

Aus dem Institut für  
Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik  
Universität Hohenheim  
Fachgebiet: Populationsgenetik  
Prof. Dr. H.H. Geiger

**Untersuchungen zur Vererbung von Qualitätseigenschaften  
bei Silomais (*Zea mays* L.)**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Agrarwissenschaften  
vorgelegt der  
Fakultät Agrarwissenschaften  
der Universität Hohenheim

von  
Dipl.-Ing. agr.  
**Birte A.E. Krütfeldt**  
aus Oberkleevez/Kreis Plön

2004

Die vorliegende Arbeit wurde am 29. Oktober 2003 von der  
Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als  
„Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“  
angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 29. März 2004

Dekan: Prof. Dr. K. Stahr

1. Prüfer: Prof. Dr. H.H. Geiger
2. Prüfer: Prof. Dr. K. Becker
3. Prüfer: Prof. Dr. W. Claupein

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Fragestellungen</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
1.3.1 Zusammensetzung der Pflanze	3
1.3.2 Qualitätsbestimmung	4
1.3.3 Variation in der Ganzpflanzenverdaulichkeit	5
1.3.4 Korrelation zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen	7
1.3.5 Vererbung von qualitätsbestimmenden Merkmalen	8
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Genetisches Material</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Feldprüfungen</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Vegetationsverlauf</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Merkmalerfassung</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Statistische Auswertung</b>	<b>18</b>
<b>3 ERGEBNISSE</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Leistungsprüfungen 1999 und 2000</b>	<b>20</b>
3.1.1 Leistungsprüfungen 1999	20
3.1.1.1 Experiment F_(100)	20
3.1.1.2 Experiment FD_(100)	21
3.1.1.3 Experiment FD_(49)	22
3.1.2 Leistungsprüfungen 2000	24
3.1.2.1 Experiment D_(100)	24
3.1.2.2 Experiment DF_(100)_I	25
3.1.2.3 Experiment DF_(100)_II	26

<b>3.2</b>	<b>Linienleistung und Testkreuzungsleistung (1 Tester)</b>	<b>28</b>
3.2.1	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen F(65) und F(65)xD1 (1999)	28
3.2.1.1	Mittelwerte	29
3.2.1.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	31
3.2.2	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(43) und D(43)xF1 (2000)	35
3.2.2.1	Mittelwerte	35
3.2.2.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	37
3.2.3	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(46) und D(46)xF3 (2000)	42
3.2.3.1	Mittelwerte	42
3.2.3.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	44
3.2.4	Korrelationen zwischen Linienleistung und Testkreuzungsleistung	49
3.2.5	Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze	51
3.2.6	Korrelationen zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen	53
3.2.6.1	Abreife und Qualität	53
3.2.6.2	Ertrag bzw. Trockenkolbenanteil und Qualität	56
<b>3.3</b>	<b>Linienleistung und Testkreuzungsleistung (2 Tester)</b>	<b>60</b>
3.3.1	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen F(20) und F(20)xD2,D3 (1999)	60
3.3.1.1	Mittelwerte	60
3.3.1.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	62
3.3.2	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(26) und D(26)xF1,F2 (2000)	67
3.3.2.1	Mittelwerte	68
3.3.2.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	70
3.3.3	Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(18) und D(18)xF3,F4 (2000)	74
3.3.3.1	Mittelwerte	74
3.3.3.2	Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten	76
3.3.4	Korrelationen zwischen Linienleistung und Testkreuzungsleistung	81
3.3.5	Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze	84

<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>86</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines zu den ausgewerteten Prüfungen</b>	<b>86</b>
<b>4.2</b>	<b>Vergleich der Linieneigenleistung mit der Testkreuzungsleistung</b>	<b>90</b>
4.2.1	Heritabilität	90
4.2.2	Allgemeine und Spezifische Kombinationsfähigkeit	91
4.2.3	Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung	92
4.2.4	Erwarteter indirekter und direkter Selektionserfolg	93
<b>4.3</b>	<b>Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze</b>	<b>98</b>
<b>4.4</b>	<b>Korrelationen zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen</b>	<b>102</b>
4.4.1	Korrelationen zwischen dem TS-Gehalt und qualitätsbestimmenden Merkmalen	102
4.4.2	Korrelationen zwischen Ganzpflanzenertrag sowie Trockenkolbenanteil und qualitätsbestimmenden Merkmalen	106
<b>4.5</b>	<b>Vergleich von zwei Referenzmethoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit mit NIRS</b>	<b>111</b>
<b>4.6</b>	<b>Züchterische Konsequenzen</b>	<b>116</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>119</b>
<b>6</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>126</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b>	<b>136</b>



<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Tab. 2.1:</b> Übersicht über die durchgeführten Leistungsprüfungen in den Versuchsjahren 1999 und 2000	11
<b>Tab. 2.2:</b> Übersicht über die ausgewerteten Datensätze mit Angabe der Experimente, aus denen die Datensätze hervorgegangen sind, sowie Anzahl der Linien und Bezeichnung der Tester in den Datensätzen	12
<b>Tab. 2.3:</b> Beschreibung der agronomischen Merkmale und der dafür verwendeten Abkürzungen	15
<b>Tab. 2.4:</b> Beschreibung der mit NIRS gemessenen Qualitätsmerkmale und der dafür verwendeten Abkürzungen. Die Restpflanzenmerkmale wurden mit der Endung „R“ und die Ganzpflanzenmerkmale mit der Endung „G“ gekennzeichnet. Alle Prozentwerte wurden in Bezug auf die Trockenmasse bestimmt.	16
<b>Tab. 3.1:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im <b>Datensatz F(65)</b> und Mittelwerte über drei Orte im <b>Datensatz F(65)xD1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	30
<b>Tab. 3.2:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes F(65)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	32
<b>Tab. 3.3:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes F(65)xD1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	33
<b>Tab. 3.4:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im <b>Datensatz D(43)</b> und Mittelwerte über drei Orte im <b>Datensatz D(43)xF1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	36
<b>Tab. 3.5:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes D(43)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	38
<b>Tab. 3.6:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im <b>Datensatz D(43)xF1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	40
<b>Tab. 3.7:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im <b>Datensatz D(46)</b> und Mittelwerte über drei Orte im <b>Datensatz D(46)xF3</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	43
<b>Tab. 3.8:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes D(46)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	45

<b>Tab. 3.9:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im <b>Datensatz D(46)xF3</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	47
<b>Tab. 3.10:</b> Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den Eigenleistung der Linien <sup>§</sup> und der Testkreuzungsleistung der <b>Datensätze F(65)</b> und <b>F(65)xD1</b> (1999), <b>D(43)</b> und <b>D(43)xF1</b> (2000) sowie <b>D(46)</b> und <b>D(46)xF3</b> (2000) für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	49
<b>Tab. 3.11:</b> Koeffizienten der phänotypischen und genotypischen Korrelation zwischen den entsprechenden Qualitätsmerkmalen der Rest- und der Ganzpflanze für die Testkreuzungen in den <b>Datensätzen F(65)xD1</b> (1999), <b>D(43)xF1</b> (2000) und <b>D(46)xF3</b> (2000)	51
<b>Tab. 3.12:</b> Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Restpflanzen- sowie Ganzpflanzen-TS-Gehalt und den Qualitätsmerkmalen der Linien <sup>§</sup> in den <b>Datensätzen F(65)</b> (1999), <b>D(43)</b> (2000) und <b>D(46)</b> (2000)	53
<b>Tab. 3.13:</b> Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Restpflanzen- sowie Ganzpflanzen-TS-Gehalt und den Qualitätsmerkmalen der Testkreuzungen in den <b>Datensätzen F(65)xD1</b> (1999), <b>D(43)xF1</b> (2000) und <b>D(46)xF3</b> (2000)	55
<b>Tab. 3.14:</b> Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und den Qualitätsmerkmalen der Linien <sup>§</sup> in den <b>Datensätzen F(65)</b> (1999), <b>D(43)</b> (2000) und <b>D(46)</b> (2000)	57
<b>Tab. 3.15:</b> Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und den Qualitätsmerkmalen der Testkreuzungen in den <b>Datensätzen F(65)xD1</b> (1999), <b>D(43)xF1</b> (2000) und <b>D(46)xF3</b> (2000)	58
<b>Tab. 3.16:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des <b>Datensatzes F(20)</b> , Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (F(20)xD2 und F(20)xD3) im <b>Datensatz F(20)xD2,D3</b> und Mittelwerte <sup>#</sup> über beide Erntetermine der <b>Tester D2</b> und <b>D3</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	61
<b>Tab. 3.17:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes F(20)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	63
<b>Tab. 3.18:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im <b>Datensatz F(20)xD2,D3</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	64
<b>Tab. 3.19:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des <b>Datensatzes D(26)</b> , Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (D(26)xF1 und D(26)xF2) im <b>Datensatz D(26)xF1,F2</b> und Mittelwerte <sup>#</sup> über beide Erntetermine der <b>Tester F1</b> und <b>F2</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	69

<b>Tab. 3.20:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes D(26)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	70
<b>Tab. 3.21:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) des <b>Datensatzes D(26)xF1,F2</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	72
<b>Tab. 3.22:</b> Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des <b>Datensatzes D(18)</b> , Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (D(18)xF3 und D(18)xF4) im <b>Datensatz D(18)xF3,F4</b> und Mittelwerte <sup>#</sup> über beide Erntetermine der <b>Tester F3</b> und <b>F4</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	75
<b>Tab. 3.23:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes D(18)</b> über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	77
<b>Tab. 3.24:</b> Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des <b>Datensatzes D(18)xF3,F4</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	79
<b>Tab. 3.25:</b> Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale zwischen der Eigenleistung der Linien in <b>F(20)</b> (1999) sowie <b>D(26)</b> (2000) und <b>D(18)</b> (2000) und der Testkreuzungsleistung in <b>F(20)xD2,D3</b> (1999) sowie <b>D(26)xF1,F2</b> (2000) und <b>D(18)xF3,F4</b> (2000) gemittelt über beide Tester	82
<b>Tab. 3.26:</b> Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den entsprechenden Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze für die Testkreuzungen in den <b>Datensätzen F(20)xD2,D3</b> (1999), <b>D(26)xF1,F2</b> und <b>D(18)xF3,F4</b> (2000) gemittelt über beide Tester	84
<b>Tab. 4.1:</b> Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten Selektion an den Linien <i>per se</i> der <b>Datensätze F(65)</b> sowie <b>D(43)</b> und <b>D(46)</b> am ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermin und dem Erfolg der direkten Selektion an Testkreuzungen in den <b>Datensätzen F(65)xD1</b> (1999) sowie <b>D(43)xF1</b> (2000) und <b>D(46)xF3</b> (2000) auf ausgewählte Qualitätseigenschaften der Restpflanze	95
<b>Tab. 4.2:</b> Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen bestimmt nach der Pansensaft- und der Zellulasemethode für die <b>Datensätze F(65)xD1</b> (1999) sowie <b>D(43)xF1</b> und <b>D(46)xF3</b> (2000)	113

<b>Tab. 8.1:</b> Beschreibung der Versuchstandorte	136
<b>Tab. 8.2:</b> Beschreibung der Aussaat- und Erntetermine sowie der Bestandesdichte in den Leistungsprüfungen 1999 und 2000	137
<b>Tab. 8.3:</b> Durchschnittliche Lufttemperatur [°C] an den Versuchsstandorten Bernburg, Einbeck, Grucking und Walldorf während der Vegetationsperioden 1999 und 2000 und im langjährigen Mittel (langj. M.)	138
<b>Tab. 8.4:</b> Durchschnittliche Niederschlagsmenge [mm] an den Versuchsstandorten Bernburg, Einbeck, Grucking und Walldorf während der Vegetationsperioden 1999 und 2000 und im langjährigen Mittel (langj. M.)	139
<b>Tab. 8.5:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in <b>Exp. F_(100) Erntetermin 1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	140
<b>Tab. 8.6:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in <b>Exp. F_(100) Erntetermin 2</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	141
<b>Tab. 8.7:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in <b>Exp. FD_(100)</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	142
<b>Tab. 8.8:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in <b>Exp. FD_(49)</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	143
<b>Tab. 8.9:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in <b>Exp. D_(100) Erntetermin 1</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	144
<b>Tab. 8.10:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in <b>Exp. D_(100) Erntetermin 2</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	145
<b>Tab. 8.11:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in <b>Exp. DF_(100)_I</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	146
<b>Tab. 8.12:</b> Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in <b>Exp. DF_(100)_II</b> für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale	147

## Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen

### Abkürzungen und Erläuterungen der agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale

<b>TSR</b>	Trockensubstanzgehalt der Restpflanze [%], auch als Restpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSK</b>	Trockensubstanzgehalt des Kolbens [%], auch als Kolben-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSGA</b>	Trockensubstanzgehalt der Ganzpflanze [%] auch als geernteter Ganzpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSGB</b>	Trockensubstanzgehalt der Ganzpflanze [%] berechnet aus TSR und TSK, im Weiteren als (berechneter) Ganzpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TMR</b>	Trockenmasseertrag der Restpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als Restpflanzenertrag bezeichnet
<b>TMK</b>	Trockenmasseertrag des Kolbens [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als Kolbenertrag bezeichnet
<b>TMGA</b>	Trockenmasseertrag der Ganzpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als geernteter Ganzpflanzenertrag bezeichnet
<b>TMGB</b>	Trockenmasseertrag der Ganzpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ] als Summe aus TMR und TMK, im Weiteren als (berechneter) Ganzpflanzenertrag bezeichnet
<b>TKA</b>	Trockenkolbenanteil [%]
<b>STÄRKE</b>	Stärkegehalt in der Ganzpflanze [%] <sup>‡</sup> nach EWERS (1908)
<b>ELOS<sub>R</sub>, ELOS<sub>G</sub><sup>§</sup></b>	Enzymlösliche organische Substanz [%] nach DE BOEVER <i>et al.</i> (1986), auch als Zellulaseverdaulichkeit bezeichnet
<b>IVOM<sub>R</sub>, IVOM<sub>G</sub></b>	<i>In vitro</i> -Verdaulichkeit der organischen Masse [%] nach TILLEY & TERRY (1963), auch als Pansensaftverdaulichkeit bezeichnet
<b>RFR, RFG</b>	Rohfasergehalt [%] nach Weender Futtermittelanalyse
<b>NDFR</b>	NDF- ( <i>neutral detergent fibre</i> ) Gehalt [%] nach VAN SOEST (1963)
<b>WLKR, WLKG</b>	Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten [%] nach LUFF SCHOORL (1929)
<b>RPR, RPG</b>	Rohproteingehalt [%] nach KJELDAHL (1883)
<b>DINAR</b>	Zellulaseverdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion der Restpflanze [%] auch als Zellulaseverdaulichkeit <u>der</u> Restpflanzenzellwand bezeichnet
<b>DINAG</b>	Zellulaseverdaulichkeit der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion der Ganzpflanze [%], auch als Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand bezeichnet
<b>DINIR</b>	Pansensaftverdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion der Restpflanze [%] auch als Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand bezeichnet
<b>DINIG</b>	Pansensaftverdaulichkeit der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion der Ganzpflanze [%], auch als Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand bezeichnet
<b>DNDFR</b>	Verdaulichkeit der NDF [%] nach VAN SOEST (1963) und TILLEY & TERRY (1963)

‡ Alle Prozentwerte beziehen sich auf die Trockenmasse.

§ Die Restpflanzenmerkmale wurden mit der Endung „R“ und die Ganzpflanzenmerkmale mit der Endung „G“ gekennzeichnet.

Bezeichnung der Varianzkomponenten

---

<b>H</b>	Hybride
<b>L</b>	Linie
<b>T</b>	Tester
<b>Z</b>	Erntezeitpunkt bzw. Erntetermin
<b>HP</b>	Hybride $\times$ Ort-Interaktion
<b>LP</b>	Linie $\times$ Ort-Interaktion
<b>LT</b>	Linie $\times$ Tester-Interaktion
<b>LZ</b>	Linie $\times$ Erntetermin-Interaktion
<b>LTP</b>	Linie $\times$ Tester $\times$ Ort-Interaktion
<b>LZP</b>	Linie $\times$ Erntetermin $\times$ Ort-Interaktion

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung

In der Milchviehhaltung und Bullenmast ist die Erzeugung hoher tierischer Leistungen aus dem Grundfutter ein wichtiger ökonomischer Faktor. Einen besonderen Beitrag als ertrag- und energiereiches Futtermittel leistet dazu Silomais (*Zea mays* L.). Die Anbaufläche betrug 2002 allein in Deutschland 1,12 Mio. ha. Dieses entsprach einem Anteil an der Ackerfutterfläche von etwa 70 % und an der Ackerfläche von etwa 9,5 % (ANONYM 2002).

Wichtige Ziele in der Silomaiszüchtung sind ein hoher Trockenmasseertrag und die Verbesserung der Futterqualität für Wiederkäuer. Des Weiteren sind Frühreife, Kältetoleranz in nördlicheren Gebieten, eine ausreichende Standfestigkeit sowie Resistenzen gegen Krankheiten und Schädlinge von Bedeutung.

Die gezielte Züchtung von Mais zur Nutzung als Silage begann in Europa etwa Ende der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts (BARRIÈRE & ARGILLIER 1998). Es wurde damals Zuchtmaterial eingesetzt, das auf Kornertrag und Standfestigkeit selektiert worden war. Lange Zeit war die Körnerleistung das wichtigste Kriterium zur Silomaisbewertung, da angenommen wurde, dass Mais mit einem hohen Kornertrag auch eine gute Leistung als Silomais zeigen würde. Die geringe Korrelation zwischen dem Kornertrag und der Eignung als Silomais (VATTIKONDA & HUNTER 1983) stellte dieses Konzept in Frage. Später wurde bestätigt, dass aus der Körnermaisleistung nicht eindeutig auf die Brauchbarkeit als Silomais geschlossen werden könnte (BARRIÈRE *et al.* 1997b). Nachdem zu Beginn der Silomaiszüchtung vor allem hohe Trockenmasseerträge im Mittelpunkt standen, ist mittlerweile die Futterqualität verstärkt in das Interesse der Sortenentwicklung und auch der Sortenwahl gerückt (STRUİK & DEINUM 1990, WEIßBACH 1993, UTZ *et al.* 1994, HILFIKER *et al.* 1998). In Europa wurden daher seit den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts Sortenprüfungen zur Untersuchung der Qualität von Silomais eingeführt (ARGILLIER & BARRIÈRE 1996a).

Eine Silomaishybride mit hervorragender Futterqualität ist sehr gut verdaulich und zeichnet sich durch einen hohen Energiegehalt aus. Die Verdaulichkeit und der Anteil des Kolbens und der Restpflanze bestimmen die Qualität. Der Kolben besteht vor allem aus hoch verdaulichem, energiereicher Stärke. Die Restpflanze entspricht dem Nicht-Kolbenanteil an der gesamten Pflanze. Sie ist aus unterschiedlich gut verdaulichen Zellwandbestandteilen sowie zumeist hoch verdaulichen Zellinhaltsstoffen zusammengesetzt.

Es wurde mehrfach gezeigt, dass eine breite Variation in futterwertbestimmenden Merkmalen sowohl in der gesamten Maispflanze als auch in der Restpflanze vorhanden ist, die züchterisch genutzt werden kann (GURRATH 1991, GEIGER *et al.* 1992, BARRIÈRE *et al.* 1994). In älteren Untersuchungen wurden jedoch zumeist nur einzelne Aspekte der züchterischen Verbesserung der Silomaisqualität betrachtet, beispielsweise nur der Energie- oder Rohproteingehalt oder die Korrelation zwischen Linien- und Testkreuzungsleistung lediglich für wenige Restpflanzenmerkmale. Bevor die Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) zur Standardmethode in der Qualitätsanalyse wurde, waren Inhaltstoffbestimmungen sehr aufwändig. Daher waren zumeist relativ wenige Genotypen, Merkmale oder Umwelten Gegenstand der Analysen. Da es inzwischen möglich ist, mit NIRS verschiedene qualitätsbestimmende Merkmale zeitgleich und mit einer guten Genauigkeit zu erfassen (DEGENHARDT 1996), sollten in der vorliegenden Arbeit umfassende Untersuchungen zu verschiedenen Aspekten der Qualitätszüchtung von Silomais durchgeführt werden.

## **1.2 Fragestellungen**

Anhand der Experimente soll beantwortet werden, inwieweit die Restpflanzenqualität einer Testkreuzung anhand der Linieneigenleistung vorhergesagt werden kann und inwieweit sich die genetische Variabilität in der Restpflanzenqualität von Testkreuzungen in der Qualität der gesamten Maispflanze widerspiegelt. Von Interesse sind zudem die Korrelation zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen, der Vergleich von zwei NIRS-Referenzmethoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit und der Einfluss des Erntetermins auf die Restpflanzenqualität von Linien.

### 1.3 Literaturübersicht

Neben hohen Trockenmasseerträgen, Standfestigkeit und Frühreife ist in den vergangenen Jahren zunehmend der Qualitätsaspekt ins Blickfeld der Silomaiszüchtung gerückt. Eine Hybride mit einer guten Futterqualität zeichnet sich durch ihre Eignung aus, je Flächeneinheit eine hohe Leistung in der Milchviehhaltung oder Bullenmast zu ermöglichen. Abweichungen im Futterwert verschiedener Maissilagen, die sich nur im silierten Genotyp, nicht aber in der technischen Qualität der Silage unterscheiden, spiegeln sich in der Leistung wider, die eine Milchkuh oder ein Mastrind aus diesem Futter erzielen kann (BARRIÈRE *et al.* 1995a,b, BRUNSCHWIG *et al.* 1995, LANGENHOFF 2002).

Der Futterwert einer Hybride wird vor allem durch die mögliche Futterraufnahme durch das Tier, die Verdaulichkeit und den Energie- bzw. Stärkegehalt bestimmt (DEINUM & STRUIK 1986, WEIBBACH 1993, BARRIÈRE *et al.* 1997a). Diese Faktoren sind eng miteinander korreliert. Die Futterraufnahme, die durch die Abbaubarkeit, aber auch die Schmackhaftigkeit oder den Geruch der Silage beeinflusst werden kann, ist bisher nur über aufwändige Fütterungsversuche erfassbar. In der vorliegenden Arbeit wird auf diesen Qualitätsparameter nicht weiter eingegangen.

Um eine hohe tierische Leistung je Flächeneinheit zu erzielen, ist eine hohe Energiekonzentration erforderlich (WEIBBACH 1993). Diese wird vor allem durch einen hohen Kornanteil, der zum größten Teil aus hoch verdaulicher, energiereicher Stärke besteht, erreicht. Inzwischen wurde aber mehrfach nachgewiesen, dass die vegetativen Pflanzenteile einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Futterwert haben (BARRIÈRE *et al.* 1992, WOLF *et al.* 1993a, COORS *et al.* 1997, MEISSER & WYSS 1998).

#### 1.3.1 Zusammensetzung der Pflanze

Die Maispflanze setzt sich aus dem Zellinhalt, der nahezu vollständig verdaulich ist, und aus den Zellwänden, die eine unterschiedliche Verdaulichkeit aufweisen, zusammen. Der Zellinhalt der Ganzpflanze besteht zur Siloreife vor allem aus Stärke im Korn und zu geringeren Anteilen aus wasserlöslichen Kohlenhydraten und Protein. Außerdem sind Vitamine, organische Säuren, Chlorophyll und sekundäre Inhaltsstoffe in geringer Menge in den Zellen vorhanden, von denen kein signifikanter Einfluss auf die Verdaulichkeit bekannt ist. Möglicher-

weise wirken diese sekundären Pflanzeninhaltsstoffe jedoch auf den Geschmack und den Geruch einer Silage und können so die Futteraufnahme und -verwertung beeinflussen.

Die Zellwand, die zum Zeitpunkt der Siloreife etwa die Hälfte der Trockensubstanz ausmacht (ANDRIEU *et al.* 1999), 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 wird als ein sehr wichtiger Faktor genannt, der die Zellwandverdaulichkeit limitiert (WOLF *et al.* 1993a, LUNDVALL *et al.* 1994, ARGILLIER *et al.* 1995a, MÉCHIN *et al.* 1998, 2000). Allerdings scheint die Verdaulichkeit von Maiszellwänden weniger vom Ligningehalt, sondern mehr vom Grad der Lignifizierung abzuhängen (ANDRIEU *et al.* 1993, CONE & ENGELS 1993). Durch die Bildung sogenannter Lignozellulosekomplexe oder auch durch andere spezifische molekulare Interaktionen der Ligninbestandteile kann der Zellwandabbau behindert werden (GRABBER *et al.* 1997, 1998, JUNG *et al.* 1998b, 2000, BARRIÈRE *et al.* 2003). JUNG & BUXTON (1994) berichteten, dass zwischen Hybriden Unterschiede im Futterwert auftraten, die sowohl auf Abweichungen im Ligningehalt als auch der Ligninzusammensetzung beruhten. Bereits in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde von WERMKE (1985) und ZIMMER & WERMKE (1986) darauf hingewiesen, dass eine ähnliche chemische Komposition der Zellwände nicht notwendigerweise auch mit der entsprechenden Verdaulichkeit verbunden ist. Vergleichbare Beobachtungen an Maisstängeln zur *in vitro*-Abbaubarkeit wurden einige Jahre später auch von BARRIÈRE *et al.* (1998b) gemacht. Bisher ist es jedoch nicht möglich, die Zellwandstruktur bzw. die Einflussfaktoren im Zellwandaufbau auf die Verdaulichkeit mit einfachen Methoden zu bestimmen. Daher wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Zellwandverdaulichkeit als komplexes Merkmal erfasst.

### 1.3.2 Qualitätsbestimmung

Die Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterpflanzen erfolgte anfangs nur mit *in vivo*-Versuchen. Da Fütterungsversuche zur Verdaulichkeitsbestimmung nicht routinemäßig eingesetzt werden können, wurden diese durch *in vitro*-Analysen weitgehend ersetzt. Aber auch chemische und enzymatische Methoden sind im Züchtungsbetrieb zeit- und kostenintensiv, so dass seit einigen Jahren die Qualitätsuntersuchungen zumeist unter Nutzung der Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) erfolgen. NIRS wurde von NORRIS *et al.* (1976) zur Inhaltsstoffbestimmung in der Züchtung von Futterpflanzen vorgeschlagen. Nachdem die Eig-

nung dieser Methode zur Bewertung von Silomais in Deutschland besonders von MAINKA (1990) und DEGENHARDT (1996) bestätigt wurde, ist sie mittlerweile in vielen Ländern die Routinemethode zur Inhaltsstoffbestimmung in der Sortenprüfung. Nach Aufstellung von Kalibrationsgleichungen, die Regressionsgleichungen zwischen nassanalytischen Daten und Spektren des zu untersuchenden Materials darstellen, ist die Anwendung in der Folge einfach und liefert sichere Ergebnisse (GURRATH 1991, DE BOEVER *et al.* 1994, DEGENHARDT 1996, HERTER *et al.* 1996a).

Den verwendeten Kalibrationsgleichungen müssen analytische Methoden zugrunde liegen, die eng mit der Merkmalsausprägung *in vivo* korreliert sind. Die angewandten Verfahren zur Bestimmung des Futterwerts von Silomais sind jedoch nicht in allen Ländern gleich. So wird in Europa die Verdaulichkeit einerseits auf Grundlage biologisch-chemischer oder andererseits mit enzymatischen Methoden bestimmt (ARGILLIER & BARRIÈRE 1996a, VAN WAES *et al.* 1997). In Deutschland basiert die Verdaulichkeitsuntersuchung auf der enzymatischen Löslichkeit nach DE BOEVER *et al.* (1986), in Frankreich auf der enzymatischen Löslichkeit nach AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU (1983) und in den Niederlanden beispielsweise auf der biologisch-chemischen Analyse nach TILLEY & TERRY (1963). Die Folge ist eine erschwerte Vergleichbarkeit von Daten.

### 1.3.3 Variation in der Ganzpflanzenverdaulichkeit

Zu Beginn der Züchtung von Mais zur Silagenutzung erfolgte die Selektion in Richtung hoher Kornerträge, da angenommen wurde, dass der Futterertrag und die Qualität durch den Kornertrag und das Korn-Stroh-Verhältnis festgelegt würden. NEVENS (1933, zitiert in VATTIKONDA & HUNTER 1983) hatte betont, dass die Futterqualität und der Ertrag von Mais vom Korngehalt abhängig seien. In den siebziger Jahren des vorherigen Jahrhunderts wurden erste Ergebnisse veröffentlicht, denen zur Folge es zwischen Silomaishybriden bei gleicher Reife signifikante Unterschiede in der Verdaulichkeit gab, die nicht durch den Kolbenanteil erklärt werden konnten (BUNTING 1975, HUNTER 1978). Es wurde darauf hingewiesen, dass die Trockenmasse etwa zur Hälfte aus der Restpflanze besteht. Dieser Faktor hat ebenfalls einen Einfluss auf die Silomaisqualität (HUNTER 1978). VATTIKONDA & HUNTER (1983) zeigten durch ihre Untersuchungen, dass eine getrennte Bewertung von Silo- und Körnermais erforderlich ist. BARRIÈRE *et al.* (1992) konnten weniger als 40 % der genetischen Variation in der *in vivo*-Verdaulichkeit der organischen Masse durch den Kornanteil erklären. HUNT *et al.* (1992)

hoben hervor, dass Hybriden mit demselben Korngehalt große Unterschiede im Futterwert aufweisen können und dass bei der Selektion auf hochqualitative Hybriden sowohl die Restpflanzenverdaulichkeit und als auch der Kornanteil beachtet werden müssen.

Eine bedeutende genotypische Variation in der Verdaulichkeit fiel zuerst in Untersuchungen auf, in denen auch *brown-midrib-* (*bm-*) Mutanten geprüft wurden (Übersicht bei BARRIÈRE & ARGILLIER 1993). Diese zeichnen sich durch eine veränderte Ligninzusammensetzung gegenüber nicht mutierten Genotypen aus, besitzen eine höhere Verdaulichkeit der Restpflanze und sind phänotypisch durch eine braune Mittelrippe gekennzeichnet. In den folgenden Jahren wurden auch deutliche Unterschiede zwischen „normalen“ Hybriden in der *in vivo-*, *in situ-* und *in vitro-*Verdaulichkeit der Trockenmasse oder der organischen Masse von Ganzpflanzen festgestellt (DEINUM & BAKKER 1981, VATTIKONDA & HUNTER 1983, DEINUM 1988, ALLEN *et al.* 1990, GEIGER *et al.* 1992, HUNT *et al.* 1992, FLACHOWSKY *et al.* 1993, WOLF *et al.* 1993b, BARRIÈRE *et al.* 1998a). DEINUM & STRUIK (1986) sowie BARRIÈRE *et al.* (1992, 1994) wiesen darauf hin, dass die genetische Variation in der Verdaulichkeit der Maispflanze auch ohne *bm3*-Mutanten groß genug sei, um dieses Merkmal züchterisch zu verbessern.

Durch das Merkmal Ganzpflanzenverdaulichkeit konnte jedoch nicht die Variation in der Leistung erklärt werden, die in Fütterungsversuchen bei Wiederkäuern auftrat (BARRIÈRE & ÉMILE 1990). Der Nachteil der Methode zur Bestimmung der *in vitro*-Verdaulichkeit der ganzen Pflanze ist, dass sie nicht zwischen Genotypen mit unterschiedlichen Kolbenanteilen und unterschiedlicher Verdaulichkeit der Restpflanze unterscheidet. Es sind Genotypen vorhanden, die eine gute Ganzpflanzenqualität durch eine gute Restpflanzenverdaulichkeit und einen geringeren Kolbenanteil oder aber durch einen hohen Kornanteil bei geringerer Restpflanzenqualität erreichen (ARGILLIER *et al.* 1995a). Die Leistung von Wiederkäuern hängt jedoch nicht nur vom Korngehalt ab, sondern reagiert auch auf die Zellwand- bzw. Restpflanzenverdaulichkeit (BARRIÈRE *et al.* 1994). Aufgrund dieser Ergebnisse wurde verstärkt der Einfluss der Verdaulichkeit der Restpflanze bzw. der Zellwand auf den Futterwert der Maispflanze untersucht.

Eine deutliche Variation im Ertrag und der Verdaulichkeit der Restpflanze bzw. der Zellwand konnte mehrfach nachgewiesen werden (VATTIKONDA & HUNTER 1983, ALLEN *et al.* 1990, DHILLON *et al.* 1990a,b, BARRIÈRE *et al.* 1992, GEIGER *et al.* 1992, WOLF *et al.* 1993a,b, LUNDVALL *et al.* 1994, 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 (1996b) sowie BARRIÈRE & ÉMILE (2000) waren hingegen der Ansicht, dass der Futterwert vor allem von der Zellwandverdaulichkeit der vegetativen Pflanzenteile abhängt.

Die Zellwandverdaulichkeit bestimmt den Zugang zu den Zellinhaltsstoffen, der nur nach dem -teilweisen- Abbau der Zellwand erfolgen kann. Die Verdaulichkeit der Zellwand wird weniger von der Reife beeinflusst als andere Merkmale (DEINUM & STRUIK 1986, DOLSTRA & MEDEMA 1990, ARGILLIER & BARRIÈRE 1996b) und ist unabhängig vom Ertrag (ARGILLIER *et al.* 1998b, ARGILLIER *et al.* 2000). Es wurden verschiedene Modelle zur Bewertung der Zellwandverdaulichkeit an der Restpflanze (STRUIK 1983, zitiert in DOLSTRA & MEDEMA 1990, ARGILLIER *et al.* 1996) oder an der Ganzpflanze (BARRIÈRE *et al.* 1992, ARGILLIER *et al.* 1995a, BARRIÈRE & ÉMILE 2000) vorgeschlagen. Die Bestimmung der Zellwandverdaulichkeit durch Analyse an der gesamten Pflanze hat den Vorteil, dass auf die aufwändige Trennung in Rest- und Ganzpflanze verzichtet werden kann (ARGILLIER *et al.* 1995a).

#### 1.3.4 Korrelation zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen

Wie bereits erwähnt, erfolgte die Züchtung von Silomais anfangs vor allem in Richtung hoher Kolbenanteile und Trockenmasseerträge. Parallel wurde auf eine gute Standfestigkeit selektiert. Die Folge waren ertragreiche Hybriden mit tendenziell geringerer Rohfaser- oder NDF- (*neutral detergent fibre*, VAN SOEST 1963) Verdaulichkeit und geringerem Futterwert als ältere Sorten (BARRIÈRE & ARGILLIER 1998, BARRIÈRE & ÉMILE 2000, GIVENS & DEAVILLE 2001). Es wurde in verschiedenen Studien über negative Beziehungen zwischen der Verdaulichkeit und agronomischen Merkmalen wie Ertrag und Standfestigkeit berichtet (DEINUM & STRUIK 1986, DHILLON *et al.* 1990b, GEIGER *et al.* 1992, BARRIÈRE & ARGILLIER 1998). Aufgrund des sehr geringen agronomischen Werts bei hoher Verdaulichkeit waren daher auch *bm3*-Mutanten zur Verbesserung der Qualität nicht geeignet (BARRIÈRE *et al.* 1992, 1994).

Die Möglichkeit der parallelen Selektion auf Qualität und Ertrag wurde von BARRIÈRE *et al.* (1992) oder ARGILLIER *et al.* (1995b) aufgezeigt. Es ist eine breite genetische Variation in der Verdaulichkeit von Linien und Hybriden vorhanden, die nicht mit der Höhe des Ertrags gekoppelt ist. COORS *et al.* (1997) wiesen darauf hin, dass aufgrund der negativen Korrelation zwischen der Kornfüllung und der Verdaulichkeit der Restpflanze bei der Selektion auf Restpflanzenqualität auch das Korn-Restpflanzenverhältnis beachtet werden sollte. Ein höherer Trockenkolbenanteil hat aufgrund der Translokation von Zellinhaltsstoffen aus der Restpflanze in die Körner tendenziell eine geringere Restpflanzenqualität zur Folge (RUSSELL 1986). Er ist jedoch zur Sicherstellung einer ausreichenden Energiekonzentration in der Maispflanze erforderlich (ARGILLIER *et al.* 1995a., SCHWARZ *et al.* 1996).

Bei der Selektion auf Qualitätsmerkmale ist außerdem der Einfluss der Abreife auf die Qualität zu beachten. Die Verdaulichkeit der Ganzpflanze steigt solange an, wie die Zunahme an hoch verdaulicher Stärke in den Körnern den Rückgang in der Restpflanzenverdaulichkeit überkompensiert, anschließend sinkt die Ganzpflanzenqualität (EDER & KRÜTZFELDT 2000, GIVENS & DEAVILLE 2001). In Abhängigkeit von der Variationsbreite in der Abreife der getesteten Genotypen werden so unterschiedliche Beziehungen zwischen den geprüften Merkmalen bestimmt (ARGILLIER *et al.* 1995b). Um dies zu vermeiden sollten daher alle Prüfglieder in einem Versuch möglichst die gleiche physiologische Reife aufweisen (SCHWARZ *et al.* 1996).

#### 1.3.5 Vererbung von qualitätsbestimmenden Merkmalen

Die Entwicklung von Inzuchtlinien und ihre Prüfung auf Kombinationsfähigkeit in Testkreuzungen sind Standardprozeduren in der Hybridmaiszüchtung. Die Erstellung von Testkreuzungen kann reduziert werden, wenn ihre mögliche Leistung bereits an den Linien *per se* vorhergesagt werden kann. Der Selektionserfolg durch ein Testverfahren bzw. Selektionskriterium hängt von der Selektionsintensität, von der genetischen Varianz und der relativen Größe der Heritabilität der Selektionskriterien sowie von der genotypischen Korrelation zwischen dem direkten und indirekten Selektionskriterium ab (FALCONER & MACKAY 1996).

Trotz der hohen Anbaubedeutung von Silomais und des inzwischen nachgewiesenen Einflusses der Rest- auf die Ganzpflanzenqualität liegen bisher relativ wenige Arbeiten zur Vererbung von futterwertrelevanten Merkmalen vor. In älteren Studien zur Vererbung der Qualität

wurden meistens nur eine geringe Anzahl von Prüfgliedern oder wenige Merkmale, vor allem Rohprotein- und Energiegehalt, betrachtet. Zur Beziehung zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung für Verdaulichkeit und qualitätsbestimmende Merkmale lag jedoch lange Zeit nur wenig Information vor (GURRATH *et al.* 1991). Erst in den letzten Jahren wurden zunehmend Prüfungen mit einer breiteren Anzahl von Merkmalen und/oder Genotypen durchgeführt. Dieses ist unter anderem auf die bereits genannte Etablierung der NIRS zur Bewertung der Inhaltsstoffe zurückzuführen, die es ermöglicht, eine Vielzahl von Merkmalen zeitgleich zu bestimmen und innerhalb kurzer Zeiträume eine große Probenmenge unter vertretbarem Aufwand zu untersuchen.

Breite genetische Variation und hohe Heritabilitätskoeffizienten für qualitätsbestimmende Eigenschaften von Linien und Testkreuzungen wurden von verschiedenen Autoren belegt, eine züchterische Verbesserung dieser Merkmale sollte daher möglich sein (DEINUM & STRUIK 1986, DHILLON *et al.* 1990b, BARRIÈRE *et al.* 1993, ARGILLIER *et al.* 1995b). GURRATH (1991) stellte signifikante Korrelationen zwischen der Linieneigen- und der Testkreuzungsleistung für die *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Masse sowie den Faser- und Ligningehalt bei Restpflanzen fest. Eine deutliche Beziehung zwischen den Linien *per se* und der Allgemeinen Kombinationsfähigkeit (GCA) für Merkmale, die mit der Verdaulichkeit zusammenhängen, ermittelten ARGILLIER *et al.* (1995a, 2000). Dieses weist auf die Möglichkeit hin, diese Eigenschaften durch die Selektion an Linien zu verbessern. Auch WOLF *et al.* (1993a) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Leistung der Inzuchtlinien für Qualitätsmerkmale in den Testkreuzungen widerspiegelte.

Eine der wenigen Untersuchungen zur Vererbung von Restpflanzeigenschaften wurde von DOLSTRA *et al.* (1993) durchgeführt. Sie betrachteten den Kolben und die Fraktion aus Blättern und Stängel und kamen mithilfe der Bestimmung des Mittelwertes zu dem Ergebnis, dass die Zellwandverdaulichkeit das einzige Stängelmerkmal sei, das an Linien selektiert werden sollte. MECHIN *et al.* (2001) untersuchten die Verdaulichkeit der nicht löslichen Kohlenhydrate der Ganzpflanze und kamen zu dem Resultat, dass für dieses Merkmal der Zellwandverdaulichkeit eine indirekte Selektion aufgrund der Linieneigenleistung erfolversprechend sei.

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden 1999 und 2000 an vier klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland einjährige Feldversuche mit Silomais durchgeführt. In beiden Jahren wurden Linien und Testkreuzungsnachkommenschaften, im Weiteren als Testkreuzungen bezeichnet, geprüft. Die Leistungsprüfungen der Linien standen in Bernburg (BER, Kreis Bernburg), Einbeck (EIN, Kreis Nordheim) und Walldorf (WAL, Rhein-Neckar-Kreis) und Testkreuzungsprüfungen in Bernburg, Einbeck, Grucking (GRU, Kreis Erding) und Walldorf (Tab. 2.1).

### 2.1 Genetisches Material

Die geprüften Linien stellten eine zufällige Auswahl aus aktuellem westeuropäischem Zuchtmaterial der KWS SAAT AG, Einbeck dar. Die Tester waren Elite-Inzuchtlinien, die nicht aufgrund ihrer Restpflanzenqualität ausgewählt worden waren. Die Prüfungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden im Rahmen der normalen Sortenentwicklung und nicht speziell für die vorliegende wissenschaftliche Untersuchung angelegt. Die Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über die Experimente in den zwei Versuchsjahren. Die Serienanalyse erfolgte nicht an den Experimenten, sondern an ausgewählten Linien, aus denen balancierte Datensätze gebildet wurden. Deren Zusammensetzungen sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Die übrigen Linien waren teilweise enger verwandt als die in den Datensätzen oder mit einer unterschiedlichen Anzahl von Wiederholungen im Experiment vertreten.

Im Versuchsjahr 1999 erfolgte die Bestimmung der Eigen- und Testkreuzungsleistung von Flint-Linien und 2000 von Dent-Linien. In beiden Jahren wurde ein Teil der Linien mit einem Tester und ein Teil dieser Gruppe mit zwei Testern aus dem Partner-Formenkreis (Dent- bzw. Flint) geprüft. Die Tester wurden in den Linienprüfungen als Standardlinien mitgeführt. Alle Prüfglieder und Tester sind mit codierten Nummern bezeichnet.

**Tab. 2.1:** Übersicht über die durchgeführten Leistungsprüfungen in den Versuchsjahren 1999 und 2000

Experiment	Anzahl Prüfglieder	Genetisches Material	Prüforte	Anzahl Erntetermine
1999				
F_(100)	90 10	Flint-Linien, Standardlinien	BER, EIN, WAL	2
FD_(100)	90 10	Flint × Dent- Testkreuzungen, Standardhybriden	BER, EIN, GRU	1
FD_(49)	48 1	Flint × Dent- Testkreuzungen, Standardhybride	BER, EIN, WAL	1
2000				
D_(100)	90 10	Dent-Linien, Standardlinien	BER, EIN, WAL	2
DF_(100)_I	90 10	Dent × Flint- Testkreuzungen, Standardhybriden	BER, EIN, GRU	1
DF_(100)_II	90 10	Dent × Flint- Testkreuzungen, Standardhybriden	BER, EIN, GRU	1

**Tab. 2.2:** Übersicht über die ausgewerteten Datensätze mit Angabe der Experimente, aus denen die Datensätze hervorgegangen sind, sowie Anzahl der Linien und Bezeichnung der Tester in den Datensätzen

Experiment	Datensatz	Anzahl Linien	Tester
F_(100)	F(65)	65	
FD_(100)	F(65)xD1	65	D1
D_(100)	D(43)	43	
DF_(100)_I	D(43)xF1	43	F1
D_(100)	D(46)	46	
DF_(100)_II	D(46)xF3	46	F3
F_(100)	F(20)	20	
FD_(49)	F(20)xD2,D3	20	D2 und D3
D_(100)	D(26)	26	
DF_(100)_I	D(26)xF1,F2	26	F1 und F2
D_(100)	D(18)	18	
DF_(100)_II	D(18)xF3,F4	18	F3 und F4

## 2.2 Feldprüfungen

Alle Standorte zeichnen sich durch eine hohe bis sehr hohe Bodengüte aus (Tab. 8.1) und verfügen bis auf Bernburg in der Regel auf eine gleichmäßig gute Wasserversorgung. Dort sind die Niederschläge im Sommer häufig gering, so dass es vor allem bei hohen Temperaturen zu Sommertrockenheit und sehr schneller Abreife kommt.

Die Prüfung der Linien erfolgte in einreihigen Parzellen mit 0,75 m Reihenabstand. Die Parzellengröße betrug 3,22 m<sup>2</sup>. Es wurde eine Bestandesdichte von 7,75 Pflanzen je m<sup>2</sup> angestrebt. Die Testkreuzungen wurden vierreihig ausgesät und die mittleren zwei Reihen getrennt geerntet. Der Abstand zwischen den Reihen war ebenfalls 0,75 m, die Erntefläche pro Reihe 4,5 m<sup>2</sup>. Die angestrebte Bestandesdichte betrug 1999 in Bernburg 9,1 Pflanzen je m<sup>2</sup> und in Einbeck, Grucking und Walldorf 11,1 Pflanzen je m<sup>2</sup>. Im Versuchsjahr 2000 variierte die

Anzahl der Pflanzen pro Reihe in den Testkreuzungsprüfungen zwischen den Wiederholungen. Es sollte der Einfluss einer geringeren Bestandesdichte auf die Leistung bzw. Qualität untersucht werden. In der ersten Wiederholung war die Bestandesdichte daher auf 80 % der normalen Bestandesdichte reduziert (Tab. 8.2). Alle Prüfungen wurden auf Endabstand ausgesät.

Die Versuchsanlage war in der Leistungsprüfung FxD(49) ein 7×7-Gitter mit zwei Wiederholungen, in allen anderen Prüfungen ein 10×10-Gitter mit zwei Wiederholungen. Die Standardlinien bzw. -hybriden dienten als Vergleichsbasis für das zu testende Material.

Die Linien sollten an zwei Terminen geerntet werden. Die erste Ernte sollte etwa drei Wochen vor Eintreten der Siloreife liegen, um zu prüfen, ob eine Selektion auf Restpflanzenqualität bereits zu diesem frühen Reifestadium möglich ist. Zur Siloreife sollte das zweite Mal geerntet werden. Aufgrund von Witterungseinflüssen konnten diese Vorgaben nicht immer eingehalten werden (Tab. 8.2).

Die pflanzenbaulichen Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung erfolgten ortsüblich.

### **2.3 Vegetationsverlauf**

In Bernburg war der Mai 1999 sehr feucht, ab Ende Juli war es dann sehr trocken und überdurchschnittlich warm (Tab. 8.3 und 8.4). Bereits zuvor hatten die Temperaturen etwas über dem langjährigen Mittel gelegen. Im zweiten Versuchsjahr gab es in Bernburg während der gesamten Vegetationsperiode unterdurchschnittliche Niederschläge. In dieser Zeit waren die Temperaturen außer im Juli höher als im Durchschnitt. Die Temperaturverläufe an den anderen Standorten entsprachen in beiden Jahren denen in Bernburg. In Einbeck und Grucking war die Durchschnittstemperatur etwas niedriger und in Walldorf etwas höher.

Die Niederschlagsmenge lag 1999 außer im August in Einbeck unter dem langjährigen Vergleichswert, im Folgejahr waren der Frühsommer und August vergleichsweise trocken, hohe Niederschlagsmengen traten jedoch im Juli auf. Im ersten Versuchsjahr war der Mai in Grucking besonders feucht, die übrigen Monate waren trockener als im Durchschnitt. Im Jahr 2000 war es während der gesamten Wachstumsperiode, vor allem aber im Juni und Juli, sehr

trocken. Zur Abreife im September waren die Niederschlagsmengen dann hoch. In Walldorf konnte in beiden Jahren ein ähnlicher Verlauf beobachtet werden mit extremeren Werten im zweiten Versuchsjahr. Im Mai wurden durchschnittliche Regenmengen gemessen, im Juni deutlich unter- und im Juli deutlich überdurchschnittliche.

## **2.4 Merkmalerfassung**

Kurz vor der Silomaisernnte wurde die Pflanzenzahl je Reihe gezählt. Da die Abweichung von der angestrebten Pflanzenzahl zumeist gering war und die statistische Auswertung keinen Einfluss der Fehlstellen auf die erfassten Merkmale zeigte, wurden keine Korrekturen in Bezug auf die Pflanzenzahl durchgeführt.

Zur Bestimmung der agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale wurden alle Pflanzen einer Reihe geerntet. Die Ernte der Linien und einer Reihe der Testkreuzungen erfolgte getrennt für Kolben und Restpflanze, die zweite Reihe der Hybriden wurde als Ganzpflanze geerntet. Bei der getrennten Ernte wurden die entlieschten Kolben mit der Hand gepflückt. Anschließend wurden die Restpflanzen maschinell mit einem Feldhäcksler geerntet. Eine repräsentative Probe von etwa 1-1,5 kg Frischmasse zur Trockensubstanz- und Qualitätsbestimmung wurde automatisch aus dem Häckselstrom entnommen.

Von den Kolben, der Rest- und der Ganzpflanze wurden das Frischgewicht pro Reihe und der Trockensubstanzgehalt bestimmt. Anschließend wurden die Trockenmasseerträge und der Trockenkolbenanteil berechnet (Tab. 2.3).

Das gehäckselte Material wurde bei maximal 60°C auf einer Flachbettrocknung bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Proben unter Verwendung eines Siebs mit 4 mm Lochgröße vorgemahlen. Mithilfe eines Probenteilers wurde eine Teilprobe genommen und diese auf 1 mm Partikelgröße vermahlen. Bis zur Qualitätsanalyse wurden die Proben bei Raumtemperatur abgedunkelt gelagert.

**Tab. 2.3:** Beschreibung der agronomischen Merkmale und der dafür verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
<b>TSR</b>	Trockensubstanzgehalt der Restpflanze [%], auch als Restpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSK</b>	Trockensubstanzgehalt des Kolbens [%], auch als Kolben-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSGA</b>	Trockensubstanzgehalt der Ganzpflanze [%], auch als geernteter Ganzpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TSGB</b>	Trockensubstanzgehalt der Ganzpflanze [%] berechnet aus TSR und TSK, auch als (berechneter) Ganzpflanzen-TS-Gehalt bezeichnet
<b>TMR</b>	Trockenmasseertrag der Restpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als Restpflanzenertrag bezeichnet
<b>TMK</b>	Trockenmasseertrag des Kolbens [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als Kolbenenertrag bezeichnet
<b>TMGA</b>	Trockenmasseertrag der Ganzpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ], auch als geernteter Ganzpflanzen-ertrag bezeichnet
<b>TMGB</b>	Trockenmasseertrag der Ganzpflanze [ $\text{g m}^{-2}$ ] als Summe aus TMR und TMK, im Weiteren als (berechneter) Ganzpflanzenenertrag bezeichnet
<b>TKA</b>	Trockenkolbenanteil [%]

#### Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie

Die Qualitätsanalyse erfolgte unter Anwendung der Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie an der LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising). Zur Aufzeichnung der spektroskopischen Daten wurde ein Gerät der Fa. Foss Instruments, Hamburg, Modell NIR Systems 5000 (NIRSystems, Silver Spring, MD, USA) eingesetzt. Zur Auswertung diente ein Statistikprogramm (WIN ISI II) der Fa. Infracsoft International Inc. (Port Matilda, PA, USA). Die erfassten Merkmale sind in der folgenden Tabelle (Tab. 2.4) erläutert.

**Tab. 2.4:** Beschreibung der mit NIRS gemessenen Qualitätsmerkmale und der dafür verwendeten Abkürzungen. Die Restpflanzenmerkmale wurden mit der Endung „R“ und die Ganzpflanzenmerkmale mit der Endung „G“ gekennzeichnet. Alle Prozentwerte wurden in Bezug auf die Trockenmasse bestimmt.

Abkürzung	Erläuterung
<b>ELOS<sub>R</sub>,</b> <b>ELOS<sub>G</sub></b>	Enzymlösliche organische Substanz [%] nach DE BOEVER <i>et al.</i> (1986), auch als Zellulaseverdaulichkeit bezeichnet
<b>IVOM<sub>R</sub>,</b> <b>IVOM<sub>G</sub></b>	<i>In vitro</i> -Verdaulichkeit der organischen Masse [%] nach TILLEY & TERRY (1963), auch als Pansensaftverdaulichkeit bezeichnet
<b>RFR,</b> <b>RFG</b>	Rohfasergehalt [%] nach Weender Futtermittelanalyse
<b>NDFR</b>	NDF-Gehalt in der Restpflanze nach VAN SOEST (1963)
<b>WLKR,</b> <b>WLKG</b>	Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten [%] nach LUFF SCHOORL (1929)
<b>RPR,</b> <b>RPG</b>	Rohproteingehalt [%] nach KJELDAHL (1883)
<b>DNDFR</b>	Verdaulichkeit der NDF [%] nach VAN SOEST (1963) und TILLEY & TERRY (1963)
<b>STÄRKE</b>	Stärkegehalt in der Ganzpflanze [%] nach EWERS (1908)

Der Bestimmung der Inhaltsstoffe lagen vier NIRS-Kalibrationsgleichungen zugrunde. Die Qualität der Ganzpflanzen wurde zum einen mit der DMK-FAL-Kalibration für Silomaisganzpflanzen bestimmt. Diese Kalibration wird zur routinemäßigen Qualitätsbewertung in den Silomaisprüfungen im bundesweiten NIRS-Netzwerk genutzt. Die ausgewerteten Qualitätsmerkmale waren der Stärkegehalt, die enzymlösliche organische Substanz, der Rohfaser- und der Rohproteingehalt. Die zweite Ganzpflanzenkalibration wurde von der KWS SAAT AG zur Verfügung gestellt und diente zur Bestimmung der *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Masse und der wasserlöslichen Kohlenhydrate. Außerdem wurde mit einer Restpflanzenkalibration der KWS die enzymlösliche organische Substanz, der Rohfaser- und der Rohproteingehalt bestimmt. Die zweite Kalibration zur Bewertung der Restpflanzenqualität wurde im Rahmen des laufenden *EUREKA CEREQUAL* Forschungsprojekts zur Verbesserung der Silomaisqualität an der LfL entwickelt. Sie diente zur Bestimmung der *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Masse, des NDF-Gehalts, des Gehalts an wasserlöslichen Kohlenhydraten und der Verdaulichkeit der NDF.

### Berechnete Qualitätsmerkmale

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 Verdaulichkeit der Zellwand. Es wurde sowohl auf Basis der Zellulaseverdaulichkeit als auch der *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Substanz berechnet. Es sollte festgestellt werden, ob es Unterschiede in der berechneten Zellwandverdaulichkeit in Abhängigkeit von der zugrunde liegenden Labormethode gibt.

In Anlehnung an die französische Bezeichnung „DINAG“ (*digestibilité de la partie non-amidon et non-glucides solubles*, ARGILLIER *et al.* 1995a) wurden die Abkürzungen DINAG und DINIG verwendet. DINAG wurde für die enzymlösliche Verdaulichkeit der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion gewählt, da die Methode von ARGILLIER *et al.* (1995a) ebenfalls auf enzymatischer Löslichkeit aufbaut. Das „I“ in DINIG dient als Kennzeichen für die *in vitro*-Verdaulichkeit.

$$\text{DINAG} = 100 \frac{\text{ELOGS} - \text{STÄRKE} - \text{WLKG}}{100 - \text{STÄRKE} - \text{WLKG}}$$

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

Wie auch von ARGILLIER *et al.* (1996) beschrieben, wurde davon ausgegangen, dass für die Restpflanze analog zu DINAG bzw. DINIG die Verdaulichkeit der Zellwand als Verdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion geschätzt werden kann. Aus den Ergebnissen der NIRS-Messung für die Verdaulichkeitsmerkmale und die wasserlöslichen Kohlenhydrate der Restpflanze wurden die Merkmale DINAR und DINIR als Verdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion der Restpflanze berechnet:

$$\text{DINAR} = 100 \frac{\text{ELOS} - \text{WLKR}}{100 - \text{WLKR}}$$

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

## 2.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Gitteranlagen erfolgte getrennt für die verschiedenen Leistungsprüfungen, Orte und Termine nach der von COCHRAN & COX (1957) beschriebenen statistischen Analyse. Die Parzellenwerte wurden mit dem Ausreißertest nach ANSCOMBE & TUKEY (1963) überprüft. Als extreme Ausreißer gekennzeichnete Daten wurden überprüft und fehlerhafte Rohdaten als Fehlstellen verrechnet (YATES 1933, HEALY & WESTMACOTT 1956).

Die Wiederholbarkeit (REP) eines Prüfgliedmittelwertes innerhalb einer Umwelt wurde mit den Gitter-adjustierten Prüfgliedmittelwerten nach folgender Formel berechnet:

$$\text{REP}[\%] = 100 \cdot \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{R}}$$

$\sigma_g^2$  Varianzkomponente des Prüfglieds

$\sigma_e^2$  effektive Fehlervarianz

R Anzahl der Wiederholungen

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 Prüfgliedmittelwerten 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 Prüfgliedmittelwerte 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.

Der erwartete Erfolg einer indirekten gegenüber einer direkten Selektion wird bei gleicher Selektionsintensität nach folgender Formel bestimmt (FALCONER & MACKAY 1996):

$$\frac{G_x}{G_y} = \frac{h_x}{h_y} \cdot r_g$$

Darin sind

$G_x, G_y$  Selektionserfolg der indirekten bzw. direkten Selektion

$h_x, h_y$  Wurzel aus der Heritabilität im Selektionsmerkmal x bzw. im Zielmerkmal y

$r_g$  Koeffizient der genotypischen Korrelation zwischen Selektionsmerkmal x und Zielmerkmal y

Eine indirekte Selektion ist einer direkten überlegen, wenn der Quotient größer als eins ist. Wenn der Wert kleiner ist, wird durch die direkte Selektion ein höherer Selektionserfolg erreicht. Das indirekte Selektionsmerkmal ist beispielsweise die Restpflanzenverdaulichkeit der Linien und das direkte die Restpflanzenverdaulichkeit der Testkreuzungen.

Die statistischen Analysen erfolgten mit dem Programm PLABSTAT (UTZ 2001). Die Unterschiede zwischen den Testermittelwerten wurden mit dem t-Test geprüft. Dazu wurde das Programm SAS verwendet (SAS 1999).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Leistungsprüfungen 1999 und 2000

Vor der Darstellung der Serienverrechnungen der einzelnen Datensätze erfolgt die allgemeine Beschreibung der Leistungsprüfungen 1999 und 2000 für die verschiedenen Standorte. Die Wachstumsbedingungen waren im Großen und Ganzen gut. Auf Besonderheiten in den zwei Jahren wird bei der Vorstellung der einzelnen Versuchsergebnisse hingewiesen. Es konnten alle Leistungsprüfungen ausgewertet werden. Die Mittelwerte und Wiederholbarkeiten der Gitterauswertungen sind im Anhang aufgeführt.

##### 3.1.1 Leistungsprüfungen 1999

###### 3.1.1.1 Experiment F\_(100)

An den drei Versuchsstandorten Bernburg, Einbeck und Walldorf lagen zwischen den Linien in **Experiment F\_(100)** sowohl zum ersten als auch zum zweiten Erntetermin für alle erfassten Merkmale hoch signifikante genotypische Unterschiede vor (Tab. 8.5 und 8.6).

Die Wiederholbarkeiten waren für die agronomischen Merkmale hoch bis sehr hoch. Nur für den Restpflanzen-TS-Gehalt war sie zum ersten Erntetermin mit 59,4 % in Walldorf vergleichsweise niedrig. Dort war der durchschnittliche Restpflanzen-TS-Gehalt sehr gering und eine deutliche Differenzierung in der Abreife hatte noch nicht eingesetzt. Der Kolben-TS-Gehalt war an diesem Standort ebenfalls noch sehr niedrig, die Wiederholbarkeit war jedoch hoch. Die Abreife war zum ersten Erntetermin in Bernburg am weitesten vorangeschritten. Dort herrschten im Juli und August überdurchschnittliche Temperaturen, außerdem war der August niederschlagsarm, so dass es zu einer sehr raschen Abreife der Linien kam. Am zweiten Termin wurden in Bernburg ebenfalls die höchsten TS-Gehalte erreicht. Es wurden jedoch deutlich geringere Unterschiede zwischen den Orten beobachtet als zum ersten Erntetermin. Der berechnete Ganzpflanzenertrag und der Trockenkolbenanteil nahmen in der Zeit zwischen den zwei Erntezeitpunkten zu und waren in Bernburg am höchsten.

Für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze wurden zum ersten Erntetermin mittlere bis hohe Wiederholbarkeiten ermittelt. In Walldorf war die Wiederholbarkeit für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Restpflanze niedrig. Dieses ging wahrscheinlich auf die geringe Differenzierung in der Restpflanzenabreife zurück. Zum zweiten Erntezeitpunkt erreichten die Wiederholbarkeiten hohe bis sehr hohe Werte.

Die Verdaulichkeit und die Zellwandverdaulichkeit verringerten sich im Zeitverlauf etwas. Der Wert für die Pansensaftverdaulichkeit lag deutlich über dem der Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze. Entsprechend war auch die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand höher als die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand. Die Verdaulichkeit der NDF lag etwa in der Mitte dieser zwei Werte. Dieses Verhältnis der Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale der Restpflanze zueinander zeigte sich in allen Leistungsprüfungen der Linien und Hybriden 1999 und 2000. In Walldorf kam es entgegen dem allgemeinen Trend zu einem deutlichen Anstieg an wasserlöslichen Kohlenhydraten zwischen den Ernteterminen und in der Folge gingen der relative Anteil an Rohfaser- bzw. NDF in der Restpflanze zurück. Außerdem sank der Rohproteingehalt der Restpflanze an allen Versuchsstandorten.

#### 3.1.1.2 Experiment FD\_(100)

Die genotypische Varianz war für die Hybriden im **Experiment FD\_(100)** in Bernburg, Einbeck und Grucking für alle getesteten Eigenschaften signifikant (Tab. 8.7).

Die Wiederholbarkeiten der agronomischen Merkmale waren niedrig bis sehr hoch und in Grucking höher als an den anderen Orten. Es fiel auf, dass die Wiederholbarkeit für den geernteten Ganzpflanzen-TS-Gehalt in Bernburg und Grucking wesentlich niedriger war als für den berechneten. In Einbeck wurde hingegen kein Unterschied festgestellt. Die Wiederholbarkeit für den geernteten Ganzpflanzenertrag war an allen Standorten deutlich geringer als für den berechneten Ganzpflanzenertrag.

Die Restpflanze und der Kolben hatten in Bernburg bereits sehr viel Feuchtigkeit verloren. Es wurde ein für Silomais relativ hoher durchschnittlicher Ganzpflanzen-TS-Gehalt von über 38 % erreicht. Der Ganzpflanzenertrag war in Einbeck am höchsten, die Erträge in Bernburg und Grucking waren etwa 10 % niedriger. An den letztgenannten Orten war auch der geerntete Ganzpflanzenertrag höher als der berechnete Ganzpflanzenertrag, in Einbeck gab es keinen Unterschied. Der Kolbenanteil war in Bernburg etwas niedriger. Die oben genannten Witterungsbedingungen in Bernburg und das rasche Abtrocknen der Restpflanzen führten vermut-

lich zu einem frühen Rückgang in der Kolbenversorgung, was einen geringeren Kolbenertrag im Verhältnis zur Restpflanze als an den anderen Orten zur Folge hatte.

Die Wiederholbarkeiten der Qualitätsmerkmale der Restpflanze lagen an allen Orten im niedrigen bis mittleren Bereich, eine Ausnahme bildete der hohe Wert für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in Grucking. Die Wiederholbarkeiten der Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze waren in Bernburg niedrig, in Einbeck sehr gering bis mittel und in Grucking im niedrigen bis mittleren Bereich.

Die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze und die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand waren in Bernburg deutlich am höchsten. In der Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze, der Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand und in der Verdaulichkeit der NDF unterschieden sich die Standorte kaum. Dieses galt auch für die Gehalte an Rohfaser, NDF, wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein.

Der Stärkegehalt lag zwischen 29,6 % in Bernburg und 39,4 % in Einbeck, den Orten mit dem niedrigsten bzw. höchsten Trockenkolbenanteil. Die Verdaulichkeit war in Einbeck und Grucking etwas höher als in Bernburg. Der Unterschied zwischen den Standorten war für die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze etwas größer als für die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanze. Die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war in Bernburg etwas geringer. Für das Merkmal Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand wurde hingegen in Einbeck der niedrigste Wert erreicht. In dieser Leistungsprüfung wie auch in der zweiten F×D-Prüfung 1999 und den D×F-Prüfungen 2000 waren die Werte für die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze kleiner als die der Pansensaftverdaulichkeit, daraus resultierend war auch die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand kleiner als die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand. Der Rohfasergehalt der Ganzpflanze war in Bernburg am höchsten und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten am geringsten.

### 3.1.1.3 Experiment FD\_(49)

In **Experiment FD\_(49)** wurden im Gegensatz zu den anderen Leistungsprüfungen nur 49 statt hundert Genotypen geprüft. Die Prüfung erfolgte wie auch für die anderen Testkreuzungsexperimente in Bernburg und Einbeck, der dritte Standort war Walldorf anstelle von Grucking.

Signifikante Prüfgliedunterschiede traten für alle agronomischen Merkmale außer dem geernteten Ganzpflanzenertrag in Einbeck auf. (Tab. 8.8). Die Prüfgliedvarianzen waren für die Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls signifikant.

Die Wiederholbarkeiten der agronomischen Merkmale erreichten mittlere bis sehr hohe Werte. Es gab auch in diesem Experiment teilweise sehr große Unterschiede in der Wiederholbarkeit zwischen den Merkmalen für die Ganzpflanzentrockenmasse, wobei die Mittelwerte der Merkmalspaare jedoch kaum verschieden waren. Aufgrund der bereits erwähnten Witterung wurde auch in FD\_(49) in Bernburg ein sehr hoher Restpflanzen- und ein niedriger Kolben-TS-Gehalt und Kolbenenertrag verglichen mit Einbeck und Walldorf erreicht. Der Unterschied zwischen Restpflanzen- und Kolben-TS-Gehalt war in dieser Prüfung wesentlich ausgeprägter als in FD\_(100). Der berechnete Ganzpflanzen-TS-Gehalt war mit 39 % auch in diesem Experiment sehr hoch. In Einbeck und Walldorf waren die TS-Gehalte ähnlich, mit vergleichsweise geringem Restpflanzen- und hohem Kolben-TS-Gehalt. Die Trockenmasseerträge und der Trockenkolbenanteil waren in Einbeck etwas höher als in Walldorf. In Bernburg war vor allem der Kolbenenertrag sehr viel niedriger als an den anderen Standorten.

Die Wiederholbarkeiten der Qualitätsmerkmale der Restpflanze lagen im niedrigen bis mittleren Bereich, für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im hohen Bereich. Für die Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze wurden geringe bis mittlere Wiederholbarkeiten berechnet. Sehr ähnliche Mittelwerte für die Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale der Restpflanze wurden in Einbeck und Walldorf erzielt. In Bernburg waren sie etwas höher. Im Gehalt an Rohfaser, NDF, wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein traten nur geringe Unterschiede zwischen den Umwelten auf.

Als Folge des geringen Kolbenanteils war auch der Stärkegehalt in Bernburg sehr viel niedriger als in Einbeck und Walldorf. Die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze war ebenfalls deutlich niedriger. Der Unterschied in der Pansensaftverdaulichkeit war zwischen den Orten nur gering. Für das Merkmal Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand wurden an den drei Orten ähnliche Werte erreicht. Die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war in Einbeck am niedrigsten und in Bernburg am höchsten. Dort wurden auch der höchste Rohfasergehalt und Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten gemessen. Für den Rohproteingehalt der Ganzpflanze zeigten sich ebenfalls geringe Standortunterschiede.

### 3.1.2 Leistungsprüfungen 2000

#### 3.1.2.1 Experiment D\_(100)

Im zweiten Versuchsjahr wurden ebenfalls Linieneigenleistungsprüfungen in Bernburg, Einbeck und Walldorf durchgeführt und an zwei Terminen im Abstand von durchschnittlich zehn Tagen geerntet. Zu beiden Erntezeitpunkten und an allen drei Orten waren die Unterschiede zwischen den Dent-Linien des **Experiments D\_(100)** hoch signifikant (Tab. 8.9 und 8.10).

Die Wiederholbarkeiten lagen für die agronomischen Merkmale nahezu alle im sehr hohen Bereich. Die Abreife der Restpflanze war in Bernburg bereits zum ersten Termin weit vorangeschritten und der TS-Gehalt veränderte sich zum zweiten Termin kaum, in Einbeck war ein geringer und in Walldorf ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Der Kolben-TS-Gehalt nahm an allen Orten zu, lag aber auch zum zweiten Termin noch deutlich unter 50 %. Möglicherweise war das Dent-Material besonders unter den Witterungsbedingungen 2000 zu spätreif. Die Blütezeit war durch unterdurchschnittliche Temperaturen und in Einbeck und Walldorf zusätzlich durch überdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichnet, wodurch es zu Problemen in der Bestäubung und im Kolbenansatz kam. In Einbeck war es außerdem im September feucht. Ein weiteres Ausreifen der Körner erfolgte nicht. In der Folge blieben die Trockenmasseerträge und der Kolbenanteil in Einbeck zu beiden Terminen deutlich hinter denen von Bernburg und Walldorf zurück. Bereits zum ersten Termin wurden in Bernburg hohe Restpflanzenerträge erreicht. Der geringere TS-Gehalt und Trockenmasseertrag der Restpflanze zum zweiten Erntetermin sind wahrscheinlich auf Niederschläge kurz vor dem zweiten Erntetermin zurückzuführen. Bis auf den Rest- und Ganzpflanzenertrag in Bernburg waren die Erträge und der Trockenkolbenanteil zum zweiten Erntetermin erwartungsgemäß höher. Mehr als die Hälfte der Ganzpflanzentrockenmasse wurde durch die Restpflanze gebildet.

An beiden Ernteterminen lagen die Wiederholbarkeiten für die meisten Qualitätsmerkmale im hohen bis sehr hohen Bereich, für Rohprotein im mittleren Bereich. Zum zweiten Erntezeitpunkt waren die Wiederholbarkeiten in Einbeck verglichen mit Bernburg und Walldorf deutlich niedriger.

Die Qualität der Linienrestpflanze war außer in den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen und im Rohproteingehalt zum ersten Termin in Bernburg und Einbeck besser als in Walldorf. Die Werte für die Zellwandverdaulichkeit waren hingegen in Einbeck und Walldorf ähnlich und in Bernburg etwas höher. Die Abreife hatte einen geringen Rückgang in der Verdaulichkeit

und Zellwandverdaulichkeit sowie im Rohproteingehalt zur Folge. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten sank in Bernburg deutlich, in Einbeck etwas und in Walldorf war ein starker Anstieg zu verzeichnen. Die Abnahme an Zellinhaltsstoffen führte zu einer schwachen Zunahme im Rohfaser- und NDF-Anteil in der Trockenmasse.

### 3.1.2.2 Experiment DF\_(100)\_I

Im Versuchsjahr 2000 wurde die erste Wiederholung in den Testkreuzungsprüfungen **DF\_(100)\_I** und **DF\_(100)\_II** mit einer auf 80 % der normalen Aussaatstärke reduzierten Bestandesdichte geprüft. Dadurch waren die Faktoren Aussaatstärke und Wiederholung vermengt. Auf mögliche Auswirkungen unterschiedlicher Bestandesdichten wird daher nicht näher eingegangen.

Auch in **Experiment DF\_(100)\_I** zeigten die Genotypen für fast alle Merkmale signifikante Unterschiede (Tab. 8.11). In Bernburg war die genotypische Varianz für den geernteten Ganzpflanzenertrag und in Einbeck und Grucking für den Rohproteingehalt der Ganzpflanze nicht signifikant.

Die Wiederholbarkeiten der agronomischen Merkmale waren für den Trockenkolbenanteil und die TS-Merkmale hoch bis sehr hoch. Für die Ertragsmerkmale wurden zumeist mittlere Wiederholbarkeiten erreicht, sehr niedrige Werte wurden für die Ertragsmerkmale der Ganzpflanze in Bernburg ermittelt.

In Einbeck war der Restpflanzen-TS-Gehalt sehr niedrig. Im Gegensatz dazu betrug er in Bernburg über 30 % und lag auch in Grucking mit 27,1 % im höheren Silomaisreifebereich. Der Kolben-TS-Gehalt war in Bernburg und Grucking ebenfalls deutlich höher als in Einbeck. Die Werte der Ganzpflanzen-TS-Merkmale waren in Einbeck etwa gleich, in Bernburg und Grucking war der geerntete Ganzpflanzen-TS-Gehalt fast 6 % höher als der berechnete Ganzpflanzen-TS-Gehalt. Der höchste Ganzpflanzenertrag konnte in Grucking geerntet werden. Im Durchschnitt war der geerntete Ganzpflanzenertrag gegenüber dem berechneten 5 % höher. Die extrem unterschiedliche Abreife in Bernburg und Einbeck konnte vor allem auf die für das Experiment D\_(100) beschriebenen Witterungsbedingungen zurückgeführt werden.

Für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze wurden sehr häufig mittlere bis hohe Wiederholbarkeiten nachgewiesen, für den Rohproteingehalt waren sie etwas geringer und für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten an allen Orten am höchsten. Die Qualität der Restpflanze war in Grucking tendenziell am niedrigsten, in Einbeck am höchsten.

Niedrige bis mittlere Wiederholbarkeiten wurden für die meisten Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze bestimmt. Ausnahmen bildeten die hohe Werte für die wasserlöslichen Kohlenhydrate in Grucking sowie die sehr niedrigen für die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand in Einbeck und den Rohproteingehalt in Einbeck und Grucking.

Die Verdaulichkeit der Ganzpflanze und der Stärkegehalt waren in Bernburg und Einbeck ähnlich und in Grucking etwas höher. Auffällig war, dass der Stärkegehalt in Bernburg deutlich am niedrigsten war, obwohl dort der höchste Trockenkolbenanteil bestimmt wurde. Die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war an den drei Orten fast gleich, in der Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war der Unterschied etwas größer und erreichte in Bernburg die höchsten Werte. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten lag im Durchschnitt bei 5,3 %, an Rohfaser bei 16,7 % und an Rohprotein bei 7,0 %.

### 3.1.2.3 Experiment DF\_(100)\_II

Die zweite Testkreuzungsprüfung 2000 war in Bernburg elf Tage früher gesät und eine Woche früher geerntet worden als die erste. In Einbeck war die Aussaat gleichzeitig erfolgt, DF\_(100)\_I jedoch 14 Tage früher geerntet worden. In Grucking wurden die Aussaat und die Ernte der zwei Versuche jeweils zeitgleich durchgeführt. In **Experiment DF\_(100)\_II** wurden signifikante genotypische Varianzen in Bernburg und Grucking für alle Merkmale und in Einbeck für die agronomischen und qualitätsbestimmenden Eigenschaften der Restpflanze, sowie einen Teil der Ganzpflanzenqualitätsmerkmale bestimmt (Tab. 8.12). In Einbeck unterschieden sich die Hybriden in der Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze nicht signifikant und für die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war der Schätzwert der Varianzkomponente negativ.

Die Wiederholbarkeiten der agronomischen Merkmale waren bis auf die Ertragsmerkmale der Ganzpflanze zumeist hoch. Der Restpflanzen-TS-Gehalt war in Bernburg extrem hoch, in Einbeck und Grucking lag die Restpflanzenabreife im normalen Silomaisreifebereich. Im Gegensatz zum Restpflanzen-TS-Gehalt wurde in Bernburg der geringste Kolben-TS-Gehalt erreicht und in Grucking deutlich der höchste. Sowohl der geerntete als auch der berechnete Ganzpflanzenertrag waren in Bernburg etwa 25 % niedriger als in Grucking, die Erträge in Einbeck lagen dazwischen. Der Trockenkolbenanteil betrug überall nahezu 60 % der Ganzpflanzentrockenmasse.

Mittlere Werte konnten für die Wiederholbarkeiten der meisten Qualitätsmerkmale bestimmt werden. Hohe Werte wurden teilweise für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten berechnet und sehr geringe für die Verdaulichkeitsmerkmale der Ganzpflanze in Einbeck. Es zeigte sich somit auch in dieser Prüfung, dass für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten sowohl der Rest- als auch der Ganzpflanze fast immer die höchsten Wiederholbarkeiten der Qualitätsmerkmale auftraten.

Die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze war in Bernburg deutlich höher als in Einbeck und Grucking, wo sie sich kaum voneinander unterschieden. Für die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze war die Differenz zwischen Einbeck und Grucking größer. Entsprechendes galt auch für die Zellulaseverdaulichkeit und die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand sowie die Verdaulichkeit der NDF. Der Rohfaser- und NDF-Gehalt der Restpflanze waren in Einbeck und Grucking gleich und in Bernburg deutlich niedriger. In den Gehalten an Zellinhaltsstoffen waren ebenfalls deutliche Standortunterschiede festzustellen.

In Bernburg waren die Zellulaseverdaulichkeit und die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanze geringer als an den anderen Orten, wobei die Abweichung in der Pansensaftverdaulichkeit kleiner war. Die Zellwandverdaulichkeit war in Einbeck am niedrigsten. Die Unterschiede zwischen Bernburg und Grucking waren in der Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand kleiner als in der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand. Obwohl der Trockenkolbenanteil an den drei Orten sehr ähnlich war, war der Stärkegehalt in Bernburg sehr viel niedriger. Der Rohfasergehalt und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten der Ganzpflanze waren in Grucking am geringsten und in Bernburg am höchsten. In Einbeck enthielten die Hybriden den höchsten Rohproteingehalt in der Trockenmasse.

### 3.2 Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung (1 Tester)

In der Serienverrechnung über drei Orte traten die in den einzelnen Umwelten festgestellten Abweichungen zwischen geerntetem und berechnetem Ganzpflanzenertrag bzw. Ganzpflanzen-TS-Gehalt weniger stark auf. Die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen geerntetem und berechnetem Ganzpflanzenertrag bzw. geerntetem und berechnetem Ganzpflanzen-TS-Gehalt waren in allen Datensätzen sehr hoch. Es wurde daher aus Gründen der Übersichtlichkeit bei den Darstellungen der zusammenfassenden Auswertungen auf die Merkmale geernteter Ganzpflanzenertrag (TMGA) und geernteter Ganzpflanzen-TS-Gehalt (TSGA) der Testkreuzungsprüfungen verzichtet und nur die Merkmale (berechneter) Ganzpflanzenertrag (TMGB) und (berechneter) Ganzpflanzen-TS-Gehalt (TSGB) aufgeführt. Diese Merkmale wurden auch an den Linien bestimmt.

#### 3.2.1 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen F(65) und F(65)xD1 (1999)

Im Prüfungsjahr 1999 wurden 65 Flint-Linien aus dem Experiment F\_(100) sowohl auf ihre Eigenleistung als auch mit der Dent-Testerlinie D1 auf ihre Testkreuzungsleistung untersucht (Datensatz F(65)xD1). In der Prüfung F\_(100), in der D1 als Standardlinie mitgeführt wurde, erreichte sie den höchsten Restpflanzen-TS-Gehalt aller Linien, die Kolbenabreife lag im mittleren bis späteren Reifebereich. Der Restpflanzenertrag war vergleichsweise hoch und der Kolbenertrag niedrig. Die Qualität der Restpflanze lag im mittleren bis unteren Bereich.

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Serienverrechnungen der Linien über die Standorte Bernburg, Einbeck und Walldorf sowie der Serienverrechnung der Testkreuzungen, die in Bernburg, Einbeck und Grucking geprüft wurden, für alle agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale der Rest- und Ganzpflanze dargestellt.

### 3.2.1.1 Mittelwerte

#### Datensatz F(65)

Die 65 Linien zeigten im Mittel über drei Orte eine deutliche Zunahme in der Restpflanzen- und Kolbenabreife in der Zeit vom ersten bis zum zweiten Erntetermin, der etwa zwei Wochen nach dem ersten erfolgte (Tab. 3.1). Der Restpflanzenertrag verringerte sich aufgrund von Umlagerungsprozessen aus der Restpflanze in den Kolben etwas, der Kolbenertrag und der Trockenkolbenanteil nahmen deutlich zu, so dass mehr als die Hälfte der Trockenmasse durch den Trockenkolbenanteil gebildet wurde. Mit zunehmender Abreife der Restpflanze gingen die Verdaulichkeiten, die Zellwandverdaulichkeiten und die Verdaulichkeit der NDF der Restpflanze, sowie der Rohproteingehalt und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten zurück, der Rohfaser- und NDF-Gehalt stiegen etwas an.

#### Datensatz F(65)xD1

Im Durchschnitt der drei Versuchsstandorte hatten die Testkreuzungen, die im **Datensatz F(65)xD1** geprüft wurden, die Siloreife erreicht (Tab. 3.1). Der hohe Ganzpflanzenertrag bestand zu mehr als der Hälfte aus Kolbentrockenmasse.

Die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze erreichte deutlich höhere Werte als die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze, bei der Ganzpflanze war der Unterschied zwischen den Mittelwerten der Verdaulichkeitsmerkmale geringer. Die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand war für die Restpflanze ebenso hoch wie für die Ganzpflanze. Die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand war jedoch für die Restpflanze deutlich niedriger als für die Ganzpflanze. Der Rohfaseranteil und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten waren in der Trockenmasse der Restpflanze doppelt so hoch wie in der Ganzpflanze, in der die Stärke etwa ein Drittel der Trockensubstanz bildete. Der Rohproteinanteil war hingegen in der Ganzpflanze ein Drittel höher.

**Tab. 3.1:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im **Datensatz F(65)** und Mittelwerte über drei Orte im **Datensatz F(65)xD1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	F(65)		F(65)xD1
	Z1	Z2	
TSR [%]	21,7	28,7	25,7
TSK [%]	41,4	54,2	55,6
TSGB [%]	28,1	39,2	36,8
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	394,0	369,0	998,0
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	331,0	476,0	1270,0
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	724,0	844,0	2268,0
TKA [%]	45,3	56,5	56,0
ELOSR [%]	57,7	56,0	45,7
IVOMR [%]	77,4	74,9	65,4
RFR [%]	27,1	28,1	33,9
NDFR [%]	52,9	54,0	65,1
WLKR [%]	20,7	20,2	12,7
RPR [%]	7,0	5,6	5,1
DINAR [%]	46,7	44,9	37,9
DINIR [%]	71,5	68,7	60,4
DNDFR [%]	60,3	57,3	50,4
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	35,0
ELOGS [%]	n.b.	n.b.	71,3
IVOMG [%]	n.b.	n.b.	76,5
RFG [%]	n.b.	n.b.	16,8
WLKG [%]	n.b.	n.b.	6,9
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,9
DINAG [%]	n.b.	n.b.	50,7
DINIG [%]	n.b.	n.b.	59,5

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

### 3.2.1.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

#### Datensatz F(65)

In der Linienprüfung **F(65)** konnten für alle untersuchten agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale in der Serienverrechnung über Orte und Erntetermine hoch signifikante genotypische Unterschiede zwischen den Linien (L) geschätzt werden (Tab. 3.2).

Bei den agronomischen Merkmalen war die Varianz der Wechselwirkung zwischen Linie und Erntetermin (LZ) für alle Merkmale außer Rest- und Ganzpflanzenertrag signifikant und für die Reifemerkmale die zweitgrößte Varianzursache. Die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz (LP) war ebenfalls für alle agronomischen Merkmale signifikant. Sie war für die Ertragsmerkmale nach der genotypischen Varianz die wichtigste Varianzursache.

Signifikante Wechselwirkungen zwischen Linie und Erntetermin traten für die Zellulase- und die Pansensaftverdaulichkeit sowie für den Gehalt an Rohfaser, NDF und wasserlöslichen Kohlenhydraten auf. Die Interaktionsvarianz zwischen Linie und Ort war für alle Merkmale außer Pansensaftverdaulichkeit, Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und Verdaulichkeit der NDF signifikant, jedoch wie die Varianz der Dreifachinteraktion Linie  $\times$  Erntetermin  $\times$  Ort (LZP) von geringer Bedeutung für die Variation.

Die genotypische Varianz war für alle Merkmale bei weitem am bedeutendsten. Der Schätzwert der Varianzkomponente war vor allem bei den agronomischen Merkmalen um ein Vielfaches höher als für die übrigen Varianzursachen. Da die Wechselwirkung zwischen Genotyp und Erntetermin zu vernachlässigen war, erfolgten die weiteren Berechnungen mit den Linienmittelwerten über beide Termine.

In Folge der großen Bedeutung der genotypischen Varianz waren die Schätzwerte für die Heritabilität für alle Merkmale sehr hoch. Für die agronomischen Merkmale lagen sie zwischen 0,91 und 0,97 und für die Qualitätsmerkmale zwischen 0,84 und 0,93.

**Tab. 3.2:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes F(65)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	4,28**	1,31**	0,43**	0,84**	0,78	0,91	0,86 - 0,94
TSK [%]	15,04**	1,13**	1,09**	0,14**	0,81	0,97	0,95 - 0,98
TSGB [%]	8,16**	1,29**	0,89**	0,75**	0,76	0,94	0,90 - 0,96
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	10816**	144**	951**	400**	1390	0,95	0,92 - 0,96
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	9068**	644**	1057**	982**	1213	0,93	0,89 - 0,95
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	24932**	198**	2159**	1824**	3827	0,94	0,90 - 0,96
TKA [%]	63,76**	1,76**	8,24**	3,47**	5,45	0,94	0,90 - 0,96
ELOSR [%]	7,01**	1,07**	0,96**	1,22**	1,66	0,90	0,84 - 0,93
IVOMR [%]	4,70**	0,33**	0,26**	0,82**	1,26	0,92	0,87 - 0,94
RFR [%]	1,92**	0,38**	0,29**	0,40**	0,49	0,89	0,82 - 0,92
NDFR [%]	7,54**	1,83**	1,05**	1,50**	1,97	0,89	0,83 - 0,93
WLKR [%]	7,64**	1,96**	1,55**	1,59**	2,57	0,86	0,79 - 0,91
RPR [%]	0,24**	0,01**	0,07**	0,00**	0,13	0,84	0,76 - 0,90
DINAR [%]	3,51**	0,16**	0,44**	0,47**	1,33	0,89	0,82 - 0,93
DINIR [%]	4,14**	--	0,11**	0,69**	1,18	0,92	0,88 - 0,95
DNDFR [%]	6,71**	--	0,00**	1,26**	1,90	0,93	0,89 - 0,95

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

### Datensatz F(65)xD1

In der zusammenfassenden Varianzanalyse über drei Orte ließen sich für alle geprüften Merkmale der Testkreuzungen in **F(65)xD1** hoch signifikante genotypische Unterschiede (H) feststellen (Tab. 3.3). Für alle agronomischen Merkmale außer Rest- und Ganzpflanzenertrag traten hoch signifikante Hybride  $\times$  Ort-Interaktionen (HP) auf, die jedoch im Vergleich zu den Effekten der Genotypen gering waren.

**Tab. 3.3:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes F(65)xD1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache			$h^2$	KI
	H <sup>¶</sup>	HP	Fehler		
TSR [%]	1,25**	0,32**	0,48	0,82	0,73 - 0,88
TSK [%]	3,32**	0,22**	0,37	0,94	0,91 - 0,96
TSGB [%]	1,54**	0,46**	0,62	0,81	0,70 - 0,87
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	7646**	50**	1871	0,92	0,88 - 0,95
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	2308**	617**	1339	0,78	0,66 - 0,85
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	7315**	63**	4706	0,82	0,72 - 0,88
TKA [%]	6,89**	0,70**	0,91	0,93	0,89 - 0,95
ELOS R [%]	1,35**	1,47**	1,77	0,56	0,31 - 0,71
IVOM R [%]	0,93**	1,18**	1,95	0,47	0,18 - 0,65
RFR [%]	0,37**	0,35**	0,47	0,58	0,34 - 0,72
NDFR [%]	1,44**	1,62**	1,69	0,57	0,33 - 0,71
WLKR [%]	1,35**	1,60**	1,54	0,56	0,32 - 0,71
RPR [%]	0,09**	0,00**	0,09	0,73	0,58 - 0,82
DINAR [%]	0,78**	0,43**	1,14	0,60	0,38 - 0,73
DINIR [%]	1,07**	0,58**	1,44	0,61	0,40 - 0,74
DNDFR [%]	2,25**	0,96**	2,95	0,63	0,43 - 0,76
STÄRKE [%]	3,16**	1,83**	3,90	0,62	0,41 - 0,75
ELOS G [%]	1,00**	0,51**	1,96	0,55	0,29 - 0,70
IVOM G [%]	0,40**	0,19**	0,85	0,54	0,28 - 0,69
RFG [%]	0,39**	0,22**	0,80	0,53	0,27 - 0,69
WLKG [%]	0,56**	0,23**	1,34	0,52	0,24 - 0,68
RPG [%]	0,06**	0,02**	0,07	0,67	0,49 - 0,78
DINAG [%]	0,61**	0,13**	1,10	0,60	0,38 - 0,73
DINIG [%]	0,44**	0,19**	0,56	0,64	0,44 - 0,76

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

Außer für den Rohproteingehalt wurden für alle Qualitätsmerkmale der Restpflanze signifikante Hybride  $\times$  Ort-Interaktionsvarianzen ermittelt. Mit Ausnahme der Zellwandverdaulichkeitsmerkmale war die Interaktionsvarianz etwa so groß oder etwas größer als die genotypische Varianz. Bei den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen war die Interaktionsvarianz deutlich kleiner, die Fehlervarianz jedoch größer als die genotypische Varianz.

Signifikante Wechselwirkungen zwischen Genotyp und Ort zeigten sich für die Ganzpflanze nur im Stärkegehalt und in der Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand, die jedoch im Verhältnis zur genotypischen Varianz unbedeutend waren. Vergleichsweise hohe Werte wurden für die Fehlervarianz festgestellt.

Für die agronomischen Merkmale hatte die Varianz der Wechselwirkung zwischen Hybride und Ort gegenüber der genotypischen Varianz nur eine geringe Bedeutung. Die Schätzwerte für die Heritabilität waren hoch bis sehr hoch ( $h^2 = 0,78$  bis  $0,94$ ). In Bezug auf die Restpflanzenqualität traten besonders für die Verdaulichkeiten, die Zellwandmerkmale und den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten bedeutende Interaktionsvarianzen auf. Die Heritabilität erreichte folglich nur mittlere Werte ( $h^2 = 0,47$  bis  $0,63$ ). Nur der Rohproteingehalt war zu einem großen Teil genetisch festgelegt ( $h^2 = 0,73$ ). Die Heritabilität der Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze lag ebenfalls im mittleren Bereich ( $h^2 = 0,52$  bis  $0,64$ ). Wechselwirkungen waren von geringerer Bedeutung, doch der Fehler trug wie auch bei den Restpflanzenmerkmalen erheblich zur Gesamtvarianz bei

Die Schätzwerte der Heritabilität der entsprechenden Rest- und Ganzpflanzenmerkmale waren sehr ähnlich. Die Heritabilitätskoeffizienten der Verdaulichkeitsmerkmale sowie der berechneten Zellwandverdaulichkeitsmerkmale unterschieden sich sowohl für die Rest- als auch für die Ganzpflanze kaum voneinander.

### 3.2.2 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(43) und D(43)xF1 (2000)

Im zweiten Versuchsjahr erfolgte die Bestimmung der Eigenleistung und Testkreuzungsleistung von Dent-Linien. Im Datensatz D(43)xF1 wurden 43 Linien aus Experiment D\_(100) mit der Flint-Testerlinie F1 geprüft und die Testkreuzungsleistung im Rahmen des Experiments D\_(100)\_I bestimmt. Die Testerlinie F1, die in Experiment D\_(100) als Standardlinie mitgeführt wurde, reifte etwas schneller ab als die Dent-Linien. Der Restpflanzenertrag lag unterhalb und der Kolbenenertrag oberhalb des Versuchsmittels in D\_(100), der Trockenkolbenanteil war überdurchschnittlich. In Bezug auf die qualitätsbestimmenden Eigenschaften der Restpflanze konnten nur unterdurchschnittliche Werte gemessen werden.

#### 3.2.2.1 Mittelwerte

##### Datensatz D(43)

Zwischen der ersten und zweiten Ernte, die im Abstand von etwa zehn Tagen stattfanden, stieg der Restpflanzen-TS-Gehalt im Durchschnitt der Standorte Bernburg, Einbeck und Walldorf in den 43 Linien nur wenig an. Der Kolben-TS-Gehalt erhöhte sich in diesem Zeitraum um ein Drittel, war jedoch auch dann noch vergleichsweise gering (Tab. 3.4). Die Restpflanzenabreife lag bereits zum ersten Erntetermin im normalen Silomaisreifebereich. Der Restpflanzenertrag verringerte sich aufgrund der Umlagerungsprozesse in den Kolben im Zeitverlauf geringfügig, der Kolbenenertrag nahm deutlich zu. Infolge der geringen Kolbenausreife war auch der Trockenkolbenanteil sehr niedrig und lag im Durchschnitt der zwei Termine nur bei 37 %.

Der Rohfaser- und NDF-Gehalt und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten blieben konstant, nur der Rohproteingehalt zeigte einen deutlichen Rückgang zwischen den Terminen. Die Verdaulichkeiten und Zellwandverdaulichkeiten wiesen eine schwache abnehmende Tendenz auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Terminen konnten nur für den Kolben-TS-Gehalt nachgewiesen werden

**Tab. 3.4:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im **Datensatz D(43)** und Mittelwerte über drei Orte im **Datensatz D(43)xF1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	D(43)		D(43)xF1
	Z1	Z2	
TSR [%]	25,6	27,1	26,8
TSK [%]	31,6	41,2	54,9
TSGB [%]	27,6	32,2	37,7
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	545,0	511,0	914,0
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	287,0	401,0	1211,0
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	831,0	909,0	2125,0
TKA [%]	32,8	41,3	56,9
ELOSR [%]	54,8	54,4	39,9
IVOMR [%]	75,0	73,1	61,6
RFR [%]	28,0	28,3	36,8
NDFR [%]	54,4	55,0	71,6
WLKR [%]	21,0	21,3	8,4
RPR [%]	6,4	5,6	4,4
DINAR [%]	43,0	42,0	34,4
DINIR [%]	68,4	65,7	58,1
DNDFR [%]	58,0	56,2	49,3
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	38,8
ELOSG [%]	n.b.	n.b.	72,4
IVOMG [%]	n.b.	n.b.	76,6
RFG [%]	n.b.	n.b.	17,0
WLKG [%]	n.b.	n.b.	5,0
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,0
DINAG [%]	n.b.	n.b.	51,0
DINIG [%]	n.b.	n.b.	58,4

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

### Datensatz D(43)xF1

Die Testkreuzungen im **Datensatz D(43)xF1** erreichten im Mittel über die drei Versuchstandorte eine gute Restpflanzen- und Kolbenabreife und hohe Ganzpflanzenerträge (Tab. 3.4). Der Trockenkolbenanteil lag im Durchschnitt aller Genotypen bei fast 57 %.

Die Pansensaftverdaulichkeit und die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand der Rest- und Ganzpflanze waren höher als die Zellulaseverdaulichkeit und die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand der Rest- und Ganzpflanze. Die entsprechenden Merkmalswerte der zwei Methoden zur Verdaulichkeitsbestimmung unterschieden sich jedoch für die Ganzpflanze weniger als für die Restpflanze. Die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand war ebenso hoch wie die der Ganzpflanze. Die Berechnung der Zellwandverdaulichkeit auf Grundlage der enzymatischen Löslichkeit führte hingegen zu deutlich höheren Werten für die Ganzpflanze im Gegensatz zur Restpflanze. In dieser Prüfung waren auch die Unterschiede zwischen den Verdaulichkeitsmerkmalen der Restpflanze etwas größer als in den anderen Datensätzen, in denen Linien mit einem Tester geprüft wurden. Zwischen den Werten für die berechneten Zellwandverdaulichkeitsmerkmale lag die mit NIRS geschätzte Verdaulichkeit der NDF.

Der Stärkeanteil in der Ganzpflanze war hoch und betrug fast 39 %. Der Rohfasergehalt in der Trockenmasse der Restpflanze war etwa doppelt so hoch wie in der Ganzpflanze. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war um etwa 40 % höher und der Rohproteingehalt hingegen um etwa 40 % geringer als in der Ganzpflanze.

### 3.2.2.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

#### Datensatz D(43)

Die Serienverrechnung der 43 Linien im **Datensatz D(43)** über zwei Erntetermine und drei Orte ergab sowohl für die genotypische Varianz als auch für die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz für alle erfassten agronomischen und qualitätsbeeinflussenden Merkmale hohe Signifikanz (Tab. 3.5). Die Wechselwirkung zwischen Linie und Ort war nach dem Genotyp die wichtigste Varianzursache, jedoch von deutlich geringerer Bedeutung.

**Tab. 3.5:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes D(43)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	2,93**	0,06**	1,10**	0,22**	0,57	0,85	0,75 - 0,91
TSK [%]	17,82**	0,20**	4,26**	0,46**	1,52	0,91	0,84 - 0,95
TSGB [%]	3,87**	0,28**	1,17**	0,15**	0,43	0,89	0,81 - 0,93
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	7943**	99**	1930**	194**	1601	0,89	0,82 - 0,94
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	11481**	668**	4173**	446**	1057	0,87	0,78 - 0,92
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	20466**	884**	6465**	1422**	3639	0,87	0,78 - 0,92
TKA [%]	76,31**	--	17,44**	1,15**	6,21	0,92	0,85 - 0,95
ELOSR [%]	4,11**	0,79**	0,93**	--	1,36	0,89	0,80 - 0,93
IVOMR [%]	5,01**	0,59**	0,76**	--	1,12	0,92	0,87 - 0,95
RFR [%]	0,97**	0,25**	0,39**	0,00**	0,41	0,83	0,70 - 0,90
NDFR [%]	4,11**	0,78**	1,70**	0,06**	1,43	0,83	0,71 - 0,90
WLKR [%]	3,47**	0,75**	1,57**	0,07**	1,29	0,82	0,69 - 0,89
RPR [%]	0,13**	0,01**	0,03**	--	0,10	0,83	0,71 - 0,90
DINAR [%]	2,72**	0,29**	0,42**	--	1,42	0,89	0,81 - 0,93
DINIR [%]	6,20**	0,42**	0,56**	--	1,39	0,94	0,90 - 0,97
DNDFR [%]	10,01**	0,28**	0,68**	--	2,18	0,95	0,91 - 0,97

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Es traten für die Ganzpflanzenabreife und den Kolbenertrag ausgeprägte Wechselwirkungen zwischen Linie und Erntetermin auf. Die Linie  $\times$  Erntetermin-Interaktionsvarianz war dennoch im Vergleich zur genotypischen Varianz unbedeutend. Dies galt auch für die Dreifachinteraktionsvarianz, die für die Mehrzahl der agronomischen Merkmale Signifikanz aufwies. Signifikante Linie  $\times$  Erntetermin-Interaktionsvarianzen wurden für alle Qualitätsmerkmale außer Rohproteingehalt und Verdaulichkeit der NDF ermittelt. Die Schätzwerte dieser Varianzkomponente waren etwas niedriger als die der Linie  $\times$  Ort-Wechselwirkung.

Für alle Merkmale war der Genotyp die bedeutendste Varianzursache. Die Linie  $\times$  Erntetermin-Interaktionsvarianz war teilweise hoch signifikant, aber im Vergleich zur genotypischen Varianz ohne Relevanz. Aus diesem Grund erfolgten die weiteren Berechnungen mit den Mittelwerten der Linien über beide Erntetermine.

Die Heritabilitätskoeffizienten waren sehr hoch. Sie lagen für die agronomischen Merkmale zwischen 0,85 und 0,92 und für die Qualitätsmerkmale zwischen 0,82 und 0,95. Die Bedeutung der genotypischen Varianz war auch in diesem Datensatz tendenziell für die Merkmale, die auf der *in vitro*-Verdaulichkeit beruhen, etwas höher als für diejenigen, die auf der enzymatischen Löslichkeit basieren.

#### Datensatz D(43)xF1

In der Serienanalyse über drei Orte ließen sich für alle erfassten Merkmale hoch signifikante genotypische Varianzen im **Datensatz D(43)xF1** feststellen. (Tab. 3.6).

Für alle agronomischen Eigenschaften bis auf den Restpflanzenertrag und den berechneten Ganzpflanzenertrag traten hoch signifikante Wechselwirkungen zwischen den Hybriden und Orten auf. Außer für den berechneten Ganzpflanzenertrag, für den der Schätzwert des Fehlers etwa eineinhalbmal höher war als für die genotypische Varianz, war letztere die bedeutendste Varianzursache.

Signifikante Hybride  $\times$  Ort-Interaktionsvarianzen ließen sich für alle qualitätsbestimmenden Merkmale der Restpflanze außer Verdaulichkeit der NDF nachweisen. Die Schätzwerte waren jedoch deutlich kleiner als die der genotypischen Varianz. Die Interaktionsvarianz war im Vergleich zur genotypischen Varianz für die Zellulaseverdaulichkeit und die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand von größerer Bedeutung als für die Pansensaftverdaulichkeit und die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand.

Bei den Qualitätsmerkmalen der Ganzpflanze wurden signifikante Interaktionen zwischen Hybride und Ort nur für den Stärkegehalt sowie die Zellulaseverdaulichkeit und die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand nachgewiesen. Wie in der Restpflanze waren Interaktion und Fehler auch in der Ganzpflanze für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale von geringerer Bedeutung als für die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale. Für den Stärkegehalt, die Pansensaftverdaulichkeit und die wasserlöslichen Kohlenhydrate waren die Schätzwerte der genotypischen Varianz und der Fehlervarianz ähnlich, bei den übrigen Merkmalen war die Fehlervarianz teilweise mehr als doppelt so hoch wie die genotypische Varianz.

**Tab. 3.6:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im **Datensatz D(43)xF1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache			$h^2$	KI
	H <sup>¶</sup>	HP	Fehler		
TSR [%]	1,76**	1,11**	0,97	0,72	0,51 - 0,83
TSK [%]	2,75**	0,47**	0,29	0,92	0,85 - 0,95
TSGB [%]	4,58**	0,72**	0,73	0,90	0,83 - 0,94
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	5729**	--	1565	0,93	0,88 - 0,96
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	2064**	1466**	1629	0,67	0,42 - 0,80
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	2887**	576**	4441	0,63	0,36 - 0,78
TKA [%]	7,91**	0,85**	1,21	0,92	0,86 - 0,95
ELOSR [%]	2,70**	1,21**	2,24	0,70	0,48 - 0,82
IVOMR [%]	3,11**	0,76**	1,77	0,79	0,63 - 0,87
RFR [%]	0,70**	0,25**	0,70	0,69	0,46 - 0,81
NDFR [%]	3,08**	1,18**	2,29	0,73	0,53 - 0,84
WLKR [%]	2,41**	0,72**	1,26	0,78	0,63 - 0,87
RPR [%]	0,06**	0,03**	0,09	0,61	0,33 - 0,77
DINAR [%]	0,95**	0,61**	1,33	0,59	0,30 - 0,76
DINIR [%]	2,37**	0,54**	1,25	0,80	0,65 - 0,88
DNDFR [%]	4,86**	0,52**	2,50	0,83	0,70 - 0,90
STÄRKE [%]	3,63**	1,80**	3,30	0,68	0,45 - 0,81
ELOSG [%]	1,38**	0,81**	1,89	0,60	0,31 - 0,76
IVOMG [%]	0,85**	0,26**	0,79	0,71	0,49 - 0,82
RFG [%]	0,48**	0,01**	0,80	0,64	0,38 - 0,78
WLKG [%]	0,48**	0,02**	0,44	0,76	0,58 - 0,85
RPG [%]	0,02**	--	0,07	0,46	0,07 - 0,68
DINAG [%]	0,58**	0,45**	1,13	0,52	0,17 - 0,71
DINIG [%]	0,35**	--	0,61	0,65	0,39 - 0,79

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Die Heritabilität war für die agronomischen Merkmale hoch bis sehr hoch ( $h^2 = 0,63$  bis  $0,92$ ). Infolge der vergleichsweise hohen Interaktions- und Fehlervarianz für die Ertragsmerkmale des Kolbens und der Ganzpflanze zeigten diese Merkmale die niedrigsten Heritabilitätskoeffizienten. Für die Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze wurden mittlere bis hohe Werte geschätzt ( $h^2 = 0,59$  bis  $0,83$  bzw.  $h^2 = 0,46$  bis  $0,76$ ). Für den Rohproteingehalt und die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand traten genotypische Unterschiede weniger deutlich hervor, die Heritabilität lag nur im mittleren Bereich.

Für alle qualitätsbestimmenden Eigenschaften wurden für die Restpflanze geringfügig höhere Heritabilitätskoeffizienten nachgewiesen als für die Ganzpflanze. Wie in der Linienprüfung D(43) wiesen auch die Testkreuzungen für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale teilweise deutlich höhere Heritabilitätskoeffizienten auf als für die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale. Dies galt im Gegensatz zu den Datensätzen F(65)xD1 und D(46)xF3 sowohl für die Rest- als auch für die Ganzpflanze.

### 3.2.3 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(46) und D(46)xF3 (2000)

Im Datensatz D(46) erfolgte die Prüfung von 46 Dent-Linien auf ihre Eigenleistung und im Datensatz D(46)xF3 auf ihre Testkreuzungsleistung mit der Flint-Testerlinie F3. Diese Linie zeichnete sich im Vergleich zum Versuchsmittel in Experiment D\_(100) durch eine spätere Restpflanzen- und frühere Kolbenabreife aus. Der Trockenmasseertrag der Restpflanze lag deutlich unter dem Durchschnitt und der Kolbenenertrag etwa im mittleren Bereich. Die Folge war ein sehr hoher Trockenkolbenanteil. Eine vergleichsweise gute Qualität konnte für die Restpflanze nachgewiesen werden.

#### 3.2.3.1 Mittelwerte

##### Datensatz D(46)

Zwischen der ersten und zweiten Ernte stieg der Restpflanzen-TS-Gehalt in der Prüfung **D(46)** etwas an und der Kolben-TS-Gehalt nahm deutlich um etwa 30 % zu (Tab. 3.7). Auch zum zweiten Erntetermin war die Kolbenausreife noch nicht an allen Orten abgeschlossen. Der Trockensubstanzgehalt war im Mittel der drei Orte niedrig, der durchschnittliche Restpflanzen-TS-Gehalt lag im normalen Silomaisreifebereich. Die Abreife und Verlagerung der Inhaltsstoffe in den Kolben führte im Zeitverlauf zur Abnahme des Restpflanzenertrags, zur Zunahme des Kolbenenertrags und in der Folge zu einem Anstieg des Trockenkolbenanteils.

Im Durchschnitt der drei Standorte war die Zusammensetzung der Restpflanze zum zweiten Erntetermin kaum verschieden von der am ersten Erntetermin. Es zeigte sich jedoch mit zunehmender Abreife eine Tendenz zu geringerer Qualität. Einen deutlichen Unterschied gab es nur für den Rohproteingehalt zu verzeichnen, der jedoch wie alle anderen Abweichungen zwischen den Terminen außer im Kolben-TS-Gehalt nicht signifikant war (Daten nicht gezeigt).

**Tab. 3.7:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins im **Datensatz D(46)** und Mittelwerte über drei Orte im **Datensatz D(46)xF3** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	D(46)		D(46)xF3
	Z1	Z2	
TSR [%]	25,8	27,4	27,3
TSK [%]	32,5	42,1	54,0
TSGB [%]	28,0	32,6	38,7
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	554,0	516,0	880,0
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	295,0	404,0	1328,0
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	849,0	918,0	2208,0
TKA [%]	33,2	41,4	60,2
ELOS R [%]	54,7	54,3	42,3
IVOM R [%]	74,8	73,0	62,4
RFR [%]	28,0	28,3	35,5
NDFR [%]	54,3	55,0	70,4
WLKR [%]	21,2	21,5	9,2
RPR [%]	6,3	5,5	4,7
DINAR [%]	42,6	41,8	36,5
DINIR [%]	68,0	65,5	58,7
DNDFR [%]	57,6	55,9	49,1
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	36,9
ELOG S [%]	n.b.	n.b.	71,9
IVOM G [%]	n.b.	n.b.	76,8
RFG [%]	n.b.	n.b.	17,1
WLKG [%]	n.b.	n.b.	5,1
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,0
DINAG [%]	n.b.	n.b.	51,7
DINIG [%]	n.b.	n.b.	59,9

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

### Datensatz D(46)xF3

Aus der Tabelle 3.7 ist ersichtlich, dass im **Datensatz D(46)xF3** im Durchschnitt der drei Versuchsstandorte eine gute Ausreife von Restpflanze und Kolben und ein guter Ertrag erreicht wurden. Der mittlere Trockenkolbenanteil war mit 60 % sehr hoch und spiegelte den hohen Trockenkolbenanteil, den der Tester F3 als Linie *per se* zeigte, wider.

Das Verhältnis zwischen den Werten für die Pansensaft- und die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale zeigte sich in diesem Datensatz wie in den Datensätzen F(65)xD1 und D(43)xF1. Die Pansensaftverdaulichkeiten der Zellwand der Rest- und Ganzpflanze waren gleich groß. Die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand war etwa ein Drittel kleiner als die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand und reflektierte die hohe Differenz zwischen Pansensaftverdaulichkeit und Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze im Gegensatz zur geringen Differenz zwischen Pansensaftverdaulichkeit und Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze.

Der Rohfasergehalt in der Restpflanzentrockenmasse war etwa doppelt so hoch wie in der Ganzpflanze, der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten der Restpflanze ungefähr 80 % höher. Aufgrund des Kornanteils, der mehr Eiweißstoffe enthält als der Restpflanzenanteil, war der Rohproteinanteil in der Trockenmasse der Ganzpflanze höher. In diesem Experiment wurde ein sehr hoher Trockenkolbenanteil berechnet, der Stärkegehalt war jedoch geringer als im Datensatz D(43)xF1, in dem der Kolben einen geringeren Anteil zur Ganzpflanzentrockenmasse beitrug.

#### 3.2.3.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

### Datensatz D(46)

Die zusammenfassende Varianzanalyse der Linienprüfung **D(46)** über drei Orte und zwei Erntetermine ergab für alle erfassten Merkmale hoch signifikante genotypische Unterschiede (Tab. 3.8). Bei den agronomischen Merkmalen wurde eine signifikante Linie  $\times$  Erntetermin-Interaktionsvarianz für den Kolben- und Ganzpflanzen-TS-Gehalt und für den Kolbenertrag bestimmt, sie war allerdings deutlich kleiner als die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz. Diese war für alle agronomischen Merkmale hoch signifikant, konnte jedoch im Vergleich zur Linienvarianz vernachlässigt werden. Die Varianz der Dreifachinteraktion war teilweise signifikant, aber wie auch der Fehler als Varianzursache unbedeutend.

**Tab. 3.8:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes D(46)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	2,97**	0,09**	1,24**	0,09**	0,57	0,85	0,74 - 0,91
TSK [%]	21,88**	0,42**	4,54**	0,15**	1,52	0,92	0,87 - 0,95
TSGB [%]	3,87**	0,22**	1,24**	0,16**	0,43	0,88	0,80 - 0,93
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	7795**	--	2079**	450**	1601	0,88	0,80 - 0,93
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	10969**	579**	4217**	702**	1057	0,87	0,77 - 0,92
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	17425**	641**	5250**	2468**	3639	0,86	0,77 - 0,92
TKA [%]	82,40**	--	19,04**	0,63**	6,21	0,92	0,86 - 0,95
ELOSR [%]	4,43**	0,87**	0,80**	--	1,36	0,90	0,83 - 0,94
IVOMR [%]	4,61**	0,74**	0,82**	--	1,12	0,92	0,86 - 0,95
RFR [%]	1,30**	0,25**	0,32**	0,00**	0,41	0,88	0,80 - 0,93
NDFR [%]	5,14**	0,81**	1,44**	0,19**	1,43	0,87	0,78 - 0,92
WLKR [%]	4,07**	0,73**	1,09**	0,16**	1,29	0,87	0,78 - 0,92
RPR [%]	0,13**	0,01**	0,02**	0,01**	0,10	0,83	0,71 - 0,90
DINAR [%]	2,59**	0,27**	0,44**	--	1,42	0,89	0,79 - 0,92
DINIR [%]	5,58**	0,49**	0,71**	--	1,39	0,94	0,88 - 0,96
DNDFR [%]	8,83**	0,50**	1,03**	--	2,18	0,93	0,89 - 0,96

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Für alle Qualitätsmerkmale außer Rohproteingehalt traten signifikante Wechselwirkungen zwischen Linie und Ort bzw. Erntetermin auf. Die Schätzwerte der Zweifachwechselwirkungen waren für die Verdaulichkeitsmerkmale und den Rohfasergehalt sehr ähnlich. Bei den übrigen Merkmalen trug die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz deutlich mehr zur Variation bei als die Linie  $\times$  Termin-Interaktionsvarianz.

Sowohl für die agronomischen Merkmale als auch für die Qualitätsmerkmale war die genotypische Varianz die wichtigste Varianzursache. Die Varianz der Wechselwirkungen zwischen Linie und Erntezeitpunkt trug nur vergleichsweise wenig zur Variation bei, so dass auch für diese Prüfung die weiteren Berechnungen mit den Mittelwerten über beide Erntetermine durchgeführt wurden.

Infolge der erheblichen Bedeutung der genotypischen Varianz wurden für alle Merkmale sehr hohe Heritabilitätskoeffizienten geschätzt ( $h^2 = 0,83$  bis  $0,94$ ). Für die qualitätsbestimmenden Eigenschaften der Restpflanze konnten die höchsten Werte für die Merkmale bestimmt werden, die auf der Pansensaftverdaulichkeit beruhen.

#### Datensatz D(46)xF3

In der Serienverrechnung über drei Orte ließen sich im **Datensatz D(46)xF3** für fast alle agronomischen Merkmale hoch signifikante Unterschiede zwischen den Hybriden nachweisen (Tab. 3.9). Für den Kolbenertrag war die genotypische Varianz ebenfalls signifikant, aber etwa 40 % kleiner als die Genotyp  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz und 60 % kleiner als die Fehlervarianz. Signifikante Varianz der Wechselwirkung zwischen Testkreuzung und Ort trat bei allen agronomischen Merkmalen auf. Diese war jedoch für die Kolben- und Ganzpflanzenabreife sowie den Restpflanzenertrag und Trockenkolbenanteil deutlich kleiner als die genotypische Varianz.

Die genotypischen Unterschiede waren für jedes Qualitätsmerkmal der Restpflanze signifikant. Für alle Restpflanzeigenschaften außer Rohfasergehalt und Verdaulichkeit der NDF wurde eine signifikante Varianz der Genotyp  $\times$  Ort-Wechselwirkung nachgewiesen. Diese war für den Rohproteingehalt und die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand größer als die genotypische Varianz. Als Varianzursache bedeutender war jedoch der Fehler, der teilweise höher war als die genotypische Varianz, bei den Merkmalen Rohproteingehalt und Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand sogar mehr als doppelt so hoch.

**Tab. 3.9:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) sowie des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im **Datensatz D(46)xF3** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache			$h^2$	KI
	H <sup>¶</sup>	HP	Fehler		
TSR [%]	1,50**	1,24**	1,34	0,63	0,38 - 0,78
TSK [%]	1,85**	0,17**	0,26	0,93	0,88 - 0,96
TSGB [%]	2,56**	1,08**	0,78	0,80	0,67 - 0,88
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	3577**	546**	1118	0,87	0,77 - 0,92
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	630**	1097**	1639	0,41	-0,01 - 0,64
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	3205**	1657**	3879	0,63	0,38 - 0,78
TKA [%]	3,30**	0,58**	0,75	0,88	0,80 - 0,93
ELOS R [%]	1,82**	1,33**	1,99	0,62	0,35 - 0,77
IVOM R [%]	1,88**	0,64**	1,55	0,72	0,52 - 0,83
RFR [%]	0,47**	0,15**	0,66	0,63	0,38 - 0,78
NDFR [%]	2,40**	1,12**	2,34	0,68	0,45 - 0,80
WLKR [%]	1,99**	0,99**	1,33	0,72	0,52 - 0,83
RPR [%]	0,03**	0,04**	0,08	0,47	0,09 - 0,67
DINAR [%]	0,55**	0,96**	1,18	0,44	0,04 - 0,65
DINIR [%]	1,40**	0,45**	1,17	0,72	0,53 - 0,83
DNDFR [%]	3,22**	0,59**	1,95	0,79	0,65 - 0,87
STÄRKE [%]	2,50**	1,76**	2,97	0,61	0,34 - 0,76
ELOS G [%]	1,16**	0,88**	1,59	0,58	0,29 - 0,75
IVOM G [%]	0,49**	0,38**	0,74	0,56	0,26 - 0,73
RFG [%]	0,38**	0,37**	0,62	0,54	0,21 - 0,72
WLKG [%]	0,32**	0,58**	0,46	0,48	0,11 - 0,68
RPG [%]	0,02**	0,01**	0,05	0,51	0,16 - 0,70
DINAG [%]	0,52**	0,34**	0,93	0,55	0,24 - 0,73
DINIG [%]	0,29**	0,25**	0,55	0,52	0,18 - 0,71

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

Die Varianzanalyse wies für die Ganzpflanze ebenfalls sehr ausgeprägte genotypische Unterschiede für alle Qualitätsmerkmale auf. Die Varianz der Wechselwirkung zwischen Genotyp und Ort war zumeist signifikant und lag etwas unterhalb der genotypischen Varianz. Ausnahmen bildeten der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, für dieses Merkmal wurde eine um zwei Drittel höhere Interaktionsvarianz geschätzt, und der Rohproteingehalt, für den keine signifikante Varianz der Wechselwirkungen geschätzt werden konnte. Bei den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen war die Interaktion von geringerer, der Fehler jedoch von höherer Bedeutung.

Die teilweise niedrige Anteil der genotypischen an der phänotypischen Varianz spiegelte sich in den Werten für die Heritabilität wider. Für die agronomischen Merkmale außer Kolbenertrag ( $h^2 = 0,41$ ) konnten hohe bis sehr hohe Heritabilitätskoeffizienten ( $h^2 = 0,63$  bis  $0,93$ ) geschätzt werden. Die Ausprägung der Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze war weniger durch den Genotyp festgelegt und die Heritabilität lag in der Folge zumeist im mittleren Bereich ( $h^2 = 0,44$  bis  $0,72$  bzw.  $h^2 = 0,48$  bis  $0,61$ ).

In der Regel waren die Heritabilitätskoeffizienten für die Merkmale der Restpflanze geringfügig höher als für die entsprechenden der Ganzpflanze. Bei den Merkmalen Rohproteingehalt und Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand lagen die Werte der Ganzpflanze im Gegensatz zu den Prüfungen F(65)xD1 und D(43)xF1 etwas über denen der Restpflanze. Deutlich höhere Schätzwerte für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale gegenüber den Zellulaseverdaulichkeitsmerkmalen wurden in der Restpflanze geschätzt, in der Ganzpflanze waren sie kaum verschieden.

## 3.2.4 Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung

Für die Mehrzahl der agronomischen Merkmale und nahezu alle Qualitätsmerkmale der Restpflanze konnten signifikante phänotypische und genotypische Korrelationen zwischen Linieneigen- und Testkreuzungsleistung ermittelt werden (Tab. 3.10). Die phänotypischen und genotypischen Korrelationskoeffizienten unterschieden sich für die agronomischen Merkmale kaum. Bei den Qualitätsmerkmalen traten vereinzelt größere Abweichungen auf. Die genotypischen Korrelationskoeffizienten waren dann deutlich höher.

**Tab. 3.10:** Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den Eigenleistung der Linien<sup>§</sup> und der Testkreuzungsleistung der **Datensätze F(65) und F(65)xD1** (1999), **D(43) und D(43)xF1** (2000) sowie **D(46) und D(46)xF3** (2000) für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	F(65) × F(65)xD1		D(43) × D(43)xF1		D(46) × D(46)xF3	
	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$
TSR	0,75**	0,87++	0,27	0,28+	0,38*	0,58++
TSK	0,54**	0,57++	0,33*	0,33++	0,23	0,24+
TSGB	0,52**	0,61++	0,47**	0,49++	0,59**	0,73++
TMR	0,58**	0,61++	0,47**	0,51++	0,44**	0,51++
TMK	0,11	0,14	0,21	0,29+	0,22	0,24+
TMGB	0,43**	0,49++	0,17	0,25+	0,16	0,17
TKA	0,40**	0,43++	0,40**	0,43++	0,45**	0,49++
ELOSR	0,32**	0,44++	0,52**	0,61++	0,56**	0,75++
IVOMR	0,40**	0,62++	0,77**	0,90++	0,70**	0,88++
RFR	0,26*	0,37++	0,42**	0,52++	0,39**	0,55++
NDFR	0,22	0,32+	0,46**	0,54++	0,38*	0,49++
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++
DINAR	0,52**	0,70++	0,56**	0,74++	0,63**	1,01++
DINIR	0,57**	0,78++	0,85**	1,00++	0,80**	0,99++
DNDFR	0,65**	0,86++	0,87**	0,99++	0,84**	0,98++

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

§ Mittelwert über zwei Erntetermine.

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

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

Die Beziehung zwischen der Abreife der Linien und der Testkreuzungen war zwischen F(65) und F(65)xD1 tendenziell etwas enger als zwischen D(43) und D(43)xF1 sowie D(46) und D(46)xF3 und lag im mittleren bis hohen Bereich. Für den Restpflanzenertrag und Trockenkolbenanteil wurden in allen Experimenten mittlere Werte erreicht. Aufgrund der hohen Bedeutung der Heterosis für den Kolbenenertrag wurden nur sehr niedrige genotypische Korrelationskoeffizienten geschätzt. Für den Ganzpflanzenertrag war die Korrelation zwischen den Datensätzen F(65) und F(65)xD1 etwas höher als zwischen den Linien- und Testkreuzungsprüfungen im Jahr 2000, in denen sie sehr niedrig war.

Linien mit einer guten Restpflanzenqualität zeigten diese in der Regel auch in der Testkreuzung, wobei die Korrelation zwischen den D- und D×F-Datensätzen enger war als zwischen den Datensätzen F(65) und F(65)xD1. Die Korrelationskoeffizienten waren für die Qualitätsmerkmale in den Prüfungen 2000, in denen 32 Linien in beiden Datensätzen geprüft wurden, sehr ähnlich. Im ersten und zweiten Versuchsjahr waren die Schätzwerte der Korrelation zwischen der Linieneigenleistung und der Testkreuzungsleistung für die Pansensaftverdaulichkeit höher als für die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze. Die Koeffizienten der Korrelation zwischen der Linien- und Testkreuzungsleistung lagen für den Gehalt an Rohfaser, NDF und wasserlöslichen Kohlenhydraten für die Beziehung zwischen F(65) und F(65)xD1 im niedrigen Bereich und zwischen den Dent-Linien und D×F-Testkreuzungen im mittleren Bereich, für den Rohproteingehalt waren sie etwas höher. Die Linieneigenleistung spiegelte sich für alle Zellwandverdaulichkeitsmerkmale deutlich in ihrer Testkreuzungsleistung wider. Die Korrelationskoeffizienten waren hoch bis sehr hoch und für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF etwas höher als für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand.

## 3.2.5 Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze

In den untersuchten Datensätzen F(65)xD1 sowie D(43)xF1 und D(46)xF3 war der Einfluss der Restpflanzenverdaulichkeit auf die Ganzpflanzenverdaulichkeit gering (Tab. 3.11). In der Höhe bzw. im Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten traten jedoch Abweichungen auf, die vom Datensatz und der Referenzmethode, die der NIRS-Messung zugrunde lag, abhingen. Im Datensatz F(65)xD1 variierten die Zellulaseverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanze unabhängig voneinander, die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze hatte einen geringen positiven Effekt auf die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanze. Zwischen den Verdaulichkeitsmerkmalen im Datensatz D(46)xF3 ließen sich mittlere Korrelationen nachweisen. Mehr als ein Drittel der genetischen Variation in der Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanze konnte durch die Variation in der Restpflanze erklärt werden, durch die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze nur 20 % der Variation in der Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanze. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in den bisher genannten Prüfungen war im Datensatz D(43)xF1 eine höhere Restpflanzenverdaulichkeit tendenziell mit einer geringeren Ganzpflanzenverdaulichkeit verbunden.

**Tab. 3.11:** Koeffizienten der phänotypischen und genotypischen Korrelation zwischen den entsprechenden Qualitätsmerkmalen der Rest- und der Ganzpflanze für die Testkreuzungen in den **Datensätzen F(65)xD1** (1999), **D(43)xF1** (2000) und **D(46)xF3** (2000)

Merkmal <sup>†</sup>	F(65)xD1		D(43)xF1		D(46)xF3	
	r <sub>p</sub>	r <sub>g</sub>	r <sub>p</sub>	r <sub>g</sub>	r <sub>p</sub>	r <sub>g</sub>
ELOS <sub>R</sub> × ELOS <sub>G</sub>	0,09	0,08	-0,21	-0,43+	0,23	0,45+
IVOM <sub>R</sub> × IVOM <sub>G</sub>	0,29*	0,43+	-0,12	-0,24+	0,37*	0,60++
RFR × RFG	0,17	0,30+	-0,21	-0,37+	0,02	0,08
WLKR × WLKG	0,63**	1,00++	0,74**	0,85++	0,81**	1,06++
RPR × RPG	0,41**	0,55++	0,13	0,15	0,15	0,13
DINAR × DINAG	0,41**	0,54++	0,17	0,16	0,49**	1,05++
DINIR × DINIG	0,43**	0,55++	0,34*	0,44++	0,54**	0,88++
DNDFR × DINIG	0,42**	0,55++	0,36*	0,45++	0,55**	0,86++

<sup>†</sup> Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

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

Für den Rohfasergehalt zeigte sich nur eine geringe Bedeutung der Restpflanze für die Ganzpflanze, im Datensatz D(43)xF1 war der Korrelationskoeffizient negativ. Signifikante Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen dem Rohproteingehalt der Rest- und Ganzpflanze wurden nur im Datensatz F(65)xD1 ermittelt. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war das einzige Merkmal, dessen Variation in der Ganzpflanze nahezu vollständig durch die Variation in der Restpflanze festgelegt war.

Neben den Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen der Zellulaseverdaulichkeit bzw. der Pansensaftverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanzenzellwand wurden die Koeffizienten der Korrelation zwischen der Verdaulichkeit der NDF und der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand berechnet, da die Verdaulichkeit der NDF nicht an der Ganzpflanze bestimmt worden war. Die Bestimmung der Verdaulichkeit der NDF wird ebenfalls unter Anwendung der Pansensaftmethode durchgeführt. Die Werte der Verdaulichkeit der NDF und der Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand waren sehr hoch korreliert (Daten nicht gezeigt). Die Schätzwerte der genetischen Korrelation zwischen den entsprechenden Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze waren bis auf die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand im Datensatz D(43)xF1 in den Datensätzen F(65)xD1 und D(43)xF1 hoch signifikant, lagen aber nur im mittleren Bereich. Im Datensatz D(46)xF3 hingegen war die Bedeutung der Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze für die Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze sehr hoch. Im Gegensatz zu den anderen Datensätzen und der Mehrzahl der übrigen Merkmale zeigte sich eine deutliche Differenz zwischen den phänotypischen und genotypischen Korrelationskoeffizienten.

## 3.2.6 Korrelationen zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen

Anhand der vorliegenden Daten der Linien *per se*- und der Testkreuzungsprüfungen wurde untersucht, ob die Abreife der Restpflanze bzw. der Ganzpflanze einen Einfluss auf die Ausprägung der Qualitätseigenschaften hatte. Außerdem sollte die Frage beantwortet werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und den Qualitätsmerkmalen vorlag.

## 3.2.6.1 Abreife und Qualität

Datensätze F(65), D(43) und D(46)

**Tab. 3.12:** Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Restpflanzen- sowie Ganzpflanzen-TS-Gehalt und den Qualitätsmerkmalen der Linien<sup>§</sup> in den **Datensätzen F(65)** (1999), **D(43)** (2000) und **D(46)** (2000)

Merkmal <sup>†</sup>	TSR			TSG		
	F(65)	D(43)	D(46)	F(65)	D(43)	D(46)
ELOSR	-0,56++	-0,15	0,08	-0,60++	-0,40++	-0,23+
IVOMR	-0,33++	-0,13	-0,01	-0,45++	-0,20+	-0,09
RFR	0,62++	0,04	-0,17+	0,62++	0,46++	0,23+
NDFR	0,63++	0,15	-0,03	0,66++	0,54++	0,37++
WLKR	-0,37++	-0,01	0,11	-0,61++	-0,42++	-0,31++
RPR	-0,51++	-0,50++	-0,34++	-0,21+	-0,49++	-0,42++
DINAR	-0,62++	-0,23+	0,03	-0,43++	-0,28+	-0,10
DINIR	-0,25+	-0,14	-0,05	-0,28+	-0,09	0,01
DNDFR	-0,05	-0,09	-0,03	-0,07	0,04	0,12

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

§ Mittelwert über zwei Erntetermine.

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

Bei den Linien trat in allen drei Datensätzen ein signifikanter Rückgang im Rohproteingehalt bei einer Zunahme im Restpflanzen-TS-Gehalt auf (Tab. 3.12). Die Ausprägung aller anderen Eigenschaften variierte für die Dent-Linien unabhängig vom Trockensubstanzgehalt der Restpflanze. In den 65 Flint Linien zeigte sich 1999 eine mäßige Abnahme der Verdaulichkeit und des Gehaltes an wasserlöslichen Kohlenhydraten, der Rohfaser- und NDF-Gehalt stiegen an. Die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand verringerte sich ebenfalls deutlich. Die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF schwankten hingegen unabhängig von der Restpflanzenabreife.

Die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale waren in keinem der beiden Jahre durch die Ganzpflanzenabreife beeinflusst. Nur für die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanzenzellwand war in F(65) eine mäßige negative Korrelation feststellbar. Mit zunehmendem Ganzpflanzen-TS-Gehalt sanken tendenziell die Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein und die Gehalte an Rohfaser und NDF stiegen an, in der Folge ging die Verdaulichkeit zurück.

Sowohl in Bezug auf die Rest-, als auch auf die Ganzpflanze war die Ausprägung der Qualitätsmerkmale in F(65) stärker durch die Abreife bestimmt als in D(43) und D(46). Die Merkmale, die auf der Pansensaftverdaulichkeit basieren, waren tendenziell weniger vom Trockensubstanzgehalt beeinflusst als die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze bzw. der Restpflanzenzellwand.

#### Datensätze F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3

Im Gegensatz zu den Linien *per se* in D(43) und D(46) trat in den Testkreuzungen mit dem Tester F1 bzw. F3 für die meisten Qualitätsmerkmale der Restpflanze eine deutliche negative Beziehung zur Restpflanzenabreife auf (Tab. 3.13). Nur für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale, besonders jedoch für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF, war die Abhängigkeit vom TS-Gehalt in D(46)xF3 gering. Im Datensatz F(65)xD1 war bei zunehmender Restpflanzenabreife ein Rückgang im Rohproteingehalt und ein Anstieg im Rohfaser- und NDF-Gehalt zu verzeichnen. Die Zellulaseverdaulichkeit und die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand gingen etwas zurück. Die Pansensaftverdaulichkeit und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten zeigten keinen Bezug zum Restpflanzen-TS-Gehalt.

**Tab. 3.13:** Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Restpflanzen- sowie Ganzpflanzen-TS-Gehalt und den Qualitätsmerkmalen der Testkreuzungen in den **Datensätzen F(65)xD1** (1999), **D(43)xF1** (2000) und **D(46)xF3** (2000)

Merkmal <sup>†</sup>	TSR			TSG		
	F(65)xD1	D(43)xF1	D(46)xF3	F(65)xD1	D(43)xF1	D(46)xF3
ELOSR	-0,25+	-0,79++	-0,78++	-0,28+	-0,76++	-0,72++
IVOMR	-0,02	-0,79++	-0,51++	0,03	-0,70++	-0,52++
RFR	0,36++	0,79++	0,85++	0,32+	0,78++	0,78++
NDFR	0,28+	0,78++	0,90++	0,32+	0,78++	0,85++
WLKR	0,05	-0,69++	-0,78++	-0,29+	-0,75++	-0,83++
RPR	-0,59++	-0,75++	-0,48++	-0,07	-0,59++	-0,32+
DINAR	-0,47++	-0,69++	-0,50+	-0,16	-0,56++	-0,33+
DINIR	-0,11	-0,66++	-0,23+	0,12	-0,53++	-0,22+
DNDFR	-0,03	-0,52++	-0,06	0,16	-0,40++	-0,07
STÄRKE	-0,55+	0,77++	0,60++	0,22+	0,90++	0,80++
ELOSG	-0,52++	0,39+	0,25+	0,17	0,58++	0,43++
IVOMG	-0,36++	0,39+	0,25+	0,20+	0,62++	0,38+
RFG	0,67++	-0,48++	-0,41+	-0,12	-0,69++	-0,62++
WLKG	0,46++	-0,87++	-0,66++	-0,19+	-0,85++	-0,73++
RPG	-0,47++	0,04	0,55++	-0,13	0,30+	0,63++
DINAG	-0,47++	0,01	0,01	0,07	0,18	0,14
DINIG	0,08	-0,03	-0,18	0,06	0,20+	-0,28+

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

Im Datensatz F(65)xD1 war kein Zusammenhang zwischen der Restpflanzenqualität und dem TS-Gehalt der Ganzpflanze feststellbar. In den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 zeigten sich zwischen der Restpflanzenqualität und der Abreife der Ganzpflanze dieselben Beziehungen wie zwischen der Qualität und dem TS-Gehalt der Restpflanze. Wie auch in den Linienprüfungen waren die Koeffizienten der Korrelation zwischen der Zellulaseverdaulichkeit bzw. der Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand und der Abreife tendenziell höher als zwischen der Pansensaftverdaulichkeit, der Pansensaftverdaulichkeit der

Pansensaftverdaulichkeit, der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand oder der Verdaulichkeit der NDF und der Abreife. Außer für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale, deren Variation bis auf eine geringe negative Korrelation in F(65)xD1 für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand unabhängig vom TS-Gehalt der Restpflanze war, zeigten sich im Datensatz F(65)xD1 gegensätzliche Abhängigkeiten der Ganzpflanzenqualität von der Restpflanzenabreife als in den D×F-Datensätzen. In F(65)xD1 war ein Anstieg im TS-Gehalt der Restpflanze mit einem Rückgang in der Qualität der Ganzpflanze korreliert. Der Rohproteingehalt, die Verdaulichkeit und der Stärkegehalt nahmen ab, der Rohfasergehalt nahm zu. Es fiel auf, dass der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Ganzpflanze anstieg. In den D×F-Datensätzen war eine weitere Restpflanzenabreife mit einem deutlichen Rückgang im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und einer Zunahme im Stärkegehalt und der Verdaulichkeit verbunden.

Die Qualität der Ganzpflanze schwankte im Datensatz F(65)xD1 unabhängig von der Abreife der Ganzpflanze. In den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 traten bei einer Zunahme im TS-Gehalt der Ganzpflanze ein Rückgang im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohfaser und ein Anstieg im Rohprotein- und Stärkegehalt auf. Der Anteil an verdaulicher organischer Substanz war bei einer weiter ausgereiften Pflanze höher. Zwischen der Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze und dem Trockensubstanzgehalt konnte kein Zusammenhang ermittelt werden.

### 3.2.6.2 Ertrag bzw. Trockenkolbenanteil und Qualität

#### Datensätze F(65), D(43) und D(46)

Zwischen dem Ganzpflanzenertrag und der Restpflanzenqualität der Linien aus den drei Datensätzen konnten kaum relevante Beziehungen festgestellt werden (Tab. 3.14). Bei einem höheren Ertrag nahm tendenziell der Rohfasergehalt zu und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein ab. In F(65) zeigte sich dann ein schwacher Rückgang in den Werten für die Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale.

Die Höhe des Trockenkolbenanteils hatte keinen Effekt auf den Rohproteingehalt und die Zellwandverdaulichkeit der Linienrestpflanze. Eine Steigerung des Kolbenanteils war jedoch mit einem geringeren Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und einem höheren Rohfasergehalt verbunden. Die Restpflanzenverdaulichkeit war zumeist signifikant negativ durch den Kolbenanteil beeinflusst, die Korrelationskoeffizienten waren aber nur niedrig.

**Tab. 3.14:** Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und den Qualitätsmerkmalen der Linien<sup>§</sup> in den **Datensätzen F(65)** (1999), **D(43)** (2000) und **D(46)** (2000)

Merkmal <sup>†</sup>	TMG			TKA		
	F(65)	D(43)	D(46)	F(65)	D(43)	D(46)
ELOSR	-0,23+	-0,11	-0,15	-0,32++	-0,34++	-0,46++
IVOMR	-0,20+	0,17+	0,12	-0,30++	-0,08	-0,17+
RFR	0,27++	0,31+	0,34++	0,31++	0,56++	0,58++
NDFR	0,20+	0,29	0,33++	0,40++	0,55++	0,59++
WLKR	-0,03	-0,13	-0,21+	-0,55++	-0,54++	-0,59++
RPR	-0,42++	-0,24+	-0,16	0,17+	0,00	-0,05
DINAR	-0,38++	-0,08	-0,07	0,00	-0,09	-0,23+
DINIR	-0,25++	0,23+	0,21+	-0,12	0,07	0,00
DNDFR	-0,20+	0,30+	0,30+	0,03	0,18+	0,13

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

§ Mittelwert über zwei Erntetermine.

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

#### Datensätze F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3

Für die Testkreuzungen in F(65)xD1 zeigte sich ebenso wie für die Linien in F(65) bei steigendem Ganzpflanzenertrag eine Abnahme in der Restpflanzenqualität (Tab. 3.15), die für die Testkreuzungen deutlicher war als für die Linien. Nur der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten variierte unabhängig vom Ertrag. Im Datensatz D(43)xF1 waren niedrige bis mittlere und in Datensatz D(46)xF3 sehr geringe bis geringe genetische Korrelationen zwischen Ganzpflanzenertrag und Restpflanzenqualität festzustellen. Tendenziell waren in den D×F-Datensätzen ein höherer Ertrag und ein Anstieg in der Restpflanzenqualität verbunden.

Ein höherer Ganzpflanzenertrag hatte in den Testkreuzungen einen signifikanten Rückgang im Stärke- und Rohproteingehalt sowie in der Verdaulichkeit Ganzpflanzenverdaulichkeit zur Folge. Der Rohfasergehalt und auch der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten stiegen an. Die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand war bei höheren Erträgen etwas niedriger. Die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand zeigte keine relevante Beziehung zum Ertrag.

**Tab. 3.15:** Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und den Qualitätsmerkmalen der Testkreuzungen in den **Datensätzen F(65)xD1 (1999), D(43)xF1 (2000) und D(46)xF3 (2000)**

Merkmal <sup>†</sup>	TMG			TKA		
	F(65)xD1	D(43)xF1	D(46)xF3	F(65)xD1	D(43)xF1	D(46)xF3
ELOSR	-0,30+	0,50++	0,34+	-0,09	-0,72++	-0,42++
IVOMR	-0,49++	0,44++	0,31+	0,03	-0,56++	-0,31+
RFR	0,40++	-0,55++	-0,25+	-0,01	0,75++	0,45++
NDFR	0,31+	-0,60++	-0,35+	0,09	0,72++	0,56++
WLKR	0,07	0,51++	0,48++	-0,42++	-0,77++	-0,67++
RPR	-0,68++	0,46+	-0,11	0,56++	-0,32+	0,18
DINAR	-0,55++	0,35+	0,05	0,27+	-0,47++	0,06
DINIR	-0,52++	0,30+	0,14	0,25+	-0,36++	-0,04
DNDFR	-0,43++	0,23+	0,11	0,23+	-0,26+	0,00
STÄRKE	-0,40++	-0,75++	-0,88++	0,94++	0,99++	0,89++
ELOGS	-0,45++	-0,55++	-0,61++	0,88++	0,79++	0,61++
IVOMG	-0,40++	-0,54++	-0,52++	0,74++	0,83++	0,49++
RFG	0,63++	0,59++	0,77++	-0,97++	-0,88++	-0,76++
WLKG	0,29+	0,41++	0,55++	-0,81++	-0,71++	-0,55++
RPG	-0,52++	-0,57++	-0,56++	0,33++	0,38+	0,47++
DINAG	-0,44++	-0,51++	-0,34+	0,75++	0,43++	0,34+
DINIG	-0,08	-0,31+	0,27+	0,06	0,38++	-0,32+

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

Ein höherer Trockenkolbenanteil war in allen Datensätzen mit einem Rückgang der wasserlöslichen Kohlenhydrate in der Restpflanze verbunden. In F(65)xD1 gab es eine signifikante Korrelation im mittleren Bereich zwischen dem Trockenkolbenanteil und dem Rohproteingehalt der Restpflanze. Ein Rückgang in der Verdaulichkeit und im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten sowie eine Zunahme im Rohfasergehalt konnten bei steigendem Kolbenanteil in D(43)xF1 und D(46)xF3 festgestellt werden, mit höheren Korrelationskoeffizienten in

D(43)xF1. In diesem Datensatz war ein Anstieg im Kolbenanteil tendenziell mit einem Rückgang im Rohproteingehalt und der Zellwandverdaulichkeit verbunden. Im zweiten D×F-Datensatz erfolgte die Ausprägung dieser Merkmale völlig unabhängig vom Kolbenanteil.

Im Hinblick auf die Ganzpflanzenqualität zeigten sich in den drei Datensätzen überwiegend sehr ähnliche Korrelationskoeffizienten. Der Trockenkolbenanteil und der Stärkegehalt waren sehr eng korreliert. Die Verdaulichkeit der Ganzpflanze war ebenfalls sehr stark vom Trockenkolbenanteil abhängig. In D(46)xF3 war der positive Einfluss des Kolbenanteils auf die Verdaulichkeit, besonders jedoch auf die Pansensaftverdaulichkeit, etwas geringer als in D(43)xF1. Ein Rückgang im Restpflanzenanteil führte außerdem zu einem Rückgang im Rohfasergehalt und im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, die vor allem in dieser Pflanzenfraktion lokalisiert sind. Ein schwacher positiver Effekt bestand zwischen dem Kolbenanteil und dem Rohproteingehalt. Nicht eindeutig war die Beziehung zwischen dem Kolbenanteil und der Zellwandverdaulichkeit. In F(65)xD1 bestand eine enge, hoch signifikante Beziehung zwischen dem Trockenkolbenanteil und der Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand; zwischen dem Trockenkolbenanteil und der Pansensaftverdaulichkeit lag hingegen kein Zusammenhang vor. Ein positiver Einfluss eines höheren Trockenkolbenanteils auf beide Zellwandverdaulichkeitsmerkmale zeichnete sich tendenziell in D(43)xF1 ab. In D(46)xF3 war der Zusammenhang zwischen Kolbenanteil und Zellwandverdaulichkeit gering, jedoch mit einem positiven Vorzeichen für die Zellulaseverdaulichkeit und einem negativen für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand. Der Zusammenhang zwischen dem Ganzpflanzenertrag bzw. dem Trockenkolbenanteil und den Zellulaseverdaulichkeitsmerkmalen war tendenziell enger als zwischen diesen agronomischen Merkmalen und den Pansensaftverdaulichkeitsmerkmalen.

### 3.3 Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung (2 Tester)

#### 3.3.1 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen F(20) und F(20)xD2,D3 (1999)

Zur Prüfung auf Kombinationseignung wurden 1999 20 Flint-Linien auf ihre Linieneigen- und Testkreuzungsleistung mit zwei Dent-Testern untersucht. Die Durchführung beider Prüfungen erfolgte an den Standorten Bernburg, Einbeck und Walldorf. Die Dent-Tester wurden 2000 im Experiment D\_(100) als Standardlinien mitgeführt, so dass zwar kein Vergleich zu den Flint-Linien möglich war, jedoch zwischen den Testern *per se*. Die Trockenmassegehalte und -erträge der Restpflanze unterschieden sich nicht, der Trockenkolbenanteil des Testers D2 war jedoch signifikant niedriger als der des Testers D3 ( $P = 0,05$ ) (Tab. 3.16). Die Tester waren nicht nach ihren Qualitätseigenschaften ausgewählt worden. Die Auswertung der Qualitätsdaten zeigte dann, dass eine signifikante Differenz in der Restpflanzenqualität nur für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand vorhanden war.

##### 3.3.1.1 Mittelwerte

###### Datensatz F(20)

Die zwanzig Linien aus Experiment F\_(100), die mit den Dent-Testern D2 und D3 gekreuzt wurden, waren auch Bestandteil des Datensatzes F(65). Da sich die Mittelwerte in den zwei Datensätzen, abgesehen von Stichprobeneffekten, nicht unterschieden (Tab. 3.1 bzw. 3.16), erfolgt keine getrennte Beschreibung der Mittelwerte des **Datensatzes F(20)**. Die Mittelwerte des Datensatzes F(65) sind in Abschnitt 3.2.1.1 erläutert.

###### Datensatz F(20)xD2,D3

Die Serienverrechnung der Testkreuzungen im **Datensatz F(20)xD2,D3** zeigte, dass in der Abreife kaum Unterschiede zwischen den Testkreuzungen mit Tester D2 bzw. D3 vorlagen (Tab. 3.16). In den zwei Testkreuzungsgruppen (F(20)xD2 und F(20)xD3) wurde ein Restpflanzen-TS-Gehalt von etwa 26 % und ein Kolben-TS-Gehalt von 56 % erreicht. Der Restpflanzenertrag war in F(20)xD2 höher als in F(20)xD3, im Kolbenertrag unterschieden sich beide Testkreuzungsgruppen kaum. Der höhere Trockenkolbenanteil, den Tester D3 in der Linien *per se* Prüfung D\_(100) gegenüber Tester D2 gezeigt hatte, ließ sich somit auch in den Testkreuzungen nachweisen.

**Tab. 3.16:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des **Datensatzes F(20)**, Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (F(20)xD2 und F(20)xD3) im **Datensatz F(20)xD2,D3** und Mittelwerte<sup>#</sup> über beide Erntetermins der **Tester D2** und **D3** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	F(20)		F(20)xD2,D3		Tester	
	Z1	Z2	F(20)xD2	F(20)x D3	D2	D3
TSR [%]	22,0	29,9	25,8	25,6	26,1	25,7
TSK [%]	42,1	54,8	56,7	55,6	34,4	32,8
TSGB [%]	28,9	40,6	36,9	37,2	28,8	28,5
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	391,0	368,0	1059,0	975,0	552,4	519,6
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	362,0	524,0	1334,0	1362,0	305,6	381,4
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	753,0	892,0	2394,0	2336,0	862,1	898,6
TKA [%]	47,7	58,6	55,6	58,1	33,3	40,7
ELOS R [%]	56,3	54,5	44,9	43,9	56,0	55,6
IVOM R [%]	76,5	73,9	65,1	63,9	74,1	74,0
RFR [%]	27,8	28,7	34,6	35,0	27,2	27,7
NDFR [%]	54,0	55,5	66,0	67,2	52,8	54,4
WLKR [%]	19,3	18,2	11,9	9,7	23,8	21,2
RPR [%]	7,0	5,7	5,0	5,1	5,7	6,1
DINAR [%]	45,9	44,4	37,5	37,9	42,2	43,5
DINIR [%]	70,9	68,1	60,4	60,1	66,0	66,7
DNDFR [%]	59,7	56,8	50,0	49,5	55,7	56,8
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	33,8	35,8	n.b.	n.b.
ELOG S [%]	n.b.	n.b.	69,7	70,6	n.b.	n.b.
IVOM G [%]	n.b.	n.b.	75,2	75,6	n.b.	n.b.
RFG [%]	n.b.	n.b.	18,2	17,3	n.b.	n.b.
WLKG [%]	n.b.	n.b.	7,1	6,1	n.b.	n.b.
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,1	7,6	n.b.	n.b.
DINAG [%]	n.b.	n.b.	49,0	49,5	n.b.	n.b.
DINIG [%]	n.b.	n.b.	58,0	58,0	n.b.	n.b.

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

# Tester an den Orten je Wiederholung zweimal geprüft (2000).

Die Testkreuzungsgruppen unterschieden sich, wie auch die Linien *per se*, in den Restpflanzeigenschaften nicht nennenswert. Nur in der Verdaulichkeit und im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten zeigten sich deutlichere Differenzen mit höheren Gehalten in F(20)xD2 als in F(20)xD3.

Auch in der Ganzpflanzenqualität war die Leistung der zwei Testkreuzungsgruppen sehr ähnlich. Der höhere Trockenkolbenanteil in F(20)xD3 wurde in einem um fast 6 % höheren Stärkegehalt gegenüber F(20)xD2 reflektiert. Im Durchschnitt der Testkreuzungen betrug der Stärkegehalt fast 35 %. Wie in der Restpflanze waren die Mittelwerte für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten verschieden. Außerdem gab es einen deutlichen Unterschied im Rohproteingehalt. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war für den Datensatz F(20)xD2 etwa 14 % höher, der Rohproteingehalt 7 % niedriger.

Die Ganzpflanze bestand aus einem höheren Anteil an verdaulicher organischer Masse als die Restpflanze. Die Trockenmasse der Ganzpflanze enthielt mehr Rohprotein als die Restpflanze, die Gehalte an Rohfaser und wasserlöslichen Kohlenhydraten waren hingegen niedriger. Im Gegensatz zur Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand zeigte sich für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand keine bedeutende Differenz zwischen den Mittelwerten der Rest- und Ganzpflanze.

#### 3.3.1.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

##### Datensatz F(20)

In der Varianzanalyse über zwei Termine und drei Standorte ergaben sich für den **Datensatz F(20)** (Tab. 3.17) sehr ähnliche Schätzwerte wie für den Datensatz F(65) (Tab. 3.2, Abschnitt 3.2.1.2). Im Datensatz F(20) war die Bedeutung der Linie  $\times$  Termin-Wechselwirkung etwas größer. Die Bedeutung der Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz und der Dreifachinteraktionsvarianz war hingegen bei der Mehrzahl der Merkmale etwas geringer als im Datensatz F(65). Bei den Qualitätsmerkmalen war der Anteil der genotypischen Varianz an der phänotypischen Varianz höher. Die Heritabilitätskoeffizienten unterschieden sich wenig. Die Konfidenzintervalle der Heritabilität waren wegen des geringeren Stichprobenumfangs weiter als in der größeren Liniengruppe.

**Tab. 3.17:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes F(20)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	5,89**	3,24**	0,05**	1,78**	0,78	0,93	0,84 - 0,97
TSK [%]	9,67**	0,94**	1,07**	0,18**	0,81	0,95	0,88 - 0,98
TSGB [%]	10,84**	2,05**	0,65**	0,74**	0,76	0,96	0,90 - 0,98
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	9616**	433**	860**	176**	1390	0,95	0,87 - 0,97
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	12962**	1472**	869**	513**	1213	0,96	0,90 - 0,98
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	29655**	2003**	2194**	300**	3827	0,95	0,89 - 0,98
TKA [%]	63,65**	0,93**	3,87**	3,92**	5,45	0,96	0,90 - 0,98
ELOSR [%]	9,31**	2,62**	1,53**	0,41**	1,66	0,92	0,80 - 0,96
IVOMR [%]	3,96**	0,82**	0,37**	0,59**	1,26	0,90	0,77 - 0,95
RFR [%]	2,37**	0,83**	0,42**	0,31**	0,49	0,90	0,76 - 0,95
NDFR [%]	9,60**	4,12**	1,22**	0,14**	1,97	0,93	0,83 - 0,97
WLKR [%]	9,45**	4,23**	1,92**	--	2,57	0,90	0,77 - 0,95
RPR [%]	0,33**	0,03**	0,06**	--	0,13	0,90	0,77 - 0,95
DINAR [%]	4,29**	0,25**	0,46**	0,52**	1,33	0,90	0,77 - 0,95
DINIR [%]	2,32**	0,11**	0,24**	0,82**	1,18	0,85	0,65 - 0,93
DNDFR [%]	3,79**	0,02**	0,38**	1,26**	1,90	0,85	0,66 - 0,93

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

### Datensatz F(20)xD2,D3

Die varianzanalytische Auswertung des **Datensatzes F(20)xD2,D3** über zwei Tester und drei Orte ergab hoch signifikante Schätzwerte der Varianz zwischen den Linien für alle Reife-merkmale (Tab. 3.18). Signifikante Unterschiede zwischen den Testern traten nicht auf. Die Varianz der Wechselwirkungen zwischen Linie und Tester sowie Linie und Ort war für diese Merkmale ebenfalls gering. Signifikante Unterschiede zwischen den Linien und zwischen den Testern konnten für den Restpflanzenertrag und Trockenkolbenanteil ermittelt werden, im Kolben- und Ganzpflanzenertrag gab es keine relevanten Linien- oder Testereffekte. Vergleichsweise hohe Linie  $\times$  Tester-Wechselwirkungen traten für die Ertragsmerkmale und den Trockenkolbenanteil auf. Die Schätzwerte lagen über denen der genotypischen Varianz. Die Wechselwirkungen zwischen Linie und Ort hatten keine Bedeutung. Die Fehlervarianz war für die Merkmale Kolben- und Ganzpflanzenertrag höher als die genotypische Varianz.

Für alle Qualitätsmerkmale der Restpflanze außer für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten ließen sich signifikante genotypische Unterschiede zwischen den Linien nachweisen. Signifikante Testervarianz lag nur für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und für die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze vor. Die Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz war nur für den Gehalt an NDF und wasserlöslichen Kohlenhydraten signifikant. Wechselwirkungen zwischen Linie und Ort traten kaum auf. Dieses galt auch für die Dreifachinteraktionsvarianz für alle Merkmale außer für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten. Für dieses Merkmal war der Schätzwert so hoch wie für die Linienvarianz.

Im Hinblick auf die Ganzpflanzenqualität wurden kaum signifikante Varianzursachen festgestellt. Signifikante Linien- und Testerunterschiede traten nur bei den Zellinhaltsstoffen Rohprotein und wasserlösliche Kohlenhydrate auf. Für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und für den Stärkegehalt wurden außerdem signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianzen berechnet: Die Variation in der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand wurde durch Wechselwirkungen zwischen Linie und Ort signifikant beeinflusst. Der Fehler hatte eine große Bedeutung. Für nahezu alle Merkmale, bis auf den Rohproteingehalt, war er der bedeutendste Einflussfaktor. Sehr hohe Werte im Vergleich zu genotypischen Varianz erreichte er für die Verdaulichkeitsmerkmale und den Stärkegehalt. Wie auch in der Restpflanze war die Fehlervarianz für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale kleiner als für die Verdaulichkeitsmerkmale, aus denen sie berechnet wurden.

**Tab. 3.18:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) im **Datensatz F(20)xD2,D3** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache						$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	T	LT	LP	LTP	Fehler		
TSR [%]	1,02**	0,00**	0,08**	0,13**	0,14**	0,44	0,85	0,61 - 0,94
TSK [%]	2,21**	0,38**	0,31**	0,27**	0,19**	0,21	0,88	0,70 - 0,94
TSGB [%]	0,93**	0,03**	0,44**	0,25**	0,07**	0,44	0,71	0,28 - 0,87
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	2119**	3324**	2829**	--	1342**	1432	0,54	-0,19 - 0,83
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	1069**	147**	1851**	329**	507**	1962	0,42	-0,45 - 0,77
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	4123**	1089**	4669**	145**	3805**	4482	0,52	-0,23 - 0,82
TKA [%]	1,61**	3,09**	2,36**	0,57**	0,13**	0,90	0,51	-0,20 - 0,79
ELOS R [%]	1,67**	0,42**	0,59**	--	0,72**	1,56	0,72	0,26 - 0,91
IVOM R [%]	1,02**	0,59**	0,26**	--	0,41**	1,31	0,73	0,26 - 0,92
RFR [%]	0,43**	0,06**	0,13**	--	0,28**	0,48	0,72	0,23 - 0,92
NDFR [%]	1,79**	0,57**	0,87**	--	1,12**	1,45	0,71	0,20 - 0,91
WLKR [%]	0,69**	2,23**	1,36**	0,27**	0,68**	0,92	0,40	-0,50 - 0,76
RPR [%]	0,03**	0,01**	0,01**	0,02**	0,01**	0,07	0,53	-0,19 - 0,81
DINAR [%]	0,98**	0,08**	--	0,19**	0,47**	1,10	0,84	0,50 - 0,97
DINIR [%]	1,00**	--	--	--	0,40**	0,99	0,88	0,59 - 0,98
DNDFR [%]	2,20**	0,07**	--	0,09**	0,90**	1,75	0,87	0,61 - 0,97
STÄRKE [%]	0,55**	1,75**	1,91**	0,82**	0,67**	4,92	0,20	-1,02 - 0,69
ELOS G [%]	0,56**	0,29**	0,41**	0,28**	0,61**	2,81	0,39	-0,60 - 0,79
IVOM G [%]	0,24**	0,06**	0,17**	0,32**	0,09**	1,09	0,38	-0,55 - 0,75
RFG [%]	0,30**	0,35**	0,20**	0,12**	0,28**	1,04	0,45	-0,43 - 0,80
WLKG [%]	0,29**	0,43**	0,26**	0,14**	--	0,63	0,51	-0,22 - 0,80
RPG [%]	0,10**	0,15**	0,01**	0,00**	0,02**	0,06	0,84	0,57 - 0,95
DINAG [%]	0,34**	0,13**	0,05**	0,00**	0,41**	1,21	0,53	-0,31 - 0,86
DINIG [%]	0,20**	--	0,10**	0,27**	0,14**	0,46	0,46	-0,34 - 0,77

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Die Heritabilität erreichte für die Reifemerkmale hohe bis sehr hohe Werte ( $h^2 = 0,71$  bis  $0,88$ ). Für die Ertragsmerkmale, für die bedeutende Linie  $\times$  Tester-Interaktionseffekte festgestellt wurden, konnten jedoch nur mittlere Werte ( $h^2 = 0,42$  bis  $0,54$ ) geschätzt werden.

Hohe Heritabilitätskoeffizienten ließen sich für die Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale der Restpflanze sowie für den Rohfasergehalt der Restpflanze bestimmen. Die Werte für die Zellulase- bzw. Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale unterschieden sich kaum. Ein mittlerer Schätzwert für die Heritabilität wurde für den Rohproteingehalt ermittelt ( $h^2 = 0,53$ ). Für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten war die Bedeutung der genetischen Varianz gering und folglich der Heritabilitätskoeffizient niedrig.

Für die qualitätsbestimmenden Merkmale der Ganzpflanze hatten sich kaum signifikante genotypische Unterschiede nachweisen lassen, jedoch für die meisten Merkmale sehr hohe Fehlervarianzen. Daher waren die Schätzwerte der Heritabilität für die Ganzpflanzenqualitätsmerkmale außer für den Rohproteingehalt ( $h^2 = 0,84$ ) niedrig bis mittel ( $h^2 = 0,20$  bis  $0,53$ ), der niedrigste Wert wurde für den Stärkegehalt geschätzt. Bis auf das Merkmal Rohproteingehalt waren die 95 % Konfidenzintervalle der Heritabilität sehr groß, so dass ein Vergleich der Heritabilitätskoeffizienten entsprechender Merkmale der Rest- und Ganzpflanze nicht sinnvoll ist.

### 3.3.2 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(26) und D(26)xF1,F2 (2000)

Im Jahr 2000 wurden 26 Dent-Linien aus dem Experiment D\_(100) mit den Flint-Testern F1 und F2 auf ihre Kombinationseignung geprüft. Der Datensatz D(26) enthielt die Eigenleistungen der Linien und der Datensatz D(26)xF1,F2 die Testkreuzungsleistungen. Beide Tester dienten in Experiment D\_(100) als Standardlinien, so dass ein Vergleich zu den Dent-Linien wie auch der Tester untereinander möglich war (Tab. 3.19).

Beide Tester reiften etwas schneller ab als der Durchschnitt aller Linien in D\_(100), wobei der Kolben-TS-Gehalt wie auch der Kolben- und Ganzpflanzenertrag sich zwischen den Testern signifikant unterschieden ( $P = 0,05$ ). Im Mittel über beide Termine war der Restpflanzen-TS-Gehalt etwas und der Kolben-TS-Gehalt sehr viel höher als bei den 26 Dent-Linien. Der Restpflanzenertrag von F1 und F2 war deutlich kleiner als der der getesteten Linien und erreichte jeweils nicht das Versuchsmittel. Der Tester F1 erzielte einen überdurchschnittlichen, der Tester F2 einen unterdurchschnittlichen Kolbenertrag. Der Kolbenertrag beider Tester war jedoch höher als im Datensatz D(26). Beide Linien besaßen einen überdurchschnittlichen Trockenkolbenanteil mit einem etwas höheren Anteil des Testers F1.

Der Rohfasergehalt war für F1 deutlich höher, der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten jedoch nicht signifikant geringer als bei F2. Die Mittelwerte über beide Termine des Testers F2 waren etwa so groß wie in D(26). Die Verdaulichkeit und Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze war für Tester F1 niedriger. Die Differenz zwischen den Testern war nur für die Verdaulichkeitsmerkmale signifikant, die auf der Zellulasemethode basieren. Die Werte der Tester für die Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale lagen etwa in der Größenordnung wie für die geprüften 26 Linien. Im Vergleich zum Mittelwert der Linien in D\_(100) konnte für den Tester F1 eine unter- und für den Tester F2 eine überdurchschnittliche Restpflanzenqualität festgestellt werden.

### 3.3.2.1 Mittelwerte

#### Datensatz D(26)

Die 26 Genotypen des **Datensatzes D(26)** sind eine Stichprobe aus dem Datensatz D(43). Da sich die Mittelwerte der zwei Datensätze nur unwesentlich unterschieden (Tab. 3.4 und Tab. 3.19), werden die Ergebnisse des Datensatzes D(26) nicht gesondert erläutert. Es wird auf die Beschreibung der Mittelwerte des Datensatzes D(43) (Abschnitt 3.2.2.1) verwiesen.

#### Datensatz D(26)xF1,F2

Die Testkreuzungsgruppen D(26)xF1 und D(26)xF2 im **Datensatz D(26)xF1,F2** erreichten jeweils eine gute Kolben- und Restpflanzenabreife und unterschieden sich in den TS-Gehalten nur unbedeutend voneinander (Tab. 3.19). Der Restpflanzenenertrag von D(26)xF1 war um etwa 10 % höher als der von D(26)xF2, der Kolbenenertrag war sehr ähnlich. Aufgrund des höheren Restpflanzenenertrags war der Trockenkolbenanteil in D(26)xF1 etwas niedriger als in D(26)xF2.

In der Restpflanzenqualität traten teilweise deutliche Differenzen zwischen den zwei Testkreuzungsgruppen auf. Die Zellulaseverdaulichkeit war in D(26)xF1 10 % und die Pansen-saftverdaulichkeit 5 % geringer als in D(26)xF2. Der Rohfaser- und NDF-Gehalt war in D(26)xF1 höher, der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in D(26)xF1 mehr als ein Drittel niedriger als in D(26)xF2. Die Werte der Verdaulichkeitsmerkmale der Restpflanzenzellwand waren in D(26)xF1 etwas niedriger als in D(26)xF2. Die Testkreuzungen reflektierten die Unterschiede in der Restpflanzenqualität zwischen den Testerlinien F1 und F2, die diese in Experiment D\_(100) gezeigt hatten.

In den Qualitätsmerkmalen der Ganzpflanze unterschieden sich die Mittelwerte der zwei Testkreuzungsgruppen nur unwesentlich.

**Tab. 3.19:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des **Datensatzes D(26)**, Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (D(26)xF1 und D(26)xF2) im **Datensatz D(26)xF1,F2** und Mittelwerte<sup>#</sup> über beide Erntetermine der **Tester F1** und **F2** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	D(26)		D(26)xF1,F2		Tester	
	Z1	Z2	D(26)xF1	D(26)x F2	F1	F2
TSR [%]	25,7	27,3	26,7	26,2	27,8	27,2
TSK [%]	31,5	41,3	54,7	54,3	50,6	46,9
TSGB [%]	27,6	32,1	37,5	37,6	37,4	35,3
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	557,0	530,0	932,0	838,0	349,6	295,7
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	280,0	395,0	1213,0	1207,0	445,7	353,1
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	836,0	923,0	2145,0	2045,0	798,3	652,0
TKA [%]	31,9	40,5	56,5	58,9	56,5	53,7
ELOSR [%]	54,3	54,3	39,8	43,9	48,5	55,9
IVOMR [%]	74,4	72,9	61,5	64,3	71,6	74,9
RFR [%]	28,1	28,2	36,8	35,2	31,3	28,2
NDFR [%]	54,5	54,8	71,5	69,3	60,2	55,5
WLKR [%]	21,1	21,7	8,5	11,4	14,6	21,4
RPR [%]	6,3	5,5	4,3	4,3	5,9	5,9
DINAR [%]	42,3	41,6	34,3	36,7	39,7	44,0
DINIR [%]	67,7	65,4	57,9	59,7	66,7	68,1
DNDFR [%]	57,2	55,6	49,9	52,2	57,1	58,5
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	38,4	38,8	n.b.	n.b.
ELOGS [%]	n.b.	n.b.	72,2	73,4	n.b.	n.b.
IVOMG [%]	n.b.	n.b.	76,5	77,1	n.b.	n.b.
RFG [%]	n.b.	n.b.	17,1	16,3	n.b.	n.b.
WLKG [%]	n.b.	n.b.	5,1	5,6	n.b.	n.b.
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,0	7,2	n.b.	n.b.
DINAG [%]	n.b.	n.b.	50,8	52,2	n.b.	n.b.
DINIG [%]	n.b.	n.b.	58,3	58,7	n.b.	n.b.

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

# Tester an den Orten je Wiederholung zweimal geprüft.

## 3.3.2.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

Datensatz D(26)

Die Tabelle 3.20 gibt die Ergebnisse der zusammenfassenden Varianzanalyse des **Datensatzes D(26)** über drei Orte und zwei Erntetermine wider. Der Effekte der einzelnen Varianzkomponenten sind denen in Datensatz D(43) sehr ähnlich. Aus diesem Grund erfolgt keine getrennte Beschreibung der Ergebnisse des Datensatzes D(26). Die Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten des Datensatzes D(43) sind in Abschnitt 3.2.2.2 dargestellt und erläutert.

**Tab. 3.20:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes D(26)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	3,44**	0,14**	0,96**	0,21**	0,57	0,88	0,76 - 0,94
TSK [%]	12,23**	--	4,51**	0,28**	1,52	0,87	0,73 - 0,93
TSGB [%]	4,09**	0,31**	1,10**	0,11**	0,43	0,90	0,79 - 0,95
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	10971**	177**	1580**	367**	1601	0,93	0,85 - 0,96
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	10961**	581**	4435**	552**	1057	0,86	0,71 - 0,93
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	27947**	425**	5781**	1411**	3639	0,91	0,81 - 0,95
TKA [%]	50,85**	--	17,87**	1,66**	6,21	0,87	0,74 - 0,93
ELOSR [%]	5,18**	0,80**	1,09**	--	1,36	0,90	0,79 - 0,95
IVOMR [%]	6,45**	0,58**	0,97**	--	1,12	0,93	0,86 - 0,96
RFR [%]	1,16**	0,26**	0,44**	0,01**	0,41	0,84	0,67 - 0,92
NDFR [%]	5,30**	0,77**	2,00**	0,14**	1,43	0,85	0,69 - 0,92
WLKR [%]	4,79**	0,72**	1,78**	0,13**	1,29	0,85	0,69 - 0,92
RPR [%]	0,10**	--	0,03**	0,01**	0,10	0,77	0,52 - 0,88
DINAR [%]	2,48**	0,23**	0,42**	--	1,42	0,87	0,73 - 0,93
DINIR [%]	7,18**	0,36**	0,65**	--	1,39	0,95	0,89 - 0,97
DNDFR [%]	11,33**	0,27**	0,80**	--	2,18	0,95	0,89 - 0,97

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

### Datensatz D(26)xF1,F2

Die Varianzanalyse des **Datensatzes D(26)xF1,F2** wies für die agronomischen Merkmale außer Kolben- und Ganzpflanzenertrag hoch signifikante Unterschiede zwischen den Linien auf (Tab. 3.21). Ein signifikanter Testereinfluss wurde nur für den Restpflanzenertrag und den Trockenkolbenanteil festgestellt. Bis auf den Restpflanzenertrag waren die Linie  $\times$  Tester- und Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz für alle Ertrags- und Reifemerkmale signifikant. Die Schätzwerte waren für die Reifemerkmale, den Restpflanzenertrag und den Trockenkolbenanteil teilweise deutlich kleiner, für den Kolben- und Ganzpflanzenertrag jedoch etwa viermal so hoch wie der Wert für die genotypische Varianz. Die Dreifachinteraktionsvarianz zwischen Linie, Tester und Ort hatte eine geringe Bedeutung. Bei den Merkmalen Kolben- und Ganzpflanzenertrag waren die Fehlervarianzen sechs- bzw. dreizehnmal so hoch wie die genotypischen Varianzen.

In den Testkreuzungsprüfungen wurden signifikante Differenzen zwischen den Linien für alle Qualitätseigenschaften der Restpflanze ermittelt. Außer im Rohproteingehalt unterschieden sich auch die Tester in diesen Eigenschaften. Die Wechselwirkung zwischen Linie und Tester war für die wasserlöslichen Kohlenhydrate signifikant, der Schätzwert der Interaktionsvarianz war etwa so groß wie bei der genotypischen Varianz. Signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionen traten auch für die Zellulaseverdaulichkeit und den Rohfasergehalt auf. Diese hatten jedoch im Vergleich zur Linienvarianz eine untergeordnete Bedeutung. Die Schätzwerte der Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz waren deutlich kleiner als die der Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz und trugen wie auch die Dreifachinteraktionsvarianz kaum zur Variation bei. Die Schätzwerte für die Fehlervarianz waren nur für die Pansensaftverdaulichkeit, die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF kleiner als der Schätzwert für die Varianz zwischen den Linien. Bei den anderen Merkmalen waren sie etwa gleich groß oder deutlich größer.

**Tab. 3.21:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) des **Datensatzes D(26)xF1,F2** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache						$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	T	LT	LP	LTP	Fehler		
TSR [%]	0,94**	0,06**	0,65**	0,81**	0,06**	0,97	0,55	0,05 - 0,77
TSK [%]	1,24**	--	0,78**	0,25**	0,16**	0,29	0,69	0,34 - 0,85
TSGB [%]	1,94**	--	1,58**	0,54**	0,19**	0,73	0,63	0,21 - 0,82
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	1963**	4315**	1723**	--	33**	1565	0,64	0,19 - 0,85
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	276**	--	1005**	1370**	--	1629	0,19	-0,70 - 0,59
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	346**	4425**	1440**	1441**	--	4441	0,16	-0,81 - 0,60
TKA [%]	2,71**	2,77**	2,42**	0,53**	0,24**	1,21	0,62	0,18 - 0,82
ELOSR [%]	1,80**	7,75**	1,01**	0,31**	0,77**	2,24	0,62	0,14 - 0,83
IVOMR [%]	2,33**	3,69**	0,58**	0,07**	0,65**	1,77	0,77	0,46 - 0,90
RFR [%]	0,43**	1,05**	0,25**	0,06**	0,16**	0,70	0,60	0,09 - 0,83
NDFR [%]	1,90**	2,11**	1,24**	0,64**	0,46**	2,29	0,60	0,11 - 0,81
WLKR [%]	1,22**	4,11**	1,27**	0,42**	0,37**	1,26	0,54	-0,01 - 0,78
RPR [%]	0,05**	0,00**	0,01**	0,02**	0,01**	0,09	0,64	0,17 - 0,85
DINAR [%]	0,93**	2,86**	0,06**	--	0,44**	1,33	0,77	0,40 - 0,93
DINIR [%]	2,03**	1,48**	0,21**	--	0,53**	1,25	0,84	0,62 - 0,94
DNDFR [%]	4,09**	4,94**	0,31**	--	0,46**	2,50	0,87	0,68 - 0,95
STÄRKE [%]	2,88**	--	0,24**	--	2,15**	3,30	0,79	0,43 - 0,94
ELOSG [%]	0,80**	0,56**	--	--	0,86**	1,89	0,73	0,24 - 0,94
IVOMG [%]	0,37**	0,07**	--	--	0,41**	0,79	0,71	0,21 - 0,92
RFG [%]	0,27**	0,28**	--	0,00**	0,21**	0,80	0,66	0,11 - 0,90
WLKG [%]	0,45**	0,11**	0,30**	0,06**	0,12**	0,44	0,63	0,17 - 0,83
RPG [%]	0,01**	0,01**	0,00**	--	--	0,07	0,58	-0,07 - 0,87
DINAG [%]	0,60**	0,83**	--	--	0,53**	1,13	0,85	0,46 - 0,99
DINIG [%]	0,23**	0,00**	--	0,10**	0,06**	0,61	0,64	0,15 - 0,86

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Es wurden ebenfalls für alle Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze signifikante genotypische Unterschiede zwischen den Linien festgestellt. Signifikante Testerunterschiede ließen sich nur für den Rohproteingehalt nachweisen. Wechselwirkungen zwischen Linie und Tester sowie Linie und Ort waren sehr gering. Eine signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz trat nur für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten auf, deren Schätzwert zwei Drittel der genotypischen Varianz betrug. Die Dreifachinteraktionsvarianz war für die Merkmale Stärkegehalt, Zellulase- und Pansensaftverdaulichkeit und Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand signifikant und etwa so groß wie die Linienvarianz. Die Fehlervarianz trug bei allen Merkmalen einen großen Teil zur Variation bei.

Für die TS-Merkmale und den Trockenkolbenanteil wurden Heritabilitätskoeffizienten im mittleren bis hohen Bereich geschätzt ( $h^2 = 0,55$  bis  $0,69$ ). Für den Kolben- und Ganzpflanzenertrag waren die Schätzwerte der Heritabilität hingegen sehr niedrig ( $h^2 = 0,19$  bzw.  $0,16$ ). Mittlere bis hohe Heritabilitätskoeffizienten wurden für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze berechnet ( $h^2 = 0,54$  bis  $0,87$ ). Eine bedeutende Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz resultierte in einem mittleren Wert für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, die höchsten Schätzwerte fanden sich für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale.

Für die Ganzpflanzenmerkmale lagen die Schätzwerte der Heritabilität zwischen  $0,58$  für den Rohproteingehalt und  $0,85$  für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand.

Sowohl für die agronomischen als auch für die qualitätsbestimmenden Merkmale wurden sehr große Konfidenzintervalle der Heritabilität bestimmt. Es erfolgt daher kein Vergleich der Heritabilitätskoeffizienten der entsprechenden Rest- und Ganzpflanzenmerkmale.

### 3.3.3 Mittelwerte, Varianzkomponenten und Heritabilität in den Datensätzen D(18) und D(18)xF3,F4 (2000)

Der Datensatz D(18) enthielt 18 Dent-Linien, die auf ihre Eigenleistung und im Datensatz D(18)xF3,F4 auf ihre Leistung in Testkreuzungen mit den Flint-Testern F3 und F4 geprüft wurden. Auch diese Tester-Linien wurden in dem Experiment D\_(100) als Standardlinien mitgeführt. Sie unterschieden sich außer im Kolben- und Ganzpflanzen-TS-Gehalt und -ertrag in allen anderen Merkmalen signifikant (Tab. 3.22). Die Restpflanzenabreife von Tester F3 war deutlich langsamer und die Kolbenabreife etwas früher als im Durchschnitt aller Linien in D\_(100) bzw. D(18). Die Linie F4 hingegen zeigte eine wesentlich frühere Restpflanzen- und eine etwas langsamere Kolbenabreife als F3. Im Durchschnitt über beide Termine wurden für beide Merkmale höhere Werte als für die 18 Dent-Linien erreicht. Der Restpflanzenertrag von F3 war sehr viel niedriger als der von F4. Beide Tester erreichten deutlich niedrigere Restpflanzenerträge als die geprüften 18 Dent-Linien. Ihre Kolbenerträge lagen etwas über dem Durchschnitt des Datensatzes D(18). Der Tester F3 erzielte einen sehr hohen Trockenkolbenanteil. Der Trockenkolbenanteil des Testers F4 war deutlich geringer, jedoch ebenfalls höher als im Datensatz D(18). Die Restpflanzenqualität des Testers F3 lag geringfügig über, die von Tester F4 unterhalb des Versuchsdurchschnitts von Datensatz D(18) und auch von Experiment D\_(100).

#### 3.3.3.1 Mittelwerte

##### Datensatz D(18)

Die 18 Linien im **Datensatz D(18)** (Tab. 3.22) waren auch Bestandteil des Datensatzes D(46). In D(18) waren die Restpflanzenerträge etwas höher und die Kolbenerträge an den zwei Ernteterminen etwas geringer als in D(46) (Tab. 3.7). Infolgedessen wurden in der kleineren Liniengruppe etwas niedrigere Trockenkolbenanteile erreicht. In den übrigen Merkmalen traten abgesehen von Stichprobeneffekten keine Unterschiede auf. Daher erfolgt hier keine Beschreibung der Mittelwerte des Datensatzes D(18). Es wird auf den entsprechenden Abschnitt zum Datensatz D(46) verwiesen (Abschnitt 3.2.3.1).

**Tab. 3.22:** Mittelwerte über drei Orte des ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermins des **Datensatzes D(18)**, Mittelwerte über drei Orte der zwei Testkreuzungsgruppen (D(18)xF3 und D(18)xF4) im **Datensatz D(18)xF3,F4** und Mittelwerte<sup>#</sup> über beide Erntetermine der **Tester F3** und **F4** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	D(18)		D(18)xF3,F4		Tester	
	Z1	Z2	D(18)xF3	D(18)xF4	F3	F4
TSR [%]	26,2	27,7	27,6	31,6	23,1	29,9
TSK [%]	31,7	41,4	54,1	55,3	44,3	41,1
TSGB [%]	28,0	32,5	39,0	41,9	32,4	34,5
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	571,0	530,0	874,0	885,0	250,8	446,0
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	279,0	382,0	1344,0	1248,0	381,3	368,2
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	852,0	911,0	2218,0	2133,0	631,4	813,8
TKA [%]	31,2	39,2	60,6	58,4	60,0	44,0
ELOS R [%]	55,0	54,5	42,6	38,9	55,2	49,3
IVOM R [%]	74,9	73,2	62,7	60,2	74,7	71,2
RFR [%]	27,9	28,1	35,4	37,6	27,4	31,7
NDFR [%]	54,1	54,7	70,1	74,6	53,4	60,3
WLKR [%]	21,9	22,0	9,6	6,4	19,2	15,4
RPR [%]	6,2	5,4	4,6	4,3	6,8	5,5
DINAR [%]	42,5	41,7	36,6	34,8	44,7	40,2
DINIR [%]	68,0	65,6	58,8	57,5	68,8	65,9
DNDFR [%]	57,5	55,9	49,3	47,8	58,1	56,1
STÄRKE [%]	n.b.	n.b.	37,3	38,2	n.b.	n.b.
ELOG S [%]	n.b.	n.b.	72,6	71,6	n.b.	n.b.
IVOM G [%]	n.b.	n.b.	77,1	76,8	n.b.	n.b.
RFG [%]	n.b.	n.b.	16,9	17,9	n.b.	n.b.
WLKG [%]	n.b.	n.b.	5,4	4,1	n.b.	n.b.
RPG [%]	n.b.	n.b.	7,0	6,4	n.b.	n.b.
DINAG [%]	n.b.	n.b.	52,1	51,0	n.b.	n.b.
DINIG [%]	n.b.	n.b.	60,1	59,8	n.b.	n.b.

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

n.b. Merkmal nicht bestimmt.

# Tester an den Orten je Wiederholung zweimal geprüft.

Datensatz D(18)xF3,F4

In der Restpflanzenqualität zeigten sich zwischen den Testkreuzungsgruppen des **Datensatzes D(18)xF3,F4** tendenziell die Unterschiede, welche die Tester F3 und F4 in Experiment D\_(100) aufwiesen. Die Verdaulichkeit der organischen Masse war in D(18)xF3 höher als in D(18)xF4. Der Rohfasergehalt war in der Testkreuzungsgruppe D(18)xF3 niedriger und der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein höher als in D(18)xF4. Die Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze lag in D(18)xF3 geringfügig über der in D(18)xF4.

Die Testkreuzungsgruppen im Datensatz D(18)xF3,F4 unterschieden sich in der Ganzpflanzenqualität nur wenig. Wie für die Restpflanze beobachtet, war die Qualität in D(18)xF3 auch in der Ganzpflanze tendenziell etwas besser. Trotz des höheren Trockenkolbenanteils in D(18)xF3 wies diese Testkreuzungsgruppe einen etwas geringeren Stärkegehalt auf als D(18)xF4.

Der Anteil an verdaulicher organischer Masse war in der Ganzpflanze wesentlich höher als in der Restpflanze, wobei der Unterschied zwischen der Zellulaseverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanze deutlich größer war als der Unterschied zwischen der Pansensaftverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanze. Die Werte der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand waren für die Rest- und Ganzpflanze sehr ähnlich, die berechnete Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand war hingegen 30 % höher als die der Restpflanze. In der Restpflanze wurde ein größerer Anteil der Trockenmasse durch Rohfaser und wasserlösliche Kohlenhydrate gebildet und ein geringerer durch Rohprotein als in der Ganzpflanze, in der über ein Drittel der Trockenmasse aus Stärke bestand.

## 3.3.3.2 Varianzkomponenten und Heritabilitätskoeffizienten

Datensatz D(18)

Wie auch die Mittelwerte, so unterschieden sich auch die Ergebnisse aus der Varianzanalyse über drei Orte und zwei Erntetermine des **Datensatzes D(18)** nur wenig von der des Datensatzes D(46) (Tab. 3.23 bzw. 3.8). In der kleineren Liniengruppe hatte bei den agronomischen Merkmalen tendenziell die genotypischen Varianz eine geringere und die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz eine größere Bedeutung. Die Heritabilitätskoeffizienten waren in der Folge im Datensatz D(18) für diese Merkmale ebenfalls etwas niedriger und wiesen ein größeres Konfidenzintervall auf. Die Schätzwerte der Varianzkomponenten und der Heritabilität aus der Serienverrechnung des Datensatzes D(46) sind in Abschnitt 3.2.2.2 erläutert.

**Tab. 3.23:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes D(18)** über drei Orte und zwei Erntetermine für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache					$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	LZ	LP	LZP	Fehler		
TSR [%]	2,45**	0,17**	1,95**	0,02**	0,57	0,77	0,42 - 0,89
TSK [%]	22,26**	0,63**	5,91**	--	1,52	0,91	0,78 - 0,96
TSGB [%]	3,28**	0,20**	1,30**	0,15**	0,43	0,86	0,66 - 0,94
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	7558**	--	2249**	--	1601	0,88	0,71 - 0,95
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	8728**	272**	5786**	789**	1057	0,80	0,49 - 0,91
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	12686**	369**	5613**	3014**	3639	0,81	0,53 - 0,91
TKA [%]	71,46**	0,50**	32,46**	--	6,21	0,86	0,65 - 0,94
ELOSR [%]	5,02**	1,10**	0,92**	--	1,36	0,91	0,78 - 0,96
IVOMR [%]	4,96**	1,09**	1,24**	--	1,12	0,90	0,75 - 0,95
RFR [%]	1,51**	0,27**	0,37**	0,04**	0,41	0,88	0,71 - 0,95
NDFR [%]	5,52**	0,71**	1,10**	0,53**	1,43	0,89	0,72 - 0,95
WLKR [%]	5,13**	0,60**	0,55**	0,41**	1,29	0,92	0,79 - 0,96
RPR [%]	0,12**	0,02**	0,01**	0,01**	0,10	0,85	0,63 - 0,93
DINAR [%]	2,40**	0,60**	0,64**	--	1,42	0,85	0,63 - 0,93
DINIR [%]	5,80**	0,90**	1,30**	--	1,39	0,91	0,76 - 0,96
DNDFR [%]	9,08**	0,98**	1,85**	--	2,18	0,91	0,78 - 0,96

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

#### Datensatz D(18)xF3,F4

Die Varianzanalyse der Testkreuzungen im **Datensatz D(18)xF3,F4** über drei Orte und zwei Tester zeigte innerhalb der agronomischen Merkmale für alle Ertrags- und Reifemerkmale außer Kolben- und Ganzpflanzenertrag signifikante Unterschiede zwischen den Linien (Tab. 3.24). Die deutlichen Differenzen in den Linien *per se* Leistungen der Testerlinien F3 und F4 in der Rest- und Ganzpflanzenabreife sowie im Ganzpflanzenertrag und Trockenkolbenanteil spiegeln sich in D(18)xF3,F4 als signifikante Testereffekte wider. Signifikante Varianz der

Linie  $\times$  Tester-Wechselwirkungen trat für die Reifemerkmale auf. Sie hatte jedoch im Vergleich zur genotypischen Varianz einen geringen Effekt. Im Merkmal Ganzpflanzenertrag wurden hingegen erhebliche Interaktionen zwischen Linie und Tester beobachtet, deren Varianz größer war als die der Linien. Signifikante Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianzen wurden für die Rest- und Ganzpflanzenabreife berechnet. Die Schätzwerte lagen etwas über denen der Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz. Die Varianz der Dreifachinteraktion war nur für den Kolbenenertrag relevant.

In Bezug auf die Qualitätsmerkmale der Restpflanze fiel auf, dass signifikante Varianz zwischen den Linien nur für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale auftrat, nicht aber für die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale. Die Linien unterschieden sich außerdem signifikant im Gehalt an NDF, wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein. Die Tester hatten nur auf die Varianz in den Verdaulichkeitsmerkmalen und im Gehalt an Rohfaser, NDF und wasserlöslichen Kohlenhydraten einen deutlichen Einfluss. Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianzen waren deutlich geringer als die Linienvarianzen. Die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianzen waren nur für den NDF-Gehalt und den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten signifikant, bei denen der Schätzwert annähernd den der genotypischen Varianz erreichte. Die Dreifachinteraktionsvarianz war für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand sehr hoch. Die Werte der Fehlervarianz lagen für alle Merkmale außer Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und Verdaulichkeit der NDF über den Werten für die Linienvarianz.

Bei den Ganzpflanzenqualitätsmerkmalen traten wenige signifikante Effekte auf. Nur im Stärkegehalt zeigte sich ein sehr deutlicher Unterschied zwischen den Linien. Für die Zellulaseverdaulichkeit und die Gehalte an Rohfaser, wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein war der Schätzwert signifikant. Im Gegensatz zur Restpflanze war der Linieneinfluss für die Zellulaseverdaulichkeit signifikant, nicht aber für die Pansensaftverdaulichkeit. Für den Rohfaser- und Rohproteingehalt zeigten sich außerdem ausgeprägte Testerunterschiede. Signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianzen in der Größenordnung der Linienvarianz traten für die Zellulaseverdaulichkeit und den Rohfasergehalt auf. Für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale war die Interaktion als Varianzursache von größerem Einfluss. Eine hoch signifikante Varianz der Wechselwirkung zwischen Linie und Ort konnte für die wasserlöslichen Kohlenhydrate bestimmt werden. Die Varianz der Dreifachinteraktion zwischen Linie, Tester und Ort trug nur für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand einen bedeutenden Teil zur Variation bei. Die Fehlervarianz war für alle Qualitätsmerkmale hoch.

**Tab. 3.24:** Schätzwerte der Varianzkomponenten, der Heritabilität ( $h^2$ ) und des 95 % Konfidenzintervalls der Heritabilität (KI) aus der Serienverrechnung des **Datensatzes D(18)xF3,F4** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Varianzursache						$h^2$	KI
	L <sup>¶</sup>	T	LT	LP	LTP	Fehler		
TSR [%]	3,95**	7,36**	1,33**	2,86**	0,94**	1,34	0,66	0,17 - 0,85
TSK [%]	1,75**	0,64**	0,37**	0,08**	0,20**	0,26	0,86	0,62 - 0,95
TSGB [%]	5,49**	3,86**	1,55**	1,91**	0,54**	0,78	0,77	0,43 - 0,90
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	3240**	12**	222**	721**	639**	1118	0,83	0,57 - 0,93
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	350**	4387**	898**	191**	1661**	1640	0,25	-1,07 - 0,74
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	1926**	3477**	2454**	1562**	1741**	3879	0,42	-0,53 - 0,77
TKA [%]	3,53**	2,32**	0,11**	0,05**	0,84**	0,75	0,91	0,75 - 0,97
ELOS R [%]	0,44**	6,33**	0,23**	0,77**	1,06**	1,99	0,33	-0,79 - 0,76
IVOM R [%]	1,38**	3,03**	0,23**	0,38**	0,76**	1,55	0,69	0,15 - 0,89
RFR [%]	0,20**	2,34**	0,10**	0,20**	0,12**	0,65	0,44	-0,49 - 0,79
NDFR [%]	1,72**	9,80**	0,45**	1,36**	--	2,34	0,62	0,03 - 0,84
WLKR [%]	1,28**	5,03**	0,28**	1,12**	--	1,33	0,64	0,08 - 0,84
RPR [%]	0,02**	0,04**	--	0,01**	0,02**	0,08	0,62	-0,19 - 0,91
DINAR [%]	0,20**	1,34**	--	0,03**	1,14**	1,18	0,37	-0,97 - 0,86
DINIR [%]	1,54**	0,67**	--	--	0,79**	1,17	0,84	0,50 - 0,96
DNDFR [%]	3,56**	0,89**	0,18**	0,03**	1,08**	1,95	0,85	0,58 - 0,96
STÄRKE [%]	3,16**	0,18**	0,77**	1,10**	0,06**	2,97	0,72	0,26 - 0,89
ELOS G [%]	0,83**	0,25**	0,70**	0,43**	--	1,59	0,53	-0,23 - 0,82
IVOM G [%]	0,35**	--	0,38**	0,20**	0,04**	0,74	0,48	-0,37 - 0,79
RFG [%]	0,33**	0,54**	0,26**	0,17**	--	0,62	0,54	-0,21 - 0,82
WLKG [%]	0,38**	0,67**	0,08**	0,28**	0,15**	0,04	0,62	-0,00 - 0,84
RPG [%]	0,02**	0,15**	0,01**	--	0,01**	0,05	0,64	-0,07 - 0,91
DINAG [%]	0,21**	0,44**	0,36**	--	0,22**	0,22	0,37	-0,77 - 0,79
DINIG [%]	0,03**	--	0,32**	0,04**	0,18**	0,55	0,11	-1,43 - 0,68

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

¶ Erläuterung der Bezeichnungen im Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

Bei den Reifemerkmale, dem Restpflanzenertrag und dem Trockenkolbenanteil war ein bedeutender Teil der Varianz genotypisch bedingt, so dass hohe bis sehr hohe Heritabilitätskoeffizienten geschätzt wurden ( $h^2 = 0,66$  bis  $0,91$ ). Für den Kolben- und Ganzpflanzenertrag konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Linien festgestellt werden, die Schätzwerte der Heritabilität waren niedrig ( $h^2 = 0,42$  bzw.  $0,25$ ).

Letzteres galt auch für die Restpflanzenmerkmale Zellulaseverdaulichkeit, Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand sowie Rohfasergehalt. Im Gegensatz zu den Zellulaseverdaulichkeitsmerkmalen war der Schätzwert der Heritabilität für die Pansensaftverdaulichkeit hoch und für die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF sogar sehr hoch. Die Heritabilitätskoeffizienten für den NDF-Gehalt und die Zellinhaltsstoffe lagen im mittleren Bereich.

Die Varianz im Stärkegehalt war vor allem durch Varianz zwischen den Linien bedingt. Dies führte dazu, dass er das einzige Qualitätsmerkmal der Ganzpflanze war, das eine hohe Heritabilität aufwies ( $h^2 = 0,72$ ). Die Schätzwerte der Heritabilität für die Verdaulichkeitsmerkmale und den Gehalt an Rohfaser, wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein lagen vorwiegend im mittleren Bereich ( $h^2 = 0,48$  bis  $0,64$ ). Die geringe Bedeutung der genotypischen Varianz und signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianzen hatten sehr niedrige Heritabilitätskoeffizienten für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale zur Folge.

Für die Mehrzahl der Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze waren die Konfidenzintervalle der Heritabilität groß. Ein Vergleich von Heritabilitätskoeffizienten verschiedener Merkmale erscheint daher nicht sinnvoll.

### 3.3.4 Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung

In der Tabelle 3.25 sind die Koeffizienten der phänotypischen und genotypischen Korrelation zwischen Linien- und Testkreuzungsleistung gemittelt über beide Tester zusammengestellt. Die Varianz der Linie  $\times$  Tester-Interaktion hatte für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze überwiegend nur eine geringe Bedeutung. Die Korrelationskoeffizienten unterschieden sich für die einzelnen Testkreuzungsgruppen kaum von denen für die Mittelwerte (Daten nicht gezeigt). Die phänotypischen Korrelationskoeffizienten waren in der Regel unwesentlich niedriger als die genotypischen Korrelationskoeffizienten. Sie werden deshalb nicht gesondert behandelt.

Die genotypischen Korrelationen zwischen dem Trockensubstanzgehalt der Linien und dem Mittelwert ihrer Testkreuzungen waren bei den Flint-Linien 1999 eng, während sie 2000 bei den Dent-Linien im niedrigen bis mittleren Bereich lagen. In der Ganzpflanzenabreife traten tendenzielle Unterschiede zwischen den Testkreuzungsgruppen in den D $\times$ F-Datensätzen auf. Für den Restpflanzenertrag wurden für die Datensätze F(20) $\times$ D2,D3 und D(26) $\times$ F1,F2 straffe Korrelationen festgestellt, für den Datensatz D(18) $\times$ F3,F4 war die Beziehung schwach. Das Letztgenannte galt zumeist auch für die Merkmale Kolbenenertrag und Ganzpflanzenertrag. Nur die Korrelation zwischen dem Kolbenenertrag sowie dem Ganzpflanzenertrag der Linien in D(26) und der Testkreuzungsgruppe D(26) $\times$ F1 und dem Mittelwert über beide Tester war hoch bzw. mittel. Außerdem war die Korrelation zwischen den 20 Flint-Linien und der Testkreuzungsgruppe F(20) $\times$ D2 sowie dem Mittelwert der Testkreuzungen für den Ganzpflanzenertrag ebenfalls signifikant. Linien mit einem überdurchschnittlichen Trockenkolbenanteil zeigten tendenziell auch in der Testkreuzung eine entsprechende Leistung.

Für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze waren in den Testkreuzungsgruppen im Allgemeinen mittlere bis straffe Korrelationen zwischen Linieneigen- und Testkreuzungsleistung feststellbar. Die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen Linieneigenleistung und dem Mittelwert über beide Tester waren in den D $\times$ F-Datensätzen zumeist höher als im F $\times$ D-Datensatz. Nur in der Testkreuzungsgruppe F(20) $\times$ D2 variierten die Testkreuzungsleistungen in den Verdaulichkeitsmerkmalen und in den Gehalten an Rohfaser, NDF und wasserlöslichen Kohlenhydraten weitgehend unabhängig von denen der Linien *per se*. Unterschiedliche Korrelationskoeffizienten traten auch im Rohproteingehalt beim Vergleich der Testkreuzungsgruppen D(26) $\times$ F1 und D(26) $\times$ F2 und für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand zwischen D(18) $\times$ F3 und D(18) $\times$ F4 auf.

**Tab. 3.25:** Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale zwischen der Eigenleistung der Linien<sup>§</sup> in **F(20)** (1999) sowie **D(26)** (2000) und **D(18)** (2000) und der Testkreuzungsleistung in **F(20)xD2,D3** (1999) sowie **D(26)xF1,F2** (2000) und **D(18)xF3,F4** (2000) gemittelt über beide Tester

Merkmal <sup>†</sup>	F(20) × F(20)xD2,D3		D(26) × D(26)xF1,F2		D(18) × D(18)xF3,F4	
	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$
TSR	0,67**	0,74++	0,44*	0,45++	0,22	0,41+
TSK	0,78**	0,83++	0,42*	0,43++	0,47*	0,52++
TSGB	0,71**	0,78++	0,66**	0,69++	0,54*	0,66++
TMR	0,72**	0,76++	0,60**	0,65++	0,27	0,31+
TMK	0,07	0,08	0,34	0,53++	0,29	0,38+
TMGB	0,43	0,48++	0,34	0,53++	0,03	0,06
TKA	0,43	0,45++	0,55**	0,60++	0,50*	0,52++
ELOSR	0,47*	0,49++	0,72**	0,82++	0,51*	(0,75++)
IVOMR	0,33	0,34+	0,82**	0,94++	0,72**	0,83++
RFR	0,40	0,44++	0,66**	0,78++	0,32	0,43+
NDFR	0,28	0,28+	0,70**	0,79++	0,34	0,43+
WLKR	0,36	0,42+	0,64**	0,69++	0,44	0,56++
RPR	0,54*	0,63++	0,45*	0,58++	0,27	(0,47+)
DINAR	0,52*	0,57++	0,77**	0,93++	0,57*	(1,09+)
DINIR	0,41	0,44++	0,87**	0,98++	0,83**	0,93++
DNDFR	0,60**	0,69++	0,88**	0,97++	0,91**	1,00++

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

§ Mittelwert über zwei Erntetermine.

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

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

( ) Schätzwert von mindestens einer Varianzkomponente nicht signifikant.

Im ersten Versuchsjahr war die Korrelation zwischen der Linien- und der Testkreuzungsleistung für die Restpflanzenverdaulichkeit nur in der Testkreuzungsgruppe F(20)xD3 und gemittelt über beide Tester signifikant. In D(26)xF1,F2 und D(18)xF3,F4 bestand hingegen eine sehr enge genotypische Korrelation. Die Korrelationskoeffizienten waren für die Zellwandmerkmale und die Zellinhaltsstoffe in F(20)xD2,D3 und D(18)xF3,F4 niedrig bis mittel, in D(26)xF1,F2 mittel bis hoch. In der Vorhersagemöglichkeit der Testkreuzungsleistung anhand der Linieneigenleistung gab es in den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen Unterschiede zwischen den zugrunde liegenden Methoden und zwischen den Datensätzen. In allen Prüfungen war der Zusammenhang jedoch für das Merkmal Verdaulichkeit der NDF am besten, in F(20)xD2,D3 war er eng, in den DxF-Prüfungen sehr eng. Die Koeffizienten der genotypischen Korrelation waren für die anderen Merkmale der Zellwandverdaulichkeit in F(20)xD2,D3 nur mittel. In den DxF-Testkreuzungsgruppen konnte fast die gesamte genetische Variation in den Testkreuzungen an den Linien geschätzt werden.

## 3.3.5 Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze

In Übereinstimmung mit den größeren Datensätzen war die Variation im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Ganzpflanze nahezu vollständig durch die Variation in der Restpflanze erklärbar (Tab. 3.26). Für dieses Merkmal ließen sich auch in der Ganzpflanze immer signifikante genotypische Unterschiede nachweisen. Vor allem in Bezug auf die Merkmale der Ganzpflanzenqualität war dies in den einzelnen Testkreuzungsgruppen sowie gemittelt über beide Tester für den Datensatz D(18)xF3,F4 häufig nicht möglich.

**Tab. 3.26:** Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den entsprechenden Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze für die Testkreuzungen in den **Datensätzen F(20)xD2,D3** (1999), **D(26)xF1,F2** und **D(18)xF3,F4** (2000) gemittelt über beide Tester

Merkmal <sup>†</sup>	F(20)xD2,D3		D(26)xF1,F2		D(18)xF3,F4	
	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$
ELOSR × ELOGS	0,29	0,43+	-0,10	-0,24	0,12	(0,03)
IVOMR × IVOMG	0,36	0,49+	0,05	-0,04	0,36	0,36+
RFR × RFG	0,65**	0,89++	-0,21	-0,46+	-0,24	-0,45+
WLKR × WLKG	0,82**	0,89++	0,87**	0,96++	0,88**	0,99++
RPR × RPG	0,58**	0,72++	-0,15	-0,35+	-0,16	(-0,33)
DINAR × DINAG	0,47*	0,63++	0,36	0,47++	0,68**	(1,17+)
DINIR × DINIG	0,57**	0,77++	0,60**	0,79++	0,61**	0,71++
DNDFR × DINIG	0,51*	0,75++	0,57**	0,74++	0,66**	0,78++

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

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

() Schätzwert von mindestens einer Varianzkomponente nicht signifikant.

Die Korrelationen zwischen der Rest- und Ganzpflanzenverdaulichkeit waren nur in F(20)xD2,D3 für beide Verdaulichkeitsmerkmale und in D(18)xF3,F4 für die Pansensaftverdaulichkeit signifikant. Die Koeffizienten erreichten aber nur niedrige bis mittlere positive Werte. Deutliche Unterschiede zwischen den F×D- und D×F-Datensätzen zeigten sich im Rohfaser- und Rohproteingehalt. In F(20)xD2,D3 hatte eine Testkreuzung mit einem hohen Rohfaser- und Rohproteingehalt in der Restpflanze auch entsprechend hohe Gehalte in der

Ganzpflanze. In den D×F-Datensätzen hingegen lag zwischen der Rest- und Ganzpflanzqualität in diesen Eigenschaften nur eine lose, negative Beziehung vor. Zusammengefasst über beide Tester wurden im Datensatz F(20)xD2,D3 hohe, signifikante Koeffizienten der Korrelation zwischen der Zellwandverdaulichkeit der Rest- und der Ganzpflanze berechnet, die für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale geringfügig höher waren. In den Datensätzen D(26)xF1,F2 und D(18)xF3,F4 wurden für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale Korrelationskoeffizienten in gleicher Höhe bestimmt. Für die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand war die Korrelation in D(26)xF1,F2 nur mäßig. In D(18)xF3,F4 war der Korrelationskoeffizient sehr hoch. Die Testkreuzungen unterschieden sich aber nicht signifikant in der Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand.

Die Ergebnisse dieser Datensätze zeigen, dass die Variation im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten der Ganzpflanze nahezu vollständig durch die Restpflanze bestimmt wurde. Die Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze wurde ebenfalls sehr stark durch die Restpflanze beeinflusst. Die Verdaulichkeit der Ganzpflanze hing jedoch kaum von der Verdaulichkeit der Restpflanze ab. Für den Rohfaser- und Rohproteingehalt schien eine Abhängigkeit vom genetischen Material zu bestehen. Es gab Unterschiede sowohl in der Höhe als auch im Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten.

## 4 Diskussion

### 4.1 Allgemeines zu den ausgewerteten Prüfungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Gruppen von Flint- und Dent-Linien in jeweils einem Jahr an je drei klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland angebaut. Die Restpflanzen wurden an zwei Terminen im Abstand von etwa zehn bis vierzehn Tagen geerntet und der Ertrag und TS-Gehalt von Kolben und Restpflanze erfasst. Die Linien wurden zusätzlich auf ihre Testkreuzungsleistung mit einem bzw. zwei Testern je Liniengruppe geprüft. An den Testkreuzungen wurden die Ertragsdaten von Kolben, Rest- und Ganzpflanze bestimmt. Die Qualitätsmerkmale der Linien- und Testkreuzungsrestpflanze sowie der Testkreuzungsganzpflanze wurden mit NIRS gemessen.

In den ausgewerteten Datensätzen lag für die meisten agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale signifikante genotypische Varianz vor. Der Anteil der genotypischen an der phänotypischen Varianz war besonders in den Linienprüfungen im Vergleich zu den übrigen Varianzursachen sehr hoch. Die genotypische Varianz war für die entsprechenden Merkmale in den Linien höher als in den Testkreuzungen, was mit Überlegungen von WRICKE & WEBER (1986) übereinstimmt. Auch SEITZ *et al.* (1992) und DOLSTRA *et al.* (1993) bestätigten für Restpflanzenqualitätsmerkmale die Erwartung einer größeren genetischen Variation in den Linien als in den Testkreuzungen. MECHIN *et al.* (2001) hatten an Qualitätsmerkmalen von Linienganzpflanzen bei gleicher Fehlervarianz eine höhere genetische Varianz als in den Testkreuzungen festgestellt. In den Testkreuzungen wird durch den gemeinsamen Tester die genetische Variation, die zwischen den Linien vorhanden ist, erheblich reduziert (HALLAUER & MIRANDA 1981).

Signifikante Linie  $\times$  Ort-Interaktionen lagen in den Linienprüfungen für die meisten Merkmale vor. Diese hatten aber ebenso wie die anderen Varianzkomponenten keine große Relevanz für die Gesamtvarianz, so dass zur Bewertung der Restpflanzenqualität von Linien eine geringe Zahl von Umwelten ausreichend zu sein scheint. LUNDVALL *et al.* (1994) und JUNG *et al.* (1998a) werteten dieselben Versuche mit Linienrestpflanzen für verschiedene Qualitätsmerkmale aus. Aufgrund von signifikanten Linie  $\times$  Jahr-Interaktionseffekten rieten sie zur Prüfung in mehreren Umwelten. Die von ihnen beobachteten Interaktionseffekte waren zwar signifikant, die Interaktionsvarianz jedoch deutlich kleiner als die Linienvarianz. Auch GURRATH *et al.* (1991) wiesen im Hinblick auf die Selektion auf Ertragskomponenten und Verdaulichkeit

auf die teilweise maskierenden Effekte von Genotyp  $\times$  Umwelt-Wechselwirkungen hin. DOLSTRA & MEDEMA (1990), ARGILLIER *et al.* (2000) und MÉCHIN *et al.* (2001) kamen zu dem Ergebnis, dass die Zellwandverdaulichkeit der Linien vor allem genetisch festgelegt und nur unbedeutend durch Linie  $\times$  Umwelt-Wechselwirkungen beeinflusst ist. Diese Beobachtungen stützen die Ergebnisse in den ausgewerteten Datensätzen, in denen vor allem für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale keine relevanten Wechselwirkungen auftraten.

In den Testkreuzungsprüfungen trug die Wechselwirkung mit dem Ort besonders für die Qualitätsmerkmale mehr zur phänotypischen Varianz bei. Zur Bewertung müssen daher Umwelteffekte bzw. Interaktionen zwischen Hybride und Umwelt beachtet werden. Dies stimmt mit Ergebnissen von ARGILLIER *et al.* (1995b) überein. In ihren Experimenten war die GCA-Varianz nur wenig größer als die GCA  $\times$  Umwelt-Interaktionsvarianz. Im Gegensatz dazu hatte HEPTING (1988c) für Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze keine Wechselwirkungen zwischen Sorte und Ort bzw. Sorte und Jahr feststellen können. Für die Verdaulichkeit der Restpflanze bestimmte er jedoch eine signifikante Interaktion zwischen Sorte und Ort, deren Bedeutung in Abhängigkeit vom getesteten Material schwankte (HEPTING 1988b). BARRIÈRE *et al.* (1993) und ARGILLIER *et al.* (2000) fanden zumeist signifikante GCA  $\times$  Umwelt- und SCA  $\times$  Umwelt-Interaktionsvarianzen für Qualitätsmerkmale von Hybridganzpflanzen. Auch bei diesen Autoren waren sie im Vergleich zur GCA-Varianz jedoch nur von geringer Wichtigkeit. Entsprechende Verhältnisse für Verdaulichkeitsmerkmale und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale von Rest- und Ganzpflanzen und geringe Genotyp  $\times$  Umwelt-Wechselwirkungen wurde auch von DHILLON *et al.* (1990b), GEIGER *et al.* (1992) oder ARGILLIER *et al.* (1997, 1998a,b) dokumentiert. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von ARGILLIER *et al.* (1998b) wurde in den ausgewerteten Datensätzen ein größeres Verhältnis zwischen der genotypischen Varianz und der Genotyp-Umwelt-Varianz für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale gegenüber den Verdaulichkeitsmerkmalen berechnet. Wie in der vorliegenden Arbeit für die Verdaulichkeit der NDF festgestellt, wurde auch von DEINUM & BAKKER (1981) und DOLSTRA & MEDEMA (1990) berichtet, dass die Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze vor allem genetisch festgelegt und kaum durch Interaktionseffekte beeinflusst ist.

Vor allem in den Datensätzen F(20)xD2,D3, D(26)xF1,F2 und D(18)xF3,F4 wurden hohe Fehlervarianzen für die Mehrzahl der Qualitätsmerkmale ermittelt, die möglicherweise eine maskierende Wirkung für genotypische Unterschiede hatten. In F(20)xD2,D3 war die Fehlervarianz für den Stärkegehalt neunmal höher als die genotypische Varianz. Auch MÉCHIN *et al.* (2001) fanden vergleichsweise hohe Interaktions- und Fehlervarianzen für den Stärkegehalt und ARGILLIER *et al.* (1998a,b) bestimmten für dieses Merkmal die höchste Residualvarianz.

Bei den agronomischen Merkmalen war die Fehlervarianz beim Merkmal geernteter Ganzpflanzentrockenmasseertrag teilweise sehr hoch. Möglicherweise steht der bedeutende Anteil der Fehlervarianz für die Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze im Zusammenhang mit dem höheren Fehler, der für den geernteten Ganzpflanzenertrag im Vergleich zum berechneten festgestellt wurde. Falls es Fehler oder Ungenauigkeiten bei der Ertragsermittlung auf dem Häcksler und besonders bei der Probeentnahme zur TS- und Qualitätsbestimmung gab, so spiegeln sich diese in den Daten der Qualitätsbewertung der Ganzpflanze wider. Bei der Betrachtung der Ortsmittelwerte der einzelnen Experimente zeigte sich beispielsweise, dass der Ort mit dem höchsten Trockenkolbenanteil nicht zwingend auch am meisten Stärke in der Ganzpflanze enthielt. Diese Merkmale sind normalerweise sehr hoch korreliert. Die phänotypischen Korrelationskoeffizienten an den einzelnen Orten lagen jedoch in der Mehrzahl der Experimente nur im mittleren Bereich (Daten nicht gezeigt). Eine vergleichsweise niedrige Korrelation zwischen Trockenkolbenanteil und Stärkegehalt kann möglicherweise auch durch Unterschiede im Spindelanteil bedingt sein. HEPTING (1998a) wies auf signifikante genotypische Variation im Spindelanteil hin. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Spindelanteil nur in den Experimenten DF\_(100)\_I und DF\_(100)\_II für den Standort Grucking bestimmt. Es wurden signifikante genotypische Unterschiede zwischen den Hybriden nachgewiesen. Der Spindelanteil lag in DF\_(100)\_I zwischen 8,8 und 17,5 % der Kolbentrockenmasse und in DF\_(100)\_II zwischen 5,9 und 23,2 %. DEGENHARDT (1996), der die Genauigkeit verschiedener Probeentnahmesysteme untersuchte, gab zu bedenken, dass sich Fehler bei der Probeentnahme vor allem in der Nährstoffanalyse und hier besonders im Stärkegehalt der Ganzpflanze und weniger im Trockensubstanzgehalt zeigen. Diese Feststellung kann durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden. Die phänotypischen Korrelationskoeffizienten zwischen den zwei Merkmalen für den Ganzpflanzen-TS-Gehalt waren in allen Experimenten an den einzelnen Orten bis auf FxD\_(100) in Bernburg sehr hoch.

DEGENHARDT (1996) hatte im Rahmen seiner Untersuchungen drei verschiedene Maissorten zu einem relativ frühen Reifezeitpunkt geerntet (Restpflanzen-TS-Gehalt 20,7 bis 25,1 %, Ganzpflanzen-TS-Gehalt 22,2 bis 29,8 %), der in der Praxis in der Regel überschritten wird. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse scheint es erforderlich zu sein, den Einfluss des Ernteverfahrens bei praxisrelevanten TS-Gehalten noch einmal zu überprüfen. Die anschließende Qualitätsanalyse, die heute fast ausschließlich mit NIRS erfolgt, kann keine verlässlichen Daten liefern, wenn die Stichprobe den Genotyp nicht genau repräsentiert.

## 4.2 Vergleich der Linieneigenleistung mit der Testkreuzungsleistung

Bei der züchterischen Entwicklung von Silomaishybriden kann durch die Vorselektion auf Linieneigenleistung der Aufwand von Testkreuzungsprüfungen reduziert werden. Dafür sind jedoch bei gleicher Selektionsintensität hohe Heritabilitätskoeffizienten und eine enge genetische Korrelation zwischen Auslesemerkmal und Zielmerkmal erforderlich (FALCONER & MACKAY 1996). Zahlreiche Untersuchungen über die Beziehung zwischen Linien- und Hybritleistung liegen für agronomische Merkmale vor (Übersicht z.B. bei SEITZ 1989). Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stand jedoch die Vererbung von Qualitätsmerkmalen der Restpflanze. Dieses Gebiet der Silomaiszüchtung wurde bisher kaum bearbeitet. Untersuchungen zu Restpflanzeigenschaften, die denen in der vorliegenden Arbeit teilweise entsprachen, wurden von SCHMIDT (1986), ZIMMER & WERMKE (1986), SEITZ (1989), DOLSTRA & MEDEMA (1990), GURRATH (1991), DOLSTRA *et al.* (1993) oder MARVIN *et al.* (1995) veröffentlicht.

### 4.2.1 Heritabilität

Die große Bedeutung der genotypischen Varianz und der geringe Einfluss von Interaktionen führte für die Linien *per se*, wie bei DOLSTRA & MEDEMA (1990) und MARVIN *et al.* (1995) für Restpflanzenmerkmale oder BARRIÈRE *et al.* (2001) für Ganzpflanzenmerkmale beschrieben, zu hohen bis sehr hohen Schätzwerten für die Heritabilität. Nur für den NDF-Gehalt bestimmten MARVIN *et al.* (1995) eine etwas niedrigere Wiederholbarkeit. DOLSTRA & MEDEMA (1990) schätzten an einem kleinen Datensatz für den Zellwandgehalt von Stängeln einen Wert von 0,87. SEITZ *et al.* (1992) hatten für den Rohproteingehalt der Restpflanze von Flint- und Dent-Linien ähnliche Koeffizienten wie in den vorliegenden Prüfungen ermittelt.

In den Testkreuzungsdatensätzen war die Bedeutung der Interaktionsvarianzen und der Fehlervarianz auf die Merkmalsausprägung der Restpflanzen im Vergleich zur genotypischen Varianz teilweise deutlich größer als in den Linien *per se*-Prüfungen. Dieses spiegelte sich in niedrigeren Schätzwerten für die Heritabilität wider. Für die Zellulase- und Pansensaftverdaulichkeit lagen die Schätzwerte im mittleren bis hohen Bereich und waren mit denen vergleichbar, die DOLSTRA & MEDEMA (1990) und DOLSTRA *et al.* (1993) für die *in vitro*-Verdaulichkeit von Maisstängeln bestimmt hatten. Sehr hohe Werte wurden für die Verdaulichkeit der Restpflanze von SCHMIDT (1986), ZIMMER & WERMKE (1986) und GURRATH (1991)

mitgeteilt. Für die Merkmale der Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze wurden in der vorliegenden Arbeit mittlere bis sehr hohe Werte geschätzt, vergleichsweise niedrig waren sie in D(46)xF3 und D(18)xF3,F4. In D(46)xF3 sind alle 18 Linien enthalten, die auch in D(18)xF3,F4 mit dem Tester F3 geprüft wurden. Die hohen Schätzwerte, die für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale auftraten, welche auf der Pansensaftmethode beruhen, entsprachen den von DOLSTRA & MEDEMA (1990) und DOLSTRA *et al.* (1993) berechneten. Deren Bestimmung der Zellwandverdaulichkeit basierte ebenfalls auf der Methode von TILLEY & TERRY (1963).

Für die Zellwandmerkmale Rohfaser und NDF und die Zellinhaltsstoffe der Restpflanze ließen sich in allen Testkreuzungsprüfungen mittlere, teilweise auch hohe Heritabilitätskoeffizienten feststellen. Hohe Werte wurden auch von ZIMMER & WERMKE (1986) für den Zellwandgehalt ( $h^2 = 0,81$ ) und SCHMIDT (1986) für den Rohproteingehalt ( $h^2 = 0,76$ ) berechnet. Eine weitere Studie zur Vererbung der Restpflanzenqualität wurde von ALMIRALL *et al.* (1996) durchgeführt. Sie beobachteten aber sowohl an Linien als auch an Hybriden nur einen vergleichsweise geringen Anteil der genotypischen Varianz an der Gesamtvarianz und führten die niedrigen Heritabilitätskoeffizienten auf die hohe Umweltvarianz in den ausgewerteten Experimenten zurück.

#### 4.2.2 Allgemeine und Spezifische Kombinationsfähigkeit

Da in der vorliegenden Arbeit höchstens zwei Tester je Liniengruppe geprüft wurden, kann nur eine tendenzielle Aussage zur Bedeutung der Allgemeinen und der Spezifischen Kombinationsfähigkeit (GCA, SCA) gemacht werden. Andererseits umfasste die Auswertung drei weitgehend unabhängige Datensätze (F(20)xD2,D3, D(26)xF1,F2 und D(18)xF3,F4).

Im Gegensatz zu den Ertragsmerkmalen, bei denen häufig die SCA den größten Teil zur genotypischen Varianz beiträgt (DHILLON *et al.* 1990a), wurde vor allem für Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze gezeigt, dass die GCA-Varianz die Gesamtvarianz stärker beeinflusste als die SCA-Varianz (GEIGER *et al.* 1986, DHILLON *et al.* 1990b, BARRIÈRE *et al.* 1993, ARGILLIER *et al.* 1995a, 2000). BARRIÈRE *et al.* (1997b) kamen zu dem Ergebnis, dass die Allgemeine Kombinationsfähigkeit für die Verdaulichkeit der Ganzpflanze, Restpflanze oder der Zellwand oft wichtiger ist als die Spezifische Kombinationsfähigkeit.

Besonders für den Kolben- und Ganzpflanzenertrag waren in den ausgewerteten Datensätzen Linien- oder Testereffekte nur von niedriger Relevanz. Die Interaktion zwischen Linie und Tester war die wichtigste Varianzursache (HALLAUER & MIRANDA 1981). Die Abreife von Kolben, Rest- und Ganzpflanze war indessen wenig durch SCA-Effekte beeinflusst. Auf die große Bedeutung der allgemeinen Kombinationsfähigkeit für die Trockensubstanzmerkmale wurde auch von GEIGER *et al.* (1986) und SEITZ *et al.* (1992) hingewiesen.

Durch die vorliegende Arbeit wird die Annahme bestätigt, dass vor allem additiv-genetische Effekte für die Variation der Qualitätsmerkmale von Silomais von Bedeutung sind. Bei der Mehrzahl der geprüften Eigenschaften der Rest- und Ganzpflanze traten keine signifikanten Interaktionen zwischen Linie und Tester auf.

#### 4.2.3 Korrelationen zwischen Linieneigenleistung und Testkreuzungsleistung

Für eine erfolgreiche indirekte Selektion ist neben möglichst hohen Heritabilitätskoeffizienten eine ausreichend enge genetische Korrelation zwischen dem direkten und indirekten Merkmal erforderlich. Für die Verdaulichkeitsmerkmale der Restpflanze wurden zumeist mittlere bis hohe Koeffizienten der Korrelation zwischen der Leistung der Linien *per se* und ihrer Testkreuzungen bestimmt, so dass die Ergebnisse von GURRATH (1991) und WOLF *et al.* (1993a) bestätigt werden konnten. Die Höhe der Korrelationskoeffizienten ist nicht unerwartet, da die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigten, dass diese Merkmale eine hohe Heritabilität besitzen und nicht genetische Effekte nur von untergeordneter Bedeutung waren. In Untersuchungen zur Vererbung der Ganzpflanzenverdaulichkeit von Linien und Hybriden berechneten ROUSSEL *et al.* (2002) einen phänotypischen Korrelationskoeffizienten von 0,63 und MÉCHIN *et al.* (2001) von 0,34 ( $P = 0,01$ ). Die vergleichsweise geringen Korrelationskoeffizienten für die Ganzpflanzenverdaulichkeit lassen sich vermutlich darauf zurückführen, dass dieses Merkmal auch vom Kolbenanteil beeinflusst wird, dessen Variation in größerem Maß SCA-Effekten unterliegt.

In verschiedenen französischen Studien, in denen die Zellwandverdaulichkeit nach der Gleichung von ARGILLIER *et al.* (1995a) berechnet wurde, konnten hohe bis sehr hohe Korrelationen zwischen der Linieneigen- und der Testkreuzungsleistung festgestellt werden (ARGILLIER *et al.* 1995a, 2000, BARRIÈRE & ÉMILE 2000, MÉCHIN *et al.* 2001, ROUSSEL *et al.* 2002). An Restpflanzenmaterial wurden in älteren Untersuchungen ebenfalls enge Korrelationen zwi-

schen der Eigen- und Testkreuzungsleistung von Linien gefunden (DOLSTRA *et al.* 1993, WOLF *et al.* 1993a). Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Korrelationskoeffizienten waren außer im Datensatz F(20)xD2,D3, in dem sie geringer waren, etwa so hoch wie in den genannten Publikationen. 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.

Die Gehalte der Restpflanze an Zellinhaltsstoffen und NDF bzw. Rohfaser der Linien wurden nur wenig in den Testkreuzungen reflektiert. Aufgrund der Verlagerung von Zellinhaltsstoffen aus der Restpflanze in die sich entwickelnden Körner wird der Anteil der Zellinhaltsstoffe durch die Kolbenfraktion beeinflusst, dessen Größe bei den Kreuzungen nicht anhand der Linienleistung vorhergesagt werden kann. Außerdem wird beispielsweise der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und in der Folge der relative Anteil der übrigen Komponenten auch von den aktuellen Witterungsbedingungen zur Erntezeit beeinflusst. Über eine deutliche Variation im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten im Tagesverlauf, die in den Blättern wesentlich deutlicher war als in den Stängeln, berichteten beispielsweise DYWER *et al.* (1995). ARGILLIER *et al.* (1995a) konnten für den Gehalt an Stärke und wasserlöslichen Kohlenhydraten reifekorrigiert etwa ein Drittel der Variation der GCA-Leistung durch die Variation der Linien *per se* erklären. WOLF *et al.* (1993a) und ROUSSEL *et al.* (2002) bestimmten nur mittlere phänotypische Koeffizienten der Korrelation zwischen Linien- und Testkreuzungsleistung für den NDF-Gehalt der Restpflanze bzw. der Ganzpflanze. SEITZ (1989) und GURRATH (1991) fanden eine enge Korrelation zwischen Linien- und Hybriden für den Rohproteingehalt der Restpflanze.

#### 4.2.4 Erwarteter indirekter und direkter Selektionserfolg

Im Rahmen dieser Arbeit sollte nicht nur die generelle Beziehung zwischen Linien *per se* und Testkreuzungsleistung im Hinblick auf die Qualität der Restpflanze untersucht werden. Es sollte auch beantwortet werden, ob eine effektive Selektion auf Restpflanzenqualität an den Linien bereits zu einem Termin vor der normalen Silomaisreife möglich ist, um so eine der Arbeitsspitzen in der praktischen Maiszüchtung beseitigen zu können.

Im Mittel der drei Orte waren die Unterschiede im Trockensubstanzgehalt der Linienrestpflanze zwischen den zwei Ernteterminen gering. Die Kolben zeigten jedoch noch eine deutliche Reifezunahme. Die Restpflanzenqualität stand vor allem 2000 in keinem relevanten Zusammenhang zum Trockensubstanzgehalt der Restpflanze (s. Tab. 3.12). Auch eine Zunahme im Kolbenanteil schien keine Bedeutung für die Qualität der Restpflanze zu haben. Die Korrelationen zwischen dem Trockenkolbenanteil und Qualitätsmerkmalen der Restpflanze waren zumeist gering (s. Tab. 3.14).

Die Varianz der Interaktion zwischen Linie und Termin war im Vergleich zur genotypischen Varianz bedeutungslos und etwa so groß wie die Linie  $\times$  Ort-Interaktionsvarianz. Die geringe Relevanz der Linie  $\times$  Termin-Wechselwirkung im Vergleich zur genotypischen Varianz ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Selektion auf die Qualität zur Siloreife zu einem Termin vor der eigentlichen Siloreife.

In der Tabelle 4.1 ist für die Datensätze, in denen Linien mit einem Tester geprüft wurden, das Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten Selektion an den Linien am ersten bzw. zweiten Erntetermin und dem der direkten Selektion an Testkreuzungen für die Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmale dargestellt. Für die übrigen Qualitätsmerkmale der Restpflanze, Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und Rohprotein sowie Rohfaser- und NDF-Gehalt, ist eine Selektion an den Linien *per se* zu keinem Zeitpunkt erfolgversprechend. Die Heritabilitätskoeffizienten waren in den Prüfungen der Linien zwar hoch, aber wie bereits erläutert, bestanden nur niedrige bis mittlere genetische Korrelationen zwischen Linieneigen- und Testkreuzungsleistung. Die Werte für das Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten gegenüber der direkten Selektion lagen für diese Merkmale zwischen 0,3 und 0,7, für den Rohproteingehalt waren sie vereinzelt auch höher. In Datensatz D(46) $\times$ F3 hätte zum ersten Erntezeitpunkt an den Linien erfolgreich auf eine Steigerung des Rohproteingehalts in der Restpflanze selektiert werden können (Verhältnis 1,19). Es wurde bei den Berechnungen davon ausgegangen, dass die Selektionsintensität in beiden Prüfverfahren (Eigen- vs. Testkreuzungsleistung) gleich ist.

**Tab. 4.1:** Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten Selektion an den Linien *per se* der **Datensätze F(65)** sowie **D(43)** und **D(46)** am ersten (Z1) und zweiten (Z2) Erntetermin und dem Erfolg der direkten Selektion an Testkreuzungen in den **Datensätzen F(65)xD1** (1999) sowie **D(43)xF1** (2000) und **D(46)xF3** (2000) auf ausgewählte Qualitätseigenschaften der Restpflanze

Merkmal <sup>†</sup>	F(65) × F(65)xD1		D(43) × D(43)xF1		D(46) × D(46)xF3	
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z1	Z2
ELOSR	0,56	0,51	0,58	0,68	0,85	0,84
IVOMR	0,93	0,77	0,90	0,91	0,98	0,91
DINAR	0,70	0,84	0,79	0,84	1,34	1,35
DINIR	0,94	0,92	1,03	1,02	1,11	1,07
DNDFR	1,03	1,02	1,00	1,02	1,01	1,07

<sup>†</sup> Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

Aus der Tabelle 4.1 ist ersichtlich, dass der erwartete Erfolg der Selektion auf eine höhere Restpflanzenverdaulichkeit an den Testkreuzungen größer war. Vor allem zu schwache Korrelationen zwischen der Linieneigen- und Testkreuzungsleistung begründeten den Nachteil der indirekten Selektion gegenüber der direkten. Die berechneten Relationen lagen für die Pansensaftverdaulichkeit zwar nahe eins, für die Zellulaseverdaulichkeit jedoch deutlich unter dieser Schwelle. Die Koeffizienten der Korrelation zwischen der Linien- und Testkreuzungsleistung waren für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale höher. Auch die Heritabilitätskoeffizienten lagen zumeist über denen für die Zellulaseverdaulichkeit. Da das Verhältnis für die Pansensaftverdaulichkeit fast den Wert von eins erreichte, sollte es für dieses Verdaulichkeitsmerkmal möglich sein, anhand der Linieneigenleistung eine effektive Vorselektion durchzuführen und so die Anzahl von Testkreuzungsprüfungen einzuschränken.

Die Selektion an den Linien *per se* wäre der direkten Selektion nur für die Verdaulichkeit der NDF in allen Datensätzen eindeutig überlegen. Für alle anderen Verdaulichkeitsmerkmale ergaben sich Nachteile für die indirekte Selektion oder widersprüchliche Befunde. Allerdings lag das Verhältnis zwischen dem Vorteil der indirekten und der direkten Selektion zumeist über 0,8. In den Datensätzen mit jeweils zwei Testkreuzungsgruppen, die jeweils einen Teil

der Linien mit denen in den 1-Tester-Datensätzen gemein hatten, zeigten sich entsprechende Resultate (Daten nicht gezeigt).

Der Vorteil der Selektion auf eine höhere Zellwandverdaulichkeit anhand der Verdaulichkeit der NDF beruht unter Umständen darauf, dass mit den berechneten Merkmalen der Verdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion die Variation in der Zellwandverdaulichkeit nicht so genau geschätzt werden kann wie mit der Verdaulichkeit der NDF, die direkt mittels NIRS bestimmt wird. Dieses trifft vor allem auf die Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand zu, weniger auf die Pansensaftverdaulichkeit, deren züchterische Parameter ( $h^2$ ,  $r_g$ ) denen der Verdaulichkeit der NDF sehr ähnlich waren. Die genannten Ergebnisse bestätigen unter anderem die Befunde von DOLSTRA *et al.* (1993), wonach nur die Verdaulichkeit der Stängelzellwand an den Linien selektiert werden sollte. JUNG & BUXTON (1994) und MÉCHIN *et al.* (2001) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass eine Selektion auf Zellwandverdaulichkeit anhand der Linieneigenleistung aussichtsreich sei. Für dieses Merkmal besteht eine breite genetische Variation. MÉCHIN *et al.* (1998, 2000) konnten Linien identifizieren, die in ihrer Zellwandverdaulichkeit *bm3*-Linien entsprachen.

Die indirekte Selektion auf eine höhere Zellwandverdaulichkeit ist bereits zum ersten Erntetermin erfolgsversprechend. Dies stimmt mit Beobachtungen von ARGILLIER *et al.* (1995a) überein, die keine Beeinflussung der Verdaulichkeit der nicht-Stärke- und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydratfraktion durch die Abreife beobachtet hatten. DOLSTRA & MEDEMA (1990) wiesen darauf hin, dass sich die Zellwandverdaulichkeit ab vierzig Tagen nach der Blüte nicht mehr entscheidend verändert. Auch DEINUM & STRUIK (1986) sowie ARGILLIER & BARRIÈRE (1996b) hatten hervorgehoben, dass die Zellwandverdaulichkeit wenig vom physiologischen Stadium der Pflanze abhängig sei. CONE & ENGELS (1993) beobachteten im Juli und August einen deutlichen Rückgang in der Verdaulichkeit der Zellwand, danach aber nur noch geringe Veränderungen. Parallel zur Veränderung der Zellwandverdaulichkeit verlief auch die Zunahme im Ligningehalt. Zur Ernte konnten sie feststellen, dass bei gegebenem Genotyp ein höherer Ligningehalt mit einer Abnahme in der Verdaulichkeit verbunden ist. Bei dem Vergleich von verschiedenen Genotypen fanden sie in Übereinstimmung mit JUNG & BUXTON (1994) sowie BARRIÈRE *et al.* (2003) jedoch keinen linearen Zusammenhang zwischen dem Ligningehalt und der Zellwandverdaulichkeit. Die Verdaulichkeit der Zellwand scheint vor allem von der Struktur und Zusammensetzung des Lignins abzuhängen (GRABBER *et al.* 1997, MÉCHIN *et al.* 1998, BARRIÈRE *et al.* 2003).

Von einer weiteren Vorverlegung der Selektion auf Zellwandverdaulichkeit etwa schon zur Blüte ist jedoch aufgrund danach stattfindender Umlagerungsprozesse in der Pflanze und des noch nicht abgeschlossenen Aufbaus der Zellwandstrukturen abzuraten (DOLSTRA & MEDEMA 1990, CONE & ENGELS 1993). LUNDVALL *et al.* (1994) untersuchten die Verdaulichkeit von Maisstängeln und zeigten, dass Linien mit guter Restpflanzenqualität zur Blüte nicht unbedingt auch zur physiologischen Reife überlegen sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der erwartete Erfolg der indirekten Selektion auf ein Verdaulichkeitsmerkmal in den ausgewerteten Datensätzen erwartungsgemäß wenig vom Erntezeitpunkt abhing, da die Wechselwirkung zwischen Linie und Erntetermin für die Verdaulichkeitsmerkmale nicht relevant war. Der erwartete Erfolg wurde mehr vom geprüften genetischen Material bestimmt. Bei gleicher Selektionsintensität in den Linien- und Testkreuzungsprüfungen hätte nur die Verdaulichkeit der NDF von Testkreuzungen in allen Datensätzen erfolgreich anhand der Linienleistung vorhergesagt werden können. Die vorliegenden Daten und die genannte Literatur weisen darauf hin, dass die Festlegung dieses Merkmals sehr stark additiv-genetisch bedingt ist. Bei der Entwicklung von Hybriden kann in den Linienprüfungen eine höhere Selektionsintensität realisiert werden als in den Testkreuzungsprüfungen, so dass auch für die übrigen Zellwandverdaulichkeitsmerkmale und die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze die Selektion an den Linien durchgeführt werden sollte. Die Wahl der Referenzmethode zur Bestimmung der Verdaulichkeit hatte teilweise einen deutlichen Einfluss auf den erwarteten Selektionserfolg. Auf mögliche Gründe für die Unterschiede zwischen den Referenzmethoden wird in Abschnitt 4.5 eingegangen.

### 4.3 Korrelationen zwischen Qualitätsmerkmalen der Rest- und Ganzpflanze

Nach Ansicht von WOLF *et al.* (1993b) kann die Restpflanze den Futterwert der Ganzpflanze entscheidend beeinflussen. Hohe Kornanteile können durch eine relativ schlechte Verdaulichkeit der Restpflanze in der Ganzpflanzenqualität überdeckt werden. Auch HEPTING (1988c), HERTER *et al.* (1996a) oder MEISSER & WYSS (1998) kamen zu dem Ergebnis, dass die Verdaulichkeit der Restpflanze die Verdaulichkeit und den Energiegehalt der Ganzpflanze wesentlich mitbestimmen kann.

Die Variation war in der Restpflanze der Testkreuzungen in den entsprechenden Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen im Allgemeinen deutlich größer als in der Ganzpflanze. VATTIKONDA & HUNTER (1983) und WOLF *et al.* (1993a) bestimmten ebenfalls eine geringere Variation in der Ganzpflanzen- als in der Restpflanzenverdaulichkeit. 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. HEPTING (1988a) dokumentierte außerdem Sortenunterschiede in der *in vitro*-Verdaulichkeit des Kolbens. Die Selektion auf Ganzpflanzenniveau ist daher ungünstig, da nicht abgeschätzt werden kann, welche Pflanzenzusammensetzung zur beobachteten Qualität geführt hat (WEIBBACH 1993). Aus Sicht der Tierernährung ist der Anteil der einzelnen Fraktionen jedoch nicht unwichtig. Es wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass Silomais mit gleicher Verdaulichkeit in der Ganzpflanze nicht unbedingt auch zur gleichen Leistung führen müsse. WEIBBACH (2003) wies darauf hin, dass die umsetzbare Energie der Stärke wesentlich besser verwertet wird als die der verdaulichen Zellwandsubstanzen oder des Zuckers. BARRIERE & ÈMILE (1990) sowie BARRIERE *et al.* (1994) führten Abweichungen in der tierischen Leistung bei gleicher Ganzpflanzenverdaulichkeit hingegen vor allem auf Unterschiede in der Zellwandabbaubarkeit zurück.

In den Datensätzen F(65)xD1, D(43)xF1 sowie D(46)xF3 war der Anteil der Variation in der Ganzpflanzenverdaulichkeit, der durch die Variation in der Verdaulichkeit der Restpflanze erklärt werden konnte, wie in der Studie von CHERNEY *et al.* (1996), sehr gering. Eine gut verdauliche Restpflanze war in einem Datensatz Bestandteil einer hoch verdaulichen, in einem anderen Datensatz aber Bestandteil einer schlecht verdaulichen Ganzpflanze. Vor allem in älteren Arbeiten war hingegen ein bedeutender Einfluss der Rest- auf die Ganzpflanzenverdaulichkeit von Hybriden festgestellt worden (DEINUM & BAKKER, 1981, VATTIKONDA &

HUNTER 1983). 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. Bereits ALBRECHT *et al.* (1986) und RUSSELL (1986) hatten darauf hingewiesen, dass die Mobilisierung und Translokation von gut verdaulichen Nichtstruktur-Kohlenhydraten aus dem Stängel in den sich entwickelnden Kolben zu einem Absinken der Restpflanzen- und einem Anstieg der Ganzpflanzenverdaulichkeit führen würden.

Ein hoher Trockenkolbenanteil verbunden mit einer geringen Restpflanzenqualität zeigte sich im Datensatz D(43)xF1. In dieser Prüfung waren die Rest- und Ganzpflanzenqualität negativ korreliert. Im Datensatz D(46)xF3 waren die Koeffizienten der genotypischen Korrelation ( $r_g = 0,6$  und  $0,5$ ) zwischen Trockenkolbenanteil und Ganzpflanzenverdaulichkeit gegenüber den anderen Datensätzen ( $r_g \approx 0,8$ ) vergleichsweise niedrig. Eine schwache negative Korrelation zwischen Kolbenanteil und Restpflanzenverdaulichkeit war mit einer mittleren, signifikant positiven zwischen Rest- und Ganzpflanzenverdaulichkeit verknüpft. Unabhängige Variation sowohl zwischen Trockenkolbenanteil und Restpflanzenqualität als auch zwischen Rest- und Ganzpflanzenverdaulichkeit trat hingegen im Datensatz F(65)xD1 auf.

Eine Verbesserung der Ganzpflanzenverdaulichkeit erfolgte tendenziell entweder auf Kosten der Restpflanzenverdaulichkeit oder des Kolben- bzw. Stärkeanteils. Allerdings war die Korrelation zwischen Restpflanzenverdaulichkeit und Kolbenanteil nur in D(43)xF1 bedeutend, in den anderen Datensätzen konnte sie vernachlässigt werden. Es waren Genotypen vorhanden, die eine hohe Ganzpflanzenverdaulichkeit sowohl durch eine gute Kolbenleistung als auch durch eine überdurchschnittliche Restpflanzenverdaulichkeit erreichten. Wie in den Untersuchungen von HEIN *et al.* (1996) ist die negative Korrelation zwischen Restpflanzenverdaulichkeit und Kolbenanteil nicht so eng, dass sie einer gleichzeitigen Verbesserung beider futterwertrelevanten Merkmale entgegenstände.

Die Restpflanzenverdaulichkeit hängt besonders von der Verdaulichkeit der Zellwand ab, die den größten Anteil der Restpflanzentrockenmasse bildet. Die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen der Zellwandverdaulichkeit und der Restpflanzenverdaulichkeit lagen in der vorliegenden Untersuchung zwischen  $0,79$  und  $0,94$ . Die Zellwandverdaulichkeit limitiert die mögliche Nutzung der hoch verdaulichen Zellinhaltsstoffe. Im Gegensatz zur Verdaulichkeit wurde, wie auch bei WOLF *et al.* (1993a) dokumentiert, für die Zellwandverdaulichkeit eine enge Korrelation zwischen Rest- und Ganzpflanze festgestellt. 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.

In Bezug auf den Rohfaser- und NDF-Gehalt sowie die quantitativ wichtigsten Zellinhaltsstoffe, wasserlösliche Kohlenhydrate und Rohprotein, reflektierte die Ganzpflanze die Variabilität in der Restpflanze in unterschiedlichem Ausmaß. Es traten tendenziell Unterschiede zwischen den F×D- und D×F-Datensätzen auf. Ob diese Abweichungen zwischen den F×D- und D×F-Testkreuzungen zufällig oder allgemein gültig sind, kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht beantwortet werden. Es wären dazu weitere Prüfungen erforderlich, in denen entsprechendes genetisches Material unter gleichen Bedingungen untersucht werden müsste.

Wie in den Versuchen von WOLF *et al.* (1993a) und CHERNEY *et al.* (1996) für den NDF-Gehalt bestand für den Rohfasergehalt kaum ein Zusammenhang zwischen der Variation in der Rest- und Ganzpflanze. Die Variation im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Ganzpflanze war in allen Datensätzen hingegen nahezu vollständig durch die Variation in der Restpflanze erklärbar, von wo sie in den Kolben verlagert und dort zu Stärke umgebaut werden. Da der Zusammenhang zwischen dem Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und dem Trockenkolbenanteil ebenfalls sehr deutlich war, ist es nicht überraschend, dass Genotypen mit einem hohen Zuckergehalt in der Restpflanze auch einen entsprechend hohen Gehalt in der Ganzpflanze hatten. Es war kein weiterer bedeutender Faktor vorhanden, der zu Interaktionen und zur Verringerung der Korrelation führen konnte.

Silomais ist eine sehr eiweißarme Futterpflanze, in der Protein überwiegend in den Körnern gespeichert ist, so dass in der praktischen Tierernährung eine Ergänzung durch eiweißreiche Futtermittel erforderlich ist. BARRIÈRE *et al.* (1997a) sowie MÉCHIN *et al.* (2001) hatten auf die geringe genetische Variation im Rohproteingehalt der Ganzpflanze hingewiesen. Zudem ließen niedrige Heritabilitätskoeffizienten die Aussicht auf eine Steigerung des Rohproteinanteils in der Ganzpflanze gering erscheinen. Signifikante genetische Variation, geringe Bedeutung von Interaktionseffekten und mittlere bis hohe Heritabilitätskoeffizienten wurden in der

vorliegenden Arbeit sowohl in der Rest- als auch der Ganzpflanze für den Rohproteingehalt bestimmt. In den F×D-Datensätzen F(65)×D1 und F(20)×D2,D3 bestand ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Rohproteingehalt der Rest- und Ganzpflanze, in den D×F-Datensätzen variierten diese Merkmale unabhängig voneinander bzw. zeigten eine negative Tendenz. Dies 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. Die Bildung von Rohprotein scheint in der Restpflanze und im Kolben unabhängig voneinander zu erfolgen, so dass die Selektion auf einen höheren Rohproteingehalt in beiden Fraktionen parallel möglich sein sollte, ohne dass sich dies negativ auf den anderen Pflanzenteil auswirkt.

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 muss diese separat betrachtet werden. Es 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. Für dieses Merkmal lag das Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten Selektion anhand der Ganzpflanze und dem der direkten anhand der Restpflanze in den Datensätzen F(65)×D1, D(43)×F1 und D(46)×F3 zwischen 0,84 und 0,96, für die übrigen Eigenschaften war es deutlich niedriger, was die Notwendigkeit der getrennten Bewertung der Restpflanze unterstreicht.

#### 4.4 Korrelationen zwischen agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen

Bei der Züchtung von Silomais müssen sowohl die Futterqualität als auch agronomische Merkmale wie Ertrag, Frühreife oder Standfestigkeit beachtet werden. Sowohl die Selektion in die eine als auch in die andere Richtung kann mit unerwünschten Nebeneffekten verbunden sein. So konnten in den letzten Jahren beispielsweise die Standfestigkeit und der Trockenmasseertrag gesteigert werden, jedoch mit der Folge eines tendenziell geringeren Futterwerts (BARRIÈRE & ARGILLIER 1998) und einer schlechter verdaulichen Zellwand (GIVENS & DEAVILLE 2001). Neben Wechselwirkungen zwischen Ertrag und Qualität ist eine mögliche Kovariation von Abreife und Qualität zu beachten, um Verzerrungen in der Bewertung der Genotypen zu vermeiden.

##### 4.4.1 Korrelationen zwischen dem TS-Gehalt und qualitätsbestimmenden Merkmalen

###### Linieigenleistungsprüfungen

In der Linienprüfung F(65) war eine zunehmende Restpflanzenabreife mit einem Rückgang in der Verdaulichkeit und im Gehalt an Rohprotein und wasserlöslichen Kohlenhydraten sowie einem Anstieg des NDF- und Rohfasergehalts verbunden. Nur die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand und die Verdaulichkeit der NDF waren kaum reifebeeinflusst. Über entsprechende Ergebnisse wurde auch von DOLSTRA & MEDEMA (1990) berichtet. In den Prüfungen D(43) und D(46) variierte die Restpflanzenqualität nahezu unabhängig von der Restpflanzenabreife, es zeigte sich ein mäßiger Rückgang im Rohproteingehalt. Auch WOLF *et al.* (1993b) stellten keinen Zusammenhang zwischen dem TS-Gehalt der Restpflanze und der Variation in der Verdaulichkeit, der Zellwandverdaulichkeit und des Rohproteingehalts fest.

Die Koeffizienten der Korrelation zwischen den qualitätsbestimmenden Merkmalen der Restpflanze und dem TS-Gehalt der Ganzpflanze glichen in F(65) den Korrelationen zwischen der Qualität und dem Restpflanzen-TS-Gehalt. Bei den Flint-Linien hatte der Restpflanzen-TS-Gehalt im Vergleich zum Kolben-TS-Gehalt eine größere Bedeutung für die Variation des TS-Gehalts der Ganzpflanze als bei den Dent-Linien. In D(43) sank die Restpflanzenverdaulichkeit bei einem höheren Trockensubstanzgehalt der Ganzpflanze signifikant, in D(46) ging sie nicht signifikant zurück. Ein höherer Kolben-TS-Gehalt war in den Datensätzen D(43) und D(46) mit einem signifikanten Anstieg im Trockenkolbenanteil verbunden ( $r_g = 0,79$  und  $0,78$ ), der tendenziell zu einer Abnahme in der Restpflanzenqualität führte (s. Tab. 3.14). Als

Konsequenz war ein höherer TS-Gehalt der Ganzpflanze besonders in den Leistungsprüfungen der Dent-Linien mit einer Reduktion in allen qualitätsbestimmenden Merkmalen außer der Zellwandverdaulichkeit korreliert, deren Variation von der Abreife bzw. dem Kolbenanteil nicht beeinflusst war.

#### Testkreuzungsprüfungen

Der genotypische Variationskoeffizient für den TS-Gehalt der Ganzpflanze war im Datensatz F(65)xD1 (1999) am kleinsten (3,75 %) und in D(43)xF1 (2000) am größten (5,97 %). In den D×F-Datensätzen war die Variation im Restpflanzen-TS-Gehalt größer und im Kolben-TS-Gehalt kleiner als im F×D-Datensatz. Die Schwankung im TS-Gehalt der Ganzpflanze war wesentlich stärker von der Restpflanze bestimmt. In den D×F-Datensätzen war der Zusammenhang zwischen der Restpflanzenabreife und der Ausprägung der Qualitätsmerkmale wesentlich straffer und spiegelte sich auch darin wider, dass für die Korrelationen zwischen qualitätsbestimmenden Merkmalen und dem Ganzpflanzen-TS-Gehalt etwa die Koeffizienten festzustellen waren, die zwischen diesen Merkmalen und dem TS-Gehalt der Restpflanze berechnet wurden (s. Tab. 3.13).

Im Datensatz F(65)xD1 schwankte die Qualität der Rest- und Ganzpflanze weitgehend unabhängig vom Ganzpflanzen-TS-Gehalt. Bei zunehmender Restpflanzenabreife ging die Qualität für die meisten Merkmale der Restpflanze sehr schwach und für die Ganzpflanze signifikant zurück, nur die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand variierte unabhängig von der Abreife. Im Gegensatz zu F(65)xD1 war in den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 ein höherer TS-Gehalt in der Rest- bzw. Ganzpflanze mit einem deutlichen Rückgang der Restpflanzenqualität und einem Anstieg der Ganzpflanzenqualität verbunden. Die Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze war jedoch nicht durch den TS-Gehalt beeinflusst.

Die Zunahme im TS-Gehalt der Ganzpflanze ist vor allem durch einen Anstieg des Kolben-TS-Gehalts bedingt. Während der Kolbenabreife nimmt der Stärkegehalt in der Ganzpflanze zu und aufgrund der Verlagerung in den Kolben und dem Umbau zu Stärke der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten ab (DARDENNE *et al.* 1993, LÜBBERSTEDT *et al.* 1997a, ARGILLIER *et al.* 2000, EDER & KRÜTZFELDT 2000). Die Zunahme an Zellinhaltsstoffen in der Ganzpflanze durch den steigenden Stärkegehalt führt zu einer Abnahme des Rohfaser- bzw. Zellwandanteils an der Trockenmasse (DARDENNE *et al.* 1993, WOLF *et al.* 1993b, GIVENS *et al.* 1995, DE BOEVER *et al.* 1997).

In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen lagen die Koeffizienten der Korrelation zwischen dem Rohprotein- und TS-Gehalt der Ganzpflanze zwischen signifikant negativ (DE BOEVER *et al.* 1997, LÜBBERSTEDT *et al.* 1997b), unbedeutend (DARDENNE *et al.* 1993, WOLF *et al.* 1993b) und signifikant positiv (MÉCHIN *et al.* 2001). Die Beziehungen zwischen Rohprotein- und TS-Gehalt der Ganzpflanze waren in den genannten Arbeiten jedoch nur mäßig. Bei Silomais ist der größte Anteil des Proteins im Korn eingelagert. Da die Zunahme im Ganzpflanzen-TS-Gehalt in den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 mit einem hoch signifikanten Anstieg im Kolbenanteil korreliert war ( $r_g = 0,93$  und  $0,84$ ), stieg auch der Rohproteingehalt in der Ganzpflanze in der Folge in D(46)xF3 deutlich und in D(43)xF1 tendenziell an. In F(65)xD1 war die genetische Korrelation zwischen Trockenkolbenanteil und Ganzpflanzenabreife nur mäßig ( $r_g = 0,41$ ) und die Variation im Rohproteingehalt war unabhängig von der Schwankung im TS-Gehalt der Ganzpflanze.

Die weitgehende Unabhängigkeit zwischen Zellwandverdaulichkeit und TS-Gehalt bestätigt Studien, in denen die Zellwand- oder Rohfaserverdaulichkeit auf Grundlage unterschiedlicher Methoden bestimmt wurde (DEINUM & BAKKER 1981, WOLF *et al.* 1993b, ARGILLIER *et al.* 1995a, 2000, MÉCHIN *et al.* 2001). ARGILLIER & BARRIÈRE (1996b) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Verdaulichkeit der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydrate ab etwa fünf Wochen nach der Blüte kaum verändert. Über einen Rückgang in der Verdaulichkeit der Zellwand berichteten hingegen DARBY & LAUER (2002). Im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen hatten sie die Zellwandverdaulichkeit von Hybriden jedoch über einen sehr weiten Reifebereich von Mitte Juli bis Mitte September bestimmt. In diesem Zeitraum nimmt die Lignifizierung der Zellwände zu (RUSSELL 1986, ARGILLIER & BARRIÈRE 1996b, RÖTTGERMANN 1997). Lignin gilt als wichtiger Zellwandbestandteil für die Begrenzung der Zellwandverdaulichkeit (JUNG & DEETZ 1993, LUNDVALL *et al.* 1994, JUNG & ALLEN 1995, ARGILLIER *et al.* 1996).

Ein Anstieg in der Ganzpflanzenverdaulichkeit mit voranschreitender Abreife wurde auch von BARRIÈRE *et al.* (1993), DE BOEVER *et al.* (1997), MÉCHIN *et al.* (2001) oder SCHLAGHECK (2001) mitgeteilt. Nach der Blüte nimmt der TS-Gehalt in allen Pflanzenfraktionen zu. Der Anstieg ist mit einer Zunahme an verdaulicher organischer Masse im Kolben verbunden, die den Rückgang an verdaulicher organischer Substanz in der Restpflanze anfangs überkompensiert. Ist dies nicht mehr möglich, so sinkt die Verdaulichkeit in der Ganzpflanze bei weiter fortschreitender Reife aufgrund des Rückgangs in der Restpflanzen- bzw. Zellwandverdaulichkeit ab (HERTER *et al.* 1996b, GIVENS & DEAVILLE 2001, DARBY & LAUER 2002). Dieser

Zusammenhang mag die Ursache für die von WOLF *et al.* (1993b) gefundene negative Korrelation zwischen der Ganzpflanzenabreife und der Ganzpflanzenverdaulichkeit sein. In den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 befanden sich die Genotypen noch in der Phase des Verdaulichkeitsanstiegs bei zunehmendem TS-Gehalt der Ganzpflanze. Ein höherer TS-Gehalt war mit einem deutlichen Rückgang in der Restpflanzenverdaulichkeit korreliert. Die zeitgleiche hoch signifikante Zunahme an Stärke führte in der Ganzpflanze jedoch zu einem schwachen Anstieg der Verdaulichkeit. In diesen Datensätzen war die Restpflanzenabreife hoch (D(43)xF1) bzw. mittel (D(46)xF3) mit der Kolbenabreife korreliert. Im Datensatz F(65)xD1 schwankte die Ganzpflanzenverdaulichkeit unabhängig von der Abreife, was mit Feststellungen von VATTIKONDA & HUNTER (1983), DACCORD *et al.* (1995) und ARGILLIER *et al.* (2000) übereinstimmt. In diesem Datensatz war der TS-Gehalt der Ganzpflanze weniger mit dem Kolben- und Restpflanzen-TS-Gehalt korreliert ( $r_g = 0,69$  und  $0,58$ ) als in den D×F-Datensätzen. Der TS-Gehalt der Restpflanze und des Kolbens schwankten unabhängig voneinander. Ein höherer Kolben-TS-Gehalt war nur tendenziell mit einem höheren Stärkegehalt verbunden ( $r_g = 0,35$ ). GIVENS *et al.* (1995) wiesen darauf hin, dass der TS-Gehalt der Ganzpflanze keinen bedeutenden Effekt auf die Verdaulichkeit der Ganzpflanze hat, die relativen Anteile der Zellwände und der Stärke, die zur Verdaulichkeit beitragen, können sich jedoch in Abhängigkeit von der Abreife der Pflanze verändern. Aufgrund dieser Kompensationseffekte spiegelt sich eine Veränderung im TS-Gehalt nicht automatisch in der Verdaulichkeit der Ganzpflanze wider (DACCORD *et al.* 1995).

Die vorliegenden Resultate stimmen mit Ergebnissen aus der Literatur darin überein, dass die Zellwandverdaulichkeit das einzige Merkmal ist, das unabhängig vom genetischen Material wenig von der Abreife beeinflusst ist. Die Beurteilung der übrigen qualitätsbestimmenden Merkmale muss unter Berücksichtigung des TS-Gehalts erfolgen, um eine Verzerrung in der Bewertung aufgrund von Reifeeffekten auszuschließen.

#### 4.4.2 Korrelationen zwischen Ganzpflanzenertrag sowie Trockenkolbenanteil und qualitätsbestimmenden Merkmalen

##### Linieneigenleistungsprüfungen

Im Datensatz F(65) trugen der Restpflanzen- und Kolbenenertrag zu gleichen Teilen zur Variation im Trockenmasseertrag der Ganzpflanze bei, in D(43) und D(46) war die Variation etwas mehr durch den Kolbenenertrag bestimmt. Zwischen dem Kolbenanteil und dem Ganzpflanzenertrag bestand nur eine schwache positive Korrelation. Die Restpflanzenqualität der Linien schwankte in allen Datensätzen weitgehend unabhängig vom Ganzpflanzenertrag. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von ALMIRALL *et al.* (1996) und WOLF *et al.* (1993b) mitgeteilt.

Der Trockenkolbenanteil hatte in allen Datensätzen einen geringen, jedoch signifikant negativen Einfluss auf die Zellulaseverdaulichkeit der Restpflanze ( $r_g = -0,32$  bis  $-0,46$ ). Die Pansensaftverdaulichkeit variierte nahezu unabhängig vom Kolbenanteil. Der mäßige Rückgang in der Restpflanzenverdaulichkeit bei einem Anstieg des Kolbenanteils konnte, wie in den Untersuchungen von DOLSTRA & MEDEMA (1990) und ALMIRALL *et al.* (1996), mit einem Rückgang an wasserlöslichen Kohlenhydraten und damit verbunden einem Anstieg des Zellwandgehalts erklärt werden. Dieses hatte in der Summe eine Abnahme der Verdaulichkeit zur Folge.

Auch von DOLSTRA & MEDEMA (1990), WOLF *et al.* (1993b) sowie ALMIRALL *et al.* (1996), wurde berichtet, dass die Variation in den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen weitgehend unabhängig von der Variation im Kolbenanteil war. Ein Anstieg des Kolbenanteils scheint bei den Linien nicht mit einer höheren Festigkeit des Stängels verbunden zu sein, die sich möglicherweise in einer schlechteren Zellwandverdaulichkeit zeigen würde. Aufgrund der unabhängigen Variation von Zellwandverdaulichkeit und Trockenkolbenanteil in den Linien sollte die Selektion auf eine höhere Zellwandverdaulichkeit aufgrund der Linieneigenleistung möglich sein.

##### Testkreuzungsprüfungen

In den Datensätzen F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 war die Variation im Ganzpflanzenertrag vor allem auf Schwankungen im Restpflanzenertrag zurückzuführen. Ein höherer Ganzpflanzenertrag war dabei mit einem deutlichen Rückgang im Trockenkolbenanteil ( $r_g = -0,61$  bis  $-0,78$ ) und in der Folge mit einem Rückgang im Stärkegehalt verbunden. Ähnliche Korrelationskoeffizienten wurden von BARRIÈRE *et al.* (1993), ARGILLIER *et al.* (1995b), LÜBBER-

STEDT *et al.* (1997a), ARGILLIER *et al.* (2000) oder BARRIÈRE *et al.* (2001) bestimmt. Im Hinblick auf die Beziehung zwischen Ganzpflanzenertrag bzw. Trockenkolbenanteil und Rest- bzw. Ganzpflanzenpflanzenqualität traten Abweichungen zwischen dem Datensatz F(65)xD1 und den Datensätzen D(43)xF1 und D(46)xF3 in der Höhe und im Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten auf (s. Tab. 3.15). Im Gegensatz zu F(65)xD1 unterschieden sich die Beziehungen zum Ertrag bzw. Trockenkolbenanteil in den D×F-Datensätzen zumeist nicht in der Größenordnung, sondern nur im entgegengesetzten Vorzeichen. In F(65)xD1 war der Zusammenhang zwischen den agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmalen meistens geringer. Außerdem war der Ganzpflanzenertrag zwar signifikant mit dem Trockenkolbenanteil korreliert ( $r_g = 0,61$ ), dieser Wert erklärt jedoch weniger als die Hälfte der Variation im Ganzpflanzenertrag, so dass sich die Beziehung zwischen Trockenkolbenanteil und qualitätsbestimmenden Merkmalen nicht unbedingt in der zwischen dem Ganzpflanzenertrag und den entsprechenden Merkmalen reflektiert wird.

In allen Datensätzen war ein Anstieg im Trockenkolbenanteil mit einer Abnahme im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Rest- und Ganzpflanze verbunden. In den D×F-Datensätzen führte ein höherer Ganzpflanzenertrag zu einer signifikanten Zunahme des Gehalts an wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Rest- und Ganzpflanze, in F(65)xD1 war die Variation weitgehend unabhängig. Die deutliche Abnahme von wasserlöslichen Kohlenhydraten in der Restpflanze führte bei einem höheren Trockenkolbenanteil in D(43)xF1 und D(46)xF3 zu einem relativen Anstieg des Rohfaser- bzw. NDF-Gehalts in der Restpflanze. Korrelationskoeffizienten in entsprechender Höhe wurden von mehreren Autoren gefunden (DEINUM & BAKKER 1981, RUSSELL 1986, DOLSTRA & MEDEMA 1990, CHERNEY *et al.* 1996). GURRATH (1991) bestimmte einen etwas niedrigeren Koeffizienten ( $r_p = 0,38$   $P = 0,01$ ). In Übereinstimmung mit WOLF *et al.* (1993b) bestand in F(65)xD1 kein Zusammenhang zwischen dem NDF-Gehalt der Restpflanze und dem Kolbenanteil. In diesem Datensatz führten vermutlich der geringere Rückgang im Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten bei einem höheren Kolbenanteil und der signifikante Anstieg im Rohproteingehalt dazu, dass sich der Zellwandanteil nicht signifikant verringerte. Aufgrund des Stärkeanstiegs in der Trockenmasse ging der Rohfaser- bzw. Zellwandgehalt in der Ganzpflanze bei einem höheren Trockenkolbenanteil bzw. geringerem Ganzpflanzenertrag in allen Versuchen zurück (BARRIÈRE *et al.* 1992, DARDENNE *et al.* 1993, WOLF *et al.* 1993b, ARGILLIER *et al.* 1995b).

Im Gegensatz zur signifikanten Zunahme in F(65)xD1 verzeichneten RUSSELL (1986) einen signifikanten und WOLF *et al.* (1993) wie in D(43)xF1 einen tendenziellen Rückgang im Rohproteingehalt der Restpflanze bei einem höheren Trockenkolbenanteil. Wie in der Prüfung von VATTIKONDA & HUNTER (1983) variierten diese Merkmale in D(46)xF3 unabhängig voneinander. In der Ganzpflanze waren die Koeffizienten der genotypischen Korrelation zwischen den Ertragsmerkmalen und dem Rohproteingehalt in allen Datensätzen sehr ähnlich. Da Eiweißstoffe vor allem in den Körnern lokalisiert sind, sinkt der Rohproteingehalt mit Abnahme des Trockenkolbenanteils bzw. Anstieg des Ertrags. BARRIÈRE *et al.* (1997b) begründeten diesen negativen Trend mit Verdünnungseffekten von Stickstoffverbindungen in der Pflanze bei höheren Biomasseerträgen.

In Übereinstimmung mit älteren Untersuchungen schwankte die Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze weitgehend unabhängig vom Trockenkolbenanteil bzw. Ganzpflanzenertrag (DEINUM & BAKKER 1981, WOLF *et al.* 1993b). In F(65)xD1 war ein Ertragsanstieg mit einem Rückgang in der Zellwandverdaulichkeit verbunden und in D(43)xF1 wurden geringe, signifikant negative Koeffizienten der Korrelation zwischen Kolbenanteil und Zellwandverdaulichkeit bestimmt, die in der Höhe mit dem von DOLSTRA & MEDEMA (1990) gefundenen übereinstimmten. Es ist vorstellbar, dass ein höherer Kolbenanteil eine höhere Festigkeit im Stängel erfordert und dass diese Festigkeitselemente eine geringere enzymatische Löslichkeit aufweisen.

Die Pansensaftverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand und der Ertrag oder Trockenkolbenanteil schwankten in allen Datensätzen weitgehend unabhängig voneinander. Ähnliche Ergebnisse wurden von BARRIÈRE *et al.* (1992), WOLF *et al.* (1993b), ARGILLIER *et al.* (1995b, 1998b, 2000) und ROUSSEL *et al.* (2002) dokumentiert. Die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand sank in allen Datensätzen mit zunehmendem agronomischen Wert. Überraschend waren die Korrelationskoeffizienten im Datensatz F(65)xD1. Die Zellulaseverdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand stieg bei einem höheren Kolbenanteil hoch signifikant an und sank bei einem höheren Ertrag etwas ab, die Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand schwankte hingegen unabhängig von den agronomischen Merkmalen. Mögliche Gründe für Abweichungen in Abhängigkeit von der Referenzmethode werden in Abschnitt 4.5 angesprochen.

MÉCHIN *et al.* (2001) kamen zu dem Ergebnis, dass der Kolbenanteil und die Zellwandverdaulichkeit genetisch voneinander unabhängig sind. Dieses bedeutet, dass eine Selektion sowohl auf einen hohen Stärkegehalt bzw. Kolbenanteil als auch auf eine Steigerung der Zellwandverdaulichkeit möglich ist. Die vorwiegend schwachen Korrelationen zwischen der Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze und dem Kolbenanteil konnten erwartet werden. Die Ganzpflanzenzellwand wird zum größten Teil aus der Restpflanzenzellwand gebildet. Somit wird auch die Variation in der Verdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand vor allem durch die Variation in der Verdaulichkeit der Restpflanzenzellwand bestimmt, die weitgehend unabhängig vom Ertrag oder Kolbenanteil schwankte. Die hoch signifikanten, aber teilweise nur mittleren Beziehungen zwischen der Zellwandverdaulichkeit der Rest- und Ganzpflanze in den Datensätzen F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 stehen dieser Aussage etwas entgegen, sind aber wahrscheinlich durch Probeentnahmeeffekte und Schätzfehler der berechneten Zellwandverdaulichkeitsmerkmale zu erklären und nicht durch biologische Zusammenhänge.

Im FxD-Datensatz zeigte sich der Trend einer geringeren Restpflanzenverdaulichkeit bei einem höheren Ertrag, eine Beziehung zwischen dem Trockenkolbenanteil und der Verdaulichkeit der Restpflanze bestand jedoch nicht. In D(43)xF1 hatte ein Anstieg im Kolbenanteil einen deutlichen Rückgang in der Restpflanzenverdaulichkeit zur Folge, in D(46)xF3 war der Zusammenhang moderat. Die engeren Korrelationen in D(43)xF1 können teilweise auf die größere Variationsbreite in den Qualitätsmerkmalen der Restpflanze und im Kolbenanteil gegenüber D(46)xF3 zurückgeführt werden. In Arbeiten von DEINUM & BAKKER (1981), VATTIKONDA & HUNTER (1983) oder WOLF *et al.* (1993b) wurde dargelegt, dass der Kolben- bzw. Kornanteil und die Verdaulichkeit der Restpflanze weitgehend unabhängig voneinander variieren. Eine deutlichere negative Korrelation wurde hingegen von DOLSTRA & MEDEMA (1990), GURRATH (1991), CHERNEY *et al.* (1996), RÖTTGERMANN (1997) und MORENO-GONZÁLEZ (2000) nachgewiesen.

Im Gegensatz zu den Datensätzen F(65)xD1 und D(43)xF1 wurde im Datensatz D(46)xF3, in Übereinstimmung mit DEINUM & BAKKER (1981), VATTIKONDA & HUNTER (1983), BARRIÈRE *et al.* (1992) sowie DARDENNE *et al.* (1993) nur ein mäßiger Anstieg der Ganzpflanzenverdaulichkeit bei einer Zunahme des Kolbenanteils festgestellt. Eine straffere positive Beziehung zwischen dem Stärkegehalt und der Verdaulichkeit wiesen hingegen ARGILLIER *et al.* (1998a) nach. Zwischen dem Ganzpflanzenertrag und der Ganzpflanzenverdaulichkeit lagen auch bei BARRIÈRE *et al.* (1993) mittlere negative Korrelationen vor. CHERNEY *et al.* (1996), LÜBBERSTEDT *et al.* (1997b), MORENO-GONZÁLEZ *et al.* (2000), MÉCHIN *et al.* (2001) sowie

SCHLAGHECK (2001) fanden hingegen nur eine untergeordnete Beziehung zwischen dem Kolbenanteil bzw. Ganzpflanzenertrag und der Ganzpflanzenverdaulichkeit. COORS *et al.* (1997) diskutierten, dass die Remobilisation und Translokation von verfügbaren Kohlenhydraten aus der Restpflanze in den Kolben nicht unbedingt einen ausgeprägten Effekt auf die Qualität der Ganzpflanze haben müsse. Der Verdaulichkeitsanstieg im Kolben und die -abnahme in der Restpflanze können sich ausgleichen. In den Datensätzen F(65)xD1 und D(43)xF1 konnte durch einen höheren Kolbenanteil die Verringerung in der Restpflanzenqualität mehr als kompensiert werden und eine hoch signifikante Steigerung der Ganzpflanzenverdaulichkeit erreicht werden. Möglicherweise ist die geringere Variation im Trockenkolbenanteil in D(46)xF3 gegenüber den anderen Datensätzen ein Grund für die schwächere Korrelation in diesem Datensatz. Auch HEPTING (1988c) und HERTER *et al.* (1996a) stellten keine einheitliche Beziehung zwischen dem Kolben- bzw. Körneranteil und der Verdaulichkeit fest, die Bestimmtheitsmaße lagen zwischen 0,05 und 0,58 bzw. 0,1 und 0,7. HEPTING (1988a) wies außerdem auf die genotypische Varianz in der *in vitro*-Verdaulichkeit des Kolbens hin.

Die Auswertung der Datensätze zeigte teilweise deutliche Unterschiede in den Korrelationskoeffizienten zwischen dem Datensatz F(65)xD1 und den D×F-Datensätzen. Im Hinblick auf die Qualität und den Ertrag der Testkreuzungen wurde in allen Datensätzen eine Abnahme der Ganzpflanzenverdaulichkeit bei höheren Ganzpflanzenerträgen bzw. einem geringeren Trockenkolbenanteil festgestellt. Die genotypische Korrelation zwischen dem Ertrag und der Verdaulichkeit der Ganzpflanze war jedoch in den vorliegenden Datensätzen zumeist nur mäßig. Dieses Ergebnis stimmt mit ARGILLIER *et al.* (1995b) und BARRIÈRE *et al.* (1998a) überein, die Genotypen fanden, die eine hohe Verdaulichkeit aufwiesen und zugleich ertragreich waren. Es sollte daher möglich sein, zugleich die Produktivität und den Futterwert von Silomais zu verbessern. Bei der Selektion auf Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze muss die Referenzmethode der Verdaulichkeitsbestimmung beachtet werden: der Ganzpflanzenertrag war signifikant negativ, wenn auch nur schwach mit der Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand korreliert, zur Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand gab es keine relevante Beziehung.

#### 4.5 Vergleich von zwei Referenzmethoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit mit NIRS

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Verdaulichkeitsbestimmungen der Rest- und Ganzpflanze mit NIRS durchgeführt. Dieses Verfahren ist inzwischen in vielen Ländern Standard, um Qualitätseigenschaften von Silomais zu schätzen. In Bezug auf die „richtige“ Referenzmethode zur Schätzung der Verdaulichkeit *in vivo* ergibt sich kein eindeutiges Bild. Neben der groben Einteilung in Methoden, die entweder auf der Nutzung von Pansensaft basieren oder solchen, in denen standardisierte Enzymmischungen eingesetzt werden, gibt es eine Vielzahl von Modifikationen der einzelnen Verfahren (KITESSA *et al.* 1999, GIVENS *et al.* 2000). So ist beispielsweise die enzymatische Löslichkeit nach AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU (1983) Grundlage der Verdaulichkeitsbestimmung für die Silomais-Sortenbewertung in Frankreich, in Belgien und Deutschland ist es die enzymatische Löslichkeit der organischen Substanz (Zellulaseverdaulichkeit) nach DE BOEVER *et al.* (1986). In den Niederlanden hingegen basiert die Bewertung auf der *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Substanz nach TILLEY & TERRY (1963) (Pansensaftverdaulichkeit).

Die *in vitro*-Verdaulichkeit nach TILLEY & TERRY (1963) wurde entwickelt, um die Verdaulichkeit von Gräseraufwüchsen im Labor zu bestimmen. Auf diese Weise sollte die Anzahl aufwändiger *in vivo*-Versuche reduziert werden. Das gemahlene Pflanzenmaterial wird in einem zweistufigen Verfahren zuerst mit Pansensaft und anschließend mit Pepsin inkubiert. Bei der Zellulasemethode nach DE BOEVER *et al.* (1986) wird das vorbereitete Material mit Pepsin behandelt, erhitzt und danach mit einer Zellulase inkubiert. Die Erhitzung erfolgt um Stärke zu lösen. Aufgrund dieses Zwischenschritts ist diese Methode besonders gut zur Bestimmung der Verdaulichkeit bzw. der enzymatischen Löslichkeit von stärkeichen Futtermitteln geeignet (KITESSA *et al.* 1999). Die Schätzung der Verdaulichkeit erfolgt bei beiden Verfahren über Differenzberechnung aus dem Gewicht vor und nach der Behandlung.

Sowohl für die Rest- als auch die Ganzpflanze lagen NIRS-Kalibrationsgleichungen zur Bestimmung der Verdaulichkeit nach der Pansensaftmethode (TILLEY & TERRY 1963) und nach der Zellulasemethode (DE BOEVER *et al.* 1986) vor. Allerdings wurden die Referenzanalysen in verschiedenen Labors mit unterschiedlichem Silomaismaterial durchgeführt, so dass Abweichungen zwischen den Daten der zwei Methoden auch auf Labor-, Material- oder Kalibrationseffekten beruhen können.

Unter Umständen sind die Differenzen aber auch in den Methoden *per se* begründet und die Aufstellung einer Kalibrationsgleichung ist nicht für beide Verfahren ausreichend genau möglich. So erfolgte beispielsweise die NIRS-Eichung zur Verdaulichkeitsbestimmung von Silomais in der Schweiz bis 1993 mit der TILLEY & TERRY- Methode, seit 1994 jedoch mit der enzymatischen Methode nach DE BOEVER *et al.* (1986) (HERTER *et al.* 1996a). Die Ergebnisse beider Referenzmethoden wurden mit Proben aus Fütterungsversuchen geeicht. Die enzymatische Methode ergab dabei genauer wiederholbare Resultate als die Pansensaftmethode und eine gute Bestätigung der Ergebnisse aus den *in vivo*-Versuchen (HERTER *et al.* 1996a). Ein Grund für die höhere Genauigkeit der Zellulasemethode liegt möglicherweise darin, dass die Stärkefraktion im Mais durch die Pansensaftmethode nicht genau genug erfasst wird. Die Methode nach TILLEY & TERRY (1963) hat die Nachteile, dass Spendertiere gehalten werden müssen und dass die Qualität des Pansensafts stark von der Fütterung und dem physiologischen Zustand des Spendertiers abhängig ist (KITESSA 1999, JONES & THEODOROU 2000). Somit ist auch die Schätzgenauigkeit einer Kalibrationsgleichung für NIRS, die auf diese Methode geeicht ist, stark von der Qualität des Pansensafts abhängig. Dieser weist bei den erforderlichen großen Probenmengen, die zur Kalibrierung erforderlich sind, wahrscheinlich eine größere Variation auf als standardisierte Enzymmischungen.

Um eine möglichst gute Schätzung der *in vivo*-Verdaulichkeit zu erreichen muss zum Ersten die *in vitro*-Verdaulichkeit die *in vivo*-Verdaulichkeit sehr gut reflektieren und zum Zweiten diese auch eng mit dem NIRS-Schätzwert korreliert sein, der eine weitere Stufe vom Tier entfernt ist. DE BOEVER *et al.* (1997) konnten Koeffizienten der Korrelation zwischen der Zellulaseverdaulichkeit bzw. der Pansensaftverdaulichkeit und der *in vivo*-Verdaulichkeit von 0,82 und 0,81 berechnen. SCHLAGHECK (2001) bestimmte einen Koeffizienten der Korrelation von 0,80 zwischen der *in vitro* bestimmten enzymatischen Löslichkeit nach DE BOEVER *et al.* (1986) und der mit NIRS geschätzten. Der unerwartet niedrige Wert wurde auf den engen Messbereich im untersuchten Material zurückgeführt. COZZOLINO *et al.* (2000) hatten hingegen ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß zwischen *in vitro*-Verdaulichkeit nach TILLEY & TERRY (1963) und dem mit NIRS geschätzten Wert erhalten und eine Vorhersage der Verdaulichkeit mit NIRS für möglich gehalten.

Die große Anzahl unterschiedlicher Verdaulichkeitsbestimmungen, die zumeist Modifikationen der Methoden von TILLEY & TERRY (1963) oder AUFRÈRE (1982) sind, erschwert die Vergleichbarkeit von Daten. Trotz dieser Tatsache gibt es nur wenige Studien, in denen diese Verfahren verglichen wurden. AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU (1988) zogen die Schlussfol-

gerung, dass ihre modifizierte enzymatische Methode nach AUFRÈRE (1982) genauer sei als die *in vitro*-Verdaulichkeit nach TILLEY & TERRY (1963), um die *in vivo* Verdaulichkeit energiereicher Futtermittel zu schätzen. DE BOEVER *et al.* (1997) und VAN WAES *et al.* (1997) verglichen die Verdaulichkeit von Silomais nach einer enzymatischen Methode und nach der Pansensaftmethode und fanden nur geringe Unterschiede zwischen den Ergebnissen. Der Korrelationskoeffizient betrug 0,86 in der ersten Studie, in der Laborwerte gegenübergestellt wurden, und 0,87 in der zweiten, in welcher der Vergleich von NIRS-Werten erfolgte. Diese Werte stimmen mit denen überein, die für die Datensätze F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 zwischen diesen Merkmalen durch Schätzung mit NIRS für die Rest- und Ganzpflanze berechnet wurden (Tab 4.2).

**Tab. 4.2:** Koeffizienten der phänotypischen ( $r_p$ ) und genotypischen ( $r_g$ ) Korrelation zwischen den Verdaulichkeits- und Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen bestimmt nach der Pansensaft- und der Zellulasemethode für die **Datensätze F(65)xD1** (1999) sowie **D(43)xF1** und **D(46)xF3** (2000)

Merkmal <sup>†</sup>	F(65)xD1		D(43)xF1		D(46)xF3	
	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$	$r_p$	$r_g$
ELOS <sub>R</sub> × IVOM <sub>R</sub>	0,85**	0,83++	0,91**	0,92++	0,91**	0,92++
ELOS <sub>G</sub> × IVOM <sub>G</sub>	0,89**	0,91++	0,87**	0,89++	0,94**	0,95++
DINAR × DINIR	0,79**	0,84++	0,90**	0,95++	0,88**	0,96++
DINAG × DINIG	0,43**	0,39++	0,69**	1,00++	0,50**	0,50++

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

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

Die in den vorliegenden Prüfungen gefundene höhere Variationsbreite und die niedrigeren absoluten Werte für die Zellulaseverdaulichkeit gegenüber der Pansensaftverdaulichkeit entsprechen ebenfalls den Resultaten von VAN WAES *et al.* (1997) sowie DE BOEVER *et al.* (1997). Wie in den Datensätzen F(65)xD1, D(43)xF1 und D(46)xF3 bestimmten DE BOEVER *et al.* (1997) höhere Standardabweichungen für die Zellulasemethode, die jedoch ihrer Meinung nach für die Rangierung der Genotypen vernachlässigt werden konnten.

Zwischen den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen, die auf Grundlage der Verdaulichkeitsmerkmale berechnet wurden, waren die Beziehungen schwächer mit deutlichen Unterschieden zwischen den Datensätzen und dem untersuchten Pflanzenmaterial. Für die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale der Restpflanze lagen die phänotypischen Korrelationskoeffizienten ebenfalls im Bereich von 0,8 bis 0,9. Überraschend waren jedoch die Koeffizienten der Korrelation zwischen den Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen der Ganzpflanze. Diese lagen nur im mittleren Bereich und im Datensatz D(43)xF1 zeigte sich im Gegensatz zu allen anderen Vergleichen ein deutlicher Unterschied zwischen dem phänotypischen und genotypischen Korrelationskoeffizienten.

Obwohl bis auf die Zellwandverdaulichkeitsmerkmale der Ganzpflanze etwa 70 bis 90 % der Variation in der Zellulaseverdaulichkeit durch Variation in der Pansensaftverdaulichkeit erklärt wurden, zeigten sich in den ausgewerteten Datensätzen teilweise erhebliche Abweichungen in statistischen Parametern in Abhängigkeit von der Methode. Die Zellulaseverdaulichkeit schien dabei wesentlich mehr auf Veränderungen im Kolben- bzw. Stärkeanteil zu reagieren. Die phänotypischen und genotypischen Korrelationen zwischen diesen Merkmalen waren besonders in den Datensätzen F(65)xD1 und F(46)xF3 zumeist sehr viel höher als zwischen dem Stärkegehalt und der Pansensaftverdaulichkeit der Zellwand (Daten nicht gezeigt). Die geringere Variation in der Pansensaft- als in der Zellulaseverdaulichkeit kann als Grund für die niedrigeren Korrelationskoeffizienten angenommen werden. Eine Ursache für die höhere Variation in der Zellulaseverdaulichkeit ist möglicherweise darin zu sehen, dass diese Methode, die zur Analyse stärkereicher Futtermittel entwickelt wurde, Veränderungen im Kolben- bzw. Stärkegehalt besser erfasst als die *in vitro*-Methode nach TILLEY & TERRY (1963). Aufgrund der Berechnung der Zellwandverdaulichkeit der Ganzpflanze aus der Ganzpflanzenverdaulichkeit sowie dem Gehalt an Stärke und wasserlöslichen Kohlenhydraten, zeigt sich der größere Einfluss des Stärkegehalts auf die Zellulaseverdaulichkeit auch in der Zellulaseverdaulichkeit der Zellwand. Die Berechnung der Zellwandverdaulichkeit führt außerdem dazu, dass sich die Variation zwischen den Genotypen verändert, die Fehler der Einzelmerkmale addiert werden und die Korrelation zwischen den Methoden gegenüber den direkt erfassten Verdaulichkeitsmerkmalen verändert wird. In den vorliegenden Datensätzen war das Verhältnis zwischen der Fehlervarianz und der genotypischen Varianz in den berechneten Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen im Gegensatz zu Ergebnissen von ARGILLIER *et al.* (1998b) größer als in den Verdaulichkeitsmerkmalen. Außerdem wurde für die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale zumeist eine höhere Fehlervarianz als für die Pansensaftverdaulichkeitsmerkmale festgestellt. Unterschiede zwischen den Methoden in der Reaktion auf den

Stärkegehalt lassen sich auch vermuten, wenn nur die Restpflanze betrachtet wird. In dieser ist nahezu keine Stärke vorhanden und die Koeffizienten der Korrelation zwischen den Referenzmethoden sind für die Verdaulichkeit und die Zellwandverdaulichkeit sowohl genotypisch als auch phänotypisch hoch bis sehr hoch.

Die kurze Übersicht über die Erfassung der Verdaulichkeit in wenigen Silomais anbauenden Staaten und die Abweichungen, die in dieser Arbeit zwischen der Zellulase- und der Pansensaftverdaulichkeit hervorgetreten sind, legen es nahe, auf dem Gebiet der Qualitätsanalyse eine engere Zusammenarbeit zwischen einzelnen Ländern wie auch zwischen der Tierernährung und Pflanzenzüchtung anzustreben. Besonders die Beziehung einzelner Methoden zu *in vivo*-Daten, der Vergleich der Verfahren und die anschließende Überprüfung der Eignung als Referenzmethode für NIRS sind wichtige Aufgaben. Nach den vorgestellten Ergebnissen ist die Pansensaftmethode für den Züchter die bessere Methode, da höhere Schätzwerte für die Heritabilität und engere Korrelationen zwischen Linie und Testkreuzung erreicht wurden. Über die Eignung zur Vorhersage des Futterwerts *in vivo* sagt dieses jedoch nichts aus.

## 4.6 Züchterische Konsequenzen

Die vorliegende Arbeit zeigte bei Linien und ihren Testkreuzungen signifikante genetische Variation in qualitätsbestimmenden Merkmalen sowohl der Rest- als auch der Ganzpflanze. Zwischen den Flint- und Dent-Datensätzen bzw. den F×D- und D×F-Datensätzen traten teilweise Unterschiede in züchterischen Parametern wie den Koeffizienten der Heritabilität oder der genetischen Korrelation zwischen Merkmalen auf. Da die Materialunterschiede aber auch mit Jahreseffekten vermengt waren, ist nicht feststellbar, welcher Anteil der Variation auf Jahreseinflüssen beruhte und welcher durch das genetische Material bedingt war.

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Allgemeine und Spezifische Kombinationsfähigkeit, stimmen mit Ergebnissen aus der Literatur darin überein, dass die Variation in den Qualitätsmerkmalen vor allem durch additiv-genetische Effekte bedingt ist. In den Prüfungen auf Linieneigenleistung konnte die Wechselwirkung zwischen Linie und Erntetermin vernachlässigt werden. Die Bewertung der Linien auf ihre Restpflanzenqualität kann daher bereits zu einem Termin vor der eigentlichen Silomaisreife erfolgen.

Unter der Annahme gleicher Selektionsintensitäten hätte im geprüften genetischen Material nur die Verdaulichkeit der NDF von Testkreuzungen in allen Datensätzen erfolgreich anhand der Linienleistung vorhergesagt werden können. Für die übrigen Zellwandverdaulichkeitsmerkmale und die Pansensaftverdaulichkeit der Restpflanze lag das Verhältnis zwischen dem erwarteten Erfolg der indirekten Selektion an den Linien und dem der direkten an den Testkreuzungen nahe eins. Da in der Linienselektion eine höhere Selektionsintensität realisierbar ist, sollte für die letztgenannten Merkmale an den Linien eine Vorselektion durchgeführt werden, um so eine Einschränkung von Testkreuzungsprüfungen zu ermöglichen.

In den ausgewerteten Datensätzen trat zumeist nur eine geringe Übereinstimmung in der genetischen Variation der Rest- und Ganzpflanzenqualität auf. Es ist zur Bewertung der meisten Qualitätsmerkmale der Restpflanze eine getrennte Ernte erforderlich, da anhand der Ganzpflanze keine ausreichend genaue Schätzung der Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Restpflanze möglich ist.

Wie auch in anderen Studien war die Zellwandverdaulichkeit das einzige Merkmal, das unabhängig vom genetischen Material wenig von der Abreife beeinflusst war. Die Messung der übrigen qualitätsbestimmenden Merkmale muss unter Berücksichtigung des TS-Gehalts erfolgen, um Fehler in der Bewertung aufgrund von Reifeeffekten auszuschließen.

In allen Datensätzen nahm die Ganzpflanzenverdaulichkeit bei höheren Ganzpflanzenerträgen ab. Die Restpflanzenverdaulichkeit zeigte bei einem höheren Trockenkolbenanteil eine abnehmende Tendenz. Die genotypischen Korrelationen zwischen diesen agronomischen Merkmalen und der Verdaulichkeit waren jedoch zumeist nur mäßig. Im Gegensatz zur Restpflanze war für die Ganzpflanze die Korrelation zwischen der Verdaulichkeit und dem Trockenkolbenanteil signifikant positiv. Es sollte daher möglich sein, zugleich die Produktivität und den Futterwert von Silomais zu verbessern.

Die Wahl der Referenzmethode zur Bestimmung der Verdaulichkeit hatte teilweise einen deutlichen Einfluss auf züchterische Parameter. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die Pansensaftmethode für die erfolgreiche Entwicklung von hoch verdaulichen Silomaishybriden besser geeignet als die Zellulaseverdaulichkeit. Die Pansensaftverdaulichkeit und die daraus berechnete Zellwandverdaulichkeit zeigten im Allgemeinen geringere Fehler und höhere Koeffizienten der Heritabilität und der genotypischen Korrelation zwischen den Linien und ihren Testkreuzungen. Allerdings besagt dies nichts über die Eignung des Merkmals zur Qualitätsbewertung aus Sicht der Tierernährung.

Die vorgestellten Ergebnisse weisen auf die Notwendigkeit hin, auf dem Gebiet der Qualitätsanalyse eine engere Zusammenarbeit zwischen einzelnen Ländern wie auch zwischen der Pflanzenzüchtung und Tierernährung anzustreben. Besonders die Beziehung einzelner Methoden zu *in vivo*-Daten, der Vergleich der Verfahren und die anschließende Überprüfung der Eignung als Referenzmethode für NIRS sind wichtige Aufgaben. Aufgrund der teilweise sehr hohen Fehler, die für die agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale der Ganzpflanze bestimmt wurden, sollte die vergleichende Untersuchung zur Qualitätsanalyse bei der Probeentnahme beginnen, da die Ergebnisse aller weiteren Analysen von der Genauigkeit der Probeentnahme abhängen.

Solange die Bedeutung der Restpflanzen- bzw. Zellwandverdaulichkeit von Silomais -in Deutschland- noch vergleichsweise gering ist und diese Merkmale für die Sortenzulassung nicht relevant sind, sollte der züchterische Schwerpunkt zur Erhöhung der Verdaulichkeit in der Selektion auf einen hohen Kolbenanteil liegen. Die Aussicht auf die Kombination hervorragender agronomischer Eigenschaften und einer guten Zellwandverdaulichkeit sieht jedoch günstig aus. Die Selektion auf Zellwandverdaulichkeit der Restpflanze kann der Züchter vor der Siloreife der Hybriden an den Linien durchführen.

## 5 Zusammenfassung

In Mitteleuropa hat Silomais (*Zea mays* L.) eine sehr große Anbaubedeutung als ertrag- und energiereiches Grundfutter für die Milchviehhaltung und Bullenmast. Nachdem lange Zeit hohe Trockenmasseerträge im Mittelpunkt der Züchtung standen, hat zunehmend die Qualität an Interesse gewonnen. Die Qualität bzw. der Futterwert einer Silomaishybride werden vor allem durch die Verdaulichkeit und den Energiegehalt bestimmt. Durch die Einführung der Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS), mit der innerhalb kurzer Zeit große Probenmengen parallel auf mehrere Merkmale untersucht werden können, hat sich die Qualitätsbestimmung mittlerweile zur Routine in der Silomaiszüchtung und -sortenbewertung entwickelt. Die Wahl der Referenzmethode zur Schätzung der Verdaulichkeit variiert jedoch zwischen den Silomais anbauenden Staaten.

Die Qualität der Ganzpflanze wird durch den Kolbenanteil, aber auch durch die Verdaulichkeit der Restpflanze und hier besonders der Zellwand beeinflusst. In der vorliegenden Arbeit wurde die Bedeutung der Restpflanzenqualität für die Ganzpflanzenqualität untersucht. Außerdem lagen NIRS-Kalibrationsgleichungen zur Bestimmung der Verdaulichkeit auf Grundlage von zwei Referenzmethoden vor, deren Ergebnisse verglichen wurden. In der Hybridzüchtung bedeutet die indirekte Selektion anhand der Linieneigenleistung einen großen Vorteil, da die Anzahl an Testkreuzungen eingeschränkt werden kann. Es wurde daher überprüft, inwieweit sich die Restpflanzenqualität von Testkreuzungen anhand der Linieneigenleistung vorhersagen lässt. Zudem interessierten die Beziehungen zwischen dem Ertrag sowie der Abreife und den qualitätsbestimmenden Merkmalen.

In den Jahren 1999 und 2000 wurden an den klimatisch unterschiedlichen Standorten Bernburg, Einbeck, Grucking und Walldorf einjährige Linieneigenleistungs- und Testkreuzungsprüfungen durchgeführt. Die Genotypen stellten aktuelles westeuropäisches Zuchtmaterial dar, das nicht auf Qualität vorselektiert worden war. Im ersten Versuchsjahr wurden 90 Flint-Linien und 48 bzw. 90 F×D-Testkreuzungsnachkommenschaften, im Weiteren als Testkreuzungen bezeichnet, je Experiment geprüft. Im zweiten Jahr waren ein Experiment mit 90 Dent-Linien sowie zwei Experimente mit jeweils 90 D×F-Testkreuzungen Bestandteile der Untersuchung. Neben den Linien oder Testkreuzungen enthielten die Prüfungen Standardgenotypen, die als Vergleichsbasis für das zu testende Material dienten. Die Versuche waren als Gitter mit 49 bzw. 100 Prüfgliedern und zwei Wiederholungen angelegt. Für die zusammenfassende Varianzanalyse über drei Orte bei den Testkreuzungen bzw. drei Orte und zwei

Erntetermine bei den Linien wurden aus den Experimenten balancierte Datensätze zusammengestellt. Die Auswertung erfolgte an drei Datensätzen mit 65 Flint- sowie 43 bzw. 46 Dent-Linien, die jeweils mit einem Tester geprüft wurden. Die Prüfung auf Kombinationseignung wurde an drei Datensätzen mit 20 Flint- sowie 26 bzw. 18 Dent-Linien mit jeweils zwei Testern durchgeführt.

Zur Erfassung der agronomischen und qualitätsbestimmenden Merkmale wurden alle Pflanzen einer Reihe geerntet. Die Ernte der Linien wurde im Abstand von etwa 10 bis 14 Tagen vor und zur Silomaisreife durchgeführt, die der Testkreuzungen nur zur Siloreife. Es wurden alle Genotypen eines Experiments an einem Tag geerntet. Die Ernte der Linien und einer Reihe der Testkreuzungen erfolgte getrennt für Kolben und Restpflanze, die zweite Reihe der Hybriden wurde als Ganzpflanze gehäckselt. Von den Kolben, der Rest- und der Ganzpflanze wurden das Frischgewicht und der Trockensubstanzgehalt bestimmt. Anschließend wurden die Trockenmasseerträge und der Trockenkolbenanteil berechnet. Aus dem Häckselstrom der Rest- und Ganzpflanze wurde eine repräsentative Probe zur Qualitätsanalyse mit NIRS entnommen.

Folgende Qualitätsmerkmale wurden sowohl an der Rest- wie auch an der Ganzpflanzentrockenmasse bestimmt: enzymlösliche organische Substanz (Zellulaseverdaulichkeit), *in vitro*-Verdaulichkeit der organischen Masse (Pansensaftverdaulichkeit), Rohfasergehalt, Rohproteingehalt und Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten. An der Restpflanze wurden außerdem der NDF- (*neutral detergent fibre*) Gehalt und die Verdaulichkeit der NDF sowie an der Ganzpflanze der Stärkegehalt geschätzt. Aus den NIRS-Werten wurden die Verdaulichkeit der nicht-Stärke und nicht-wasserlöslichen Kohlenhydrate als Schätzwert für die Verdaulichkeit der Ganzpflanzenzellwand auf Basis der Zellulase- und der Pansensaftverdaulichkeit berechnet. Zusätzlich erfolgte die Schätzung der Verdaulichkeit der Restpflanzenzellwand als Verdaulichkeit der nicht-wasserlöslichen Kohlenhydrate ebenfalls auf Grundlage beider Methoden zur Verdaulichkeitsbestimmung.

Die zusammenfassende Varianzanalyse der Linien ergab in allen Datensätzen signifikante Linie  $\times$  Termin-Interaktionsvarianzen. Diese waren jedoch im Vergleich zur genotypischen Varianz sehr gering, so dass alle weiteren Berechnungen mit den Mittelwerten über beide Erntezeitpunkte durchgeführt wurden. Linie  $\times$  Ort-Wechselwirkungen waren in den Linienprüfungen ebenfalls ohne Relevanz, so dass die Heritabilitätskoeffizienten sowohl für die agronomischen Merkmale als auch für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze hoch bis sehr

hoch waren. In den Testkreuzungsprüfungen war der Anteil der genotypischen Varianz an der phänotypischen Varianz geringer. Die Schätzwerte der Heritabilität ( $h^2$ ) lagen in den größeren Datensätzen für die Qualitätsmerkmale der Restpflanze im mittleren bis hohen Bereich und für die Qualitätsmerkmale der Ganzpflanze zumeist im mittleren Bereich. Vor allem für die Ganzpflanzenqualität war die Fehlervarianz in allen Datensätzen sehr bedeutsam, Genotyp  $\times$  Ort-Wechselwirkungen spielten eine geringere Rolle.

Da nur kleine Datensätze mit jeweils zwei Testern vorlagen, kann nur eine tendenzielle Aussage zur Allgemeinen und Spezifischen Kombinationsfähigkeit gemacht werden. Es zeigte sich, dass die Abreife von Kolben, Rest- und Ganzpflanze vorwiegend durch additiv-genetische Effekte beeinflusst war. Für den Kolben- und Ganzpflanzenertrag war hingegen die Interaktion zwischen Linie und Tester die wichtigste Varianzursache. Für die Mehrzahl der geprüften Qualitätsmerkmale der Rest- und Ganzpflanze zeigte sich keine signifikante Linie  $\times$  Tester-Interaktionsvarianz. Es wurden somit Ergebnisse aus der Literatur bestätigt, wonach vor allem die Allgemeine Kombinationsfähigkeit für Qualitätsmerkmale von Silomais relevant ist.

Für nahezu alle Qualitätsmerkmale der Restpflanze wurden hoch signifikante genotypische Korrelationen ( $r_g$ ) zwischen Linieeigen- und Testkreuzungsleistung ermittelt. Die Korrelationskoeffizienten waren jedoch häufig nur moderat. Innerhalb der ausgewerteten Datensätze war nur für das Merkmal Verdaulichkeit der NDF der erwartete Erfolg der indirekten Selektion an den Linien immer größer als der der direkten Selektion an den Testkreuzungen. Für die übrigen Zellwandverdaulichkeitsmerkmale und die Verdaulichkeit war der Erfolg der indirekten Selektion vom genetischen Material und der Wahl der Referenzmethode abhängig. Eine effektive Vorselektion anhand der Linien sollte jedoch für alle Zellwandverdaulichkeitsmerkmale und die Pansensaftverdaulichkeit möglich sein. Das Verhältnis des erwarteten Erfolgs der indirekten gegenüber der direkten Selektion lag für alle weiteren Qualitätsmerkmale der Restpflanze teilweise deutlich unter eins.

Zwischen Rest- und Ganzpflanze wurde zumeist nur eine geringe Übereinstimmung in den sich entsprechenden Qualitätsmerkmalen ermittelt. Es ist daher zur Bewertung fast aller Qualitätseigenschaften der Restpflanze eine getrennte Ernte erforderlich, da anhand der Ganzpflanze keine ausreichend genaue Vorhersage der Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Restpflanze möglich ist.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurde festgestellt, dass die Zellwandverdaulichkeit das einzige Merkmal ist, das unabhängig vom genetischen Material wenig von der Abreife beeinflusst ist. Die Bestimmung der übrigen futterwertrelevanten Parameter muss hingegen unter Berücksichtigung des TS-Gehalts erfolgen, um Fehler in der Bewertung aufgrund von Reifeeffekten auszuschließen.

Bei einem höheren Ganzpflanzenertrag bzw. einem geringeren Trockenkolbenanteil stieg in allen Datensätzen die Restpflanzenverdaulichkeit tendenziell an und die Ganzpflanzenverdaulichkeit nahm ab. Allerdings waren die genotypischen Korrelationen zwischen Restpflanzenverdaulichkeit und Kolbenanteil bzw. Ganzpflanzenverdaulichkeit und -ertrag nicht so eng, dass sie eine gleichzeitige Verbesserung von Qualität und Ertrag wesentlich erschweren würden.

Zwischen der Zellulaseverdaulichkeit und der Pansensaftverdaulichkeit und den daraus berechneten Zellwandverdaulichkeitsmerkmalen traten teilweise klare Unterschiede in züchterischen Parametern ( $h^2$ ,  $r_g$ ) auf. Dabei war in fast allen Experimenten und Datensätzen die Bedeutung der Fehlervarianz für die Zellulaseverdaulichkeitsmerkmale höher. Die Zellulaseverdaulichkeit schien zudem stärker auf eine Variation im Stärkegehalt zu reagieren. Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist die Pansensaftmethode für die Entwicklung von Silomaishybriden besser geeignet, da höhere Schätzwerte für die Heritabilität und engere Korrelationen zwischen den Linien und ihren Testkreuzungen erreicht wurden.

## 6 Summary

In central Europe silage maize (*Zea mays* L.) is a major cattle feed. For a long time improving dry matter yield was the main objective in silage maize breeding, but in the last years quality gained in importance. The quality or the feeding value of silage maize varieties mainly depends on its digestibility and energy content. Near-infrared-reflectance-spectroscopy (NIRS) allows to analyse more than one quality determining trait simultaneously in an easy and short way. Though the assessment of quality has become a routine in forage maize breeding and variety testing, the methods used to assess digestibility and nutritive value differ among European variety testing authorities.

The digestibility of the whole plant is determined by the ear content and the digestibility of the stover, and especially of the cell-wall. In this study one objective was to analyse the influence of stover quality on whole plant quality. Besides two reference methods for determining digestibility were compared. In hybrid breeding, indirect selection based on inbred line performance has a great advantage because the number of testcrosses can be reduced. Therefore it was tested, whether the stover quality of the testcrosses could be predicted from the line *per se* value. Besides the correlation between agronomic and quality traits was analysed.

The evaluation of the lines and testcross progenies, in short “testcrosses”, was conducted at the climatically diverse locations Bernburg, Einbeck, Grucking, and Walldorf in Germany in the years 1999 and 2000, using a lattice square design with 49 or 100 genotypes and two replicates. The experiments contained actual European maize breeding material, which had not been specifically selected for forage quality. In the first year, 90 flint lines and 48 and 90 F×D testcrosses were evaluated in three experiments. In the second year, 90 dent lines and two times 90 D×F testcrosses, were studied, also in three experiments. Beside the lines or testcrosses well known genotypes were used as basis for comparisons. For combined analyses of variance and covariance across environments or across harvest dates and environments, genotypes were combined into balanced data sets: three inbred line sets comprised of 65 flint lines and 43 or 46 dent lines, and three corresponding testcross sets with one tester each. Additionally three data sets consisting of 20 flint lines and 26 or 18 dent lines and corresponding testcrosses with two testers each were analysed.

The lines were harvested 10 to 14 days before and at silage maturity, whereas the testcrosses were harvested at silage maturity only. Ears were manually picked from the lines and from one row of the testcrosses and their fresh weight was determined. The stover and the whole plant of the second row of the testcrosses were chopped and measured for fresh weight. A representative sample was automatically collected for moisture and quality measurements. Dry matter content and dry matter yield were determined from whole plants as well as from ears and stover separately and the ear proportion in total dry matter was calculated.

The following traits were measured by NIRS from stover as well as from whole plant material and calculated on a dry matter basis: enzymatic solubility of organic matter (cellulase digestibility), *in vitro*-digestibility of organic matter (rumen fluid digestibility), crude fibre, crude protein, and content of water-soluble carbohydrates. Besides NDF- (neutral detergent fibre) content and digestibility of NDF were determined from stover, and starch content from whole plant material. The respective values were used to calculate the digestibility of the non-starch and non-soluble carbohydrate part on the basis of the cellulase- and the rumen fluid digestibility as an indirect measure of cell-wall digestibility of the whole plant. The digestibility of the non-water-soluble carbohydrate part of the stover was also calculated on the basis of the cellulase- and rumen fluid digestibility.

Analyses of variance combined across locations and harvest dates showed only small line  $\times$  harvest date interactions compared to the genotypic variance. Therefore all further analyses were done with mean values over both harvest dates. The interaction between line and location had also no relevance. The coefficients of heritability were high for the agronomic and quality traits of the inbred lines. In the testcrosses, the variation attributable to the genotypic variance was smaller. Coefficients of heritability were moderate to high for stover quality traits and moderate for whole plant quality traits. Especially for whole plant most quality traits displayed a high error variance. Genotype  $\times$  location interaction was of lower importance.

The data sets each with two tester-lines showed that the maturity of ear, stover, and whole plant was mainly determined by additive genetic effects. For ear- and dry matter yield, the interaction between line and tester was the most important source of variance. For quality traits of stover and whole plant, the interaction between line and tester was mostly not

significant. The high relevance of additive genetic effects for quality traits of silage maize was in agreement with other studies.

The genotypic correlation between the lines and their testcrosses was highly significant for almost all quality traits of the stover, but mostly the correlation coefficients were only moderate. The expected gain from an indirect selection based on line performance exceeded that from direct selection for testcross performance in case of cell wall digestibility only. For the digestibility traits the expected success of an indirect selection depended on the genetic material and on the reference method used for their assessment. A preselection based on line *per se* values should make sense nevertheless.

The genotypic correlations between stover and whole plant were for most traits low. Therefore a separate evaluation of the stover is necessary for improving whole plant quality.

Cell-wall digestibility was the only trait which varied independently of dry matter content in all data sets. Thus, for evaluation of the remainder quality traits, genotypes should belong to the same maturity group. In the testcrosses, stover digestibility increased and whole plant digestibility decreased as ear content decreased or whole plant dry matter yield increased. But the genotypic correlations between stover digestibility and ear content or whole plant digestibility and yield were only moderate. Therefore, a simultaneous selection to improve both quality and yield seems to be possible.

Estimates of genetic correlation and heritability coefficients were mostly higher for rumen fluid than for cellulase digestibility. In nearly all experiments and data sets, the error variance was greater for cellulase than for rumen fluid digestibility. Besides the cellulase digestibility seemed to show a more direct reaction to changes in starch content. Thus, on the basis of the present results, rumen fluid digestibility is the better method for developing silage maize hybrids.

## 7 Literaturverzeichnis

- Albrecht, K.A., M. J. Martin, W.A. Russell, W.F. Wedin & D.R. Buxton, 1986. Chemical and *in vitro* digestible dry matter composition of maize stalks after selection for stalk strength and stalk-rot resistance. *Crop Sci.* 26:1051-1055
- Allen, M.S., D.G. Main, D.A. O'Neil & J. Beck, 1990. Variation in fiber fraction and *in vitro* true and cell wall digestibility of corn silage hybrids. *J. Dairy Sci.* 73 (Suppl. 1) 129
- Almirall, A., F. Casanas, L. Bosch, E. Sánchez, A. Perez & F. Nuez, 1996. Genetic study of the forage nutritive value in the Lancaster variety of maize. *Maydica* 41:227-234
- Andrieu, J., C. Demarquilly, P. Dardenne, Y. Barrière, M. Lila, P. Maupetit, F. Rivière & N. Femenias, 1993. Composition and nutritive value of whole plants fed fresh to sheep. I. Factors of variation. *Ann. Zootech.* 42:221-249
- Andrieu, J., Y. Barrière & C. Demarquilly, 1999. Digestibilité et valeur énergétique des ensilages de maïs: le point sur des méthodes de prévision au laboratoire. *Prod. Anim.* 12:391-396
- Anonym, 2002. <http://www.destatis.de>. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Anscombe, F. & J.W. Tukey, 1963. The examination and analysis of residuals. *Technometrics* 5:141-160
- Argillier, O., Y. Barrière & Y. Hébert, 1995a. Genetic variation and selection criterion for digestibility traits of forage maize. *Euphytica* 82:175-184
- Argillier, O., Y. Hébert & Y. Barrière, 1995b. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica* 40:125-136
- Argillier O. & Y. Barrière, 1996a. Valeur alimentaire et inscription des variétés de maïs ensilage aux catalogues officiels en Europe. *Fourrages* 146:131-140
- Argillier O. & Y. Barrière, 1996b. Genotypic variation for digestibility and composition traits of forage maize and their changes during the growing season. *Maydica* 41:279-285
- Argillier, O., Y. Barrière, M. Lila, F. Jeanneteau, K. Gélinet & V. Ménanteau, 1996. Genotypic variation in phenolic components of the cell-walls in relation to the digestibility of maize stalks. *Agronomie* 16:123-130
- Argillier, O., Y. Barrière, R. Traineau, J.C. Émile & Y. Hébert, 1997. Genotype × environment interactions for digestibility traits in silage maize estimated from *in vivo* measurements with standard sheep. *Pl. Breed.* 116:423-427

- Argillier, O., Y. Barrière, P. Dardenne, J.C. Émile & Y. Hébert, 1998a. Genotypic variation for *in vitro* criteria and relationships with *in vivo* digestibility in forage maize hybrids. *Pl. Breed.* 117:437-441
- Argillier, O., Y. Barrière, A. Panel, B. Aizac & Y. Hébert, 1998b. Variability of digestibility criteria in maize elite hybrids submitted for registration in the French official catalogue. *Agronomie* 18:639-648
- Argillier, O., V. Méchin & Y. Barrière, 2000. Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40:1596-1600
- Aufrère, J., 1982. Étude de la prévision de la digestibilité des fourrages par un méthode enzymatique. *Ann. Zootech.* 31:111-130
- Aufrère, J. & B. Michalet-Doreau, 1983. *In vivo* digestibility and prediction of digestibility of some by-products. In: EEC Seminar, Melle, Gontrode, Belgium, 26-29 September
- Aufrère, J. & B. Michalet-Doreau, 1988. Comparison of methods for predicting digestibility of feeds. *Anim. Feed Sci.* 20:249-254
- Barrière, Y. & J.C.Émile, 1990. Effet des teneurs en grain et de la variabilité génétique sur la valeur énergétique du maïs ensilage mesurée par des vaches laitières. *Agronomie* 10:201-212
- Barrière, Y., R. Traineau, J.C. Émile & Y. Hébert, 1992. Variation and covariation of silage maize digestibility estimated from digestion trials with sheep. *Euphytica* 59:61-72
- Barrière, Y. & O. Argillier, 1993. Brown-midrib genes of maize: A review. *Agronomie* 13:865-876
- Barrière, Y., Y. Hébert, B. Julier, E. Young & 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, B. Chabbert, M.T. Tollier & B. Monties, 1994. Breeding silage maize with the brown-midrib genes. Feeding value and biochemical characteristics. *Agronomie* 14:15-25
- Barrière, Y., J.C. Émile, R. Traineau & Y. Hébert, 1995a. Genetic variation in the feeding efficiency of maize genotypes evaluated from experiments with dairy cows. *Pl. Breed.* 114:144-148
- Barrière, Y., J.C. Émile & Y. Hébert, 1995b. Genetic variation in the feeding efficiency of maize genotypes evaluated from experiments with fattening bulls. *Agronomie* 15:539-546
- Barrière, Y., O. Argillier, J.C. Émile, B. Michalet-Doreau, M. Champion, E. Hébert, E. Guingo & C. Giauffret, 1997a. Le maïs ensilage de demain, un maïs spécifique pour nourrir les ruminants. *Fourrages* 150:171-189

- Barrière, Y., O. Argillier, B. Michalet-Doreau, Y. Hébert, E. Guingo, C.V. Giauffret & J.C. Émile, 1997b. Relevant traits, genetic variation and breeding strategies in early silage maize. *Agronomie* 17:395-411
- Barrière, Y. & O. Argillier, 1998. *In vivo* silage feeding value of early maize hybrids registered in France between 1958 und 1994. *Euphytica* 99:175-182
- Barrière, Y., O. Argillier & V. Méchin, 1998a. *In vivo* digestibility and biomass yield in normal and bm3 hybrids, made from crossing early and medium late lines of maize. *Maydica* 43:131-136
- Barrière, Y., M.R. Tovar-Gómez, J.C. Émile & D. Sauvart, 1998b. Genetic variation in rate and extent of the *in situ* cell wall degradation of maize stalks at silage harvest time. *Agronomie* 18:581-589
- Barrière, Y. & J.C. Émile, 2000. Le maïs fourrage. III Evaluation et perspectives de progrès génétique sur les caractères de valeur alimentaire. *Fourrages* 163:221-238
- Barrière, Y., C. Gibelin, O. Argillier & V. Méchin, 2001. Genetic Analysis in recombinant inbred lines of early dent forage maize: I. QTL mapping for yield, earliness, starch and crude protein contents from *per se* value and topcross experiments. *Maydica* 46:253-266
- Barrière, Y., C. Guillet, D. Goffner & M. Pichon, 2003. Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. *Anim. Res.* 52:193-228
- Brunschwig, P., P. Augéard & B. Carpentier, 1995. Valorisation par des vaches laitières de deux variétés de maïs de digestibilité différente. *Ann. Zootech.* 44 Suppl, 372
- Bunting, E.S., 1975. The question of grain content and forage quality in maize: comparisons between isogenic fertile and sterile plants. *J. Agric. Sci.* 85:455-463
- Cherney, J.H., M.D. Casler & D.J.R. Cherney, 1996. Sampling forage corn for quality. *Can. J. Plant Sci.* 76:93-99
- Cochran, W.G. & G.M. Cox, 1957. *Experimental Designs*. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc., London, New York.
- Cone, J.W. & F.M. Engels, 1993. The influence of ageing on cell wall composition and degradability of three maize genotypes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40:331-342
- Coors, J.G., K.A. Albrecht & E.J. Bures, 1997. Ear-fill effects on yield and quality of silage corn. *Crop Sci.* 37:243-247
- Cozzolino, D., A. Fassio & A. Gimenez, 2000. The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the composition of whole maize plants. *J. Sci. Food Agric.* 81:142-146

- Daccord, R., Y. Arrigo & R. Vogel, 1995. Nährwert von Maissilage. *Agrarforschung* 2:397-400
- Darby, H.M. & J.G. Lauer, 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agron. J.* 94:559-566
- Dardenne, P., J. Andrieu, Y. Barrière, R. Biston, C. Demarquilly, N. Femenias, M. Lila, P. Maupetit, F. Rivière & T. Ronsin, 1993. Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. II. Prediction of the *in vivo* organic matter digestibility. *Ann. Zootech.* 42:251-270
- De Boever, J.L., B.G. Cottyn, F.X. Wainman & J.M. Vanacker, 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14:203-214
- De Boever, J.L., J. van Waes, B.G. Cottyn & Ch.V. Boucqué, 1994. The prediction of forage maize digestibility by near infrared reflection spectroscopy. *Neth. J. Agric. Sci.* 42:105-113
- De Boever, J.L., B.G. Cottyn, D.L. de Brabander, J.M. Vanacker & Ch.V. Boucqué, 1997. Prediction of the feeding value of maize silages by chemical parameters, *in vitro* digestibility and NIRS. *Anim. Feed Sci. Technol.* 66:211-222
- Degenhardt, H., 1996. NIRS-Untersuchungen zur Erfassung futterwertrelevanter Qualitätsparameter von Silomaisorten in einem Gerätenetzwerk. Dissertation Universität Halle-Wittenberg. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 163.
- Deinum, B., 1988. Genetic and environmental variation in quality of forage maize in Europe. *Neth. J. Agric. Sci.* 36:400-403
- Deinum, B. & J.J. Bakker, 1981. Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Neth. J. Agric. Sci.* 29:93-98
- Deinum, B., A. Steg & G. Hof, 1984. Measurement and prediction of digestibility of forage maize in the Netherlands. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:301-313
- Deinum, B. & 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. & P.C. Struik, 1989. Genetic variation in digestibility of forage maize (*Zea mays* L.) and its estimation by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). An analysis. *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 & 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 & 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, 1990. An effective screening method for improvement of cell-wall digestibility in forage maize. In: Hinterholzer, J. (Hrsg.): Proceedings of the 15th EUCARPIA Congress Maize-Sorghum, June 4-8, Baden, Austria, 258-270
- Dolstra, O., J.H. Medema & 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
- Dwyer, L. M., C.J. Andrews, D.W. Stewart, B.L. Ma, & J.A. Dugas, 1995. Carbohydrate levels in field-grown leafy and normal maize genotypes. *Crop Sci.* 35:1020-1027
- Eder, J. & B. Krützfeldt, 2000. Einfluss des Reifestadiums auf Ertrag und Qualitätsmerkmale von Silomais. *Pflanzenbauwissenschaften* 4:65-71
- Ewers, E., 1908. Über die Bestimmung des Stärkegehalts auf polarimetrischem Wege. *Z. öffentl. Chem.* 14:150-157
- Falconer, D.S. & T.F.C. Mackay, 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th Ed. Longman, Harlow
- Flachowsky, G., W. Peyker, A. Schneider & 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., A.E. Melchinger & G.A. Schmidt, 1986. Analysis of factorial crosses between flint and dent maize inbred lines for forage performance and quality traits. 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, 147-154
- Geiger, H.H., G. Seitz, A.E. Melchinger & G.A. Schmidt, 1992. Genotypic correlations in forage maize. I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica* 37:95-99
- Givens, D.I., B.G. Cottyn, P.J.S Dewey & A. Steg, 1995. A comparison of the neutral detergent-cellulase method with other laboratory methods for predicting the digestibility *in vivo* of maize silages from three European countries. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 54:184-192

- Givens, D. I., E. Owen & A.T. Adesogan, 2000. Current procedures, future requirements and the need for standardization. In: Givens, D.I., E Owen, R.F.E. Axford & H.M. Ohmed Hrsg.). Forage evaluation in ruminant nutrition. CABI Publishing, Wallingford, GB, 449-474
- Givens, D.I. & E.R. Deaville, 2001. Comparison of major carbohydrate fractions and cell wall digestibility in silages made from older and newer maize genotypes grown in the UK. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89:69-82
- Grabber, J.H., J. Ralph, R.D. Hatfield & S. Quideau, 1997. *p*-hydroxyphenyl, guaiacyl, and syringyl lignins have similar inhibitory effects on wall degradability. *J. Agric. Food. Chem.* 45:2530-2532
- Grabber, J.H., J. Ralph & R.D. Hatfield, 1998. Ferulate cross-links limit the enzymatic degradation of synthetically lignified primary walls of maize. *J. Agric. Food Chem.* 46:2609-2614
- Gurrath, P.A., 1991. Untersuchung zur genetischen Verbesserung der Verdaulichkeit der Restpflanze bei Silomais. Dissertation Universität Hohenheim
- Gurrath, P.A., B.S. Dhillon, W.G. Pollmer, D. Klein & E. Zimmer, 1991. Utility of inbred line evaluation in hybrid breeding for yield and stover digestibility in forage maize. *Maydica* 36:65-68
- Hallauer, A.R. & J.B. Miranda, 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa
- Healy, M.J.R. & M. Westmacott, 1956. Missing values in experiments analysed on automatic computers. *Appl. Statist.* 5:203-206
- Hein, W., L. Gruber, G. Uray, J. Hinterholzer & G. Puchwein, 1996. Restpflanze ist nicht gleich Restpflanze. *Mais* 24:108-111
- Hepting, L., 1988a. Verdaulichkeit der Maispflanze. I. Kolben ist nicht gleich Kolben. *Mais* 4/88: 23-25
- Hepting, L., 1988b. Verdaulichkeit der Maispflanze. II. Sortenunterschiede in der Verdaulichkeit der Restpflanze. *Mais* 4/88:26-28
- Hepting, L., 1988c. Verdaulichkeit der Maispflanze. III. Verdaulichkeit der Gesamtpflanze ein Maß für den Nährstofftrag. *Mais* 4/88: 29-30
- Herter, U., A. Arnold, F. Schubiger & M. Menzi, 1996a. Verdaulichkeit, das wichtigste Qualitätsmerkmal bei Silomais. *Agrarforschung* 3:535-538
- Herter, U., A. Arnold, F. Schubiger & M. Menzi, 1996b. Sorte, Ort, Jahr und Reife bestimmen die Silomaisqualität. *Agrarforschung* 3:539-542

- Hilfiker, J., R. Daccord, U. Herter & M. Menzi, 1998. Wirtschaftliche Bewertung von Ertrag und Qualität bei Silomais. *Agrarforschung* 5:492-494
- Hunt, C.W., W. Kezar & 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
- Hunter, R.B., 1978. Selection and evaluation procedures for whole-plant corn silage. *Can J. Plant Sci.* 58:661-678
- Jones, D.I.H. & M.K. Theodorou, 2000. Enzyme techniques for estimating digestibility. In: Givens, I., E. Owen, R.F.E. Axford & H.M. Omed (Hrsg.). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition.* 155-173
- Jung, H.G. & D.A. Deetz, 1993. Cell wall lignification and degradability. In: Jung, H.G. (Hrsg.). *Forage Cell Wall Structure and Digestibility.* SA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 315-347
- Jung, H.G. & 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
- Jung, H.G. & M.S. Allen, 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:2774-2790
- Jung, H.G., D.R. Mertens & D.R. Buxton, 1998a. Forage quality variation among maize inbreds: *In vitro* fiber digestion kinetics and prediction with NIRS. *Crop Sc.* 38:205-210
- Jung, H. G., T.A. Morrison & D.R. Buxton, 1998b. Degradability of cell-wall polysaccharides in maize internodes during stalk development. *Crop Sci.* 38:1047-1051
- Kitessa, S., P.C. Flinn, & G.G. Irish, 1999. Comparison of methods used to predict the *in vivo* digestibility of feeds in ruminant. *Aust. J. Agric. Res.* 50:825-841
- Kjeldahl, J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22:366-382
- Knapp, S.J. & W.L. Bridges, Jr., 1987. Confidence interval estimates for heritability for several mating and experiment designs. *Theor. Appl. Genet.* 73:759-763
- Langenhoff, M., 2002. Futtermittelkundliche Bewertung von zwei Silomaishybriden bei Wiederkäuern. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- Lübberstedt, T., A.E. Melchinger, C.C. Schön, H.F. Utz & D. Klein, 1997a. QTL Mapping in Testcrosses of European Flint Lines of Maize: I: Comparison of Different Testers for Forage Yield Traits. *Crop Sci.* 37:921-931

- Lübberstedt, T., A.E. Melchinger, D. Klein, H. Degenhardt & C. Paul, 1997b. QTL Mapping in Testcrosses of European Flint Lines of Maize: II. Comparison of Different Testers for Forage Quality Traits. *Crop Sci.* 37:1913-1922
- Luff, G. & W. Schoorl, 1929. *Chem. Weekbl.* 26:130
- Lundvall, J.P., D.R. Buxton, A.R. Hallauer & J.R. George, 1994. Forage quality variation among maize inbreds: *in vitro* digestibility and cell-wall components. *Crop Sci.* 34:1672-1678
- Mainka, C., 1990. Futterbewertung von Silomais mit der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS). Dissertation Universität. Kiel. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 119
- Marvin, H.J.P., C.F. Krechting, E.N. van Loo, C.H.A. Snijders & O. Dolstra, 1995. Relationship between stalk cell wall digestibility and fibre composition in maize. *J. Sci. Food Agric.* 69:215-221
- Méchin, V., O. Argillier, Y. Barrière & 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, V. Ménanteau, Y. Barrière, I. Mila, B. Pollet & C. Lapierre, 2000. Relationship of cell wall composition to *in vitro* cell wall digestibility of maize inbred line stems. *J. Sci. Food Agric.* 80:574-580
- Méchin, V., O. Argillier, Y. Hébert, E. Guingo, L. Moreau, A. Charcosset & Y. Barrière, 2001. Genetic analysis and QTL mapping of cell wall digestibility and lignification in silage maize. *Crop Sci.* 41:690-697
- Meisser, M. & U. Wyss, 1998: Wettereinfluss auf Wachstum und Reifung von Silomais. *Agrarforschung* 5:317-320
- Mode, C.J. & H.F. Robinson, 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15:518-523
- Moreno-González, J., I. Martínez, I. Brichette, A. López & P. Castro, 2000. Breeding potential of European flint and U.S. Corn Belt dent maize populations for forage use. *Crop Sci.* 40:1588-1595
- Nevens, W.B., 1933. Types and varieties of corn for silage. *Univ. of Ill. Agric. Exp. Sta. Bull.* 391
- Norris, F.H., R.F. Barnes, F.E. Moore & F.S. Shenk, 1976. Predicting forage quality by infrared spectroscopy. *J. Anim. Sci.* 43:889-897

- Röttgermann, M., 1997. Beurteilung des Stengelgewebes von Silomais (*Zea mays* L.) hinsichtlich Futterqualität mit Hilfe digitaler Bildverarbeitung und konventioneller Methoden. Dissertation Universität Bonn
- Roussel, V., C. Gibelin, A.S. Fontaine & 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
- Russell, J.R., 1986. Influence of harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize stover. *Anim. Feed Sci. Technol.* 14:11-27
- SAS, 1999. User's Guide: Statistics, Version 8 Edition. SAS Institute Inc., Gary, NC, USA
- Schlagheck, A.A., 2001. Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter Faktoren auf die *in vitro*-Verdaulichkeit von Silomais und auf Parameter der Pansenphysiologie. Dissertation Universität Göttingen
- Schmidt, G.A., 1986. Analyse faktorieller Kreuzungen zwischen Flint- und Dent-Inzuchtlinien bezüglich Leistungs- und Qualitätsmerkmalen bei Silomais. Dissertation Universität Hohenheim
- Schwarz, F.J., E.J. Pex & M. Kirchgeßner, 1996. Zum Sorteneinfluß von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. *Wirtschaftseig. Futter* 42:161-172
- Seitz, G., 1989. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Beziehung zwischen Linieneigenleistung und Allgemeiner Kombinationsfähigkeit bei Silomais. Dissertation Universität Hohenheim
- Seitz, G., H.H. Geiger, G.A. Schmidt & A.E. Melchinger, 1992. Genotypic correlations in forage maize. II. Relationship between inbred line and testcross performance. *Maydica* 37:101-105
- Struik, P.C., 1983. Physiology of forage maize (*Zea mays* L.) in relation to its production and quality. Dissertation Wageningen
- Struik, P.C. & 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. & 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 & 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
- Van Soest, P. J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 46:829-835
- Van Waes, J., L. Carlier, C. van Waes & E. van Bockstaele, 1997. Evaluation of quality characteristics in official trials with silage maize varieties in Belgium. *Neth. J. Agric. Sci.* 45:277-289
- Vattikonda, M.R. & 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 Silomais richtig? *Mais* 4/93:162-165
- Weißbach, F., 2003. Wird Silomais richtig bewertet? *Mais* 3/03:94-98
- Wermke, M., 1985: Trockenmasse-(TM)-Ertrag, Gerüstsubstanzzgehalt und Verdaulichkeit von Silomais in Abhängigkeit von Genotyp, Pflanzenalter und Standort. *Landwirtschaftl. Forschung* 38:384-394
- Wolf, D.P., J.G. Coors, K.A. Albrecht, D.J. Undersander & 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 & P.R. Carter, 1993b. Agronomic evaluations of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. *Crop Sci.* 33:1359-1365
- Wricke, G. & W.E. Weber, 1986. Quantitative genetics and selection in plant breeding. W. de Gruyter, Berlin, New York
- Yates, F. 1933. The analysis of replicated experiments when the field results are incomplete. *Emp. J. Exp. Agric.* 1:129-142
- Zimmer, E. & M. Wermke, 1986. Improving the nutritive value of 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, 91-100

## 8 Anhang

**Tab. 8.1:** Beschreibung der Versuchstandorte

---

Ort	Höhe über NN [m]	Bodenart	Bodenzahl
Bernburg	80	Sandiger Lehm	95
Einbeck	120	Lehm	80
Grucking	470	Sandiger Lehm	75
Walldorf	150	Sandiger Lehm	70

---

**Tab. 8.2:** Beschreibung der Aussaat- und Erntetermine sowie der Bestandesdichte in den Leistungsprüfungen 1999 und 2000

Ort	Leistungsprüfung	Aussaatdatum	Erntedatum	Pflanzen [m <sup>-2</sup> ]
1999				
Bernburg	F_(100)	28.4.	30.8.	7,75
	F_(100)	28.4.	9.9.	7,75
	FD_(100)	20.4.	7.9.	9,07
	FD_(49)	28.4.	3.9.	9,07
Einbeck	F_(100)	4.5.	7.9.	7,75
	F_(100)	4.5.	23.9.	7,75
	FD_(100)	4.5.	29.9.	11,1
	FD_(49)	4.5.	29.9.	11,1
Grucking	FD_(100)	1.5.	24.9.	11,1
Walldorf	F_(100)	3.5.	10.8.	7,75
	F_(100)	3.5.	2.9.	7,75
	FD_(49)	3.5.	17.9.	11,1
2000				
Bernburg	D_(100)	29.4.	5.9.	7,75
	D_(100)	29.4.	12.9.	7,75
	DF_(100)_I	29.4.	12.9.	8,4/ 10,7
	DF_(100)_II	18.4.	5.9.	8,4/ 10,7
Einbeck	D_(100)	30.4.	13.9.	7,75
	D_(100)	30.4.	28.9.	7,75
	DF_(100)_I	30.4.	21.9.	8,9/ 11,1
	DF_(100)_II	30.4.	5.10.	8,9/ 11,1
Grucking	DF_(100)_I	30.4.	21.9.	9,4/ 11,4
	DF_(100)_II	30.4.	21.9.	9,4/ 11,4
Walldorf	D_(100)	23.4.	17.8.	7,75
	D_(100)	23.4.	28.8.	7,75

**Tab. 8.3:** Durchschnittliche Lufttemperatur [°C] an den Versuchsstandorten Bernburg, Einbeck, Grucking und Walldorf während der Vegetationsperioden 1999 und 2000 und im langjährigen Mittel (langj. M.)

Monat	Bernburg			Einbeck		
	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)
April	10,1	11,2	8,3	9,0	10,4	8,0
Mai	14,3	15,3	13,4	13,7	14,0	12,6
Juni	16,1	17,5	16,6	15,0	16,0	15,7
Juli	20,2	16,7	18,2	18,4	14,9	17,1
August	18,3	19,1	17,7	16,5	17,5	16,7
September	18,3	14,5	14,3	16,9	14,4	13,5
<i>Mittel</i>	<i>16,2</i>	<i>15,7</i>	<i>14,8</i>	<i>14,9</i>	<i>14,5</i>	<i>13,9</i>
	Grucking			Walldorf		
	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)	1999	2000	langj. M. (1979- 2000)
April	8,5	9,5	8,3	11,4	12,0	10,3
Mai	14,0	14,4	13,0	16,4	16,7	14,9
Juni	15,0	17,1	15,7	17,6	19,4	17,8
Juli	18,0	15,6	17,6	21,7	18,0	20,2
August	17,0	18,0	17,6	20,2	21,1	20,1
September	15,5	13,3	12,8	18,9	16,6	16,0
<i>Mittel</i>	<i>14,7</i>	<i>14,7</i>	<i>14,2</i>	<i>17,7</i>	<i>17,3</i>	<i>16,6</i>

**Tab. 8.4:** Durchschnittliche Niederschlagsmenge [mm] an den Versuchsstandorten Bernburg, Einbeck, Grucking und Walldorf während der Vegetationsperioden 1999 und 2000 und im langjährigen Mittel (langj. M.)

Monat	Bernburg			Einbeck		
	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)
April	31,2	20,8	37,4	33,2	25,9	55,2
Mai	74,3	42,1	50,3	53,8	31,4	64,7
Juni	60,1	46,9	55,6	80,6	49,9	82,6
Juli	50,7	35,9	47,7	55,7	85,5	68,3
August	39,2	50,5	60,3	90,1	50,5	69,0
September	21,4	33,6	36,8	43,6	55,1	53,8
<i>Mittel</i>	46,2	38,3	48,0	59,5	49,7	65,6
	Grucking			Walldorf		
	1999	2000	langj. M. (1961- 1990)	1999	2000	langj. M. (1979- 2000)
April	72,5	40,9	47,3	55,0	54,0	51,6
Mai	123,0	53,4	70,7	80,0	95,0	77,2
Juni	83,8	35,8	101,1	55,0	36,0	82,1
Juli	92,8	60,2	104,6	100,0	121,0	83,5
August	47,2	69,6	75,1	49,0	52,0	52,1
September	63,9	101,6	71,0	42,0	121,0	58,0
<i>Mittel</i>	80,5	60,3	78,3	63,5	79,8	67,4

**Tab. 8.5:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in **Exp. F\_(100) Erntetermin 1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	25,0	73,1**	21,5	89,1**	19,3	59,4**
TSK [%]	48,0	92,9**	42,9	92,9**	32,9	88,0**
TSGB [%]	33,9	82,8**	28,1	86,9**	22,7	70,4**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	388,0	85,7**	360,0	80,8**	451,0	81,9**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	453,0	75,2**	300,0	79,8**	255,0	83,0**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	839,0	77,4**	660,0	76,8**	706,0	80,6**
TKA [%]	54,2	88,8**	46,0	87,1**	36,7	88,6**
ELOSR [%]	58,6	64,7**	58,3	74,7**	56,0	52,4**
IVOMR [%]	77,9	69,3**	76,2	60,2**	78,5	61,4**
RFR [%]	26,7	65,9**	26,7	74,0**	28,1	51,7**
NDFR [%]	51,5	68,0**	51,1	72,9**	56,3	43,2**
WLKR [%]	22,9	64,1**	22,8	62,6**	16,0	37,6**
RPR [%]	6,3	40,8**	6,7	54,5**	7,9	52,0**
DINAR [%]	46,4	50,3**	46,0	67,5**	47,6	59,6**
DINIR [%]	71,4	63,6**	69,3	62,8**	74,3	59,6**
DNDFR [%]	60,1	55,1**	57,1	61,6**	64,8	59,9**

<sup>†</sup> Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.6:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in **Exp. F\_(100) Erntetermin 2** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	30,4	92,6**	27,1	82,7**	29,5	79,7**
TSK [%]	55,0	91,1**	53,6	85,6**	53,9	91,0**
TSGB [%]	41,2	91,9**	37,8	89,3**	39,4	86,4**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	400,0	91,1**	312,0	87,2**	399,0	80,2**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	569,0	85,8**	389,0	82,8**	490,0	84,2**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	970,0	87,3**	702,0	83,4**	888,0	81,6**
TKA [%]	59,0	90,3**	56,6	87,0**	55,3	84,7**
ELOS R [%]	55,6	82,9**	54,4	81,9**	57,1	83,9**
IVOM R [%]	74,9	67,1**	73,1	79,2**	76,3	80,0**
RFR [%]	28,7	83,6**	28,7	78,5**	27,4	83,4**
NDFR [%]	55,1	83,8**	55,2	79,8**	53,2	87,8**
WLKR [%]	18,4	77,2**	21,1	80,9**	19,8	88,4**
RPR [%]	5,4	71,3**	5,4	70,1**	5,9	71,5**
DINAR [%]	45,7	79,6**	42,2	64,6**	46,5	67,3**
DINIR [%]	69,4	67,6**	66,0	73,5**	70,6	76,8**
DNDFR [%]	58,1	64,7**	55,2	74,3**	58,2	74,1**

<sup>†</sup> Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.7:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in **Exp. FD\_(100)** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	27,8	63,0**	24,0	58,8**	25,2	74,7**
TSK [%]	57,1	77,5**	55,4	72,4**	53,7	94,8**
TSGB [%]	38,4	51,8**	35,4	61,5**	35,9	79,7**
TSGA [%]	38,5	34,0**	35,9	60,4**	36,5	58,0**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	1010,0	58,7**	1061,0	63,9**	959,0	83,4**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	1183,0	56,4**	1393,0	44,7**	1235,0	69,0**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	2193,0	46,9**	2455,0	43,9**	2194,0	65,1**
TMGA [g m <sup>-2</sup> ]	2243,0	28,4**	2468,0	29,0**	2273,0	44,9**
TKA [%]	54,0	72,6**	56,9	73,6**	56,4	89,1**
ELOSR [%]	49,5	50,9**	43,0	49,3**	45,0	53,6**
IVOMR [%]	65,9	33,6**	64,7	59,2**	65,8	39,3**
RFR [%]	32,7	51,0**	34,6	45,5**	34,1	53,9**
NDFR [%]	64,1	50,4**	65,9	50,0**	64,7	54,7**
WLKR [%]	12,4	50,4**	11,7	53,0**	14,3	70,4**
RPR [%]	5,1	36,7**	5,1	28,5**	5,0	30,9**
DINAR [%]	42,9	44,5**	35,4	24,9*	35,9	37,3**
DINIR [%]	61,2	34,1**	60,1	53,4**	60,1	38,5**
DNDFR [%]	51,0	25,9*	49,9	60,3**	50,3	44,4**
STÄRKE [%]	29,6	31,7**	39,4	44,3**	35,4	54,7**
ELOSG [%]	67,2	32,9**	73,7	19,7*	72,9	40,1**
IVOMG [%]	75,1	30,3**	77,2	26,8**	77,1	32,6**
RFG [%]	19,1	32,3**	15,2	21,0*	16,3	43,8**
WLKG [%]	6,8	30,8**	8,3	28,4**	7,9	22,9*
RPG [%]	7,5	41,4**	6,6	50,7**	7,8	43,3**
DINAG [%]	48,6	31,6**	51,3	18,7*	52,3	32,6**
DINIG [%]	60,9	20,9*	57,8	40,8**	59,6	56,8**

<sup>†</sup> Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.8:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in **Exp. FD\_(49)** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	29,6	79,1**	22,9	64,2**	23,6	65,1**
TSK [%]	53,9	88,6**	57,6	85,2**	57,0	94,0**
TSGB [%]	39,0	83,0**	35,3	69,8**	35,8	65,2**
TSGA [%]	39,5	41,4**	35,7	67,1**	36,1	49,9**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	902,0	72,2**	1095,0	67,5**	1034,0	73,3**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	1050,0	47,2**	1528,0	46,5**	1447,0	53,9**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	1953,0	49,4**	2621,0	64,2**	2481,0	52,6**
TMGA [g m <sup>-2</sup> ]	1962,0	54,1**	2637,0	24,7	2544,0	48,5**
TKA [%]	53,8	80,8**	58,4	67,2**	58,3	79,1**
ELOSR [%]	49,1	65,0**	42,8	44,2**	42,4	55,7**
IVOMR [%]	66,5	59,2**	64,4	25,9*	63,5	53,1**
RFR [%]	33,1	59,6**	34,9	39,9**	35,8	53,7**
NDFR [%]	64,8	73,0**	66,9	53,3**	66,5	61,1**
WLKR [%]	11,9	84,0**	11,5	64,6**	9,65	66,3**
RPR [%]	5,0	33,8*	5,1	49,8**	5,24	40,9**
DINAR [%]	42,3	51,6**	35,3	36,7**	36,3	38,3**
DINIR [%]	61,9	47,6**	59,7	25,0	59,7	54,2**
DNDFR [%]	52,1	52,5**	49,7	27,1*	48,1	54,7**
STÄRKE [%]	28,3	28,5*	39,3	47,4**	36,7	41,6**
ELOSG [%]	66,5	27,6*	73,3	30,0*	71,1	45,1**
IVOMG [%]	74,6	30,4*	76,5	35,3*	75,6	40,8**
RFG [%]	19,7	32,2*	15,9	47,3**	17,2	44,3**
WLKG [%]	7,4	49,4**	7,1	53,3**	5,8	29,1*
RPG [%]	7,0	58,2**	7,8	74,4**	7,5	64,2**
DINAG [%]	48,1	30,9*	50,3	22,2	49,7	36,9*
DINIG [%]	60,5	28,1	56,2	56,1**	57,5	61,3**

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.9:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in **Exp. D\_(100) Erntetermin 1** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	29,4	79,7**	24,1	78,9**	23,1	77,2**
TSK [%]	36,7	91,8**	28,2	91,8**	34,7	94,3**
TSGB [%]	31,7	86,8**	25,4	90,7**	27,2	87,7**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	672,0	80,5**	393,0	79,4**	488,0	70,3**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	369,0	85,4**	151,0	84,3**	356,0	85,2**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	1041,0	77,5**	543,0	77,0**	846,0	66,6**
TKA [%]	35,4	89,9**	27,4	86,7**	41,6	93,4**
ELOSR [%]	58,8	66,4**	56,2	73,7**	49,1	73,1**
IVOMR [%]	76,7	84,1**	75,2	76,3**	72,9	71,8**
RFR [%]	26,7	67,3**	27,1	63,5**	30,3	62,4**
NDFR [%]	52,9	79,2**	51,2	65,1**	59,4	50,4**
WLKR [%]	22,8	89,8**	24,8	71,0**	15,1	53,1**
RPR [%]	6,1	62,1**	6,0	55,1**	7,1	46,3**
DINAR [%]	46,7	50,8**	41,8	60,8**	40,1	77,5**
DINIR [%]	69,8	83,0**	67,1	75,4**	68,1	68,2**
DNDFR [%]	60,0	84,4**	56,0	77,2**	57,8	67,1**

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.10:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Linien in **Exp. D\_(100) Erntetermin 2** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Walldorf	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	28,3	78,1**	25,3	73,2**	28,3	83,5**
TSK [%]	46,9	89,7**	35,3	89,0**	46,1	95,2**
TSGB [%]	35,4	85,6**	28,2	88,1**	35,1	92,9**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	522,0	86,5**	421,0	74,9**	499,0	81,2**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	503,0	88,2**	195,0	83,7**	481,0	88,7**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	1025,0	83,7**	616,0	73,6**	979,0	81,7**
TKA [%]	48,9	89,7**	31,1	86,5**	48,3	94,3**
ELOS R [%]	56,6	80,6**	54,7	62,2**	51,7	89,7**
IVOMR [%]	74,4	76,0**	72,7	67,8**	72,3	87,2**
RFR [%]	28,1	78,4**	27,7	49,8**	29,2	87,1**
NDFR [%]	57,6	81,9**	53,3	48,6**	54,9	88,7**
WLKR [%]	18,5	81,8**	23,5	47,7**	21,4	90,9**
RPR [%]	5,7	51,7**	5,6	40,0**	5,5	49,4**
DINAR [%]	46,9	68,1**	40,7	57,0**	38,6	81,5**
DINIR [%]	68,7	73,9**	64,3	66,9**	64,8	85,2**
DNDFR [%]	61,5	72,3**	53,5	68,0**	54,1	86,9**

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.11:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in **Exp. DF\_(100)\_I** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Grucking	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	31,1	55,6**	21,5	60,7**	27,1	70,4**
TSK [%]	55,4	78,0**	50,5	90,9**	57,8	86,2**
TSGB [%]	41,7	75,6**	31,5	80,8**	39,6	77,8**
TSGA [%]	44,1	74,5**	32,1	62,0**	42,2	65,7**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	848,0	62,5**	870,0	71,1**	947,0	62,0**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	1165,0	47,4**	1074,0	67,3**	1400,0	45,4**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	2013,0	26,6**	1947,0	50,4**	2345,0	44,2**
TMGA [g m <sup>-2</sup> ]	2134,0	10,2	2037,0	44,3**	2494,0	47,0**
TKA [%]	57,9	76,8**	55,4	80,1**	56,7	72,7**
ELOSR [%]	42,8	66,5**	42,5	68,6**	39,3	62,2**
IVOMR [%]	62,4	66,2**	65,9	65,8**	59,5	59,5**
RFR [%]	35,9	57,7**	35,5	54,8**	37,0	53,3**
NDFR [%]	71,6	63,7**	68,5	57,2**	71,6	55,4**
WLKR [%]	9,1	69,6**	10,5	68,9**	9,5	70,0**
RPR [%]	4,0	41,6**	5,1	35,7**	3,8	36,4**
DINAR [%]	37,1	53,4**	35,8	57,0**	33,0	51,7**
DINIR [%]	58,7	62,9**	61,9	60,1**	55,4	57,0**
DNDFR [%]	50,9	60,1**	54,0	62,2**	45,6	60,1**
STÄRKE [%]	37,0	35,6**	37,4	56,1**	41,7	44,3**
ELOSG [%]	71,6	33,2**	72,4	45,7**	74,4	33,5**
IVOMG [%]	76,6	37,8**	76,0	44,4**	77,9	31,0**
RFG [%]	17,4	29,9**	16,9	43,6**	15,9	31,5**
WLKG [%]	4,4	50,6**	6,2	43,9**	5,4	72,9**
RPG [%]	7,0	30,5**	7,3	15,8	6,9	12,2
DINAG [%]	51,8	37,9**	51,0	45,1**	51,6	29,1**
DINIG [%]	60,2	37,9**	57,2	20,5*	58,3	28,1**

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

**Tab. 8.12:** Ortsmittelwerte (MW), Wiederholbarkeiten (REP [%]) und statistische Signifikanz der genotypischen Varianz der Hybriden in **Exp. DF\_(100)\_II** für agronomische und qualitätsbestimmende Merkmale

Merkmal <sup>†</sup>	Bernburg		Einbeck		Grucking	
	MW	REP	MW	REP	MW	REP
TSR [%]	32,0	65,7**	25,7	86,1**	27,4	61,3**
TSK [%]	52,7	81,8**	53,5	89,1**	56,8	83,1**
TSGB [%]	41,6	75,7**	37,1	90,3**	39,5	78,7**
TSGA [%]	42,8	78,9**	37,9	93,3**	41,5	78,5**
TMR [g m <sup>-2</sup> ]	770,0	62,8**	874,0	66,4**	1005,0	71,6**
TMK [g m <sup>-2</sup> ]	1113,0	64,2**	1305,0	56,7**	1475,0	51,1**
TMGB [g m <sup>-2</sup> ]	1883,0	48,9**	2180,0	47,9**	2480,0	45,8**
TMGA [g m <sup>-2</sup> ]	1993,0	38,8**	2250,0	62,0**	2577,0	37,9**
TKA [%]	59,1	79,6**	59,9	79,6**	59,5	81,2**
ELOS R [%]	47,6	52,3**	38,8	46,4**	38,3	65,3**
IVOM R [%]	65,3	49,8**	62,3	53,9**	58,4	60,6**
RFR [%]	33,8	39,4**	37,0	44,1**	37,2	66,6**
NDFR [%]	69,0	53,9**	72,6	49,9**	72,5	71,7**
WLKR [%]	10,9	69,8**	6,5	46,7**	8,5	74,2**
RPR [%]	4,4	31,0**	5,4	41,4**	3,9	44,7**
DINAR [%]	41,2	36,0**	34,6	48,0**	32,6	47,0**
DINIR [%]	61,1	39,7**	59,7	61,4**	54,6	49,8**
DNDFR [%]	53,1	48,4**	50,3	63,6**	43,6	53,3**
STÄRKE [%]	33,1	36,8**	38,5	40,9**	40,1	49,7**
ELOG S [%]	70,2	43,9**	72,2	17,6	73,2	39,6**
IVOM G [%]	76,4	44,4**	76,7	23,9*	77,3	34,5**
RFG [%]	18,6	40,2**	17,1	25,4**	16,3	39,8**
WLKG [%]	5,2	69,6**	5,2	46,0**	4,5	47,8**
RPG [%]	6,4	40,7**	7,4	51,6**	6,8	47,2**
DINAG [%]	51,8	48,6**	50,8	--	51,8	31,7**
DINIG [%]	61,8	52,7**	58,7	21,7*	59,2	26,7**

† Erläuterung der Abkürzungen auf S. 15 - 17, s.a. Beiblatt.

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

-- Schätzwert negativ.

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. H.H. Geiger gilt mein herzlicher Dank für die Überlassung des Themas, für wissenschaftliche Anregungen und die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Dr. J. Eder, LfL Freising, möchte ich für die fachlichen Ratschläge, die Unterstützung und den gewährten Freiraum bei der Durchführung der Arbeit danken.

Herrn Dr. M. Landbeck und Herrn Dr. W. Schmidt, KWS SAAT AG Einbeck, danke ich für die Bereitstellung des genetischen Materials, fachliche Beratung und die Einführung in Aspekte der Silomaiszüchtung. Herrn Dr. G. Zieger von der KWS Maiszuchtstation Bernburg gilt mein Dank für die raschen Antworten bei Fragen zum Datenmaterial.

Bei den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung 4d der LfL bedanke ich mich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und tatkräftige Hilfe bei der Ernte und Probenverarbeitung. Ein besonderer Dank gilt Frau Ch. Papst für fachliche und nichtfachliche Diskussionen und das Korrekturlesen sowie Frau R. Volkhausen für ihre Unterstützung bei der Probenaufbereitung und Qualitätsanalyse.

In Hohenheim danke ich besonders Frau S. Tams für Literaturlieferdienste und die Bereitstellung einer Unterkunft bei meinen Aufenthalten in Hohenheim.

Ohne die zahlreichen Aushilfen wäre die Kolbenernte und Vermahlung der Proben zur Qualitätsanalyse nicht so problemlos möglich gewesen - Danke.

Außerdem gilt mein Dank den Betreuern der Feldversuche in Bernburg, Einbeck, Gondelsheim und Grucking und allen nicht namentlich genannten Mitarbeitern der Universität Hohenheim, der KWS und der LfL, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

## Lebenslauf

Name	<u>Birte</u> Asta Erna Krüzfeldt
Geboren	22. Oktober 1974 in Eutin
Familienstand	ledig
Schulausbildung	1981 bis 1985 Grundschule in Plön 1985 bis 1994 Gymnasium in Plön, Abitur im Juli 1994
Studium	WS 1994/95 bis WS 1999 Agrarwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Fachrichtung Pflanzen- produktion, Diplomabschluss im Oktober 1999
Landwirtschaftliche Praxis	Juli bis Oktober 1995 Praktikum auf dem landwirtschaftlichen Betrieb von F. Ernst, Tröndel, Kreis Plön Juli bis Oktober 1996 Praktikum auf dem elterlichen Landwirt- schaftsbetrieb von H. Krüzfeldt, Oberkleveez, Kreis Plön Juli bis Oktober 1997 Praktikum und Juli bis November 1998 Aushilfstätigkeit im Bereich Feldversuchswesen der Landwirt- schaftskammer Schleswig-Holstein, Futterkamp, Kreis Plön
Berufliche Tätigkeit	Seit November 1999 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising- Weihenstephan und externe Doktorandin am Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim