	Schluffiger Lehm		Feinsandiger Lehm	
Ackerzahl	80		80	
Niederschläge	675 mm/Jahr		633 mm/Jahr	
Mittlere Jahrestemperatur	9,4 °C		9,7 °C	
		Wärmesummen (°C × d)		Wärmesummen (°C × d)
SAATTERMIN	12. 04. 95		27. 03. 96	
Feldaufgang	26. 04. 95	114	19. 04. 96	126
ERNTETERMINE				
Blüte	19. 06. 95	777	12. 06. 96	879
nach Blüte	29. 06. 95	962	21. 06. 96	1019
Beginn Strohreife	10. 07. 95	1181	04. 07. 96	1202
Ende Strohreife	20. 07. 95	1394	16. 07. 96	1399
Beginn Kapselreife	31. 07. 95	1626	31. 07. 96	1665
Ende Kapselreife	10. 08. 95	1881	06. 08. 96	1793

anteils verwendet. Der Faseranteil wurde nach einer Entholzung auf einem BAHMER-Labor-Flachs-Brecher (BLFB), Typ „Flaksy“, durchgeführt (HEYLAND et al. 1995). Nach einer Teilentholzung (3 Walzendurchläufe) wurde der Restholzanteil, nach Vollentholzung (10 Walzendurchläufe) der Faseranteil festgestellt. Die entholzte Strohprobe war Ausgangsmaterial für die Bewertung der Qualitätseigenschaften der Faserbündel. Die mechanischen Eigenschaften wurden mit einer Materialprüfmaschine ZWICK 1445 nach der von HEYLAND et al. (1995) beschriebenen Methode am Institut für Landtechnik in Bonn festgestellt.

Die Analyse der morphologischen Eigenschaften erfolgte anhand von Stängelquerschnitten. Die Herstellung der Schnitte erfolgte mit einem Gefriermikrotom FRIGOCUT 2800E. Zur Untersuchung und Auswertung der Schnitte stand das automatische Bildanalysesystem von KONTRON mit der Bild- und Datenverarbeitungssoftware VIDAS Plus als Grundsoftware zur Verfügung. Für die Aufnahme der Bilder wurde eine 3-CCD Farbkamera für

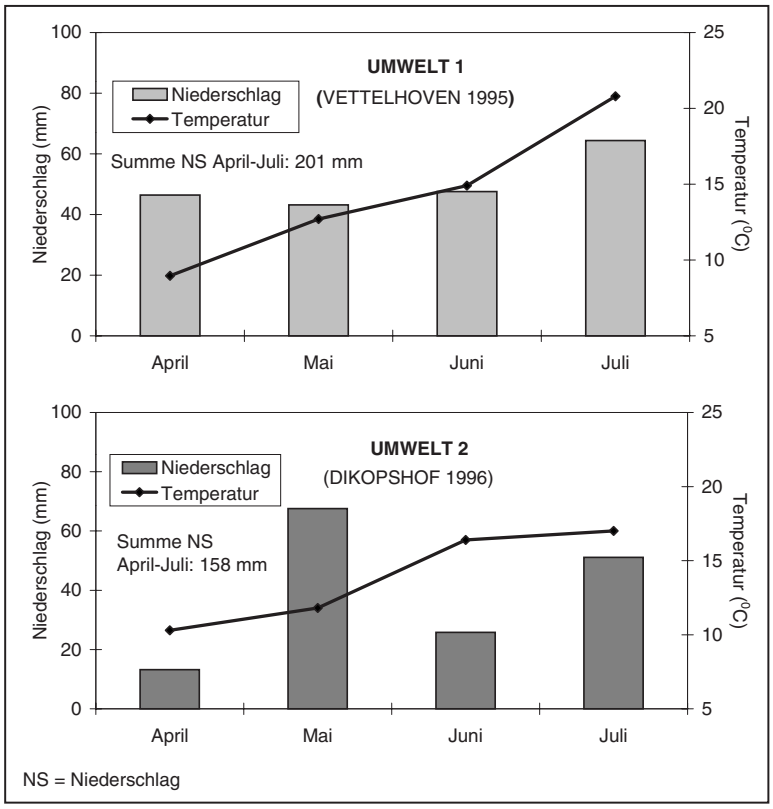

Abb. 1: Witterungsverlauf der geprüften Umwelten

Weather conditions of the tested environments

Mikroskopie Typ MC-3307 von SONY verwendet. Die Farbkamera war mit dem Universalmikroskop AXIOPLAN für Auflicht-Fluoreszenz, kombiniert mit Durchlicht-Hellfeld von ZEISS verbunden. Zusätzlich war das Mikroskop mit einem Zirkularpolarisator ausgestattet. Durch Verwendung eines Polarisationsfilters erscheinen die Fasern im Querschnitt des Leinstängels blau, das Xylem braun. Die Sichtbarmachung der lignifizierten Zellen erfolgte mittels Fluoreszenzmikroskopie. Zur Ermittlung der relevanten morphologischen Merkmale dienten 3 interaktive Meßprogramme. Eine ausführliche Beschreibung der Methode wird von FRANKEN (1998) gegeben. Einige Merkmale wurden zusätzlich anhand von Videoprints bonitiert. Folgende Merkmale gingen in die Auswertung ein:

Phänologische Merkmale:

- Blüte (Bonitur 1–9): 1 – keine Blüte, 9 – Vollblüte
- Entblätterung des Stängels (Bonitur 1–9): 1 – keine, 9 – vollständig
- Gelbfärbung des Stängels (Bonitur 1–9): 1 – grün, 9 – gelb
- Braunfärbung der Kapseln (Bonitur 1–9): 1 – grün, 9 – braun

Vegetative Merkmale:

- Wuchshöhe (cm)
- Strohertrag (dt ha^{-1})
- Faseranteil (mechanisch) nach Vollentholzung (%)
- Faserertrag (dt ha^{-1})
- Trockenmasseanteil Stroh bei Ernte (%)

Generatives Merkmal:

- Samenertrag (dt ha^{-1}): 1995: ab 29. 6., 1996: ab 21. 6.

Faserqualitätsmerkmale:

- Restholzanteil (%): (= schwer entholzbarer Anteil) entspricht dem Anteil der nach Teilentholzung noch anhaftenden Holzteile.
- Mechanische Eigenschaften:
  Die mechanischen Stoffeigenschaften wurden an Faserbündeln der Sorten Atalante (Ö) und Viking (F) aus dem 1. Block untersucht. Aufgrund früherer Untersuchungen unterscheiden sich die beiden Sorten signifikant in ihren Qualitätseigenschaften, so dass eine Aussage über die Abreifeveränderungen auf unterschiedlichem Qualitätsniveau möglich ist (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999a).
  Probenvorbereitung: 50 grünentholzte Faserbündel/Probe (davon 24 auswertbar), 100 mm Länge
  Materialprüfung: pro Faserbündel wurden mittels Lasermikrometer der Bündeldurchmesser (mm) zur Berechnung der Querschnittsfläche ermittelt.
  Feinheit (tex): Gewicht (g) pro 100 mm Länge eines Faserbündels
  Zugprüfung: Einspannlänge: 10 mm; Prüfgeschwindigkeit: 3 mm/Min., Vorkraft: 0,05 N Höchstzugkraft (N) bei max. Kraft: entspricht meist der Reißkraft
  Errechnete Merkmale: Zugfestigkeit (MPa): Höchstzugkraft bezogen auf die Querschnittsfläche.
- Wasserdampfaufnahme:
  5 g Faserbündel, Vortrocknung: 16 h, 40 °C, Wasserdampfaufnahme im Klimaschrank: 2 h, 25 °C, 60% Luftfeuchte.

Morphologische Merkmale:

Zu den Ernteterminen Blüte, nach Blüte, Beginn und Ende Strohreife und Kapselreife wurden bei den Sorten Atalante (Ö) und Viking (F) aus Stängeln des 1. Blockes Schnitte durchgeführt und mittels Mikroskopie und Bildanalyse ausgewertet. Probenvorbereitung: 5 Stängel/Probe, Mitte des unverzweigten Stängels.

- Merkmale an der Gesamtfläche des Stängelquerschnitts (25-fache Vergrößerung):
  Programm I, erfasste Merkmale:
  Faserfläche (mm^2), Xylemfläche (mm^2), Stängelquerschnittsfläche (mm^2),
  Intern errechnete Merkmale:
  Faseranteil (%): Flächenanteil der Faser an der Faser- und Xylemfläche, Stängeldurchmesser (mm)
- Merkmale an 4 Faserbündeln des Stängelquerschnitts (100-fache Vergrößerung):
  Programm II, erfasste Merkmale:
  Zellen/Bündel, Bündelfläche (μm^2), Einzelzellfläche (μm^2)
  Intern errechnete Merkmale:
  Zelldurchmesser (µm), Bündeldurchmesser (µm)
  Programm III, erfasste Merkmale:
  Fläche des Faserbündels mit Mittellamellen (μm^2) (entspricht der Bündelfläche, Programm II), Fläche des Faserbündels ohne Mittellamellen (μm^2), Fläche des Faserbündels ohne Mittellamellen und ohne Lumina (μm^2)
  Intern errechnete Merkmale:
  Lumenanteil (%), Zwickelanteil (%)
- Flureszenzmikroskopie (100-fache Vergrößerung):
  Zellen mit beginnender Lignifizierung/Schnitt, vollständig lignifizierte Zellen/Schnitt, Anzahl lignifizierter Zellen im Stängelquerschnitt, dabei werden die Zellen mit beginnender Lignifizierung mit dem Faktor 0,5 berücksichtigt.
  Extern errechnete Merkmale:
  Bündel/Schnitt, Zellen/Schnitt, Streuung Zelldurchmessser (µm), lignifizierte Zellen/Schnitt (%)
  Zusätzlich wurden die Merkmale Bündelfläche und Zellwanddicke anhand der Bonitur (1-9) von Videoprints ermittelt.

Die Varianzanalysen erfolgten unter Verwendung der SAS-Prozedur ANOVA. In Anlehnung an das Verfahren von HEYLAND & KOCHS (1978) wurden in weiteren Testläufen alle im 1. Test signifikanten Haupt- und Wechselwirkungen im F-Test gegen höhere gesicherte Interaktionen, in denen sie faktormäßig enthalten sind, geprüft. Die aufgeführten Grenzdifferenzen (GD) beziehen sich auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%.

Ergebnisse

Phänologische Entwicklung

Die Pflanzenentwicklung verlief in Abhängigkeit von der Witterung in den beiden geprüften Umwelten sehr unterschiedlich. Abb. 2 zeigt die Länge der einzelnen Entwicklungsphasen und die in den Phasen gemessenen Wärmesummen. Der Eintritt in ein Entwicklungsstadium wurde an dem Tag festgestellt, an dem die Mehrzahl der Sorten dieses Stadium erreicht hatten. Die Differenzen zwischen den Sorten wurden nicht einzeln erfaßt.

Die frühe Saat 1996 (Umwelt 2) hatte eine verlängerte Feldaufgangsphase zur Folge, durch die spätere Saat 1995 (Umwelt 1) wurde diese Phase um 9 Tage verkürzt. Die für den Feldaufgang benötigte Wärmesumme betrug

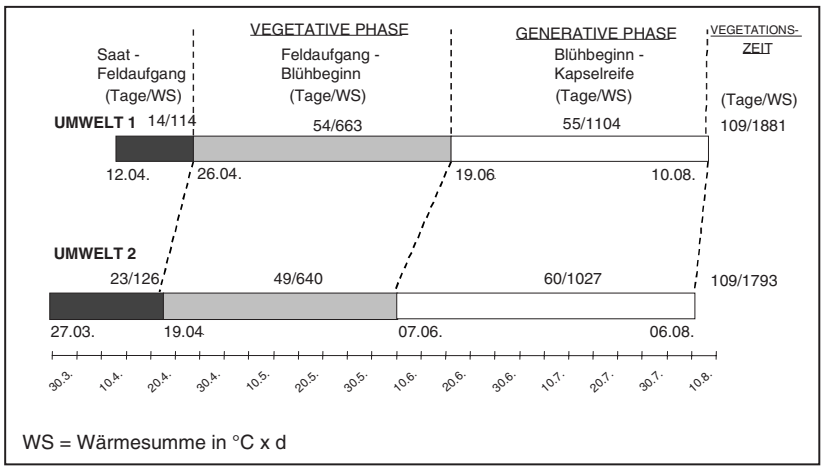

Abb. 2: Einfluss der Umwelt auf die Entwicklung von Lein

Influence of the environment on the development of flax

114 °C (Umwelt 1) – 126 °C (Umwelt 2). Bis zum Eintritt in die generative Phase ist eine Wärmesumme von 640–663 °C erforderlich, die in 49–54 Tagen erreicht war. Das 12 Tage spätere Erreichen der generativen Phase in Umwelt 1 wurde durch eine Verkürzung dieses Entwicklungsabschnitts vollständig kompensiert, so dass letztendlich die gesamte Vegetationszeit beider Umwelten gleich lang war. Bis zur Kapselreife benötigt der Lein eine Wärmesumme von ca. 1800 °C.

Die Beobachtungen während der Abreife der beiden Umwelten sind in Abb. 3 zusammengefasst. Dargestellt ist die Entwicklung von Blüte, Entblätterung der Stängel, Gelbfärbung der Stängel und Braunfärbung der Kapseln. Die Blüte beginnt in Umwelt 1 gegenüber Umwelt 2 verspätet; die Blühdauer ist deutlich kürzer. In beiden Umwelten beginnt schon während der Blüte die Entblätterung der Stängel, die sich kontinuierlich bis zur Kapselreife fortsetzt. Die 2. Phase der Stängelabreife, die Gelbverfärbung der Stängel, war zwischen den Umwelten unterschiedlich. In Umwelt 1 verfärbten sich die Stängel kaum und blieben bis zur Kapselreife fast grün. In Umwelt 2 dagegen wurde der eher typische Abreifeverlauf beobachtet, d. h. die Gelbverfärbung setzt gegenüber der Entblätterung verzögert ein und verläuft dann parallel. Ab Mitte Juli beginnt die Braunfärbung der Kapseln. Diese Verfärbung setzt in Umwelt 2 etwas später ein, verläuft dafür aber aufgrund der hohen Temperaturen während der Abreife schneller als in Umwelt 1.

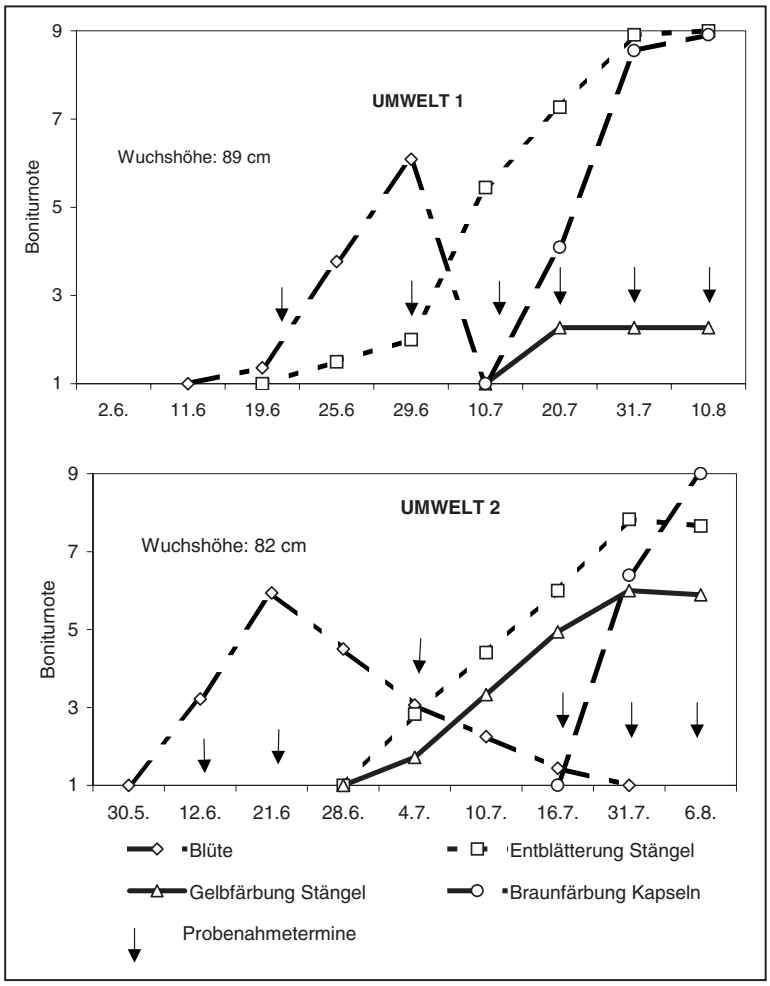

Abb. 3: Abreife von Lein in Abhängigkeit von der Umwelt (Mittel = 9 Genotypen × 2 Blöcke)

Maturation of flax depending on environment (Mean = 9 genotypes × 2 replications)

Tab. 2: Einfluss der Umwelt auf Ertrag und Qualität von Lein (Mittel Ertrag = 9 Genotypen × 6 Erntetermine × 2 Blöcke; Mittel Qualität = 2 Genotypen × 6 Erntetermine × 24 Faserbündel)

Influence of the environment on yield and quality of flax (Mean yield = 9 genotypes × 6 harvest dates × 2 replications; Mean quality = 2 genotypes × 6 harvest dates × 24 fibre bundles)

	UMWELT 1 (VETTELHOFEN 1995)	UMWELT 2 (DIKOPSHOF 1996)	$GD_{5\%}$
ERTRAG			
Bestandesdichte (Stängel m^{-2})	965	1275	50,9
Wuchshöhe (cm)	89,0	82,0	ns
Strohertrag (dt ha^{-1})	69,2	63,1	2,65
Faserertrag (dt ha^{-1})	23,0	20,4	0,89
Samenertrag (dt ha^{-1})	12,4	12,5	ns
QUALITÄT			
Feinheit (tex)	11,1	7,4	0,59

Die Probenahmetermine in den beiden Umwelten sind in Abb. 3 durch Pfeile markiert und erfolgten zu den vergleichbaren Stadien Blüte, nach Blüte, Beginn und Ende Strohreife und Kapselreife.

Ertrags- und Qualitätsbildung

Der Einfluss der Umwelt auf Ertrag und Qualität ist in Tab. 2 zusammengefaßt.

Im Mittel sind bei einer Saatstärke von 1600 keimfähigen Körnern m^{-2} in Umwelt 2 ca. 300 Pflanzen mehr aufgelaufen als in Umwelt 1. Trotz der geringeren Pflanzenzahl führte die feuchtere Witterung während der vegetativen Phase in Umwelt 1 über die Wuchshöhe zu höheren Stroh- und Fasererträgen. Im Samenertrag unterschieden sich die Umwelten nicht. Bezüglich der Faserqualität wurden in den Beständen mit der höheren Pflanzenzahl in Umwelt 2 feinere Fasern erzeugt als in den dünnen Beständen der Umwelt 1.

Die Fasererträge der geprüften Genotypen schwanken zwischen 12 dt ha^{-1} beim Öllein Atalante und 27 dt ha^{-1} beim Faserlein Viking (Abb. 4). Höhere Fasererträge sind zu erklären durch größeren Wuchs und höheren Faseranteil. Außerdem wurden zwischen den Genotypen signifikante Differenzen im Restholzanteil nachgewiesen, d. h. nach einer mechanischen Teilentholzung des Strohs haben die besten Genotypen Viking (F), Hermes (F) und Liflax (I)) weniger als 25% anhaftende Holzteile, während beim Öllein Atalante noch mehr als 40% Restholzanteil gemessen wurde.

Im Abreifeverlauf ist eine Zunahme an Trockenmasseanteil im Stroh von 30% zu Beginn der Strohreife bis auf 50% zum Ende der Kapselreife festgestellt worden (Abb. 5). Es ist also auf jeden Fall eine Trocknung des

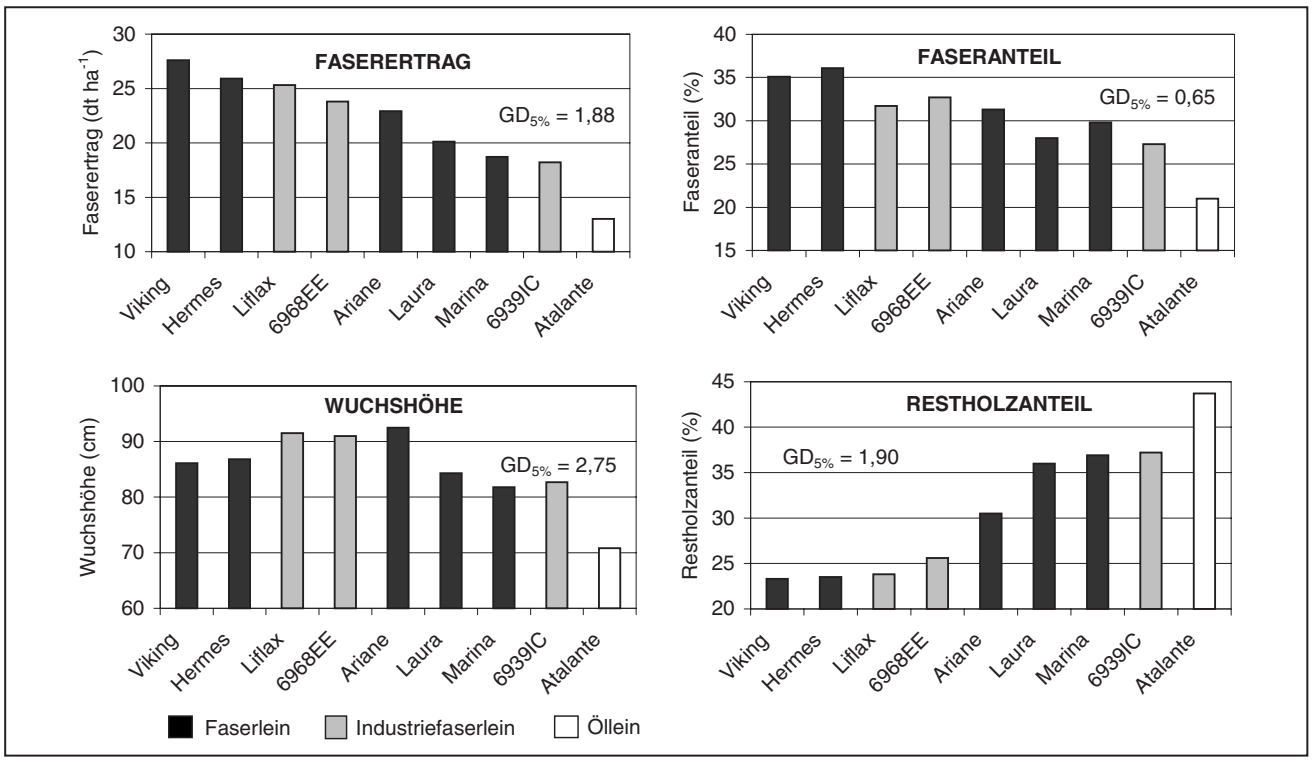

Abb. 4: Einfluss des Genotyps auf Wuchshöhe, Faseranteil, Faserertrag und Restholzanteil von Lein (Mittel = 2 Umwelten × 6 Erntetermine × 2 Blöcke)

Influence of the genotype on height, fibre content, fibre yield and residual shives of flax (Mean = 2 environments × 6 harvest dates × 2 replications)

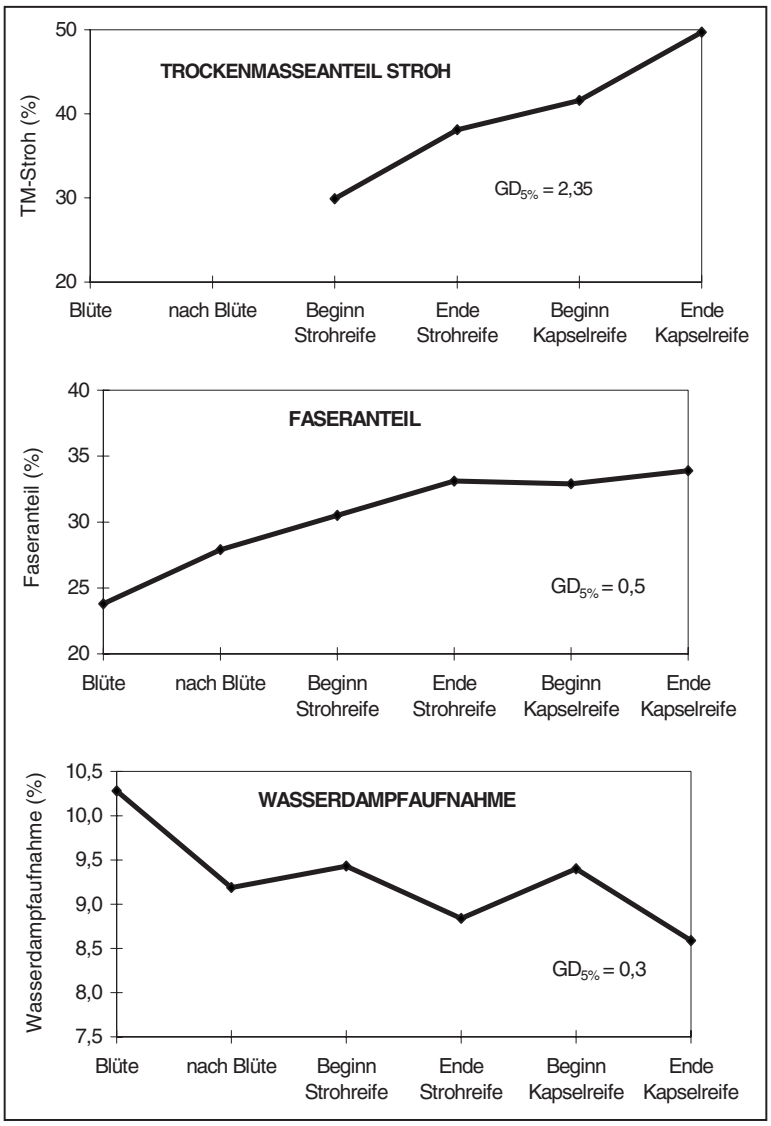

Abb. 5: Einfluss des Erntetermins auf Abreife, Ertrag und Qualität von Lein (Mittel = 2 Umwelten × 9 Genotypen × 2 Blöcke)

Influence of the harvest date on maturation, yield and quality of flax (Mean = 2 environments × 2 genotypes × 2 replications)

Strohs nach der Ernte erforderlich, um lagerfähige Ware zu erhalten. Der Faseranteil steigt bis zum Ende der Strohreife an. Die Wasserdampfaufnahme der Faserbündel ist zur Blüte am höchsten und sinkt bis zum Ende der Kapselreife ab.

Als wichtiges Kriterium für die Faserqualität, speziell für die technische Verwertung, werden die mechanischen Eigenschaften angesehen. Vor allem der Zugfestigkeit der Faserbündel wird eine besondere Bedeutung beigemessen. Sowohl für den Bündeldurchmesser und die Höchstzugkraft, als auch für die daraus errechnete Zugfestigkeit wurde eine signifikante Interaktion zwischen Umwelt, Genotyp und Erntetermin gefunden (Abb. 6).

Im Mittel sind die Bündel der Umwelt 1 etwas dicker als die aus der Umwelt 2. Es ist keine eindeutige Unterscheidung zwischen den Genotypen anhand der Bündeldurchmesser möglich. Auch die Veränderungen der Bündeldurchmesser im Abreifeverlauf sind uneinheitlich.

Die Höchstzugkraft, die nötig ist, um ein Faserbündel zu zerreißen, ist tendenziell in Umwelt 1 höher als in Umwelt 2 und (mit einer Ausnahme) beim Faserlein höher als beim Öllein. Eine eindeutige Entwicklung über die Erntetermine ist nicht zu sehen. Die Zugfestigkeit als das Verhältnis von Höchstzugkraft zum Bündeldurchmesser ist in Umwelt 2 etwas höher als in Umwelt 1, beim Faserlein meist besser als beim Öllein. Über die Erntetermine ist tendenzmäßig ein Anstieg, zumindest bis zum Beginn der Kapselreife zu beobachten. Danach bleibt die Zugfestigkeit beim Öllein gleich oder steigt leicht an; beim Faserlein ist ein leichter Abfall zu verzeichnen.

Morphologische Entwicklung

Die zwischen den beiden Umwelten gefundenen signifikanten Unterschiede bei den morphologischen Merkmalen sind in Tab. 3 zusammengestellt. Die Stängel aus der Umwelt 2 sind dünner, die Bündel haben geringere Durchmesser und auch der Durchmesser der einzelnen Zelle ist kleiner. Die kleineren Zellen sind aber homogener als die größeren Zellen der Umwelt 1, sie haben eine signifikant geringere Streuung im Zelldurchmesser.

Die morphologischen Unterschiede zwischen der Faserleinsorte Viking und der Ölleinsorte Atalante sind in Abb. 7 zusammengefaßt. Viking wies insgesamt ca. 200 Zellen im Querschnitt mehr auf als Atalante, wobei sich die Sorten nicht in der Anzahl Faserbündel unterschieden. Die höhere Zahl an Zellen/Schnitt führt dazu, dass die einzelnen Faserbündel beim Faserlein größer sind als beim Öllein. Darüber hinaus ist auch der Durchmesser der einzelnen Faserzelle höher. Beim Faserlein liegt der Anteil der lignifizierten Zellen deutlich höher als beim Öllein. Der Anteil der Lumenfläche (Hohlraum in der Faserzelle) ist beim Faserlein geringer, der Anteil an Zwi-

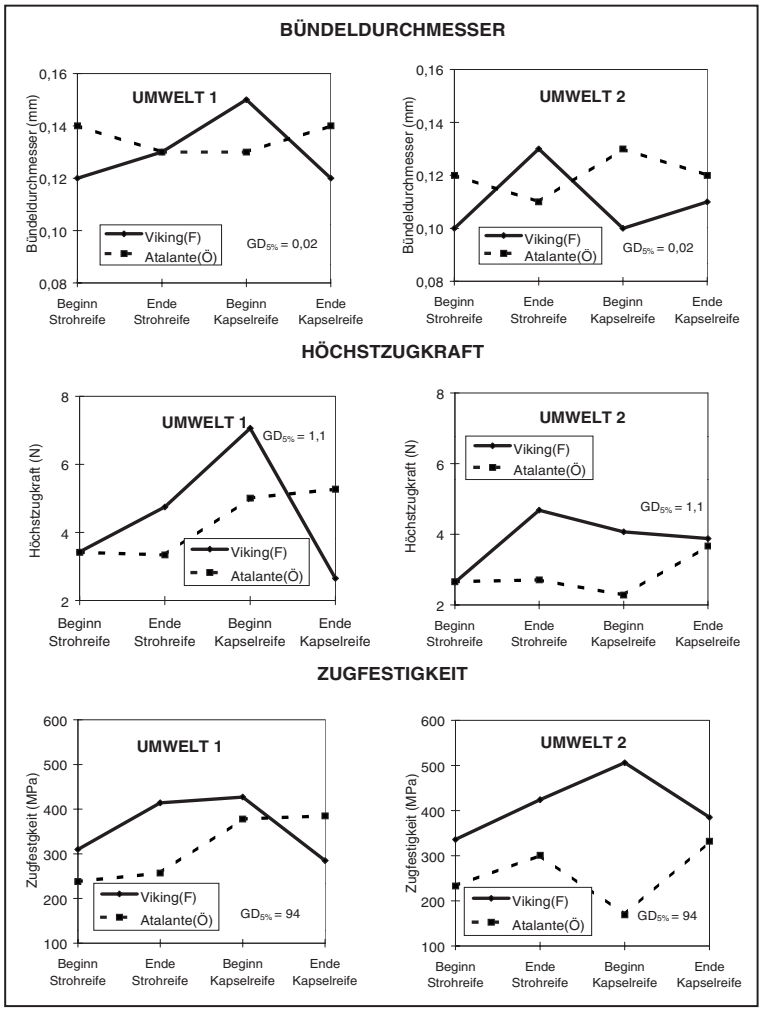

Abb. 6: Einfluss von Umwelt, Genotyp und Erntetermin auf die mechanischen Eigenschaften von Leinfasern (Mittel = 24 Faserbündel)

Influence of environment, genotype and harvest date on the mechanical properties of flax fibres (Mean = 24 fibre bundles)

ckelfläche (Zwischenräume zwischen den einzelnen Zellen) höher als beim Öllein.

Die morphologischen Veränderungen im Abreifeverlauf sind in den Abb. 8 und 9 dargestellt. Bis zur Leinblüte sind im Stängelquerschnitt ca. 1350 Faserzellen ausgebildet (Abb. 8). Zwischen der Blüte und dem Beginn der Strohreife nimmt die Zahl der Zellen / Schnitt noch mal um 200 Zellen zu und bleibt dann konstant. Gleichzeitig steigt die Zahl der lignifizierten Zellen an; die Zahl der Zellen mit beginnender Lignifizierung bis zum Beginn der Strohreife, die Zahl der Zellen mit vollständiger Lignifizierung bis zum Ende der Strohreife. Die Bündelfläche wird bis zum Beginn der Kapselreife größer und sinkt dann wieder leicht ab.

Die Untersuchungen an den einzelnen Zellen zeigen einen Anstieg der Zelldurchmesser bis zum Ende der Strohreife, danach wurden wieder sinkende Zelldurchmesser gefunden (Abb. 9). Die Zellwanddicke der Einzelzelle nimmt bis zum Beginn der Kapselreife zu, der Lumenanteil sinkt bis zur beginnenden Strohreife und bleibt dann konstant.

Diskussion

Die Wahl des Erntetermins kann für die Optimierung von Qualitätseigenschaften im Faserleinanbau entscheidend sein. Speziell für neue Einsatzbereiche der Fasern im technischen Bereich ist dieser Termin neu zu definieren, auch im Hinblick darauf, dass ein gegenüber dem Faserleinanbau zur textilen Nutzung späterer Erntetermin eine Doppelnutzung von Fasern und Samen ermöglicht.

Die Überprüfung der Fragestellung in zwei Umwelten und an verschiedenen Sorten läßt Aussagen über die Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse ableiten.

Tab. 3: Einfluss der Umwelt auf morphologische Merkmale von Lein (Mittel = 2 Genotypen × 6 Erntetermine × 5 Stängel × 4 Faserbündel)

Influence of the environment on morphological traits of flax (Mean = 2 genotypes × 6 harvest dates × 5 stems × 4 fibre bundles)

	UMWELT 1 (VETTELHOFEN 1995)	UMWELT 2 (DIKOPSHOF 1996)	$GD_{5\%}$
DURCHMESSER			
Stängel (mm)	2,35	2,04	0,10
Bündel (µm)	161	130	5,84
Zellen (µm)	26,1	21,5	0,45
STREUUNG			
Zelldurchmesser (µm)	7,45	6,02	0,23

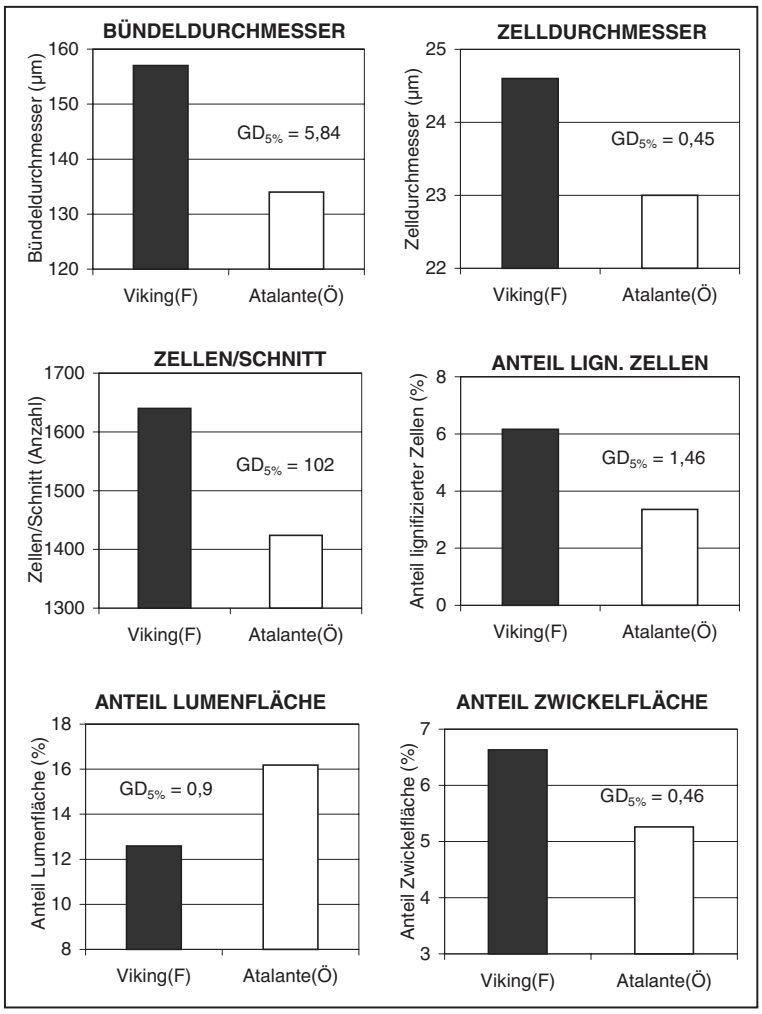

Abb. 7: Einfluss des Genotyps auf morphologische Merkmale von Lein (Mittel = 2 Umwelten × 6 Erntetermine × 5 Stängel × 4 Faserbündel)

Influence of the genotype on morphological traits on flax (Mean = 2 environments × 6 harvest dates × 5 stems × 4 fibre bundles)

Einfluss der Umwelt

Die Versuche wurden in den beiden Jahren an zwei Standorten im Rheinland durchgeführt, die jedoch aufgrund der Bodenverhältnisse und der durchschnittlichen Klimadaten sehr ähnlich sind, so dass die Differenzen zwischen den Umwelten vor allem auf die Jahreswitterung zurückgeführt werden können (Tab. 1). Aufgrund des unterschiedlichen Witterungsverlaufs der beiden Jahre 1995 und 1996 wurden Differenzen in der phänologischen Entwicklung festgestellt, die Auswirkungen auf die Ertrags- und Qualitätsbildung hatten. Erwartungsgemäß führten die spätere Saat und die höheren Niederschläge im April zu einer kürzeren Feldaufgangsphase 1995 im Vergleich zu 1996; dennoch war der Feldaufgang um 300 Pflanzen/m^2 vermindert (Abb. 1, 2, Tab. 2). Dies könnte durch die veränderte Saattechnik erklärt werden. 1995 wurde mit einer Breitsämaschine, 1996 mit Drillsaat gesät, die vermutlich zu einer günstigeren Verteilung der Samen über die Fläche, zu einer gleichmäßigeren Tiefenablage der Samen und folglich zu höheren Feldaufgängen geführt hat. Die im Jahr 1995 in den Monaten April bis Juni feuchtere Witterung hatte eine Verlängerung der vegetativen Phase im Vergleich zu 1996 und in der Konsequenz trotz der geringeren Pflanzenzahl höhere Wuchshöhen, Stroh- und Fasererträge zur Folge. Das Ergebnis zeigt, dass Differenzen in der Pflanzenzahl von 300 Pflanzen durch günstige Witterungsbedingungen während der vegetativen Phase überkomponsiert werden können.

In den dichteren Beständen 1996 wurden feinere Fasern erzeugt (Tab. 2); die Ursache hierfür ist anhand der Auswertung der mikroskopischen Stängelquerschnitte zu finden. Die Stängel sind dünner, die Bündel haben geringere Durchmesser und auch der Durchmesser der einzelnen Zelle ist kleiner (Tab. 3). Einen Zusammenhang zwischen zunehmender Stängeldichte und abnehmender Stängeldicke konnten auch EGGLHUBER (1943), HEMKER (1989) und SCHEER-TRIEBEL et al. (1997a) nachweisen. Dass in dünneren Stängeln auch kleinere Faserbündel mit kleineren Faserzellen zu finden sind, bestätigt Untersuchungen von TOBLER et al. (1928), MÜLLER (1940), FRANKEN (1998) und SCHEER-TRIEBEL et al. (1999a, b). Die signifikant geringere Streuung im Zelldurchmesser der kleineren Faserbündel mit kleineren Faserzellen aus der Ernte 1996 belegt, dass diese Zellen homogener sind als die größeren Faserbündel mit größeren Faserzellen der Ernte 1995 (Tab. 2). Die Homogenität in Faserqualitätseigenschaften wird von der Industrie als ein wichtiges Kriterium für die technische Verwertung der Fasern angesehen (EGGERSDORFER & LAUPICHLER 1994).

Einfluss des Genotyps

Neben den Umweltdifferenzen sind auch Unterschiede zwischen den Genotypen in Leistung und Qualität und deren morphologische Ursachen nachgewiesen worden.

Die höheren Faseranteile der Faserlein- und Industriefaserleinsorten, die neben der Wuchshöhe maßgeblich deren Mehrleistung an Faserertrag im Vergleich zu den Ölleinsorten ausmachen, sind morphologisch dadurch zu erklären, dass die Bündeldurchmesser größer sind als bei der Ölleinsorte (Abb. 4, 7). Die größeren Bündeldurchmesser

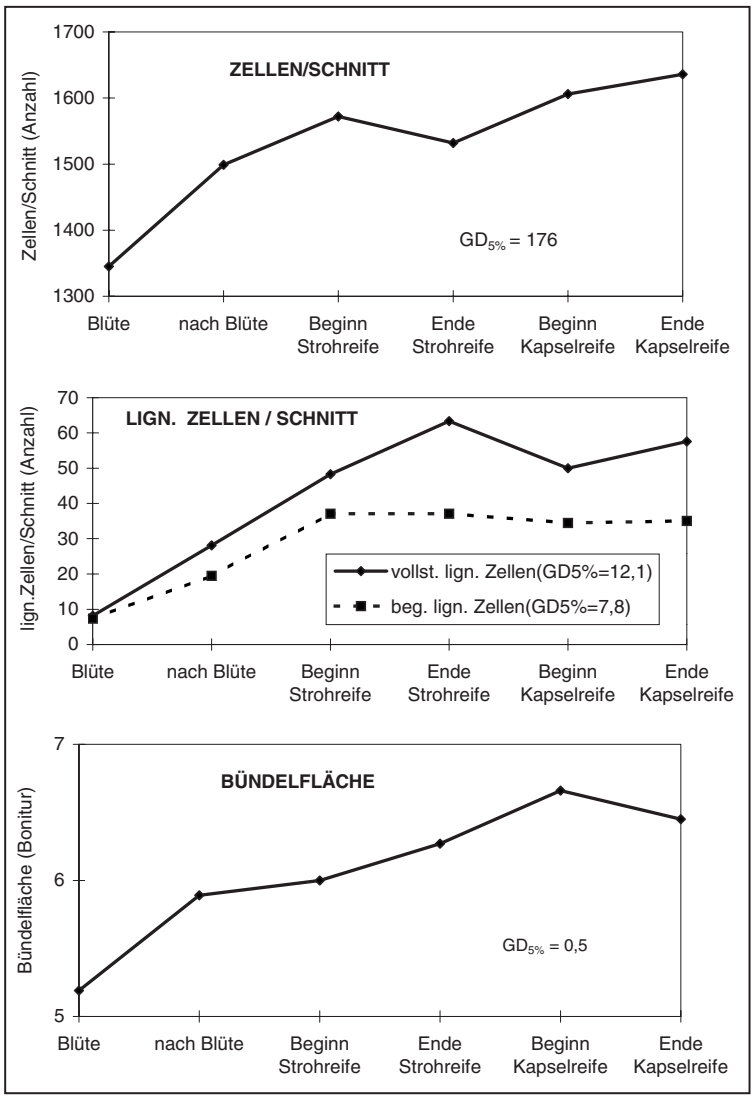

Abb. 8: Einfluss des Erntetermins auf morphologische Merkmale von Lein (Mittel = 2 Umwelten × 2 Genotypen × 5 Stängel × 4 Faserbündel)

Influence of the harvest date on morphological traits of flax (Mean = 2 environments × 2 genotypes × 5 stems × 4 fibre bundles)

sind zum einen durch höhere Zellzahlen, zum anderen durch größere Einzelzellen bedingt. Es bestehen in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen zwischen den einzelnen Sorten keine gesicherten Differenzen in der Zahl der angelegten Faserbündel (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b). Die qualitativen Unterschiede zwischen den Sorten im Restholzanteil können aufgrund der Zwickelfläche (Zwischenräume zwischen den einzelnen Zellen) erklärt werden. Der niedrige Anteil an Zwickelfläche beim Öllein könnte in Zusammenhang mit dessen ungünstiger Entholzbarkeit stehen. Auch frühere Untersuchungen zeigten bereits Zusammenhänge zwischen den Entholzungseigenschaften und dem Zusammenhalt von Faserbündeln (SCHEER-TRIEBEL et al. 1999a). In gleicher Untersuchung fanden sich zusätzlich positive Korrelationen zwischen den Merkmalen Faserflächenanteil, Bündeldurchmesser und Anzahl der Zellen/Bündel und dem Entholzungsgrad. Die tendenziell höheren Zugfestigkeiten des Faserleins sind auf dessen geringere Lumenanteile der Einzelzellen und den höheren Anteil an lignifizierten Zellen zurückzuführen. Auch dieses Ergebnis bestätigt frühere eigene Untersuchungen (SCHEER-TRIEBEL et al., 1997b).

Als Selektionskriterien zur Züchtung auf höhere Faseranteile von Leinsorten sind somit die Zellzahl, der Bündeldurchmesser und die Zellgröße geeignet. Zur Verbesserung der Entholzungseigenschaften sollte auf einen lockeren Verbund zwischen den Faserbündeln, zur Steigerung der Zugfestigkeit auf geringen Lumenanteil und höhere Lignifizierung selektiert werden.

Einfluss des Erntetermins

Die Analyse der morphologischen Veränderungen im Abreifeverlauf ist Voraussetzung für die Interpretation von Leistungs- und Qualitätsveränderungen bei unterschiedlichen Ernteterminen.

Die Anlage der Faserbündel ist zum Blühbeginn bereits abgeschlossen. Zwischen den untersuchten Terminen Blühbeginn bis Kapselreife sind für dieses Merkmal keine signifikanten Differenzen nachgewiesen worden. Zwischen Blühbeginn und dem Beginn der Strohreife nimmt die Zahl der Faserzellen im Stängelquerschnitt noch um ca. 300 Zellen zu; gleichzeitig steigt der Zelldurchmesser der Einzelzelle bis zum Ende der Strohreife an. Der zunehmende Faseranteil bis zum Ende der Strohreife ist also zunächst durch die Anlage und Vergrößerung, zum Ende der Strohreife nur noch durch die Vergrößerung der Zellen zu erklären (Abb. 5, 8, 9). In früheren Untersuchungen waren der Faseranteil und der Faserertrag sogar schon zu Blühbeginn festgelegt (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b); das zeigt, dass es für die Dauer der Anlage von Faseranteil und -ertrag umweltbedingte Differenzen, vor allem bedingt durch die Jahreswitterung, gibt.

In jedem Fall ist die Faserertragsbildung zur Strohreife beendet, danach ist kein weiterer Zuwachs an Faseranteil

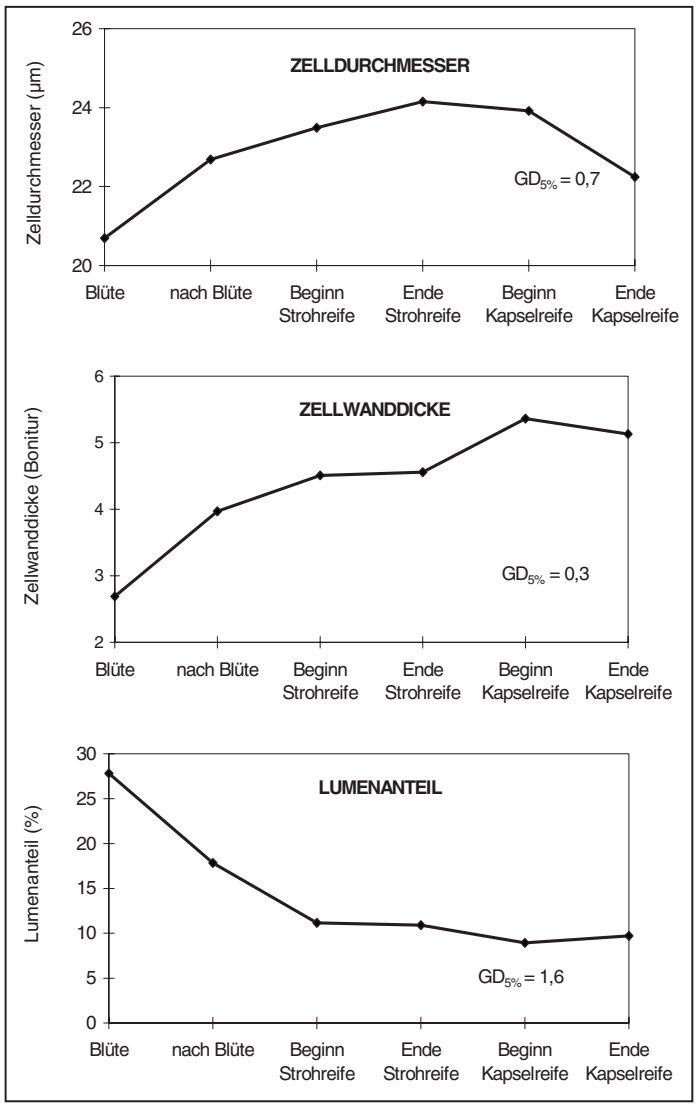

Abb. 9: Einfluss des Erntetermins auf morphologische Merkmale von Lein ((Mittel = 2 Umwelten × 2 Genotypen × 5 Stängel × 4 Faserbündel)

Influence of the harvest date on morphological traits of flax (Mean = 2 environments × 2 genotypes × 5 stems × 4 fibre bundles)

und Faserertrag festgestellt worden. Bezogen auf die Faserleistung ist somit eine frühe Ernte zur Strohreife, wie sie heute in der Langfaserproduktion üblich ist, nicht mit Ertragseinbußen gegenüber einer späteren Ernte verbunden.

Entsprechend der Literatur (DEMPSEY 1975) sind zum optimalen Erntetermin für die textile Langfaser, wenn die Stängel zu 75% entblättert und zur Hälfte gelb sind, die Kapseln noch nicht reif. Eine Ernte zu diesem Termin lässt also keine gleichzeitige Samennutzung im Faserleinanbau zu. Deshalb sind in vorliegender Untersuchung die Veränderungen zwischen Stroh- und Kapselreife analysiert worden. Bezogen auf die Einzelzelle steigt bis zum Ende der Strohreife der Zelldurchmesser und sinkt danach wieder ab (Abb. 9). Die Verringerung des Zelldurchmessers zum Ende der Kapselreife hängt mit der Strohtrocknung zusammen, der zunehmende Trockenmasseanteil zwischen Stroh- und Kapselreife führt zur Schrumpfung der Zellen (Abb. 5). Der Trockenmasseanteil im Leinstroh steigt jedoch in Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen nicht über 50% an, so dass sich auch bei einer Ernte zur Kapselreife eine Strohtrocknung anschliessen muss.

Qualitative Veränderungen zwischen Stroh- und Kapselreife sind bezüglich der Wasseraufnahme der Faserbündel festzustellen. Die Wasserdampfaufnahme sinkt ab. Nach MIECK et al. (1993) ist diese Veränderung positiv im Hinblick auf den Einsatz der Fasern in Verbundwerkstoffen zu bewerten, da dadurch ein engerer Verbund zwischen Faser und Matrix gefördert wird. Zu erklären ist die geringere Wasserdampfaufnahme durch die bei späterer Ernte vorliegenden größeren Bündel mit dickeren Zellwänden und geringeren Lumenanteilen (Abb. 8, 9).

Bei den mechanischen Eigenschaften der Fasern sind zwischen Ernteterminen und Umwelten und Sorten Wechselwirkungen aufgetreten, die keine eindeutige Aussage über die Veränderungen im Abreifeverlauf ermöglichen (Abb. 9). Ein Zusammenhang zwischen den umweltbedingten Unterschieden in der Verfärbung der Stängel (Abb. 3) und der Qualität der untersuchten Fasern ist nicht festzustellen. Während in Umwelt 1 die Stängel bis zur Kapselreife weitgehend grün blieben, konnte in Umwelt 2 die typische Gelbverfärbung parallel zur Entblätterung der Stängel beobachtet werden. Die Bündel aus der Ernte der Umwelt 2 sind zwar etwas zugfester als die Bündel der Ernte aus Umwelt 1; dies hängt aber eher mit dem Bündeldurchmesser zusammen, der jedoch auf die Stängelverfärbung keinen Einfluss hat. Es ist also fraglich, ob über die Analyse der Stängelfarbe in jedem Jahr eine Aussage über Reife und Qualität der Fasern möglich ist. Entscheidend ist zur Bewertung der Determinierung des Erntezeitpunktes, dass, wie auch schon in früheren Untersuchungen gezeigt wurde (SCHEER-TRIEBEL et al. 1997b), keine Verschlechterung der Qualitätseigenschaften zwischen Stroh- und Kapselreife nachzuweisen ist , die für eine Ernte vor der Kapselreife spricht. Somit ist durch eine gegenüber der textilen Nutzung späteren Ernte durchaus eine gleichzeitige Nutzung von Stroh und Samen möglich.

Danksagung

Die Untersuchungen sind in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landtechnik in Bonn durchgeführt worden. Dort wurde die Methodik zur Bewertung des technisch nutzbaren Faseranteils und der mechanischen Stoffeigenschaften entwickelt. Herr Wuzel hat die Flächen in Vettelhoven dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Frau C. Dorn, Frau U. Schulze-Allen und Frau M. Hahn sei für die hervorragende technische Betreuung der Untersuchungen gedankt. Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (HE 362/57-1) unterstützt.

Literatur

AHMED, M., N. A. JAMIL & M. A. SAEED, 1982: Nitrogen, lignin, wax and ash contents in flax (*Linum usitatissimum* L.). Pak. J. Agric. Res. **3** (2), 78–83.

AHMED, M., N. A. JAMIL & M. A. SAEED, 1984: Quality characteristics of various flax (*Linum usitatissimum* L.) fibres as affected by maturity. Pak. J. Agric. Res. **5** (1), 18–22.

BECKMANN, A., 1998: Methoden zur Messung physikalischer Eigenschaften von Industriefaser-Lein (Flachs) und damit verstärkten Kunststoffen. Diss. Aachen.

BUNDESSORTENAMT, 1968: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen, Verlag Alfred Strothe.

CHESSON, A, 1979: A laboratory method for the determination of fibre content of linen flax. N. Zeal. J. Agric. Res. **22**, 43–46.

CROZIER, M. N, 1950: Microscopic examination of the sectioned stem of linen flax. Part II: Examination of quality factors and their correlation with commercial grading. N. Zeal. J. Sci. Tech. **31** (6), 23–30.

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.

EGGERSDORFER, M. & L. LAUPICHLER, 1994: Technische und wirtschaftliche Kriterien für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie. Schriftenreihe des BML. Reihe A: Angewandte Wissenschaft. Tagungsband, 3. Symposium Nachwachsende Rohstoffe – Perspektiven für die Chemie, 4./5. 5. 1994 in Monheim, 56–71.

EGGLHUBER, E., 1943: Die Bedeutung der Saatstärke und Bestandesdichte für die morphologischen und anatomischen Eigenschaften des Leinstengels. J. Landw. **89** (2), 112–122.

FRANKEN, S., 1998: 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.

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.

HEYLAND, K.-U. & H.-J. KOCHS, 1978: Varianzstatistische Testung mehrfaktorieller pflanzenbaulicher Versuche. Z. Acker- und Pflanzenbau **146**, 109–119.

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 **18**.

HOFFMANN, W., 1961: Lein, *Linum usitatissimum* L. In: ROEMER, TH. & W. RUDORF: Handbuch der Pflanzenzüchtung. 2. Aufl., Bd. V, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.

KEIJZER, P., 1989: Synchronisation of fibre and grain maturation of flax (*Linum usitatissimum* L.). In: MARSHALL, G: Flax: Breeding and Utilization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

KEIJZER, P. & P. METZ, 1992: Breeding of flax for fibre production in Western Europe. In: SHARMA, H. S. S. & C. F. VAN SUMERE: The Biology and Processing of Flax. M. Publications, Belfast, 33–66.

KESSLER, R. W. & A. BLUME, 1991: Neue Aspekte zur Qualitätsbeurteilung von Flachs. In: Vorträge zum Statusseminar Flachs – ein nachwachsender Faserrohstoff, Bonn, 29–39.

MC DOUGALL, C. J, 1991: Cell wall assoziated peroxidases and lignification during growth of flax fibres. J. Plant Physiol. **139**, 182–186.

MENZEL, K. C., 1961: Beitrag zum Ligninproblem bei Flachs- und Hanffasern. Faserforschung und Textiltechnik **12** (1), 18–22.

MEIJER, W. J. M., J. VAN HEEMST, K. B. A. BODLAENDER, M. V. D. WAART & H. G. SMID, 1989: The development and maturing of flax. In: MARSHALL, G.: Flax: Breeding and Utilization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 58–60.

MEIJER, W. J. M., 1995: The pectin content as a measure of the retting and rettability of flax. Industrial Crops and Products **4** (4), 273–284.

MIECK, K.-P., A. NECHWATAL & C. KNOBELSDORF, 1993: Eigenschaften und Oberflächenmodifizierung von Flachsfasern für Verbundwerkstoffe. Statusseminar „Flachs“, 15./16. 11. 1993 in Leipzig, 274–290.

MÜLLER, W., 1940: Welchen Einfluss üben Aussaatstärke und Stengelstärke auf die Flachsfaser aus? Faserforschung **5** (4), 239–255.

SCHEER-TRIEBEL, M., E. KRUKELMANN & K.-U. HEYLAND, 1997 a: Leistungspotentiale eines zur technischen Faserverwertung bestimmten Doppelnutzungsleins (*Linum usitatissimum* L.) in Abhängigkeit von Genotyp und Saatstärke. Angew. Bot. **71**, 24–30.

SCHEER-TRIEBEL, M., KRAUME, S., FRANKEN, S. & K.-U. HEYLAND, 1997 b: 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.

SCHEER-TRIEBEL, M., H. von FRANCKEN-WELZ, K.-U. HEYLAND & J. LÉON, 1999 a: Leistungs- und Qualitätspotentiale von Lein und Vergleich zu Hanf und Nessel. Arbeiten aus dem Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität **28**, 22–38.

SCHEER-TRIEBEL, M., K.-U. HEYLAND & J. LÉON, 1999 b: Bewertung der Anbausysteme Öllein, Faserlein und Industriefaserlein im Hinblick auf die Doppelnutzung von Fasern und Samen. UVOP-Schriftenreihe, Heft 14: Öl- und Faserpflanzen. Neue Wege in die Zukunft, 179–184.

SHARMA, H. S. S, 1986: Effect of glyphosate treatment on lignification of fibres of some flax cultivars. Ann. Appl. Biol. Suppl. **109** (7), 605–611.

TOBLER, F., G. BREDEMANN, G. OPITZ, K. GJABOFF & E. SCHILLING, 1928: Der Flachs als Faser- und Ölpflanze. Springer Verlag, Berlin.

Eingegangen am 31. Mai 2000;
angenommen am 28. August 2000

Anschrift der Verfasser:
Dr. Monika Scheer-Triebel, Prof. Dr. Dr. h.c. (PL) Klaus-Ulrich Heyland, Prof. Dr. Jens Léon, Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau, Professur für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Katzenburgweg 5, D-53115 Bonn