

(Aus dem Institut für Pflanzenbau, Lehrstuhl für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität Bonn)

Zur Eignung verschiedener Produktionsverfahren für die Nutzung eines zur Kurzfasergewinnung geeigneten Leins

Von K.-U. HEYLAND und B. KÄMMERLING

(Mit 9 Abbildungen)

Zusammenfassung

Eine Ausdehnung des Leinanbaus erscheint hierzulande nur im Rahmen einer absehbaren Nutzungsänderung der Leinpflanze von der textilen Langfaser zur technischen Kurzfaser möglich. Neue Verwertungen erfordern dabei eine gleichzeitige Nutzung aller Pflanzenteile, insbesondere aber des Faser- und Samenertrages. Im besonderen Hinblick auf die technische Verarbeitbarkeit müssen dazu angepaßte pflanzenbauliche Verfahren entwickelt werden.

Mit dem Ziel, entsprechende Merkmale zur Ertragsleistung und Qualität verschiedener Anbau- und Ernteverfahren sowie unterschiedlicher Sortentypen zu erfassen und zu bewerten, wurden auf der Materialgrundlage von zweijährigen Feldversuchen auf dem Versuchsgut Dikopshof (1986 und 1987) Untersuchungen zur Frage von Leistungsmerkmalen des Leins und dessen Stengelaufbau durchgeführt.

Die Versuchsanlage umfaßte neben der Jahresvarianz die Faktoren Sorte, Düngung, Behandlung mit Wachstumsreglern sowie Ernteverfahren und Erntetermin. Unter Beachtung der vorgegebenen Rahmenbedingungen führen die Ergebnisse zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Der Faserertrag unterliegt jahresabhängigen, wechselseitigen Beziehungen zwischen Sorte und Stickstoffdüngung. Dennoch wird für den Anbau von Lein zur Kurzfasergewinnung unabhängig vom N_{\min} -Wert im Frühjahr eine generelle N-Startdüngung in Höhe von 25 bis 30 kg/ha empfohlen. Während der Einsatz von Wachstumsreglern kaum eine Wirkung auf den Faserertrag zeigt, wird der bereinigte Samenertrag des Leins durch gezielten Einsatz von Wachstumsreglern, insbesondere CCC, positiv beeinflusst.
- Hinsichtlich des Gesamtertrages an Fasern und Samen ist aus dem Verfahrensvergleich abzusehen, daß sich die Grünflachsbeerntung gegenüber der Feldröste und dem chemischen Aufschluß im Feldbestand (mit Glyphosat) durchsetzen wird. Es ist dabei zu bedenken, daß ein dem Mähdrusch vergleichbares Schnittverfahren im Gegensatz zur herkömmlichen Raufe Stoppel- und damit Faserverluste bis zu 25 % verursachen kann.
- Eine Beerntung zum Termin der Strohrefeife, also zwischen Faser- und Kapsel-

reife, ist ohne Einbußen des Gesamtertrages aus Fasern und Samen möglich. Der Kombinationslein liefert dabei unabhängig vom Jahr gleichmäßige Gesamterträge, während die Faserleine auf ungünstige Witterung empfindlicher reagieren.

- Von den geprüften Sorten zeigte der Produktionstyp Belinka im Vergleich zum Qualitätstyp Ariane und dem Kombinationstyp Liflora die höchste Ertragssicherheit. Die Kombination dieser Sorte mit einer mittleren Düngintensität und dem Einsatz von CCC stellt das sicherste Anbauverfahren dar.
- Bezüglich des Grades der Faserfreilegung bestehen nach der mechanischen Entholzung Sortenunterschiede, die bis zu 5 % Anteil von Begleitstoffen in der Rinde ausmachen können.

Schlüsselworte: Lein, Produktionsverfahren, Kurzfaser, Ertrag, Qualität.

The suitability of various production-techniques for the utilization of flax adapted to short-fibre production

Summary

An extended flax cultivation in Germany appears to be possible only within a visible change of utilization from textile long-fibre to a technically used short-fibre. Emphasizing the yield of fibre and linseed, any different utilization demands a simultaneous use of all plant-components. With main attempt to technical processing, adapted technologies of plant production have to be developed.

Based on two-year field-trials (1986 and 1987) at the experimental station Dikopshof, studies of the flax plant and its stem-morphology have been made to find features of yield and quality in regard to different varieties as well as techniques of production and harvest.

The experiments covered a variation of year, variety, fertilization, growth-regulators, harvest-technique and date of harvest. The results can be concluded as follows:

- Fibre-yield is affected by a mutual relation of year, variety and nutrition of nitrogen. However, a starting-supply of 25 to 30 kg/ha nitrogen in spring can generally be recommended.
- The application of growth-regulators shows hardly any affection to fibre-yield, but positive results concerning the yield of linseed can be found especially with CCC.
- Concerning the total yield of fibre and linseed, the method of harvesting unretted green-flax proved to be better than dew retting and chemical pre-harvest retting (with Glyphosate). Notably, a cutting technique, like combine harvesting, causes losses of straw and fibre up to 25 %, compared to the conventional pulling-technique.
- Harvesting at the date of straw-ripeness, that is to say in between the stages of green (fibre) and full (capsule) ripeness, is possible without losses of total yield of fibre and linseed. A dual-purpose flax reached constant yield in both years, whereas the fibre-flax varieties were highly affected by the weather conditions.
- Compared to the quality-typed variety "Ariane" and the dual-purpose-type "Liflora", the production-type "Belinka" resulted in the highest reliability of

yield. In combination with a medium level of N-supply and the application of CCC, this variety enabled for the safest crop-management.

- Concerning the grade of fibre-release after mechanical processing (delignification), differences up to 5 % of secondary substances can be found in the cortex.

Key-words: flax, production system, short fibre, yield, quality.

1. Einleitung und Problemstellung

Trotz anhaltend hoher Wertschätzung von Leinengeweben wurde der Lein (*Linum usitatissimum* L.) in den letzten 200 bis 300 Jahren im textilen Bereich von der importierten Baumwolle und zunehmend auch von synthetischen Fasern verdrängt, weshalb der Lein in Deutschland nur noch in wirtschaftlichen Krisenzeiten anbauwürdig erschien. Auch die heutigen Bemühungen zur Wiederbelebung des Leinanbaus sind vor dem Hintergrund einer anhaltenden Überschußproduktion im Nahrungssektor zu sehen. Dennoch hat der Lein als vielseitige Kultur mit günstiger Fruchtfolgewirkung innerhalb des angestrebten Industriepflanzenanbaus gerade in einer Zeit neuen Ökologiebewußtseins einen hohen Stellenwert.

Nach der Stilllegung der Flachsproduktion vor drei Jahrzehnten erfolgt zur Zeit auf einer jährlichen Anbaufläche von etwa 2500 ha (PREETZ 1989) eine bundesweite Wiedereinführung des konventionellen Flachsbaus zur Gewinnung hochwertiger langer Fasern. Aufgrund fehlender technologischer Weiterentwicklungen wird zur Ernte das Verfahren der witterungsabhängigen Feldröste (=Tauröste) mit anschließender Aufarbeitung zu Schwungflachs, das heißt der im Schwingereibetrieb gewonnenen sekundären Langfaser, praktiziert. Die Gewinnung der technisch nutzbaren Leinsamen steht dabei im Hintergrund, während gleichzeitig der Anbau spezieller Ölleinsorten zur Samengewinnung ebenfalls diskutiert und gefördert wird.

Heutige Berechnungen zur Rentabilität sowohl der Faser- als auch der Ölleinproduktion zeigen jedoch auf, daß allein witterungsbedingte Risiken eine kostendeckende Produktion trotz beträchtlicher Subventionen in Frage stellen und somit den Anbau existenziell gefährden. Trotz des hohen Images der Leinfaser und einer trendmäßig lebhaften Nachfrage nach Leinenprodukten steht für den konventionellen Flachsbaubau im Bundesgebiet außerdem nur ein beschränktes Marktpotential von etwa 5000 t Schwungflachs pro Jahr zur Verfügung. Eine langfristige Etablierung des Leinanbaus erscheint daher nur möglich, wenn innerhalb veränderter Produktionsrichtungen und -technologien das vorhandene Anbaupotential beträchtlich vergrößert wird.

Diesbezüglich wird heute vor allem der primären Kurzfaser, das heißt der elementaren bzw. technisch elementarisierten (cottonisierten) Faser mit einheitlicher Stapellänge, am ehesten ein ausreichendes Absatzpotential eingeräumt. Die Annahmen über den möglichen Absatz derartig aufbereiteter Fasern reichen bis über 100.000 ha jährlicher Anbaufläche in der Bundesrepublik. Der Samengewinnung kommt dabei wegen des verhältnismäßig hohen Saatgutbedarfes und des wachsenden Bedarfs der hiesigen Öllindustrie eine wichtige Bedeutung zu.

Die vorliegenden Untersuchungen sollen einen Beitrag zu der Frage leisten, ob sich die traditionelle Methodik des Anbaus zur Langfaserproduktion auf die kombinierte Nutzung des gesamten Faseraufkommens und des Samenertrages umorientieren läßt, wobei der Frage nach dem geeigneten Sortentyp, wie schon von SCHWANTZ (1954) angeregt, besondere Aufmerksamkeit zukommt. In Anbetracht der besonderen Problematik der Stickstoffversorgung (BRENNDÖRFER und

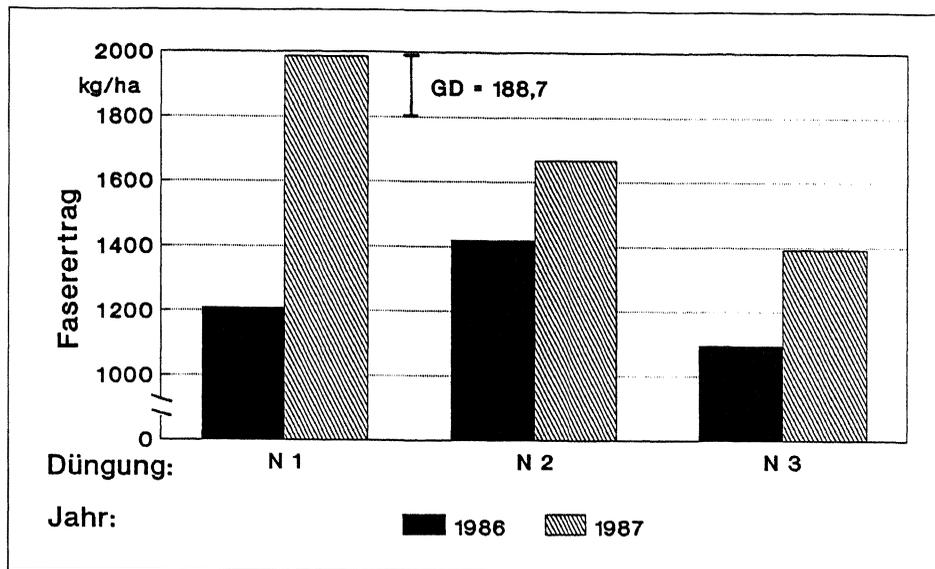


Abb. 1: Der Faserertrag in Abhängigkeit von Jahr und Düngung (Mittel über drei Behandlungen und drei Sorten)

Tabelle 2

Der bereinigte Strohertrag, Gesamtfasergehalt und Faserertrag in Abhängigkeit von Düngung und Sorte (Mittel über zwei Jahre und drei Behandlungen)

Sorte:	Ariane			Belinka			Liflora		
	N 1	N 2	N 3	N 1	N 2	N 3	N 1	N 2	N 3
bereinigter Strohertrag (dt/ha) (n. s.):	79,0	83,9	79,4	71,2	77,0	85,6	68,7	76,8	79,2
Gesamtfasergehalt (%) (GD 5 % = 2,56):	24,63	21,20	14,16	22,07	20,52	18,02	17,71	16,58	13,48
Faserertrag (kg/ha) (GD 5 % = 231,3):	1971	1792	1128	1596	1568	1537	1223	1270	1065

Während der düngungsbedingte Ertragsrückgang bei Ariane gleichermaßen mit einer Abnahme der Faseranteile einhergeht (Tab. 2), kompensiert Belinka die bei steigender Düngung abnehmenden Fasergehalte mit höherem Strohaufkommen. Der Kombinationslein wiederum fällt sowohl beim Fasergehalt als auch beim Faserertrag erst in der N 3-Stufe stärker ab.

Der Einfluß der Behandlungen auf den Faserertrag blieb dagegen nicht signifikant. Trotz höherer Stroherträge führte die Ethephonbehandlung zwar zu statistisch gleichen, tendenziell sogar besseren Fasergehalten, jedoch verhindert die Verringerung des Anteils technisch nutzbaren Stengels am Gesamtstengel (Abb. 2) eine Erhöhung des Faserertrages durch Ethephon. Die verringerten Anteile technisch nutzbaren Stengels gehen dabei mit einer Kürzung der absoluten technischen Stengellänge durch die Behandlungen einher.

Auch beim Samenertrag kann der Einfluß des Sortentyps nicht unabhängig vom Jahr betrachtet werden. Der Abbildung 3 ist zu entnehmen, daß dem Produktionstyp 1987 die bessere Standfestigkeit in bezug auf den Samenertrag zugute kam. Andererseits wird deutlich, daß der Kombinationslein dennoch ein

HUMMELT 1986, FABIAN 1928, JAHN-DEESBACH 1965) werden Anbauverfahren sowohl nach der N-Düngung als auch, aufbauend auf Untersuchungen von BODLAENDER und VAN DER WAART (1973, 1975), nach dem Einsatz von Wachstumsregulatoren variiert, um pflanzenbauliche Möglichkeiten zur Reaktion auf neue Produktionsanforderungen und zur Erhöhung der Ertragssicherheit aufzuzeigen.

Mit der Erprobung verschiedener Ernteverfahren und der Entholzung von grün geerntetem Flachs sollen Alternativen für den witterungsabhängigen Faseraufschluß durch die Feldröste erforscht werden. In diesem Zusammenhang soll gleichzeitig die Abstimmung auf einen geeigneten Erntetermin erfolgen.

2. Material und Methoden

Die durchgeführten Untersuchungen und Auswertungen erfolgten auf der Grundlage von zwei mehrfaktoriellen Feldversuchen, die in den Jahren 1986 und 1987 auf dem Versuchsgut Dikopshof des Instituts für Pflanzenbau der Universität Bonn in zweifacher Wiederholung angelegt wurden. In einem Ertragsversuch wurden die Faktoren Sorte, Düngung und Behandlung mit Wachstumsregulern geprüft:

Faktor Sorte (3 Stufen):

Die Abstufung bei der Sortenwahl hatte eine Differenzierung nach unterschiedlichen Leistungstypen zum Ziel. Mit Blickrichtung auf eine vielseitige Kombinationsnutzung des Leins wurde deshalb neben reinen Faserleinen auch ein Kombinationstyp mit in die Untersuchungen aufgenommen:

Ariane, Faserlein aus französischer Züchtung = Qualitätstyp

Belinka, Faserlein aus holländischer Züchtung = Produktionstyp

Liflora, Kombinationslein aus deutscher Züchtung = Kombinationstyp

Faktor Düngung (3 Stufen):

Mit dem Ziel, eine Abstufung zwischen knappem N-Angebot, guter N-Versorgung und einer unter Normalbedingungen übertersorgten N-Stufe zu schaffen, wurden die Düngungsstufen folgendermaßen angelegt:

N 1 = minimierte Stickstoffdüngung unterhalb des N_{soil} -Wertes

(entspricht der Stufe N 2 - 25 kg/ha N)

N 2 = optimale Stickstoffversorgung

N 3 = gesteigerte Stickstoffdüngung oberhalb N_{soil}

(entspricht der Stufe N 2 + 25 kg/ha N)

Anhand dieser Vorgaben wurde die mineralische Düngung in den einzelnen Stufen unter Berücksichtigung der N_{min} -Werte im Frühjahr wie folgt durchgeführt:

Tabelle 1

Durchgeführte N-Düngungsmaßnahmen im Anbauversuch

	N-Düngung	
	1986	1987
N_{min} vor Saat:	56 kg/ha N	10 kg/ha N
N 1	± 0 kg/ha N	+ 30 kg/ha N
N 2	+ 25 kg/ha N	+ 55 kg/ha N
N 3	+ 50 kg/ha N	+ 80 kg/ha N

Die mengenmäßige Bestimmung der Rinden- und Faseranteile erfolgte in mehreren Arbeitsschritten:

Zur Entholzung des Stengelmaterials diente ein eigens für die labormäßige Aufarbeitung konstruierter Knickwalzensatz aus Gußeisen. Die Einstellung der Knickwalzen erfolgte auf einen Verzahnungsabstand von etwa 2 mm. Nach der Einwaage einer Probe von entkapselten Gesamtstengeln wurden in den folgenden Aufarbeitungsschritten zunächst die Wurzeln und Verzweigungen entfernt. Anschließend wurden die verbleibenden Stengelteile in mehreren Durchgängen mit den Brechwalzen entholt und von Hand gesäubert. Die verbleibende entholtzte Rinde wurde schließlich zur Faserfreilegung in Anlehnung an eine von BREDEMANN (1922) entwickelte und von HEMKER (1989) modifizierte Methode mit 1,5%iger NaOH ausgekocht. Bei der Ermittlung des Fasergehaltes im Gesamtstengel blieben die geringen Fasermengen aus dem Verzweigungsanteil vernachlässigt.

Die in den Abbildungen aufgeführten Grenzdifferenzen (GD) beziehen sich auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zum Einfluß von N-Düngung und Wachstumsreglern sowie Ernteverfahren und -termin auf den Ertrag verschiedener Sorten

Die unterschiedlichen Witterungsverläufe der beiden Versuchsjahre (s. o.) führten im Jahre 1987 zu einem gegenüber 1986 stark verlangsamten, aber letztlich höheren Wuchs des Leins. Während 1986 die Witterung zu einem geringeren Massewuchs und schnellerer Abreife führte, bestanden 1987 solche Verhältnisse, unter denen eine unkontrollierte, eher übermäßige Stickstoffversorgung der Pflanzen erfolgte. Obwohl bei der Düngung die Faktorstufen nicht als standardisierte Düngegaben, sondern jeweils in Anlehnung an die erwartete, jahresabhängige Stickstoffmobilisation als N-Angebot festgelegt wurden (Tab. 1), stellt daher die Interaktion Jahr \times Düngung eine maßgebliche und für die Interpretation wichtige Einflußgröße dar.

Hinsichtlich der Stickstoffdüngung zeigte sich, daß in beiden Versuchsjahren eine zeitige Startdüngung neben einem zügigeren Jugendwachstum, einer günstigen Stengelausbildung und zeitiger Faserreife auch den Faserertrag gefördert hat. Wie aus der Tabelle 1 sowie der Abbildung 1 hervorgeht, waren dies 1986 die N 2-Stufe und 1987 die „minimierte“ N 1-Variante.

Sofern keine weitere organische Düngung erfolgt, kann daher unabhängig von weiteren Einflußgrößen eine Startdüngung von 25 bis 30 kg/ha N für den Leinanbau empfohlen werden. Diese Aussage widerspricht den bekannten, bei 0 bis 60 kg/ha liegenden Düngeempfehlungen (SULTANA 1983) zum Faserleinanbau dahingehend, daß der N_{\min} -Wert hier weniger Beachtung findet und bestenfalls das Nachlieferungsvermögen eines Bodens beachtet werden sollte.

Unabhängig von diesen jahresbedingten Düngungseffekten geht aus dem gleichen Versuch eine unterschiedliche Anpassungsfähigkeit der Sortentypen an variierte Düngermengen hervor (Tab. 2). Neben dem besonders starken Abfall des Faserertrages beim Qualitätstyp Ariane bei hoher Düngung und den ausgeglichenen Fasererträgen der Sorte Belinka (Produktionstyp) ist weiterhin bemerkenswert, daß der Kombinationstyp Liflora in der mittleren N-Stufe trotz der deutlichen Unterlegenheit zu den Faserleinen verhältnismäßig günstige Fasererträge liefert.

Die Düngung erfolgte mit Kalkammonsalpeter, wobei alle Parzellen zur Saat auf das Niveau der N 1-Stufe gedüngt wurden. Auf den N 2- und N 3-Varianten erfolgten weitere Teilgaben von je 25 kg/ha N in etwa zweiwöchigen Abständen.

Faktor Behandlung (3 Stufen):

Neben der Kontrollvariante wurden die Wirkstoffe Ethephon und CCC als Wachstumsregler in beiden Versuchsjahren bei etwa 30 bis 40 cm Wuchshöhe eingesetzt:

unbehandelt = Kontrolle

Ethephon (Wirkstoffmenge: 0,72 kg/ha)

CCC (Wirkstoffmenge: 0,92 kg/ha Chlormequatchlorid + 0,07 kg/ha Cholinchlorid)

In einem weiteren Versuch (Ernterversuch) wurden die gleichen Sorten zu unterschiedlichen Ernteterminen mit unterschiedlichen Ernteverfahren beerntet. Die Düngung im Ernterversuch erfolgte 1986 entsprechend der N 1-Stufe des Anbauversuches, 1987 entsprechend der N 2-Stufe (Tab. 1).

Faktor Erntetermin (3 Stufen):

Als mögliche Erntetermine wurden folgende drei Reifestadien festgelegt:

T 1 = Faserreife, Erntetermin zur Langfasergewinnung, Stengel noch grün, Blätter bis zur Stengelmittle abgefallen, Kapseln grün

T 2 = Strohrefe, Stroh ausgereift, Blätter abgefallen, Stengel gelb, beginnende Kapselverfärbung

T 3 = Kapselreife, Vollreife bzw. Samenreife, Kapseln braun, Samen von der Fruchtwand gelöst

Faktor Ernteverfahren (4 Stufen):

Die Abstufung des Versuchsfaktors Ernteverfahren beinhaltet eine Gegenüberstellung neu zu erprobender Ernteverfahren mit der zur Zeit in Westeuropa überwiegend eingesetzten Feld- bzw. Tauröste:

Feldröste = Raufen mit anschließendem Aufschluß des Stengels durch Feldröste

Grünflachsraufe = Raufen mit anschließender Bergung des angetrockneten Erntegutes nach einem Tag ohne Feldröste

Chemischer Aufschluß = Chemische Behandlung des Feldbestandes zum Blühende mit Glyphosat (Wirkstoffmenge: 1,44 kg/ha), Raufen und anschließende Bergung des Erntegutes ohne weitere Feldröste

Grünflachsschnitt = Schneiden am Stengelgrund (Stoppellänge ca. 5 cm) und anschließende Bergung des angetrockneten Erntegutes nach einem Tag ohne Feldröste

Die Aussaat der Versuche erfolgte am 24. 4. 1986 bzw. am 7. 4. 1987, jeweils mit einer Saatstärke von 2000 keimfähigen Samen/m². Die Vegetationsperioden der beiden Versuchsjahre unterschieden sich in deutlichem Maße hinsichtlich der Niederschlagsmengen und Temperatursummen. Nach niedrigen Temperaturen und hohen Niederschlägen bis einschließlich April war das Jahr 1986 im Vergleich zum langjährigen Mittel in den Folgemonaten trocken und warm, was insbesondere im Juni zu einer Wassermangelsituation führte. 1987 hingegen lagen die Niederschläge im April bei überdurchschnittlichen Temperaturen niedriger, wodurch eine frühere Saat im zweiten Jahr möglich war. Die Folgewitterung war jedoch kühl und von überdurchschnittlichen Niederschlägen vor allem in den Monaten Juni und Juli geprägt.

Neben dem Strohertrag wurden bei der Aufarbeitung des Erntegutes folgende, für die Diskussion relevante, Merkmale erfaßt:

Technische Stengellänge, Anteil des technischen Stengels am Gesamtstengel, Gesamtfasergehalt, Fasergehalt in der Rinde, Faserertrag, Samenertrag.

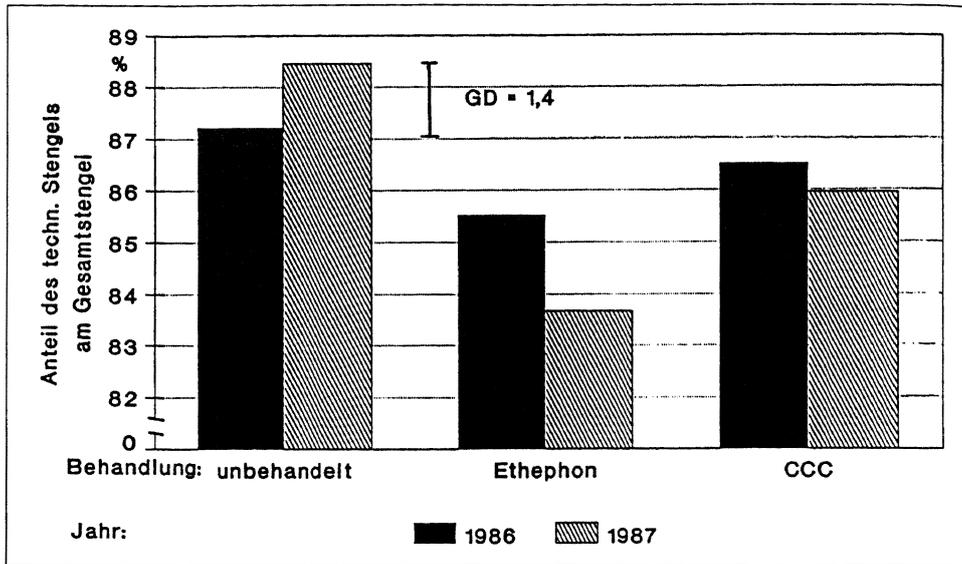


Abb. 2: Der Anteil des technischen Stengels am Gesamtstengel in Abhängigkeit von Jahr und Behandlung (Mittel über drei N-Stufen und drei Sorten)

überlegenes Samenertragspotential besitzt, welches aber 1987 nicht realisiert werden konnte. Dies zeigt wiederum differenzierte Ansprüche der einzelnen Sorten an die Bestandesführung an.

Im Gegensatz zu den Fasererträgen schlägt sich der Behandlungseinfluß bei den Samenerträgen sehr deutlich nieder. Neben einer gesicherten Hauptwir-

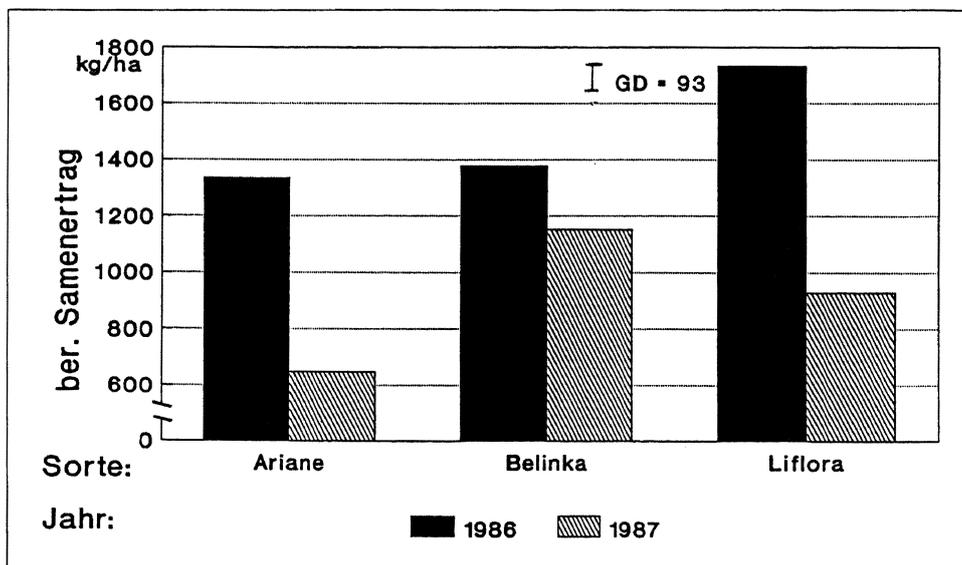


Abb. 3: Der bereinigte Samenertrag in Abhängigkeit von Jahr und Sorte (Mittel über drei N-Stufen und drei Behandlungen)

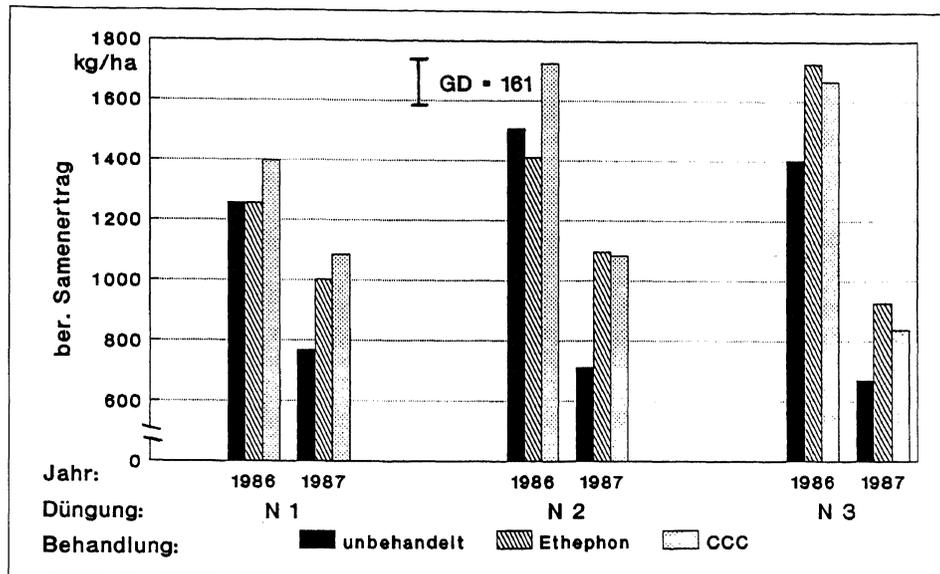


Abb. 4: Der bereinigte Samenertrag in Abhängigkeit von Jahr, Düngung und Behandlung (Mittel über drei Sorten)

kung Behandlung ist aus der höheren Interaktion Jahr \times Düngung \times Behandlung (Abb. 4) zu ersehen, daß 1986 in allen Düngungsstufen CCC und in der N 3-Variante auch Ethephon den bereinigten Samenertrag erhöhen. 1987 sind bei niedrigerem Ertragsniveau beide Behandlungen in allen N-Stufen überlegen. Tendenziell verbessert Ethephon den Samenertrag gegenüber CCC bei überhöhter N-Versorgung.

Anhand der mittleren Fasererträge der einzelnen Ernteverfahren (Tab. 3) wird deutlich, daß bei der Grünflachsraufe und insbesondere beim Grünflachsschnitt mit Verlusten gegenüber der Feldröste gerechnet werden muß. Die mechanische Beanspruchung des Stengels beim Entholzungsvorgang führt demnach bei Grünflachs zu Faserverlusten infolge anhaftender Faserbruchstücke an den Schäben, die bei vorhergehender Feldröste nicht auftreten. Hier führt der doppelte Aufschluß durch Röste und anschließende NaOH-Kochung zwar möglicherweise zu einer stärkeren Auflösung des Faserverbundes, jedoch nicht zum Verlust der Faser selbst. Das Verfahren des chemischen Aufschlusses führt gegenüber den anderen Raufevarianten ebenfalls zu Mindererträgen. Aus der Tabelle 3 geht weiter hervor, daß die Faserausbeuten der einzelnen Verfahren sehr stark durch die Sorten modifiziert werden.

Abgesehen von der Abstufung der Ernteverfahren zu Ungunsten des chemischen Aufschlusses und des Schnittverfahrens liefert der standfestere Produktionstyp bei chemischem Aufschluß des Bestandes ebenfalls gute Fasererträge. Hier stehen die anderen Sortentypen sowohl im prozentualen Faseranteil als auch im Ertrag zurück. Als Ursache hierfür sind demnach Unterschiede in der physiologischen Reaktion der Sorten anzunehmen. Während EASSON (1984) nach Versuchen in Nordirland sortenabhängige Reaktionen auf Glyphosat im Feldbestand erkannte, waren derartige äußerliche Effekte am vorliegenden Material allerdings nicht feststellbar. Vielmehr ist anzunehmen, daß geringfügige Unter-

Tabelle 3

Der Faserertrag und -gehalt bei verschiedenen Sorten und Ernteverfahren (Mittel über zwei Jahre)

Sorte:	Ariane	Belinka	Liflora	\bar{x}
Grünflachsraufe-Strohertrag dt/ha:	76,1	70,1	82,2	76,1
	Faserertrag (Fasergehalt im Gesamtstengel)			
Ernteverfahren:	kg/ha (%)	kg/ha (%)	kg/ha (%)	kg/ha (%)
Feldröste	1801 (24,9)	1607 (24,2)	1289 (19,6)	1565 (22,9)
Grünflachsraufe	1501 (21,1)	1497 (22,1)	1335 (17,2)	1444 (20,1)
chem. Aufschluß	1379 (22,6)	1480 (23,3)	1162 (20,1)	1340 (22,0)
Grünflachsschnitt	1350 (22,7)	1115 (22,1)	1031 (19,9)	1165 (21,6)

schiede im Reifezustand der Sorten bei gleichzeitigem Applikationstermin entscheidenden Einfluß auf die Glyphosatwirkung hatten.

Weiterhin ist aus der Tabelle 3 anhand der Fasergehalte und insbesondere in Anlehnung an die Grünflachsstroherträge zu ersehen, daß der Produktionstyp mit den Verfahren „Grünflachsraufe“ und „chemischer Aufschluß“ bei deutlich geringerem mittleren Strohaufkommen eine höhere Ausbeute liefert, die wiederum für die Wirtschaftlichkeit der weiteren Aufarbeitung von Bedeutung ist.

Beim Schnitt von Grünflachs sind verfahrensbedingte Stroh- und Faserverluste durch die verbleibenden Stoppeln unumgänglich. Dieser anteilige Stoppelverlust ist dabei nicht zu unterschätzen, denn entgegen anderslautenden Ergebnissen von LEUTSCHER (1989), der die Ertragsverluste durch den Schnitt bzw. Drusch von Lein auf etwa 3 % beziffert, ergaben die eigenen Untersuchungen beim Schnittverfahren mittlere Faserertragseinbußen von über 19 % gegenüber der Grünflachsraufe. Der Ertragsvergleich dieser beiden Verfahren in Tabelle 3 läßt gleichzeitig erkennen, daß sich für einen Einsatz des Schnittverfahrens am ehesten der hochwachsende Qualitätstyp eignet, denn hier liegen die anteiligen Stoppelverluste mit etwa 10 % relativ niedrig. Bei den anderen Sorten führt allein die niedrigere Wuchshöhe zu enormen anteiligen Stengelverlusten, die den Faserertrag um etwa 23 bis 25 %, das heißt mehr als 300 kg/ha mindern. Dies wird auch von SULTANA (1989) als wirtschaftlicher Grund für den Fortbestand der konventionellen Rauftechnologie angesehen. Als generelle Verfahrensalternative zur Feldröste kommt in bezug auf die Fasererträge nur eine Grünflachsraufe mit anschließender mechanischer Entholzung in Betracht, da dieses Verfahren gemessen an der Feldröste die geringsten Einbußen verursacht.

Hinsichtlich des Samenertrages stellt sich die Vorzüglichkeit der Verfahren in Abhängigkeit von der Sorte anders dar. In der Tabelle 4 wird als mögliche Ertragsausbeute die beste Variante, das heißt der mittlere bereinigte Samenertrag des Kombinationstyps Liflora beim Verfahren der Grünflachsraufe, angesetzt (rel. = 100).

Wegen der Bedeutung für eine hohe Wertschöpfung z. B. bei der Saatgutproduktion ist hinsichtlich des bereinigten Samenertrages ein Verfahren einzusetzen, welches insbesondere die Keimfähigkeit erhält. Der chemische Aufschluß kann diese Anforderungen nicht erfüllen, zumal selbst bei dem hier vorgenommenen späten Wirkstoffeinsatz der Ertrag möglicherweise den Aufwand der Gewinnung kaum rechtfertigt (Tab. 4).

Tabelle 4

Der bereinigte Samenertrag in Abhängigkeit von Sorte und Ernteverfahren
(rel. Vergleichswert = Grünflachsraufe — Sorte Liflora; Mittel über zwei Jahre,
GD 5 % = 150)

Sorte:	bereinigter Samenertrag						Keimfähigkeit (Verf. mittel, nur 1986)
	Ariane		Belinka		Liflora		
Ernteverfahren:	kg/ha	(rel.)	kg/ha	(rel.)	kg/ha	(rel.)	
Feldröste	475	(39)	820	(68)	637	(53)	ca. 80 %
Grünflachsraufe	833	(69)	1148	(95)	1210	(100)	ca. 95 %
chem. Aufschluß	478	(40)	650	(54)	461	(38)	ca. 70 %
Grünflachsschnitt	802	(66)	1032	(85)	1103	(91)	ca. 95 %

Die Schnittvariante stellt ein günstiges Verfahren für die Samenbeerntung dar, wenn die Saatgutproduktion im Vordergrund steht und die unmittelbare Bergung des Samenertrages von Bedeutung ist. Der Tabelle 4 ist darüber hinaus zu entnehmen, daß neben den durchgehend höchsten Erträgen bei der Grünflachsraufe unterschiedlich starke Ausfälle der Sorten durch andere Verfahren, das heißt Feldröste und chemischer Aufschluß, bei der Verfahrensauswahl berücksichtigt werden müssen. Danach besitzt der Kombinationslein eine höhere Präferenz für die Grünflachsbeerntung als die Faserleine.

Die Bedeutung des Erntetermins für die Faser- und Samenerträge geht aus den folgenden Abbildungen 5 und 6 hervor:

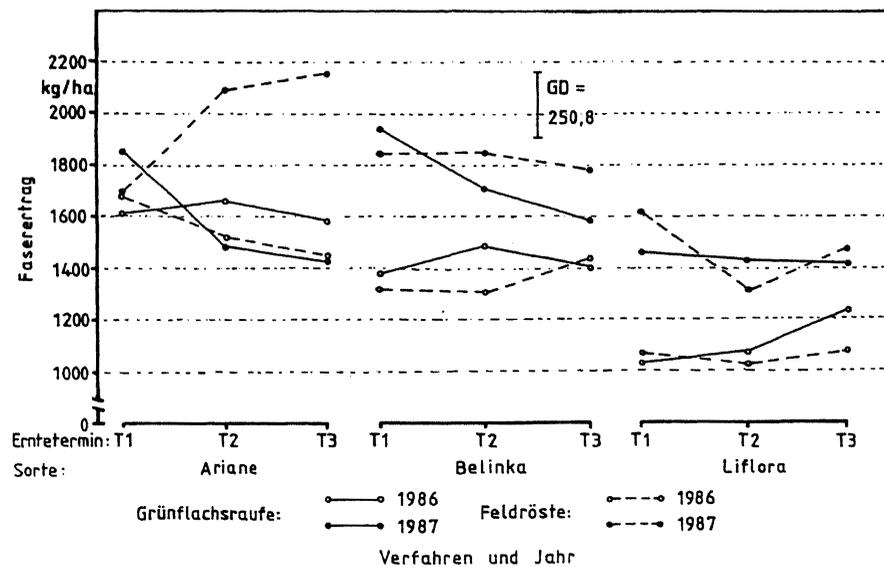


Abb. 5: Der Faserertrag in Abhängigkeit von Jahr, Sorte, Ernteverfahren und Erntetermin

Die Fasererträge zeigten sich im Jahr 1986 über die Erntetermins insgesamt ausgeglichener (Abb. 5). Tendenziell höhere Erträge sind in diesem Jahr beim hochwachsenden Qualitätsfaserlein gegenüber dem Produktionstyp Belinka zu beobachten. Beide Faserleine sind dabei dem Kombinationslein überlegen. Im zweiten Versuchsjahr fallen die Faserleine beim Grünflachsverfahren über die

Erntetermine stark ab. Der Kombinationslein dagegen erbringt im Jahr 1987 über die Termine hinweg gleichmäßige Grünflachsfasererträge.

Mit Ausnahme des Qualitätsfaserleins, bei dem im zweiten Jahr die Feldröste wesentlich höhere Erträge liefert als das Grünflachsverfahren, sind kaum Verfahrensunterschiede hervorzuheben. Lediglich beim Kombinationslein sind im Verhältnis zu den Faserleinen bei später Ernte günstige Grünflachserträge feststellbar. Faserverluste, die bei der Grünflachsentholzung im Gegensatz zur Feldröste durch die mechanische Beanspruchung entstehen, treten danach bei den Faserleinen erst mit zunehmender Abreife, beim Kombinationslein hingegen 1987 zum frühen Termin auf.

Die unterschiedlichen Fasererträge zu den Ernteterminen bei der Feldröste im Jahr 1987 sind auf die Aufschlußbedingungen zurückzuführen, die für jede Variante individuell verschieden waren. Auffallend ist hierbei dennoch, daß der Produktionstyp Belinka über alle Termine gleichmäßige Fasererträge aufweist und sich damit anpassungsfähiger zeigt.

Festzuhalten bleibt, daß beim Raufen von Grünflachs die Faserleine in der Ertragsleistung dem Kombinationslein auch über verschiedene Erntetermine überlegen sind. In einem ungünstigen Jahr mit starker Lagerneigung fallen die Faserleine jedoch bei später Beerntung (T 2 und T 3) gemäß ihrer Standfestigkeit so stark ab, daß der Kombinationslein zu diesen Terminen im Ertragsniveau gleichgestellt wird.

Das Samenertragspotential steigt erwartungsgemäß mit zunehmender Abreife an. Bei beiden Verfahren sind im ersten Jahr zur Strohreife (T 2) die höchsten Samenerträge festzustellen (Abb. 6). Eine Ausnahme bildet hier der Kombinationslein, der als Grünflachs zur Kapselreife den höchsten Samen-ertrag bringt. Beim Produktionstyp führte die schnelle Abreife 1986 zu einem Rückgang des bereinigten Samenertrages von der Stroh- bis zur Kapselreife um 300 kg/ha.

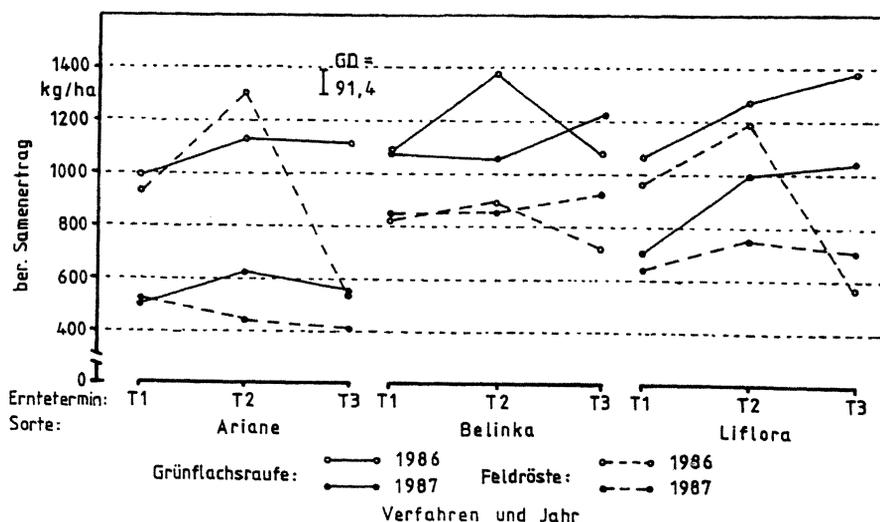


Abb. 6: Der Samenertrag in Abhängigkeit von Jahr, Sorte, Ernteverfahren und Erntetermin

Bei der Feldröste hingegen sind die durch Auswuchs bedingten, erheblichen Verluste zum spätesten Erntetermin 1986 beim Qualitäts- und Kombinationstyp stärker ausgeprägt als beim Produktionstyp, wobei die um einige Tage verspätete Raufe und Feldröste der ersteren Sortentypen zu berücksichtigen ist.

Auch im zweiten Versuchsjahr erreicht zumindest der Kombinationslein zum Termin der Strohreife den maximalen bereinigten Samenertrag, während der Produktionstyp unter Anwendung der Grünflachsraufe bis zur Kapselreife im Ertrag noch zulegt. Die schlechten Samenerträge des Qualitätsleins im Jahr 1987 sind auf beginnenden Ausfall der Samen aus den abreifenden Kapseln und auf starkes Lager zurückzuführen.

Eine ertragreiche Samengewinnung, wie sie nach Abbildung 6 im Vergleich der hier über drei Erntetermine untersuchten beiden Ernteverfahren nur mit der Grünflachsraufe zuverlässig realisiert werden kann, ist im Mittel der Jahre bereits zur Strohreife gewährleistet.

3.2 Zur Ertragssicherheit

Die Ertragssicherheit wird nachfolgend als Beständigkeit der Erträge verstanden, die für die einzelnen Varianten der durch Düngung, Behandlung und Sorte variierten Anbauverfahren in Abbildung 7 durch die gegebenen Standardabweichungen angezeigt ist. Diese Standardabweichungen geben hier die Streuung über die Wiederholungen und die Jahre wieder. Die Ausgeglichenheit der Sortenerträge bei verschiedener Bestandesführung dient als Anhaltspunkt für die Stabilität des Ertrages der einzelnen Sortentypen. Die Ertragsstabilität eines Sortentyps äußert sich bei geänderter Anbauintensität in einer „horizontalen Ausgeglichenheit“ in der grafischen Darstellung. Geringe Standardabweichungen zeigen indes eine hohe Beständigkeit bzw. Ertragstreue eines Anbauverfahrens an. Von Vorteil sind daher geringe „vertikale Streuungen“ auf hohem Ertragsniveau bei geringer bis mittlerer Düngeintensität.

In Abbildung 7 a ist anhand des dargestellten Versuchsmittelwertes zu erkennen, daß der Qualitätstyp Ariane ohne jegliche Behandlung nur in der niedrigsten Düngungsstufe einen hohen Faserertrag gewährleistet, der jedoch verhältnismäßig großen Schwankungen unterliegt. Bei einer geringfügig höheren Stickstoffdüngung führen die ertragsmäßig immer vorteilhaften Behandlungen, insbesondere Ethephon, zur Sicherung des Ertragspotentials. Dennoch weisen die Standardabweichungen auf eine geringe Ertragstreue hin. Überhöhte Düngung führt in jedem Fall zu einem beträchtlichen Abfall der Fasererträge, wobei die Behandlungen nur zu einer graduellen Verbesserung beitragen können. Der bereinigte Samenertrag (Abb. 7 b) unterliegt bei diesem Sortentyp in allen Behandlungsstufen bei steigender Düngung zunehmenden Ertragsschwankungen, wobei sich der Wirkstoff Ethephon in der N 2-Variante von den anderen Kombinationen dennoch positiv abhebt.

Der Produktionstyp (Belinka) liefert insgesamt überdurchschnittliche Faser- und Samenerträge und weist im Gegensatz zu den anderen Sorten auch ohne den Einsatz von Wachstumsreglern stabile Erträge über verschiedene Düngeintensitäten auf (Abb. 7 c, d). Die geringsten Schwankungen sind bei den Fasererträgen in der N 2-Stufe und bei den Samenerträgen in der N 1-Variante zu finden. Gleichzeitig liegen hier allerdings auch geringfügig niedrigere Ertragsleistungen vor, so daß ohne größere Abnahme der Ertragsstabilität eine weitere Düngung in Verbindung mit den Behandlungen eine Leistungsverbesserung ermöglicht.

In der N 2-Stufe erhält dieser Sortentyp durch den Wirkstoff CCC in bezug auf die Gesamtertragsleistung die größtmögliche Ertragssicherheit und stellt in die-

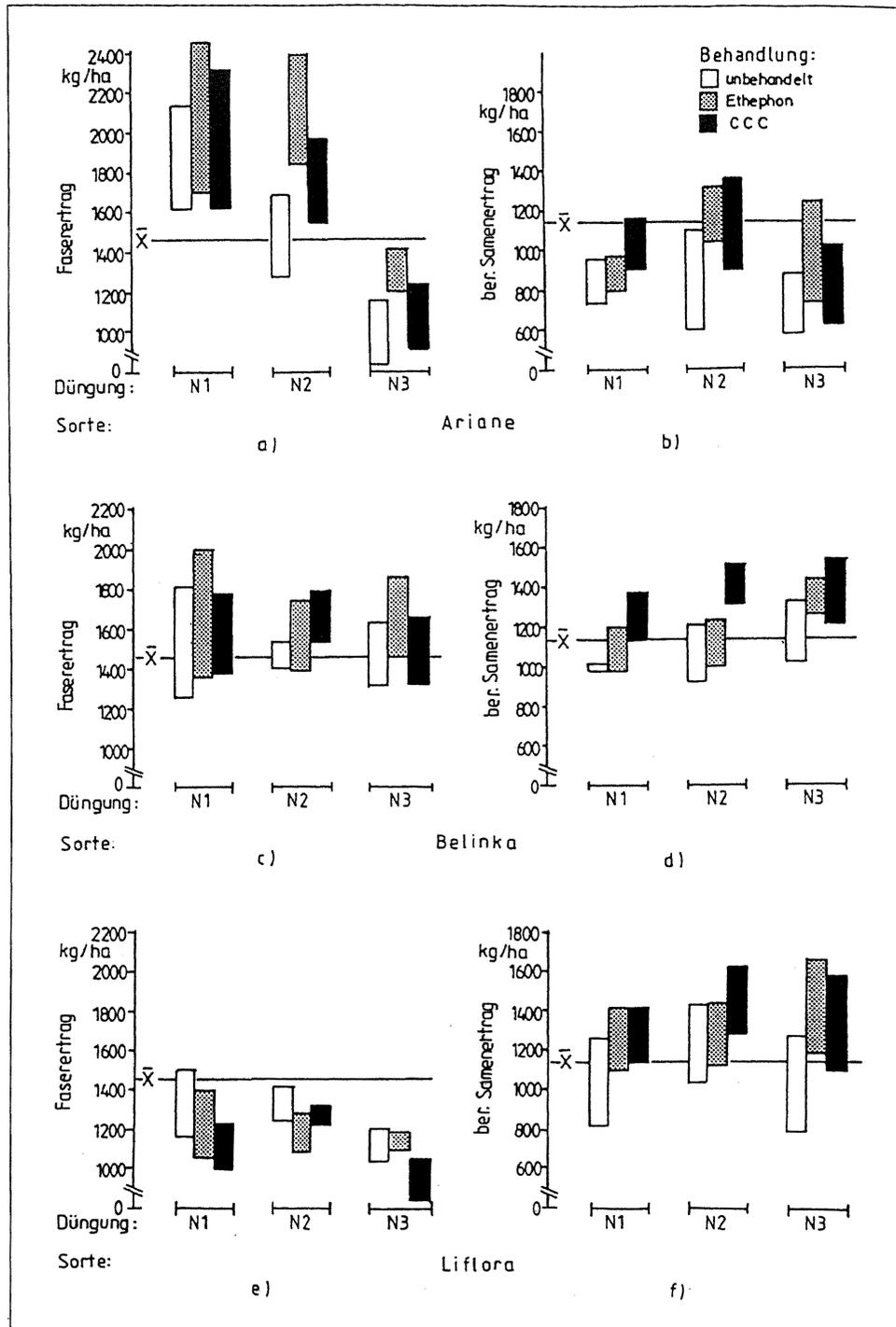


Abb. 7: Wiederholungs- und jahresbedingte Variationsbreite der Faser- und Samenerträge, differenziert nach Sorten, Düngung und Behandlung (Mittel über zwei Jahre und zwei Wiederholungen, \bar{x} = Versuchsmittelwert)

ser Kombination damit die ausgeglichene Variante überhaupt dar. Ethephon sichert bei hoher Düngung (N 3) gute und ausgeglichene Samenerträge und hält den Faserertrag, allerdings im Rahmen einer größeren Schwankungsbreite, auf hohem Niveau.

Der Kombinationstyp Liflora reagiert bei insgesamt sehr niedrigem Faserertragsniveau relativ unempfindlich auf steigende N-Gaben, jedoch geht eine Verminderung der Streuung bei höherer Düngung auch mit weiteren Ertragsverlusten einher (Abb. 7e). Auch die Behandlungen erweisen sich hier hinsichtlich der Sicherung ausgeglichener Fasererträge als nachteilig. Das weitaus höhere Samenertragspotential dieses Sortentyps kann dagegen durch die Wirkstoffe immer besser ausgenutzt und abgesichert werden, obgleich in der höchsten N-Stufe die Ausgeglichenheit des Ertrages abnimmt (Abb. 7f). Ähnlich wie beim Produktionstyp erscheint CCC in der mittleren N-Variante ertragsicherer, während dem Samenertragsrisiko bei maximaler Düngeintensität besser mit Ethephon zu begegnen ist.

Es bleibt festzuhalten, daß der Qualitätstyp in bezug auf beide Ertragskomponenten den ertragsunsichersten Sortentyp darstellt. Der Produktionstyp Belinka zeigt sich dagegen bei höherer, durch Düngung und Behandlung variiertes Anbauintensität am ausgeglicheneren. Beim Kombinationslein können ausgeglichene Fasererträge in verschiedenen Anbauintensitäten nicht über das niedrige Ertragsniveau hinwegtäuschen. Mit Ausnahme der Fasererträge beim Kombinationstyp ist eine Verbesserung der Ertragsleistung bei Wahrung der Ertragsicherheit durch die Behandlungen am ehesten bei mittlerer Düngeintensität möglich.

Aus der Faktorvariation des Anbauversuches geht hervor, daß der standfeste Produktionstyp Belinka bei mittlerer N-Versorgung und in Verbindung mit dem Wirkstoff CCC, der insbesondere das Samenertragspotential sichert, zu der höchsten Ertragsicherheit bei gutem Gesamtertrag führt.

3.3 Zur Bedeutung der Produktionstechnik für die Fasergewinnung

Bei der Fasergewinnung aus ungeröstetem Leinstroh ist schon beim ersten, mechanischen Schritt der Faserfreilegung ein möglichst hoher Wirkungsgrad von Bedeutung, denn mit der Erhöhung des Freilegungsgrades der Faser wird der Rohstoffeinsatz in der nächsten Verarbeitungsstufe verringert. Nach der mechanischen Aufarbeitung konnte an der verbleibenden Rinde festgestellt werden, inwieweit die untersuchten Faktoren über unterschiedliche Gehalte an Fasern in der Rinde einen Einfluß auf die Rohstoffausbeute und damit auf den Verarbeitungswert nehmen.

Der Abbildung 8 ist zu entnehmen, daß Sortenunterschiede in der Entholzbarkeit bestehen, die aber starken Einflüssen durch die Jahreswitterung unterliegen. Danach erreichte der hochwachsende Qualitätsfaserlein im zweiten Jahr die vergleichsweise höheren Faseranteile der anderen Sorten nicht. Dieser Effekt geht gleichzeitig mit der verzögerten Faserreife dieses Sortentyps im zweiten Versuchsjahr einher. Eine Erklärung dazu ist zumindest teilweise in der überlegenen Wuchshöhe zu sehen, die 1987 bei hoher Düngung und unabhängig von den Behandlungen zu einer stärkeren Lagerneigung bei diesem Sortentyp führte. Der verhältnismäßig hohe Aufschlußgrad des Kombinationsleins im zweiten Jahr spricht für eine relative Vorzüglichkeit dieses Sortentyps zur Grünflachsentholzung.

Hinsichtlich des Anteils von Faserbegleitstoffen in der Rinde nach der Grünflachsentholzung sind die Sortenunterschiede in einer Größenordnung bis zu

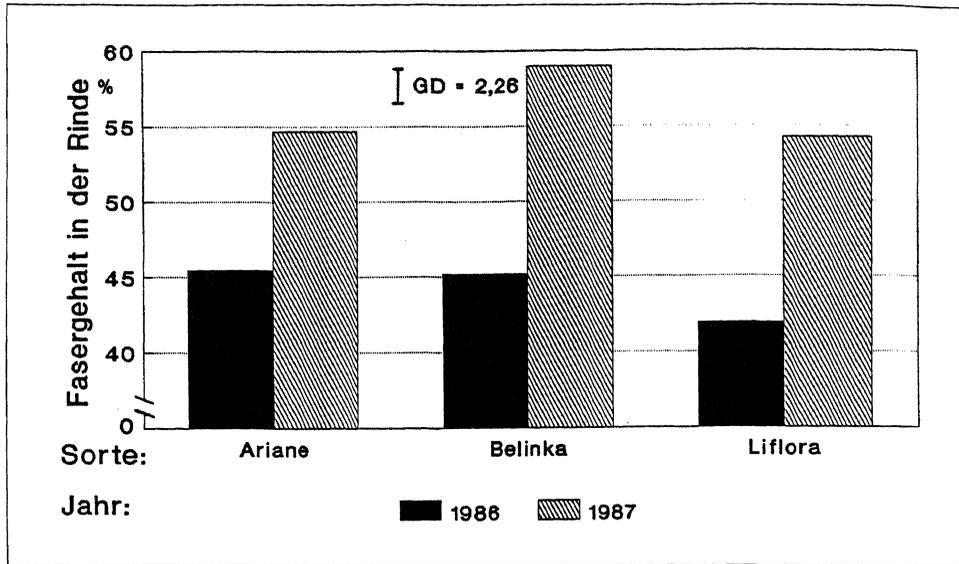


Abb. 8: Der Fasergehalt in der Rinde in Abhängigkeit von Jahr und Sorte (Mittel über drei N-Stufen und drei Behandlungen)

etwa 5 % einzuordnen. Bezogen auf die Fasergewinnung in der nächsten Verarbeitungsstufe kann dies gleichzeitig einen Unterschied in der relativen Faser- ausbeute von mehr als 10 % des eingesetzten Rohstoffes bedeuten. Die Tatsache, daß die entstehenden Verfahrenskosten naturgemäß vom Durchsatz des einge-

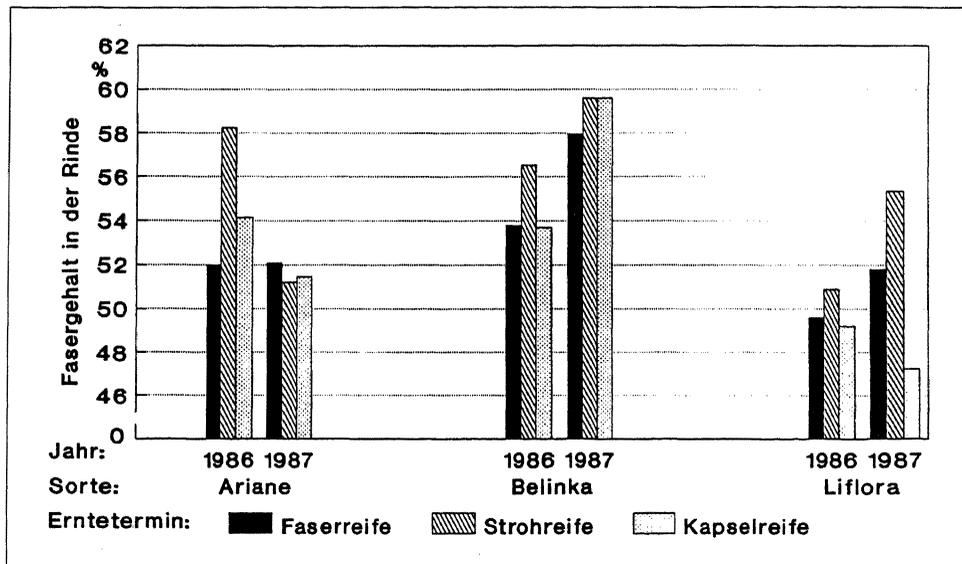


Abb. 9: Der Fasergehalt in der Rinde bei gerauflachem Grünflachs in Abhängigkeit von Jahr, Sorte und Erntetermin (n. s.)

setzten Rohstoffes, in diesem Fall der entholzten Rinde, bestimmt werden, letztlich aber auf die tatsächlich gewonnenen Fasern anzurechnen sind, hebt die Bedeutung der Sortenwahl gerade für die weitere Verarbeitung hervor.

Ein Einfluß des Erntetermins auf die mechanische Trennbarkeit der Fasern vom Holzteil sowie für den Anteil von Begleitstoffen zur Faser ist in den Ergebnissen nur tendenziell erkennbar. Wegen des besonderen Interesses für die Grünflachsbeerntung als witterungsunabhängiges Verfahren ist dieser Sachverhalt dennoch hervorzuheben. In der Abbildung 9 sind die Werte für dieses Verfahren in Abhängigkeit von Sorte und Erntetermin (n. s.) dargestellt. Der zweite Erntetermin zur Strohreife lieferte hier mit Ausnahme der Sorte Ariane im zweiten Versuchsjahr in der Tendenz die höchsten Fasergehalte in der Rinde. Demzufolge ist eine Ernteverzögerung bis zur Strohreife eher vorteilhaft für die mechanische Entholzbarkeit.

Diese Resultate bestätigen also die Vorzüglichkeit des mittleren Erntetermins, der sich auch für die Gesamtbeerntung von Fasern und Samen als vorteilhaft erwiesen hat. Ähnliches gilt auch für den absoluten Fasergehalt im Gesamtstengel, der vom Erntetermin nur in Verbindung mit höheren Interaktionen beeinflusst wird.

Anmerkung: Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.

Literatur

- BODLAENDER, K. B. A. and M. VAN DER WAART, 1973: The influence of growth regulating substances on growth and yield of flax. *Fibra* 18, 4—26.
- BODLAENDER, K. B. A. and M. VAN DER WAART, 1975: De invloed van groeiregulerende middelen op vlas. *Bedrijfsontwikkeling* 6, 5, 439—443.
- BREDEMANN, G., 1922: Die Bestimmung des Fasergehaltes in Bastfaserpflanzen bei züchterischen Untersuchungen. *Faserforschung* 2, 4, 239—258.
- BRENNDÖRFER, M. and M. HUMMELT, 1986: Faserlein — Pflanzenbauliche und verfahrenstechnische Aspekte beim Anbau von Faserlein. KTBL-Arbeitspapier 109, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- EASSON, D. L., 1984: Flax For Fibre, A Guide to Production and Pre-Harvest Retting of Flax. Agricultural Research Institute of Northern Ireland, 2nd Ed.
- FABIAN, H., 1928: Der Einfluß der Ernährung auf die wertbestimmenden Eigenschaften von Bastfasern (Flachs und Nessel) unter besonderer Berücksichtigung der Ausbildung ihrer Fasern. Teil I: *Faserforschung* 7, 1—37. Teil II: *Faserforschung* 7, 69—114.
- HEMKER, R., 1989: Über die Eignung vegetativer und generativer Merkmale als Selektionskriterien für das Zuchtziel einer gleichzeitigen Nutzung von Öl und Faser bei Lein. Diss. Bonn.
- JAHN-DEESBACH, W., 1965: Lein und Hanf. *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung* III, 1, 562 ff.
- LEUTSCHER, H. J., 1989: A survey of harvesting and processing of flax. In: MARSHALL, G., *Flax: Breeding and Utilisation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- PREETZ, W., 1989: Rundschreiben des deutschen Flachsverbandes e. V., 5/89, Emmelhäusen.
- SCHWANITZ, F., 1954: Öl und Fasern von einer Pflanze. *Orion, Zeitschr. für Natur und Technik* 9, 718—723.
- SULTANA, C., 1983: The cultivation of fibre flax. *Outlook on agriculture* 12, 3, 104—110.
- SULTANA, C., 1989: Constraints and difficulties in harvest according to the ultimate use of the fibre and retting process. In: MARSHALL, G., *Flax: Breeding and Utilisation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

(Manuskript eingelangt am 28. Oktober 1991, angenommen am 2. Jänner 1992)

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Dr. h. c. Klaus-Ulrich HEYLAND, Lehrstuhl für Speziellen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Katzenburgweg 5, D-5300 Bonn 1 und Dr. Bernd KÄMMERLING, Pfeifer & Langen, Werk Wevelinghoven, Postfach 220, D-4048 Grevenbroich 2