

Züchterische Verbesserung der Silomaisqualität unter besonderer Berücksichtigung der Restpflanze

B. KRÜTZFELDT

Einleitung

In der Milchviehhaltung und Bullenmast ist die Erzeugung hoher Leistungen aus dem Grundfutter ein wichtiger ökonomischer Faktor. Einen besonderen Beitrag als ertrag- und energiereiches Futtermittel leistet dazu Silomais (*Zea Mays* L.). Neben hohen Trockenmasseerträgen, Standfestigkeit und Frühreife ist in den vergangenen Jahren zunehmend der Qualitätsaspekt ins Blickfeld der Silomaiszüchtung gerückt (STRUİK & DEINUM 1990, WEIßBACH 1993, UTZ et al., 1994, HILFIKER et al., 1998). Die Futterqualität einer Hybride wird vor allem durch die mögliche Futterraufnahme durch das Tier, die Verdaulichkeit und den Energie- bzw. Stärkegehalt bestimmt (DEINUM & STRUIK 1986, WEIßBACH 1993, BARRIÈRE et al., 1997). Diese Faktoren sind eng miteinander korreliert. Die Futterraufnahme, die durch die Abbaubarkeit, aber auch die Schmachhaftigkeit oder den Geruch der Silage beeinflusst werden kann, ist bisher nur über aufwändige Fütterungsversuche erfassbar. In der vorliegenden Untersuchung wird auf diesen Qualitätsparameter wie auch auf den Energiegehalt nicht näher eingegangen.

Die Qualität eines Genotyps wird durch die Verdaulichkeit und den Anteil des Kolbens und der Restpflanze festgelegt. Der Kolben besteht vor allem aus hoch verdaulicher, energiereicher Stärke. Die Restpflanze entspricht dem Nicht-Kolbenanteil an der gesamten Pflanze. Sie setzt sich aus zumeist hoch verdaulichen Zellinhaltsstoffen (wasserlösliche Kohlenhydrate, Eiweißstoffe) sowie der Zellwand zusammen. Die Zellwand macht zum Zeitpunkt der Siloreife etwa die Hälfte der Trockensubstanz aus. Sie wird zum größten Teil aus Zellulosefibrillen gebildet, die in eine Matrix aus phenolischen Bestandteilen (Lignin) und Hemizellulose eingebettet sind. Hemizellulose und Zellulose sind unterschiedlich

verdaulich, Lignin hingegen ist nahezu unverdaulich. Es wurde inzwischen mehrfach eine deutliche Variation in der Verdaulichkeit der Restpflanze und der Zellwand nachgewiesen; die vegetativen Pflanzenteile können einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Futterwert haben (DHILLON et al., 1990 a,b, BARRIÈRE et al., 1992, GEIGER et al., 1992, WOLF et al., 1993 a,b COORS et al., 1997, MEISSER & WYSS 1998, MÉCHIN et al., 1998). Die Bedeutung der Restpflanzen- bzw. Zellwandverdaulichkeit für die Ganzpflanzenqualität wurde jedoch unterschiedlich beurteilt. BARRIÈRE et al., (1992) fanden in Fütterungsversuchen mit Schafen Hybriden, die in der Verdaulichkeit der Rohfaser sehr ähnlich, in der *in vivo*-Verdaulichkeit der Ganzpflanze jedoch sehr verschieden waren. SCHWARZ et al. (1996) kamen zu dem Ergebnis, dass unter praktischen Bedingungen der Stärkegehalt den größten Einfluss auf die Gesamtverdaulichkeit der Maissilage ausübt. DEINUM et al., (1984), DEINUM & STRUIK (1986), DEMARQUILLY (1994), ARGILLIER & BARRIÈRE (1996) sowie BARRIÈRE & ÉMILE (2000) waren hingegen der Ansicht, dass der Futterwert vor allem von der Zellwandverdaulichkeit der vegetativen Pflanzenteile, also insbesondere von der Verdaulichkeit der Restpflanze, abhängen würde. Die Entwicklung von Inzuchtlinien und ihre Prüfung auf Kombinationsfähigkeit in Testkreuzungen sind Standardprozeduren in der Hybridmaiszüchtung. Breite genetische Variation und hohe Heritabilitätskoeffizienten für qualitätsbestimmende Eigenschaften von Linien und Testkreuzungen wurden von verschiedenen Autoren belegt (DEINUM & STRUIK 1986, DHILLON et al., 1990 b, BARRIÈRE et al., 1993, ARGILLIER et al., 1995 b). GURRATH (1991) stellte signifikante Korrelationen zwischen der Linien- und der Testkreuzungsleistung für die *in vitro*-Ver-

daulichkeit der organischen Masse sowie den Faser- und Ligningehalt bei Restpflanzen fest. Eine deutliche Beziehung zwischen den Linien *per se* und der Allgemeinen Kombinationsfähigkeit ermittelten ARGILLIER et al., (1995a, 2000). WOLF et al., (1993a) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Qualität von Linien in ihren Testkreuzungen widerspiegelte. Eine der wenigen Untersuchungen zur Vererbung von Restpflanzeigenschaften wurde von DOLSTRA et al., (1993) durchgeführt. Sie stellten fest, dass die Zellwandverdaulichkeit das einzige Stängelmerkmal sei, das an Linien selektiert werden sollte. MÉCHIN et al. (2001) betrachteten die Verdaulichkeit der nicht löslichen Kohlenhydrate der Ganzpflanze und kamen zu dem Resultat, dass für dieses Merkmal der Zellwandverdaulichkeit eine indirekte Selektion aufgrund der Linienleistung erfolgversprechend sei. Anhand der vorliegenden Experimente sollte beantwortet werden, inwieweit die Restpflanzenqualität einer Testkreuzung anhand der Linienleistung vorhergesagt werden kann. Außerdem war von Interesse, inwieweit sich die genetische Variabilität in der Restpflanzenqualität von Testkreuzungen in der Qualität der gesamten Maispflanze widerspiegelt.

Material und Methoden

Die geprüften Linien wurden von der KWS SAAT AG, Einbeck zur Verfügung gestellt und waren eine zufällige Auswahl aus aktuellem westeuropäischem Zuchtmaterial. Im Versuchsjahr 1999 erfolgte die Bestimmung der Eigen- und Testkreuzungsleistung von Flint-Linien und 2000 von Dent-Linien. Die Linien wurden jeweils mit einem Tester aus dem Partner-Formenkreis (Dent- bzw. Flint) geprüft. Die Tester waren Elite-Inzuchtlinien, die nicht aufgrund ihrer Restpflanzenqualität ausgewählt worden waren. Die Prüfungen wurden an den Standorten Bernburg

Autor: Birte KRÜTZFELDT, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Straße 38, D-85354 FREISING - WEIHENSTEPHAN



(Krs. Bernburg), Einbeck (Krs. Nordheim), Grucking (Krs. Erding) und Walldorf (Rhein-Neckar-Kreis) durchgeführt. Die *Tabelle 1* gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Experimente in den zwei Versuchsjahren. Die Prüfung der Linien erfolgte in einreihigen, die der Testkreuzungsnachkommenschaften (im Folgenden als Testkreuzungen bezeichnet) in vierreihigen Parzellen mit 0,75 m Reihenabstand. Bei den Linien wurde eine Bestandesdichte von 7,75 Pflanzen je m² angestrebt. Die angestrebte Bestandesdichte betrug bei den Testkreuzungen 1999 in Bernburg 9,1 Pflanzen je m² und in Einbeck, Grucking und Walldorf 11,1 Pflanzen je m². Im Versuchsjahr 2000 war die Bestandesdichte in der ersten Wiederholung auf 80 % der normalen Bestandesdichte reduziert. Alle Prüfungen wurden auf Endabstand ausgesät. Die pflanzenbaulichen Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung erfolgten ortsüblich. Die Ernte der Linien erfolgte an zwei Terminen im Abstand von 10 bis 14 Tagen vor und zur Siloreife, die der Testkreuzungen nur zur Siloreife. Die Linien und eine Reihe der Testkreuzungen wurde getrennt in Kolben und Restpflanze geerntet. Die zweite Kernreihe der Testkreuzungen wurde als Ganzpflanze gehäckselt. Eine repräsentative Probe von etwa 1 - 1,5 kg Frischmasse zur Trockensubstanz- und Qualitätsbestimmung wurde automatisch aus dem Häckselstom entnommen. Die Proben für die Qualitätsanalyse mit NIRS (Nahinfrarot-

Reflexions-Spektroskopie) wurden nach der bei DEGENHARDT (1996) beschriebenen Vorgehensweise aufbereitet. Die Qualitätsanalyse erfolgte anschließend an der LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising). Die erfassten Merkmale sind in der *Tabelle 2* erläutert. Unter der Annahme, dass die Stärke und die wasserlöslichen Kohlenhydrate vollständig verdaulich sind, wurde die Verdaulichkeit der nicht-Stärke- und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion für die Ganzpflanzen nach ARGILLIER et al. (1995a) berechnet. Dieses Merkmal diene als Maß für die Zellwandverdaulichkeit. In Anlehnung an die französische Bezeichnung „DINAG“ (*digestibilité de la partie non-amidon et non-glucides solubles*, ARGILLIER et al. 1995a) wurden die Abkürzung DINIG verwendet. Das „I“ in DINIG diene als Kennzeichen für die *in vitro*-Verdaulichkeit.

DINIG =

$$100 \frac{\text{IVOMG} - \text{STÄRKE} - \text{WLKG}}{100 - \text{STÄRKE} - \text{WLKG}}$$

Außerdem wurde davon ausgegangen, dass für die Restpflanze analog zu DINIG die Zellwandverdaulichkeit als Verdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion geschätzt werden kann.

DINIR =

$$100 \frac{\text{IVOMR} - \text{WLKR}}{100 - \text{WLKR}}$$

Die Experimente waren Leistungsprüfungen mit jeweils 100 Prüfgliedern entnommen, die als 10×10-Gitter mit zwei Wiederholungen angelegt waren. Die Auswertung der Gitteranlagen erfolgte getrennt für die verschiedenen Leistungsprüfungen, Orte und Termine nach der von COCHRAN & COX (1957) beschriebenen statistischen Analyse. Die zusammenfassende Varianz- und Kovarianzanalyse über drei Orte bei den Testkreuzungen bzw. über drei Orte und zwei Termine bei den Linien wurde mit den adjustierten Prüfgliedermittelwerten und den effektiven Fehlervarianzen aus der Gitterverrechnung durchgeführt (COCHRAN & COX 1957). Die Effekte der zwei Erntetermine in den Linienversuchen wurden als fixiert angenommen. Alle anderen Effekte wurden als zufällige, normalverteilte Variablen angesehen. Die Berechnung der Heritabilität erfolgte auf Basis der Prüfgliedermittelwerte nach der Formel von HALLAUER & MIRANDA (1981). Das 95 % Konfidenzintervall der Heritabilität wurde nach der Formel von KNAPP & BRIDGES (1987) berechnet. Nach der Methode von MODE & ROBINSON (1959) wurden die genotypischen Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Merkmalen ermittelt. Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programm PLABSTAT (UTZ 2001) durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Mittelwerte, genotypische Variationskoeffizienten und Heritabilitätskoeffizienten. Die Linien besaßen im Durchschnitt der drei Orte und zwei Erntetermine 1999 im Experiment F(65)xD1 einen Restpflanzen-TS-Gehalt von 25,2 %. Im folgenden Jahr betrug der Wert in den Experimenten D(43)xF1 und D(46)xF3 26,4 bzw. 26,5 %. Die Ausreife der Kolben war im ersten Versuchsjahr mit einem Kolben-TS-Gehalt von 47,8 % ebenfalls gut. Im Jahr 2000 war die Witterung im Herbst vor allem in Einbeck relativ feucht und kühl, so dass eine Ausreife der Kolben nicht möglich war. Im Mittel der drei Orte und zwei Erntetermine wurden nur ein Kolben-TS-Gehalt von 36,4 % und ein Ganzpflanzen-TS-Gehalt von weniger als 30 % erreicht. Die Testkreuzungen erreichten in allen Experimenten eine gute Ausreife. Der

Tabelle 1: Beschreibung der ausgewerteten Experimente

Experiment	Anzahl Linien	Tester	Jahr	Orte
F(65)xD1§	65	D1	1999	3
D(43)xF1	43	F1	2000	3
D(46)xF3	46	F3	2000	3

§ F: Flint, D: Dent.

Tabelle 2: Erläuterung der Qualitätsmerkmale und der dafür verwendeten Abkürzungen

Abkürzung#	Erläuterung
IVOMR, IVOMG	In vitro-Verdaulichkeit der organischen Masse [%]§ nach TILLEY & TERRY (1963)
RFR, RFG	Rohfasergehalt [%] nach Weender Futtermittelanalyse
WLKR, WLKG	Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten [%] nach LUFF SCHOORL (1929)
RPR, RPG	Rohproteingehalt [%] nach KJELDAHL (1883)
STÄRKE	Stärkegehalt in der Ganzpflanze [%] nach EWERS (1908)

Die Restpflanzenmerkmale wurden mit der Endung "R" und die Ganzpflanzenmerkmale mit der Endung "G" gekennzeichnet.

§ Alle Prozentwerte wurden in Bezug auf die Trockenmasse bestimmt.

Restpflanzen-TS-Gehalt lag bei 25,7 % in Experiment F(65)xD1 und etwa 27 % in den D'F-Experimenten. Der Ganzpflanzen-TS-Gehalt betrug in F(65)xD1 36,8 %, in D(43)xF1 37,7 % und in D(46)xF3 38,7 %. In der *Tabelle 3* sind die Mittelwerte für die Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze für die Experimente F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 angegeben. Die Werte in den Experimenten D(43)xF1 und D(46)xF3 waren sehr ähnlich; 32 identische Linien waren in beiden Datensätzen geprüft worden. Die Linien erreichten in beiden Jahren ähnliche Mittelwerte für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, Rohprotein und Rohfaser, die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit waren in F(65)xD1 etwas höher als in den Dx'F-Prüfungen. Die Testkreuzungen in F(65)xD1 enthielten mehr wasserlösliche Kohlenhydrate und Rohprotein und weniger Rohfaser als die Testkreuzungen in D(43)xF1 und D(46)xF3, die Verdaulichkeit war höher. Der Unterschied in der Zellwandverdaulichkeit war jedoch nur gering.

Bei den Testkreuzungsganzpflanzen wurde mehr als ein Drittel der Trockenmasse durch Stärke gebildet. Da die Zellwand der Ganzpflanze zum größten Teil durch die Zellwand der Restpflanze gebildet wird, entsprachen die sehr ähnlichen Werte für die Zellwandverdaulich-

keit der Rest- und Ganzpflanze den Erwartungen. Aufgrund des Stärkeanteils war die Ganzpflanzenverdaulichkeit deutlich höher als die Restpflanzenverdaulichkeit. Zwischen den zwei Jahren traten nur Unterschiede im Gehalt an Zellinhaltsstoffen auf, nicht aber im Rohfasergehalt oder den Verdaulichkeitsmerkmalen. Bei den Linienrestpflanzen war für alle Merkmale eine größere Variation nachweisbar als bei den Testkreuzungsganzpflanzen (*Tabelle 4*). Das Merkmal wasserlösliche Kohlenhydrate zeigte in allen Experimenten und sowohl bei den Restpflanzen als auch den Ganzpflanzen die größte Variation. In den Prüfungen der Testkreuzungen waren die genotypischen Variationskoeffizienten für den Rohproteingehalt geringer und für den Rohfasergehalt bei den Ganzpflanzen höher als bei den Restpflanzen. Die Variationskoeffizienten für die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit waren für die Ganzpflanzen etwa halb so groß wie für die Restpflanzen und mit etwas mehr als zwei Prozent niedrig. Auch VATTIKONDA & HUNTER (1983) und WOLF et al. (1993a) hatten eine geringere Variation in der Ganzpflanzen- als in der Restpflanzenverdaulichkeit festgestellt. Als mögliche Ursachen für die geringere Schwankungsbreite in der Ganzpflanze können Kompensationseffekte innerhalb der Pflanze oder

genetisch festgelegte unterschiedliche Kolben- bzw. Restpflanzenanteile genannt werden, die in der Summe eine ähnliche Verdaulichkeit der Ganzpflanze zur Folge haben.

In den Linienprüfungen traten für alle Merkmale in der Serienverrechnung über Orte und Erntetermine hoch signifikante genotypische Unterschiede auf, der Einfluss von Wechselwirkungen konnte vernachlässigt werden. Es wurden für alle Merkmale sehr hohe Heritabilitätskoeffizienten geschätzt (*Tabelle 5*). Die 95 %-Konfidenzintervalle der Heritabilität betragen in den Linienprüfungen für die Zellinhaltsstoffe und den Rohfasergehalt 10 bis 20 Prozentpunkte, für die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit 7 bis 9 Prozentpunkte. Aufgrund der sehr geringen Bedeutung der Linie x Erntetermin-Wechselwirkung erfolgten alle weiteren Berechnungen mit den Linienmittelwerten über beide Erntetermine. In der zusammenfassenden Varianzanalyse über drei Orte ließen sich für alle geprüften Merkmale der Rest- und Ganzpflanze in den drei Experimenten hoch signifikante Unterschiede zwischen den Testkreuzungen feststellen. Die genotypische Varianz hatte jedoch eine kleinere Bedeutung als in den Linienprüfungen. Wechselwirkungen waren in den Prüfungen der Testkreuzungen von geringerer Relevanz, die Fehlervarianz war

Tabelle 3: Mittelwerte [% TM⁻¹] über drei Orte und zwei Erntetermine der Linien (L) und Mittelwerte über drei Orte der Testkreuzungen (TK) in den Experimenten F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 für qualitätsbestimmende Merkmale der Restpflanze (R) und Ganzpflanze (G)

Merkmal†	F(65)xD1			D(43)xF1			D(46)xF3		
	L R	TK R	TK G	L R	TK R	TK G	L R	TK R	TK G
WLK	20,4	12,7	6,9	21,1	8,4	5,0	21,4	9,2	5,1
RP	6,3	5,1	7,9	6,0	4,4	7,0	5,9	4,7	7,0
STÄRKE	-	-	35,0	-	-	38,8	-	-	36,9
RF	27,6	33,9	16,8	28,1	36,8	17,0	28,1	35,5	17,1
DINI	70,1	60,4	59,5	67,1	58,1	58,4	66,8	58,7	59,9
IVOM	76,2	65,3	76,5	74,0	61,6	76,6	73,9	62,4	76,8

† WLK: wasserlösliche Kohlenhydrate, RP: Rohprotein, RF: Rohfaser, DINI: Zellwandverdaulichkeit, IVOM: *in vitro*-Verdaulichkeit.

Tabelle 4: Genotypische Variationskoeffizienten [%] in den Experimenten F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 für qualitätsbestimmende Merkmale der Restpflanze (R) und Ganzpflanze (G) der Linien (L) und der Testkreuzungen (TK)

Merkmal†	F(65)xD1			D(43)xF1			D(46)xF3		
	L R	TK R	TK G	L R	TK R	TK G	L R	TK R	TK G
WLK	25,3	21,1	26,1	16,8	20,7	27,6	17,5	31,3	27,6
RP	14,6	11,6	6,6	11,6	12,5	5,1	11,4	10,1	5,2
STÄRKE	-	-	11,1	-	-	10,3	-	-	9,5
RF	9,2	4,1	8,8	6,7	4,7	8,8	7,5	4,2	8,5
DINI	5,2	3,8	2,4	6,6	5,1	2,2	6,4	4,1	2,2
IVOM	5,2	3,7	2,0	5,4	5,6	2,5	5,3	4,5	2,1

† WLK: wasserlösliche Kohlenhydrate, RP: Rohprotein, RF: Rohfaser, DINI: Zellwandverdaulichkeit, IVOM: *in vitro*-Verdaulichkeit.

vor allem bei den Ganzpflanzenmerkmalen hoch. Die Heritabilität der entsprechenden Restpflanzenmerkmale war bei den Testkreuzungen teilweise deutlich kleiner als bei den Linien. Außer für die Testkreuzungen in Experiment F(65)xD1 wurden sowohl bei den Linien als auch bei ihren Testkreuzungen die höchsten Schätzwerte für die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit bestimmt.

Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung

Für nahezu alle Qualitätsmerkmale konnten mittlere bis sehr hohe Koeffizienten der phänotypischen und genotypischen Korrelation zwischen der Linieneigen- und Testkreuzungsleistung ermittelt werden (Tabelle 7). Linien mit einer

guten Restpflanzenqualität zeigten diese in der Regel auch in der Testkreuzung, wobei die Korrelationen in den Experimenten D(43)xF1 und D(46)xF3 enger waren als im Experiment F(65)xD1. Die Korrelationskoeffizienten lagen für den Gehalt an Rohfaser und wasserlöslichen Kohlenhydraten in Experiment F(65)xD1 im niedrigen Bereich und in den DxF-Experimenten im mittleren Bereich, für den Rohproteingehalt waren sie etwas höher. Für die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit waren die Werte hoch bis sehr hoch, so dass die Ergebnisse von GURRATH (1991), DOLSTRA et al. 1993 sowie WOLF et al. (1993a) bestätigt werden konnten. In verschiedenen französischen Studien, in denen die Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze berechnet wurde, konnten ebenfalls hohe bis sehr hohe Korrelati-

onskoeffizienten festgestellt werden (ARGILLIER et al. 1995a, 2000, BARRIÈRE & ÉMILE 2000, MÉCHIN et al. 2001, ROUSSEL et al. 2002).

Die hohen Schätzwerte der Heritabilität in den Datensätzen der Linien sowie die engen Korrelationen zwischen Linien- und Testkreuzungsleistung deuten an, dass eine erfolgreiche Selektion auf eine höhere Zellwandverdaulichkeit der Testkreuzungen an den Linien *per se* möglich sein sollte. Diese Annahme wird durch die Befunde von DOLSTRA et al. (1993) gestützt, wonach die Verdaulichkeit der Stängelzellwand an den Linien selektiert werden sollte. Auch JUNG & BUXTON (1994) und MÉCHIN et al. (2001) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Selektion auf Zellwandverdaulichkeit anhand der Linieneigenleistung aussichtsreich sei. Für die Zellinhaltsstoffe

Tabelle 5 : Heritabilitätskoeffizienten (h^2 [%]) sowie 95 %- Konfidenzintervall der Heritabilität (KI) in den Experimenten F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 für Restpflanzenqualitätsmerkmale der Linien (L) und Testkreuzungen (TK)

Merkmal†	F(65)xD1			D(43)xF1			D(46)xF3		
	L	h ²	KI	L	h ²	KI	L	h ²	KI
WLKR	86	56	32 - 71	82	78	63 - 87	87	72	52 - 83
RPR	84	73	58 - 82	83	61	33 - 77	83	47	9 - 67
RFR	89	58	34 - 72	83	69	46 - 81	81	63	38 - 78
DINIR	92	61	40 - 74	94	80	65 - 88	94	72	53 - 83
IVOMR	92	47	18 - 65	92	79	63 - 87	92	72	52 - 83

† WLK: wasserlösliche Kohlenhydrate, RP: Rohprotein, RF: Rohfaser, DINI: Zellwandverdaulichkeit, IVOM: in vitro-Verdaulichkeit; -R: Restpflanze.

Tabelle 6 : Heritabilitätskoeffizienten (h^2 [%]) sowie 95 %- Konfidenzintervall der Heritabilität (KI) in den Experimenten F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 für Qualitätsmerkmale der Testkreuzungsganzpflanzen

Merkmal†	F(65)xD1		D(43)xF1		D(46)xF3	
	h ²	KI	h ²	KI	h ²	KI
WLKG	52	24 - 68	76	58 - 85	48	11 - 68
RPG	67	49 - 78	46	7 - 68	51	16 - 70
STÄRKE	62	41 - 75	68	45 - 81	61	34 - 76
RFG	53	27 - 69	64	38 - 78	54	21 - 72
DINIG	64	28 - 69	65	49 - 82	52	26 - 73
IVOMG	54	44 - 76	71	39 - 79	56	18 - 71

† WLK: wasserlösliche Kohlenhydrate, RP: Rohprotein, RF: Rohfaser, DINI: Zellwandverdaulichkeit, IVOM: in vitro-Verdaulichkeit; -G: Ganzpflanze.

Tabelle 7: Koeffizienten der phänotypischen (rp) und genotypischen (rg) Korrelation zwischen der Eigenleistung der Linien‡ und der Testkreuzungsleistung in den Experimenten F(65)xD1 (1999), D(43)xF1 (2000) sowie D(46)xF3 (2000) für qualitätsbestimmende Merkmale der Restpflanze

Merkmal†	F(65)xD1		D(43)xF1		D(46)xF3	
	rp	rg	rp	rg	rp	rg
WLKR	0,17	0,27+	0,49**	0,55++	0,42**	0,51++
RPR	0,54**	0,72++	0,38*	0,50++	0,54**	0,83++
RFR	0,26*	0,37++	0,42**	0,52++	0,39**	0,55++
DINIR	0,57**	0,78++	0,85**	1,00++	0,80**	0,99++
IVOMR	0,40**	0,62++	0,77**	0,90++	0,70**	0,88++

† WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, RF: Rohfasergehalt; RP: Rohproteingehalt; DINI: Zellwandverdaulichkeit; IVOM: in vitro-Verdaulichkeit; -R: Restpflanze

‡ Mittelwert über zwei Erntetermine.

*, ** Signifikant bei P = 0,05 bzw. 0,01 (F-Test).

+, ++ Schätzwert größer als sein einfacher bzw. doppelter Standardfehler.

und den Rohfasergehalt waren die Korrelationen zwischen der Linieneigen- und der Testkreuzungsleistung zu gering, um eine erfolgreiche indirekte Selektion an den Linien durchzuführen. Das Verhältnis zwischen dem Erfolg der indirekten Selektion an den Linien und der direkten an den Testkreuzungen war unter der Annahme der gleichen Selektionsintensität deutlich kleiner als eins. Für die Verdaulichkeit der Restpflanze, die sehr stark von der Zellwandverdaulichkeit beeinflusst wurde, waren die Heritabilitäts- und Korrelationskoeffizienten etwas niedriger als für die Zellwandverdaulichkeit. Das Verhältnis zwischen dem Erfolg der indirekten und direkten Selektion lag etwas unter eins.

Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze

In den Experimenten F(65)xD1 sowie D(43)xF1 und D(46)xF3 war der Einfluss der Restpflanzenverdaulichkeit auf die Ganzpflanzenverdaulichkeit gering (Tabelle 8), mit einer schwachen bzw. mittleren positiven Beziehung in F(65)xD1 bzw. D(46)xF3 und einer schwachen negativen in D(43)xF1. Dieses Ergebnis widerspricht HEPTING (1988), HERTER et al. (1996) oder MEISSER & WYSS (1998), denen zur Folge die Verdaulichkeit der Restpflanze, die Verdaulichkeit und den Energiegehalt der Ganzpflanze wesentlich mitbestimmen kann. Auch WOLF et al. (1993a) berichteten für die *in vitro*-Verdaulichkeit von Rest- und Ganzpflanzen von einer deutlichen positiven Korrelation, in einer zweiten Prüfung konnten sie diese jedoch nicht bestätigen. In Übereinstimmung mit den vorliegenden Beziehungen stehen die Ergebnisse von

CHERNEY et al. (1996). Im Gegensatz zur Verdaulichkeit wurden, wie auch bei WOLF et al. (1993a) dokumentiert, für die Zellwandverdaulichkeit engere Beziehungen zwischen Rest- und Ganzpflanze festgestellt. Die Schätzwerte der genetischen Korrelation zwischen der Zellwandverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanze waren in den Experimenten F(65)xD1 und F(43)xF1 hoch signifikant, lagen aber nur im mittleren Bereich. Im Experiment D(46)xF3 hingegen konnten mehr als zwei Drittel der genotypischen Varianz in der Ganzpflanze durch die Restpflanze erklärt werden. Die Zellwandfraktion bzw. die Fraktion der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydrate wird vor allem durch Blätter und Stängel gebildet. Der Zellwandanteil im Kolben ist deutlich geringer und weist eine höhere Verdaulichkeit auf als in der Restpflanze (DEINUM & STRUIK 1986, 1989, HUNT et al. 1992, FLACHOWSKY et al. 1993, DACCORD et al. 1995). Die Variation in der Zellwandverdaulichkeit ist im Kolben im Vergleich zur Variation in der Restpflanze ebenfalls niedriger. Als Konsequenz ist die Schwankungsbreite in der Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze größtenteils von der Variation in der Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze abhängig. Die vergleichsweise geringen Korrelationskoeffizienten waren wahrscheinlich dadurch bedingt, dass durch die Berechnung der Zellwandverdaulichkeitsmerkmale Fehler der Einzelmerkmale addiert wurden und in der Folge die Korrelationskoeffizienten die biologische Situation nur noch ungenau reflektierten. In Bezug auf den Gehalt an Rohfaser sowie an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein traten tendenziell Unterschiede zwischen dem

FxD- und den DxF-Experimenten auf. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war das einzige Merkmal, dessen Variation in der Ganzpflanze nahezu vollständig durch die Variation in der Restpflanze festgelegt war. Signifikante Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen dem Rohproteingehalt der Rest- und Ganzpflanze wurden nur im Experiment F(65)xD1 ermittelt. In den DxF-Datensätzen variierten diese Merkmale unabhängig voneinander bzw. zeigten eine negative Tendenz. Dieses entspricht Ergebnissen von WOLF et al. (1993a), die in Untersuchungen mit Linien und Testkreuzungen keine bzw. eine signifikante phänotypische Korrelation ($r_p = 0,68, P = 0,01$) zwischen dem Rohproteingehalt der Rest- und Ganzpflanze feststellten. Wie in den Versuchen von WOLF et al. (1993a) sowie CHERNEY et al. (1996) bestand für den Fasergehalt kaum ein Zusammenhang zwischen der Variation in der Rest- und Ganzpflanze.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Heritabilitätskoeffizienten und die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen der Linien- und Testkreuzungsleistung waren für die *in vitro*-Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze hoch bis sehr hoch. Daher sollte an den Linien *per se* auf eine höhere Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze selektiert werden. Unter der Annahme, dass in den Linienprüfungen eine höhere Selektionsintensität realisiert werden kann, sollte an den Linien außerdem eine Vorselektion auf Restpflanzenverdaulichkeit durchgeführt werden, um so die Anzahl von Testkreuzungsprüfungen einzuschränken. Die

Tabelle 8: Koeffizienten der phänotypischen (r_p) und genotypischen (r_g) Korrelation zwischen den entsprechenden Qualitätsmerkmalen der Rest- und der Ganzpflanze für die Testkreuzungen in den Experimenten F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3

Merkmal†	F(65)xD1		D(43)xF1		D(46)xF3	
	r_p	r_g	r_p	r_g	r_p	r_g
WLKR x WLKG	0,63**	1,00++	0,74**	0,85++	0,81**	1,06++
RPR x RPG	0,41**	0,55++	0,13	0,15	0,15	0,13
RFR x RFG	0,17	0,30+	-0,21	-0,37+	0,02	0,08
DINIR x DINIG	0,43**	0,55++	0,34*	0,44++	0,54**	0,88++
IVOMR x IVOMG	0,29*	0,43+	-0,12	-0,24+	0,37*	0,60++

† WLK: Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, RF: Rohfasergehalt; RP: Rohproteingehalt; DINI; Zellwandverdaulichkeit; IVOM: *in vitro*-Verdaulichkeit; -R: Restpflanze, -G: Ganzpflanze.
 *, ** Signifikant bei $P = 0,05$ bzw. $0,01$ (F-Test).
 +, ++ Schätzwert größer als sein einfacher bzw. doppelter Standardfehler.

Inhaltstoffe und der Rohfasergehalt müssen direkt an den Testkreuzungen bestimmt werden, da die Korrelationen zwischen der Leistung der Linien und ihren Testkreuzungen zu gering waren. In den ausgewerteten Datensätzen konnte zumeist nur eine geringe Übereinstimmung in der genetischen Variation der Rest- und Ganzpflanzenqualität nachgewiesen werden. Soll die Qualität der Restpflanze verändert werden, so ist zur Bewertung der meisten Eigenschaften eine getrennte Ernte erforderlich, da anhand der Ganzpflanze keine ausreichend genaue Schätzung der Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Restpflanze möglich ist. An der Ganzpflanze *per se* kann nur der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Restpflanze vergleichsweise gut vorhergesagt werden. Der Einfluss der Restpflanzenverdaulichkeit auf die Ganzpflanzenverdaulichkeit war im geprüften genetischen Material gering. Dieses weist darauf hin, dass eine signifikante Steigerung der Ganzpflanzenverdaulichkeit durch die Veränderung der Restpflanzenqualität schwer zu erreichen ist.

Literatur

- ARGILLIER, O., Y. BARRIÈRE und Y. HÉBERT, 1995a: Genetic variation and selection criterion for digestibility traits of forage maize. *Euphytica* 82:175-184
- ARGILLIER, O., Y. HÉBERT und Y. BARRIÈRE, 1995b: Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica* 40:125-136
- ARGILLIER O. und Y. BARRIÈRE, 1996: Genotypic variation for digestibility and composition traits of forage maize and their changes during the growing season. *Maydica* 41:279-285
- ARGILLIER, O., V. MÉCHIN und Y. BARRIÈRE, 2000: Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40:1596-1600
- BARRIÈRE, Y., R. TRAINÉAU, J.C. ÉMILE und Y. HÉBERT, 1992: Variation and covariation of silage maize digestibility estimated from digestion trials with sheep. *Euphytica* 59:61-72
- BARRIÈRE, Y., Y. HÉBERT, B. JULIER, E. YOUNG und V. FURSTOSS, 1993: Genetic variation for silage and NIRS traits in a half-diallel design of 21 inbred lines of maize. *Maydica* 38:7-13
- BARRIÈRE, Y., O. ARGILLIER, J.C. ÉMILE, B. MICHALET-DOREAU, M. CHAMPION, E. HÉBERT, E. GUINGO und C. GIAUFFRET, 1997: Le maïs ensilage de demain, un maïs spécifique pour nourrir les ruminants. *Fourrages* 150:171-189
- BARRIÈRE, Y. und J.C. ÉMILE, 2000: Le maïs fourrage. III Evaluation et perspectives de progrès génétique sur les caractères de valeur alimentaire. *Fourrages* 163:221-238
- CHERNEY, J.H., M.D. CASLER und D.J.R. CHERNEY, 1996: Sampling forage corn for quality. *Can. J. Plant Sci.* 76:93-99
- COCHRAN, W.G. und G.M. COX, 1957: *Experimental Designs*. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc., London, New York.
- COORS, J.G., K.A. ALBRECHT und E.J. BURES, 1997: Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci.* 37:243-247
- DACCORD, R., Y. ARRIGO und R. VOGEL, 1995: Nährwert von Maissilage. *Agrarforschung* 2:397-400
- DEGENHARDT, H., 1996: NIRS-Untersuchungen zur Erfassung futterwertrelevanter Qualitätsparameter von Silomaisarten in einem Gerätetzwerk. Dissertation Universität Halle-Wittenberg. *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 163.
- DEINUM, B., A. STEG und G. HOF, 1984: Measurement and prediction of digestibility of forage maize in the Netherlands. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:301-313
- DEINUM, B. und P.C. STRUIK, 1986: Improving the nutritive value of forage maize. In: Dolstra, O. & P. Miedema (Hrsg.). *Breeding of silage maize*. Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA. 9-12 September 1985, Wageningen, the Netherlands, Pudoc, Wageningen, 77-90
- DEINUM, B. und P.C. STRUIK, 1989: Genetic variation in digestibility of forage maize (*Zea mays* L.) and its estimation by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *An. Euphytica* 42:91-98
- DEMARQUILLY, C., 1994: Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage. *Prod. Anim.* 7:177-189
- DHILLON, B.S., P.A. GURRATH, E. ZIMMER, M. WERMKE, W.G. POLLMER und D. KLEIN, 1990a: Analysis of diallel crosses of maize for variation and covariation in agronomic traits at silage and grain harvests. *Maydica* 35:297-302
- DHILLON, B.S., C. PAUL, E. ZIMMER, P.A. GURRATH, D. KLEIN und W.G. POLLMER, 1990b: Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Sci.* 30:931-936
- DOLSTRA, O., J.H. MEDEMA und A.W. DE JONG, 1993: Genetic improvement of cell-wall digestibility in forage maize (*Zea mays* L.). I. Performance of inbred lines and related hybrids. *Euphytica* 65:187-194
- EWERS, E., 1908: Über die Bestimmung des Stärkegehalts auf polarimetrischem Wege. *Z. öffentl. Chem.* 14:150-157
- FLACHOWSKY, G., W. PEYKER, A. SCHNEIDER und K. HENKEL, 1993: Fibre analyses and *in sacco* degradability of plant fractions of two corn varieties harvested at various times. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43:41-50
- GEIGER, H.H., G. SEITZ, A.E. MELCHINGER und G.A. SCHMIDT, 1992: Genotypic correlations in forage maize. I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica* 37:95-99
- GURRATH, P.A., 1991: Untersuchung zur genetischen Verbesserung der Verdaulichkeit der Restpflanze bei Silomais. Dissertation Universität Hohenheim
- HALLAUER, A.R. und J.B. MIRANDA, 1981: *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press, Ames, Iowa
- HEPTING, L., 1988: Verdaulichkeit der Maispflanze. III. Verdaulichkeit der Gesamtpflanze ein Maß für den Nährstofftrag. *Mais* 4/88: 29-30
- HERTER, U., A. ARNOLD, F. SCHUBIGER und M. MENZI, 1996: Verdaulichkeit, das wichtigste Qualitätsmerkmal bei Silomais. *Agrarforschung* 3:535-538
- HILFIKER, J., R. DACCORD, U. HERTER und M. MENZI, 1998: Wirtschaftliche Bewertung von Ertrag und Qualität bei Silomais. *Agrarforschung* 5:492-494
- HUNT, C.W., W. KEZAR und R. VINANDE, 1992: Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear and stover as affected by hybrid. *J. Prod. Agric.* 5:286-290
- JUNG, H.G. und D.R. BUXTON, 1994: Forage quality variation among maize inbreds: Relationship of cell-wall composition and *in vitro* degradability for stem internodes. *J. Sci. Food Agric.* 66:313-322
- KJELDAHL, J., 1883: Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22:366-382
- KNAPP, S.J. und W.L. BRIDGES, JR., 1987: Confidence interval estimates for heritability for several mating and experiment designs. *Theor. Appl. Genet.* 73:759-763
- LUFF, G. und W. SCHOORL, 1929: *Chem. Weekbl.* 26:130
- MÉCHIN, V., O. ARGILLIER, Y. BARRIÈRE und V. MENANTEAU, 1998: Genetic variation in stems of normal and brown midrib 3 maize inbred lines. Towards similarity for *in vitro* digestibility and cell wall composition. *Maydica* 43:205-210
- MÉCHIN, V., O. ARGILLIER, Y. HÉBERT, E. GUINGO, L. MOREAU, A. CHARCOSSET und Y. BARRIÈRE, 2001: Genetic analysis and QTL mapping of cell wall digestibility and lignification in silage maize. *Crop Sci.* 41:690-697
- MEISSER, M. und U. WYSS, 1998: Wettereinfluss auf Wachstum und Reifung von Silomais. *Agrarforschung* 5:317-320
- MODE, C.J. und H.F. ROBINSON, 1959: Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15:518-523
- ROUSSEL, V., C. GIBELIN, A.S. FONTAINE und Y. BARRIÈRE, 2002: Genetic analysis in recombinant inbred lines of early dent forage maize: II. QTL mapping for cell wall constituents and cell wall digestibility from *per se* value and top cross experiments. *Maydica* 47:9-20
- SCHWARZ, F.J., E.J. PEX und M. KIRCHGEBNER, 1996: Zum Sorteneinfluss von Silomais

- auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Wirtschaftseig. Futter 42:161-172
- STRUIK, P.C. und B. DEINUM, 1990: The ideotype for forage maize (with special reference to nutritive value). In: Hinterholzer, J. (Hrsg.): Proceedings of the 15th EUCARPIA Congress Maize-Sorghum, June 4-8, Baden, Austria, 223-243
- TILLEY, J.M.A. und R.A. TERRY, 1963: A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc. 18:104-111
- UTZ, H.F., 2001: PLABSTAT Version 20. Ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik, Stuttgart-Hohenheim
- UTZ, H.F., A.E. MELCHINGER, G. SEITZ, M. MISTELE und J. ZEDDIES, 1994: Breeding for yield and quality traits in forage maize under economic aspects: II. Derivation and evaluation of selection indices. Plant Breed. 112:110-119
- VATTIKONDA, M.R. und R.B. HUNTER, 1983: Comparison of grain yield and whole-plant silage production of recommended corn hybrids. Can. J. Plant Sci. 63:601-609
- WEIßBACH, F., 1993: Bewerten wir die Qualität des Silomaises richtig? Mais 4/93:162-165
- WOLF, D.P., J.G. COORS, K.A. ALBRECHT, D.J. UNDERSANDER und P.R. CARTER, 1993A: Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. Crop Sci. 33:1353-1359
- WOLF, D.P., J.G. COORS, K.A. ALBRECHT, D.J. UNDERSANDER und P.R. CARTER, 1993b: Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. Crop Sci. 33:1359-1365