

Dr. W. Zenz mit Gen. von „senior author“

P. Zenzel
13.03.89

Sonderdruck aus
DIE BODENKULTUR
Journal für landwirtschaftliche Forschung

Chefredakteur: em. o. Universitätsprofessor Dipl.-Ing. Dr. Dr. h. c. Otto Steineck

Redaktion: o. Universitätsprofessor Dipl.-Ing. Dr. Kurt Ehrendorfer

Österreichischer Agrarverlag, 1014 Wien I, Bankgasse 1–3

40. BAND

HEFT 1 (FEBRUAR 1989)

(Aus dem Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim; Lehrstuhl für Angewandte Genetik und Pflanzenzüchtung)

Der Polycrosstest als methodischer Schritt in der Fababohnenzüchtung (experimentelle Ergebnisse)

Von A. FLECK und P. RUCKENBAUER

(Mit 2 Abbildungen)

1. Einleitung

Im Züchtungsgang von synthetischen Sorten, z. B. bei Luzerne und Gräsern, spielt der Polycross eine wichtige Rolle. Mit diesem Verfahren wird die allgemeine Kombinationsfähigkeit (general combining ability = gca) ermittelt. Die gca eines Genotyps ist die Merkmalsdifferenz der Polycrossnachkommenschaft (PcNk) dieses Genotypes zum Mittel aller beteiligten Polycrossnachkommen und stellt ein wichtiges Beurteilungskriterium für die Eignung eines Genotyps als eine von mehreren Komponenten für eine synthetische Sorte dar. Zu ihrer Ermittlung werden die Genotypen in einem Durchkreuzungsbeet so angebaut, daß jeder Genotyp von jedem bestäubt werden kann (daher der Name Polycross). Die Polycrossnachkommenschaften der Genotypen werden in einem Feldanbau geprüft. Genotypen mit bester gca werden selektiert und als Komponenten für die synthetischen Sorten verwendet. Die synthetische Sorte ist dann die Nachkommenschaft aus dem ein- oder mehrmaligen offenen Abblühen dieser Komponenten untereinander. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist allerdings, daß die Komponenten in Form von Inzuchtlinien oder Klonen vorliegen und somit erhalten werden können.

Bei der Fababohne (*Vicia faba* L.) können Inzuchtlinien ohne Schwierigkeiten hergestellt und erhalten werden. Ihre partielle Allogamie bedingt, daß die PcNk aus einem Gemisch von Linienpflanzen und F₁-Pflanzen zusammengesetzt sind, wobei der F₁-Anteil von der Fremdbefruchtungsrate der Linien im Polycross bestimmt wird. Die Fremdbefruchtungsrate bei Fababohnen variiert sowohl zwischen Umwelten als auch zwischen Genotypen sehr stark, wie unter anderem neuere Untersuchungen von STEUCKHARDT und Ma. (1985) und LINK (1988) belegen.

Die Leistung einer Polycrossnachkommenschaft läßt sich modellmäßig wie folgt darstellen:

$$P(i) = SR(i) \times L(i) + (1 - SR(i)) \times F_1(i); \quad \text{Gl. (1)}$$

- mit P(i) = Leistung der PcNk der Linie i
L(i) = Eigenleistung der Linie i
F₁(i) = mittlere Leistung der F₁-Pflanzen mit der Linie i als Mutter
SR(i) = Selbstungsrate der Linie i im Polycross
1 - SR(i) = Fremdbefruchtungsrate der Linie i im Polycross.

Somit stellt die Polycrossnachkommenschaftsleistung einer Linie ein komplexes Zusammenwirken von Linieneigenleistung, Fremdbefruchtungsrate sowie der mittleren F_1 -Nachkommenschaftsleistung dieser Linie dar.

Gerade deshalb fordert von KITTITZ (1983) von Linien als Komponenten für synthetische Sorten bei Fababohnen eine hohe Linieneigenleistung, eine hohe gca sowie eine hohe Neigung zur Fremdbefruchtung. Anhand der experimentellen Ergebnisse wird in dieser Arbeit dargestellt, welchen Beitrag der Polycross mit anschließender Prüfung der PcNk für die Selektion von geeigneten Linien für synthetische Sorten bei Fababohnen leisten kann.

2. Material und Methoden

Ausgangsmaterial des Experimentes bildeten 36 Genotypen, die 1985 in der 7. Selbstungsgeneration, das heißt als nahezu vollständig homozygote Inzuchtlinien in Hohenheim vorlagen. Jeweils sechs Genotypen stammen aus den Sorten Diana (Di), Herra (He), Herz Freya (HF), Kristall (Kr), Kleine Thüringer (KT) und Nixe (Ni). Diese 36 Genotypen wurden 1985 und 1986 in einem systematischen Polycross (WRIGHT 1965) im Freiland angebaut. Durch diese Anlage wurde die Voraussetzung für eine gleichmäßige Verteilung des Pollens aller beteiligten Genotypen geschaffen. Von jedem Genotyp wurden 36 Pflanzen pro Polycross angebaut. Die Ernte der Polycross-Parzellen erfolgte getrennt nach Genotypen.

Diese Genotypen wurden parallel dazu unter bestäuberinsektenfreien Bedingungen in Isolierhäusern vermehrt und erhalten. 1986 erfolgte eine gemeinsame Leistungsprüfung der Selbstungsnachkommenschaften der Genotypen (Linien) und der Nachkommen aus dem Polycross 1985, 1987 wurden die Linien und die Nachkommen aus dem Polycross 1986 geprüft. Als Versuchsanlage wurde eine Split-Plot-Anlage gewählt, wobei die Linie und die Polycrossnachkommenschaft jeweils nebeneinander angebaut waren und gemeinsam eine Großparzelle bildeten. Die beiden Kleinparzellen innerhalb der Großparzelle unterschieden sich also bezüglich ihrer genetischen Struktur: die homogene, homozygote Inzuchtlinie und die heterogene, zum Teil heterozygote Polycrossnachkommenschaft. Die Leistungsprüfungen wurden als 6×6 Gitter an zwei Orten 1986 mit vier Wiederholungen pro Ort, 1987 mit drei Wiederholungen pro Ort angelegt. Versuchsorte waren in beiden Jahren Stuttgart-Hohenheim und Neckarmühlbach. Die Großparzellen bestanden aus jeweils zwei Kleinparzellen zu 5 m^2 an allen vier Umwelten, die Bestandesdichte betrug 1986 an beiden Orten 25 Pflanzen/ m^2 , 1987 in Hohenheim 35 Pflanzen/ m^2 und in Neckarmühlbach 29 Pflanzen/ m^2 .

In den Leistungsprüfungen wurden folgende Merkmale erfaßt oder bonitiert:

- Blühbeginn (10% der Pflanzen blühen)
- Blühende (noch 10% der Pflanzen blühen)
- Lager bei Reife (Bonitur; 1 = ohne Lager, 9 = totales Lager)
- Reife (90% der Pflanzen vollständig abgereift)
- Kornertag (bei 12% Wassergehalt, umgerechnet auf dt/ha)
- Tausendkorngewicht (g)
- Wuchshöhe bei Blühende (Mittelwerte von 20 Einzelpflanzen/Parzelle, gemessen in cm).

Die Versuchsergebnisse der Linien sind zugleich als Versuchsergebnisse der 36 Eltern-Genotypen („Linieneigenleistung“) aufzufassen, da von der 7. zur 8. Selbstungsgeneration praktisch keine genetische Veränderung mehr zu erwarten ist.

Die Daten aus jeder Umwelt wurden in einem ersten Schritt als Gitter verrechnet. Da die Gittereffizienz bei sämtlichen Merkmalen in allen vier Umwel-

ten weniger als 110% betrug, wurde die Verrechnung über Umwelten ohne Gitteradjustierung durchgeführt. Varianzanalysen wurden sowohl für Großparzellen (Linien und PcNk gemeinsam) als auch für Linien und PcNk getrennt erstellt.

Die statistische Auswertung für Linien bzw. PcNk erfolgte nach folgendem Modell:

$$x_{ik} = \mu + t_{(i)} + p_{(k)} + (tp)_{ik} + e_{ik}$$

- x_{ik} = Beobachtungswert
- μ = allgemeiner Mittelwert
- $t_{(i)}$ = Effekt der Linie i bzw. der PcNk i
- $p_{(k)}$ = Effekt der Umwelt k
- $(tp)_{ik}$ = Interaktionseffekt der Linie i bzw. der PcNk i mit der Umwelt k
- e_{ik} = gepoolter Fehler

Der gepoolte Fehler wurde nach COCHRAN und COX (1962) ermittelt. Bei den F-Tests wurden die MQ's für Umwelten und Linien bzw. PcNk gegen das MQ der Interaktionsvarianz getestet, die Interaktion selbst gegen den gepoolten Fehler.

Zur gemeinsamen Verrechnung der Linien und der PcNk wurde das Modell folgendermaßen erweitert:

$$x_{ikg} = \mu + t_i + p_k + (tp)_{ik} + q_g + (tq)_{ig} + (tpq)_{ikg} + e_{ikg}$$

- x_{ikg} = Beobachtungswert
- μ = allgemeiner Mittelwert
- t_i = Effekt des Genotyps i
- p_k = Effekt der Umwelt k
- $(tp)_{ik}$ = Interaktionseffekt des Genotyps i mit der Umwelt k
- q_g = Effekt der genetischen Struktur g
- $(tq)_{ig}$ = Interaktionseffekt der genetischen Struktur g mit dem Genotyp i
- $(tpq)_{ikg}$ = Interaktionseffekt des Genotyps i mit der Umwelt k und der genetischen Struktur g
- e_{ikg} = gepoolter Fehler

In beiden Modellen werden die Effekte t_i und p_k als zufällige Effekte betrachtet, die anderen Effekte sind fixiert.

Folgende Signifikanzangaben werden in dieser Arbeit verwendet:

- ** , * , + : signifikant bei $\alpha = 1, 5, 10\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit
- ns: nichtsignifikant

3. Experimentelle Ergebnisse

Die in den Tabellen 1 und 2 dargestellten Mittelwerte zeigen, daß innerhalb des geprüften Liniensortimentes eine sehr große Variabilität bei den einzelnen Merkmalen vorhanden ist. (Die Extremwerte sind in den Tabellen fettgedruckt.)

Der Blühbeginn der PcNk liegt im Gesamtmittel zwei Tage vor dem der Linien, bei fast allen Genotypen sind die Unterschiede zwischen Linien und PcNk signifikant. Die Rangierung der Linien ist mit derjenigen der PcNk nahezu identisch. Bei der Bonitur dieses Merkmales wurde bei den PcNk hauptsächlich der Blühbeginn der F_1 -Pflanzen erfaßt, die früher als die jeweilige (Mutter-)Linie blühen.

Für das Merkmal Lager lassen sich im Gesamtmittel keine signifikanten Unterschiede zwischen Linien und PcNk nachweisen, obwohl die PcNk im Mittel 9 cm höher sind. Bei einzelnen Genotypen lassen sich signifikante Unterschiede zeigen, oft weisen dann sogar die PcNk eine höhere Standfestigkeit als die Linien auf. Tendentiell sind die PcNk von lageranfälligen Genotypen standfester als die Linien, was auf eine höhere Standfestigkeit der F_1 -Pflanzen innerhalb der PcNk hindeutet. Fast alle PcNk sind nach Blühende signifikant höher als die

Linien, nur bei wenigen Genotypen (z. B. Di08, HF22) konnten keine heterotischen Effekte nachgewiesen werden.

Tabelle 1

Mittelwerte über vier Umwelten der Merkmale Blühbeginn (Tage ab 1. Juni), Lager (Bonitur von 1 bis 9) und Wuchshöhe (cm)

Genotyp	Blühbeginn		Lager		Wuchshöhe	
	Linie	PcNk	Linie	PcNk	Linie	PcNk
Di 01	20,5	18,4	3,33	3,21	135	149
02	21,9	19,0	4,94	4,66	154	164
03	18,4	17,4	6,31	5,50	156	163
06	16,7	16,5	2,77	2,98	138	144
07	14,6	14,0	4,29	3,94	139	147
08	17,1	16,3	5,94	5,00	162	162
He 09	17,5	17,7	3,98	4,23	156	161
10	19,1	18,0	3,60	3,96	152	158
11	18,9	18,0	4,06	3,92	156	162
14	19,1	18,2	7,06	6,60	161	165
15	20,8	18,8	3,56	3,50	143	151
16	22,0	18,2	2,73	2,94	149	153
HF 17	17,7	17,1	1,98	2,60	162	169
18	19,5	18,1	3,40	3,17	162	167
19	22,2	19,2	4,00	3,77	161	170
22	22,1	18,9	7,56	6,27	160	160
23	16,8	16,8	3,46	3,21	149	153
24	18,5	17,5	2,54	2,35	154	156
Kr 25	18,6	18,8	2,40	2,87	164	168
26	23,1	20,2	3,12	2,96	163	166
27	20,2	17,9	3,21	3,39	152	157
30	17,2	16,9	2,42	2,62	160	166
31	19,4	18,0	1,79	2,52	154	161
32	20,4	18,3	3,81	3,44	161	166
Ni 33	22,3	19,2	4,75	4,50	161	167
34	23,3	19,0	4,48	4,66	158	168
35	23,0	19,3	4,92	4,69	160	170
38	22,3	19,0	6,48	5,98	168	176
39	22,0	18,4	5,00	4,79	158	169
40	23,5	19,1	2,29	2,98	153	158
KT 41	21,8	18,8	3,14	3,37	151	163
42	17,6	17,0	3,48	4,04	157	164
43	20,1	18,0	4,48	4,44	155	164
46	20,0	17,9	6,71	5,19	158	162
47	23,7	18,8	5,46	4,54	160	163
48	17,7	17,1	3,46	3,71	158	164
GD 5% (a)	1,1	0,9	1,51	1,38	7	7
GD 5% (b)		0,9		0,75		5
Mittel	20,0	** 18,0	4,08	ns 3,96	156	** 165

(a) für den Vergleich innerhalb Linien bzw. PcNk
(b) für den Vergleich zwischen Linien und PcNk

Beim Merkmal Kornertrag (Tabelle 2) sind ebenfalls nahezu alle Unterschiede zwischen Linien und PcNk signifikant, der Unterschied beträgt im Mittel über alle Genotypen 12,4 dt/ha. Der durchschnittliche Mehrertrag der PcNk lag 30% über dem der Linien (Tabelle 2) und variierte von 13 bis 69%. Im Vergleich zu den mittleren Erträgen der Linien (40,8 dt/ha) und der PcNk erbrachte die Sorte Herz Freya, die als Standard mitgeprüft wurde, den Ertrag von 51,3 dt/ha.

Ebenso ist die Differenz beim Merkmal TKG zwischen den PcNk und Linien mit durchschnittlich 33 g (Tabelle 2) signifikant. Allerdings sind nur bei ca. zwei Drittel der Genotypen signifikante Unterschiede nachzuweisen, die Rangierung der Genotypen ist bei den Linien und bei den PcNk nahezu identisch. Bei den PcNk der Linien HF17 und Ni39 war das TKG insignifikant niedriger als bei den Linien. Die beiden Elternlinien haben unter den Linien das höchste bzw. das dritthöchste TKG. Die F₁-Pflanzen in diesen PcNk haben somit als Väter haupt-

Tabelle 2

Mittelwerte über vier Umwelten der Merkmale Kornertrag (dt/ha) und TKG (g)

Genotyp	Linie	Kornertrag		Tausendkorngewicht		
		PcNk	% ⁽¹⁾	Linie	PcNk	% ⁽¹⁾
Di 01	38,5	51,1	133	303	375	124
02	45,2	56,2	124	365	405	111
03	38,3	55,1	144	333	380	114
06	35,1	47,6	136	302	373	124
07	36,8	54,8	149	317	373	118
08	38,8	49,0	126	331	375	113
He 09	46,1	53,7	116	339	368	109
10	36,0	46,5	129	281	334	119
11	34,8	45,9	132	289	340	118
14	44,9	54,0	120	387	423	109
15	42,9	49,4	115	321	358	112
16	45,6	51,5	113	334	375	112
HF 17	43,4	56,5	130	474	470	99
18	29,5	49,9	169	397	427	108
19	39,6	54,2	137	344	379	110
22	41,9	51,4	123	384	420	109
23	38,3	54,3	142	363	414	114
24	46,1	55,7	121	387	410	106
Kr 25	40,1	51,2	128	380	400	105
26	40,4	46,9	116	382	414	108
27	41,2	51,3	125	394	428	109
30	43,8	54,0	123	392	425	108
31	46,0	53,0	115	391	408	104
32	41,7	53,5	128	356	408	115
Ni 33	38,5	54,1	141	408	446	109
34	34,5	56,0	162	436	471	108
35	36,6	53,9	147	444	480	108
38	33,9	49,2	145	504	506	100
39	35,6	57,7	162	546	527	97
40	39,7	52,1	131	455	459	101
KT 41	47,1	60,1	128	454	470	104
42	47,1	59,9	127	432	441	102
43	46,2	55,9	121	345	395	114
46	40,3	56,8	141	397	439	111
47	48,5	56,1	116	381	398	104
48	48,5	54,9	113	414	435	105
GD 5% (a)	7,2	5,8	—	36	25	—
GD 5% (b)		7,8	—		23	—
Mittel	40,8	** 53,2	130	382	** 415	109

(a) für den Vergleich innerhalb Linien bzw. PcNk
(b) für den Vergleich zwischen Linien und PcNk
(¹) Leistung der PcNk in % der Linieneigenleistung

sächlich Genotypen mit geringerem TKG. Somit erscheint das geringere TKG dieser beiden PcNk plausibel. Die mittlere Mehrleistung der PcNk in Prozent der Linieneigenleistung beträgt 9%, sie variiert zwischen -3% und 24%. Beim Merkmal TKG sind die heterotischen Effekte deutlich geringer ausgeprägt als beim Merkmal Kornertrag.

In der Tabelle 3 sind die Schätzwerte der Varianz-Komponenten für verschiedene Varianzursachen dargestellt. Der große Anteil der umweltbedingten Varianz bei den kalendarisch erhobenen Merkmalen (Blühbeginn, Blühende und Reife) ist leicht durch die unterschiedlichen Aussaatzeiten an den vier Umwelten zu erklären. Die auffällig große Varianzkomponente für die Varianzursache Umwelten beim Merkmal Kornertrag (siehe Tabelle 3) der PcNk ist dadurch bedingt, daß die höhere Bestandesdichte 1987 in Hohenheim von den PcNk in einen deutlicheren Ertragsvorteil umgesetzt werden konnte, als dies bei den Linien der Fall war. Anders ausgedrückt bedeutet dies, daß der Einzelpflanzen-ertrag der F₁-Pflanzen innerhalb der PcNk trotz der größeren Bestandesdichte weniger zurückging, als dies bei den Pflanzen der Linienparzellen der Fall war. Die Varianzkomponenten für die Varianzursache Linien sind bei allen Merkmalen größer als die entsprechenden Varianzkomponenten für die PcNk, die Einengung der Variabilität zwischen den Linien durch die Durchkreuzung im polycross wird dadurch beschrieben. Besonders ausgeprägt ist dies bei den Merkmalen Blühende, Lager, Reife, Kornertrag und TKG. Bei diesen Merkmalen sind die Varianzkomponenten für die Varianzursache PcNk nur halb so groß wie die Varianzkomponenten der Linien. Diese Einengung der Variabilität kommt auch bei Betrachtung der Minimal- und Maximal-Werte (fettgedruckte Werte in Tabelle 1 und 2) für Linien und PcNk deutlich zum Ausdruck.

Tabelle 3

Schätzwerte für Varianzkomponenten verschiedener Varianzursachen

Varianzursache	Merkmal						
	Blühbeginn	Blühende	Lager	Reife	Korn-ertrag	TKG	Wuchshöhe
Umwelten (Linien)	44,9**	85,1**	2,5**	177,9**	33,0**	2028**	645,5**
(PcNk)	46,6**	84,6**	2,1**	174,9**	104,3**	2278**	748,1**
Linien	5,3**	2,9**	1,9**	4,9**	15,9**	3417**	48,0**
PcNk	1,1**	1,4**	0,9**	2,8**	8,3**	1886**	44,2**
Umwelt × Linie	0,4 ns	1,4 +	0,8 ns	5,5**	18,7 ns	549**	17,9 ns
Umwelt × PcNk	0,3 ns	0,8 ns	0,7 ns	3,7**	10,0 ns	207 ns	12,1 ns
gepoolter Fehler (Linien)	0,7	1,3	1,3	2,4	25,0	410	31,1
(PcNk)	0,6	1,3	1,1	2,5	22,6	374	33,0
genet. Strukt.	1,9**	0,1**	0,0 ns	0,0 ns	76,5**	547**	20,2**
genet. Strukt. × Genotyp	0,9**	0,2**	0,1*	0,1 +	2,3 ns	126**	2,2**

Ebenfalls sind die Varianzkomponenten für die Interaktion Umwelt × Linie bei allen Merkmalen größer als dies bei der Interaktion Umwelt × PcNk der Fall ist. Dies deutet darauf hin, daß die PcNk einheitlicher auf die verschiedenen Umwelten reagieren, während die Linien eher ungleich auf die einzelnen Umwelten reagieren. Signifikante Interaktionen zwischen Linien und Umwelten lassen sich für die Merkmale Reife und TKG nachweisen, bei den PcNk ist ledig-

lich beim Merkmal Reife eine signifikante Interaktion mit der Umwelt zu zeigen. Beim Merkmal Kornertrag lassen sich weder bei den Linien noch bei den PcNk signifikante Interaktionen mit der Umwelt nachweisen; Ursache ist die recht große Fehlervarianz bei diesem Merkmal.

Die Beziehung zwischen Linieneigenleistung und Leistung der PcNk für verschiedene Merkmale wird in Tabelle 4 a gezeigt. Die genotypischen Korrelationen sind bei allen Merkmalen außer Ertrag sehr eng. Für den Ertrag beträgt diese Korrelation lediglich 0,508. Der Schätzwert für die operative Heritabilität (Tabelle 4 b) ist beim Merkmal Ertrag ebenfalls am kleinsten. Bei den Heritabilitäten sind zwischen Linien und PcNk nur geringe Unterschiede vorhanden.

Tabelle 4

a) Genotypische Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Leistung der PcNk
b) Operative Heritabilitäten für Linien und PcNk

Merkmal	genotyp. Korrelation	a) Standardfehler der genotyp. Korrelation	b) operative Heritabilität	
			Linie	PcNk
Blühbeginn	0,865 + +	0,048	0,97	0,91
Blühende	0,992 + +	0,010	0,86	0,82
Lager	1,016 + +	0,014	0,87	0,79
Reife	1,012 + +	0,009	0,76	0,72
Ertrag	0,508 + +	0,185	0,71	0,66
TKG	0,993 + +	0,008	0,95	0,96
Wuchshöhe	0,942 + +	0,027	0,88	0,89

+ + Genotypische Korrelation größer als das zweifache des entsprechenden Standardfehlers.

4. Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, daß bei den Merkmalen Blühbeginn, Lager, Reife, Wuchshöhe und TKG die Auswertung eines Polycrosses keinen nennenswerten züchterischen Informationsgewinn bringt. Es bestehen sehr enge Beziehungen zwischen Linieneigenleistung und Leistung der Polycrossnackkommenschaften, wie die genotypischen Korrelationen in Tabelle 4 a zeigen. Schon aus einer der beiden Nackkommenschaftsformen (Selbstungsnackkommenschaft bzw. Polycrossnackkommenschaften) läßt sich der Wert einer Linie als Komponente einer synthetischen Sorte sehr gut vorhersagen.

Im Gegensatz dazu ist die Beziehung zwischen Linieneigenleistung und Leistung der Polycrossnackkommenschaften beim Merkmal Ertrag weniger eng, die genotypische Korrelation beträgt nur 0,508. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt. Die Distanz zwischen den Punkten und der Winkelhalbierenden stellt die Mehrleistung der einzelnen PcNk gegenüber den korrespondierenden Linien dar. Eine höhere Korrelation kommt nicht zustande, da z. B. ertragsschwache Linien durch eine Kombination von hoher gca und hoher Fremdbefruchtungsrate Polycrossnackkommenschaften mit hohem Ertrag ergeben können.

Wäre diese Beziehung bei diesem Merkmal ebenso straff wie bei den zuvor beschriebenen, könnte man aus der Eigenleistung der Linien direkt auf ihre Synthetikeignung schließen. Oder, von der anderen Seite aus betrachtet, aus der Ertragsleistung der Polycrossnackkommenschaften könnte auf die Linieneigenleistung zurückgeschlossen werden. Eine Prüfung der Linien selbst könnte also

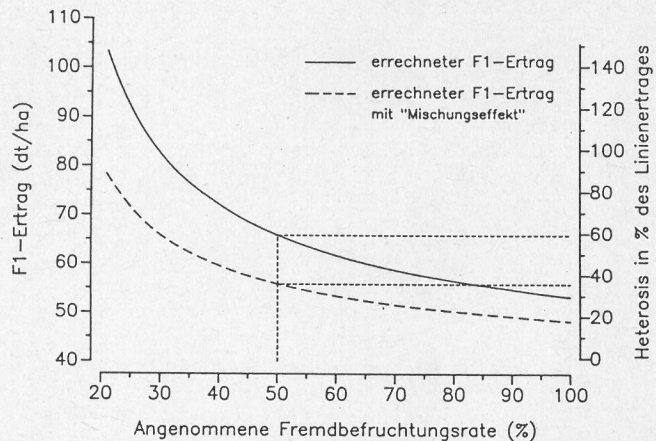


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Fremdbefruchtungsrate und errechnetem F₁-Ertrag am Beispiel des mittleren Ertrages der Polycrossnackkommen (53,2 dt/ha) und des Liniemittels (40,8 dt/ha) ohne bzw. mit Berücksichtigung von Mischungseffekten (5 dt/ha).

gen sind, zutreffend ist, muß angezweifelt werden, ebenso wie die Höhe des Mischungseffektes hier nur auf einer Annahme beruht.

Auch eine weitere, für die Züchtung der Fababohne wichtige Erkenntnis läßt sich aus den Ergebnissen dieses Experimentes ableiten. In einem Polycross ist die Möglichkeit der Genotypen zur Fremdbefruchtung nahezu optimal und wird in einem Zuchtgarten für Fababohnen am gleichen Standort sicherlich nicht übertroffen werden. Prüft ein Züchter Material, welches aus Saatgut einer nicht-isolierten Vermehrung stammt, so wird die realisierte genetische Leistung nicht nur durch Umwelteffekte, sondern auch durch die Fremdbefruchtungsrate der Eltern dieses Materials im Jahr der Saatgutproduktion beeinflusst. Welche Ausmaße dies bei den erfaßten Merkmalen annehmen kann, bringen die genotypischen Korrelationen (Tabelle 4a) deutlich zum Ausdruck. Offensichtlich ist, daß bei dem Merkmal Kornertrag diese Problematik am größten ist, bei den anderen erfaßten Merkmalen ist diese Verzerrung weit weniger ausgeprägt.

Die Einengung der Variabilität durch die Durchkreuzung im Polycross (vgl. der Varianzkomponenten für Linien und Polycrossnackkommen, Tabelle 3) beschreibt einen anderen Aspekt dieser Verzerrung. Sicherlich werden in der praktischen Züchtung von Fababohnen Kompromißlösungen notwendig sein, da nicht das gesamte PrüfungsSaatgut unter isolierten Bedingungen erzeugt werden kann.

Zur Zeit scheint uns die Entwicklung von synthetischen Sorten ein gangbarer Weg, die beträchtlichen heterotischen Effekte der Fababohne zur Entwicklung von ertragreicheren und vielleicht auch stabileren Sorten zu nutzen.

5. Zusammenfassung

Für die Züchtung von synthetischen Sorten bei Fababohnen (*Vicia faba* L.) ist die Frage der Beurteilung der elterlichen Komponenten von besonderer Bedeutung. Die Leistung einer synthetischen Sorte wird nicht nur von der gca der Komponenten, sondern auch durch deren Eigenleistung und Fremdbefruchtungsrate beeinflusst. In dieser Arbeit wurde untersucht, inwieweit der Polycross-Test mit anschließender Prüfung der Polycrossnackkommenschaften dem Pflanzenzüchter als Entscheidungskriterium für die Selektion von geeigneten Linien bei Fababohnen dienen kann. Zu diesem Zweck wurden 36 Inzuchtlinien

und ihre Polycrossnackkommenschaften in einer Leistungsprüfung an zwei Orten und in zwei Jahren angebaut. Die wichtigsten Ergebnisse aus dieser Arbeit sind:

1. Für die erfaßten Merkmale Blühbeginn, Blühende, Reife, Lager bei Reife, TKG und Wuchshöhe wurden sehr enge genetische Korrelationen zwischen Linien und Polycrossnackkommen ermittelt. Bei diesen Merkmalen können geeignete Linien also sowohl anhand der Linieneigenleistung als auch auf Grund der Polycrossnackkommenschaftsleistung selektiert werden.

2. Beim Merkmal Kornertrag wurde nur eine genetische Korrelation von 0,508 zwischen Linieneigenleistung und Leistung der Polycrossnackkommenschaften errechnet. Durch die zusätzliche Bewertung der Ertragsleistung der Polycrossnackkommen wird die Selektion von geeigneten Linien für eine synthetische Sorte wesentlich unterstützt. Eine Selektion von Linien als Komponenten für eine synthetische Sorte nur anhand der Daten aus dem Polycross ist jedoch abzulehnen, da in diesem Falle Linien mit geringer Eigenleistung, aber einer günstigen Kombination von hoher gca und hoher Fremdbefruchtungsrate selektiert werden könnten, die wegen ihrer geringen Eigenleistung ungeeignet sind.

3. Für die Fremdbefruchtungsrate und für die allgemeine Kombinationsfähigkeit muß bei Fababohnen eine beträchtliche genetische Variation vorhanden sein.

4. Durch die Durchkreuzung im Polycross wird die zwischen Linien vorhandene Variabilität deutlich eingeengt.

The polycross-test: a step in the breeding method of faba beans — experimental results

Summary

The assessment of the parental components is of particular importance for the development of synthetic varieties in faba beans (*Vicia faba* L.). Apart from the gca (general combining ability), the performance of a synthetic variety depends also on the per-se performance and the outcrossing rate of the parental components. In this study the suitability of the polycross-test for the selection of parental inbred lines was investigated. For this purpose 36 inbred lines and their respective polycross-progenies were evaluated in a replicated trial at two locations for two years. Important results of this study are as follows:

1. Close genetic correlations between inbred lines and polycross-progenies were obtained for the traits begin and end of flowering, maturity, lodging at maturity, thousand kernel weight and plant height. With regard to this traits, suitable lines can be selected on the basis of inbred lines per-se as well as on the basis of polycross-progeny performance.

2. The genetic correlation for grain yield between inbred lines per-se and polycross-progeny performance was only 0.508. The efficiency of the selection of suitable inbred lines for a synthetic variety can be considerable improved by using additionally the yield performance of the polycross-progenies as a selection criteria. The only use of data of polycross-progenies may lead to a selection of inbred lines with high gca and high outcrossing rate, but such lines should not be taken if a poor inbred line per-se performance is involved.

3. The results offered that in faba beans a considerable genetic variation must be present for gca and outcrossing rate.

4. Crossing in a polycross clearly reduces the genetic variation between inbred lines.

entfallen, insbesondere die aufwendige Vermehrung der Linien unter isolierten Verhältnissen, da die Saatgutproduktion für die Leistungsprüfung im Polycross stattfinden könnte. Lediglich die Erhaltung der Linien unter isolierten Verhältnissen müsste gewährleistet sein.

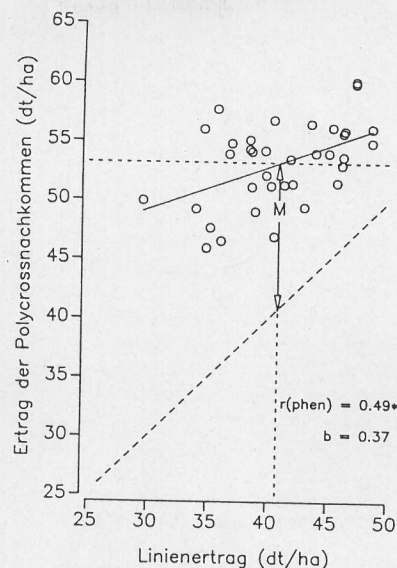


Abb. 1: Korrelation zwischen Linienenertrag und Ertrag der Polycrossnachkommenschaften von 36 Inzuchtlinien. M = mittlere Mehrleistung der Polycrossnachkommen.

Tatsächlich allerdings kann eine Selektion der Linien für synthetische Sorten allein auf Grund der Leistung ihrer Polycrossnachkommenschaften dazu führen, daß auch Linien selektiert werden, die nur eine geringe oder mäßige Eigenleistung besitzen. Die Eigenleistung der Linien ist jedoch von größerer Bedeutung, als dies in der Leistung der PcNk zum Ausdruck kommt. In einer synthetischen Sorte kommt es nämlich durch die begrenzte Anzahl Komponenten zu einer erhöhten Selbstungsrate. So führt bei einem Synthetik mit beispielsweise vier Komponenten ein Viertel des von außen eingetragenen Pollens zur Selbstung. Diese Selbstungen innerhalb einer solchen synthetischen Sorte kommen zu den „eigentlichen“ Selbstungen der Linien noch hinzu und beeinflussen (besonders bei synthetischen Sorten mit wenigen Komponenten) die Ertragsleistung negativ. Unter „eigentlichen“ Selbstungen sollen die Befruchtungen innerhalb einer Pflanze verstanden werden. Im vorliegenden Experiment ist nur etwa jede 36. Fremdbefruchtung genetisch mit einer Selbstung identisch, was daher kaum ins Gewicht fällt.

Wird nur auf Grund hoher Linieneigenleistung ausgewählt, können z. B. Linien mit geringer Fremdbefruchtungsrate und/oder niedriger gca selektiert werden, die somit als Komponenten für synthetische Sorten nicht optimal geeignet sind. Eine solche Situation könnte z. B. bei den Genotypen He16 und KT48 vorliegen (Tabelle 2), deren Polycrossnachkommenschaften bei hoher Linieneigenleistung nur einen geringen Mehrertrag aufweisen.

Legt man, so wie im vorliegenden Experiment, einen Polycross mit ungeprüften Linien an, sollten diese Linien zusammen mit ihren Polycrossnachkommen geprüft werden. Linien mit hoher Eigenleistung, deren Polycrossnachkommen

einen hohen heterotischen Ertragszuwachs aufweisen, vereinigen die gewünschte Kombination, wie sie für Komponenten von synthetischen Sorten erforderlich sind. Wäre die Fremdbefruchtungsrate der Linien bekannt, könnte anhand der Polycrossdaten die gca dieser Linien rechnerisch geschätzt werden. Die Ermittlung der Fremdbefruchtungsrate, z. B. anhand eines schwarzsamigen Topcross-Testers (LINK 1988) ist recht aufwendig und arbeitsintensiv. Innerhalb der Polycrossnachkommen sind die F₁-Pflanzen nur teilweise am Phänotyp zu erkennen, so daß eine zuverlässige Schätzung des F₁-Anteiles innerhalb der PcNk unmöglich ist. Anhand der Daten aus dem Polycrosstest allein kann die gca der Elternlinien nicht geschätzt werden.

Trotzdem kann man durch einen Polycross mit anschließender Prüfung sowohl der Polycrossnachkommen als auch der Linien selbst die Synthetikeignung der Linien weit besser beschreiben als es durch eine Prüfung von nur einer der beiden Nachkommensschaftsformen möglich wäre.

Die Ergebnisse dieses Experimentes bestätigen die beträchtlichen heterotischen Effekte bei der Fababohne und zeigen, daß sowohl für die Fremdbefruchtungsneigung wie auch für die gca der Linien eine beträchtliche genetische Variation vorhanden sein muß. Im folgenden Abschnitt wird der Versuch unternommen, die beachtliche Höhe der Ertragsdifferenz zwischen Linien und PcNk zu erklären.

Die Mehrleistungen der Polycrossnachkommen (im Mittel 30%, Tabelle 2) können außer durch Heterosis auch durch Mischungseffekte bedingt werden, wie sie von LINK und RUCKENBAUER (1987) bei Fababohnen beschrieben werden. Auch BOND (1987) hat in einem zweijährigen Experiment bei mechanischer Mischung zweier Linien eine Überlegenheit von 7% über dem rechnerischen Mittel der beiden Linien im Reinanbau ermittelt. Ursache für diese Effekte sehen die beiden erstgenannten Autoren vor allem in der Heterogenität, die sich für den Ertrag günstig auswirkt. Innerhalb der Polycrossnachkommenschaften sind verschiedene Genotypen vorhanden, so daß eine Berücksichtigung solcher Effekte berechtigt scheint. Diese Effekte werden sowohl durch die Unterschiede zwischen Linien und F₁-Pflanzen als auch zwischen den (Halbgeschwister-)F₁-Pflanzen ermöglicht.

In der Abbildung 2 werden errechnete F₁-Erträge bei angenommenen Fremdbefruchtungsdaten dargestellt. Die Berechnung erfolgte nach Gleichung 2 anhand der mittleren Kornerträge der Linien und der Polycrossnachkommen. Es wurde ein konstanter Mischungseffekt von 5 dt/ha angenommen, das entspricht 10% der mittleren Polycrossnachkommenschaftsleistung.

Gleichung 1 müßte dann also folgendermaßen erweitert werden:

$$P(i) = SR(i) \times L(i) + (1 - SR(i)) \times F_1(i) + M; \quad \text{Gl. (2)}$$

mit M = Mischungseffekt.

Bei Berücksichtigung dieses Effektes ergäbe sich bei z. B. 50% Fremdbefruchtung eine Heterosis von 37% über dem Elternmittel und würde somit für dieses unselektierte Material in einer realistischen Größenordnung liegen, wie in einer Reihe von Arbeiten (BOND 1974, VON KITTLITZ 1982, 1986, PICARD und MA 1982, LINK 1988) gezeigt wurde. Ohne Mischungseffekt zeigt die vorliegende Graphik eine Heterosis von 60% (bei der gleichen Fremdbefruchtungsrate), was bereits recht hoch ist, so daß es wohl berechtigt ist, Mischungseffekte innerhalb der Polycrossnachkommenschaften anzunehmen. Ob allerdings ein konstanter Mischungseffekt bei den verschiedenen Polycrossnachkommenschaften, die ja aus Inzuchtlinien mit unterschiedlichen Fremdbefruchtungsdaten hervorgegan-

Literatur

- BOND, D. A.: Die Züchtung von Hybrid- und Synthetischen Sorten in Cambridge/England. In G. RÖBBELEN (ed.): Ernährungsqualität und Züchtung von Ackerbohnen (*Vicia faba minor*). 2. Göttinger Pflanzenzüchterseminar, 1974.
- BOND, D. A.: Recent Developments in Breeding Field Beans (*Vicia faba* L. *minor*). Review. Plant Breeding 99, 1—26, 1987.
- COCHRAN, W. G. and D. R. COX: Experimental Design, 2nd edition, 545—547, 1962.
- KITTLITZ, E. von: Züchtung synthetischer Sorten bei der Fababohne (*Vicia Faba* L. *minor*). Vorträge für Pflanzenzüchtung 1, 157—168, 1982.
- KITTLITZ, E. von: A Breeding System for the Development of Synthetic Varieties in *Vicia faba*. In G. RÖBBELEN (ed.). Strategies in Breeding "Oil and Protein Crops". EUCARPIA Meeting of the section "Oil and Protein", 1983.
- KITTLITZ, E. von: Some Observations in Reciprocal Crosses between *Vicia faba major* and *Vicia faba minor*. Biologisches Zentralblatt 105, 147—153, 1986.
- LINK, W.: Züchterische Untersuchungen zur Autofertilität und Fremdbefruchtungsneigung bei *Vicia faba* L. *minor* (kleinkörnige Fababohne). Diss. Universität Hohenheim, 1988.
- LINK, W. und P. RUCKENBAUER: Aspekte der Nutzung von Heterosis bei der Pferdebohne (*Vicia faba* L.). Bericht über die Arbeitstagung der Saatzuchtleiter in Gumpenstein, 1987.
- PICARD, I., P. BERTHELEM, G. DUC and J. LE GUEN: Male Sterility in *Vicia faba*. In: G. HAWTINS and C. WEBBS (eds.): Faba bean Improvement, 23—69, 1982.
- STEUCKHARDT, R., A. M. SCHNABEL und H. KÄSTNER: Die Nutzung von Hybrid- und Kombinationseffekten bei der Herstellung von *Vicia faba*-Synthetics. Bericht über die Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter in Gumpenstein, 1985.
- WRIGHT, C. E.: Field Plans for a systematically designed Polycross. Records of Agriculture Research, Volume XIV, Part 1 (Ministry of Agriculture Northern Ireland), 1965.

(Manuskript eingelangt am 24. Oktober 1988)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. agr. Andreas FLECK und o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter RUCKENBAUER, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik (350), Universität Hohenheim, D-7000 Stuttgart 70