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

Über die Eignung vegetativer und generativer Merkmale als Selektionskriterien für das Zuchtziel einer gleichzeitigen Nutzung von Öl und Faser bei Lein*

Von K.-U. Heyland und R. Hemker

(Mit 4 Abbildungen)

1. Einleitung und Problemstellung

Steigende Überschüsse in der Nahrungsmittelproduktion haben eine klassische „Nachwachsende Rohstoffpflanze", den Lein (*Linum usitatissimum* L.), bei dem sowohl die vegetativen (Flachsfaser für die Textilindustrie) als auch die generativen Pflanzenteile (Leinöl für die chemische Industrie) für technische Zwecke genutzt werden, wieder in die Diskussion gebracht.

Auf der Faserseite stellt die textile Langfaser derzeitig die Hauptverwendung dar. Wegen der risikoreichen Tauröste und der teuren Weiterverarbeitung in der Schwingerei und Spinnerei ist die potentielle Faserleinanbaufläche jedoch beschränkt. Die im Versuchsstadium befindliche sog. „cottonisierte Leinfaser", bei der mit Hilfe neuer Aufschlußverfahren eine in ihrer Struktur der Baumwolle ähnliche Faser entsteht (Wurster und Ma. 1988), die einfacher, billiger und vor allem vielseitiger (z. B. in Mischgeweben) verarbeitet werden kann, soll hier Abhilfe schaffen. Der Einsatz der Leinfaser als technische Faser in Dämmstoffen, Autoinnenausstattung, Geotextilien u. ä. könnte dem Lein einen weiteren großen Absatzmarkt erschließen.

Die Rentabilität für die Landwirtschaft kann hierbei jedoch nur über eine gleichzeitige, optimale Verwertung der Flachsfaser **und** des Leinöls erreicht werden. Neue Ernte- und Verarbeitungstechnologien und damit verbunden andere Faserqualitätsanforderungen ermöglichen es, mit dem Zuchtziel „Kombinationslein" neue Wege in der Leinzüchtung zu beschreiten.

Es ist Aufgabe dieser Arbeit zu klären, ob es möglich ist, diese Kombination von vegetativen und generativen Leistungseigenschaften zu erreichen und welche Merkmale als Selektionskriterien geeignet sind.

2. Material und Methoden

2.1 Anbauversuch

Um die Bedeutung von Genotyp, Umwelt und Genotyp-Umwelt-Interaktionen für die Ausprägung der Merkmale abzuschätzen, wurde ein Anbauversuch angelegt, der im Versuchsjahr 1986 folgende Faktoren und Stufen umfaßte:

---

* Auszug aus der Dissertation „Über die Eignung vegetativer und generativer Merkmale als Selektionskriterien für das Zuchtziel einer gleichzeitigen Nutzung von Öl und Faser bei Lein" von R. Hemker, Bonn 1989.

Genotyp:	Redwing	Öllein
	Liflora	Kombinationslein
	Bionda	Kombinationslein
	Regenboag	Faserlein
	Ariane	Faserlein
	Belinka	Faserlein
Standort:	Dikopshof	(Versuchsgut des Instituts für Pflanzenbau der Universität Bonn)
	Hovedissen	(Zuchtstation der Saatzucht W. von Borries-Eckendorf)
Saatstärke:	500 keimfähige Körner/m²	
	1000 keimfähige Körner/m²	
	2000 keimfähige Körner/m²	
Erntetermin:	Strohreife	
	Kapselreife	

2000 keimfähige Körner (k. K.)/m² stellt die im Faserleinanbau übliche Saatstärke dar, beim Öllein bewegt sich die praxisübliche Saatstärke zwischen den Stufen 1 und 2. Der Strohreifetermin entspricht dem Zeitpunkt der Ernte bei Fasernutzung und der Kapselreifetermin dem bei Ölnutzung.

Aus zwei in einem Methodenvergleich von MENZEL (1961) als geeignet beschriebenen Bestimmungsmethoden wurde eine Analysenmethode entwickelt, die es erlaubt, an geringen Materialmengen einfach, schnell und standardisiert den *Fasergehalt* festzustellen.

In einem ersten Verfahrensschritt wird mit Hilfe ineinanderlaufender Walzenpaare der Rindenteil des lufttrockenen, technischen Flachsstengels vom Holzteil mechanisch getrennt. Dieser Schritt entspricht dem sog. Grünentholzungsverfahren. In dem nachfolgenden chemischen Aufschluß (in Anlehnung an BREDEMANN 1922) werden mit 1,5%iger Natronlauge die Faserbündel (Sekundärfaser) aus der Rinde herausgelöst und teilweise mazerisiert (Primärfaser). Diese Primärfaser ist mit der sog. „cottonisierten Leinfaser" vergleichbar.

Der *Ölgehalt* wurde nach dem Nuclear-Magnetic-Resonance-Verfahren (NMR) nach TIWARI und MA. (1974) bestimmt.

Zur Abschätzung des Einflusses von Genotyp, Umwelt und Genotyp-Umwelt-Interaktion für die Merkmalsausprägung wurde nach LEIN (1960) eine Aufteilung der Gesamtvarianz des Versuches vorgenommen (Formel (1) in Tabelle 1).

Um darüber hinaus Aussagen über den Beitrag der einzelnen Umweltfaktoren und der speziellen Wechselwirkungen mit dem Genotyp machen zu können, ist die Formel (1) nach LEIN (1960) weiterentwickelt worden. Nach verschiedenen Ableitungsschritten, die hier nicht dargestellt sind, ergeben sich für die Hauptwirkungen Standort, Saatstärke und Erntetermin sowie für die Wechselwirkungen Standort-Genotyp (O × G), Saatstärke-Genotyp (S × G) und Erntetermin-Genotyp (E × G) die Formeln (2), (3) und (4) in Tabelle 1. Bei der Berechnung der Streuungsanteile höherer Interaktionen wird entsprechend verfahren.

2.2 F1-Leistungsprüfung

Um die Vererbungsstruktur wichtiger Leistungseigenschaften und deren korrelative Beziehungen untereinander zu untersuchen, wurde 1985 und 1986 eine F1-Leistungsprüfung durchgeführt. Sie umfaßte ein vollständiges 8 × 8-Diallel aus acht Kreuzungseltern (Faser-, Öl- und Kombinationsleine).

Zur statistischen Überprüfung der genetischen Effekte in der F1-Leistungsprüfung wurde die von HAYMAN (1954) entwickelte und bei MATHER und JINKS

(1971) erläuterte Varianzanalyse eines vollständigen Diallels mit Reziproken und Eltern angewandt.

Tabelle 1

Berechnung der relativen Streuungsanteile für Genotyp, Umwelt und Interaktion aus der Varianzanalyse nach LEIN *(1960) (Formel (1)) und Weiterentwicklung dieser Formel für einzelne Umweltfaktoren sowie deren Wechselwirkung mit dem Genotyp (Formel (2), (3) und (4))*

Genotyp (G)	Umwelt (U)	Genotyp × Umwelt (G × U)		
$\frac{(g-1)(MQ_G - MQ_{G\times U})}{SQ_T}$	$\frac{(u-1)(MQ_U - MQ_{G\times U})}{SQ_T}$	$\frac{MQ_{G\times U}}{MQ_T}$		(1)
Standort (O)	$\frac{(o-1)(MQ_O - MQ_{G\times O})}{SQ_T}$	$\frac{\frac{SQ_{G\times O}}{(g-1)(u-1)}}{MQ_T}$	O × G	(2)
Saatstärke (S)	$\frac{(s-1)(MQ_S - MQ_{G\times S})}{SQ_T}$	$\frac{\frac{SQ_{G\times S}}{(g-1)(u-1)}}{MQ_T}$	S × G	(3)
Erntetermin (E)	$\frac{(e-1)(MQ_E - MQ_{G\times E})}{SQ_T}$	$\frac{\frac{SQ_{G\times E}}{(g-1)(u-1)}}{MQ_T}$	E × G	(4)

MQ Mittlere quadratische Abweichung
SQ Summe der quadratischen Abweichungen
g − 1 Freiheitsgrade Genotyp
u − 1 Freiheitsgrade Umwelt
o − 1 Freiheitsgrade Standort
s − 1 Freiheitsgrade Saatstärke
e − 1 Freiheitsgrade Erntetermin
T Gesamt

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Merkmalskorrelationen

Im Hinblick auf das Zuchtziel „Kombinationslein" stellt sich zunächst die Frage, ob vegetative und generative Leistungseigenschaften miteinander zu kombinieren sind.

Die Korrelationen zwischen den Ölertragskomponenten und den Faserertragsmerkmalen weisen im Anbauversuch, insbesondere in der Beziehung von Ölertrag, Ölgehalt und Tausendkorngewicht zu den vegetativen Merkmalen, deutlich negative Werte auf (Tabelle 2). Eine Ausnahme stellt die Samenzahl/Pflanze dar.

Der Samenertrag zeigt im Anbauversuch die geringsten negativen Korrelationen zu den vegetativen Merkmalen. Die entsprechenden Korrelationen in der F1-Leistungsprüfung mit neu kombiniertem Material lassen den Schluß zu, daß es möglich ist, einen hohen Samenertrag mit den vegetativen Eigenschaften zu vereinen (im Falle der Beziehung Samenertrag — Strohertrag treten sogar leicht positive Korrelationen auf).

Es tritt im Anbauversuch eine deutlich negative Beziehung zwischen Ölgehalt und Fasergehalt auf. Ob diese Korrelation durch Neukombination gebrochen werden kann, kann hier nicht festgestellt werden. Einer Kombination dieser beiden Eigenschaften dürften jedoch zumindest entwicklungsphysiologische Gesichtspunkte nicht entgegenstehen. Die mengenmäßige Faserbildung im Stengel ist schon kurz nach der Blüte abgeschlossen (CHESSON 1979) und wird durch die Erntetermine nicht mehr verändert (Abb. 3), während die Ausbildung des Ölgehaltes im Samen erst in vollen Gang kommt, wenn der maximale Fasergehalt bereits erreicht ist und darüberhinaus bis zur Abreife andauert.

Tabelle 2

Korrelationen zwischen generativen und vegetativen Merkmalen im Anbauversuch 1986 (1), n = 72 (6 Genotypen, 12 Einzelwerte), sowie in der F1-Leistungsprüfung 1985 (2) und 1986 (3), n = 192 (64 Genotypen, 3 Wiederholungen)

	Öl-ertrag	Öl-gehalt	Samen-ertrag	Kapselz./ Pfl.	Samenz./ Kaps.	Samenz./ Pfl.	TKG
Faserertrag	−0,47	−0,71	−0,38			0,25	−0,57(1)
Fasergehalt	−0,52	−0,68	−0,45			0,28	−0,65(1)
Strohertrag	−0,30	−0,52	−0,23			0,09	−0,24(1)
			0,45	0,52	0,29	0,67	−0,42(2)
			0,47	0,61	0,08	0,70	−0,27(3)
Wuchshöhe	−0,53	−0,57	−0,47			0,23	−0,45(1)
			0,07	0,21	0,44	0,52	−0,69(2)
			−0,10	0,23	0,17	0,35	−0,64(3)
techn.Länge			0,03	0,07	0,31	0,27	−0,47(2)
			−0,21	−0,04	0,22	0,09	−0,48(3)
Stengeldurch-messer	0,20	−0,17	0,25			0,40	−0,05(1)
			0,23	0,33	0,41	0,60	−0,58(2)
			0,001	0,25	0,15	0,38	−0,52(3)

Ein weiteres Problem hinsichtlich der Kombinierbarkeit vegetativer und generativer Eigenschaften ist die Tatsache, daß im Anbauversuch und noch deutlicher in der F1-Leistungsprüfung eine größere Wuchshöhe mit einer Reduktion des Tausendkorngewichtes verbunden ist (Tabelle 2). Obwohl die Korrelation Wuchshöhe/Tausendkorngewicht gebrochen werden kann (Schilling 1944), empfiehlt es sich, den Samenertrag vermehrt über die Samenzahl pro Pflanze zu steigern. Die Samenzahl pro Pflanze ist im Gegensatz zum Tausendkorngewicht nicht negativ mit dem Fasergehalt und den übrigen vegetativen Merkmalen korreliert. Der Weg über die Samenzahl bietet darüber hinaus den Vorteil, daß hier nicht wie beim Tausendkorngewicht eine spätere Kapselreife in Kauf genommen werden muß.

Ansonsten treten zwischen den übrigen faser- und ölertragsbestimmenden Merkmalen entweder keine negativen oder sogar leicht positive Korrelationen auf, sodaß eine Kombination von vegetativem und generativem Ertrag auf züchterischem Wege durchaus Erfolg verspricht.

3.2 Bedeutung von Genotyp, Umwelt und Interaktion für die Merkmalsausprägung

Für die Selektion in den verschiedenen Generationen eines Zuchtganges ist es wichtig zu wissen, in welchem Maße ein Merkmal genotypisch bedingt ist, wie es durch Umweltfaktoren verändert wird und welche Bedeutung Interaktionen zwischen Genotyp und Umwelt haben.

In der Abbildung 1 ist deshalb für die wichtigsten generativen Merkmale die Bedeutung der Einzeleffekte graphisch dargestellt.

Dazu sind jeweils die Streuungsanteile, die durch Genotyp, Umwelt und deren Wechselwirkung verursacht werden, kumuliert aufgetragen. Die Berechnung erfolgte nach Lein (1960). Desweiteren wurden die Anteile, die einzelnen Umweltfaktoren bzw. deren Wechselwirkung mit dem Genotyp zuzuschreiben sind, entsprechend der Ableitung in Tabelle 1 geschätzt. Dargestellt sind jeweils

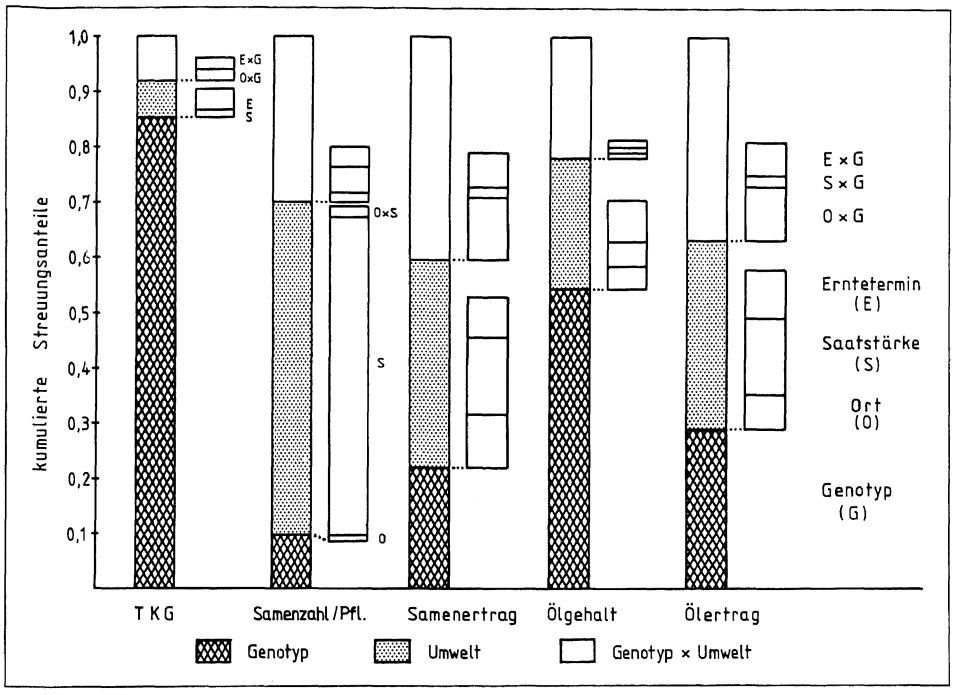

Abb. 1: Bedeutung von Genotyp, Umweltfaktoren und Interaktionen Genotyp × Umweltfaktoren für die Ausprägung der generativen Merkmale (Bezugsbasis: Gesamtvarianz des Versuchs, Ableitung in Anlehnung an Lein *[1960])*

die Anteile der Hauptwirkung Standort, Saatstärke und Erntetermin sowie die einfachen Interaktionen Standort-Genotyp, Saatstärke-Genotyp und Erntetermin-Genotyp, sofern diese eine Größenordnung von mindestens 0,01 bzw. 1 % der Gesamtvarianz erreichen. Wechselwirkungen zwischen den Umweltfaktoren und höhere Wechselwirkungen mit dem Genotyp werden nur ausgeführt, wenn sich diese zuvor in der Varianzanalyse als signifikant erwiesen haben.

Beim Tausendkorngewicht und in etwas geringerem Maße beim Ölgehalt ist der Anteil der genotypisch bedingten Varianz am höchsten. Da zudem hier die Interaktion Genotyp-Umwelt am geringsten ist, versprechen diese Merkmale einen hohen Selektionserfolg. Der Ölertrag, Samenertrag und insbesondere die Samenzahl pro Pflanze werden in sehr viel stärkerem Maße durch die Umwelt und deren Wechselwirkung mit dem Genotyp variiert.

Von besonderem züchterischem Interesse ist es, die Bedeutung der einzelnen Umweltfaktoren und der speziellen Interaktionen zu kennen. Den größten Einfluß hat hier die Saatstärke. Merkmale, die in Abhängigkeit von dem individuellen Standraum der Pflanze ausgebildet werden, kommen als Selektionskriterien für eine Einzelpflanzenauslese nicht in Betracht. Das betrifft die Samenzahl pro Pflanze und damit sicherlich auch den Samenertrag pro Pflanze. Eine Selektion von Elitepflanzen hinsichtlich dieser Eigenschaften ist nur sinnvoll, wenn durch eine exakte Einzelkornsaat jedem Genotyp die gleiche Fläche zu Verfügung steht.

Der Ölgehalt bildet sich relativ unabhängig von der Saatstärke aus, was Ergebnisse von Rowland (1980) bestätigen. Größere Bedeutung hat bei diesem Merkmal der Erntetermin, weil zur Faserreife die Ölbildung noch im Gange ist und bis zur Kapselreife andauert.

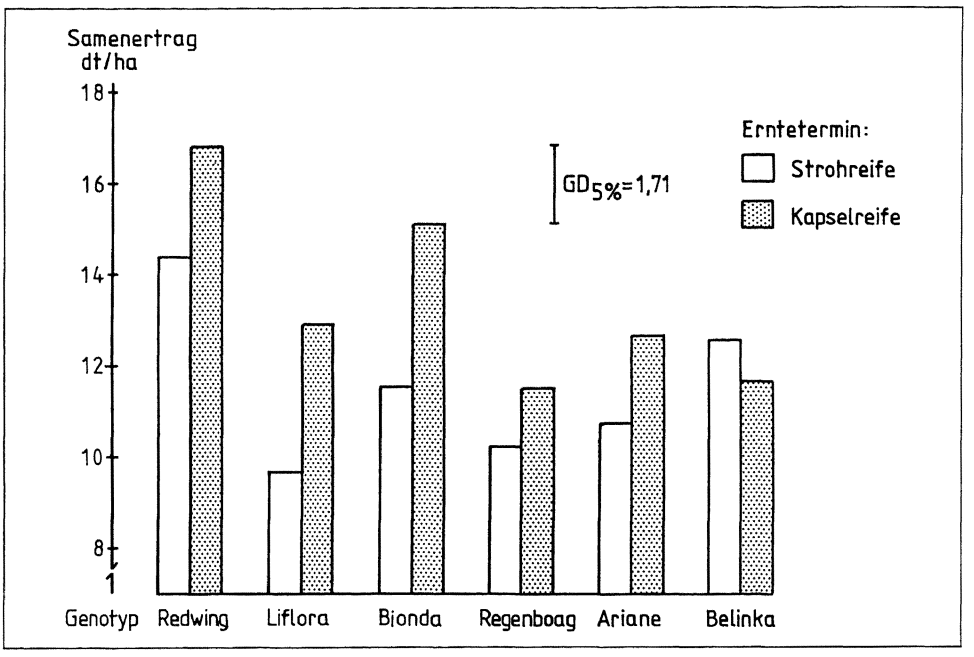

Abb. 2: Einfluß von Genotyp und Erntetermin auf den Samenertrag/ha (Mittel über zwei Standorte, drei Saatstärken, zwei Wdh.)

Problematisch für eine Selektion sind die Interaktionen des Genotyps mit den Umweltfaktoren. Es zeigt sich, daß bei Samenertrag und Ölertrag die Wechselwirkungen mit Erntetermin und Standort den größten Einfluß haben. Die Problematik besteht jetzt darin, daß für die Ernte im Zuchtgarten ein einheitlicher Erntetermin gewählt werden muß. Dabei sind frühreife Genotypen, die schon Samenausfall zeigen und deshalb einen geringen Samenertrag aufweisen (Belinka, Abb. 2), ebenso benachteiligt wie späte Linien, die die Kornausbildung noch nicht abgeschlossen haben. Im Hinblick auf eine Doppelnutzung von Öl und Faser sind solche Genotypen interessant, die durch ein gutes Nachreifevermögen auf eine eventuell notwendige frühe Ernte nicht so empfindlich reagieren. Besonders ausgeprägt ist der Ertragsverlust bei früher Ernte bei den Kombinationsleinen Bionda und Liflora (Abb. 2).

Die Saatstärke-Genotyp-Interaktion ist bei den generativen Merkmalen mit Ausnahme bei der Samenzahl/Pflanze am geringsten ausgeprägt, was insofern erwünscht ist, als im Zuchtgarten regelmäßig bei niedrigeren Bestandesdichten, als im späteren Anbau üblich, selektiert werden muß. Das ist gerade beim Faserlein auffallend, wo in der Praxis mit extrem hohen Saatstärken gearbeitet wird.

Betrachtet man die Gesamtheit der vegetativen Merkmale (Abb. 3), so bietet sich ein etwas anderes Bild als zuvor bei den generativen Merkmalen (vgl. Abb. 1).

Bis auf den Stengeldurchmesser sind alle vegetativen Merkmale in starkem Maße genotypisch bedingt, wobei die Wuchshöhe am wenigsten durch Umwelt und Interaktion beeinflußt wird. Dieses Merkmal läßt demnach den höchsten Selektionserfolg erwarten. Aber auch im Fasergehalt zeigt sich eine große genetische Variabilität, die sich bei 2000 k. K./m² im Mittel der Orte von 17,1 % (Öllein Redwing) bis 32,6 % (Faserlein Ariane) erstreckt (Abb. 4).

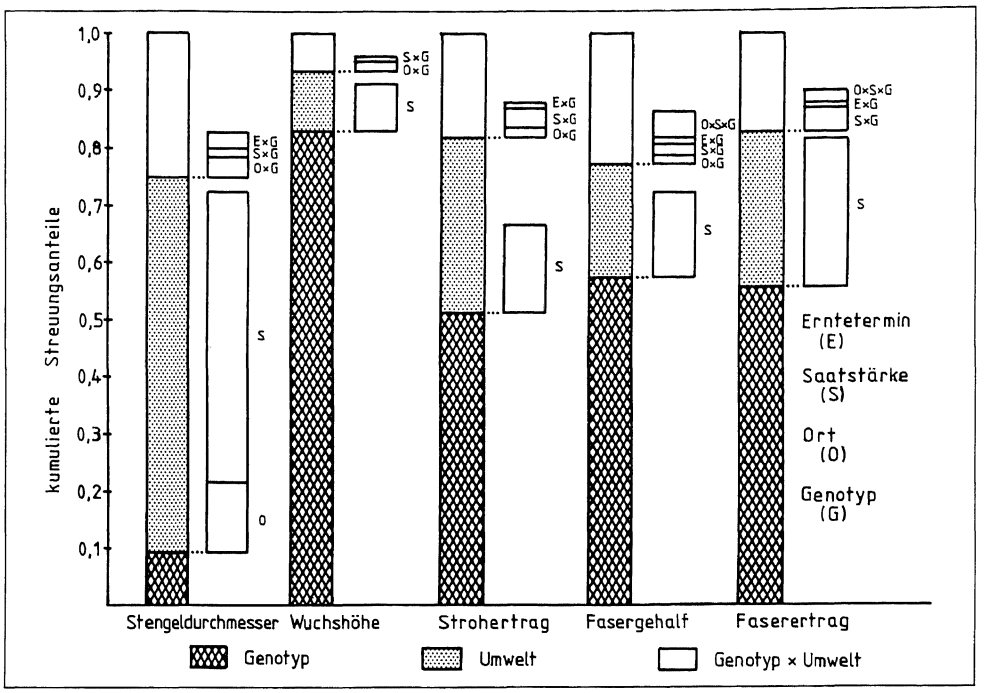

Abb. 3: Bedeutung von Genotyp, Umweltfaktoren und Interaktionen Genotyp × Umweltfaktoren für die Ausprägung der vegetativen Merkmale (Bezugsbasis: Gesamtvarianz des Versuchs, Ableitung in Anlehnung an Lein *[1960])*

Die Ausprägung sämtlicher vegetativer Eigenschaften wird durch den Faktor Erntetermin nicht verändert (Abb. 3). Die quantitative Ausbildung der vegetativen Leistungsmerkmale ist bereits wesentlich früher abgeschlossen (Frederiksen 1959, Danell 1967, Dempsey 1975, Chesson 1979). Der frühe Erntetermin bei Fasernutzung ist damit eine reine Frage der Faserqualität. Nach Angaben in der Literatur verschlechtert sich bei später Ernte vor allem die Faserfeinheit, während die Reißfestigkeit zunächst noch ansteigt und erst zum Ende der Abreife abfällt (Robinson 1931, Jacquemart 1957, Hoffmann 1961, Ahmad und Ma. 1982, 1984).

Von den Umweltfaktoren spielt die Saatstärke die dominierende Rolle. Bei hohen Bestandesdichten sind der Strohertrag, Fasergehalt (Abb. 4) und Faserertrag verbessert, der Stengeldurchmesser wird stark reduziert, während die Wuchshöhe nur relativ wenig verändert wird. Eine Einzelpflanzenselektion in Drillbeständen, wo jeder Pflanze ein unterschiedlich großer Standraum zur Verfügung steht, ist somit nur bei der Wuchshöhe zu empfehlen.

Die Genotyp-Umwelt-Wechselwirkungen nehmen insgesamt sehr geringe Werte an. Bei Strohertrag und Faserertrag weist die Saatstärke-Genotyp-Interaktion noch das größte Ausmaß auf.

Auch beim Fasergehalt ist die Wechselwirkung des Genotyps mit der Saatstärke von Bedeutung, hier in Verbindung mit dem Standort. Es gibt offensichtlich Genotypen, die schon bei einer mittleren Saatstärke den maximalen Fasergehalt erzielen (Redwing und Liflora, Abb. 4). Auch bei Maddens und Ma. (1984) erreichte die Sorte „Hera" schon bei 1250 Körner/m² den höchsten Fasergehalt. Selektiert man bei niedrigen Bestandesdichten, sind solche Genotypen im Vorteil, während bei einem Anbau unter sehr hohen, praxisüblichen Bestandesdich-

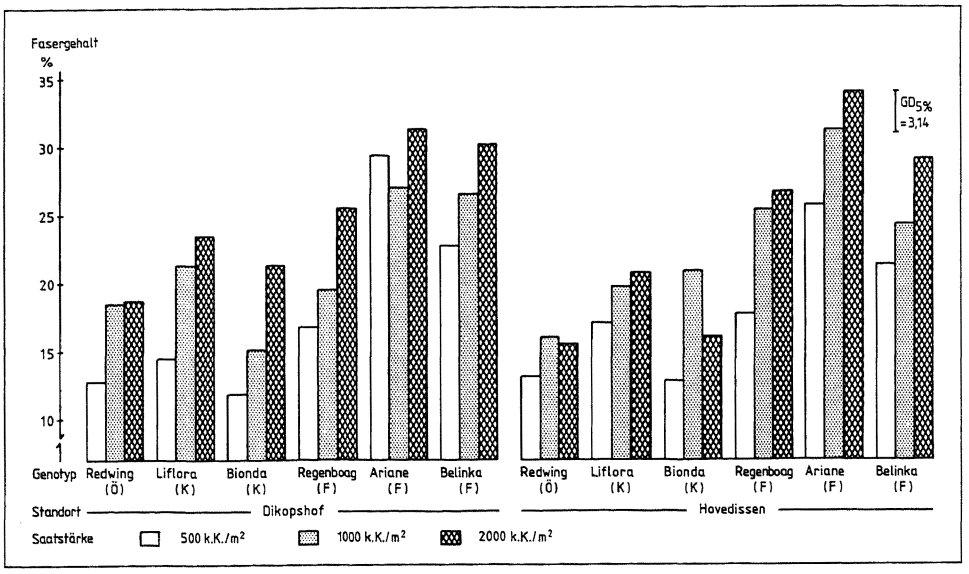

Abb. 4: Einfluß von Standort, Genotyp und Saatstärke auf den Fasergehalt (%) (Mittel über zwei Erntetermine, zwei Wdh.)

ten eventuell Typen, die eine stärkere Reaktion auf die Saatstärke zeigen, die höheren Fasergehalte aufweisen.

Insgesamt sind jedoch auch diese Wechselwirkungen gemessen an dem großen Ausmaß der genotypisch bedingten Varianz relativ gering.

3.3 Vererbungsstruktur vegetativer und generativer Leistungseigenschaften

Sowohl für die Selektion in frühen Generationen der Linienzüchtung als auch im Hinblick auf eine eventuelle Hybridzüchtung ist es wichtig zu wissen, in welchem Maße die Vererbung der Merkmale durch additive und durch dominante Geneffekte beeinflußt wird.

Im Ausmaß der Heterosis bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Merkmalsgruppen und zwischen den einzelnen Merkmalen, ebenso wie zwischen den Versuchsjahren (Tabelle 3). Auffallend ist, daß im Jahr 1986 generell die Heterosis stärker ausgeprägt ist.

Tabelle 3

Ausprägung der Merkmalsheterosis in Abhängigkeit vom Jahr (Mittel aller Kreuzungen in der F1-Leistungsprüfung)

	Heterosis (in % über Elternmittel) 1985	1986
Strohertrag/Pflanze	−4,8	+12,1
Wuchshöhe	0,0	+ 0,8
techn. Länge	−1,0	−5,4
Stengeldurchmesser	+2,4	+1,8
Samenertrag/Pflanze	+8,6	+27,0
Kapselzahl/Pflanze	+4,6	+22,0
Samenzahl/Kapsel	−5,0	−3,9
Samenzahl/Pflanze	−2,7	+15,9
TKG	+8,4	+9,2

Der Samenertrag/Pflanze zeigt mit +8,6 % bzw. +27,0 % Mehrleistung über dem Elternmittel die höchste Heterosis, gefolgt von der Kapselzahl/Pflanze und dem Tausendkorngewicht. Die Samenzahl pro Kapsel weist als einziges der generativen Merkmale in beiden Jahren negative Werte auf.

Bei den vegetativen Merkmalen dagegen liegt die Leistung der F1 in der Regel beim Elternmittel. Nur die Heterosis des Strohertrages/Pflanze weist in beiden Jahren unterschiedliche Vorzeichen auf, sie ist im ersten Jahr negativ (−4,8 %) und im zweiten Jahr positiv (+12,1 %).

Auch die Varianzanalyse des Diallels nach HAYMAN (1954) zeigt, daß die vegetativen Merkmale in erster Linie durch additive Genwirkungen bestimmt werden, wogegen bei den generativen Eigenschaften darüber hinaus deutliche Dominanzeffekte wirksam werden (Tabelle 4).

Tabelle 4

Signifikanzen im F-Test der Varianzanalyse des F1-Diallels (nach HAYMAN *1954)*

vegetative Merkmale

Varianzursache		Strohertrag/ Pflanze	Wuchshöhe	technische Länge	Stengel-durchmesser
additive Genwirkung	a	**	**	**	**
Dominanz-abweichung	b	—	—	—	—
reziproke Effekte	c	—	—	—	—
unerklärter Rest	d	—	—	—	—

generative Merkmale

Varianz-ursache	Samenert./ Pflanze		Kapselz./ Pflanze		Samenz./ Kapsel		Samenz./ Pflanze		TKG	
	1985	1986	1985	1986	1985	1986	1985	1986	1985	1986
additive Genwirkung	—	**	**	**	**	*	**	**	**	**
Dominanz-abweichung	—	**	**	**	**	**	—	**	**	**
reziproke Effekte	—	—	*	—	*	—	—	—	—	**
unerklärter Rest	*	—	*	*	**	*	**	—	**	**

Da sich beim Samenertrag und bei der Samenzahl/Pflanze deutliche Wechselwirkungen mit dem Jahr ergaben, wurde die Varianzanalyse für die generativen Merkmale nach den Jahren getrennt durchgeführt. Speziell bei diesen beiden Merkmalen werden die Dominanzeffekte nur 1986, in dem Jahr mit den höheren Heterosiswerten, signifikant.

Es erhebt sich nun die Frage, welche Auswirkungen diese Befunde über die Vererbungsstruktur für die züchterische Bearbeitung dieser Kulturpflanze haben.

Prinzipiell besteht auch bei Lein aufgrund der vorhandenen cytoplasmatisch-kerngenetischen männlichen Sterilität (BATESON und GAIRDNER 1921, BURNHAM und Ma. 1981) und der teilweisen Fremdbefruchtung durch Insekten die Möglich-

keit zur Hybridzüchtung. Die generativen Merkmale erreichen auch Hybrideffekte, die denen anderer Selbstbefruchter, wie z. B. Weizen, vergleichbar sind. Auf der vegetativen Seite, die beim Kombinationslein gleichberechtigtes Zuchtziel ist, sind jedoch kaum nutzbare Dominanzeffekte zu finden. Der Mehraufwand der Hybridzüchtung müßte sich hier allein durch den höheren Ertrag des Teilzuchtziels Samenertrag amortisieren. Deshalb darf man erwarten, daß für die Entwicklung eines Kombinationsleintyps und für die Faserleinzüchtung weiterhin die konventionelle Linienzüchtung im Vordergrund stehen wird. In der reinen Ölleinzüchtung wären sicher Hybridformen aussichtsreich.

In der konventionellen Selbstbefruchter-Linienzüchtung müssen auf jeden Fall die Dominanzeffekte bei einer Selektion auf generative Merkmale in frühen Generationen berücksichtigt werden. Diese Dominanzeffekte sind neben Umweltwirkungen und Genotyp-Umwelt-Interaktionen (Abschnitt 3.2) verantwortlich für einen geringen Selektionserfolg einer Frühauslese (Heyland 1965, Utz und Ma. 1973). Nach Heyland (1966) sind bei einer zu scharfen Selektion auf Leistung nur sehr geringe Selektionsfortschritte zu erzielen, da diese Leistung auf einen hohen Heterozygotiegrad der Pflanzen beruht und somit die Auslese gegen das Zuchtziel Homozygotie erfolgt.

Zusammenfassung

Im Hinblick auf das Zuchtziel „Kombinationslein" ist untersucht worden, ob eine Kombination von vegetativen und generativen Leistungseigenschaften bei Lein zu erreichen ist und welche Merkmale als Selektionskriterien geeignet sind.

Aufgrund der gefundenen Merkmalskorrelationen erscheint eine Kombination von vegetativem (Faser) und generativem Ertrag (Öl) auf züchterischem Wege durchaus erfolgversprechend.

Wegen des hohen Anteils der genotypisch bedingten Varianz und der geringen Genotyp-Umwelt-Interaktionen sind Wuchshöhe und Tausendkorngewicht am besten für die Selektion, auch in frühen Generationen, geeignet. Etwas schlechter schneiden Ölgehalt, Strohertrag, Fasergehalt und Faserertrag ab. Bei den drei vegetativen Merkmalen sind Effekte der Saatstärke und der Genotyp-Saatstärke-Interaktion wirksam, während der Ölgehalt in erster Linie durch die Wahl des Erntetermins verändert wird. Beim Ölertrag, Samenertrag und der Samenzahl pro Pflanze sind Umwelteffekte und Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Umwelt am stärksten ausgeprägt. Die Einzeleffekte werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Selektion im Zuchtgarten besprochen.

Die Vererbung der vegetativen Eigenschaften wird durch additive Genwirkungen bestimmt, bei den generativen Merkmalen treten deutliche Dominanzeffekte auf, die bei Selektion in frühen Generationen beachtet werden müssen. Heterosiseffekte können in der Hybridzüchtung bei Öllein genutzt werden, während für die Faserleinzüchtung und für die Entwicklung von Kombinationsleintypen die konventionelle Linienzüchtung im Vordergrund stehen sollte.

The Suitability of Vegetative and Generative Characteristics as Selection Criteria for the Breeding Aim "Simultaneous Use of Oil and Fibre" in Flax

Summary

The possibility of combining the performance of vegetative **and** generative characteristics in flax and the suitability of those characteristics as selection criteria were investigated.

The correlation coefficients show that it is possible to combine vegetative (fibre) and generative yield (oil) by means of plant breeding.

Because of a large genotypic variation and small genotype-environment-interaction height and thousand grain weight are the best selection criteria, especially in early generations. Oil content (influence of harvest date) and straw yield, fibre content and fibre yield (these vegetative characteristics are mainly influenced by seed rate and genotype-seed rate-interaction) follow. Oil yield, grain yield and seeds per plant show the greatest influence of environment and genotype-environment-interaction. The consequences of these results on selection are discussed.

The inheritance of the vegetative characteristics is predominantly determined by additive gene effects, whereas the generative characteristics also show large dominance effects, which have to be taken into account in early generation selection. Heterosis can be used in hybrid breeding of oil seed flax; for fibre flax, breeding and developing lines which combine oil and fibre, the conventional pedigree method is most suitable.

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche danken wir der Saatzucht W. von Borries-Eckendorf und dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Gießen.

Literatur

AHMAD, M., N. A. JAMIL and M. A. SAEED: Nitrogen, lignin, wax and ash contents in flax *(Linum usitatissimum)*. Pakistan. J. Agric. Res. *3*, 78—83, 1982.

AHMAD, M., N. A. JAMIL and M. A. SAEED: Quality characteristics of various flax *(Linum usitatissimum)* fibres as affected by maturity. Pakistan. J. Agric. Res. *5*, 18—22, 1984.

BATESON, M. A. and A. E. GAIRDNER: Male-sterility in flax, subject to two types of segregation. J. Gen. *11*, 269—275, 1921.

BREDEMANN, G.: Die Bestimmung des Fasergehaltes in Bastfaserpflanzen bei züchterischen Untersuchungen. Faserforschung und Textiltechnik *2*, 239—258, 1922.

BURNHAM, C. R., R. L. PHILLIPS and M. C. ALBERTSEN: Inheritance of male sterility in flax involving nuclear-cytoplasmatic interaction, including methods of testing for cytoplamatic restoration. Crop. Sci. *21*, 659—663, 1981.

CHESSON, A.: A laboratory method for the determination of fibre content of linen flax. New Zealand J. Agric. Res. *22*, 43—46, 1979.

DANELL, N.: Försök med Spanadslin. Lantbrukshögskolans Meddelanden, Uppsala, A *77*, 3—19, 1967.

DEMPSEY, J. M.: Flax. In: Fibre crops. University of Florida book, 3—45, 1975.

FREDERIKSEN, P. S.: Kuaelstof-oz kaliumgodning til spindhor. Lin, *13*, 13—19, 1959.

HAYMAN, B. I.: The analysis of variance of diallel tabels. Biometrics *10*, 235—244, 1954.

HEYLAND, K.-U.: Über die Bedeutung des Heterozygotieeffektes für die Selektion bei Selbstbefruchtern. Bericht über die Arbeitstagung 1965 der Saatzuchtleiter in Gumpenstein, 1965.

HEYLAND, K.-U.: Möglichkeiten und Dimensionierung der Frühauslese in Selbstbefruchterpopulationen. Acta Agriculturae Scandinavica *16*, 102—111, 1966.

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

JACQUEMART, J.: Influence de la date d'arrachage des lins sur les rendements qualitatifs et quantitatifs en fibres textiles. Bull. ITF *71*, 61—75, 1957.

LEIN, A.: Zur relativen Bewertung von Streuungsanteilen aufgrund der Varianzanalyse. Der Züchter *30*, 352, 1960.

MADDENS, K., L. BOCKSTAELE, G. DEMEESTERE and A. DENOO: Vezelvlas: Overzicht van het onderzoek 1983 Teelttechniek. Onderzoek- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw, Beitem-Roeselare (Rumbeke), 1984.

MATHER, K. and J. L. JINKS: Biometrical Genetics, 2. Aufl., Verlag Chapman and Hall, London 1971.

MENZEL, K.-CH.: Möglichkeiten zur raschen Bestimmung des Gesamtfasergehaltes der Flachspflanze. Faserforschung und Textiltechnik *12*, 269—275, 1961.

ROBINSON, B. B.: The time to harvest fibre flax. US Dep. of Agric. Washington D. C., Technical Bulletin, 236, 1931.
ROWLAND, G. G.: An agronomic evaluation of fibre flax in Saskatchewan. Can. J. Plant Sci. *60*, 55—59, 1980.
SCHILLING, E.: Lein, *Linum usitatissimum* L. In: TH. ROEMER und W. RUDORF: Handbuch der Pflanzenzüchtung, 1. Aufl., Bd. 4, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1944.
TIWARI, P. N., P. N. GAMBIR and T. S. RAJAN: Rapid and non destructive determination of seed oil by pulsed nuclear magnetic resonance technique. J. Am. Oil Chem. Soc. *51*, 104—109, 1974.
UTZ, H. F., K. D. ALBER, F. W. SCHNELL und M.-L. SNOY: Selektion in frühen Generationen des Winterweizens. I. Merkmalskorrelationen. Z. Pflanzenzüchtung *70*, 38—50, 1973.
WURSTER, J., D. DAUL, U. DINKEL, R. KESSLER und C. OZBAS: Abschlußbericht zum Forschungsthema: „Entwicklung eines wirtschaftlichen Verfahrens zum Stengel- und Faseraufschluß sowie zur Stengel- und Faseraufbereitung". Transferzentrum für nachwachsende Faserrohstoffe, Reutlingen 1988.

(Manuskript eingelangt am 15. Dezember 1989)

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Klaus-Ulrich HEYLAND, Institut für Pflanzenbau, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-W-5300 Bonn 1, und Dipl.-Ing. Dr. Reinhard HEMKER, Nickerson Pflanzenzucht GmbH Zuchtstation, Westerende 8 — Postfach 8021, D-W-3160 Lehrte-Arpke