TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Tierernährung

Zum Einfluss von Genotyp und physiologischer Reife von Mais auf die chemische Zusammensetzung und ruminale Abbaubarkeit der Restpflanze

Friederike Maria Elisabeth Zeller

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:	Univ.-Prof. Dr. J. Schnyder
Prüfer der Dissertation:	
	1. apl. Prof. Dr. F.J. Schwarz
	2. Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. J. Bauer
	3. Assoc. Prof. Dr. M. Bunzel (University of Minnesota / USA)

Die Dissertation wurde am 07.10.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 08.01.2009 angenommen.

Für Franz und meine Familie

Danksagung

Herrn Prof. F.J. Schwarz möchte ich ganz herzlich für die Überlassung des Themas und die Bereitstellung der Arbeitsmöglichkeiten danken. Aber auch die unermüdliche Betreuung, die stete Gesprächsbereitschaft und die immer neuen Denkansätze, die Herr Schwarz mir lieferte, sollen nicht unerwähnt bleiben und haben mir immer sehr geholfen. Vielen Dank auch dafür!

Auch bei allen beteiligten Mitarbeitern des Lehrstuhls und der Versuchsanlage für Tierernährung sowie der Versuchsstation Hirschau möchte ich mich für die jederzeit gewährte Unterstützung bedanken.

Der Firma Monsanto und Herrn Mühleisen sei herzlich gedankt für die Bereitstellung der Maissorten sowie so manchen hilfreichen fachlichen Beitrag.

Mein besonderer Dank gilt auch Frau Diane Dobberstein und Herrn Mirko Bunzel für die stets freundliche und gute Zusammenarbeit bei diesem Gemeinschaftsprojekt.

Auch Franz und meiner Familie möchte ich für die vielen Stunden Zuhören und die moralische Unterstützung danken.

Freising-Weihenstephan, im September 2008

Friederike Zeller

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Material und Methodik 4

2.1 Versuchsplanung und Versuchsaufbau 4

2.2 Beschreibung der untersuchten Maissorten 7

2.2.1. Anbau und Konservierung 7

2.2.2 Probenahme und Aufbereitung 7

2.3 Analytik 10

2.3.1 Analytik pansenphysiologischer Parameter der *in sacco*-Versuche 10

2.3.2 Analytik des Probenmaterials vor Inkubation 11

2.3.2.1 Trockensubstanzbestimmung des Probenmaterials 11

2.3.2.2 Inhaltsstoffe 12

2.4 Charakterisierung der Abbaubarkeit des Materials 15

2.4.1 *In vitro*-Verdaulichkeit 15

2.4.2 Gasbildungsvermögen 16

2.4.3 *In sacco*-Abbaubarkeit der Mais-Restpflanze 17

2.4.3.1 Methodik der *in sacco*-Abbaubarkeitsmessung 17

2.4.3.2 Tiermaterial und Tierhaltung 19

2.4.3.3 Bestimmung der pansenphysiologischen Parameter 19

2.4.3.4 Pansenparameter der Versuchstiere 21

2.4.4 Kohlenhydrate in den Residuen 23

2.5 Statistische Auswertung 23

3. Ergebnisse 26

3.1 Ausgangsmaterial der Sorten 26

3.1.1 Trockensubstanzgehalte der untersuchten Maissorten 26

3.1.2 Rohnährstoffe 33

3.1.3 Pflanzliche Gerüstsubstanzen 39

3.1.4 Weitere Analysen der Zellwand-Inhaltsstoffe 49

3.2 Abbaubarkeitscharakteristika 56

3.2.1 *In vitro*-Verdaulichkeit 56
3.2.2 Gasbildungsvermögen 58
3.2.3 Ruminale Abbaubarkeit der Mais-Restpflanzen 62
3.2.3.1 TS-Verluste *in sacco* 62
3.2.3.2 Abbaubarkeitsparameter der Trockensubstanz 73
3.2.3.3 Effektive ruminale Abbaubarkeit der Trockensubstanz 82
3.2.4 Ruminale Abbaubarkeit der NDF anhand ausgewählter Sorten 85
3.2.4.1 NDF-Verluste *in sacco* zu ausgewählten Inkubationszeiten 85
3.2.4.2 Abbaubarkeitsparameter der NDF 88
3.2.4.3 Effektive ruminale Abbaubarkeit der NDF 89

4. Diskussion 91

4.1 Zur Zusammensetzung von Pflanzenzellwänden 91
4.1.1 Aufbau der Pflanzenzellwand 91
4.1.2 Chemische Bestandteile der Pflanzenzellwand 93

4.2 Allgemeine Hinweise zum Futterwert von Silomais 106

4.3 Möglichkeiten zur Beurteilung des Futterwerts von Silomais 109

4.4 Zur chemischen Zusammensetzung der Restpflanze und ihrer Abbaubarkeitscharakteristka in Abhängigkeit vom Genotyp 112
4.4.1 Chemische Zusammensetzung in Abhängigkeit des Genotyps der Restpflanzen 112
4.4.2 Ruminale Abbaubarkeit und *in vitro* Verdaulichkeit in Abhängigkeit des Genotyps und deren Interaktion zur chemischen Zusammensetzung 124

4.5 Zur chemischen Zusammensetzung der Restpflanze und ihrer Abbaubarkeitscharakteristika in Abhängigkeit von der physiologischen Reife der Pflanze 138
4.5.1 Chemische Zusammensetzung der Restpflanzen in Abhängigkeit des Reifestatus 138
4.5.2 Ruminale Abbaubarkeit und *in vitro* Verdaulichkeit in Abhängigkeit des Reifestatus und deren Interaktion zur chemischen Zusammensetzung 146

5. Schlussfolgerungen 155

6. Zusammenfassung.....158

7. Summary.....161

8. Literaturverzeichnis.....164

9. Tabellenanhang.....9-1

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Maissorten, deren Zuordnung zu den Reifegruppen und die Anbaujahre 4
Tabelle 2: Übersicht Versuchsdurchgänge 6
Tabelle 3: Anbau, Düngung und Pflanzenschutzmassnahmen in den drei Erntejahren 7
Tabelle 4: Sollwerte der Korn-TS zum jeweiligen Erntezeitpunkt 8
Tabelle 5: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den verschiedenen Erntejahren nach Reifegruppen aufgeteilt 8
Tabelle 6: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den verschiedenen Erntejahren 9
Tabelle 7: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den Sorten über drei Versuchsjahre .. 9
Tabelle 8: Übersicht über Sorten, Erntezeitpunkte und Anbaujahre, die für die Analytik zum Einsatz kamen 15
Tabelle 9: Übersicht über die Wiederholungen in den Einzelversuchen 18
Tabelle 10: Zeitpunkte von Pansensaftentnahme und Bestimmung der pansenphysiologischen Parameter (pH-Wert, FFS, NH_3-Stickstoff) 20
Tabelle 11: Gehalte an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft 210 Minuten nach der Morgenfütterung 23
Tabelle 12: Mittlere T-Gehalte (%) der Körner im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 26
Tabelle 13: Mittlere T-Gehalte (%) der Körner von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 27
Tabelle 14: Mittlere T-Gehalte (%) der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 28
Tabelle 15: Mittlere T-Gehalte (%) der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 29
Tabelle 16: Mittlere T-Gehalte (%) der Gesamtpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 30
Tabelle 17: Mittlere T-Gehalte (%) der Gesamtpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 30
Tabelle 18: Mittlere Rohaschegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 33

Tabelle 19: Mittlere Rohaschegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 34
Tabelle 20: Mittlere Rohproteingehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 35
Tabelle 21: Mittlere Rohproteingehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 35
Tabelle 22: Mittlere Rohfettgehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 36
Tabelle 23: Mittlere Rohfettgehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 37
Tabelle 24: Mittlere Rohfasergehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 39
Tabelle 25: Mittlere Rohfasergehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 40
Tabelle 26: Mittlere NDF-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 40
Tabelle 27: Mittlere NDF-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 41
Tabelle 28: Mittlere ADF-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 42
Tabelle 29: Mittlere ADF-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 42
Tabelle 30: Mittlere ADL-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 43
Tabelle 31: Mittlere ADL-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 44
Tabelle 32: Mittlere Hemicellulosegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 44
Tabelle 33: Mittlere Hemicellulosegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 45
Tabelle 34: Mittlere Cellulosegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 46
Tabelle 35: Mittlere Cellulosegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 46

Tabelle 36: Überblick über die Gesamtkohlenhydrate, freie Glucose und Rohfasergehalte gemittelt über alle untersuchten Sorten 49
Tabelle 37: Überblick über die Zellwandbestandteile (Cellulose und Hemicellulosebestandteile) gemittelt über alle untersuchten Sorten 50
Tabelle 38: Überblick über die Zellwandbestandteile (Ligninbestimmung und Cross-Links) gemittelt über alle untersuchten Sorten 50
Tabelle 39: Überblick über die Gesamtkohlenhydratgehalte einzelner Sorten 51
Tabelle 40: Überblick über die Glucosegehalte einzelner Sorten 52
Tabelle 41: Überblick über die Xylosegehalte einzelner Sorten 52
Tabelle 42: Überblick über die Gehalte an Klason-Lignin einzelner Sorten 53
Tabelle 43: ELOS-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 56
Tabelle 44: Mittlere ELOS-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 57
Tabelle 45: Mittlere EULOS-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 58
Tabelle 46: Mittlere EULOS-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 58
Tabelle 47: Mittlere Gasbildung der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 59
Tabelle 48: Gasbildung der Restpflanze im Reifeverlauf (Anbaujahre 2004-2006) .. 60
Tabelle 49: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) in den Auswaschverlusten im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 62
Tabelle 50: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) in den Auswaschverlusten im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) 63
Tabelle 51: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 4 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 64
Tabelle 52: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 4 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) 64
Tabelle 53: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 24 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 65

Tabelle 54: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 24 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) 66

Tabelle 55: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%)nach einer Inkubationszeit von 48 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 66

Tabelle 56: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 48 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) 67

Tabelle 57: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 96 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 68

Tabelle 58: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 96 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) 68

Tabelle 59: a–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen..... 73

Tabelle 60: a–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 74

Tabelle 61: b–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 74

Tabelle 62: b–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 75

Tabelle 63: Abbaurate c der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (% h^{-1}) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen..... 76

Tabelle 64: Abbaurate c der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (% h^{-1}) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 76

Tabelle 65: d–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen 77

Tabelle 66: d–Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 78

Tabelle 67: lag time (t_0) der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen..... 78

Tabelle 68: lag time (t_0) der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 79

Tabelle 69: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) über vier Erntezeitpunkte zusammengefasst nach Reifegruppen 82

Tabelle 70: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) 83

Tabelle 71: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (% der NDF) zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte..... 85

Tabelle 72: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (% der NDF) zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte..... 86

Tabelle 73: Abbauparameter a, b und d (in %) von ausgewählten Sorten..... 88

Tabelle 74: Abbauparameter c (% h^{-1}) und lag time (h) von ausgewählten Sorten... 88

Tabelle 75: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte 89

Tabelle 76: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) der Erntezeitpunkte gemittelt über die Sorten..... 90

Tabelle 77: Mittlere Trockensubstanzgehalte und Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen verschiedener Maissorten 114

Tabelle 78: Eigenschaften der Reifegruppen I und III im Vergleich..... 125

Tabelle 79: Regressionsgleichungen der Einzelsorten für EDM6 in Abhängigkeit des NDF-Gehalts..... 129

Tabelle 80: Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten (r) der Reifegruppen I und III für EDNDF6 in Abhängigkeit des p-Cumarsäuregehalts.. 135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über die Methoden der Zellwandanalytik 14
Abbildung 2: Mittlerer Verlauf des pH-Wertes und des Gehaltes an NH_3 im Pansensaft der Versuchstiere in den Versuchsreihen 1 – 3..... 22
Abbildung 3: Mittlere Trockensubstanzgehalte der Maispflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte 32
Abbildung 4: Mittlere Rohnährstoffgehalte der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte 38
Abbildung 5: Mittlere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst 48
Abbildung 6: Mittlere Gehalte an Gesamtkohlenhydraten, Glucose, Xylose und Lignin der Mais-Restpflanzen zu Reifegruppen zusammengefasst 54
Abbildung 7: Mittlere Gehalte an Arabinose, Mannose, Galaktose und Uronsäuren der Mais-Restpflanzen zu Reifegruppen zusammengefasst 55
Abbildung 8: Mittlere Gehalte an enzymlöslicher bzw. enzymunlöslicher organischer Substanz und mittleres Gasbildungspotential der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte..... 61
Abbildung 9: Mittlere Auswaschverluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf zu Reifegruppen zusammengefasst..... 69
Abbildung 10: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 4 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst 70
Abbildung 11: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 48 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst 70
Abbildung 12: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 96 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst 71
Abbildung 13: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen bei verschiedenen Inkubationszeiten nach Reifegruppen zusammengefasst..... 72
Abbildung 14: Abbaubarkeitsparameter a, b und d der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst 80
Abbildung 15: Abbaubarkeitsparameter c und lag time der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst..... 80

Abbildung 16: Mittlere effektive ruminale Abbaubarkeit der T der Mais-Restpflanzen bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} im Reifeverlauf nach Reifegruppen zusammengefasst..... 84

Abbildung 17: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte 86

Abbildung 18: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen zu ausgewählten Inkubationszeiten im Reifeverlauf gemittelt über die Sorten 87

Abbildung 19: Effektive NDF-Abbaubarkeit der Sorten gemittelt über alle Erntezeitpunkte bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1}..... 89

Abbildung 20: Schematischer Aufbau der Zellwand einer sich noch im Wachstum befindlichen Pflanzenzelle..... 92

Abbildung 21: Schematischer Aufbau der Pflanzenzellwand..... 93

Abbildung 22: Schichtenaufbau der pflanzlichen Zellwand und relative Anteile der chemischen Bestandteile 93

Abbildung 23: Molekularer Aufbau eines Cellulose-Moleküls (Ausschnitt) 94

Abbildung 24: Zuckerderivate in Polyosen und ihre Umwandlungswege 95

Abbildung 25: Ausschnitt eines Arabinoxylans (FS=Ferulasäure)..... 96

Abbildung 26: Glucuronoarabinoxylan..... 97

Abbildung 27: Ausschnitt eines Mixed-linked-ß-Glucans..... 97

Abbildung 28: Galaktoglucomannan..... 98

Abbildung 29: Homogalakturonan – Basiselement des Pektins..... 98

Abbildung 30: Polygalakturonsäureketten (1) in antiparalleler Vernetzung durch Ca^{2+}-Ionen und (2) in paralleler oder antiparalleler Vernetzung durch Ca^{2+}-Querbrücken 99

Abbildung 31: Rhamnogalakturonan I mit drei möglichen Typen von Seitenverzweigungen..... 100

Abbildung 32: Mögliche Pektinstrukturen 101

Abbildung 33: Monolignole 102

Abbildung 34: Bindungstypen im Ligninpolymer..... 103

Abbildung 35: p-Cumarsäure, Ferulasäure und Sinapinsäure..... 104

Abbildung 36: Phenylpropanstoffwechsel (vereinfacht)..... 104

Abbildung 37: Gehalte an NDF im Vergleich zur effektiven Abbaubarkeit der NDF (EDNDF6) von Reifegruppe I und III 127

Abbildung 38: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit des Materials bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} 129

Abbildung 39: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der NDF bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} 130

Abbildung 40: Gehalte an Ferula- (FS) und p-Cumarsäuren (pCS) im Vergleich zur effektiven Abbaubarkeit (EDM6) von Reifegruppe I und III 134

Abbildung 41: Beziehung zwischen p-Cumarsäure-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der NDF bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} 135

Abbildung 42: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und Rohfaser-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre..... 139

Abbildung 43: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und NDF-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre..... 141

Abbildung 44: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und ADF-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre..... 142

Abbildung 45: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und ELOS-Gehalten bzw. Gasbildungspotential der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre 148

Abbildung 46: Beziehung zwischen Trockensubstanz-Gehalt und effektiver ruminaler Abbaubarkeit der Trockensubstanz der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre..... 149

Abbildung 47: Veränderung der effektiven Abbaubarkeit der NDF bei angenommenen Passageraten von 2, 4, 6 und 8 Prozent pro Stunde im Reifeverlauf 151

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

%	Prozent
℃	Grad Celsius
µm	Mikrometer
ABSL	Acetylbromidlösliches Lignin
ADF	Acid Detergent Fibre
ADL	Acid Detergent Lignin
Ara	Arbinose
bm_3	brown midrib 3-Hybriden
CEL	Cellulose
Cg1	Corngrass 1
cm	Zentimeter
cm^2	Quadratzentimeter
DOMD	Digestible Organic Matter of the Dry Matter
ED	effektive Abbaubarkeit (effective degradability)
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
EULOS	Enzymunlösliche organische Substanz
EZP	Erntezeitpunkt
FA (FS)	Ferulasäure
FFS	Flüchtige Fettsäuren
fGlc	freie Glucose
FID	Flammenionisationsdetektor
g	Gramm
Gal	Galaktose
GB	Basbildung

GC	Gaschromatographie
GKh	Gesamtkohlenhydrate
Glc	Glucose
h	Hour
ha	Hektar
HEM	Hemicellulose
IVDDM	*In Vitro* Digestible Dry Matter
IVDNDF (IVNDFD)	*In Vitro* Digestible NDF
IVDOM	*In Vitro* Digestible Organic Matter
J	Joule
k	Passagerate
kg	Kilogramm
KL	Klason-Lignin
m	Meter
m^2	Quadratmeter
Man	Mannose
mg	Milligramm
Mio	Millionen
ml	Milliliter
mm	Millimeter
n	Stichprobenanzahl
N	Stickstoff
NDF	Neutral Detergent Fibre
NH_3	Ammoniak
OM	Organic Matter
OS	Organische Substanz

pCA (pCS)	*p*-Cumarsäure
PCS	Phenoscarbonsäuren
SD	Standard Deviation
T (TS)	Trockensubstanz
TM	Trockenmasse
UrA	Uronsäuren
V	Versuch
VR	Versuchreihe
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
Xyl	Xylose

1. Einleitung

Raufutter spielt aufgrund seiner pansenphysiologisch günstigen Eigenschaften von jeher eine besondere Rolle in der Wiederkäuerernährung. Hier ist im Bereich der Bullenmast und der Milchviehhaltung vor allem der Silomais von enormer Bedeutung. So wurden zum Beispiel im Jahr 2007 laut Statistik des DMK (2008) in Deutschland knapp 70 Mio. Tonnen Silomais produziert. Die damit einhergehende Anbaufläche betrug laut DMK (2008) fast 1,5 Mio. ha. Dies bedeutet eine Vervielfachung sowohl der Anbaufläche als auch der produzierten Menge im Vergleich zum Jahr 1970 (0,52 Mio. Tonnen; knapp 105 000 ha). Silomais erfüllt zwei wichtige Kriterien, die an ein hochwertiges Futter für Wiederkäuer gestellt werden. Durch den Kolben liefert die Pflanze in der Ration Energie in Form von Stärke. Durch die Restpflanze, die zum Zeitpunkt der Siloreife ca. 50% der Gesamt-Trockenmasse ausmacht (IRLBECK et al., 1993; VALENTIN et al., 1999), wird außerdem ein wichtiger Beitrag zur Faserversorgung und damit zur Wiederkäuergerechtheit der Ration geleistet.

Mit der immer größeren Bedeutung von Mais in der Tierernährung wächst auch die Notwendigkeit, die Inhaltsstoffe und ihre Dynamik im Verdauungstrakt des Wiederkäuers zu kennen, um eine genaue Einschätzung des Futterwertes der verschiedenen Maissorten und ihrer Eignung für die Wiederkäuerernährung zu ermöglichen. Dies ist auch aufgrund der immer weiter steigenden Leistungen in der Tierproduktion essentiell. Des Weiteren sind in der Pflanzenzüchtung Informationen über die Maissorten von immenser Wichtigkeit, um Zuchtfortschritte erlangen und kontrollieren zu können. Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Verdaulichkeit und der Energiekonzentration von Silomais ergeben sich hier vor allem in einer Optimierung der Verdaulichkeit der pflanzlichen Gerüstsubstanzen (SCHWARZ, 1998).

HERTER et al. (1996) berichten, dass die Verdaulichkeit der Gesamtpflanze stärker durch die Zellwandbestandteile in der Restpflanze als durch den Stärkeanteil im Kolben beeinflusst wird. Die Faserfraktion beeinflusst sowohl die Futteraufnahme als auch die Leistung der Tiere wesentlich (JUNG, 1997). Auch haben Genotyp und Erntezeitpunkt eine nicht zu unterschätzende Wirkung sowohl auf den Kolben als auch auf die Restpflanze (KÖHLER et al., 1989, COLLAR et al., 1991, SCHWARZ et al., 1996a).

Wie sich diese Unterschiede im Verdauungstrakt des Wiederkäuers auswirken und wie die Dynamik der Abbauvorgänge der Restpflanze von Mais beschaffen ist, ist

noch weitgehend ungeklärt. Der Schwerpunkt des Interesses liegt hier sicherlich auf dem Pansen der Wiederkäuer, da dieser den Hauptfermentationsort der Zellwandkohlenhydrate darstellt (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Von herausragender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Frage nach der sowohl quantitativen als auch qualitativen Abbaubarkeit der Strukturkohlenhydrate in der Restpflanze. Hierbei ist es wichtig, zu klären, welche chemischen Bestandteile der Restpflanze abgebaut werden und wovon deren Abbaubarkeit abhängig ist. So zum Beispiel bestätigen viele Autoren, dass Lignin im Pansen nicht abbaubar ist und somit eine negative Auswirkung auf die Verdaulichkeit hat (BARTLE et al., 1984; SCHNEIDER und FLACHOWSKY, 1991; TOLERA et al., 1999; ETTLE und SCHWARZ, 2003). Auch die Frage, ob sich ein unmittelbarer Einfluss der chemischen Bestandteile auf die Abbaubarkeit der Trockenmasse der Restpflanze ausmachen lässt, ist in diesem Zusammenhang von erheblicher Bedeutung.

In der vorliegenden Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, welche Relevanz oben genannte Punkte für den Futterwert von Silomais haben und wie diese sich in den Abbauvorgängen im Pansen widerspiegeln. Außerdem soll geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Inhaltsstoffen und Abbaubarkeit im Verdauungstrakt besteht, wie sich diese Zusammenhänge gestalten und welche Auswirkungen sich daraus auf den Futterwert von Silomais ergeben. Ferner werden die verschiedenen gängigsten Methoden, nämlich die Nylonbeutel-Technik, das Gasbildungspotential und die Cellulasemethode miteinander verglichen und einordnend bewertet. Dabei ist zum einen zu klären, ob sich sortenspezifische Unterschiede zwischen den Genotypen ergeben, wie sich diese gegebenenfalls in den Inhaltsstoffen wiederfinden und ob sich Zusammenhänge zwischen den Inhaltsstoffen der Sorten und ihrer ruminalen Abbaubarkeit bzw. den *in vitro*-Verdaulichkeiten ermitteln lassen. Zum anderen soll festgestellt werden, ob es Differenzen im Abreifeverhalten zu den jeweiligen Erntezeitpunkten gibt und ob sich hier eine Beziehung zu den Inhaltsstoffen erkennen lässt. Das Projekt, das dieser Arbeit zugrunde liegt, ist ein Gemeinschaftsprojekt zwischen dem Lehrstuhl für Tierernährung der Technischen Universität München und dem Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie der Universität Hamburg (DOBBERSTEIN, 2008). Dadurch konnten wesentlich differenziertere Analysenmethoden zur Beschaffenheit und Struktur der Zellwandkohlenhydrate zum Einsatz kommen. In einer zweiten Dissertation (DOBBERSTEIN, 2008) sollen daher die einzelnen Faktoren (Polysaccharide, Lignin

und Phenolcarbonsäuren) exakt bezüglich ihrer Zusammensetzung und Struktur sowie ihrer Zusammenwirkung analysiert werden, um ihren Einfluss auf die Abbaubarkeit von Pflanzenzellwänden eindeutig beschreiben zu können. Außerdem sollen darin über den Vergleich vor und nach dem Abbau im Pansen besonders abbauresistente Strukturen ermittelt werden.

2. Material und Methodik

2.1 Versuchsplanung und Versuchsaufbau

In der vorliegenden Arbeit sollten die Auswirkungen des Genotyps und der Abreife der Mais-Restpflanze auf ihre chemische Zusammensetzung sowie ihre ruminale Abbaubarkeit untersucht werden. Hierfür wurden 16 Maissorten mit unterschiedlichen physiologischen und nutritiven Eigenschaften zu jeweils vier verschiedenen Erntezeitpunkten beprobt. Die Auswahl der Maissorten erfolgte mit dem Ziel, eine Differenzierung in der ruminalen Abbaubarkeit der Restpflanze zu erreichen und hinsichtlich der Silomaisreife ein möglichst weites Reifespektrum abzudecken. Die Beprobung der Sorten erfolgte über drei (6 Sorten), zwei (6 Sorten) bzw. ein (4 Sorten) Anbaujahr(e). Die Maissorten wurden in den Jahren 2004, 2005 und 2006 geerntet. Die geernteten Sorten wurden anhand ihrer Siloreifezahl drei verschiedenen Reifegruppen (RG I bis RG III) zugeordnet. Sorten mit der Siloreifezahl S 210 und S 220 wurden als Reifegruppe I eingeteilt. Von den Siloreifezahlen S 230 bis S 250 wurden die Sorten der Reifegruppe II zugewiesen und Sorten mit einer Siloreifezahl größer als S 250 in Reifegruppe III eingruppiert. Tabelle 1 zeigt die Einteilung der Sorten in die Reifegruppen, sowie die Anbaujahre einer Sorte.

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Maissorten, deren Zuordnung zu den Reifegruppen und die Anbaujahre

			Erntejahre		
Reifegruppe	Sorte	Siloreifezahl	2004	2005	2006
RG I	GP 101001	S 210		x	x
	DK 233	S 220	x	x	x
	DKc 2942	S 220		x	x
	EC 2803	S 220		x	x
	EB 2801	S 220	x		
RG II	DKc 2949	S 230	x	x	x
	ED 3214	S 230		x (*)	x
	DK 247	S 240	x	x	x
	EC 2907	S 250		x	x
	ED 3412	S 250		x	x
RG III	DK 281	S 260	x	x	x
	Monumental	S 260	x	x	x
	EA 3501	S 260	x		
	DK 291	S 260	x		
	DK 287	S 270	x	x	x
	DK 315	S 280	x		

(*) nur EZP2 - 4

Die ruminale Abbaubarkeit der Restpflanzen aller Sorten wurden mit Hilfe der *in sac-co*-Methodik in pansenfistulierten trockenstehenden Milchkühen bestimmt.

Aus der Anzahl der Sorten und Erntezeitpunkte unter Verwendung von sechs Tieren ergaben sich 10 Einzelversuche. In Tabelle 2 ist eine Übersicht über das Versuchsschema und die darin getesteten Sorten dargestellt. Jedes Erntejahr wurde zu einer Versuchsreihe zusammengefasst. Versuchsreihe 1 (VR 1) setzt sich aus vier Einzelversuchen (V 1.1 – V 1.4) mit den Sorten des Erntejahres 2004 zusammen. In der Versuchsreihe 2 (VR 2), in der die Sorten des Erntejahres 2005 getestet wurden, fanden drei Einzelversuche (V 2.1 – V 2.3) statt. Ebenso beinhaltet die Versuchsreihe 3 (VR 3) drei Versuchsdurchgänge (V 3.1 – V 3.3) mit den Sorten aus dem Erntejahr 2006. Außerdem ist der Zeitraum der Einzelversuche in der Tabelle angegeben.

Tabelle 2: Übersicht Versuchsdurchgänge

Versuchs-reihe	Erntejahr	Versuch	Zeitraum	Sorten	Anzahl EZP	Anzahl Kühe
VR 1	2004	V 1.1	04.11. - 17.11.04	DK 233	1 - 4	6
				EB 2801	1 - 4	6
		V 1.2	20.11. - 08.12.04	DK 247	1 - 4	5
				DKc 2949	1 - 4	5
		V 1.3	18.08. - 31.08.05	Monumental	1 - 4	3
				EA 3501	1 - 4	3
				DK 281	1 - 4	3
				DK 287	1 - 4	3
		V 1.4	01.09. - 15.09.06	DK 291	1 - 4	3
				DK 315	1 - 4	3
VR 2	2005	V 2.1	23.11. - 06.12.05	DK 233	1 - 4	3
				EC 2803	1 - 4	3
				DK 247	1 - 4	3
				DKc 2949	1 - 4	3
		V 2.2	19.01. - 01.02.06	Monumental	1 - 4	3
				DKc 2960	1 - 4	3
				DK 281	1 - 4	3
				DK 287	1 - 4	3
		V 2.3	21.07. - 03.08.06	DKc 2942	1 - 4	3
				GP 101001	1 - 4	3
				ED 3412	1 - 4	3
				ED 3214	2 - 4	3
VR 3	2006	V 3.1	30.11. - 13.12.06	DK 233	1 - 4	3
				EC 2803	1 - 4	3
				DK 247	1 - 4	3
				DKc 2949	1 - 4	3
		V 3.2	24.01. - 06.02.07	Monumental	1 - 4	3
				DKc 2960	1 - 4	3
				DK 281	1 - 4	3
				DK 287	1 - 4	3
		V 3.3	12.04. - 26.04.07	DKc 2942	1 - 4	3
				GP 101001	1 - 4	3
				ED 3412	1 - 4	3
				ED 3214	1 - 4	3

2.2 Beschreibung der untersuchten Maissorten

2.2.1. Anbau und Konservierung

Die untersuchten Maissorten wurden sämtlich auf dem Versuchsgut Hirschau angebaut, geerntet und das Probenmaterial anschließend tiefgefroren. Das Saatgut wurde von der Firma Monsanto zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht über den Anbau, die Düngung und die Pflanzenschutzmassnahmen in jedem Anbaujahr gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Anbau, Düngung und Pflanzenschutzmassnahmen in den drei Erntejahren

		2004	2005	2006
Aussaat	Datum	27.04.2004	02.05.2005	04.05.2006
Saatstärke		10 Pfl./m²	10 Pfl./m²	10 Pfl./m²
Saatgut Beizung		Mesurol	Mesurol	Mesurol
org. Düngung	Datum	23./24.04.2004	29.04.2005	02.05.2006
	Art	Gülle	Gülle	Gülle
	Menge	25 m³/ha	20 m³/ha	20 m³/ha
anorg. Düngung	Datum	24.04.2004	01.05.2005	03.05.2006
	Art	Harnstoff (46% N)	Harnstoff (46% N)	Harnstoff (46% N)
	Menge	2 dt/ha	2 dt/ha	2 dt/ha
Pflanzenschutz	Datum	28./29.05.2004	02.06.2005	14.06.2006
	Art	Motivell	Motivell / Zintan Gold Pack reduziert	Gardo Gold
	Menge	1 l/ha	1 l/ha	3.6 l/ha
	Art	Artett	Artett	Calisto
	Menge	2.5 l/ha	2.5 l/ha	0.9 l/ha

2.2.2 Probenahme und Aufbereitung

Um ein möglichst breites Spektrum der Abreife der Maispflanzen zu erhalten, wurde jede Maissorte zu vier verschiedenen Zeitpunkten geerntet. Die Erntezeitpunkte wurden nach dem Trockensubstanzgehalt des Korns bestimmt. In Tabelle 4 ist dargestellt, nach welchen Trockensubstanzgehalten im Korn sich die Erntezeitpunkte richteten.

Tabelle 4: Sollwerte der Korn-TS zum jeweiligen Erntezeitpunkt

	TS im Korn (%)
EZP1	48 - 52
EZP2	54 - 58
EZP3	60 - 64
EZP4	65 - 70

Alle Sorten wurden ab Ende August wöchentlich hinsichtlich der Kornreife visuell zwei- bis dreimal überprüft und bonitiert. Darüber hinaus wurden regelmäßig Kolben entnommen (5 Kolben aus unterschiedlichen Standorten pro Kontrolle) und der Trockenmassegehalt der Körner (im Trockenschrank, 105℃, 24 h) bestimmt. Entsprechend der Gesamtbeurteilung (Bonitierung nach „milk line“ und T-Gehalt des Korns) wurde der Probenahmetermin (= Erntezeitpunkt) festgelegt. Die Erntezeitpunkte unterschieden sich sowohl hinsichtlich der Reifegruppen (frühe, mittelfrühe und späte Sorten) als auch hinsichtlich der Erntejahre. Die Zeitspannen für die einzelnen Erntezeitpunkte der drei Reifegruppen in jedem Jahr sind in Tabelle 5 dargestellt (siehe auch Tabellen A1 – A3 im Anhang).

Tabelle 5: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den verschiedenen Erntejahren nach Reifegruppen aufgeteilt

		EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**
2004	**RG I**	06.09.	13.09.	21.09.-03.10.	11.10.-20.10.
	RG II	09.09.-13.09.	14.09.-28.09.	27.09.-04.10.	11.10.-20.10.
	RG III	13.09.-21.09.	21.09.-03.10.	03.10.-11.10.	20.10.
2005	**RG I**	07.09.-14.09.	16.09.-21.09.	26.09.-06.10.	17.10.-19.10.
	RG II	07.09.-16.09.	16.09.-23.09.	26.09.-07.10.	18.10.-25.10.
	RG III	15.09.-16.09.	21.09.-22.09.	28.09.-07.10.	19.10.-25.10.
2006	**RG I**	06.09.-07.09.	11.09.-12.09.	20.09.-25.09.	09.10.-10.10.
	RG II	31.08.-11.09.	08.09.-19.09.	19.09.-05.10.	05.10.-17.10.
	RG III	06.09.-07.09.	13.09.-19.09.	25.09.-28.09.	10.10.-16.10.

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die Zeitspannen für die einzelnen Erntezeitpunkte in den verschiedenen Reifegruppen und in den einzelnen Jahren sich zum Teil deutlich überschneiden. Dies wird im EZP4 und im Erntejahr 2006 besonders deutlich. In 2006 ist vor allem bei EZP1 kein Unterschied in der Erntespanne zwischen den Reifegruppen feststellbar. Insgesamt erstreckte sich die Gesamt-Ernteperiode in 2004 über 6 Wochen, in 2005 und 2006 jeweils über 7 Wochen. Tabelle 6

zeigt die Ernteperioden in jedem Versuchsjahr für jeweils einen Erntezeitpunkt über alle Reifegruppen.

Tabelle 6: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den verschiedenen Erntejahren

EZP1	**2004**	07.09. – 21.09.04
	2005	07.09. – 16.09.05
	2006	31.08. – 11.09.06
EZP2	**2004**	13.09. – 03.10.04
	2005	16.09. – 23.09.05
	2006	08.09. – 19.09.06
EZP3	**2004**	27.09. – 11.10.04
	2005	26.09. – 07.10.05
	2006	19.09. – 05.10.06
EZP4	**2004**	11.10. – 20.10.04
	2005	17.10. – 25.10.05
	2006	05.10. – 17.10.06

Da sechs Sorten über insgesamt drei Versuchsjahre angebaut wurden, werden in Tabelle 7 die Zeitspannen für die Erntezeitpunkte dieser Sorten über die drei Jahre hinweg gesondert aufgeführt.

Tabelle 7: Zeitspannen der Erntezeitpunkte in den Sorten über drei Versuchsjahre

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**
DK 233	06.09.-07.09.	13.09.-16.09.	20.09.-27.09.	09.10.-17.10.
DKc 2949	06.09.-14.09.	14.09.-28.09.	28.09.-05.10.	12.10.-25.10.
DK 247	31.08.-09.09.	08.09.-14.09.	19.09.-27.09.	05.10.-18.10.
Monumental	06.09.-15.09.	13.09.-21.09.	25.09.-03.10.	10.10.-20.10.
DK 281	07.09.-16.09.	19.09.-28.09.	28.09.-07.10.	16.10.-25.10.
DK 287	07.09.-15.09.	14.09.-27.09.	28.09.-06.10.	16.10.-20.10.

Über drei Erntejahre zeigt sich besonders gegen Ende der Beprobung eine relativ große Differenzierung der Zeitspannen zwischen den Erntezeitpunkten 3 und 4. Dies ist hauptsächlich auf Witterungsunterschiede in den Erntejahren zurückzuführen.

Die Ernte (nur bei regenfreiem Wetter) erfolgte zu jedem Erntezeitpunkt an drei separaten repräsentativen Probenahmestellen. Dazu wurden von jeder Sorte jeweils 10 Maispflanzen in Reihe in ca. 10-15 cm Höhe abgeschnitten. Die 30 Pflanzen wurden zunächst als Gesamtpflanzen gewogen. Daraufhin wurden von allen Pflanzen die Kolben entfernt und entliescht. Die Lieschen wurden der Restpflanze

zugeordnet. Anschließend wurde das Gewicht der entlieschten Kolben bestimmt. Zur T-Bestimmung des Kolbens (im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz, 60℃, 72 h) wurde eine repräsentative Probe (7 Kolben) entnommen. Eine weitere Probe (10 Kolben) wurde zur späteren Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes der Körner (mittels Gefriertrocknung) tiefgefroren. Alle Restpflanzen samt Lieschen wurden in einem Standhäcksler zerkleinert. Aus dieser Gesamtmenge wurde eine Probe von ca. 20 kg entnommen und tiefgefroren.

Von jeder Sorte und jedem Erntezeitpunkt wurden etwa 5 kg Frischmasse gefriergetrocknet (n=135). Über Einwaage und Rückwaage wurde der T-Gehalt der Restpflanze berechnet. Dafür wurden jeweils 3 – 4 Wiederholungen eingewogen. Anschliessend erfolgte eine Vermahlung des gesamten gefriergetrockneten Probematerials in einer Schlagkreuzmühle mit Segmentsieb (Nelles & Co., Braunschweig) auf eine Partikelgröße von 3 mm. Dieses Probenmaterial diente sowohl für die *in situ*-Abbaubarkeitsversuche als auch zur weiteren Analytik (hier erfolgte eine Weitervermahlung des Materials auf 1 mm).

2.3 Analytik

2.3.1 Analytik pansenphysiologischer Parameter der in sacco-Versuche

Um einen genaueren Überblick über die Situation im Pansen der Versuchstiere zu erlangen, wurden verschiedene Bestimmungen zur Ermittlung relevanter pansenphysiologischer Parameter durchgeführt. So wurden der pH-Wert im Pansen, die Ammoniakkonzentration sowie der Gehalt an flüchtigen Fettsäuren bestimmt (siehe Kapitel 2.4.3.3).

Die Ermittlung des pH-Wertes im Pansensaft erfolgte unmittelbar nach der Entnahme mit einem pH-Meter (Schott CG 842).

Zur Messung der Ammoniakkonzentration wurde der gewonnene Pansensaft 15 Minuten bei 5000 g zentrifugiert, der Überstand abpipettiert und eingefroren. Die Analyse des Ammoniak-N-Gehalts wurde am Zentralinstitut für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL) in Freising-Weihenstephan nach der Methode von CONWAY durchgeführt (VDLUFA, 1976). Hierfür wurden 10 g der zentrifugierten Pansensaftprobe mit Wasser extrahiert, geklärt und gefiltert. Die flüchtigen stickstoffhaltigen Basen wurden in Conway-Schalen nach Zusatz von Kaliumcarbonatlösung durch Mikrodiffusion abgetrennt, in einer Borsäurelösung aufgefangen und mit 0,02 N

Schwefelsäure bis zum Farbumschlag des Indikators titriert. Nach demselben Verfahren wurde ein Blindversuch durchgeführt. Die Berechnung der Ergebnisse erfolgte über den Zusammenhang: 1 ml 0,02 N Schwefelsäure entspricht 0,34 mg Ammoniak in der Probe. Die Ergebnisse wurden in Prozent der Ausgangsprobe als Mittelwert aus zwei Wiederholungen ausgedrückt.

Die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren erfolgte gaschromatographisch ebenfalls am ZIEL. Die Gefrierstabilität der Proben wurde durch folgendes Verfahren erreicht: Jede Pansensaftprobe wurde kurz nach der Entnahme in Anlehnung an die von GEISSLER et al. (1976) beschriebene Methode 5 Minuten bei 5000 g zentrifugiert. Aus dem Überstand wurde ein Aliquot von 10 ml entnommen, mit 1,5 ml 25%iger Meta-Phosphorsäure und 0,5 ml Ameisensäure versetzt und anschließend erneut für 20 Minuten bei 5000 g zentrifugiert. Die Proben wurden nach dem Zusatz eines Tropfens gesättigten Quecksilberchlorids ($HgCl_2$) gefrierstabil bei -20 °C bis zur weiteren Analytik eingelagert.

Zur Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren wurde der gewonnene Pansensaft nochmals zentrifugiert, anschließend mit 2%-iger Meta-Phosphorsäure-Lösung versetzt und eine Stunde geschüttelt. Danach wurde die überstehende Lösung geklärt und filtriert. Die klare Probenlösung wurde in einen Gaschromatographen mit FID (Dani) gegeben. Als Trägergas diente Stickstoff, die Säulentemperatur war 180°C, die Injektortemperatur betrug 250°C. Als Vergleich diente ei n Gärsäuren-Flieg-Standard. Als Endwert diente der Mittelwert aus der Doppelbestimmung.

2.3.2 Analytik des Probenmaterials vor Inkubation

Die Analytik der Maissorten umfasst im Rahmen dieser Arbeit sowohl eine umfangreiche Analytik des Ausgangsmaterials als auch des Materials nach Inkubation im Pansen. Hierbei wurde fast ausschließlich mit der Mais-Restpflanze gearbeitet. Einzig die Trockensubstanzbestimmung erfolgte sowohl beim Kolben als auch bei den Körnern der einzelnen Sorten.

2.3.2.1 Trockensubstanzbestimmung des Probenmaterials

Die TS-Bestimmung der Körner erfolgte im Umluft-Trockenschrank bei 105 °C für 24 Stunden. Dabei wurde die Kornmasse von fünf Kolben auf ein Blech eingewogen, getrocknet und warm zurückgewogen. Ebenso wurde mit den Kolben verfahren. Hier

betrug allerdings die Trocknungszeit 72 h und es wurden 7 Kolben bei 60 ℃ getrocknet.
Die Berechnung des Trockensubstanzgehalts erfolgte nach untenstehender Gleichung:

*T (%) = [Rückwaage (g) / Einwaage (g)] * 98*

Hierbei werden 2% Restwasser im Material mit einberechnet.

Die Trockensubstanzbestimmung der Restpflanze erfolgte über die Gefriertrocknung des Materials. Hierbei wurden pro untersuchter Variante 3 – 4 Bestimmungen gemacht, deren Ergebnisse dann gemittelt wurden.
Des Weiteren erfolgten jeweils gesonderte Restwasser-Bestimmungen bevor das Probenmaterial in die Nylonbeutel eingewogen wurde. Hier wurden pro Variante jeweils zwei Mischproben von ca. 2 g in Schalen eingewogen und im Trockenschrank 3 Stunden bei 105℃ getrocknet. Nach Abkühlung im E xsikkator erfolgte die Rückwaage der Proben, wobei die beiden Ergebnisse wiederum gemittelt wurden. Die gleiche Trockensubstanzbestimmung wurde mit dem Probenmaterial auch vor den Rohnährstoffanalysen durchgeführt.
Bei den Restwasserbestimmungen wurde der Trockensubstanzgehalt nach folgender Gleichung berechnet:

*T (%) = [Rückwaage (g) / Einwaage (g)] * 100*

2.3.2.2 Inhaltsstoffe

Im Ausgangsmaterial wurden folgende Inhaltsstoffe analysiert: Rohnährstoffgehalte (XA, XP, XL, XF), NDF-, ADF- und ADL-Gehalte. Zur Durchführung der Analysen mussten die Proben in einer Schlagkreuzmühle (Nelles & Co., Braunschweig) durch ein 1 mm Segmentsieb vermahlen werden.

Rohnährstoffe

Die Rohnährstoffe (XA, XL und XF) wurden nasschemisch über die Weender-Analyse an der VAT in Freising-Weihenstephan bestimmt. Die Bestimmung des Rohproteingehaltes (XP) erfolgte ebenfalls nasschemisch mittels Verbrennungsanalyse

nach DUMAS in Leco-Verbrennungsautomaten (FP-528) am ZIEL in Freising-Weihenstephan (VDLUFA, 2004). Der Gehalt an organischer Masse wurde durch Differenzrechnung aus den Analysenwerten ermittelt.

Pflanzliche Gerüstsubstanzen

Die NDF- ADF- und ADL-Bestimmung erfolgte an der VAT und wurde mit einem ANKOM^{220} Fiber Analyzer (KOMAREK, 1993) gemäß der VDLUFA-Bestimmung (NAUMANN et al.; 1997) durchgeführt (Link: http://www.ankom.com/09_procedures/procedures.shtml). Aus den erhaltenen Werten über die NDF-, ADF- und ADL- Gehalte der Sorten können mittels Differenzrechnung die Gehalte an Hemicellulose und Cellulose dargestellt werden. Diese werden wie folgt berechnet (JEROCH et al., 2008):

Hemicellulose (%) = NDF (%) – ADF (%)

Cellulose (%) = ADF (%) – ADL (%)

Aufgrund der gewählten Zielsetzung wird in dieser Arbeit versucht, die Zusammenhänge zwischen den Inhaltsstoffen, der Kohlenhydratfraktion in der Mais-Restpflanze, der ruminalen Abbaubarkeit und dem Futterwert zu erhellen. Hierfür wurde an ausgewählten Sorten eine gesonderte Analytik durchgeführt, um ein möglichst umfassendes Bild über die untersuchten Sorten, ihre Inhaltsstoffe und ihre Eigenschaften zu erhalten. Die Analytik zu Zellwandkohlenhydratgehalten und –struktur wurde im Rahmen einer gesonderten Doktorarbeit am Institut für Biochemie und Lebensmittelchemie der Universität Hamburg durchgeführt (DOBBERSTEIN, 2008). Im Zuge dieser Arbeit wurden bei ausgesuchten Sorten sowohl im Ausgangsmaterial als auch beim Material nach Inkubation im Pansen (siehe DOBBERSTEIN, 2008) verschiedene Analysen durchgeführt. Abbildung 1 gibt einen schematischen Überblick über die zum Einsatz gekommenen Analysenmethoden. In Tabelle 8 sind die Sorten mit den jeweiligen Erntezeitpunkten und -jahren, an denen die Analysen durchgeführt wurden, dargestellt.

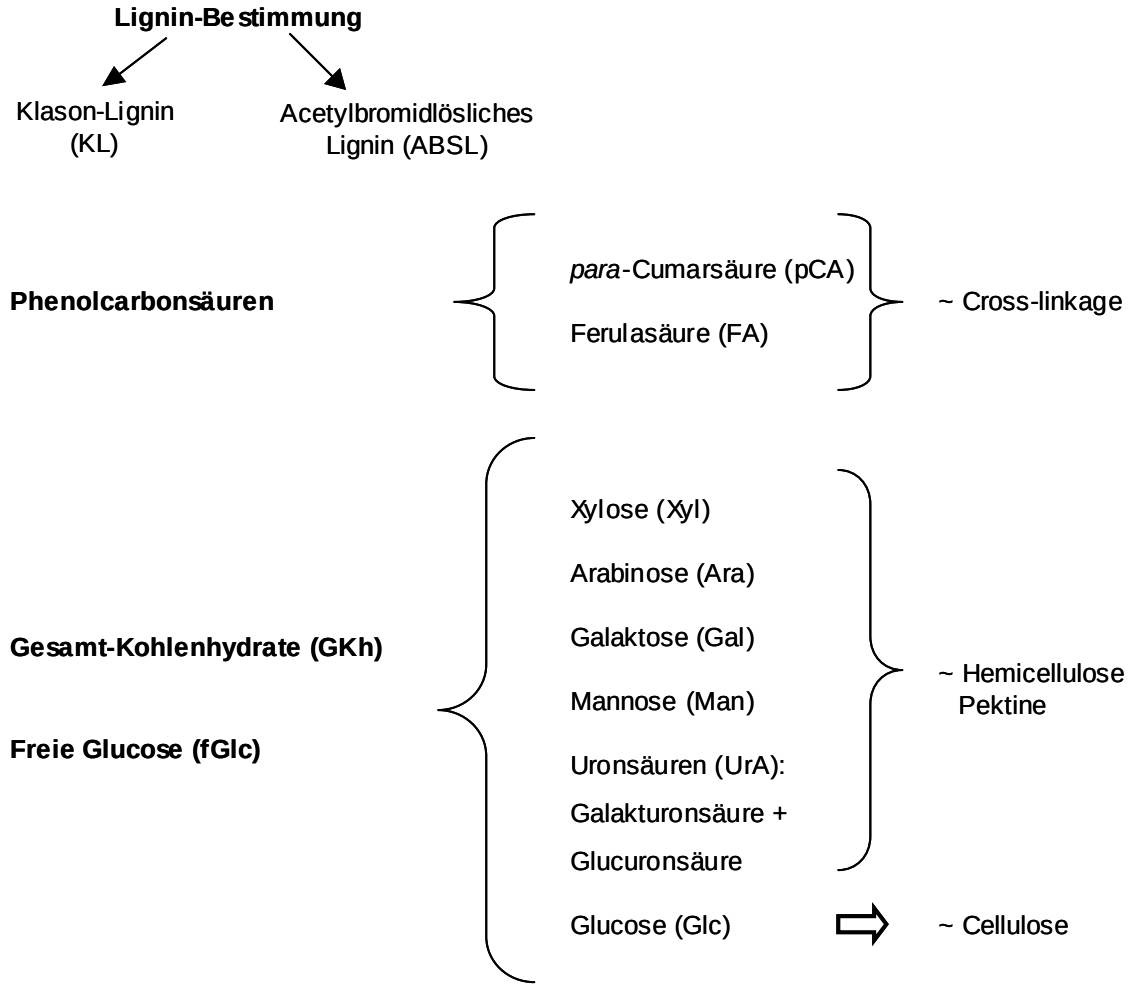


Abbildung 1: Überblick über die Methoden der Zellwandanalytik

Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass der Gehalt an Lignin über zwei verschiedene Methoden (Klason-Lignin (KL), acetylbromidlösliches Lignin (ABSL)) bestimmt wurde. Ferner wurden die Gehalte an Phenolcarbonsäuren (*Para*-Cumarsäure (*p*CA), Ferulasäure (FA)), die als Cross-links zwischen Lignin und Hemicellulosen oder zwischen Hemicellulosen dienen können, im Material bestimmt. Auch wurden die Gesamtkohlenhydratgehalte (GKh), sowie die Gehalte an freier Glucose (fGlc) quantifiziert. Die Zellwandpolysaccharide (Cellulose, Hemicellulose, Pektine) wurden außerdem in Form ihrer Monomere (Xylose (Xyl), Arabinose (Ara), Mannose (Man), Galaktose (Gal), Glucose (Glc)) und über die Gehalte an Uronsäuren (UrA), bestehend aus Galakturonsäure und Glucuronsäure untersucht.

Tabelle 8: Übersicht über Sorten, Erntezeitpunkte und Anbaujahre, die für die Analytik zum Einsatz kamen

Sorte	Untersuchte Erntezeitpunkte	Untersuchte Anbaujahre
DK 233	1 / 3 / 4	2004 / 2005
DK 247	1 / 3 / 4	2004 / 2005
DKc 2949	1 / 3	2004 / 2005
Monumental	1 / 3	2004 / 2005
DK 281	1 / 3	2004 / 2005
DK 287	1 / 3	2004 / 2005
EB 2801	1 / 3	2004
EA 3501	1 / 3	2004
DK 291	1 / 3	2004
DK 315	1 / 3	2004
EC 2803	1 / 3	2005
DKc 2960	1 / 3	2005

Alle Sorten wurden in den Erntezeitpunkten 1 und 3 untersucht, die Sorten DK 233 und DK 247 zusätzlich noch im EZP4. Die Sorten DK 233, DK 247, DKc 2949, Monumental, DK 281 und DK 287 wurden in zwei Anbaujahren geprüft (2004 und 2005) während alle übrigen Sorten nur in einem der beiden Anbaujahre getestet wurden.

2.4 Charakterisierung der Abbaubarkeit des Materials

2.4.1 In vitro-Verdaulichkeit

Die ELOS-Bestimmung mittels Cellulasemethode (AUFRÈRE und MICHALET-DOREAU, 1983) modifiziert nach DE BOEVER et al. (1986) erfolgte am ZIEL in Weihenstephan. Dafür wurden die Proben zuerst für 24 h bei 40℃, dann 45 Minuten bei 80℃ mit einer 0,1 N HCl-Pepsin-Lösung und anschließend für 24 h bei 40 ℃ mit einem Enzymgemisch (Cellulase Onozuka R-10 aus Trichoderma viride) inkubiert. Der nicht abgebaute Rückstand wurde über einen Glasfiltertiegel abgetrennt, getrocknet, gewogen und bei 550℃ verascht. Der Glühverlust, der hierbei entsteht, entspricht der EULOS in der Probe. Aus dem Glühverlust wurde unter Berücksichtigung der Gehalte an Trockenmasse und Rohasche in der Probe der Gehalt an enzymlöslicher organischer Substanz (ELOS) berechnet. Die enzymlösliche organische Substanz wird folgendermaßen berechnet:

ELOS (%) = TM – XA – G [%]

wobei:

TM = Trockenmassegehalt der Probe (%)

XA = Rohaschegehalt der Probe (%)

G = Glühverlust (%)

2.4.2 Gasbildungsvermögen

Die Gasbildung wurde nach der Methode von MENKE et al. (1979) sowie STEINGASS und MENKE (1986) gemessen. Hierfür wurden 200-250 mg der zu untersuchenden Probe in einen Kolbenprober (n=6, jeweils 3 an zwei verschiedenen Tagen) eingewogen, mit Pansensaft sowie einer Mediumslösung (bestehend aus Wasser, Spurenelement-, Puffer-, Mengenelement- und Resazurinlösung) gemischt und bei 39℃ 24 h inkubiert. Das in dieser Zeit entstandene Gasvolumen wurde gemessen und unter Berücksichtigung eines Blindwertes (Gasbildung des verwendeten Pansensafts) sowie eines Korrekturfaktors wurde die Gasbildung (Gb in ml/200 mg) berechnet. Die Gasbildung errechnet sich nach folgender Formel:

$$Gb\,(ml\ /\ 200\ mg\ ) = \frac{(V_{24} - V_0 - Gb_0) \times \frac{F_H + F_{KF}}{2} \times 200}{Einwaage\ \ (mg\ )}$$

wobei:

Gb = Gasbildung (ml/200 mg) in 24 h

V_{24} = Volumen (ml) nach 24 h

V_0 = Volumen (ml) bei Beginn

Gb_0 = Blindwert (ml), d.h. mittlere Gasbildung wenn nur Pansensaft inkubiert wird

F_H = Korrekturfaktor Heu (berechnet aus dem Sollwert des Gasvolumens (ml) des Standards geteilt durch das tatsächlich gemessene Gasvolumen (ml) des Standards)

F_{KF} = Korrekturfaktor Kraftfutter (berechnet aus dem Sollwert des Gasvolumens (ml) des Standards geteilt durch das tatsächlich gemessene Gasvolumen (ml) des Standards)

2.4.3 In sacco-Abbaubarkeit der Mais-Restpflanze

2.4.3.1 Methodik der in sacco-Abbaubarkeitsmessung

Die *in sacco*-Abbaubarkeitsmessungen erfolgten in Anlehnung an FLACHOWSKY et al. (1988) sowie MADSEN und HVELPLUND (1994). Hierfür wurden Beutel aus weißem Polyestermonofilament (BG 1020, Bar Diamond, Inc.; Idaho) mit einer Größe von 10×20 cm und einer Porengröße von 50±15 µm zunächst im Trockenschrank (Memmert) bei 60℃ 48 Stunden getrocknet und anschließe nd im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt. In jeden Beutel wurde nach Ermittlung des Leergewichts 4,0 ± 0,1 g Probenmaterial eingewogen, was nach dem Verschließen der Beutel (mit Kabelbindern) in etwa 10 – 15 mg Substanz pro cm² Beuteloberfläche entsprach. Die fertigen Beutel wurden zur Inkubation paarweise zu jeweils 16-18 Stück an elastischen Stäben mit einer Länge von 55 cm angebracht. Hierbei wurde darauf geachtet, dass Beutel mit identischem Probenmaterial an den verschiedenen Bereichen des Stabes angebracht waren, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass jede Probe in den verschiedenen Regionen des Pansens getestet wurde. Dadurch sollte möglichen unterschiedlichen Abbauintensitäten in den verschiedenen Pansenregionen (Rand, Lumen) Rechnung getragen werden.

Zur Inkubation wurde der Stab an einer ca. 50 cm langen Nylonschnur an der Innenseite des Fistelverschlusses befestigt. Es wurde mit sechs (Ausnahme: fünf in V 1.2) Tieren gearbeitet. Die Inkubation begann stets mit Beginn der Morgenfütterung um 7.00 Uhr. Die Entnahme erfolgte den Zeitphasen entsprechend nach 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 und 96 Stunden. Sofort nach der Entnahme erfolgte ein grobes Abspülen der Beutel in Eiswasser, um eine weitere Aktivität der Mikroorganismen in den Nylonbeuteln zu unterbinden. Nach der Entfernung der Beutel von den Stäben, wurden anhaftende Futterpartikel mit eiskaltem Wasser abgewaschen. Anschließend wurden die Beutel in einer handelsüblichen Waschmaschine (QUELLE WVA BASIC 74) im Kaltwaschgang (ohne Schleudern) für 19 Minuten gewaschen, sanft ausgepresst und gefriergetrocknet. Die getrockneten Beutel wurden im Exsikkator aufbewahrt und mit Inhalt rückgewogen.

Zur Bestimmung der Auswaschverluste (0 h) wurden von jeder Variante 3 Beutel (Ausnahme: V 1.1 und V 1.2 jeweils 4 Beutel) eingewogen, welche ohne vorherige Inkubation der Waschprozedur unterzogen, gefriergetrocknet und rückgewogen wurden.

Pro Tier und Inkubationszeit wurden immer zwei Beutel einer Variante eingewogen. Tabelle 9 gibt einen Überblick über das Schema der Wiederholungen, wobei "n" die Anzahl der Beutel darstellt. Nur Versuch V 1.1 und V 1.2 weichen von dem später gewählten Schema in V 1.3 ab. Alle weiteren Versuche erfolgten nach dem Schema von V 1.3 und sind deshalb nicht mehr gesondert aufgeführt.

Tabelle 9: Übersicht über die Wiederholungen in den Einzelversuchen

Versuch	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
V 1.1	n= 12 (à 6 Kühe)	n= 12 (à 6 Kühe)	n= 12 (à 6 Kühe)	n= 12 (à 6 Kühe)
V 1.2	n= 12 (à 5 Kühe)	n= 12 (à 5 Kühe)	n= 12 (à 5 Kühe)	n= 12 (à 5 Kühe)
V 1.3 - V 3.3	n= 6 (à 3 Kühe)	n= 6 (à 3 Kühe)	n= 6 (à 3 Kühe)	n= 6 (à 3 Kühe)

Die Berechnung der Trockenmasseverluste erfolgte mit nachstehender Gleichung:

$$\textit{Verlust (\%)} = \frac{Einwaage(g) - Rückwaage(g)}{Einwaage(g)} \times 100$$

Die weitere Verrechnung erfolgte auf Basis eines exponentiellen Modells von ØRSKOV und MCDONALD (1979). Die potentielle ruminale Abbaubarkeit (p) kann über die Gleichung von MCDONALD (1981), DHANOA (1988) und ØRSKOV (2000) ermittelt werden.

$$p = a + b\left(1 - e^{-c(t-t_0)}\right) \qquad \text{für } t>t_0$$

wobei:

p = potentielle Abbaubarkeit

a = schnell abbaubare oder lösliche Fraktion [%]

b = nicht lösliche aber abbaubare Fraktion [%]

c = Abbaurate von b

t = Inkubationszeit [h]

t_0 = Verzögerungszeit (lag time) [h] bis ein mikrobieller Abbau im Pansen beginnt

Die effektive Abbaubarkeit (P) ergibt sich aus folgender Gleichung (MCDONALD, 1981, modifiziert):

$$P = a + \left[(b \times c)/(c + k)\right] \times e^{-k \times t_0}$$

wobei:
k = Passagerate [% pro Stunde]

Die hierfür benötigten a-, b-, c- und t_0- Werte wurden nach beschriebener Gleichung mit der SAS- Prozedur „nlin“ ermittelt.

2.4.3.2 Tiermaterial und Tierhaltung

Die *in situ*-Abbaubarkeitsversuche wurden an der Versuchsanlage der Tierernährung (VAT) in Freising-Weihenstephan durchgeführt. Es wurde mit sechs (Ausnahme: fünf in V 1.2) trockenstehenden Kühen der Rasse „Deutsche Schwarzbunte“ gearbeitet, die jeweils mit einer Fistel im dorsalen Pansensack (10 cm innerer Durchmesser) und einer Kanüle am proximalen Duodenum (T-Kanüle, ca. 30 cm hinter dem Labmagenausgang, 2 cm Durchmesser) ausgestattet waren. Die Tiere standen in einem vollklimatisierten (20°C) Stall in Anbindehaltung mit Einzelfütterung bei strohloser Aufstallung auf Gummimatten. Alle Tiere hatten über Selbsttränken jederzeit freien Zugang zum Tränkewasser. Salzlecksteine standen ebenfalls zur freien Verfügung. Gefüttert wurde zweimal täglich, um 7.00 Uhr und um 16.00 Uhr.
Die Kühe wurden während des jeweiligen Versuchszeitraums sowie in einer mindestens 10-tägigen Adaptationsphase mit der gleichen Futterration gefüttert. Die Ration bestand aus 2,9 - 3,0 kg T Maissilage, 2,75 kg T Heu, sowie 0,4 kg T Sojaextraktionsschrot pro Tag. Außerdem wurden täglich 100 g eines calciumreichen Mineralfutters für Rinder (angereichert mit 20 mg Biotin/Kuh und Tag) verabreicht. Dies entspricht einem Trockensubstanzverzehr von ca. 6,1 kg pro Tier und Tag sowie einer mittleren Energiezufuhr von 36,5 MJ NEL und einem Proteingehalt von ca. 12% in der Ration. Damit wurden die Tiere knapp unter ihrem Erhaltungsbedarf gefüttert. Die Versuchsration war für alle Einzelversuche gleich.

2.4.3.3 Bestimmung der pansenphysiologischen Parameter

Zur Charakterisierung des Pansenmilieus wurde am Tag vor Versuchsbeginn oder am Tag nach jedem Versuchsdurchgang der Verlauf des Pansen-pH-Werts bei allen

am Versuch teilnehmenden Tieren gemessen. Ebenso wurde zu jeder Versuchsreihe mindestens eine Bestimmung des NH_3-Stickstoff-Verlaufs im Pansen, sowie eine Bestimmung der im Pansensaft der Versuchstiere enthaltenen flüchtigen Fettsäuren durchgeführt. In Tabelle 10 ist eine Übersicht über die Entnahmezeitpunkte der Pansensaftproben, sowie über die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren und des NH_3-Stickstoffs gegeben.

Tabelle 10: Zeitpunkte von Pansensaftentnahme und Bestimmung der pansenphysiologischen Parameter (pH-Wert, FFS, NH_3-Stickstoff)

Versuchs-reihe	Versuch	pH-Wert		FFS/NH_3-N
		Versuchsbeginn	Versuchsende	
VR 1	V 1.1	03.11.04	-	-
	V 1.2	-	09.12.04	09.12.04
	V 1.3	-	01.09.05	01.09.05
	V 1.4	31.08.06	-	-
VR 2	V 2.1	22.11.05	-	22.11.05
	V 2.2	-	02.02.06	-
	V 2.3	20.07.06	-	-
VR 3	V 3.1	29.11.06	-	-
	V 3.2	23.01.07	-	23.01.07
	V 3.3	-	27.04.07	-

Die Pansensaftentnahme erfolgte unmittelbar vor der Morgenfütterung, sowie 30, 60, 90, 150, 210 und 270 Minuten nach Beginn der Morgenfütterung. Die Probenahme wurde per fistulam mit einer in der tierärztlichen Praxis üblichen Maul-Pansen-Sonde aus dem ventralen Pansensack durchgeführt. Wenn eine Messung des Ammoniak-Stickstoff-Gehaltes erfolgte, wurden hierfür Proben an jedem der sieben Pansensaft-entnahmezeitpunkte genommen. Die flüchtigen Fettsäuren wurden nur zu einem Zeitpunkt, nämlich 210 Minuten nach Beginn der Morgenfütterung, bestimmt.
Die Erfassung der pansenphysiologischen Parameter diente der Sicherstellung eines vergleichbaren Pansenmilieus aller Versuchstiere. Dies ist wesentlich, um möglichst ähnliche Abbaucharakteristika gewährleisten und somit den Tiereffekt minimieren zu können.

2.4.3.4 Pansenparameter der Versuchstiere

Zur Charakterisierung des Pansenmilieus der Tiere wurden verschiedene Pansenparameter ermittelt. Besonders von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der pH-Wert im Pansen der Tiere, da nur über einen physiologischen pH-Wert ein optimales Funktionieren der Pansenmikroflora sichergestellt werden kann. Des Weiteren dienten zur Kontrolle des Pansenmilieus die Ammoniak-Gehalte im Pansen sowie die Menge und das Verhältnis an produzierten flüchtigen Fettsäuren 210 Minuten nach der Morgenfütterung.

Der Verlauf des pH-Werts sowie der Gehalt an Ammoniak im Pansen der Versuchstiere ist für jede Versuchsreihe zusammengefasst. Abbildung 2 stellt die gemittelten Werte graphisch dar. Die Einzelwerte der Tiere in den jeweiligen Versuchen sind den Tabellen A4 – A13 im Anhang zu entnehmen. Der pH-Wert im Pansen der Tiere war über alle Einzelversuche durchwegs in einem physiologischen Bereich und es traten keine wesentlichen Unterschiede im pH-Verlauf der Einzelversuche auf. Die pH-Werte der Einzelversuche blieben durchwegs im physiologischen Bereich und unterschritten zu keinem Zeitpunkt die kritische Grenze von pH < 6,20 (JEROCH et al., 2008).

Der Verlauf der Ammoniakkonzentration im Pansensaft verhält sich bei allen Tieren und in den drei Versuchsreihen ähnlich. Nach der Morgenfütterung erreicht die Ammoniak-Konzentration zwischen 7.30 und 8.30 Uhr einen Peak um dann wieder abzufallen. Gegen Ende der Messungen (11.30 Uhr) lagen die Werte geringfügig unter dem Ausgangsniveau von 7.00 Uhr. Die NH_3-N-Konzentration im Pansen liegt gemittelt über alle Messwerte in den drei Versuchsreihen im Durchschnitt zwischen 8,3 (Versuchsreihe 2) und 11,3 (Versuchsreihe 3) mg/100 ml Pansensaft. Dies entspricht in jedem Fall der für eine optimale mikrobielle Proteinsynthese erforderlichen Mindestmenge von 5,0 mg NH_3-Stickstoff pro 100 ml Pansensaft (SATTER und ROFFLER, 1975; SLYTER et al., 1979).

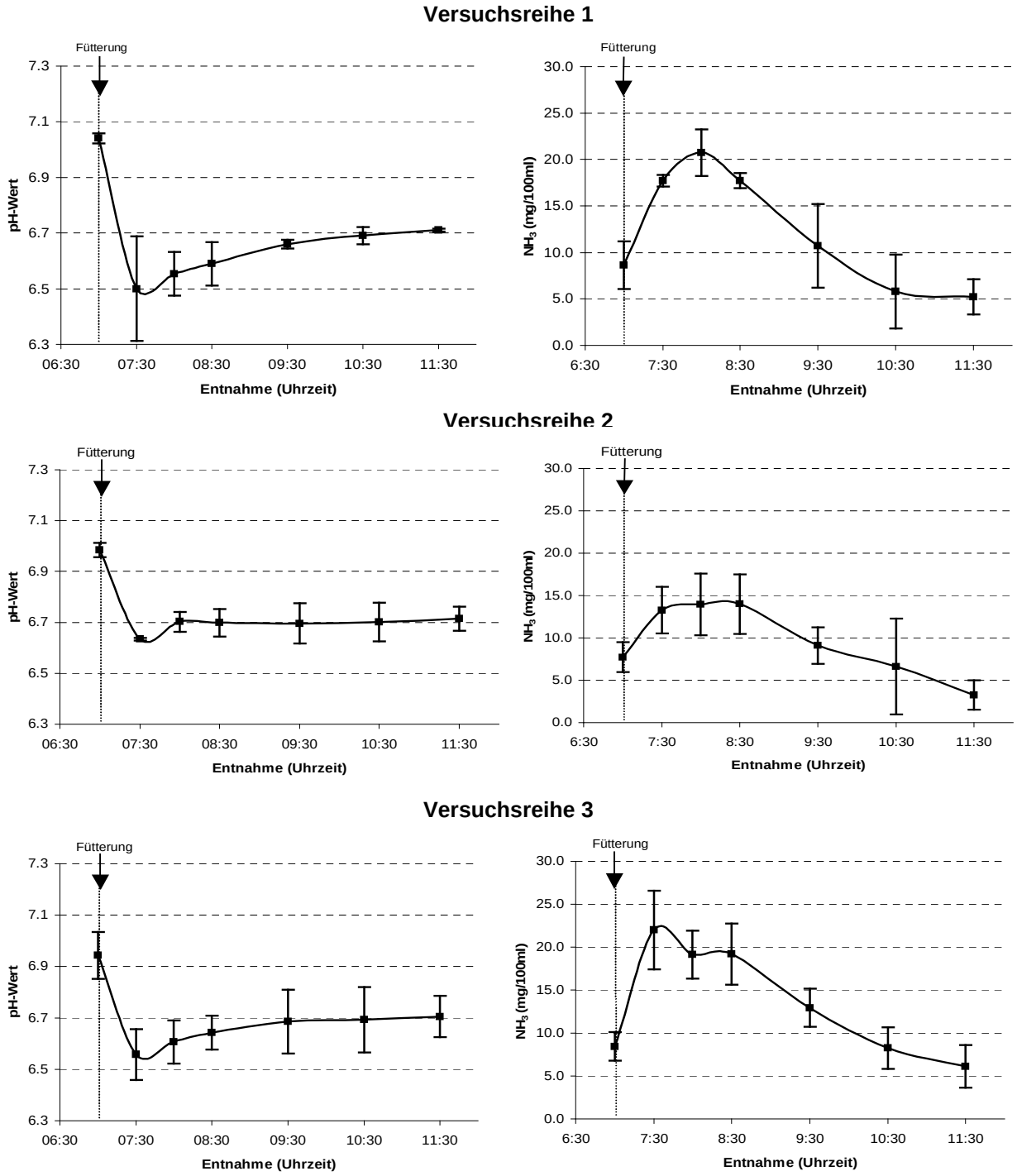


Abbildung 2: Mittlerer Verlauf des pH-Wertes und des Gehaltes an NH_3 im Pansensaft der Versuchstiere in den Versuchsreihen 1 – 3

Die Gehalte an flüchtigen Fettsäuren (FFS) im Pansensaft 3,5 Stunden nach der Morgenfütterung zeigten für alle Versuchsreihen ein relativ günstiges Verhältnis von C2:C3 Molekühlen (Acetat:Propionat). Dies lag im Mittel bei 3,5:1 und entsprach somit einem für die verabreichte Futterration physiologischen Verhältnis. Die absoluten Gehalte an flüchtigen Fettsäuren lagen im Durchschnitt bei ca. 50 mmol/l Acetat, ca.

10 mmol/l Butyrat und ca. 14 mmol/l Propionat. Tabelle 11 stellt die über die Versuche gemittelten Gehalte an FFS im Pansensaft aller Tiere dar. Die Einzelwerte können dem Anhang (Tabellen A14-A16) entnommen werden.

Tabelle 11: Gehalte an flüchtigen Fettsäuren im Pansensaft 210 Minuten nach der Morgenfütterung (± SD)

	Acetat	Butyrat	Propionat	C2 : C3 Verhältnis
	(mmol/l)			
Versuchsreihe 1	48.93 ± 9.53	10.51 ± 3.18	9.50 ± 2.90	5.2 : 1
Versuchsreihe 2	46.39 ± 5.62	10.21 ± 0.72	19.80 ± 2.20	2.3 : 1
Versuchsreihe 3	52.78 ± 3.60	8.32 ± 2.34	12.60 ± 2.36	4.2 : 1
Mittelwert	49.36 ± 3.22	9.68 ± 1.19	13.97 ± 5.29	3.5 : 1

Entscheidend für die vergleichenden Untersuchungen der *in sacco*-Abbaubarkeiten ist eine geringe Differenzierung in pH-Wert und Ammoniakkonzentration zwischen den Tieren sowie zwischen den Einzelversuchen. Die gemessenen Pansenparameter lassen daher einen Einfluss der Pansenphysiologie bzw. der Fütterung und Nährstoffversorgung auf die Messergebnisse *in situ* als unwahrscheinlich erscheinen.

2.4.4 Kohlenhydrate in den Residuen

Eine Analytik der Residuen aus den Beuteln nach Inkubation erfolgte in der Abteilung für Qualitätsicherung und Untersuchungswesen an der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub mittels Nah-Infrarot-Spektrometrie (NIRS). Hierfür wurden folgende Inkubationszeiten nach ihrem NDF-Gehalt in den Residuen untersucht: 0, 4, 24, 48 und 96 Stunden.

Die gleichen Analysen wie in Kapitel 2.3.2.2 schon beschrieben wurden für die dort genannten Sorten auch in den Residuen nach Bestimmung der Auswaschverluste (0 h) sowie nach 24-stündiger Inkubation im Pansen analysiert (DOBBERSTEIN, 2008).

2.5. Statistische Auswertung

Für die Ergebnisse aus der Analytik der Inhaltsstoffe sowie für die Parameter a, b, c, lag und d wurde eine Varianzanalyse mit der GLM-Prozedur von SAS (SAS Institute Inc., Vers. 8.2; 1989) mittels DUNCAN-Test ($P<0.05$) (bei balancierten Gruppenver-

gleichen) bzw. mittels TUKEY-KRAMER-Test ($P<0.05$) (bei unbalancierten Gruppenvergleichen) durchgeführt. Für die Mittelwertsvergleiche wurde folgendes Modell zugrunde gelegt:

$$Y_{ij} = \mu + Sorte_i + Erntezeitpunkt_j + e_{ij}$$

wobei

Y_{ij}	= Beobachtungswert
μ	= Gesamtmittelwert
$Sorte_i$	= fixer Effekt der Sorte j
$Erntezeitpunkt_j$	= fixer Effekt des Erntezeitpunkts k
e_{ij}	= Restfehler

Die T-Verluste aus den *in sacco*-Versuchen wurden mit Hilfe des nachfolgenden Modells im Statistikprogramm SAS mit der Prozedur GLM geschätzt.

$$Y = \mu + V_i + EJ_j + InkZk_l + EZP_l + S_m + T_n + EZPxEJ + SxInkZ + InkZxSxEZP + EJxInkZxSxEZP + e$$

Y	= T-Verlust
μ	= Gesamtmittelwert
V_i	= Effekt des Versuchsdurchgangs i
EJ_j	= Effekt des Erntejahrs j
$InkZ_k$	= Effekt der Inkubationszeit k
EZP_l	= Effekt des Erntezeitpunkts l
S_m	= Effekt der Sorte m
T_n	= Effekt des Tiers n
EZPxEJ	= Interaktion von Erntezeitpunkt und Erntejahr
SxInkZ	= Interaktion von Sorte und Inkubationszeit
InkZxSxEZP	= Interaktion von Sorte, Inkubationszeit und Erntezeitpunkt
EJxInkZxSxEZP	= Interaktion von Erntejahr, Sorte, Inkubationszeit und Erntezeitpunkt
e	= Restfehler

Der prozentuale Verlust an TM wurde mit Hilfe der Methode "Marquart" der NLIN-Prozedur von SAS durch iterative Verfahren an nachfolgende Funktion angepasst.

$$p = a + b\left(1 - e^{-c(t-t_0)}\right) \qquad \text{für } t>t_0$$

Dabei entspricht p dem prozentualen Verlust der untersuchten Stoffgruppe zum Zeitpunkt t (Inkubationszeit). *a*, *d* und *c* sind Schätzwerte für die verschiedenen Fraktionen der Stoffgruppe, welche von der NLIN-Prozendur geschätzt werden. *b* kann durch die Differenz *(d-a)* berechnet werden (siehe auch Kapitel 2.4.3.1).

3. Ergebnisse

3.1 Ausgangsmaterial der Proben

Eine möglichst umfassende und genaue Charakterisierung des Ausgangsmaterials (also des „ursprünglichen“ Materials vor Inkubation im Pansen) ist die Voraussetzung dafür, nach der Inkubation mögliche Veränderungen und Unterschiede zwischen den Sorten und ihrer Zusammensetzung feststellen zu können. Im Folgenden sind die Ergebnisse aus der Beprobung des Ausgangsmaterials dargestellt.

3.1.1 Trockensubstanzgehalte der untersuchten Maissorten

Körner

Die Orientierung über den gewünschten Erntezeitpunkt erfolgte an der Kornreife. Der Trockensubstanzgehalt wurde über die Gefriertrocknung der Körner ermittelt. Tabelle 12 zeigt die Korn-TS-Gehalte aller Sorten zum jeweiligen Erntetermin, zusammengefasst zu Reifegruppen. In Tabelle 13 sind die Sorten, die über drei Anbaujahre im Versuch waren, verglichen.

Tabelle 12: Mittlere T-Gehalte (%) der Körner im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	50.0^{c} ± 2.26	54.2^{c} ± 1.98	63.0^{b} ± 1.41	68.4^{ABa} ± 1.13	2.77	0.002
RG II	51.0^{c} ± 1.98	57.0^{b} ± 3.11	62.4^{ab} ± 0.00	67.0^{ABa} ± 1.41	2.32	0.005
RG III	50.7^{c} ± 2.05	57.4^{b} ± 2.11	62.1^{a} ± 1.40	63.5^{Ba} ±1.80	1.10	<0.0001
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	49.3^{d} ± 0.92	56.5^{c} ± 0.52	61.5^{b} ± 1.41	67.0^{ABa} ± 1.28	1.70	<0.0001
RG II	51.0^{d} ± 2.39	56.6^{c} ± 0.67	61.0^{b} ± 0.43	68.7^{Aa} ± 2.91	1.55	<0.0001
RG III	51.5^{c} ± 4.94	55.0^{bc} ± 4.62	60.6^{ab} ± 2.37	65.8^{ABa} ± 0.70	1.86	0.006
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	52.6^{d} ± 1.07	57.9^{c} ± 0.39	63.5^{b} ± 0.46	70.1^{Aa} ± 0.31	1.68	<0.0001
RG II	52.2^{d} ± 1.17	56.0^{c} ± 1.14	64.5^{b} ± 1.83	70.0^{Aa} ± 1.67	1.63	<0.0001
RG III	50.2^{d} ± 2.59	57.2^{c} ± 1.40	63.3^{b} ± 0.84	68.7^{Aa} ± 0.87	2.12	<0.0001
MW	51.0^{d}	56.6^{c}	62.4^{b}	67.6^{a}		
MSE RG	0.38	0.33	0.30	0.47		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Wie aus Tabelle 12 zu erkennen ist, stieg der Trockensubstanzgehalt der Körner im Reifeverlauf signifikant an. Die Zielgrößen für den Korn-TS-Gehalt am Erntetag (siehe Tabelle 4) von 48.0-52.0% für EZP1, 54.0-58.0% für EZP2 und 60.0-64.0% für EZP3 wurden damit erreicht. Nur in EZP4 wurde die Zielgröße von 65.0-70.0% Korn-

TS im Erntejahr 2004 von der Reifegruppe III unterschritten. Dies dürfte auf die Witterung zurückzuführen sein, da die späten Sorten hier vor den ersten Nachtfrösten nicht mehr genügend ausreifen konnten (siehe Tabelle 5).
Eine signifikante Differenzierung der Reifegruppen untereinander und zwischen den Jahren war bis auf die erwähnte Ausnahme nicht vorhanden. Dies sollte aber aufgrund des gewählten Probenahme-Schemas auch nicht der Fall sein.

Tabelle 13: Mittlere T-Gehalte (%) der Körner von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	50.9^{ABd} ± 2.08	56.5^{ABc} ± 1.07	63.5^{b} ± 0.87	69.1^{ABa} ± 1.20	60.0	2.11	<0.0001
DK 247	50.4^{Bd} ± 2.52	56.2^{ABc} ± 1.21	62.6^{b} ± 1.46	71.0^{Aa} ± 2.69	60.1	2.36	<0.0001
DKc 2949	50.4^{Bd} ± 0.68	57.7^{ABc} ± 1.33	62.7^{b} ± 2.22	68.5^{ABa} ± 2.21	59.8	2.05	<0.0001
Monumental	54.2^{Ad} ± 2.23	59.5^{Ac} ± 0.70	63.2^{b} ± 0.45	67.3^{ABa} ± 2.14	61.1	1.50	<0.0001
DK 281	48.4^{Bc} ± 1.52	55.3^{Bb} ± 3.53	61.9^{a} ± 0.78	65.9^{Ba} ± 2.21	57.9	2.08	<0.0001
DK 287	50.9^{ABc} ± 1.50	56.5^{ABb} ± 3.01	62.0^{a} ± 3.35	66.4^{Ba} ± 1.47	58.9	1.86	0.0003
MW	50.9^{d}	57.0^{c}	62.7^{b}	68.0^{a}			
MSE Sorten	0.56	0.53	0.39	0.59			
P-Value	0.048	0.262	0.852	0.082			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Auch bei Betrachtung der einzelnen Sorten über drei Anbaujahre hinweg zeigt sich, dass die geforderten Zielgrößen im Korn-TS-Gehalt weitestgehend erreicht wurden. Im Reifeverlauf zeigten alle Sorten eine signifikante Erhöhung des Trockensubstanzgehalts im Korn. Die Sorten unterschieden sich gemittelt über den Reifeverlauf nicht signifikant in ihrer Korn-TS.

Restpflanze

Die Trockensubstanzgehalte der Restpflanze sollen hier gesondert dargestellt werden, da die im Weiteren aufgeführte Analytik sich nur auf die Restpflanze bezieht.
In Tabelle 14 sind die TS-Gehalte der Sorten (zu Reifegruppen zusammengefasst) aufgeführt. Die Einzelwerte für die Sorten in den verschiedenen Anbaujahren sind den Tabellen A17-A19 im Anhang zu entnehmen. Tabelle 15 geht auf die Sorten in drei Anbaujahren ein.

Tabelle 14: Mittlere T-Gehalte (%) der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	20.3^{b} ± 0.07	20.6^{b} ± 1.41	24.2^{b} ± 1.27	29.7^{ABa} ± 0.35	1.45	0.001
RG II	20.9^{b} ± 0.28	21.9^{ab} ± 0.92	24.1^{ab} ± 2.05	28.4^{ABa} ± 1.27	1.15	0.015
RG III	20.7^{c} ± 0.79	21.6^{bc} ± 2.04	25.5^{ab} ± 1.39	27.5^{ABa} ± 3.94	0.73	0.000
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	20.3^{b} ± 0.50	20.1^{b} ± 1.54	22.9^{b} ± 1.66	29.0^{ABa} ± 0.63	0.97	<0.0001
RG II	19.1^{c} ± 1.32	20.3^{bc} ± 0.88	22.7^{b} ± 1.70	31.1^{Aa} ± 3.62	1.20	<0.0001
RG III	18.2^{b} ± 0.35	19.1^{b} ± 0.90	21.0^{b} ± 0.76	28.9^{ABa} ± 1.52	1.30	<0.0001
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	20.8^{b} ± 1.51	20.9^{b} ± 1.64	23.7^{b} ± 1.66	27.8^{ABa} ± 2.16	0.83	0.0003
RG II	19.8^{b} ± 1.37	20.8^{b} ± 1.59	22.5^{b} ± 1.59	26.2^{Ba} ± 1.00	0.63	<0.0001
RG III	19.6^{b} ± 0.95	19.6^{b} ± 0.96	22.7^{b} ± 2.35	26.0^{Ba} ± 0.99	0.88	0.0017
MW	20.0^{c}	20.6^{c}	23.3^{b}	28.2^{a}		
MSE RG	0.21	0.26	1.91	0.47		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Bei Betrachtung der Mittelwerte über alle Reifegruppen und Erntejahre fällt auf, dass der Trockensubstanzgehalt der Restpflanze in EZP1 und EZP2 konstant blieb. Erst zu EZP3 und 4 hin zeigte sich eine stärkere Differenzierung von im Mittel 20,3% (EZP1 und EZP2) auf 23,3% (EZP3) bzw. 28,2% (EZP4), die einem relativen Anstieg von 16,5 bzw. 41,0% entsprach und statistisch abgesichert werden konnte. Die durchschnittlichen Trockensubstanzgehalte der einzelnen Reifegruppen über alle drei Anbaujahre unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Reifegruppe I hatte mit 23,3% den höchsten TS-Gehalt. Reifegruppe II und III lagen mit 23,1% bzw. 22,8% etwas unter RG I. Insgesamt war hier die Differenzierung mit 0,5% sehr gering.

Für die einzelnen Reifegruppen in den drei Anbaujahren ergab sich folgendes: Die beiden ersten Erntezeitpunkte zeigten – trotz steigender Korn-TS – keinen signifikanten Anstieg in der Restpflanzen-TS. Hier wiesen aber im Gegensatz zum Mittelwert die meisten Reifegruppen erst zum vierten Erntezeitpunkt hin eine signifikante Differenzierung auf (Ausnahme: RG III in 2004 und RG II in 2005). Zwischen den drei Reifegruppen innerhalb eines Erntejahres konnte kein statistisch gesicherter Unterschied festgestellt werden. Zwischen den Anbaujahren war nur in Reifegruppe II zwischen 2005 und 2006 ein Unterschied feststellbar. Hier war in 2005 der End-Trockensubstanzgehalt von Reifegruppe II mit 31,1% signifikant höher als in 2006 (26,2%).

Tabelle 15: Mittlere T-Gehalte (%) der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	20.0^{c} ± 0.38	19.7^{c} ± 1.20	22.9^{b} ± 0.84	29.6^{a} ± 0.86	23.0	1.22	<0.001
DK 247	19.9^{c} ± 1.57	19.9^{c} ± 1.10	22.0^{b} ± 0.66	27.3^{a} ± 0.15	22.3	0.95	<0.0001
DKc 2949	19.4^{b} ± 1.30	21.9^{b} ± 1.93	22.6^{b} ± 2.72	28.5^{a} ± 2.12	23.1	1.13	0.004
Monumental	19.7^{b} ± 1.76	20.4^{b} ± 1.54	23.0^{b} ± 2.47	28.3^{a} ± 2.33	22.9	1.14	0.004
DK 281	19.8^{b} ± 1.21	20.9^{b} ± 1.53	23.4^{b} ± 2.14	28.5^{a} ± 3.10	23.1	1.13	0.004
DK 287	19.0^{b} ± 1.11	19.5^{b} ± 1.99	22.3^{ab} ± 3.01	26.1^{a} ± 3.37	21.7	1.05	0.031
MW	19.6^{c}	20.4^{c}	22.7^{b}	28.0^{a}			
MSE Sorten	0.27	0.37	0.44	0.53			
P-Value	0.922	0.487	0.975	0.558			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die Sorten zeigten im Reifeverlauf eine Erhöhung der durchschnittlichen Restpflanzen-TS um 8,4% von 19,6% in EZP1 auf 28,0% in EZP4. Dies entspricht einem relativen Anstieg von 42,9%. Bei den Sorten DK 233 und DK 247 zeigte sich der deutlichste Anstieg im Reifeverlauf. Hier erhöhte sich die Restpflanzen-TS bereits von EZP2 auf EZP3 signifikant. Die übrigen Sorten zeigten aufgrund der hohen Standardabweichung erst zum letzten Erntezeitpunkt hin einen signifikanten Anstieg der Trockensubstanz. Innerhalb eines Erntezeitpunkts war kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten feststellbar. Auch über alle Erntezeitpunkte gemittelt ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten ausmachen. Hier bewegte sich der TS-Gehalt zwischen 21,7% (DK 287) und 23,1% (DKc 2949 und DK 281).

Gesamtpflanze

Aus den Trockensubstanzgehalten der Körner und der Restpflanze wurde die Trockensubstanz der gesamten Maispflanze errechnet. Diese dient der Orientierung, inwieweit die beprobten Zeitpunkte für die Silomaisreife des Materials in der Praxis Relevanz haben. Tabelle 16 stellt die TS-Gehalte der Gesamtpflanzen aller Sorten in den drei Anbaujahren, zusammengefasst zu Reifegruppen dar. In Tabelle 17 sind die Sorten über drei Anbaujahre verglichen.

Tabelle 16: Mittlere T-Gehalte (%) der Gesamtpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MSE EZP	P-Value
RG I	27.5^{d} ± 0.85	29.4^{ABc} ± 0.42	36.6^{ABb} ± 0.57	43.0^{ABa} ± 0.07	2.32	<0.0001
RG II	28.5^{c} ± 0.00	32.1^{ABbc} ± 2.55	36.2^{ABb} ± 2.40	41.4^{ABa} ± 0.42	1.88	0.073
RG III	28.1^{c} ± 0.93	33.4^{Ab} ± 3.46	36.5^{Aa} ± 1.50	38.7^{Ba} ± 2.09	0.93	<0.0001
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	27.3^{d} ± 0.50	29.6^{ABc} ± 1.00	34.1^{ABb} ± 2.11	41.4^{ABa} ± 0.73	1.42	<0.0001
RG II	27.0^{c} ± 1.36	29.3^{Bc} ± 0.92	33.8^{ABb} ± 1.85	43.0^{Aa} ± 2.78	1.50	<0.0001
RG III	25.9^{c} ± 1.08	27.5^{Bc} ± 1.53	31.3^{Bb} ± 1.26	39.9^{ABa} ± 1.44	1.67	<0.0001
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	29.1^{c} ± 1.20	30.9^{ABc} ± 1.25	35.8^{ABb} ± 1.46	42.0^{ABa} ± 2.34	1.35	<0.0001
RG II	27.2^{d} ± 1.13	30.2^{ABc} ± 1.79	34.8^{ABb} ± 1.54	40.0^{ABa} ± 0.84	1.14	<0.0001
RG III	26.6^{d} ± 0.32	29.3^{ABc} ± 1.06	34.2^{ABb} ± 1.69	38.8^{ABa} ± 1.02	1.44	<0.0001
MW	27.5^{d}	30.4^{c}	34.8^{b}	40.8^{a}		
MSE RG	0.22	0.42	0.36	0.39		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die durchschnittliche Trockensubstanz der Gesamtpflanze stieg von 27,5% in EZP1 auf 40,8% in EZP4 signifikant an. Dies entspricht einem relativen Anstieg von 48,5%. Auch wurde eine Rangierung der Reifegruppen aus deren Mittelwerten über alle drei Erntejahre sichtbar. Diese war jedoch nicht signifikant und ergab relativ ähnliche Werte für RG I (33,8%) und RG II (33,5%). RG III differenzierte sich davon mit einem Gehalt von 32,9%.

Tabelle 17: Mittlere T-Gehalte (%) der Gesamtpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	27.8^{c} ± 0.79	29.9^{c} ±1.50	35.1^{b} ± 1.36	43.4^{Aa} ± 1.55	34.0	1.84	<0.0001
DK 247	27.4^{c} ± 1.60	29.2^{c} ± 0.99	33.5^{b} ± 0.87	40.7^{ABa} ± 0.38	32.7	1.56	<0.0001
DKc 2949	27.0^{c} ± 1.37	31.8^{b} ± 2.67	34.5^{b} ± 3.40	41.3^{ABa} ± 1.68	32.7	1.67	0.001
Monumental	27.4^{c} ± 1.43	29.9^{bc} ± 1.30	33.6^{b} ± 3.21	39.7^{Ba} ± 1.50	32.1	1.48	0.0004
DK 281	26.5^{c} ± 1.37	30.0^{c} ± 2.92	34.5^{b} ± 2.67	39.7^{Ba} ± 1.84	33.7	1.60	0.001
DK 287	26.7^{c} ± 1.10	28.8^{c} ± 2.78	33.9^{b} ± 2.96	38.8^{Ba} ± 1.93	32.7	1.52	0.001
MW	27.2^{d}	29.9^{c}	34.2^{b}	40.6^{a}			
MSE Sorten	0.28	0.49	0.53	0.47			
P-Value	0.813	0.650	0.968	0.045			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 17 wird ersichtlich, dass sowohl der Durchschnitt aller Sorten als auch die einzelnen Sorten selbst einen signifikanten Anstieg der Gesamt-TS im Reifeverlauf aufwiesen. Eine Rangierung der Sorten ergab sich zwar aus dem durchschnittlichen TS-Gehalt der Sorten über alle Erntezeitpunkte, konnte allerdings nicht

statistisch abgesichert werden. Hier wies DK 233 den höchsten TS-Gehalt (34,0%) auf. Die niedrigste durchschnittliche Trockensubstanz in der Gesamtpflanze mit 32,1% zeigte Monumental. Die Betrachtung der einzelnen Erntezeitpunkte ergab folgendes Bild: In EZP1 waren alle Sorten in ihrer Trockensubstanz ähnlich mit Werten zwischen 26,5 (DK 281) und 27,8% (DK 233). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten wurden mit fortschreitender Reife größer, eine signifikante Differenzierung zeigte sich jedoch nur zu Erntezeitpunkt 4. Hier wiesen die späten Sorten (Monumental, DK 281 und DK 287) im Vergleich zur frühesten Sorte (DK 233) signifikant niedrigere TS-Gehalte auf.

Zusammenfassung Trockensubstanzgehalte

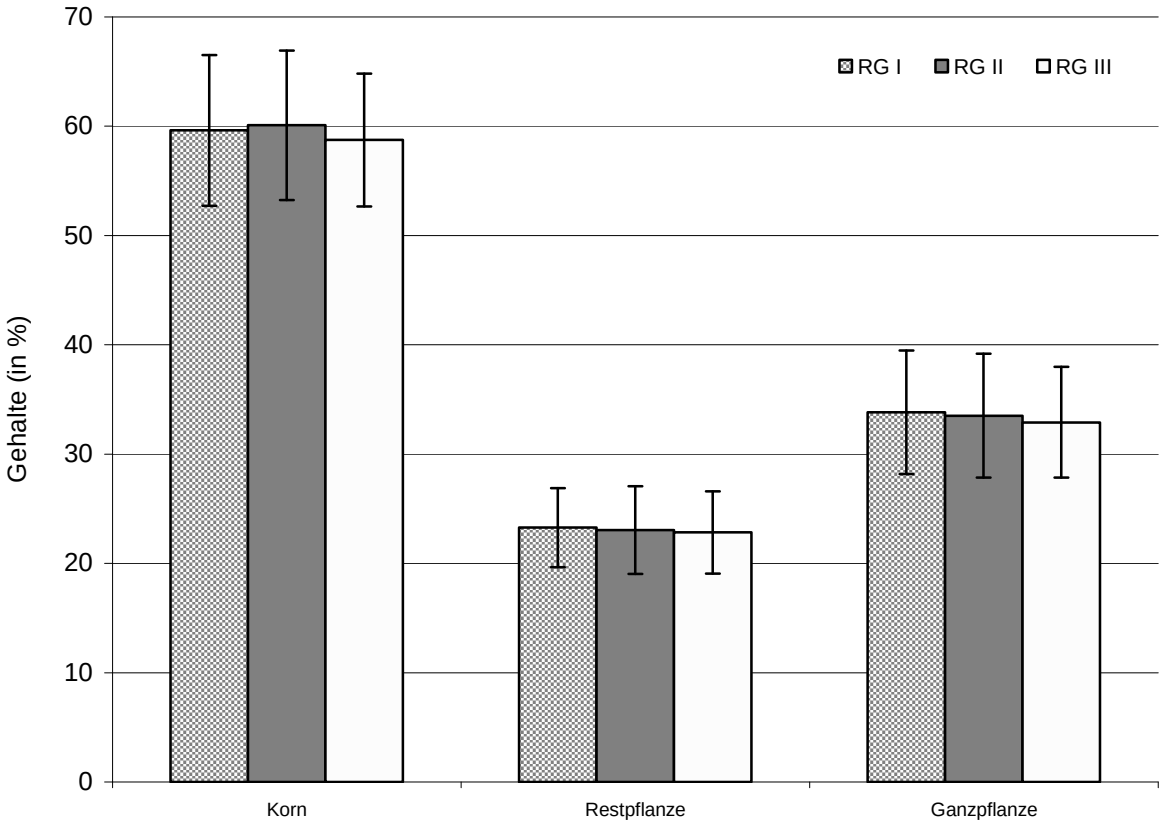


Abbildung 3: Mittlere Trockensubstanzgehalte der Maispflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte

Bei der Zusammenfassung aller Sorten und Erntezeitpunkte zu Reifegruppen (siehe Abbildung 3) ergab sich praktisch kein Unterschied zwischen den Reifegruppen in ihren TS-Gehalten. RG III zeigte im Vergleich zu den anderen Reifegruppen geringfügig niedrigere Gehalte sowohl in der Korn- als auch in der Restpflanzen- und Gesamt-TS. Die TS-Vorgaben für die Körner, nach denen sich das Erntedatum richtete, wurden erfüllt. Der damit einhergehende TS-Gehalt der Restpflanze war von EZP1 nach EZP2 verzögert. Der TS-Gehalt der Restpflanzen erhöhte sich erst zu EZP3. Unter Berücksichtigung einer möglichst gleichen Kornabreife ergaben sich auch für die Restpflanzen zwischen den Reifegruppen vergleichbare TS-Werte. Signifikante Unterschiede konnten im TS-Gehalt zwischen einzelnen Sorten nicht festgestellt werden.

3.1.2 Rohnährstoffe

Die Analyse der Rohnährstoffe und der pflanzlichen Gerüstsubstanzen wurde nur am Restpflanzenmaterial durchgeführt. Daher beziehen sich die im Folgenden vorgestellten Analysenergebnisse ausschließlich auf die Restpflanzen der Maissorten.

Rohasche

Tabelle 18 stellt die Rohaschegehalte der Sorten im Reifeverlauf zusammengefasst zu Reifegruppen dar. In Tabelle 19 werden die Rohaschegehalte aller Sorten, die über drei Jahre im Versuch waren als Mittelwert über die Erntejahre gezeigt.

Tabelle 18: Mittlere Rohaschegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	5.50^{ABa} ± 0.14	5.35^{ABab} ± 0.07	5.35^{ABab} ± 1.27	5.20^{ABb} ± 0.00	0.05	0.107
RG II	5.85^{AB} ± 0.35	6.05^{AB} ± 0.21	6.20^{AB} ± 0.28	6.10^{AB} ± 0.57	0.11	0.822
RG III	5.13^{B} ± 0.35	5.12^{B} ± 0.36	5.12^{B} ± 0.24	5.13^{B} ± 0.36	0.06	1.000
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	4.95^{B} ± 0.39	5.20^{AB} ± 0.48	5.60^{AB} ± 0.32	5.15^{AB} ± 0.42	0.11	0.198
RG II	6.13^{AB} ± 0.67	5.98^{AB} ± 0.63	6.06^{AB} ± 0.66	6.02^{AB} ± 0.54	0.13	0.987
RG III	5.23^{AB} ± 0.15	5.30^{AB} ± 0.20	5.57^{AB} ± 0.32	5.47^{AB} ± 0.40	0.08	0.507
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	5.70^{AB} ± 0.76	5.78^{AB} ± 0.90	5.98^{AB} ± 0.85	5.75^{AB} ± 0.79	0.19	0.967
RG II	6.52^{A} ± 0.65	6.52^{A} ± 0.67	6.94^{A} ± 0.63	6.48^{A} ± 0.49	0.13	0.606
RG III	5.97^{AB} ± 0.70	6.13^{AB} ± 0.95	5.77^{AB} ± 0.25	5.93^{AB} ± 0.87	0.19	0.945
MW	5.66	5.70	5.84	5.70		
MSE RG	0.13	0.13	0.12	0.12		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die Rohasche zeigte keine gerichtete Veränderung während der Abreife der Pflanzen. Zwischen den Reifegruppen ließ sich gemittelt über alle Erntejahre ein signifikant höherer Rohaschegehalt in Reifegruppe II erkennen. Dieser betrug bei RG II 6,27%, während RG III und RG I Gehalte von 5,39 bzw. 5,48% aufwiesen. Insgesamt lagen die Rohaschegehalte zwischen ca. 5 und knapp 7%.

Tabelle 19: Mittlere Rohaschegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	5.63^{AB} ± 0.49	5.87^{AB} ± 0.57	5.93^{ABC} ± 0.65	5.53^{BC} ± 0.49	5.74^{B}	0.15	0.791
DK 247	6.63^{A} ± 0.76	6.70^{A} ± 0.46	6.57^{A} ± 0.57	6.57^{A} ± 0.21	6.60^{A}	0.13	0.988
DKc 2949	6.23^{AB} ± 0.60	6.27^{AB} ± 0.35	6.50^{AB} ± 0.44	6.37^{AB} ± 0.59	6.33^{A}	0.13	0.914
Monumental	5.57^{AB} ± 0.99	5.90^{AB} ± 1.04	5.50^{C} ± 0.44	5.87^{ABC} ± 0.93	5.69^{B}	0.22	0.919
DK 281	5.10^{B} ± 0.44	5.17^{B} ± 0.35	5.43^{C} ± 0.31	5.13^{C} ± 0.31	5.21^{C}	0.10	0.658
DK 287	5.43^{AB} ± 0.40	5.43^{B} ± 0.58	5.63^{BC} ± 0.29	5.67^{ABC} ± 0.25	5.55^{BC}	0.10	0.828
MW	5.77	5.88	5.91	5.85			
MSE Sorten	0.18	0.17	0.15	0.15			
P-Value	0.113	0.089	0.037	0.050			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Auch die einzelnen Sorten zeigten keine gerichtete Veränderung der Rohaschegehalte in der Restpflanze über den Reifeverlauf hinweg. Allerdings konnten sortenspezifische Unterschiede beobachtet werden. Die Sorten DK 247 und DKc 2949 wiesen im Durchschnitt über alle Erntezeitpunkte einen signifikant höheren Rohaschegehalt auf als die Sorten DK 281, DK 287 und Monumental. So lag der Rohaschegehalt bei DK 247 um 6,6%, bei DKc 2949 um 6,3% und bei den drei genannten Sorten um 5,2 bis 5,7%. In den einzelnen Erntezeitpunkten war dies ebenfalls als Tendenz vorhanden, jedoch nicht statistisch nachweisbar.

Rohprotein

Die Rohproteingehalte der untersuchten Sorten im Reifeverlauf sind in den Tabellen 20 und 21 dargestellt. Tabelle 20 gibt die Sorten in Reifegruppen zusammengefasst wieder, während Tabelle 21 die Mittelwerte der Sorten über drei Erntejahre darstellt.

Tabelle 20: Mittlere Rohproteingehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MSE EZP	P-Value
RG I	6.40^{ABa} ± 0.28	5.95^{a} ± 0.35	5.05^{b} ± 0.21	4.85^{b} ± 0.07	0.25	0.010
RG II	6.40^{ABa} ± 0.28	5.55^{ab} ± 0.35	5.45^{b} ± 0.21	5.30^{b} ± 0.00	0.18	0.038
RG III	5.40^{B} ± 0.22	5.48 ± 0.55	5.12 ± 0.56	5.55 ± 0.38	0.09	0.379
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	5.25^{B} ± 1.07	4.68 ± 0.54	4.75 ± 0.71	4.20 ± 0.37	0.19	0.281
RG II	5.88^{ABa} ± 1.13	5.20^{ab} ± 0.44	4.60^{b} ± 0.45	4.54^{b} ± 0.37	0.18	0.022
RG III	4.80^{B} ± 0.20	4.90 ± 1.11	4.77 ± 0.25	4.70 ± 0.30	0.15	0.980
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	6.63^{ABa} ± 0.49	6.23^{ab} ± 0.60	5.80^{b} ± 0.46	5.08^{c} ± 0.21	0.18	0.003
RG II	6.88^{Aa} ± 1.22	6.16^{ab} ± 0.59	5.56^{bc} ± 0.97	4.76^{c} ± 0.67	0.26	0.013
RG III	5.67^{AB} ± 0.95	4.83 ± 1.05	4.30 ± 0.50	4.23 ± 0.83	0.27	0.228
MW	5.90^{a}	5.46^{ab}	5.05^{bc}	4.82^{c}		
MSE RG	0.17	0.14	0.12	0.10		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die Rohproteingehalte zeigten eine signifikante Verminderung des Rohproteins mit fortschreitender Reife von im Mittel 5,90% auf 4,82%. Diese Verringerung war tendenziell in allen Reifegruppen zu beobachten. Zwischen den Reifegruppen ließ sich nur im ersten Erntezeitpunkt ein signifikanter Unterschied feststellen. Allerdings wies Reifegruppe III in allen drei Jahren die niedrigsten Rohproteingehalte von im Durchschnitt 5,07% auf (Reifegruppe I: 5,37%; Reifegruppe II: 5,48%).

Tabelle 21: Mittlere Rohproteingehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	6.53^{Aa} ± 0.31	5.57^{b} ± 0.78	5.53^{Ab} ± 0.55	4.77^{b} ± 0.06	**5.59^{A}**	0.23	0.017
DK 247	6.40^{ABa} ± 0.53	5.60^{b} ± 0.20	5.17^{ABbc} ± 0.12	4.78^{c} ± 0.47	**5.49^{AB}**	0.20	0.004
DKc 2949	6.40^{ABa} ± 1.11	5.63^{ab} ± 0.42	4.93^{ABab} ± 0.70	4.77^{b} ± 0.76	**5.44^{AB}**	0.28	0.117
Monumental	5.50^{AB} ± 0.96	5.33 ± 0.60	4.77^{AB} ± 0.06	4.83 ± 0.40	**5.10^{ABC}**	0.18	0.409
DK 281	5.07^{B} ± 0.40	5.03 ± 1.16	4.57^{B} ± 0.67	4.43 ± 1.03	**4.76^{C}**	0.23	0.747
DK 287	5.23^{AB} ± 0.57	4.53 ± 0.55	4.60^{AB} ± 0.36	4.93 ± 0.40	**4.83^{C}**	0.15	0.321
MW	5.86^{a}	5.28^{b}	4.92^{bc}	4.74^{c}			
MSE Sorten	0.20	0.17	0.13	0.12			
P-Value	0.081	0.372	0.190	0.940			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 21 wird ersichtlich, dass nur die Sorten der frühen Reifgruppen signifikante Veränderungen des Rohproteingehalts im Reifeverlauf zeigten. Bei den späten Sorten war zwar die Tendenz zur Verringerung des Rohproteins auch vorhanden

jedoch nicht besonders ausgeprägt. Auch zeigten die früheren Sorten im Gesamtmittel höhere Rohproteingehalte als die späteren. Signifikant war dieser Unterschied zwischen den frühen Sorten DK 233, DK 247 und DKc 2949 und den spätesten Sorten DK 281 und DK 287. In den einzelnen Erntezeitpunkten bestand der größte Unterschied in EZP1 (frühe Sorten: 6,44% in EZP1; späte Sorten: 5,27%). Diese Differenz verringerte sich aber zum vierten Erntezeitpunkt hin (frühe Sorten: 4,77% in EZP4; späte Sorten: 4,73%; n.s.).

Rohfett

Tabellen 22 und 23 zeigen den Rohfettgehalt der Sorten. Dieser wurde als Mischprobe über alle Erntezeitpunkte bestimmt, da keine gravierenden Veränderungen über den Reifeverlauf zu erwarten waren und sich der Gehalt an Rohfett in der Restpflanze in einem marginalen Bereich um 1% bewegt.

Tabelle 22: Mittlere Rohfettgehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1-4**	MSE EZP
RG I	0.90^{AB} ± 0.14	0.10
RG II	0.90^{AB} ± 0.00	0.00
RG III	0.70^{B} ± 0.06	0.03
2005	**EZP1-4**	MSE EZP
RG I	1.00^{A} ± 0.14	0.07
RG II	0.92^{AB} ± 0.15	0.07
RG III	0.70^{BC} ± 0.10	0.06
2006	**EZP1-4**	MSE EZP
RG I	1.03^{A} ± 0.17	0.09
RG II	0.96^{AC} ± 0.15	0.07
RG III	0.83^{A} ± 0.12	0.07
MW	0.89	
MSE RG	0.05	

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten

Bei Betrachtung der Reifegruppen ist festzustellen, dass Reifegruppe III in allen drei Jahren den niedrigsten Gehalt an Rohfett aufwies. Reifegruppe I dagegen den höchsten. Innerhalb der einzelnen Erntejahre ließ sich dieser Unterschied aber nicht zwischen allen Reifegruppen statistisch absichern. Lediglich das Erntejahr 2005 zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen Reifegruppe I und Reifegruppe III.

Tabelle 23: Mittlere Rohfettgehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1-4	MSE EZP
DK 233	0.97 ± 0.06	0.03
DK 247	0.87 ± 0.06	0.03
DKc 2949	0.93 ± 0.06	0.03
Monumental	0.73 ± 0.15	0.09
DK 281	0.70 ± 0.00	0.00
DK 287	0.80 ± 0.10	0.06
MW	0.83	
MSE Sorten	0.03	

Zwischen den Sorten konnte kein signifikanter Unterschied im Rohfettgehalt ermittelt werden. Es zeigte sich jedoch ebenso die Tendenz der frühen Sorten zu einem erhöhten Rohfettgehalt im Vergleich zu den späten Sorten.

Zusammenfassung Rohnährstoffgehalte

In Abbildung 4 sind die Rohnährstoffgehalte zu Reifegruppen zusammengefasst über alle Sorten und Erntezeitpunkte dargestellt. Hier zeigte sich ein deutlicher Unterschied der frühen und mittelfrühen Reifegruppen im Vergleich zur späten. Die späte Reifegruppe hatte in den Parametern Rohfett und Rohprotein deutlich niedrigere Gehalte.

Dies spiegelte sich auch in den Einzelwerten wider:

Die **Rohasche**gehalte ließen deutliche sortenspezifische Unterschiede ($p<0.05$) erkennen, wobei die frühen Sorten einen höheren Rohaschegehalt als die späten Sorten aufwiesen (siehe Tabelle 19). Selbes war in den **Rohprotein**gehalten zu beobachten. Beim **Rohfett**gehalt zeigten ebenfalls die frühen Sorten eine Tendenz zu einem erhöhten Gehalt gegenüber den späten. Dies konnte jedoch nicht statistisch abgesichert werden.

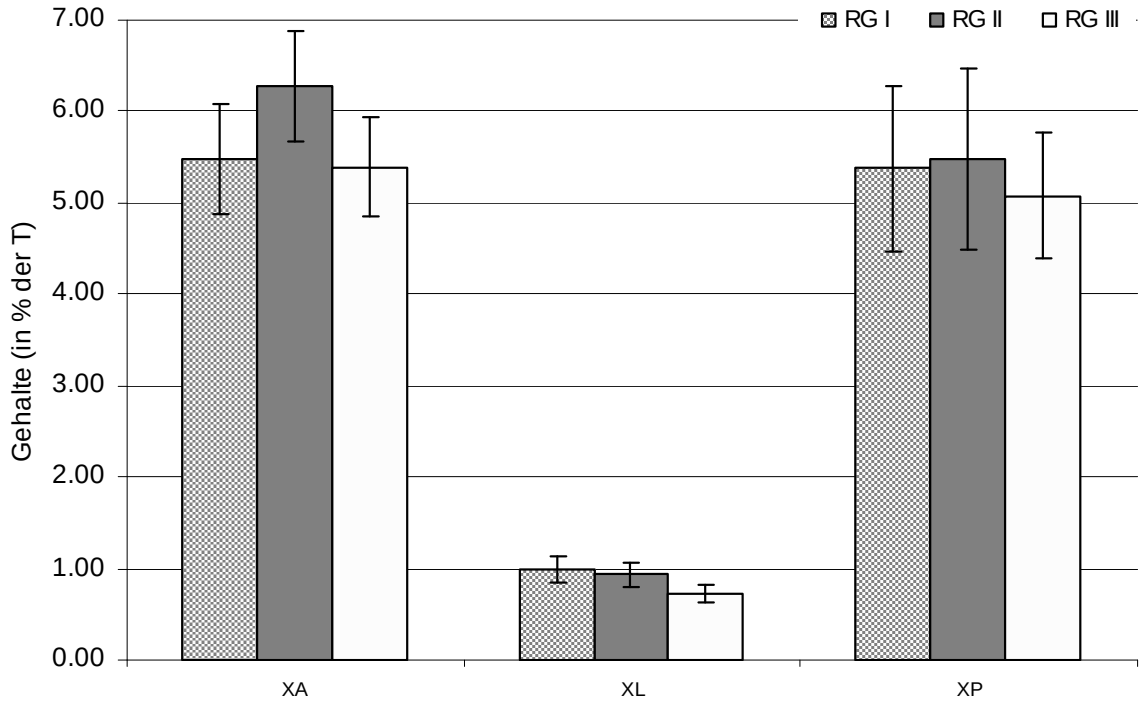


Abbildung 4: Mittlere Rohnährstoffgehalte der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte

3.1.3 Pflanzliche Gerüstsubstanzen

Kapitel 3.1.3 fasst alle Analysen zusammen, die der Bestimmung der pflanzlichen Gerüstsubstanzen dienten. Deshalb wurde auch die Rohfaser in dieses Kapitel aufgenommen, obwohl die Rohfaserbestimmung im Zuge der Rohnährstoffanalytik durchgeführt wurde.

Rohfaser

Die Tabellen 24 und 25 gehen auf die Gehalte an Rohfaser im Analysenmaterial ein.

Tabelle 24: Mittlere Rohfasergehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	29.9^{b} ± 0.57	31.2^{b} ± 1.27	32.5^{ab} ± 1.41	35.2^{ABa} ± 0.92	0.79	0.034
RG II	30.0^{c} ± 0.21	32.2^{bc} ± 2.05	33.7^{ab} ± 1.41	36.5^{ABa} ± 0.07	0.96	0.027
RG III	32.0^{c} ± 1.61	33.2^{bc} ± 1.17	34.3^{ab} ± 1.78	35.5^{ABa} ± 2.01	0.42	0.010
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	31.4 ± 3.27	33.6 ± 2.66	32.7 ± 2.30	33.5^{B} ± 2.32	0.36	0.659
RG II	33.8 ± 3.31	34.9 ± 1.75	35.9 ± 2.25	37.2^{AB} ± 3.28	0.63	0.309
RG III	36.4 ± 1.68	36.2 ± 0.67	37.5 ± 2.22	38.2^{AB} ± 2.28	0.51	0.530
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.3 ± 1.23	34.3 ± 0.70	35.1 ± 1.01	34.9^{AB} ± 1.57	0.32	0.196
RG II	34.5^{b} ± 1.42	35.0^{b} ± 2.71	37.6^{ab} ± 2.27	38.4^{ABa} ± 2.62	0.61	0.046
RG III	35.7^{b} ± 0.70	37.4^{ab} ± 1.30	38.2^{a} ± 1.80	39.2^{Aa} ± 0.92	0.50	0.047
MW	33.2^{c}	34.4^{bc}	35.4^{ab}	36.5^{a}		
MSE RG	0.46	0.38	0.44	0.46		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Tabelle 24 zeigt einen signifikanten Anstieg der durchschnittlichen Rohfasergehalte im Reifeverlauf von 33,2% (EZP1) auf 36,5% (EZP4). Dieser spiegelte sich in allen Reifegruppen und Jahren wider. Signifikante Unterschiede zwischen den Reifegruppen in den einzelnen Anbaujahren konnten nicht festgestellt werden. Im Durchschnitt über die Erntejahre wies RG I einen signifikant niedrigeren Rohfasergehalt (33,5^{B}%) auf als die Reifegruppen II und III (beide 35,5^{A}%).

Tabelle 25: Mittlere Rohfasergehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	31.0^{Bb} ± 2.10	32.8^{Bab} ± 0.81	33.0^{Bab} ± 2.04	34.9^{Ca} ± 1.31	**33.0^{B}**	0.58	0.113
DK 247	31.7^{B} ± 3.04	32.8^{B} ± 1.89	33.8^{AB} ± 1.27	35.7^{BC} ± 1.39	**33.5^{B}**	0.67	0.173
DKc 2949	31.6^{Bc} ± 1.57	32.6^{Bbc} ± 1.59	34.7^{ABab} ± 0.50	35.5^{BCa} ± 0.79	**33.6^{B}**	0.56	0.015
Monumental	33.8^{ABb} ± 2.86	35.2^{ABab} ± 1.69	35.5^{ABab} ± 0.90	37.2^{ABCa} ± 1.50	**35.4^{A}**	0.55	0.183
DK 281	36.0^{A} ± 2.52	36.2^{A} ± 2.56	37.6^{A} ± 3.25	38.8^{A} ± 2.45	**37.2^{A}**	0.75	0.578
DK 287	34.9^{AB} ± 1.37	36.1^{A} ± 1.22	37.2^{A} ± 2.25	38.0^{AB} ± 1.19	**36.5^{A}**	0.52	0.165
MW	33.2^{c}	34.3^{bc}	35.3^{ab}	36.7^{a}			
MSE Sorten	0.63	0.51	0.55	0.46			
P-Value	0.089	0.052	0.080	0.049			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Bei Betrachtung der Sorten ließ sich der Unterschied zwischen frühen und späten Sorten sowohl innerhalb der einzelnen EZPals auch im Durchschnitt über alle Erntezeitpunkte einer Sorte statistisch absichern. Vor allem die Sorte DK 281 zeigte eine signifikant höhere Rohfaser im Vergleich zu den Sorten DK 233 und DK 247.

NDF

Werden die NDF-Gehalte betrachtet, zeigt sich ein den Rohfasergehalten vergleichbares Bild. Die Tabellen 26 und 27 geben eine Übersicht über die NDF-Gehalte in der Restpflanze der Maissorten.

Tabelle 26: Mittlere NDF-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MSE EZP	P-Value
RG I	52.3^{ABb} ± 1.34	53.5^{b} ± 3.04	57.1^{ABab} ± 3.39	61.2^{a} ± 0.35	1.46	0.063
RG II	52.2^{ABb} ± 0.71	56.4^{ab} ± 4.10	59.1^{ABab} ± 4.10	64.1^{a} ± 1.49	1.81	0.068
RG III	52.7^{Bc} ± 3.48	55.0^{bc} ± 2.33	57.5^{Bab} ± 3.23	60.1^{a} ± 2.83	0.81	0.003
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	54.6^{ABb} ± 3.39	57.9^{ab} ± 2.80	57.6^{Bb} ± 2.60	60.1^{a} ± 2.66	0.82	0.117
RG II	57.6^{ABb} ± 5.38	60.7^{ab} ± 2.61	63.8^{ABa} ± 7.28	66.0^{a} ± 4.03	1.12	0.035
RG III	62.1^{Ab} ± 0.80	62.5^{b} ± 0.67	66.5^{Aab} ± 3.44	68.4^{a} ± 3.33	1.01	0.035
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	55.3^{AB} ± 1.92	56.6 ± 4.06	59.5^{AB} ± 0.96	61.1 ± 5.22	0.98	0.129
RG II	56.4^{ABb} ± 2.41	56.7^{b} ± 2.53	59.8^{ABab} ± 2.22	62.8^{a} ± 3.29	0.81	0.005
RG III	57.8^{ABb} ± 0.25	59.7^{b} ± 1.44	63.5^{ABa} ± 1.93	64.0^{a} ± 1.57	0.86	0.002
MW	55.7^{c}	57.7^{c}	60.4^{b}	62.8^{a}		
MSE RG	0.67	0.60	0.69	0.68		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

In Tabelle 26 findet sich im Reifeverlauf ein kontinuierlicher Anstieg der NDF-Gehalte über alle Reifegruppen. Der Anstieg war hier in allen drei Reifegruppen stärker als bei den Rohfasergehalten. Auch in den NDF-Gehalten gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Reifegruppen in den einzelnen Anbaujahren. Die gemittelten Werte der Reifegruppen über alle Anbaujahre betrugen $57,5^{B}$% für RG I und $60,1^{A}$ bzw. $59,7^{A}$% für RG II bzw. RG III. Reifegruppe I hatte damit einen signifikant niedrigeren mittleren NDF-Gehalt als die beiden anderen Reifegruppen.

Tabelle 27: Mittlere NDF-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	54.5^{b} ± 2.66	58.5^{ab} ± 2.58	58.3^{ab} ± 2.47	61.7^{a} ± 1.53	**58.3^{AB}**	0.96	0.036
DK 247	52.9^{c} ± 1.46	56.4^{b} ± 2.69	57.7^{b} ± 1.27	61.7^{a} ± 1.10	**57.2^{B}**	1.04	0.002
DKc 2949	53.2^{b} ± 1.39	56.7^{ab} ± 2.82	59.8^{a} ± 2.54	61.8^{a} ± 3.58	**57.9^{B}**	1.18	0.021
Monumental	56.7 ± 5.06	58.2 ± 4.60	60.7 ± 2.75	63.7 ± 2.72	**59.8^{AB}**	1.25	0.228
DK 281	58.2 ± 3.62	59.5 ± 3.20	63.8 ± 6.13	65.0 ± 5.16	**61.6^{A}**	1.44	0.292
DK 287	58.7 ± 3.98	60.3 ± 2.41	63.8 ± 4.07	64.7 ± 4.47	**61.9^{A}**	1.20	0.252
MW	55.7^{d}	58.3^{c}	60.7^{b}	63.1^{a}			
MSE Sorten	0.86	0.71	0.91	0.76			
P-Value	0.206	0.631	0.225	0.698			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Beim Sortenvergleich in Tabelle 27 zeigte sich der NDF-Gehalt gemittelt über alle Erntezeitpunkte in den beiden frühen Sorten DK 247 und DKc 2949 (57,2 bzw. 57,9%) signifikant niedriger als in den beiden späten Sorten DK 281 und DK 287 (61,6 bzw. 61,9%). Auch stiegen NDF-Gehalte im Reifeverlauf signifikant an. Dies war aber nur im Gesamtmittel (über alle Sorten) und in den frühen Sorten (DK 233, DK 247 und DKc 2949) zu beobachten. Bei den späteren Sorten waren die Unterschiede zwischen den Anbaujahren zu hoch (siehe Standardabweichung) als dass sich ein signifikanter Anstieg hätte sichern lassen.

ADF

In den Tabellen 28 und 29 sind die ADF-Gehalte der einzelnen Reifegruppen bzw. Sorten dargestellt.

Tabelle 28: Mittlere ADF-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MSE EZP	P-Value
RG I	30.5^{Bc} ± 1.57	32.7^{bc} ± 1.56	34.6^{ABab} ± 0.57	37.3^{a} ± 0.99	1.00	0.022
RG II	30.6^{Bb} ± 0.28	33.8^{ab} ± 3.11	36.4^{ABab} ± 3.32	39.8^{a} ± 1.27	1.42	0.068
RG III	33.2^{Bc} ± 2.20	34.6^{bc} ± 1.50	36.5^{ABab} ± 2.07	39.1^{a} ± 3.07	0.63	0.002
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.7^{AB} ± 2.67	36.0 ± 2.52	35.6^{B} ± 1.93	36.9 ± 2.05	0.60	0.295
RG II	36.2^{ABb} ± 3.90	37.8^{ab} ± 2.35	39.9^{ABab} ± 3.09	41.0^{a} ± 3.10	0.78	0.135
RG III	39.4^{Ab} ± 0.67	39.8^{ab} ± 0.60	41.9^{Aab} ± 1.76	42.5^{a} ± 2.30	0.55	0.090
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	35.3^{AB} ± 1.51	35.7 ± 2.76	37.0^{AB} ± 0.93	38.5 ± 2.96	0.59	0.217
RG II	36.0^{ABb} ± 1.16	36.1^{b} ± 1.71	38.3^{ABa} ± 1.41	40.1^{a} ± 2.01	0.51	0.003
RG III	37.3^{ABb} ± 0.21	38.5^{b} ± 0.76	40.5^{ABa} ± 1.10	41.2^{a} ± 0.78	0.50	0.001
MW	34.9^{c}	36.2^{bc}	37.9^{ab}	39.6^{a}		
MSE RG	0.53	0.45	0.47	0.47		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Wie aus Tabelle 28 hervorgeht, stiegen die ADF-Gehalte gemittelt über alle Reifegruppen und Erntejahre signifikant von 34,9% (EZP1) auf 39,6% (EZP4). Auch hier zeigte sich die Tendenz, dass innerhalb der Erntejahre die ADF-Gehalte der früheren Reifegruppe niedriger waren als die der späten. RG I unterschied sich gemittelt über die Anbaujahre durch ein signifikant niedrigeres Niveau der ADF-Gehalte (35,6^{B}%) von den Reifegruppen II und III (37,7^{A} bzw. 38,0^{A}%).

Tabelle 29: Mittlere ADF-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	33.7^{b} ± 2.91	36.5^{ab} ± 2.35	35.5^{Bab} ± 1.71	38.4^{Ba} ± 1.06	**36.0^{B}**	0.74	0.125
DK 247	32.8^{b} ± 2.48	35.4^{ab} ± 3.34	36.1^{ABab} ± 1.96	38.6^{Ba} ± 0.93	**35.7^{B}**	0.85	0.090
DKc 2949	33.0^{c} ± 2.29	34.6^{bc} ± 1.19	37.4^{ABab} ± 1.13	38.5^{Ba} ± 1.91	**35.9^{B}**	0.79	0.014
Monumental	36.0^{b} ± 3.54	37.4^{ab} ± 3.11	38.7^{ABab} ± 1.66	41.3^{ABa} ± 1.16	**38.4^{A}**	0.87	0.147
DK 281	37.3 ± 2.96	37.8 ± 2.37	40.1^{A} ± 4.10	42.5^{A} ± 1.91	**39.4^{A}**	0.96	0.201
DK 287	37.1 ± 2.27	38.2 ± 1.94	40.3^{A} ± 2.15	40.9^{AB} ± 2.15	**39.1^{A}**	0.70	0.182
MW	35.0^{c}	36.7^{bc}	38.0^{b}	40.0^{a}			
MSE Sorten	0.71	0.58	0.64	0.50			
P-Value		0.469	0.109	0.032			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Auch in Tabelle 29 sind signifikante Anstiege der ADF-Gehalte im Reifeverlauf im Mittel über alle Sorten zu beobachten. Den höchsten Gehalt in allen Erntezeitpunkten sowie im Mittel über alle Erntezeitpunkte wies die Sorte DK 281 auf. Sie hatte im

EZP1 einen Gehalt von 36,0%, der zu EZP4 hin auf 41,2% anstieg. Ihr durchschnittlicher ADF-Gehalt über den Reifeverlauf betrug 39,4%. Der Mittelwert über alle Erntezeitpunkte zeigte auch bei den übrigen Sorten klare Unterschiede zwischen den frühen und den späten Sorten, die statistisch abgesichert werden konnten.

ADL

Die ADL-Gehalte der Restpflanzen sind in Tabellen 30 und 31 wiedergegeben.

Tabelle 30: Mittlere ADL-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	4.00^{ABb} ± 0.57	4.85^{ab} ± 0.35	4.95^{ab} ± 0.21	5.25^{a} ± 0.50	0.21	0.150
RG II	3.60^{Bb} ± 0.14	4.20^{ab} ± 0.28	4.35^{ab} ± 0.50	5.00^{a} ± 0.42	0.21	0.076
RG III	4.60^{AB} ± 0.78	4.82 ± 0.74	5.10 ± 0.74	5.43 ± 0.73	0.16	0.274
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	4.63^{AB} ± 0.79	5.00 ± 0.55	4.88 ± 0.50	5.08 ± 0.39	0.14	0.709
RG II	4.66^{AB} ± 1.08	5.24 ± 0.58	5.48 ± 0.65	5.70 ± 0.71	0.18	0.217
RG III	5.10^{AB} ± 0.36	5.27 ± 0.31	5.37 ± 0.31	5.60 ± 0.46	0.11	0.443
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	5.35^{AB} ± 0.40	5.35 ± 0.60	5.48 ± 0.44	5.73 ± 0.53	0.12	0.689
RG II	5.84^{A} ± 0.77	5.80 ± 0.66	6.20 ± 0.83	6.30 ± 0.59	0.16	0.614
RG III	5.63^{ABb} ± 0.31	5.83^{ab} ± 0.29	5.90^{ab} ± 0.27	6.27^{a} ± 0.06	0.09	0.076
MW	4.92^{c}	5.20^{bc}	5.38^{ab}	5.64^{a}		
MSE RG	0.15	0.12	0.12	0.11		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Der Mittelwert der ADL-Gehalte über alle Reifegruppen und Jahre ließ einen kontinuierlichen und signifikanten Anstieg der ADL im Material um 0,72% erkennen. Dies entspricht einem relativen Anstieg der ADL von 14,6%. Auch die Reifegruppen in den einzelnen Anbaujahren wiesen im Verlauf der Abreife einen Anstieg der ADL-Gehalte auf. Die Streuung zwischen den Anbaujahren war allerdings in allen Reifegruppen relativ groß. Über alle Erntejahre gemittelt ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reifegruppen, aber eine Reihung war durchaus erkennbar. Den niedrigsten Gehalt hatte RG I mit 5,10%, den höchsten RG III mit 5,43%. Reifegruppe II lag mit einem Gehalt von 5,30% dazwischen.

Tabelle 31: Mittlere ADL-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	4.73 ± 0.85	5.30 ± 0.35	5.00 ± 0.72	5.60 ± 0.40	**5.15**	0.18	0.402
DK 247	4.97 ± 1.78	5.27 ± 1.42	5.43 ± 1.83	5.63 ± 1.21	**5.32**	0.40	0.960
DKc 2949	4.43 ± 1.01	4.80 ± 0.61	5.07 ± 0.55	5.33 ± 0.35	**4.90**	0.19	0.449
Monumental	4.87 ± 0.51	5.20 ± 0.61	5.27 ± 0.29	5.73 ± 0.55	**5.26**	0.16	0.287
DK 281	5.20 ± 0.89	5.23 ± 0.75	5.47 ± 0.78	5.83 ± 0.55	**5.43**	0.20	0.723
DK 287	4.93 ± 0.71	5.10 ± 0.85	5.30 ± 0.70	5.57 ± 0.70	**5.22**	0.20	0.755
MW	4.85^{b}	5.14^{ab}	5.25^{ab}	5.61^{a}			
MSE Sorten	0.21	0.17	0.19	0.14			
P-Value	0.963	0.977	0.985	0.964			

Auch im Vergleich der Sorten untereinander ließ sich wiederum die Tendenz zu erhöhten ADL-Gehalten in den späteren Sorten im Vergleich zu den frühen feststellen. Der durchschnittliche ADL-Gehalt der frühen Sorten im ersten Erntezeitpunkt betrug 4,71%, der der späten Sorten 5,00%. In EZP4 war der Unterschied 0,19% (frühe Sorten: 5,52%; späte Sorten: 5,71%). Den höchsten ADL-Gehalt über alle EZPwies die Sorte DK 281 (5,43%) auf, den niedrigsten die Sorte DKc 2949 (4,90%).

Hemicellulose

Die Ergebnisse für die Hemicellulose sind in den Tabellen 32 und 33 dargestellt.

Tabelle 32: Mittlere Hemicellulosegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	21.7 ± 0.14	20.7 ± 1.41	22.5^{AB} ± 2.90	23.9^{AB} ± 0.64	0.62	0.390
RG II	21.6^{b} ± 0.42	22.6^{ab} ± 1.06	22.7^{ABab} ± 0.85	24.3^{ABa} ± 0.21	0.41	0.086
RG III	19.5 ± 1.31	20.4 ± 1.00	21.0^{B} ± 1.24	21.0^{B} ± 1.84	0.29	0.234
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	21.0^{b} ± 0.89	22.0^{ab} ± 0.40	22.0^{ABab} ± 0.83	23.2^{ABa} ± 0.83	0.26	0.013
RG II	21.3^{c} ± 1.55	22.9^{b} ± 0.65	23.9^{Aab} ± 1.07	25.0^{Aa} ± 1.21	0.39	0.001
RG III	22.7^{b} ± 0.92	22.7^{b} ± 0.21	24.6^{Aab} ± 1.77	25.8^{Aa} ± 1.07	0.49	0.023
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	20.1^{b} ± 0.54	20.8^{b} ± 1.40	22.6^{ABab} ± 0.70	22.6^{ABa} ± 2.33	0.43	0.069
RG II	20.4^{b} ± 1.39	20.5^{b} ± 1.35	21.4^{ABab} ± 1.44	22.8^{ABa} ± 1.60	0.37	0.070
RG III	20.5^{b} ± 0.25	21.2^{b} ± 0.68	23.1^{ABa} ± 0.90	22.9^{ABa} ± 0.86	0.38	0.005
MW	20.7^{b}	21.4^{b}	22.5^{a}	23.2^{a}		
MSE RG	0.23	0.23	0.28	0.34		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die Hemicellulosegehalte zeigten ebenfalls einen Anstieg im Verlauf der Abreife. Gemittelt über alle Reifegruppen und Anbaujahre zeigte sich zwar ein signifikanter Anstieg der Hemicellulosegehalte, dieser war aber nicht besonders stark ausgeprägt, da von EZP1 auf EZP2 die Gehalte ebenso wie von EZP3 auf EZP4 nicht signifikant anstiegen. Ein Unterschied zwischen den Reifegruppen war hier weder in den einzelnen Anbaujahren, noch im Mittel über alle Anbaujahre und Erntezeitpunkte auszumachen.

Tabelle 33: Mittlere Hemicellulosegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	21.0^{b} ± 0.64	21.9^{ab} ± 0.44	22.8^{a} ± 1.56	23.4^{a} ± 0.45	**22.2**	0.36	0.040
DK 247	20.1^{b} ± 1.61	20.9^{ab} ± 1.56	21.6^{ab} ± 1.01	23.2^{a} ± 1.29	**21.4**	0.48	0.117
DKc 2949	20.3 ± 1.25	22.1 ± 1.97	22.4 ± 1.79	23.2 ± 2.08	**22.0**	0.55	0.317
Monumental	20.8 ± 1.62	20.8 ± 1.54	22.0 ± 1.10	22.4 ± 3.20	**21.5**	0.54	0.702
DK 281	20.9 ± 0.87	21.7 ± 0.95	23.7 ± 2.08	22.5 ± 3.67	**22.2**	0.62	0.503
DK 287	21.6 ± 1.86	22.1 ± 0.76	23.5 ± 2.03	23.7 ± 2.42	**22.7**	0.54	0.465
MW	20.8^{b}	21.6^{b}	22.6^{a}	23.1^{a}			
MSE Sorten	0.30	0.29	0.38	0.50			
P-Value	0.815	0.709	0.595	0.981			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Auch Tabelle 33 zeigt bei allen Sorten einen tendenziellen Anstieg des Hemicellulosegehalts über die Erntezeitpunkte. Zwischen den Sorten waren keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Einzig bei den Sorten DK 233 und DK 247 stieg die Hemicellulose im Reifeverlauf signifikant von 21,0 bzw. 21,1% im Erntezeitpunkt 1 auf 23,4 bzw. 23,2% in Erntezeitpunkt 4 an. Die Mittelwerte über die Erntezeitpunkte lagen zwischen 21,4% (DK 247) und 22,7% (DK 287).

Cellulose

Die Gehalte an Cellulose in der Restpflanze sind in Tabelle 34 (zusammengefasst als Reifegruppen in drei Erntejahren) und in Tabelle 35 (Durchschnitt der einzelnen Sorten über drei Erntejahre) aufgeführt.

Tabelle 34: Mittlere Cellulosegehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	26.6^{Bc} ± 0.92	27.9^{Bbc} ± 1.20	29.7^{Bab} ± 0.71	32.1^{a} ± 0.50	0.82	0.012
RG II	27.0^{Bb} ± 0.14	29.7^{ABab} ± 2.76	32.0^{ABab} ± 2.83	34.8^{a} ± 0.85	1.22	0.068
RG III	28.6^{Bc} ± 1.92	29.8^{Bbc} ± 1.42	31.4^{Bab} ± 1.86	33.7^{ABa} ± 2.91	0.56	0.003
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	29.1^{B} ± 1.98	30.9^{AB} ± 2.10	30.8^{B} ± 1.57	31.8 ± 1.73	0.49	0.262
RG II	31.2^{ABb} ± 3.05	32.6^{ABab} ± 1.80	34.4^{ABab} ± 2.49	35.3^{a} ± 2.52	0.63	0.099
RG III	34.3^{Ab} ± 0.46	34.6^{Aab} ± 0.58	36.5^{Aab} ± 1.50	36.9^{a} ± 1.99	0.47	0.085
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	29.9^{AB} ± 1.19	30.4^{AB} ± 2.21	31.5^{AB} ± 0.47	32.8 ± 2.49	0.49	0.163
RG II	30.2^{ABb} ± 1.29	30.4^{ABb} ± 1.38	32.2^{ABab} ± 1.63	33.7^{a} ± 1.81	0.46	0.007
RG III	31.7^{ABb} ± 0.10	32.7^{ABb} ± 0.10	34.6^{ABa} ± 0.89	34.9^{a} ± 0.78	0.42	0.001
MW	30.0^{b}	31.0^{b}	32.6^{a}	34.0^{a}		
MSE RG	0.43	0.38	0.42	0.41		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Die Cellulosegehalte zeigten etwas deutlichere Anstiege im Reifeverlauf als die Hemicellulose, die in fast allen Fällen auch statistisch gesichert werden konnten (Ausnahme: RG I in 2005 und 2006). Außerdem wurde hier wieder eine Rangierung der Reifegruppen gemittelt über alle Erntezeitpunkte und Anbaujahre sichtbar. So unterschied sich RG I mit einem signifikant niedrigeren mittleren Cellulosegehalt (30,5^{B}%) von Reifegruppe II und III (32,3^{A} bzw. 32,7^{A}%). Innerhalb der einzelnen Reifegruppen war kein signifikanter Jahreseffekt auszumachen.

Tabelle 35: Mittlere Cellulosegehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	28.9^{ABb} ± 2.12	31.2^{ab} ± 2.23	30.5^{Bab} ± 1.04	32.8^{Ba} ± 0.69	**30.9^{B}**	0.59	0.110
DK 247	27.8^{Bc} ± 0.70	30.3^{bc} ± 2.29	30.6^{Bab} ± 0.78	33.0^{Ba} ± 1.07	**30.4^{B}**	0.64	0.012
DKc 2949	28.5^{ABc} ± 1.42	29.9^{bc} ± 1.57	32.3^{Bab} ± 1.53	33.2^{ABa} ± 1.99	**31.0^{B}**	0.70	0.027
Monumental	31.1^{ABb} ± 3.11	32.3^{ab} ± 2.60	33.5^{ABab} ± 1.60	35.6^{ABa} ± 0.78	**33.1^{A}**	0.74	0.164
DK 281	32.0^{A} ± 2.39	32.6 ± 1.74	34.7^{A} ± 3.44	36.6^{A} ± 2.07	**34.0^{A}**	0.82	0.178
DK 287	32.2^{A} ± 2.04	33.1 ± 1.60	35.0^{AB} ± 1.89	35.3^{A} ± 1.99	**33.9^{A}**	0.61	0.207
MW	30.1^{c}	31.6^{bc}	32.8^{b}	34.4^{a}			
MSE Sorten	0.59	0.50	0.57	0.47			
P-Value	0.092	0.351	0.051	0.042			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 35 wird deutlich, dass zwischen den Sorten (gemittelt über alle Erntezeitpunkte) ebenfalls signifikante Unterschiede bestanden. Hier wiesen alle frühen

Sorten signifikant niedrigere Werte auf als die späten. Der Anstieg der Cellulosegehalte im Reifeverlauf gestaltete sich bei fast allen Sorten signifikant (Ausnahme: DK 281 und DK 287). Die mittleren Cellulosegehalte bewegen sich zwischen 30,1% für EZP1 und 34,4% für EZP4.

Zusammenfassung pflanzliche Gerüstsubstanzen

Die **Rohfaser**gehalte waren sortenspezifisch deutlich unterschiedlich ($p<0.05$). Die frühen Sorten wiesen signifikant niedrigere Gehalte auf als die späten. Die **NDF**-Gehalte zeigten außerdem große Unterschiede zwischen den einzelnen Erntejahren der späten Sorten (→ größere Wirkung der Witterungsbedingungen auf das Abreifeverhalten der späten Sorten). Auch die **ADF**-Gehalte waren in den frühen Sorten signifikant niedriger als in den späteren. Der **ADL**-Gehalt lies die gleiche Tendenz erkennen und war in den späten Sorten erhöht, was jedoch nicht statistisch abgesichert werden konnte. Die **Hemicellulose** nahm im Verlauf der Abreife nicht so stark zu wie NDF und ADF und zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten. Die **Cellulose**gehalte hingegen waren in den späten Sorten signifikant höher als in den frühen. Die **frühen Sorten und auch Reifegruppen** wiesen also in allen untersuchten Parametern die **niedrigeren Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen** auf (siehe Abbildung 5). Dies traf sowohl für die Mittelwerte über alle Erntezeitpunkte als auch für die einzelnen Erntezeitpunkte zu. Das bedeutet, dass die mittelspäten (RG II) und spätreifen (RG III) Sorten bei gleicher physiologischer (Korn-)Reife und gleichem TS-Gehalt zu einem höheren Gehalt an pflanzlichen Gerüstsubstanzen in der Restpflanze tendierten.

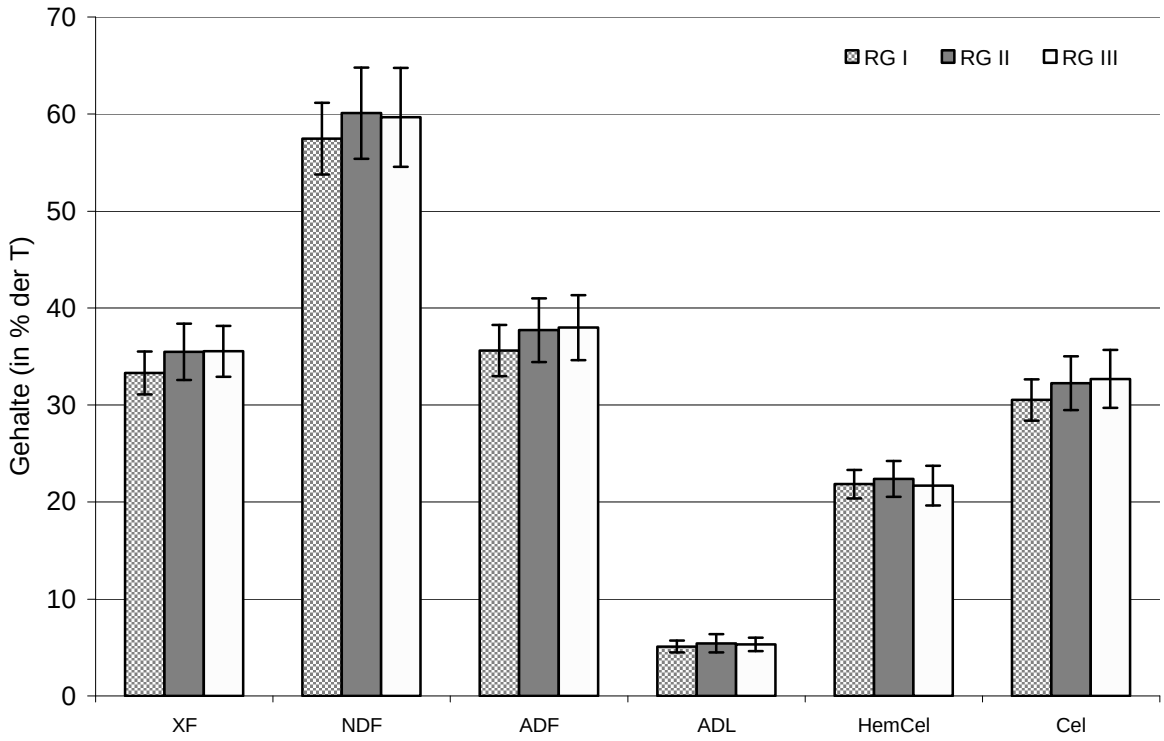


Abbildung 5: Mittlere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst

3.1.4 Weitere Analysen der Zellwand-Inhaltsstoffe

Wie eingangs schon erwähnt wurde in dieser Arbeit versucht, die Zusammenhänge zwischen den Inhaltsstoffen, den Kohlenhydratfraktionen in der Mais-Restpflanze, der ruminalen Abbaubarkeit und dem Futterwert zu erfassen. Hierfür wurde an ausgewählten Sorten eine gesonderte Analytik durchgeführt (siehe Kapitel 2.3.2.2, DOBBERSTEIN, 2008), um ein möglichst umfassendes Bild über die untersuchten Sorten, ihre Inhaltsstoffe und ihre Eigenschaften zu erhalten. Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Zellwandanalytik gemittelt über alle Sorten dargestellt werden. Die Analytik der Zellwandbestandteile ist in drei Bereiche aufgeteilt. In Tabelle 36 wird ein Überblick über die Gesamtkohlenhydrat-, die freie Glucose- und die Rohfasergehalte der Sorten gegeben. Tabelle 37 fasst die für die Charakterisierung der Cellulose- und Hemicellulosegehalte der Restpflanze maßgeblichen Analysen zusammen (siehe hierzu Abbildung 1). In Tabelle 38 sind Ergebnisse aus der quantitativen Ligninbestimmung sowie die Gehalte an potentiell als Crosslinking fungierender Bestandteile aufgeführt. Die Ergebnisse der Erntezeitpunkte 1 und 3 setzen sich aus jeweils 18 Einzelanalysen zusammen, der Mittelwert zu Erntezeitpunkt 4 hingegen besteht aus vier Einzelanalysen, da hier nur zwei Sorten in zwei Anbaujahren getestet wurden (siehe Kapitel 2.3.2.2).

Tabelle 36: Überblick über die Gesamtkohlenhydrate, freie Glucose und Rohfasergehalte gemittelt über alle untersuchten Sorten (in % der TS ± SD)

Erntezeitpunkt	EZP1	EZP3	EZP4 *)
Gesamtkohlenhydrate	69.8 ± 6.03	69.0 ± 4.57	68.2 ± 2.81
freie Glucose	6.04 ± 1.53	4.15 ± 1.02	2.79 ± 1.00
Rohfaser	32.0 ± 2.88	34.3 ± 2.44	35.0 ± 1.43

*) n = 4

Tabelle 36 zeigt, dass der Gehalt an Gesamtkohlenhydraten im Mittel bei knapp 70% lag. Zum vierten Erntezeitpunkt hin wurden die Gesamtkohlenhydrate etwas niedriger im Material. Die freie Glucose sank im Verlauf der Abreife um ungefähr die Hälfte von ca. 6% auf knappe 3%. Die Rohfaser stieg mit zunehmendem Alter der Pflanzen von 32,0 auf 35,0%.

Tabelle 37: Überblick über die Zellwandbestandteile (Cellulose und Hemicellulosebestandteile) gemittelt über alle untersuchten Sorten (in % der TS ± SD)

Erntezeitpunkt	EZP1	EZP3	EZP4 *)
NDF	54.6 ± 4.56	59.7 ± 4.69	61.5 ± 1.09
ADF	33.8 ± 3.54	37.2 ± 3.17	38.0 ± 0.63
Cellulose	29.3 ± 3.03	32.2 ± 2.85	32.8 ± 0.90
Glucose	34.5 ± 3.71	34.2 ± 3.37	37.8 ± 0.87
Hemicellulose	21.2 ± 1.60	22.8 ± 1.90	23.5 ± 0.53
Xylose	12.5 ± 1.57	13.4 ± 1.23	15.9 ± 2.24
Arabinose	1.61 ± 0.25	1.76 ± 0.26	2.09 ± 0.53
Mannose	0.93 ± 0.54	0.85 ± 0.48	1.13 ± 0.36
Galaktose	0.55 ± 0.22	0.55 ± 0.25	0.80 ± 0.28
Uronsäuren	2.47 ± 0.30	2.50 ± 0.26	2.59 ± 0.25

*) n = 4

In Tabelle 37 sind neben den Ergebnissen der bereits beschriebenen Bestimmung der Zellwandbestandteile (NDF, ADF) auch die Ergebnisse von differenzierteren Methoden zur Zellwandbeschreibung dargestellt. So kann der Gehalt an Cellulose bzw. Hemicellulose über die in ihnen enthaltenen Monomere (Einfachzucker aus Hydrolyse) und Uronsäuren abgebildet werden. Aus Tabelle 37 wird ein Anstieg aller Zellwandkohlenhydrate im Reifeverlauf und somit auch ihrer Monomere deutlich. Die Glucosemonomere aus der Hydrolyse der Cellulose bilden den größten Anteil an der Zellwandkohlenhydratfraktion. Die Glucosegehalte stiegen von 34,5% in EZP1 auf 37,8% in EZP4 an. Den Hauptanteil der Monomere aus der Hemicellulose machte die Xylose mit 12,5 (EZP1) bis 15,9% (EZP4) aus.

Tabelle 38: Überblick über die Zellwandbestandteile (Ligninbestimmung und Cross-Links) gemittelt über alle untersuchten Sorten (in % der TS ± SD)

Erntezeitpunkt	EZP1	EZP3	EZP4 *)
Klason-Lignin	15.4 ± 2.23	16.1 ± 1.77	16.3 ± 0.65
Acetylbromidlsl. Lignin	23.3 ± 2.78	23.4 ± 2.94	23.6 ± 1.39
ADL	4.44 ± 0.72	4.98 ± 0.59	5.16 ± 0.36
p-Cumarsäure	1.72 ± 0.40	1.82 ± 0.32	2.55 **)
Ferulasäure	0.63 ± 0.12	0.61 ± 0.10	0.42 **)

*) n = 4
**) n = 1

In Tabelle 38 zeigt sich ein Anstieg des Klason-Lignins sowie des sauren Detergentien-Lignins im abreifenden Material. Das Klason-Lignin wies einen Anstieg von 0,9% auf, das ADL von 0,72%. Das acetylbromidlösliche Lignin hingegen zeigte mit 0,3%

fast keinen Anstieg. Dies scheint allerdings methodisch bedingt zu sein. Die Gehalte an *p*-Cumarsäure stiegen deutlich mit fortschreitender Abreife von 1,72% in EZP1 auf 2,55% in EZP4. Dies entspricht einem relativen Anstieg von 48,3%. Die Ferulasäuren zeigten dagegen eher die Tendenz zu einer Verringerung im Reifeverlauf. Sie sanken von 0,63% auf 0,42%.

In den Tabellen 39 bis 42 werden ausgewählte Parameter der Zellwandkohlenhydratfraktionen im Vergleich der untersuchten Sorten (Mittelwert über die beiden Anbaujahre 2004 und 2005 der Sorten DK 233, DK 247, DKc 2949, Monumental, DK 281 und DK 287) dargestellt. So wird deutlich, ob genotypische Unterschiede zwischen den Sorten vorhanden sind. Tabelle 39 stellt die Gesamtkohlenhydratgehalte der Sorten dar. Tabelle 40 zeigt die Gehalte an Glucosemonomeren im Material, während Tabelle 41 die Xylosegehalte darstellt. Tabelle 42 gibt einen Überblick über die Klason-Lignin-Gehalte der einzelnen Sorten.

Tabelle 39: Überblick über die Gesamtkohlenhydratgehalte einzelner Sorten (in % der TS ± SD)

	Gesamtkohlenhydrate		
Sorte	EZP1	EZP3	EZP4
DK 233	66.9 ± 2.19	65.3 ± 1.77	66.8 ± 3.96
DK 247	68.4 ± 0.00	66.5 ± 0.00	69.6 ± 0.00
DKc 2949	69.0 ± 0.39	66.9 ± 2.14	
Monumental	69.3 ± 3.51	67.1 ± 0.18	
DK 281	73.7 ± 4.13	70.3 ± 7.82	
DK 287	65.9 ± 10.62	69.0 ± 0.65	
MW	**68.9 ± 2.71**	**67.5 ± 1.83**	**(68.2 ± 2.00)**

Der mittlere Gehalt der Gesamtkohlenhydrate differenzierte sich über den Reifeverlauf nicht und lag im Mittel bei ca. 68%. Die einzelnen Sorten unterschieden sich innerhalb eines Erntezeitpunktes allerdings deutlich voneinander. So wies im ersten Erntezeitpunkt den höchsten Gehalt die Sorte DK 281 mit 73,7% auf. Den niedrigsten Wert hatte die Sorte DK 287 mit 65,9%. Auch in EZP3 zeigte den höchsten Wert die Sorte DK 281 mit 70,3%, den niedrigsten Wert hatte hier aber die Sorte DK 233 mit 65,3%. Sie blieb auch zum vierten Erntezeitpunkt niedriger in ihrem Gehalt als die Vergleichssorte DK 247 (66,8% bei DK 233; 69,6% bei DK 247). Auch die Standardabweichungen (also die Differenz zwischen den beiden Erntejahren einer Sorte) wiesen zum Teil große Differenzierungen auf.

Tabelle 40: Überblick über die Glucosegehalte einzelner Sorten (in % der TS ± SD)

	Glucose		
Sorte	EZP1	EZP3	EZP4
DK 233	35.2 ± 6.36	35.2 ± 2.83	37.8 ± 0.28
DK 247	35.9 ± 5.44	36.8 ± 4.87	37.7 ± 1.48
DKc 2949	36.0 ± 0.45	34.7 ± 2.62	
Monumental	36.5 ± 3.40	34.9 ± 3.45	
DK 281	35.8 ± 1.91	33.6 ± 6.02	
DK 287	34.1 ± 1.35	31.6 ± 5.19	
MW	**35.6 ± 0.83**	**34.5 ± 1.74**	**(37.8 ± 0.04)**

Die Unterschiede zwischen den Sorten waren in EZP1 klein (von 34,1% bei DK 287 bis 36,5% bei Monumental) und in EZP3 etwas größer (von 31,6% in DK 287 bis 36,8% in DK 247). Von EZP1 nach EZP3 war ein Gleichbleiben oder Rückgang der Glucosegehalte zu verzeichnen (Ausnahme: DK 247). Erst zum vierten Erntezeitpunkt stiegen die Glucosegehalte in den Sorten an. Die beiden in EZP4 getesteten Sorten zeigten praktisch keinen Unterschied der Glucosegehalte im letzten Erntezeitpunkt.

Tabelle 41: Überblick über die Xylosegehalte einzelner Sorten (in % der TS ± SD)

	Xylose		
Sorte	EZP1	EZP3	EZP4
DK 233	13.7 ± 1.34	14.5 ± 2.62	16.1 ± 1.70
DK 247	12.7 ± 0.16	14.9 ± 0.22	15.7 ± 3.46
DKc 2949	12.9 ± 3.56	13.1 ± 0.44	
Monumental	12.7 ± 0.85	13.0 ± 1.41	
DK 281	13.5 ± 1.48	13.3 ± 0.25	
DK 287	11.9 ± 0.31	12.5 ± 0.89	
MW	**12.9 ± 0.63**	**13.5 ± 0.92**	**(15.9 ± 0.27)**

Die Xylosegehalte stiegen sowohl gemittelt über alle Sorten als auch in den einzelnen Sorten (Ausnahme: DK 281) im Reifeverlauf an. Im Mittel lag der Xylosegehalt in EZP1 bei 12,9% und stieg zu EZP3 auf 13,5%. Den niedrigsten Xylosegehalt wies die Sorte DK 287 in beiden Erntezeitpunkten auf (EZP1: 11,9%; EZP3: 12,5%). Den höchsten Xylosegehalt in EZP1 ebenso wie in EZP4 hatte die Sorte DK 233 mit 13,7 bzw. 16,1%. Die einzelnen Sorten differenzierten sich auch, was die Höhe des Anstiegs von EZP1 nach EZP3 anbelangt. So erhöhte sich der Xylosegehalt bei der Sorte DKc 2949 lediglich um 0,2% von EZP1 (12,9%) nach EZP3 (13,1%), während der höchste Anstieg bei der Sorte DK 247 zu verzeichnen

war. Hier erhöhten sich die Xylosewerte um 2,2% von 12,7% in EZP1 auf 14,9% in EZP3 und 15,7% in EZP4. Somit zeigte DK 247 auch den insgesamt größeren Anstieg der Xylosegehalte im Vergleich zu DK 233, obwohl die Endgehalte in DK 233 etwas höher waren (siehe oben).

Tabelle 42: Überblick über die Gehalte an Klason-Lignin einzelner Sorten (in % der TS ± SD)

	Klason-Lignin		
Sorte	EZP1	EZP3	EZP4
DK 233	15.3 ± 0.28	16.2 ± 1.06	16.8 ± 0.28
DK 247	14.8 ± 2.35	14.8 ± 0.88	15.8 ± 0.52
DKc 2949	16.9 ± 2.94	17.8 ± 3.03	
Monumental	14.4 ± 0.31	15.5 ± 0.88	
DK 281	15.1 ± 0.40	16.5 ± 0.70	
DK 287	15.6 ± 2.48	16.3 ± 1.03	
MW	**15.3 ± 0.85**	**16.2 ± 1.02**	**(16.3 ± 0.68)**

Die Klason-Lignin-Gehalte zeigten sich zu Beginn der Beprobung in einem Bereich von 14,8 (DK 247) bis 16,9% (DKc 2949). Im Schnitt stiegen sie zum dritten Erntezeitpunkt in fast allen Sorten um ca. 1% an. Eine Ausnahme bildet hier die Sorte DK 247. Hier blieb der Lignin-Gehalt von EZP1 auf EZP3 gleich, stieg dann aber zum vierten Erntzeitpunkt um 1% an. Die Vergleichssorte DK 233 wies zwar von EZP3 auf EZP4 lediglich einen Anstieg von 0,6% auf, lag aber absolut um 1% höher als DK 247, nämlich bei 16,8% (DK 247: 15,8%).

Zusammenfassung der weiteren Analysen der Zellwand-Inhaltsstoffe

Die Analyse der Zellwandkohlenhydrate ergab, dass die **Gesamtkohlenhydrat**gehalte in RG I etwas niedriger waren als in RG II und III. Die **Glucose**gehalte zeigten sich in RG I und II höher als in RG III, was auf einen erhöhten Cellulosegehalt hinweist. Im Reifeverlauf zeigte sich jedoch kein eindeutiger Anstieg der Glucosegehalte. Die **Xylose-**, **Arabinose-**, **Mannose-**, **Galaktose-** und **Uronsäuren**gehalte waren in RG I am höchsten (siehe Abbildung 6 und 7). Dies lässt auf einen höheren Gehalt an Hemicellulose in Reifegruppe I schließen. Auch im Reifeverlauf stiegen die genannten Monomere deutlich an. Zwischen den einzelnen Sorten ergaben sich ebenfalls Tendenzen zu höheren Gehalten in den frühen Sorten im Vergleich zu den späteren. **Klason-** und **acetylbromidlösliches Lignin** waren in RG I etwas erhöht im Vergleich zu RG II und RG III (siehe Abbildung 6). Dies spiegelte sich auch in den einzelnen Sorten wider. Im Reifeverlauf zeigte sich jedoch keine deutliche Veränderung der Ligningehalte beider Bestimmungsmethoden.

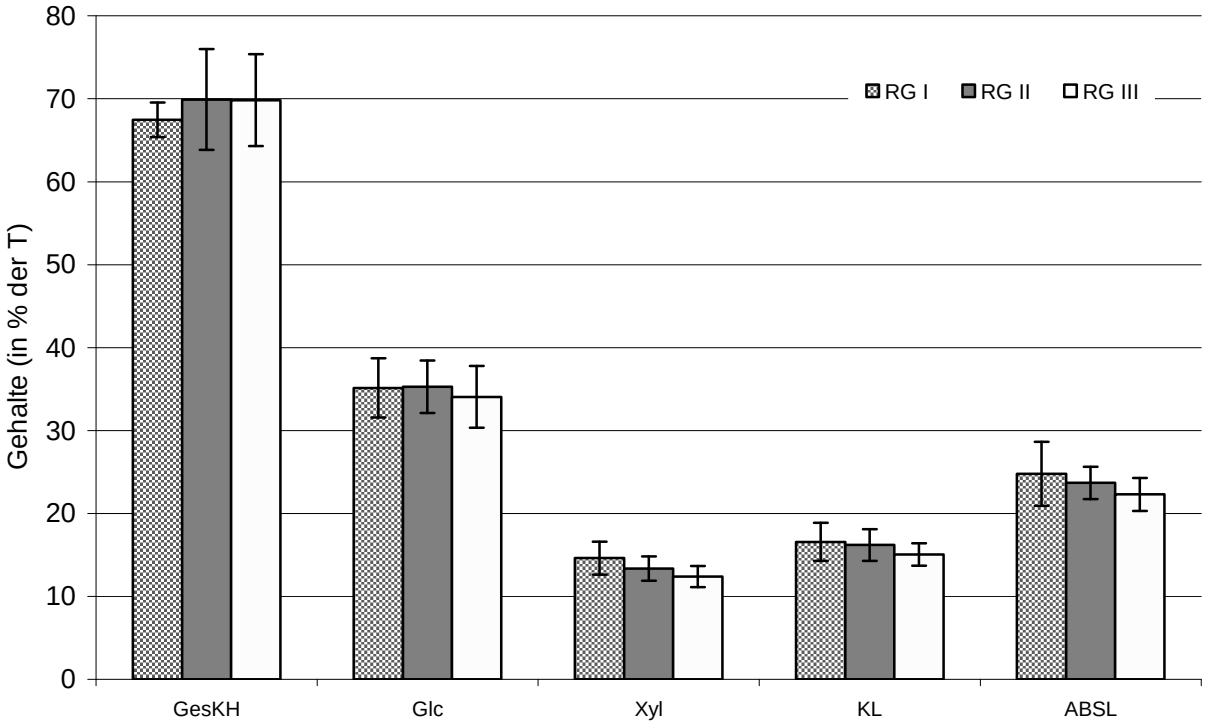


Abbildung 6: Mittlere Gehalte (in % der T) an Gesamtkohlenhydraten, Glucose, Xylose und Lignin der Mais-Restpflanzen zu Reifegruppen zusammengefasst

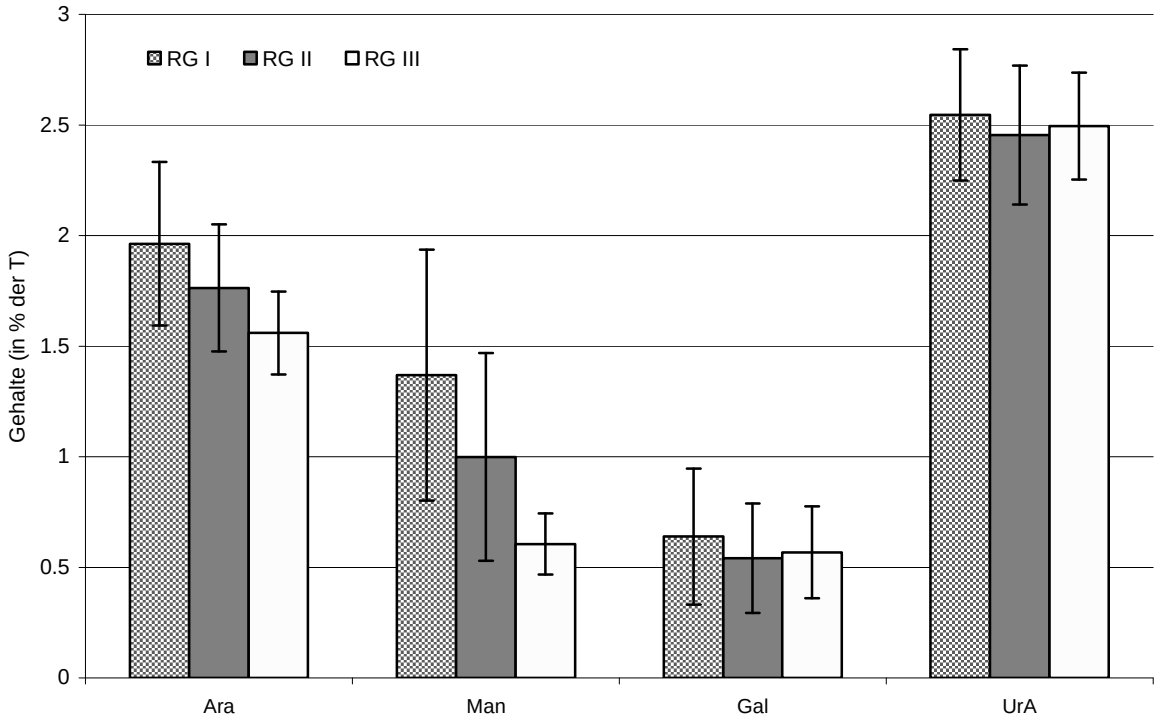


Abbildung 7: Mittlere Gehalte (in % der T) an Arabinose, Mannose, Galaktose und Uronsäuren der Mais-Restpflanzen zu Reifegruppen zusammengefasst

3.2 Abbaubarkeitscharakteristika

Um einen genaueren Überblick über die untersuchten Maissorten zu bekommen, wurden zwei *in vitro*-Analysenmethoden sowie die Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit des Materials *in vivo* durchgeführt. Zum Einen war dies die Cellulasemethode zur Bestimmung der enzymunlöslichen sowie der enzymlöslichen organischen Substanz (EULOS bzw. ELOS). Bei dieser Methode kommt ein Gemisch aus Enzymen zum Einsatz, das unter Laborbedingungen hergestellt wird (siehe Kapitel 2.4.1). Die zweite *in vitro*-Methode war der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) auch Gasbildungstest genannt. Der HFT bestimmt das Gasbildungspotenzial (GB) eines Futtermittels durch Inkubation mit Pansensaft, der von fistulierten Tieren stammt (siehe Kapitel 2.4.2). Zur *in vivo*-Untersuchung wurde die Nylon bag-Methodik benutzt, bei der die Futtermittel im Pansen fistulierter Tiere inkubiert werden (siehe Kapitel 2.4.3). In den nachfolgenden Untersuchungen wurde das gesamte zur Verfügung stehende Probenmaterial (siehe Tabelle 1) getestet.

3.2.1 In vitro-Verdaulichkeit

In den Tabellen 43 und 44 sind die Gehalte an enzymlöslicher organischer Substanz dargestellt. Die Tabellen 45 und 46 zeigen die EULOS-Gehalte und somit die reziproken Werte der Tabellen 43 und 44.

Tabelle 43: ELOS-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	57.5^{Aa} ± 1.41	56.3^{Aab} ± 2.48	51.4^{Abc} ± 0.71	52.2^{Ac} ± 1.41	1.07	0.048
RG II	58.7^{Aa} ± 1.84	55.6^{Aa} ± 1.98	53.3^{Aab} ± 2.48	46.8^{ABb} ± 4.24	1.81	0.051
RG III	55.2^{Aa} ± 2.68	53.2^{Aab} ± 3.01	50.8^{Abc} ± 3.50	48.8^{ABc} ± 3.48	0.79	0.013
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	53.3^{ABa} ± 2.41	49.6^{ABab} ± 2.44	49.6^{Aab} ± 2.95	47.3^{ABb} ± 1.27	0.76	0.025
RG II	47.4^{Ba} ± 3.75	44.7^{Bab} ± 1.53	42.1^{Bbc} ± 2.34	39.7^{Cc} ± 2.02	0.84	0.002
RG III	44.4^{B} ± 3.58	44.9^{B} ± 1.57	45.3^{ABb} ± 0.64	42.3^{BC} ± 1.51	0.63	0.368
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	54.6^{ABa} ± 5.41	50.4^{ABab} ± 2.99	49.2^{Aab} ± 1.68	46.8^{ABb} ± 4.17	1.12	0.077
RG II	51.6^{ABa} ± 3.31	49.0^{ABab} ± 3.59	45.8^{ABb} ± 3.38	46.3^{ABCb} ± 3.07	0.87	0.053
RG III	51.6^{ABa} ± 0.66	49.2^{ABb} ± 0.90	46.2^{ABc} ± 0.21	44.2^{ABCd} ± 0.55	0.87	<0.0001
MW	52.5^{a}	49.8^{ab}	47.7^{bc}	45.8^{c}		
MSE RG	0.85	0.73	0.69	0.72		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Der Gehalt an enzymlöslicher organischer Substanz im Material verringerte sich mit zunehmender Abreife der Restpflanze signifikant. Dies ist aus den Mittelwerten über Reifegruppen und Erntejahre zu ersehen. Die ELOS-Gehalte gingen von 52,5% in EZP1 auf 45,8% in EZP4 zurück. Dies entspricht einer absoluten Differenz von 6,7% oder einer relativen Verringerung der ELOS um 12,8%. Auch gemittelt über alle drei Erntejahre zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Reifegruppen. Hier wies Reifegruppe I mit $51,0^{A}$% den höchsten Gehalt an ELOS auf. Reifegruppe II hatte dagegen einen signifikant niedrigeren ELOS-Gehalt von $47,1^{B}$%. Reifegruppe III zeigte sich ebenfalls signifikant höher als RG II und lag mit einem Gehalt von $49,0^{A}$% zwischen RG I und II.

Tabelle 44: Mittlere ELOS-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	53.1 ± 3.56	50.2 ± 3.86	51.1 ± 2.12	48.3 ± 2.55	**50.7**	0.93	0.349
DK 247	53.8^{a} ± 3.18	49.4^{ab} ± 7.19	48.3^{ab} ± 6.34	42.9^{b} ± 3.54	**48.6**	1.76	0.179
DKc 2949	54.1 ± 5.90	51.9 ± 4.51	48.8 ± 3.25	46.9 ± 4.91	**50.4**	1.44	0.320
Monumental	51.2 ± 5.52	49.0 ± 5.35	47.6 ± 2.62	44.9 ± 2.76	**48.2**	1.26	0.382
DK 281	49.5 ± 8.06	49.2 ± 4.22	48.2 ± 3.91	44.8 ± 4.15	**47.9**	1.44	0.707
DK 287	51.0 ± 3.80	49.7 ± 4.12	47.4 ± 3.76	45.9 ± 3.96	**48.5**	1.13	0.432
MW	52.2^{a}	49.9^{ab}	48.6^{b}	45.6^{c}			
MSE Sorten	1.12	1.02	0.83	0.85			
P-Value	0.869	0.981	0.873	0.605			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 44 ist im Mittel über alle Sorten ebenfalls eine signifikante Verringerung der ELOS zu beobachten. Bei den einzelnen Sorten war allerdings lediglich bei DK 247 eine signifikante Veränderung der ELOS im Reifeverlauf zu verzeichnen. Den höchsten Gehalt zu Beginn der Beprobung wies die Sorte DKc 2949 mit 54,1% in EZP1 auf. Der niedrigste Gehalt an ELOS fand sich hier bei DK 281 mit 49,5%. Zum vierten Erntezeitpunkt zeigte die Sorte DK 233 mit 48,3% den höchsten ELOS-Gehalt. Hingegen hatte DKc 2949 nur noch 46,9% ELOS im Erntezeitpunkt 4, was einem relativ starken Rückgang von 7,2% entspricht. DK 281 wies zwar den niedrigsten Anfangsgehalt auf (siehe oben), hatte aber den geringsten Rückgang im Reifeverlauf (4,7%) und zeigte daher nicht den niedrigsten ELOS-Gehalt zu Ende der Beprobung. Diesen hatte die Sorte DK 247 mit 42,9% zu EZP4 (was einem Rückgang von 10,9% entspricht). Beim Mittelwert über alle Erntezeitpunkte einer Sorte zeigte

sich eine Tendenz zu einem erhöhten ELOS-Gehalt der frühen Sorten im Vergleich zu den späteren Sorten.

Tabellen 45 und 46 beschreiben die Gehalte an enzymunlöslicher organischer Substanz in den Reifegruppen bzw. beprobten Sorten.

Tabelle 45: Mittlere EULOS-Gehalte der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in % der TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	37.0^{Cc} ± 1.56	38.4^{Bbc} ± 2.04	43.3^{ABab} ± 0.64	42.6^{BCa} ± 1.41	1.10	0.044
RG II	35.5^{Cb} ± 1.49	38.4^{Bb} ± 2.19	40.6^{Bab} ± 2.76	47.1^{ABCa} ± 3.68	1.77	0.046
RG III	39.7^{Cc} ± 2.73	41.7^{Bbc} ± 2.72	44.2^{Bab} ± 3.33	46.1^{BCa} ± 3.33	0.77	0.009
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	41.7^{BCb} ± 2.24	45.2^{ABab} ± 2.23	44.8^{ABab} ± 3.16	47.5^{BCa} ± 1.61	0.75	0.034
RG II	41.9^{ABc} ± 3.21	42.6^{Abc} ± 3.27	47.0^{Ab} ± 3.25	48.1^{Aa} ± 3.26	0.89	0.001
RG III	50.4^{A} ± 3.45	49.8^{A} ± 1.51	49.1^{AB} ± 0.42	52.2^{AB} ± 1.76	0.62	0.364
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	39.7^{BCb} ± 4.87	43.9^{ABab} ± 2.27	44.9^{ABab} ± 0.94	47.5^{BCa} ± 3.72	1.03	0.040
RG II	46.5^{BCb} ± 4.14	48.5^{ABb} ± 1.79	50.7^{ABa} ± 1.87	54.8^{BCa} ± 1.79	0.91	0.017
RG III	42.4^{ABCc} ± 0.90	44.7^{ABb} ± 1.80	48.0^{ABa} ± 0.35	49.9^{ABCa} ± 0.91	0.91	0.000
MW	41.9^{c}	44.1^{bc}	46.2^{ab}	48.7^{a}		
MSE RG	0.83	0.68	0.61	0.70		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Tabelle 46: Mittlere EULOS-Gehalte der Restpflanze von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (in % der TS ± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	41.2 ± 3.15	43.9 ± 3.62	43.0 ± 1.66	46.2 ± 2.33	**43.6**	0.87	0.254
DK 247	39.6^{b} ± 2.72	43.9^{ab} ± 6.86	45.2^{ab} ± 6.50	50.5^{a} ± 3.72	**44.8**	1.75	0.167
DKc 2949	39.7 ± 5.25	41.9 ± 4.49	44.7 ± 2.93	46.8 ± 4.73	**43.2**	1.36	0.291
Monumental	43.2 ± 5.59	45.1 ± 5.60	46.9 ± 2.47	49.3 ± 2.97	**46.1**	1.28	0.422
DK 281	45.4 ± 7.71	45.7 ± 3.87	46.4 ± 3.65	50.0 ± 3.90	**46.9**	1.37	0.677
DK 287	43.6 ± 3.76	44.9 ± 4.03	46.9 ± 3.48	48.4 ± 3.79	**45.9**	1.08	0.461
MW	42.1^{c}	44.2^{bc}	45.5^{b}	48.5^{a}			
MSE Sorten	1.12	1.01	0.82	0.82			
P-Value	0.664	0.943	0.762	0.642			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

3.2.2 Gasbildungsvermögen

Auch das Gasbildungspotential des Probenmaterials kann zur Beurteilung der Reifegruppen bzw. Sorten herangezogen werden. In Tabelle 47 ist die Gasbildung (in

g/100 g TS) für die einzelnen Reifegruppen in den verschiedenen Erntejahren dargestellt. In Tabelle 48 ist die Gasbildung für die Sorten aufgeführt, die in drei Jahren zum Anbau kamen.

Tabelle 47: Mittlere Gasbildung der Restpflanze im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (in g/100g TS ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	43.6 ± 5.37	41.9 ± 8.56	37.6 ± 6.58	36.6 ± 0.00	2.19	0.775
RG II	40.3^{a} ± 0.28	39.5^{a} ± 1.91	32.7^{b} ± 1.70	32.8^{b} ± 1.20	1.41	0.010
RG III	40.7^{a} ± 2.21	40.8^{a} ± 1.10	37.5^{b} ± 1.85	36.9^{b} ± 3.44	0.58	0.011
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	40.3 ± 3.46	41.5 ± 1.16	40.9 ± 1.63	39.3 ± 0.61	0.50	0.487
RG II	37.1^{ab} ± 1.92	38.6^{a} ± 2.46	35.6^{ab} ± 1.39	35.1^{b} ± 2.35	0.54	0.078
RG III	36.7 ± 3.94	37.6 ± 1.10	38.2 ± 3.08	35.2 ± 1.55	0.74	0.566
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	40.2 ± 3.42	40.1 ± 3.99	39.0 ± 3.64	38.2 ± 2.29	0.79	0.807
RG II	36.9 ± 5.81	36.0 ± 4.84	34.3 ± 6.11	34.3 ± 3.90	1.11	0.824
RG III	40.4^{a} ± 0.84	37.1^{b} ± 1.90	37.6^{b} ± 0.31	36.1^{b} ± 1.66	0.58	0.023
MW	39.3^{a}	39.1^{ab}	37.1^{bc}	36.2^{c}		
MSE RG	0.64	0.59	0.64	0.52		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Das Gasbildungspotential reduzierte sich mit zunehmendem Alter der Restpflanze in allen Reifegruppen und Jahren. Eine signifikante Verringerung der Gasbildung fand sich allerdings nur in den Mittelwerten über alle Reifegruppen und Jahre und in den Reifegruppen II (2004 und 2005) und III (2004 und 2006). Die höchste Gasbildung zu Beginn der Ernte zeigte Reifegruppe I in 2004. Hier war aber gleichzeitig fast der stärkste Rückgang im Reifeverlauf zu bemerken. Generell waren die Daten zum Gasbildungsvermögen der Restpflanzen sehr heterogen. Dies zeigt einen offensichtlich großen Einfluss des Erntejahres auf das Gasbildungsvermögen der Restpflanze. Weder zwischen den Reifegruppen innerhalb der Erntejahre noch zwischen den Erntejahren innerhalb der Reifegruppen konnte ein statistisch gesicherter Unterschied ausgemacht werden. Beim Mittelwert der Reifegruppen über drei Anbaujahre ergab sich jedoch eine signifikante Differenzierung der Reifegruppen. Reifegruppe I hatte hier den höchsten Mittelwert von $40,0^{A}$g/100 g TS. Reifegruppe III zeigte einen signifikant niedrigeren Wert von $38,2^{B}$ während RG II nochmals signifikant geringer war und ein Gasbildungsvermögen von $36,0^{C}$g/100 g TS aufwies.

Tabelle 48: Gasbildung der Restpflanze im Reifeverlauf (Anbaujahre 2004-2006) (in g/100g TS ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	37.8 ± 1.91	39.7 ± 3.54	37.2 ± 5.01	38.2 ± 1.98	**38.3**	0.94	0.846
DK 247	39.4^{a} ± 0.59	37.7^{a} ± 2.82	34.1^{b} ± 2.61	33.5^{b} ± 0.56	**36.2**	0.87	0.012
DKc 2949	40.1^{a} ± 1.79	40.4^{a} ± 1.97	35.0^{b} ± 1.92	35.5^{ab} ± 3.93	**37.7**	0.98	0.060
Monumental	39.3 ± 3.27	39.0 ± 2.48	38.2 ± 3.41	35.4 ± 3.38	**38.0**	0.90	0.469
DK 281	37.7 ± 3.69	37.6 ± 2.15	36.9 ± 0.87	35.4 ± 0.25	**36.9**	0.60	0.584
DK 287	40.4^{a} ± 1.02	38.5^{ab} ± 2.00	37.2^{bc} ± 0.25	34.9^{c} ± 1.30	**37.8**	0.68	0.006
MW	39.1^{a}	38.8^{a}	36.4^{b}	35.3^{b}			
MSE Sorten	0.52	0.56	0.65	0.57			
P-Value	0.504	0.348	0.217	0.480			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 48 ist ebenfalls die Heterogenität der Sorten was ihr Gasbildungspotenzial anbelangt zu erkennen. Bis auf die Sorte DK 233, deren Gasbildung bis zum letzten Erntezeitpunkt sogar etwas anstieg, zeigten alle Sorten eine Verminderung in ihrer Gasbildung mit zunehmendem Alter der Pflanze. Bei den Sorten DK 247, DKc 2949 und DK 287 konnten diese Unterschiede statistisch abgesichert werden. Die Sorten DK 247, DKc 2949, Monumental und DK 287 lagen zu EZP1 alle auf ungefähr dem gleichen Niveau mit einer Gasbildung von ca. 40 g/100g TS. Allerdings war der Rückgang der Gasbildung im Reifeverlauf verschieden. Hier zeigten DK 247 und DK 287 mit ca. 6% Rückgang die größten Unterschiede.

Zusammenfassung in vitro-Analysen

Bei den Gehalten an enzymlöslicher organischer Substanz waren klare Unterschiede zwischen den Reifegruppen erkennbar. Reifegruppe I wies hier den höchsten Gehalt an ELOS auf, während RG II am niedrigsten war (siehe Abbildung 8). Gleiches ließ sich auch für das Gasbildungspotential beobachten. Auch hier hatte RG I ein höheres Gasbildungspotential als die beiden späteren Reifegruppen (siehe Abbildung 8).

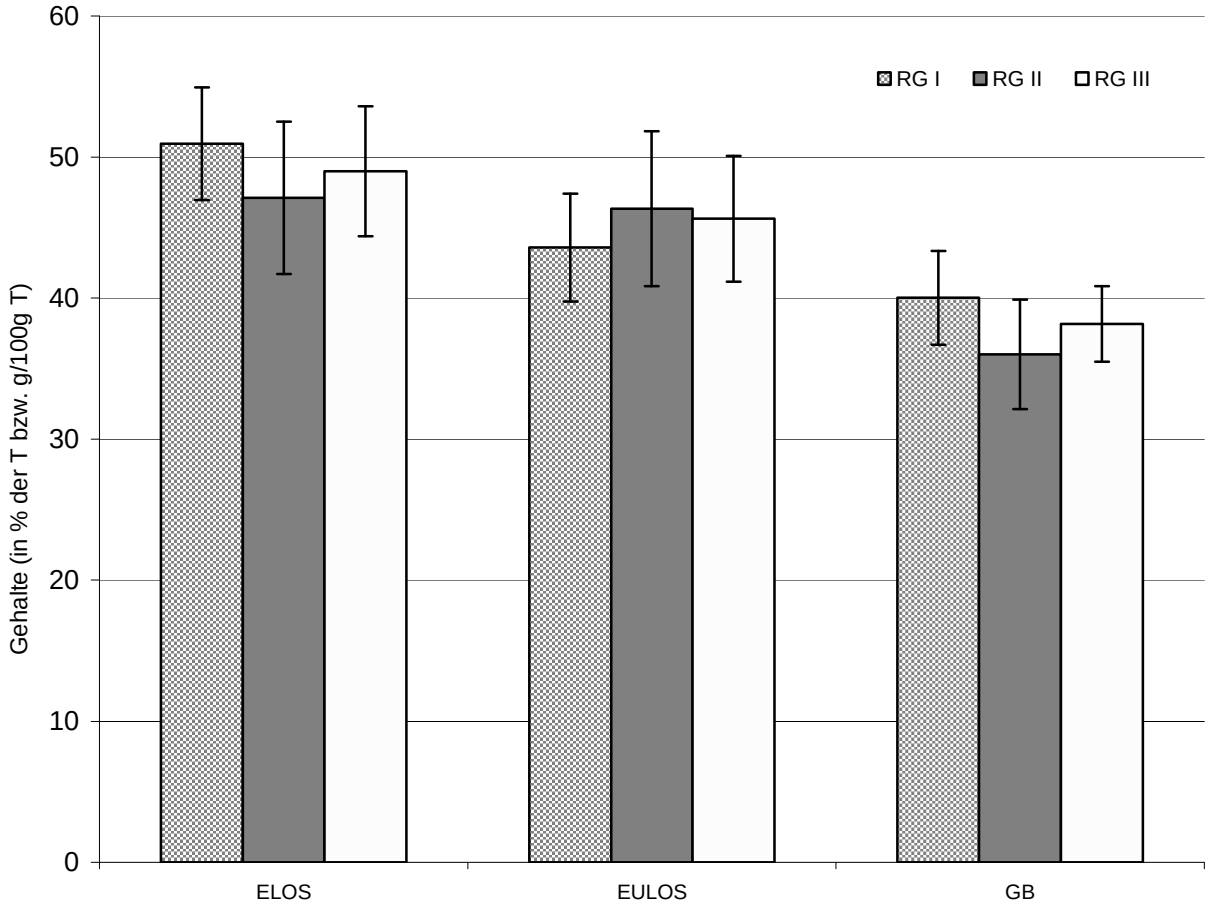


Abbildung 8: Mittlere Gehalte an enzymlöslicher bzw. enzymunlöslicher organischer Substanz und mittleres Gasbildungspotential der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst unter Berücksichtigung aller Erntezeitpunkte

3.2.3 Ruminale Abbaubarkeit der Mais-Restpflanzen

Die T-Verluste aus den *in sacco*-Versuchen wurden mit Hilfe eines statistischen Modells (siehe Kapitel 2.5) geschätzt. Die Auswertung zeigte einen hochsignifikanten Einfluss aller ins Modell aufgenommenen Parameter auf die ruminale Abbaubarkeit der Trockensubstanz.

3.2.3.1 TS-Verluste in sacco

In den Tabellen 49 bis 58 sind die T-Verluste anhand ausgewählter Inkubationszeiten dargestellt. Die Tabellen 49 und 50 geben die Verluste der Trockensubstanz im Ausgangsmaterial nach Auswaschung (0 h) der Beutel wieder.

Tabelle 49: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) in den Auswaschverlusten (0 h) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	33.2 .	29.3 .	26.8 .	25.6 .	1.68	.
RG II	36.1^{a} ± 2.81	32.7^{a} ± 4.00	31.6^{ab} ± 6.01	25.4^{b} ± 0.72	1.79	0.186
RG III	34.4^{a} ± 3.88	32.6^{ab} ± 2.05	29.9^{ab} ± 4.01	27.7^{b} ± 4.33	0.95	0.052
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.2 ± 5.47	28.5 ± 5.34	29.5 ± 3.32	29.2 ± 4.05	1.14	0.500
RG II	32.0^{a} ± 5.76	29.0^{ab} ± 3.38	25.1^{ab} ± 5.61	22.2^{b} ± 6.94	1.45	0.083
RG III	28.7 ± 2.99	29.1 ± 1.80	25.8 ± 3.59	23.1 ± 3.33	1.03	0.130
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.1^{a} ± 0.41	32.1^{a} ± 1.62	30.1^{b} ± 1.22	28.8^{b} ± 1.69	0.53	0.003
RG II	30.9 ± 4.90	28.0 ± 4.67	26.2 ± 4.67	25.4 ± 4.40	1.07	0.292
RG III	30.0 ± 0.75	31.1 ± 3.51	30.6 ± 2.38	29.1 ± 3.64	0.73	0.828
MW	32.3^{a}	30.2^{ab}	28.2^{bc}	26.3^{c}		
MSE RG	0.73	0.63	0.75	0.82		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Im Mittel über alle Sorten geht aus Tabelle 49 hervor, dass der Erntezeitpunkt einen hochsignifikanten Effekt auf die Auswaschverluste des Probenmaterials hatte. So verringerte sich der Mittelwert von 32,3% in EZP1 auf 26,3% in EZP4, was einem relativen Rückgang des T-Verlustes im Verlauf der Abreife von 18,6% entspricht. Diese Tendenz zeigte sich in allen Reifegruppen und Erntejahren, konnte aber nicht immer statistisch abgesichert werden. Bei Betrachtung der Reifegruppen über die Anbaujahre war festzustellen, dass Reifegruppe II in allen drei Anbaujahren die größte Minderung der Auswaschverluste im Reifeverlauf aufwies. Allerdings war das

Ausgangsniveau und die Höhe der absoluten Verluste sowohl innerhalb von Reifegruppe II als auch verglichen mit den anderen Reifegruppen sehr verschieden.
Der Mittelwert der einzelnen Reifegruppen über die Erntejahre zeigte eine signifikante Reihung der Reifegruppen. Hier hatte RG I mit 30,4^{A}% Auswaschverlusten den höchsten Anteil, Reifegruppe II mit 29,7^{AB}% einen mittleren und Reifegruppe III mit 27,9^{B}% den niedrigsten Anteil.

Tabelle 50: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) in den Auswaschverlusten (0 h) im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	33.8^{ABa} ± 0.69	29.4^{b} ± 2.76	28.6^{ABb} ± 1.65	27.3^{b} ± 1.60	**29.8^{B}**	3.00	0.012
DK 247	36.9^{Aa} ± 2.15	33.4^{a} ± 1.91	32.6^{Aa} ± 2.69	27.2^{b} ± 1.86	**32.6^{A}**	4.08	0.004
DKc 2949	35.1^{ABa} ± 1.65	31.0^{b} ± 1.03	28.6^{ABbc} ± 1.07	27.3^{c} ± 2.15	**30.5^{AB}**	3.38	0.001
Monumental	33.0^{ABa} ± 3.23	31.0^{a} ± 2.70	30.2^{ABab} ± 0.65	26.6^{b} ± 0.32	**30.2^{AB}**	3.03	0.036
DK 281	29.9^{AB} ± 2.41	31.0 ± 2.94	27.3^{B} ± 2.78	25.3 ± 4.15	**28.4^{B}**	3.53	0.196
DK 287	31.2^{B} ± 5.72	31.1 ± 3.70	29.9^{AB} ± 5.69	27.6 ± 5.65	**30.0^{B}**	4.73	0.825
MW	33.3^{a}	31.1^{b}	29.6^{b}	26.9^{c}			
MSE Sorten	0.83	0.60	0.72	0.65			
P-Value	0.318	0.621	0.335	0.952			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Tabelle 50 stellt die Auswaschverluste der einzelnen Sorten gemittelt über drei Anbaujahre dar. Hier zeigte sich im Mittel über alle Sorten in etwa die gleiche Verringerung wie in Tabelle 49. Zwischen den einzelnen Sorten waren sowohl gemittelt über alle Erntezeitpunkte, als auch in einzelnen Erntezeitpunkten signifikante Unterschiede auszumachen. So zeigte die Sorte DK 247 mit 32,6% im Mittelwert die höchsten Auswaschverluste und lag signifikant höher als die Sorten DK 233 (29,8%), DK 281 (28,4%) und DK 287 (30,0%). Dieser Sachverhalt ließ sich auch in den Erntezeitpunkten 1 und 3 zum Teil statistisch absichern. Der Unterschied schien jedoch eher sortenspezifisch (vom Genotyp abhängig) zu sein, als den Reifegruppen zuzuschreiben. Eine generelle Differenzierung der frühreifen gegenüber den spätreifen Sorten war hier nicht festzustellen.

In den Tabellen 51 und 52 sind die T-Verluste nach 4 h Inkubationszeit anhand von Reifegruppen bzw. von einzelnen Sorten zusammengestellt.

Tabelle 51: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 4 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	37.3 .	34.7 .	30.8 .	28.8 .	1.92	.
RG II	40.6^{a} ± 1.22	37.4^{a} ± 3.75	34.6^{ab} ± 4.06	28.5^{b} ± 2.20	1.86	0.063
RG III	37.3^{a} ± 2.90	35.8^{ab} ± 3.40	33.4^{ab} ± 4.46	30.8^{b} ± 3.95	0.95	0.066
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	37.7 ± 6.87	33.5 ± 5.86	33.7 ± 6.64	32.7 ± 5.93	1.50	0.697
RG II	34.8^{a} ± 6.25	31.9^{ab} ± 5.42	28.1^{ab} ± 6.94	24.0^{b} ± 8.30	1.71	0.138
RG III	30.4^{a} ± 1.65	31.3^{a} ± 0.26	28.8^{ab} ± 3.38	24.3^{b} ± 3.53	1.03	0.044
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	37.9 ± 2.54	35.8 ± 3.52	33.7 ± 4.29	31.8 ± 6.02	1.12	0.265
RG II	35.5^{a} ± 1.73	33.0^{ab} ± 2.79	30.2^{bc} ± 2.78	28.6^{c} ± 2.42	0.79	0.002
RG III	35.7^{a} ± 0.64	34.7^{ab} ± 3.46	31.9^{ab} ± 0.56	30.9^{b} ± 2.68	0.81	0.089
MW	36.2^{a}	34.0^{ab}	31.6^{bc}	29.0^{c}		
MSE RG	0.74	0.69	0.84	0.97		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Aus Tabelle 51 ergibt sich auf einem höheren Niveau das gleiche Bild wie bei den Auswaschverlusten. Auch war der Rückgang des T-Verlustes über die Erntezeitpunkte in den einzelnen Reifegruppen tendenziell etwas höher als bei den Auswaschverlusten. Die Reihung blieb jedoch gleich. Bei einer Inkubationszeit von 4 h ergaben sich als Mittelwerte über die Erntejahre für die Reifegruppen folgenden Werte: Reifegruppe I wies mit $34,4^{A}$% T-Verlust den höchsten Wert auf. Reifegruppe II lag signifikant niedriger ($31,5^{B}$%) und RG III wiederum dazwischen ($32,5^{AB}$%).

Tabelle 52: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 4 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) (± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	33.8^{ABa} ± 1.47	29.3^{ABab} ± 1.80	28.4^{b} ± 2.94	27.0^{b} ± 3.67	**33.4^{AB}**	1.10	0.030
DK 247	36.7^{Aa} ± 3.65	33.1^{Aa} ± 2.58	32.4^{b} ± 3.48	27.0^{b} ± 3.07	**35.3^{A}**	1.40	0.022
DK2949	34.8^{ABa} ± 1.54	$30.9a^{ABb}$ ± 0.80	28.6^{b} ± 1.37	27.3^{c} ± 2.18	**33.8^{AB}**	1.03	0.001
Monumental	32.4^{Aba} ± 3.46	31.1^{ABa} ± 2.75	30.2^{a} ± 1.62	26.8^{b} ± 0.35	**32.9^{ABC}**	1.00	0.027
DK 281	29.7^{B} ± 4.25	30.1^{B} ± 1.54	27.0 ± 3.08	25.0 ± 5.51	**30.7^{C}**	1.19	0.300
DK 287	30.7^{AB} ± 3.36	30.9^{AB} ± 3.48	28.7 ± 2.97	27.0 ± 4.98	**32.2^{BC}**	1.12	0.363
MW	36.5^{a}	34.4^{b}	32.2^{c}	29.0^{d}			
MSE Sorten	0.82	0.61	0.66	0.77			
P-Value	0.193	0.180	0.356	0.948			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 52 wird ersichtlich, dass sich nach 4 h Inkubationszeit keine wesentlichen Änderungen im T-Verlust der einzelnen Sorten ergaben. Im Mittelwert über alle Sorten zeigte sich gemessen an den Auswaschverlusten ein Anstieg der T-Verluste um ca. 3%. Gleiches konnte auch für die Mittelwerte der einzelnen Sorten über die Erntezeitpunkte beobachtet werden. Die Reihung der Sorten blieb somit dieselbe.

Die Tabellen 53 und 54 zeigen die Trockensubstanz-Verringerung nach 24 h Inkubationszeit, nach Reifegruppen und nach Sorten getrennt.

Tabelle 53: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 24 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	57.6 .	55.0 .	49.3 .	46.7 .	2.52	.
RG II	60.3^{a} ± 0.73	57.2^{ab} ± 2.16	55.8^{b} ± 2.04	49.2^{c} ± 0.23	1.59	0.008
RG III	62.6^{a} ± 2.59	59.8^{ab} ± 2.41	57.1^{bc} ± 3.41	55.4^{c} ± 3.11	0.87	0.006
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	63.8^{a} ± 6.97	57.4^{ab} ± 3.98	56.7^{ab} ± 5.12	54.5^{b} ± 3.66	1.45	0.113
RG II	60.1^{a} ± 5.19	56.8^{ab} ± 3.30	54.7^{ab} ± 3.84	51.7^{b} ± 5.02	1.15	0.068
RG III	53.2^{b} ± 2.69	59.0^{a} ± 3.19	53.0^{b} ± 1.54	51.5^{b} ± 2.04	1.06	0.023
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	58.0 ± 3.84	56.3 ± 5.15	56.3 ± 5.50	54.1 ± 4.19	1.12	0.706
RG II	58.1^{a} ± 3.52	55.7^{ab} ± 2.54	52.6^{bc} ± 2.71	50.6^{c} ± 3.00	0.90	0.005
RG III	54.6 ± 1.57	54.4 ± 2.25	54.5 ± 2.64	53.3 ± 4.70	0.76	0.944
MW	59.1^{a}	57.1^{ab}	54.9^{b}	52.6^{c}		
MSE RG	0.87	0.59	0.67	0.69		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Nach 24 Stunden Inkubation im Pansen ließ sich eine deutliche Zunahme der T-Verluste erkennen. Im Mittel über alle Reifegruppen ergab sich ein T-Abbau von 59,1% in EZP1 bis 52,6% in EZP4. Über den Reifeverlauf betrachtet verringerte sich die relative Differenz zwischen EZP1 und EZP4 und betrug nach 24 h Inkubation nur noch 10,9% (Auswaschverluste: 18,6% relative Differenz zwischen EZP1 und EZP4). Auch was die Mittelwerte der einzelnen Reifegruppen über die Erntejahre anbelangt, reduzierten sich die Unterschiede. Zwar zeigte RG I mit 56,6% T-Verlusten immer noch den höchsten Wert, RG II mit 55,2% den niedrigsten (RG III: 56,2%), jedoch ließen sich hier die Unterschiede nicht statistisch absichern.

Tabelle 54: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 24 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	58.6 ± 4.50	54.9 ± 3.22	52.7 ± 5.16	50.5 ± 4.07	**54.2**	0.87	0.204
DK 247	59.3^{a} ± 4.40	56.5^{ab} ± 2.28	55.4^{ab} ± 3.73	50.7^{b} ± 2.68	**55.5**	1.18	0.113
DKc 2949	60.8^{a} ± 2.44	58.4^{a} ± 2.63	55.9^{ab} ± 2.10	52.5^{b} ± 4.10	**56.9**	0.98	0.0318
Monumental	58.3 ± 5.44	56.0 ± 3.64	54.7 ± 2.86	50.6 ± 4.26	**54.9**	0.87	0.179
DK 281	55.5 ± 6.26	59.7 ± 3.06	54.7 ± 3.82	54.1 ± 3.70	**56.0**	1.02	0.443
DK 287	57.1 ± 4.67	57.0 ± 2.72	54.3 ± 3.03	54.6 ± 2.77	**55.8**	1.37	0.644
MW	58.3^{a}	57.1^{a}	54.6^{b}	52.2^{c}			
MSE Sorten	1.03	0.70	0.75	0.83			
P-Value	0.808	0.434	0.908	0.591			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Der Mittelwert der Sorten stellte sich über die Erntezeitpunkte ähnlich dar wie der der Reifegruppen. Die Rangierung der Sorten änderte sich allerdings gegenüber den Auswaschverlusten und den 4 h Inkubationszeit. Den höchsten T-Verlust zeigte hier im Mittel über alle Erntezeitpunkte die Sorte DKc 2949 mit 56,9% (0 und 4 h Inkubation: DK 247), den niedrigsten die Sorte DK 233 mit 54,2% (0 und 4 h Inkubation: DK 281). Allerdings waren diese Unterschiede nicht statistisch abzusichern.

Die Tabellen 55 und 56 stellen die T-Verluste nach 48 Stunden dar.

Tabelle 55: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 48 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	65.8 .	63.5 .	61.9 .	59.1 .	1.40	.
RG II	69.5^{a} ± 0.43	67.1^{a} ± 1.41	65.2^{a} ± 2.84	60.6^{b} ± 0.45	1.31	0.021
RG III	69.0^{a} ± 2.78	67.8^{a} ± 2.30	65.9^{ab} ± 1.84	64.2^{b} ± 2.75	0.65	0.034
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	72.0^{a} ± 3.94	66.3^{b} ± 2.90	66.4^{b} ± 2.59	64.9^{b} ± 1.52	0.95	0.021
RG II	65.7 ± 6.22	65.3 ± 3.34	63.7 ± 4.12	62.1 ± 4.57	1.01	0.625
RG III	62.6 ± 2.16	65.1 ± 2.18	62.9 ± 1.42	61.3 ± 2.45	0.66	0.242
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	67.4 ± 4.52	65.4 ± 6.08	66.0 ± 4.40	64.1 ± 4.15	1.13	0.804
RG II	67.2^{a} ± 3.59	64.0^{ab} ± 2.01	61.7^{b} ± 2.87	61.0^{b} ± 3.39	0.83	0.022
RG III	64.1 ± 1.87	61.2 ± 1.31	63.2 ± 0.75	62.3 ± 2.78	0.55	0.338
MW	67.3^{a}	65.3^{ab}	64.3^{bc}	62.6^{c}		
MSE RG	0.77	0.58	0.55	0.58		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

In Tabelle 55 ist auffallend, dass sich die Unterschiede im T-Verlust über die Erntezeitpunkte sowohl was den Mittelwert über alle Reifegruppen als auch was die einzelnen Reifegruppen anbelangt, weiter verringerten. Von EZP1 nach EZP4 betrug hier die relative Verminderung nur noch 6,9%. Auch in den einzelnen Reifegruppen waren die Unterschiede zwischen erstem und letztem Erntezeitpunkt nicht mehr so stark ausgeprägt. Bei Betrachtung der Reifegruppen gemittelt über alle Anbaujahre zeigte sich, dass der T-Verlust von im Mittel $66,1^{A}$% in Reifegruppe I signifikant höher lag als bei den Reifegruppen II und III mit T-Verlusten von $64,1^{B}$% bzw. $64,6^{AB}$%.

Tabelle 56: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 48 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) (± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	66.8 ± 4.30	62.4 ± 1.80	62.4 ± 2.83	61.0 ± 2.93	**63.2^{B}**	0.99	0.212
DK 247	68.7^{a} ± 3.31	66.0^{ab} ± 2.70	65.1^{ab} ± 4.14	61.4^{b} ± 3.46	**65.3^{AB}**	1.16	0.151
DKc 2949	68.7^{a} ± 2.49	67.1^{ab} ± 1.42	64.4^{b} ± 2.19	63.2^{b} ± 2.47	**65.9^{A}**	0.85	0.051
Monumental	63.7 ± 1.17	63.8 ± 3.71	64.1 ± 0.19	61.2 ± 2.16	**63.2^{B}**	0.65	0.397
DK 281	64.7 ± 3.93	64.8 ± 2.62	63.2 ± 1.96	61.6 ± 3.04	**63.6^{AB}**	0.83	0.541
DK 287	66.2 ± 4.25	64.3 ± 3.24	63.6 ± 1.27	63.5 ± 1.98	**64.4^{AB}**	0.79	0.660
MW	66.5^{a}	64.7^{ab}	63.9^{b}	62.0^{c}			
MSE Sorten	0.82	0.65	0.52	0.96			
P-Value	0.420	0.397	0.849	0.778			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Tabelle 56 lässt einen ähnlichen Sachverhalt erkennen. Im Mittel über die Sorten gestalteten sich die relativen Unterschiede zwischen den Erntezeitpunkten vergleichbar den Reifegruppen. Auch bei einer Inkubationszeit von 48 h blieb die Rangierung der Sorten-Mittelwerte über die Erntezeitpunkte im Vergleich zu Auswaschverlusten und 4-stündiger Inkubation verschoben. Hier konnten die Unterschiede statistisch abgesichert werden. Die Sorte DKc 2949 zeigte den höchsten T-Verlust (65,9%) und differenzierte sich signifikant von den Sorten DK 233 und Monumental (beide 63,2%).

Tabellen 57 und 58 zeigen die Trockensubstanzverluste nach 96 h Inkubation im Pansen.

Tabelle 57: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 96 h im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	73.0 .	70.6 .	69.3 .	67.4 .	1.19	.
RG II	72.3^{a} ± 0.20	71.1^{a} ± 1.54	69.5^{a} ± 1.59	66.4^{b} ± 0.01	0.86	0.023
RG III	77.2^{a} ± 1.15	75.1^{ab} ± 0.90	74.0^{b} ± 2.35	71.5^{c} ± 1.93	0.58	0.001
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	75.9 ± 3.71	72.7 ± 3.53	74.1 ± 2.15	72.8 ± 2.30	0.75	0.421
RG II	69.8 ± 5.82	71.3 ± 3.12	69.2 ± 3.61	68.0 ± 4.29	0.93	0.664
RG III	69.5 ± 2.04	70.4 ± 0.36	68.8 ± 2.07	68.9 ± 2.66	0.53	0.732
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	73.9 ± 3.91	73.5 ± 5.42	73.0 ± 4.31	70.9 ± 4.84	1.08	0.819
RG II	73.3^{a} ± 3.47	70.5^{ab} ± 1.90	68.7^{ab} ± 3.23	68.0^{b} ± 4.09	0.82	0.088
RG III	72.3^{a} ± 1.59	69.2^{ab} ± 1.64	69.8^{ab} ± 1.98	68.7^{b} ± 1.37	0.58	0.114
MW	73.4^{a}	71.9^{ab}	71.0^{bc}	69.6^{c}		
MSE RG	0.70	0.55	0.61	0.62		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Bei 96 h Inkubationszeit betrug der relative Unterschied zwischen EZP1 und EZP4 gemittelt über alle Reifegruppen und Erntejahre nur noch 5,2%, konnte aber statistisch abgesichert werden. Gemittelt über die Anbaujahre zeigten sich RG I mit 73,0^{A}% und RG III mit 71,9^{A}% T-Verlust signifikant verschieden von RG II mit 69,9^{B}%.

Tabelle 58: Trockensubstanz-Verluste der Restpflanze (%) nach einer Inkubationszeit von 96 h im Reifeverlauf von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen (2004-2006) (± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	73.6 ± 3.53	70.1 ± 0.61	70.3 ± 2.23	69.2 ± 3.80	**70.8**	0.86	0.311
DK 247	73.0^{a} ± 2.02	71.5^{ab} ± 1.50	70.4^{ab} ± 1.89	67.8^{b} ± 2.38	**70.7**	0.75	0.061
DKc 2949	72.8^{a} ± 1.41	72.3^{a} ± 1.99	69.7^{ab} ± 1.78	68.4^{b} ± 1.79	**70.8**	0.70	0.043
Monumental	74.1 ± 3.97	72.2 ± 2.20	72.0 ± 0.81	69.4 ± 1.90	**71.9**	0.80	0.224
DK 281	71.2 ± 4.00	71.0 ± 2.75	69.5 ± 2.25	68.6 ± 3.07	**70.1**	0.82	0.714
DK 287	73.5 ± 3.65	71.1 ± 3.62	71.3 ± 5.67	70.3 ± 1.54	**71.5**	1.03	0.772
MW	73.0^{a}	71.4^{b}	70.5^{bc}	69.0^{c}			
MSE Sorten	0.68	0.50	0.61	0.54			
P-Value	0.913	0.840	0.889	0.880			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Auch aus Tabelle 58 wird ersichtlich, dass sich die Unterschiede zwischen den Erntezeitpunkten sowohl im Mittel über alle Sorten als auch in den einzelnen Sorten nivellierten. Eine statistisch gesicherte Verringerung der T-Verluste von EZP1 nach

EZP4 war nur bei den Sorten DK 247 und DKc 2949 sowie im Mittelwert über alle Sorten nachzuweisen. Wurden die Sorten über ihre Erntezeitpunkte gemittelt, ergab den höchsten Verlust die Sorte Monumental mit 71,9%, den niedrigsten DK 281 mit 70,1%. Diese Unterschiede waren nicht signifikant.

Die Abbildungen 9, 10, 11 und 12 stellen die TS-Verluste für die Auswaschfraktion (0 h), 4 Stunden, 48 Stunden Inkubation und für die längste Inkubationszeit (96 h) jeweils zu Reifegruppen zusammengefasst im Reifeverlauf im Mittel über alle Erntejahre dar.

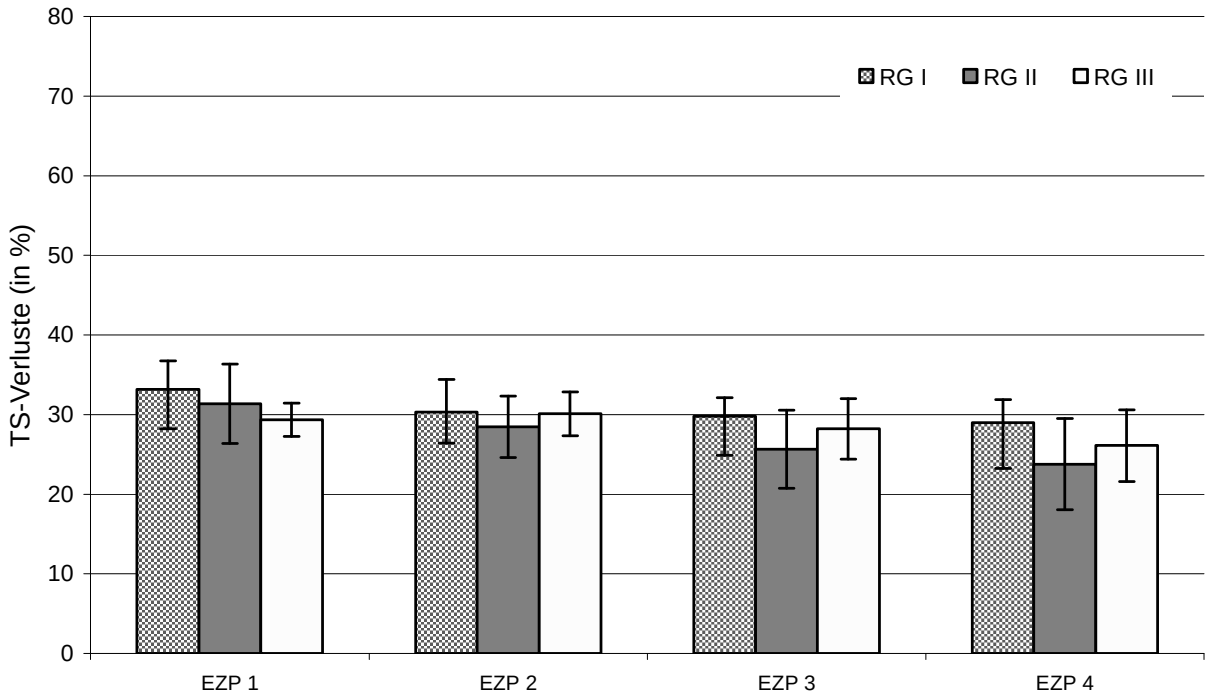


Abbildung 9: Mittlere Auswaschverluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf zu Reifegruppen zusammengefasst

Aus Abbildung 9 ist zu ersehen, dass sich die Auswaschverluste der Reifegruppen im Reifeverlauf stark differenzierten. So wurde der Unterschied zwischen Reifegruppe I und RG II mit zunehmender Abreife der Pflanzen immer deutlicher (vergleiche EZP1 und EZP4). Auch sanken in allen Reifegruppen die Auswaschverluste je älter das Material war.

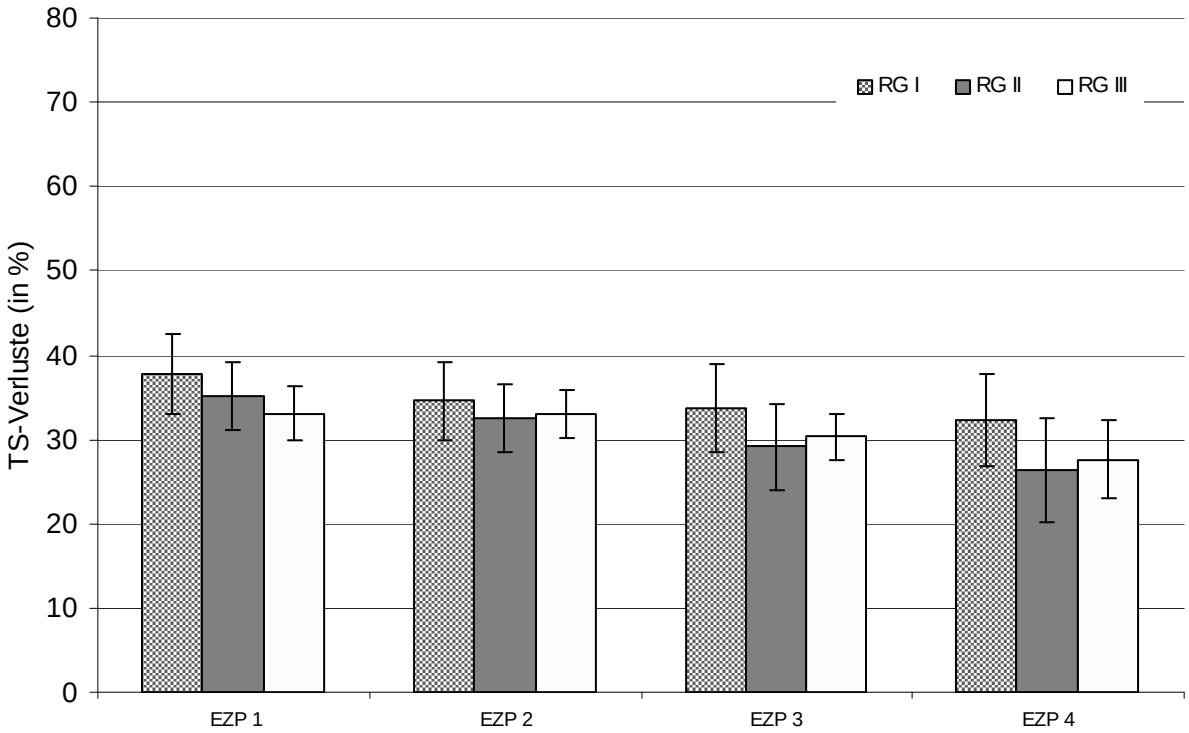


Abbildung 10: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 4 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst

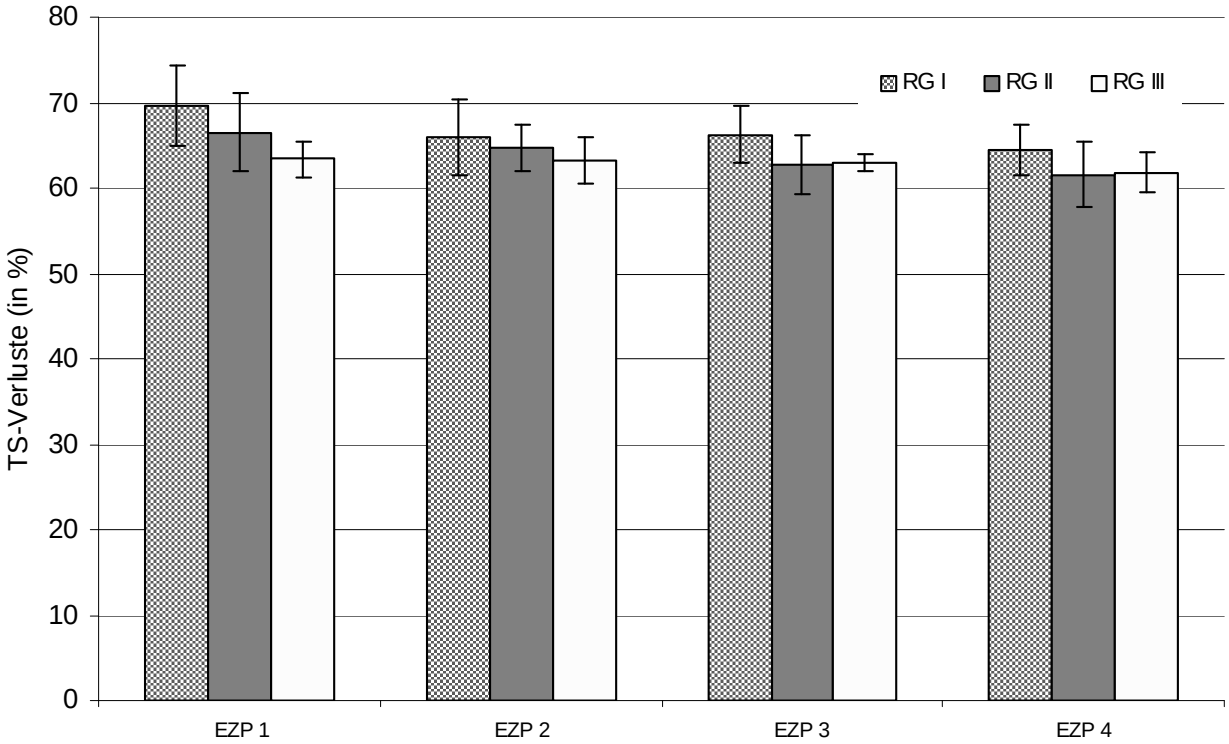


Abbildung 11: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 48 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst

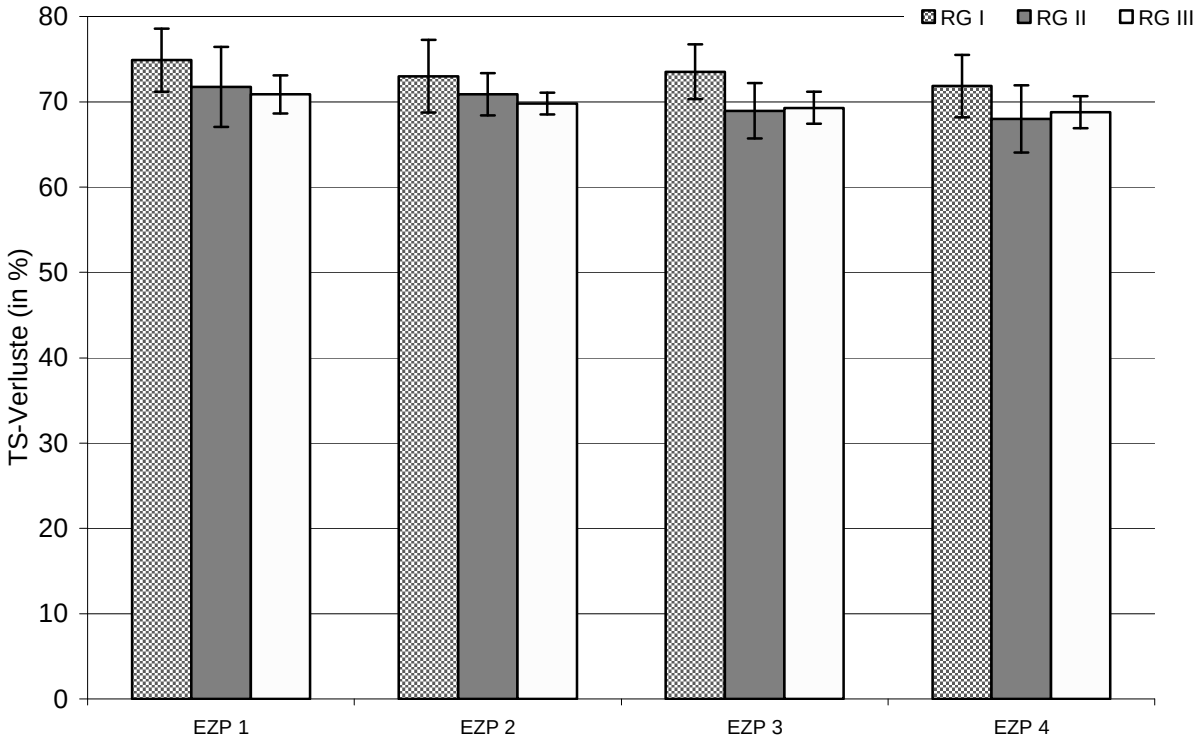


Abbildung 12: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen im Reifeverlauf nach 96 h Inkubationszeit zu Reifegruppen zusammengefasst

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen: Zum einen wurden die Unterschiede zwischen den Reifegruppen deutlicher, je älter das Material wurde (siehe Abbildung 9 und 10, EZP1 versus EZP4) und je kürzer die Inkubationszeit war (vergleiche Abbildungen 10 und 12). Das bedeutet, dass sowohl sortenspezifisch als auch reifespezifisch bedingte Unterschiede mit zunehmender Inkubationszeit im Pansen immer weniger Bedeutung hatten. Jedoch verschwanden auch bei sehr langen Inkubationszeiten die Unterschiede nicht völlig (siehe Abbildungen 11 und 12).

Zusammenfassung TS-Verluste in sacco

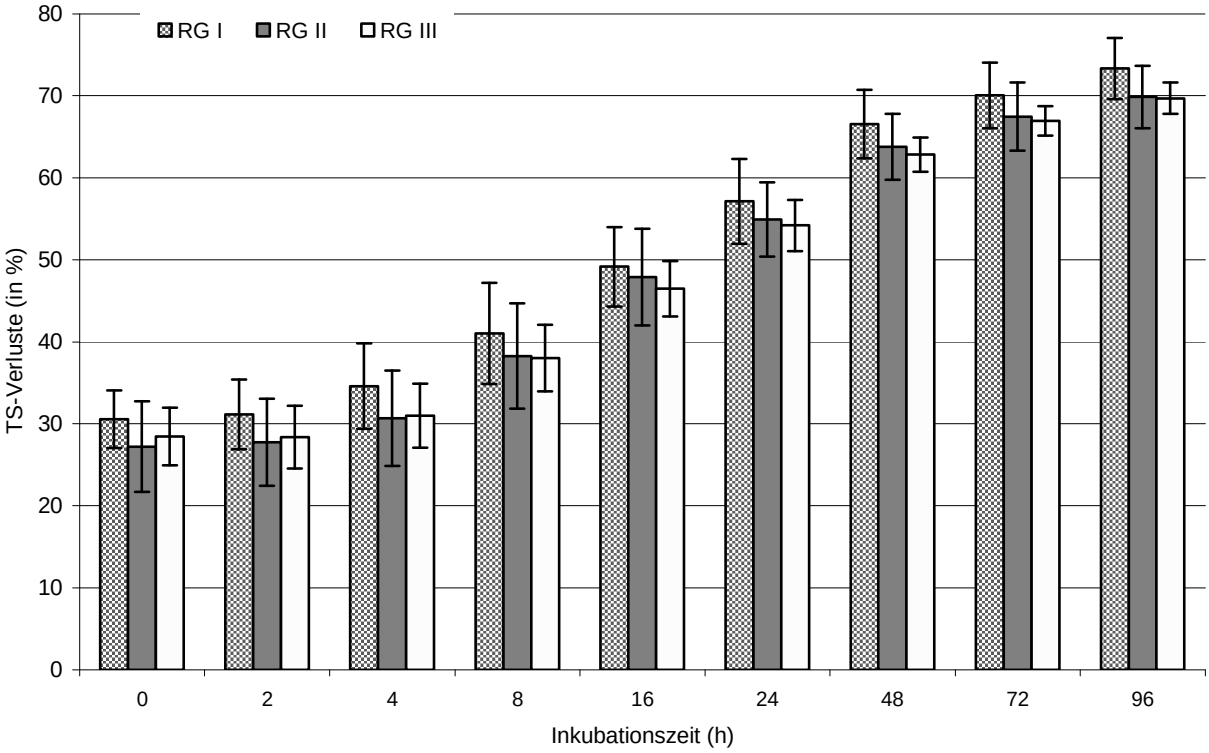


Abbildung 13: Mittlere TS-Verluste der Mais-Restpflanzen bei verschiedenen Inkubationszeiten nach Reifegruppen zusammengefasst

Reifegruppe I ließ in allen Inkubationszeiten die höchsten Trockensubstanzverluste erkennen. Bei **kurzen Inkubationszeiten** (0 bis 8 h) zeigten Reifegruppe II und III eine ungefähr gleiche Abbaubarkeit der TS, bei **längeren Inkubationszeiten** differenzierten sich die beiden Reifegruppen voneinander, da RG III geringere TS-Verluste aufwies. Bei **96-stündiger Inkubation** lagen die beiden Reifegruppen II und III jedoch wieder auf einem Niveau und Reifegruppe I hatte die höchste Abbaubarkeit.

3.2.3.2 Abbaubarkeitsparameter der Trockensubstanz

Im Folgenden sind die *in situ*-Abbaubarkeitsparameter für die Trockensubstanz der Restpflanze der verschiedenen Maissorten angegeben. Die Abbauparameter werden im Anschluss als *a-*, *b-*, *d-* und *c*-Wert sowie als lag time (t_0) bezeichnet (siehe Kapitel 2.3.1).

Tabelle 59 beschreibt den Abbauparameter *a* der Trockensubstanz im Verlauf der Abreife der Restpflanze. Die Sorten sind hierbei in den einzelnen Jahren zu Reifegruppen zusammengefasst. Tabelle 60 zeigt die *a*-Fraktion der einzelnen Sorten als Mittelwert über drei Erntejahre.

Tabelle 59: a – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	32.2	29.5	26.8	25.6	1.69	.
RG II	36.2 ± 2.05	32.7 ± 2.85	31.4 ± 4.05	26.1 ± 0.25	1.71	0.205
RG III	33.8^{a} ± 1.51	32.1^{ab} ± 0.91	29.4^{ab} ± 1.59	27.4^{b} ± 1.95	0.90	0.044
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.1 ± 2.75	28.6 ± 2.66	29.5 ± 1.72	29.1 ± 2.08	1.15	0.523
RG II	31.6^{a} ± 2.97	28.7^{ab} ± 1.67	25.0^{ab} ± 2.56	21.8^{b} ± 3.20	1.48	0.098
RG III	28.1 ± 1.55	28.8 ± 0.76	25.7 ± 2.10	23.1 ± 2.19	1.01	0.133
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	33.3^{a} ± 0.52	32.0^{ab} ± 0.77	29.9^{bc} ± 0.80	28.8^{c} ± 1.36	0.61	0.019
RG II	30.7 ± 1.98	27.8 ± 1.96	26.1 ± 2.02	25.2 ± 1.85	1.02	0.243
RG III	30.1 ± 0.32	31.3 ± 2.00	30.1 ± 1.14	28.8 ± 1.80	0.68	0.712
MW	32.1^{a}	30.0^{ab}	28.0^{bc}	26.2^{c}		
MSE RG	0.71	0.62	0.73	0.83		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Die schnell abbaubare Fraktion *a* verringerte sich im Mittel über alle Reifegruppen vom ersten zum letzten Erntetermin signifikant um 5,9 (absolut) bzw. 18,4% (relativ). Bei Betrachtung der Reifegruppen gemittelt über alle Erntejahre zeigten sich signifikante Unterschiede im Gehalt an schnell abbaubarem Material. Reifegruppe I wies mit $30,3^{A}$% den höchsten mittleren Gehalt in der *a*-Fraktion auf, während der niedrigste Wert in Reifegruppe II ($27,8^{B}$%) zu finden war. Innerhalb der einzelnen Erntezeitpunkte waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reifegruppen feststellbar.

Tabelle 60: a – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	33.8^{ABa} ± 0.66	29.3^{b} ± 2.56	28.4^{ABb} ± 1.65	27.0^{b} ± 1.57	**29.6^{BC}**	0.88	0.007
DK 247	36.7^{Aa} ± 2.60	33.1^{a} ± 2.09	32.4^{Aa} ± 2.82	27.0^{b} ± 2.00	**32.3^{A}**	1.20	0.008
DKc 2949	34.8^{ABa} ± 1.45	30.9^{b} ± 0.95	28.6^{ABbc} ± 1.14	27.3^{c} ± 1.42	**30.4^{AB}**	0.91	0.0004
Monumental	32.4^{ABa} ± 2.72	31.1^{a} ± 2.66	30.2^{ABab} ± 0.64	26.8^{b} ± 0.65	**30.1^{ABC}**	0.79	0.038
DK 281	29.7^{B} ± 2.75	30.1 ± 2.00	27.0^{B} ± 2.75	25.0 ± 4.19	**27.9^{BC}**	0.97	0.218
DK 287	30.7^{B} ± 4.72	30.9 ± 3.69	28.7^{AB} ± 4.67	27.0 ± 5.35	**29.3^{C}**	1.24	0.708
MW	33.0^{a}	30.9^{b}	29.2^{b}	26.7^{c}			
MSE Sorten	0.80	0.57	0.67	0.63			
P-Value	0.076	0.562	0.255	0.944			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Tabelle 60 zeigt sowohl zwischen den einzelnen Sorten als auch zwischen den Erntezeitpunkten einer Sorte statistisch gesicherte Unterschiede in der *a*-Fraktion. Den höchsten mittleren *a*-Wert über alle Erntezeitpunkte hatte die Sorte DK 247 (32,3%). Den niedrigsten Gehalt wies DK 281 auf (27,9%). Eine signifikante Verringerung der *a*-Fraktion im Reifeverlauf ließ sich aber nicht für alle Sorten nachweisen. Im Durchschnitt über alle Sorten zeigten sich Werte von 33,0% (EZP1) bis 26,7% (EZP4).

Die Tabellen 61 und 62 stellen die *b*-Fraktion der Sorten im Reifeverlauf dar. Die *b*-Fraktion repräsentiert die unlösliche, aber abbaubare Fraktion des Materials.

Tabelle 61: b – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	40.2	41.4	45.3	44.1	1.18	.
RG II	37.6 ± 1.70	40.3 ± 1.65	40.7 ± 2.45	42.2 ± 0.70	0.91	0.415
RG III	41.9 ± 1.89	41.6 ± 1.14	44.7 ± 1.63	43.9 ± 2.03	0.38	0.531
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	42.1 ± 1.25	44.0 ± 1.64	45.0 ± 1.68	44.7 ± 1.45	0.74	0.550
RG II	37.4^{b} ± 1.57	41.7^{ab} ± 1.79	44.1^{ab} ± 2.20	46.4^{a} ± 3.05	1.29	0.090
RG III	41.3^{b} ± 1.04	40.6^{b} ± 0.30	43.0^{ab} ± 1.15	45.7^{a} ± 0.67	0.70	0.012
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	40.7 ± 1.48	41.1 ± 2.70	42.1 ± 1.69	42.9 ± 1.12	0.85	0.824
RG II	41.8 ± 2.18	41.8 ± 1.42	42.5 ± 2.94	43.3 ± 2.97	1.14	0.970
RG III	42.8 ± 0.29	38.1 ± 2.28	39.8 ± 1.38	40.0 ± 1.32	0.81	0.246
MW	40.9^{b}	41.4^{b}	43.2^{ab}	43.9^{a}		
MSE RG	0.61	0.60	0.71	0.78		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Im Restpflanzenmaterial ist die *b*-Fraktion durchgängig höher als die *a*-Fraktion.
Aus Tabelle 61 ist zu ersehen, dass die *b*-Fraktion im Verlauf der Abreife zunahm. Bei Betrachtung der Mittelwerte über alle Erntejahre und Reifegruppen zeigte sich eine statistisch gesicherte Steigerung der *b*-Fraktion im Material von 3,0% (40,9% in EZP1; 43,9% in EZP4). Innerhalb der einzelnen Erntejahre ließ sich diese Erhöhung in allen Reifegruppen (Ausnahme: RG III in 2006) nachvollziehen, aber nur im Erntejahr 2005 auch statistisch absichern (RG II und RG III). Gemittelt über die Erntejahre zeigten die Reifegruppen keine signifikanten Unterschiede und lagen bei 42,8% (RG I) bzw. 42,1% (RG II und III).

Tabelle 62: b – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	39.5^{ABa} ± 1.54	40.7^{b} ± 1.51	42.8^{b} ± 1.28	43.1^{b} ± 1.62	**41.5^{AB}**	0.78	0.337
DK 247	37.1^{Ba} ± 0.87	39.2^{a} ± 0.94	39.5^{a} ± 0.64	42.5^{b} ± 0.27	**39.6^{B}**	0.66	0.005
DKc 2949	38.3^{ABa} ± 1.47	41.1^{b} ± 0.57	41.5^{bc} ± 1.26	42.0^{c} ± 0.32	**40.7^{AB}**	0.62	0.120
Monumental	40.6^{ABa} ± 1.25	40.7^{a} ± 0.20	42.0^{ab} ± 0.87	43.1^{b} ± 0.64	**41.6^{AB}**	0.47	0.186
DK 281	41.7^{A} ± 0.29	39.4 ± 0.41	42.1 ± 0.73	43.0 ± 2.03	**41.5^{AB}**	0.62	0.198
DK 287	42.0^{A} ± 1.08	39.2 ± 2.86	43.0 ± 3.06	42.8 ± 2.44	**41.8^{A}**	1.16	0.689
MW	39.9^{a}	40.0^{b}	41.8^{b}	42.8^{c}			
MSE Sorten	0.58	0.52	0.60	0.52			
P-Value	0.073	0.840	0.638	0.994			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Bei Betrachtung der einzelnen Sorten in Tabelle 62 ergibt sich ein ähnliches Bild, wobei die späten Sorten (DK 281 und DK 287) tendenziell einen geringeren Anstieg der *b*-Fraktion im Reifeverlauf aufwiesen. Im Mittel über alle Sorten stieg die *b*-Fraktion signifikant von 39,9 auf 42,8% an. Gemittelt über den Reifeverlauf wies DK 287 den höchsten Gehalt an nicht löslichem aber abbaubarem Material auf (41,8%). Der niedrigste Gehalt fand sich bei DK 247 (39,6%). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten innerhalb der einzelnen Erntezeitpunkte konnte nur in EZP1 festgestellt werden. In den übrigen Erntezeitpunkten nivellierten sich die Unterschiede und waren nicht statistisch abzusichern.

Die Tabellen 63 und 64 stellen die Abbaurate der Fraktion *b* dar. Tabelle 63 zeigt alle Sorten der drei Anbaujahre zu Reifegruppen zusammengefasst, während in Tabelle 64 die einzelnen Sorten gemittelt über drei Erntejahre aufgeführt sind.

Tabelle 63: Abbaurate c der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (% h^{-1}) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MSE EZP	P-Value
RG I *)	3.65^{ABC}	3.73	3.02	2.93	0.21	.
RG II	4.46^{ABC} ± 0.36	3.93 ± 0.01	3.81 ± 0.18	3.99 ± 0.83	0.15	0.573
RG III	4.86^{ABC} ± 0.41	5.09 ± 0.79	4.15 ± 0.87	4.29 ± 0.38	0.16	0.108
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	5.83^{ABa} ± 1.47	4.62^{ab} ± 0.43	4.14^{b} ± 0.49	3.64^{b} ± 0.19	0.28	0.014
RG II	6.48^{Aa} ± 1.26	5.41^{b} ± 0.77	5.02^{b} ± 0.28	4.63^{b} ± 0.39	0.22	0.012
RG III	4.44^{BCb} ± 0.93	5.80^{a} ± 0.65	4.49^{b} ± 0.21	4.38^{b} ± 0.23	0.23	0.051
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	3.96^{C} ± 0.56	3.88 ± 0.33	4.14 ± 0.43	4.06 ± 0.34	0.10	0.830
RG II	4.81^{ABCab} ± 0.79	4.93^{a} ± 0.75	4.22^{ab} ± 0.53	3.95^{b} ± 0.36	0.16	0.075
RG III	3.58^{C} ± 0.14	3.93 ± 0.11	4.28 ± 0.34	4.26 ± 0.83	0.20	0.620
MW	4.84^{a}	4.75^{ab}	4.28^{bc}	4.12^{c}		
MSE RG	0.21	0.16	0.11	0.09		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Die Abbaurate gemittelt über alle Erntejahre und Reifegruppen sank im Verlauf der Abreife signifikant von 4,84 (EZP1) auf 4,12% h^{-1} (EZP4). In 2005 war der Unterschied von EZP1 nach EZP4 in allen drei Reifegruppen signifikant. Im Anbaujahr 2006 zeigten RG I und III eine gegenläufige Tendenz. Hier war ein deutlicher Anstieg der Abbaurate im Reifeverlauf zu verzeichnen. Bei Betrachtung der Reifegruppen gemittelt über die Anbaujahre ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen RG I ($4,18^{B}$% h^{-1}) und RG II ($4,75^{A}$% h^{-1}). Reifegruppe III lag mit einer Abbaurate von $4,49^{AB}$% h^{-1} in der Rangierung zwischen den beiden anderen Reifegruppen.

Tabelle 64: Abbaurate c der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (% h^{-1}) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	4.03 ± 0.73	4.15 ± 0.96	3.72 ± 0.84	3.61^{C} ± 0.66	**3.88^{C}**	0.21	0.827
DK 247	4.47 ± 0.99	4.15 ± 0.20	4.12 ± 0.77	3.70^{BC} ± 0.51	**4.11^{B}**	0.19	0.604
DKc 2949	5.21 ± 1.20	5.42 ± 1.29	4.69 ± 0.92	4.49^{ABC} ± 0.57	**4.95^{A}**	0.28	0.675
Monumental	4.12 ± 0.62	4.21 ± 1.29	4.01 ± 0.80	3.77^{ABC} ± 0.41	**4.03^{B}**	0.21	0.926
DK 281	4.18^{b} ± 0.69	5.91^{a} ± 0.70	4.66^{b} ± 0.52	4.64^{Ab} ± 0.35	**4.85^{A}**	0.24	0.033
DK 287	4.69 ± 1.11	4.84 ± 1.02	3.98 ± 0.58	4.58^{AB} ± 0.18	**4.52^{AB}**	0.22	0.608
MW	4.45^{ab}	4.78^{a}	4.20^{b}	4.13^{b}			
MSE Sorten	0.21	0.26	0.17	0.14			
P-Value	0.626	0.203	0.561	0.049			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Bei Betrachtung der Sortenmittel zeigte sich eine signifikante Verringerung der Abbaurate von EZP1 nach EZP4 von –0,32% h^{-1}. Auch die Mittelwerte der Sorten über alle Erntezeitpunkte wiesen eine deutliche Rangierung auf, die auch statistisch abgesichert werden konnte. Hier hatte DK 233 die niedrigste (3,88% h^{-1}) und DKc 2949 mit 4,95% h^{-1} die höchste mittlere Abbaurate.

Die *d*-Fraktion gibt die potentiell abbaubare Fraktion des Materials wieder und setzt sich aus den Fraktionen (*a+b)* zusammen. Tabelle 65 fasst die Werte für *d* in Reifegruppen zusammen.

Tabelle 65: d – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	73.4	70.9	72.1	69.7	0.79	.
RG II	73.8^{a} ± 0.50	72.9^{a} ± 1.70	72.0^{ab} ± 2.26	68.3^{b} ± 1.34	1.84	0.085
RG III	75.7^{a} ± 1.73	73.7^{ab} ± 1.89	74.1^{ab} ± 2.57	71.3^{b} ± 1.92	4.76	0.028
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	75.2 ± 3.20	72.5 ± 3.29	74.4 ± 2.32	73.8 ± 1.84	1.34	0.580
RG II	69.1 ± 6.30	70.5 ± 3.15	69.1 ± 3.91	68.3 ± 4.15	4.15	0.883
RG III	69.5 ± 1.53	69.4 ± 0.80	68.7 ± 1.82	68.8 ± 2.71	4.39	0.936
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	74.0 ± 3.22	73.1 ± 5.93	72.8 ± 4.10	70.9 ± 4.76	1.92	0.810
RG II	72.5 ± 3.25	69.6 ± 1.82	68.6 ± 3.19	68.5 ± 4.39	2.71	0.217
RG III	72.9^{a} ± 0.53	69.3^{b} ± 2.36	69.9^{ab} ± 1.13	68.8^{b} ± 2.11	2.11	0.072
MW	73.0^{a}	71.4^{ab}	71.2^{ab}	70.0^{b}		
MSE RG	0.66	0.56	0.62	0.61		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Es zeigte sich für alle Reifegruppen in allen Jahren als auch für den Gesamt-Mittelwert eine Verringerung der *d*-Fraktion im Reifeverlauf. Diese war aber nicht in allen Fällen statistisch abzusichern und ließ verschieden starke Ausprägungen erkennen. Der größte Unterschied fand sich in Reifegruppe II in 2004. Hier betrug die Differenz von EZP1 nach EZP4 –5,5%. Die geringste Differenz hatte RG III in 2005 (–0.6%). Im Mittel über Erntejahre und Erntezeitpunkte ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen Reifegruppe I ($73,1^{A}$%) und Reifegruppe II ($69,9^{B}$%) feststellen. Reifegruppe III lag mit $71,5^{AB}$% dazwischen.

Bei einem Vergleich der *d*-Fraktionen in den einzelnen Sorten in Tabelle 66 ergibt sich ein ähnliches Bild.

Tabelle 66: d – Fraktion der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (%) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	73.3 ± 3.00	70.0 ± 0.81	71.2 ± 1.68	70.1 ± 3.66	**71.2^{AB}**	2.59	0.392
DK 247	73.8^{a} ± 1.22	72.3^{ab} ± 2.08	71.9^{ab} ± 2.00	69.6^{b} ± 1.58	**71.9^{A}**	2.19	0.094
DKc 2949	73.1^{a} ± 1.12	72.0^{ab} ± 0.70	70.1^{b} ± 1.53	69.4^{b} ± 1.80	**71.1^{AB}**	1.95	0.032
Monumental	73.0 ± 2.00	71.9 ± 2.50	72.2 ± 2.12	69.9 ± 1.71	**71.7^{A}**	2.15	0.380
DK 281	71.4 ± 3.12	69.4 ± 1.69	69.0 ± 1.76	68.1 ± 2.71	**69.5^{B}**	2.40	0.441
DK 287	72.7 ± 2.95	70.1 ± 2.74	71.7 ± 5.29	69.8 ± 1.42	**71.1^{AB}**	3.14	0.713
MW	72.9^{a}	70.9^{b}	71.0^{b}	69.5^{c}			
MSE Sorten	2.16	1.99	2.57	2.04			
P-Value	0.859	0.350	0.698	0.901			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Alle Sorten, sowie das Sortenmittel wiesen eine z. T. signifikante Verringerung von *d* im Verlauf der Abreife auf. Auch im Mittel über alle Erntezeitpunkte ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Sorten. Hier wies DK 247 den höchsten Anteil der d-Fraktion (71,9%) auf, während DK 281 mit 69,5% einen signifikant niedrigeren Anteil hatte.

Die Tabellen 67 und 68 geben die lag time oder t_0 der untersuchten Sorten wieder. Die lag time gibt die Verzögerungszeit, bis ein mikrobieller Abbau im Pansen messbar wird, an.

Tabelle 67: lag time (t_0) der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (h) im Reifeverlauf zusammengefasst nach Reifegruppen (± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I *)	0.61	0.00	0.70	1.58	0.33	.
RG II	2.01 ± 0.66	1.65 ± 0.22	2.62 ± 0.99	4.48 ± 1.59	0.56	0.324
RG III	1.76 ± 0.37	1.91 ± 0.57	1.70 ± 0.53	2.19 ± 0.26	0.21	0.868
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	2.22 ± 0.49	1.69 ± 0.33	2.12 ± 0.70	1.99 ± 0.59	0.25	0.913
RG II	2.44 ± 0.26	2.23 ± 0.49	2.64 ± 0.39	3.17 ± 0.46	0.21	0.443
RG III	2.50 ± 0.63	2.70 ± 0.54	2.08 ± 0.29	3.99 ± 0.99	0.35	0.274
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	0.97 ± 0.62	1.27 ± 0.76	1.73 ± 1.02	2.73 ± 1.58	0.50	0.672
RG II	1.29 ± 0.68	0.90 ± 0.50	1.43 ± 0.61	1.99 ± 0.79	0.31	0.702
RG III	0.32^{b} ± 0.30	0.80^{b} ± 0.61	2.50^{a} ± 0.54	3.06^{a} ± 0.27	0.40	0.008
MW	1.64^{b}	1.59^{ab}	2.05^{ab}	2.68^{a}		
MSE RG	0.21	0.21	0.22	0.29		

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen
*) n = 1

Die lag time zeigte im Mittel über alle Reifegruppen und Erntejahre eine Tendenz zum Anstieg im Reifeverlauf. Dieser fiel aber sehr uneinheitlich und auf sehr unterschiedlichem Niveau aus. Im Mittel stieg t_0 signifikant von 1,64h in EZP1 auf 2,68h in EZP4 an. Der Mittelwert der Reifegruppen über alle Erntejahre zeigte eine Rangierung der Reifegruppen, die jedoch nicht statistisch abgesichert werden konnte. Hier wies RG I mit 1,71h die geringste und Reifegruppe II mit 2,12h die längste Verzögerungszeit auf. RG III lag mit 2,08h t_0 dazwischen.

Tabelle 68 zeigt in der Einzeldarstellung der Sorten ebenfalls ein sehr heterogenes Bild.

Tabelle 68: lag time (t_0) der potentiellen Abbaubarkeit der Trockensubstanz der Restpflanze (h) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (± SD)

	EZP1	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	**MW**	MSE EZP	P-Value
DK 233	1.17 ± 0.52	1.33 ± 1.15	1.28 ± 0.66	2.64 ± 2.42	**1.61**	0.39	0.563
DK 247	2.29^{ab} ± 0.41	1.39^{b} ± 0.69	2.88^{a} ± 0.82	2.99^{a} ± 0.78	**2.39**	0.26	0.076
DKc 2949	2.38 ± 1.03	1.93 ± 0.24	1.93 ± 0.67	4.01 ± 1.86	**2.56**	0.38	0.150
Monumental	1.92 ± 1.86	1.77 ± 1.59	2.05 ± 1.18	3.76 ± 1.76	**2.37**	0.47	0.445
DK 281	1.32^{b} ± 0.59	2.84^{a} ± 0.75	2.53^{ab} ± 0.48	2.85^{a} ± 0.93	**2.38**	0.26	0.085
DK 287	1.62 ± 1.55	1.65 ± 1.24	2.56 ± 1.08	2.43 ± 0.45	**2.06**	0.31	0.653
MW	1.78^{b}	1.82^{b}	2.21^{b}	3.11^{a}			
MSE Sorten	0.25	0.24	0.21	0.33			
P-Value	0.710	0.546	0.306	0.762			

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten
unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Im Durchschnitt über alle Sorten stieg t_0 im Reifeverlauf kontinuierlich von 1,77h auf 3,11h an ($p<0.05$). Für die einzelnen Sorten war dies allerdings nicht immer nachzuvollziehen. So verringerte sich die lag time bei den Sorten DK 247, DKc 2949 und Monumental von EZP1 auf EZP2 und zeigte erst ab EZP3 einen Anstieg. Bei Betrachtung der Sortenmittel über die Erntezeitpunkte wurde erkennbar, dass die Sorte DK 233 die deutlich geringste Verzögerungszeit aufwies (1,61h). Die größte lag time mit 2,56h hatte die Sorte DKc 2949. Statistisch gesicherte Unterschiede konnten aber weder zwischen den Mittelwerten der Sorten, noch innerhalb der einzelnen Erntezeitpunkte ausgemacht werden.

Zusammenfassung Abbaubarkeitsparameter

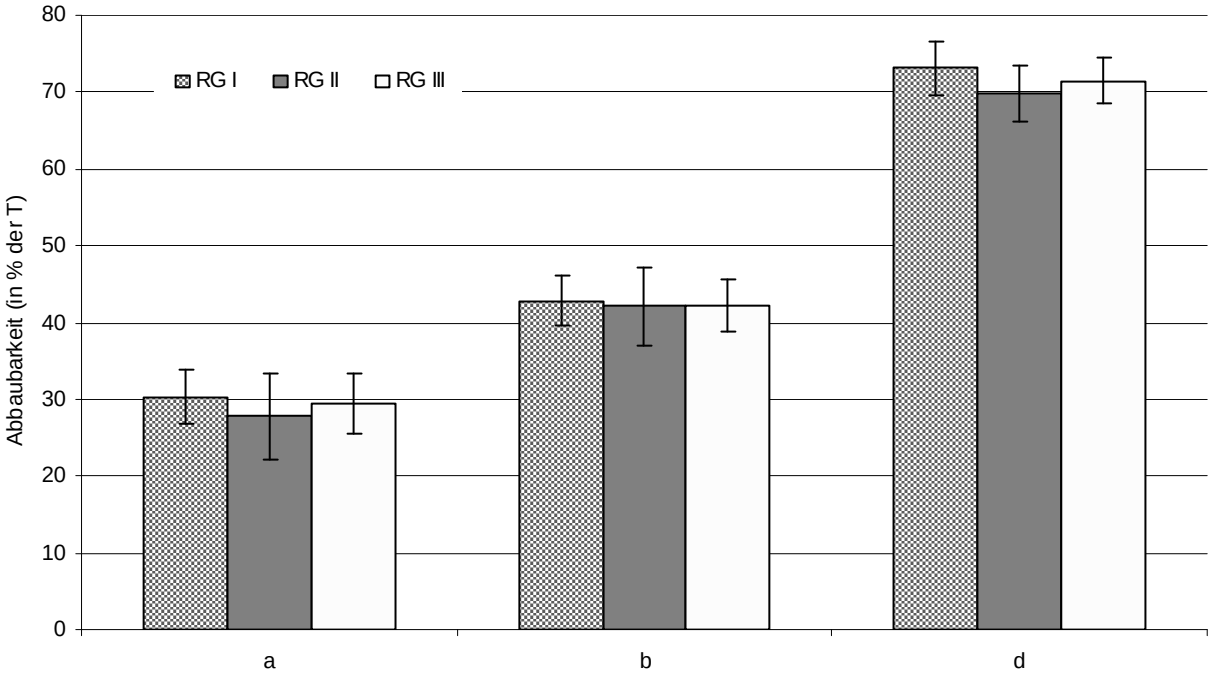


Abbildung 14: Abbaubarkeitsparameter a, b und d (in % der T) der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst

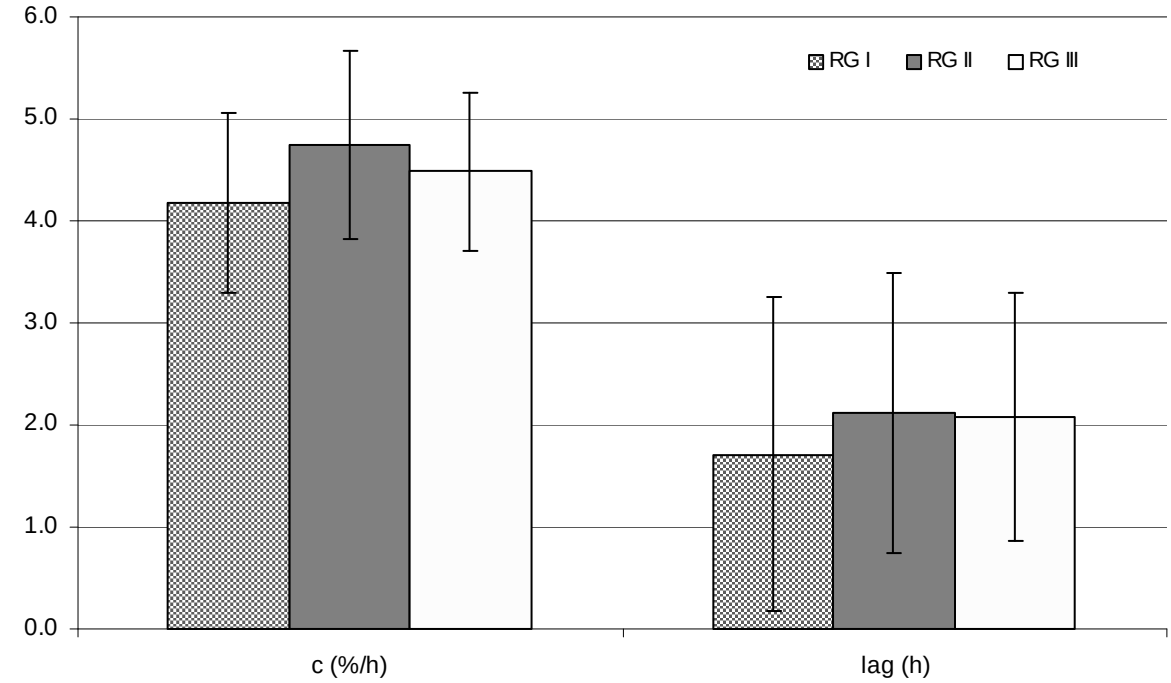


Abbildung 15: Abbaubarkeitsparameter c (in %/ h) und lag time (in h) der Mais-Restpflanzen nach Reifegruppen zusammengefasst

Die **Abbaubarkeitsparameter a** und **d** zeigten deutlich höhere Werte für Reifegruppe I im Vergleich zu Reifegruppe II und III. Die Unterschiede konnten z.T. statistisch abgesichert werden. Im **Abbaubarkeitsparameter b** unterschieden sich die Reifegruppen nicht signifikant voneinander. Die **Abbaurate c** war in Reifegruppe I deutlich niedriger ($p<0.05$) als in RG II und III. Die Abbaurate c war in RG II am höchsten. Die **Verzögerungszeit** bis ein mikrobieller Abbau beginnen konnte, war in RG I deutlich niedriger als in den beiden anderen Reifegruppen.

3.2.3.3 Effektive ruminale Abbaubarkeit der Trockensubstanz

Im Folgenden ist die effektive ruminale Abbaubarkeit (EDM) unter Einberechnung einer Passagerate des Materials durch den Pansen dargestellt.
Tabelle 69 gibt die effektive Abbaubarkeit der Sorten, zusammengefasst als Reifegruppen für eine angenommene Passagerate von 6% h^{-1} wieder. In Tabelle 70 sind die Mittelwerte der Sorten aufgeführt, die drei Anbaujahre im Versuch waren.

Tabelle 69: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) über vier Erntezeitpunkte zusammengefasst nach Reifegruppen (% ± SD)

2004	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	47.8	45.4	41.3	38.7	2.04	-
RG II	50.4^{a} ± 0.57	47.1^{a} ± 3.47	44.9^{ab} ± 3.82	38.8^{b} ± 0.71	1.74	0.046
RG III	50.6^{a} ± 2.28	49.0^{ab} ± 2.40	45.7^{bc} ± 3.23	43.4^{c} ± 3.44	0.87	0.005
2005	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	51.0 ± 5.60	45.8 ± 4.32	45.6 ± 4.77	44.1 ±3.88	1.25	0.229
RG II	48.3^{a} ± 6.03	46.0^{ab} ± 3.94	42.1^{ab} ± 5.61	38.5^{b} ± 6.13	1.44	0.071
RG III	43.3^{a} ± 2.11	45.7^{a} ± 1.30	41.9^{ab} ± 2.85	38.4^{b} ± 2.46	0.97	0.023
2006	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**	MSE EZP	P-Value
RG I	48.7 ± 3.63	47.1 ± 4.01	45.9 ± 4.45	43.3 ± 5.43	1.11	0.410
RG II	48.3^{a} ± 2.57	45.7^{a} ± 2.49	42.3^{b} ± 1.41	40.7^{b} ± 2.24	0.82	0.0003
RG III	45.8 ± 0.89	45.4 ± 1.77	43.9 ± 0.76	43.0 ± 3.00	0.57	0.284
MW	48.5^{a}	46.5^{a}	43.9^{b}	41.3^{b}		
MSE RG	0.70	0.54	0.66	0.74		

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Aus Tabelle 69 ergibt sich eine deutliche Verringerung der effektiven Abbaubarkeit im Reifeverlauf. Dies war sowohl im Mittel über alle Reifegruppen als auch innerhalb der einzelnen Reifegruppen zu beobachten. Die effektive Abbaubarkeit im Mittel über alle Reifegruppen sank von 48,5% in EZP1 auf 41,3% in EZP4. Das entspricht einem relativen Rückgang der effektiven Abbaubarkeit im Reifeverlauf von 14,8%. Die Reduktion der effektiven Abbaubarkeit vollzog sich jedoch nicht in allen Reifegruppen kontinuierlich von einem Erntezeitpunkt zum nächsten. So ließ sich in Reifegruppe III in allen drei Erntejahren *kein* Rückgang der EDM von Erntezeitpunkt 1 auf EZP2 beobachten. Wurde der gesamte Probenahmezeitraum einbezogen, so zeigte sich außerdem, dass in Reifegruppe III der geringste Rückgang der EDM zu verzeichnen war. Allerdings wies RG III in den Erntejahren 2005 und 2006 ein wesentlich niedrigeres Ausgangsniveau in EZP1 auf als dies bei den Reifegruppen I und II der Fall war.

Wurden die Reifegruppen über die Erntejahre und –zeitpunkte gemittelt, so ergab sich folgende Reihung: RG I > RG III > RG II. Die Unterschiede zwischen den Reifegruppen konnten aber nicht statistisch abgesichert werden.

Tabelle 70: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) von Sorten, die drei Anbaujahre aufweisen, im Reifeverlauf (2004-2006) (% ± SD)

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4	MW	MSE EZP	P-Value
DK 233	48.5^{a} ± 2.68	44.6^{ab} ± 0.72	43.4b^{ab} ± 3.36	40.7^{b} ± 3.61	**44.3**	1.10	0.054
DK 247	50.4^{a} ± 3.76	47.8^{a} ± 1.76	46.0^{ab} ± 3.45	40.6^{b} ± 3.57	**46.2**	1.35	0.031
DKc 2949	50.2^{a} ± 1.76	48.1^{ab} ± 3.08	44.7^{bc} ± 2.72	41.5^{c} ± 3.07	**46.1**	1.20	0.020
Monumental	47.1^{a} ± 3.71	45.9^{a} ± 2.03	44.9^{a} ± 0.30	40.0^{b} ± 0.27	**44.5**	0.97	0.016
DK 281	45.4 ± 4.25	46.5 ± 2.00	42.7 ± 2.57	40.8 ± 4.51	**43.9**	1.09	0.261
DK 287	47.2 ± 3.47	46.7 ± 1.48	43.4 ± 2.57	43.0 ± 3.45	**45.1**	0.90	0.241
MW	48.2^{a}	46.6^{a}	44.2^{b}	41.1^{c}			
MSE Sorten	0.80	0.48	0.60	0.71			
P-Value	0.452	0.340	0.708	0.903			

unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Zeilen

Bei Betrachtung der Sorten zeigt sich, dass die einzelnen Sorten zu Beginn der Beprobung sich in ihrer effektiven Abbaubarkeit unterschieden. Die höchste EDM wies hier die Sorte DK 247 mit 50,4% auf. Am niedrigsten war die effektive Abbaubarkeit der Sorte DK 281 mit 45,4%. Diese Unterschiede ließen sich jedoch nicht statistisch absichern. Am Ende des Probenahmezeitraums (EZP4) näherten sich die Sorten in ihrer EDM einander an. Hier zeigte DK 287 mit 43,0% die höchste effektive Abbaubarkeit, während alle übrigen Sorten eine EDM von ca. 40% aufwiesen. Im Durchschnitt über alle Erntezeitpunkte ließen die Sorten DK 247 und DKc 2949 eine Tendenz zu einer höheren effektiven Abbaubarkeit als bei den Sorten DK 233 und DK 281 erkennen.

Zusammenfassung effektive ruminale Abbaubarkeit

Die **effektive ruminale Abbaubarkeit** bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} der drei Reifegruppen unterschied sich wenig. Reifegruppe I zeigte eine Tendenz zu einer erhöhten EDM6 im Vergleich zu Reifegruppe II. RG III lag im Mittel auf dem gleichen Niveau wie RG I. Zu den einzelnen Erntezeitpunkten war die EDM6 von RG I jedoch tendenziell höher als von RG III (Ausnahme: EZP2; siehe Abbildung 16). Auch waren die Standardabweichungen in den Reifegruppen relativ hoch.

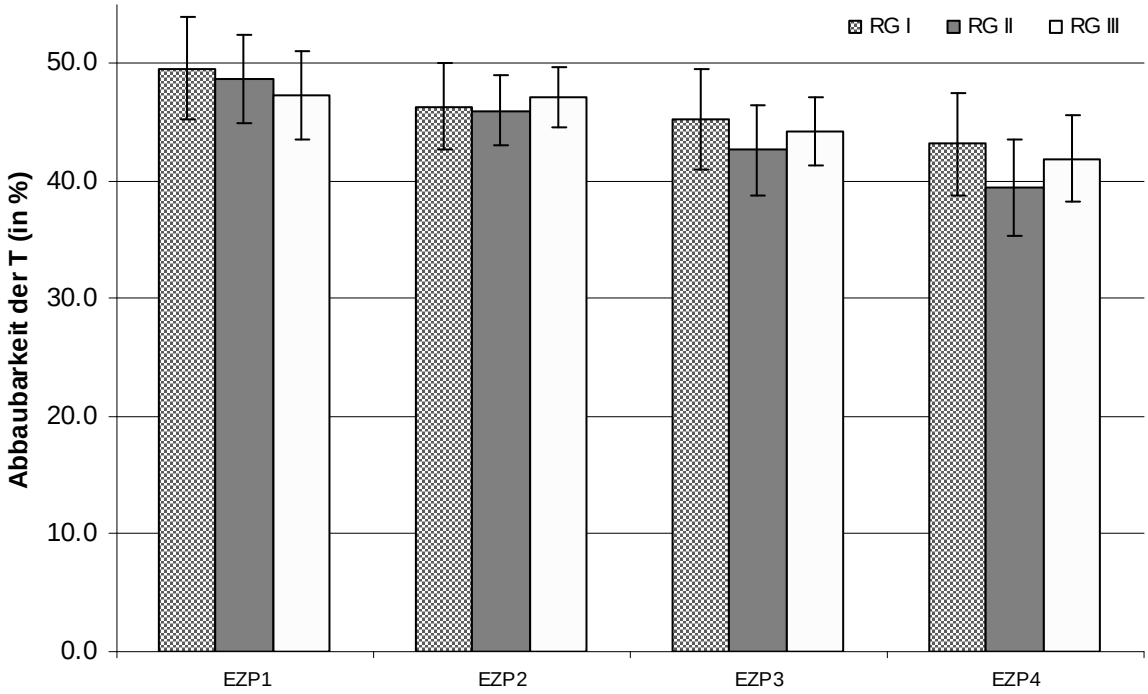


Abbildung 16: Mittlere effektive ruminale Abbaubarkeit der T (in %) der Mais-Restpflanzen bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} im Reifeverlauf nach Reifegruppen zusammengefasst

3.2.4 Ruminale Abbaubarkeit der NDF anhand ausgewählter Sorten

Um charakterisieren zu können, wie sich das Restpflanzenmaterial im Pansen verhält, wurden neben der ruminalen Abbaubarkeit der Trockensubstanz weitere Parameter auf ihre ruminale Abbaubarkeit hin untersucht. Im Folgenden sollen die Ergebnisse aus der Bestimmung der ruminalen NDF-Abbaubarkeit anhand ausgewählter Sorten dargestellt werden.

3.2.4.1 NDF-Verluste in sacco zu ausgewählten Inkubationszeiten

Die NDF-Verluste der einzelnen Sorten zu ausgewählten Inkubationszeiten (Auswaschverluste, 4 h, 24 h, 48 h und 96 h) sind in Tabelle 71 und in Abbildung 17 aufgezeigt.

Tabelle 71: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (% der NDF) zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte (± SD)

	0 h	4 h	24 h	48 h	96 h
DK 233	28,6 ± 2,94	33,1 ± 3,44	52,6 ± 4,86	61,7 ± 2,41	70,8 ± 2,41
DK 247	33,6 ± 4,67	36,2 ± 4,32	55,9 ± 4,33	64,2 ± 0,34	70,7 ± 1,40
DKc 2949	30,7 ± 3,24	33,0 ± 4,16	56,3 ± 5,25	67,0± 1,91	69,9 ± 2,72
Monumental	30,6 ± 3,52	32,8 ± 3,40	55,7 ± 5,50	63,9± 3,48	72,2 ± 3,09
DK 281	28,2 ± 4,32	30,9 ± 4,40	57,3 ± 5,03	64,6 ± 3,09	71,4 ± 2,94
DK 287	29,6 ± 4,72	31,7 ± 3,53	57,3 ± 3,36	65,8 ± 2,86	73,4 ± 3,44
MW	30.2	32.9	55.8	64.5	71.4

Die Ergebnisse wurden über die vier Erntezeitpunkte gemittelt und ergaben eindeutige sortenspezifische Unterschiede, was die Höhe der Verluste anbelangt. Diese konnten allerdings nicht statistisch abgesichert werden. Die Unterschiede gestalteten sich in den kürzeren Inkubationszeiten deutlicher als bei 96 h Inkubationszeit. Allerdings waren zum Teil die Standardabweichungen recht hoch, was auf große Varianzen zwischen den einzelnen Erntejahren aber auch auf eine deutliche Veränderung der NDF-Abbaubarkeit im Reifeverlauf hindeutet. Insgesamt stiegen die NDF-Verluste (gemittelt über alle Sorten) von 30,2% in den Auswaschverlusten auf 71,4% nach 96 h Inkubationszeit. Ein nicht unerheblicher Anteil der NDF wurde also im Pansen abgebaut.

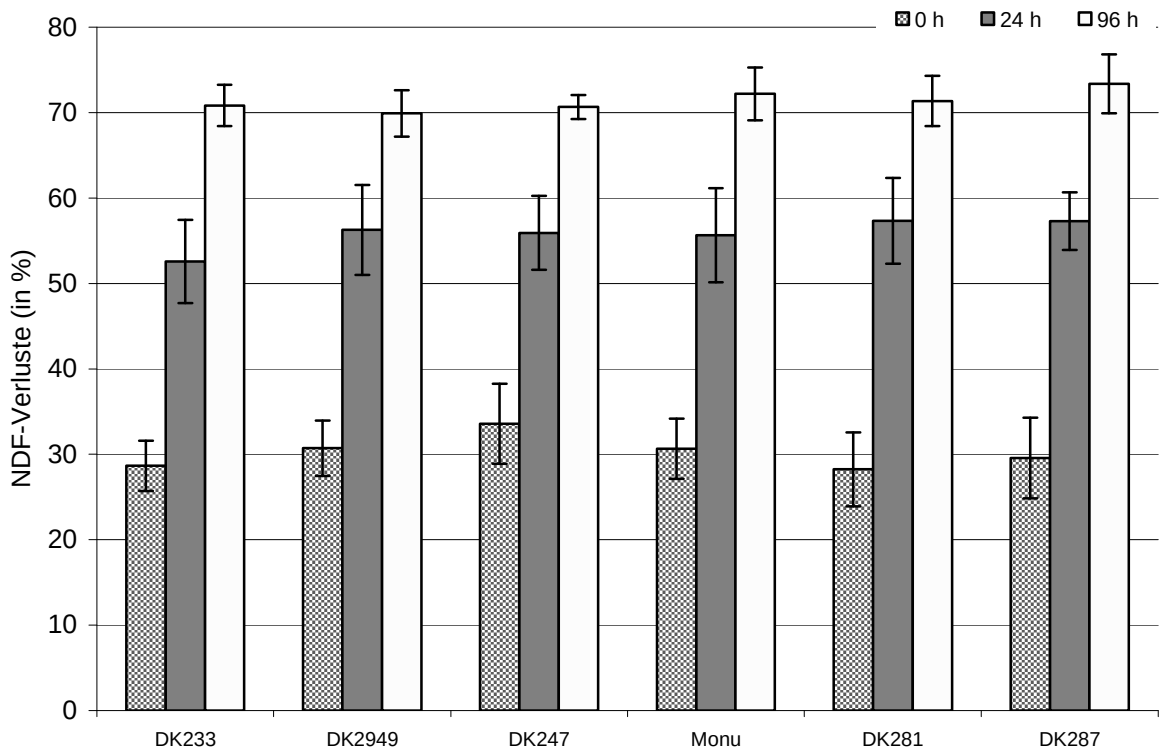


Abbildung 17: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (%) zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte

Aus Abbildung 17 wird außerdem deutlich, dass aus den höchsten Auswaschverlusten (DK 247) nicht die höchste Abbaubarkeit der NDF nach längerer Inkubation im Pansen (DK 287) resultiert. Auch nach kürzerer Inkubation (24 h) zeigte sich, dass hohe Auswaschverluste nicht zwangsläufig etwas über die Abbaubarkeit der NDF aussagen. So hatte die Sorte DK 281 zwar die geringsten Auswaschverluste, jedoch nach 24 Stunden Inkubationszeit mit die höchsten Verluste von NDF zu verzeichnen.

Tabelle 72: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (% der NDF) zu ausgewählten Inkubationszeiten der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte (± SD)

	0 h	4 h	24 h	48 h	96 h
EZP1	34.9^{A} ± 3.31	38.4^{A} ± 4.58	60.5^{A} ± 4.27	66.9 ± 4.67	73.7 ± 3.79
EZP2	32.0^{AB} ± 3.16	35.6^{AB} ± 3.41	58.5^{AB} ± 3.25	66.1 ± 2.78	72.5 ± 2.69
EZP3	29.9^{B} ± 3.71	32.9^{BC} ± 3.14	55.1^{BC} ± 4.28	64.7 ± 2.41	71.0 ± 2.96
EZP4	26.7^{B} ± 2.89	29.0^{C} ± 3.46	51.8^{C} ± 4.36	63.1 ± 3.18	69.6 ± 2.93
MW	30.9	34.0	56.5	65.2	71.7

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten

Bei Betrachtung der einzelnen Erntezeitpunkte bestätigt sich schon genanntes: Die einzelnen Erntezeitpunkte wiesen in den Auswaschverlusten und in den kürzeren Inkubationszeiten deutliche Differenzen auf, die auch statistisch abgesichert werden konnten. In den langen Inkubationszeiten (48 und 96 h) jedoch nivellierten sich auch

die Unterschiede zwischen den Erntezeitpunkten, so dass hier keine statistische Signifikanz mehr aufzeigbar war. Die Differenzen zwischen höchstem (EZP1) und niedrigstem (EZP4) NDF-Verlust halbierten sich von 0 h (8,2%) zu 96 h (4,1%).

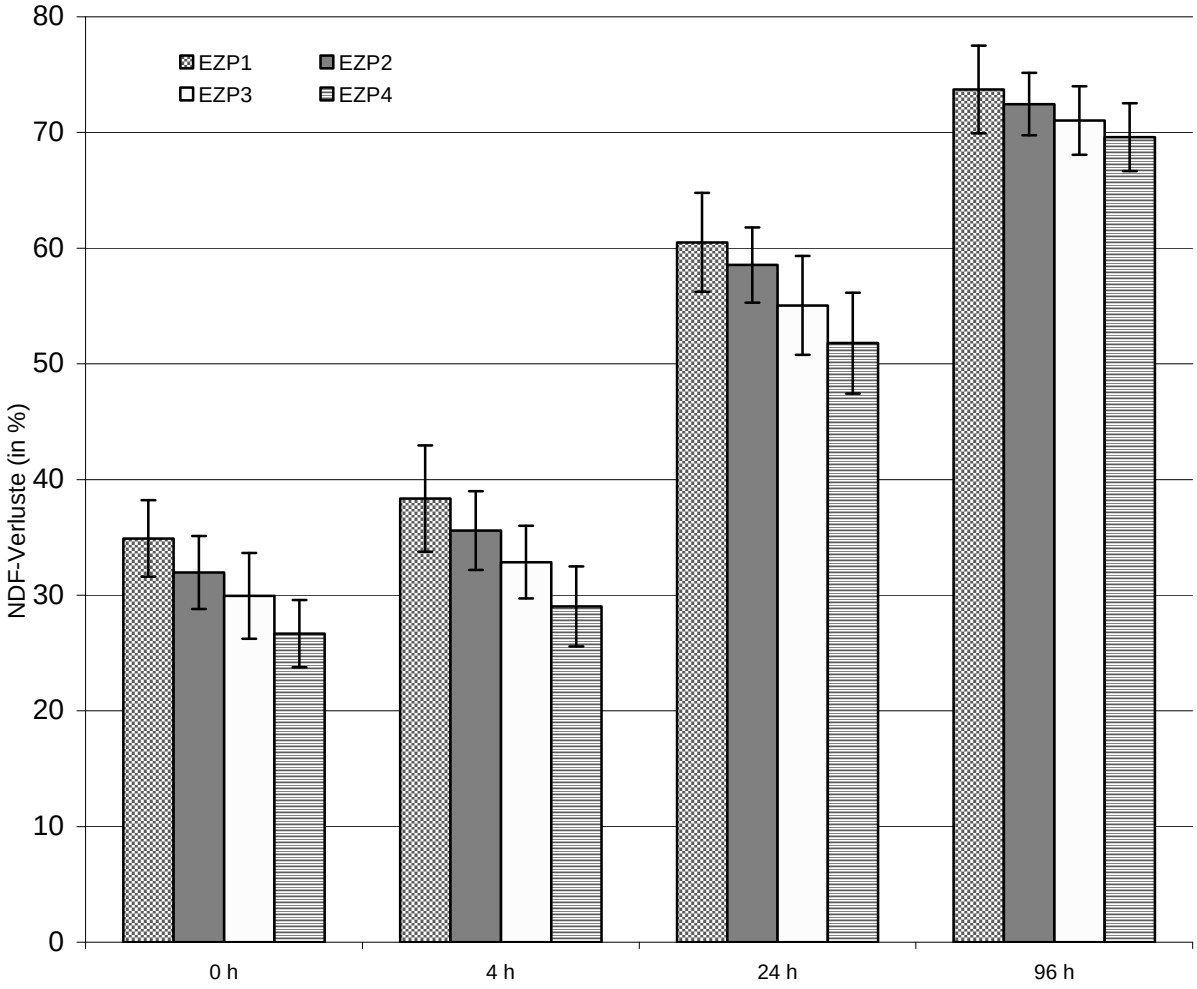


Abbildung 18: NDF-Verluste der Mais-Restpflanzen (%) zu ausgewählten Inkubationszeiten im Reifeverlauf gemittelt über die Sorten

Auch aus Abbildung 18 wird ersichtlich, dass sich die Unterschiede zwischen den Erntezeitpunkten minimieren, je länger die Inkubationszeit im Pansen dauert. Dies bedeutet, dass reiferes Restpflanzenmaterial mit einem höheren NDF-Gehalt prinzipiell keine viel schlechtere NDF-Abbaubarkeit aufweist. Es wird lediglich mehr Zeit benötigt um das Material aufzuschließen. Daher die großen Unterschiede in den kurzen Inkubationszeiten.

3.2.4.2 Abbaubarkeitsparameter der NDF

Die Abbaubarkeitsparameter der Sorten (Tabellen 73 und 74) zeigen, dass sich die größten und auch signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten in der nicht löslichen aber abbaubaren Fraktion b fanden. Hier reichte die Bandbreite von 35,0% (DK 247) bis 44,0% (DK287). Die insgesamt höchste abbaubare Fraktion d hatte ebenfalls die Sorte DK 287.

Tabelle 73: Abbauparameter a, b und d in % (± SD) von ausgewählten Sorten

	a	b	d
DK 233	28.5 ± 3.29	38.1^{AB} ± 9.82	66.6 ± 11.92
DK 247	33.9 ± 4.51	35.0^{B} ± 7.95	69.0 ± 4.31
DKc 2949	30.5 ± 2.88	40.0^{AB} ± 1.34	70.5 ± 2.27
Monumental	30.7 ± 3.21	42.0^{AB} ± 2.27	72.7 ± 1.50
DK 281	28.3 ± 3.53	42.6^{AB} ± 2.64	70.9 ± 1.09
DK 287	29.4 ± 2.00	44.0^{A} ± 1.23	73.4 ± 1.87
MW	31.3	40.2	71.5

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten

Die frühen Sorten zeigten eine Tendenz zu einer erhöhten Abbaurate von b, welche jedoch nicht signifikant war. Die geringste Abbaurate wies die Sorte Monumental mit 4,00% h^{-1} auf. Bei der Verzögerungszeit t_0 ließ sich keine Tendenz der Reifegruppen erkennen Hier hatte die Sorte DKc 2949 eine signifikant längere Verzögerungszeit (4,39h) bis zum Abbaubeginn als die übrigen Sorten. Die Sorte DK 233 hatte die kürzeste lag time mit 1,05h.

Tabelle 74: Abbauparameter c (% h^{-1}) und lag time (h) (± SD) von ausgewählten Sorten

	c	lag
DK 233	5.30 ± 0.03	1.05^{B} ± 0.76
DK 247	5.70 ± 0.03	2.77^{AB} ± 0.90
DKc 2949	5.70 ± 0.01	4.39^{A} ± 4.36
Monumental	4.00 ± 0.01	2.49^{AB} ± 0.77
DK 281	5.10 ± 0.01	2.61^{AB} ± 0.72
DK 287	4.40 ± 0.00	2.62^{AB} ± 0.66
MW	5.03	2.40

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten

3.2.4.3 Effektive ruminale Abbaubarkeit der NDF

Die effektive Abbaubarkeit der NDF konnte aus den NDF-Verlusten der Inkubationszeiten geschätzt werden. In Tabelle 75 ist die effektive Abbaubarkeit der NDF für eine angenommene Passagerate des Futters von 6% h^{-1} angegeben.

Tabelle 75: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) der Sorten gemittelt über die Erntezeitpunkte (± SD)

	EDNDF 6
DK 233	43.4 ± 4.04
DK 247	47.3 ± 3.62
DKc 2949	45.5 ± 4.68
Monumental	44.9 ± 2.82
DK 281	44.9 ± 3.28
DK 287	45.3 ± 2.45
MW	46.4

Obwohl klare numerische Unterschiede in der EDNDF6 zwischen den Sorten vorhanden waren, konnten diese nicht statistisch abgesichert werden. Dies ist wohl auf die großen Standardabweichungen zurückzuführen.

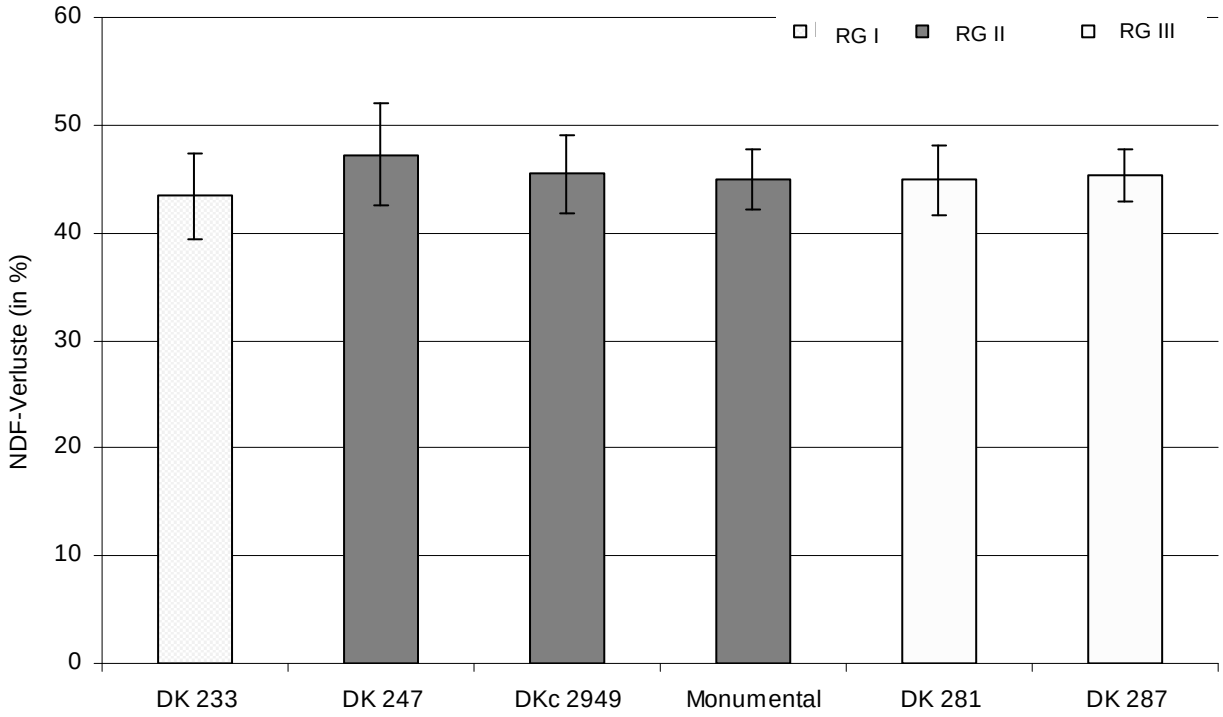


Abbildung 19: Effektive NDF-Abbaubarkeit (%) der Sorten gemittelt über alle Erntezeitpunkte bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1}

Die höchste durchschnittliche effektive NDF-Abbaubarkeit zeigte die Sorte DK 247 mit 47,3%, die niedrigste betrug 43,4% bei DK 233. Eine Tendenz der frühen oder späten Sorten zu erhöhter bzw. erniedrigter NDF-Abbaubarkeit war in der EDNDF6 nicht wiederzufinden (siehe Abbildung 19).

Beim Vergleich der Erntezeitpunkte gemittelt über die Sorten (Tabelle 76) ergaben sich signifikante Unterschiede in der EDNDF6. EZP1 wies mit 50,6% effektiver NDF-Abbaubarkeit den höchsten Wert auf. Die effektive Abbaubarkeit sank dann kontinuierlich im Reifeverlauf und betrug zu EZP4 nur noch 41,7%.

Tabelle 76: Effektive Abbaubarkeiten (Passagerate k=0.06) der Erntezeitpunkte gemittelt über die Sorten (± SD)

	EDNDF 6
EZP1	50.6^{A} ± 3.53
EZP2	48.1^{A} ± 2.30
EZP3	45.2^{B} ± 2.81
EZP4	41.7^{C} ± 3.05
MW	**46.4**

unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Spalten

4. Diskussion

4.1 Zur Zusammensetzung von Pflanzenzellwänden

Zum Verständnis der Zellwandeigenschaften muss ihre chemische Zusammensetzung und ihre physikalische Struktur bekannt sein. Um einen Überblick über die besprochenen Zusammenhänge zu erlangen, soll im Folgenden zuerst der Aufbau der Pflanzenzellwand und ihre physikalische Struktur aufgezeigt werden. Im weiteren Verlauf wird auf die chemischen Bestandteile der Pflanzenzellwand eingegangen. Zu diesem Zweck werden die einzelnen chemischen Komponenten, die für die Pflanzenzellwand und deren Abbau wesentlich sind, dargestellt und in ihrer Funktion beschrieben.

4.1.1 Aufbau der Pflanzenzellwand

Die Zellwand hat verschiedene sehr vielfältige Funktionen wie zum Beispiel die Aufrechterhaltung der äußeren Form der Zelle, die mechanische Stützung der Pflanze und den Schutz der Zelle sowohl vor äußeren Einflüssen als auch vor dem inneren Turgor-Druck. Neben diesen mechanischen Aufgaben kommen der Zellwand aber auch physiologische Funktionen wie der Transport von Wasser einschließlich der darin gelösten Substanzen durch die Aussparung des apoplastischen Raums zu (RICHTER, 1996).

Der Zellwandaufbau und somit die Struktur der Pflanzenzellwände ändert sich während der Entwicklung der Pflanze. Wachsende Pflanzenzellen sind mit einer polysaccharidreichen Primärwand umgeben. Bei ausgewachsenen Zellen bildet sich innerhalb der Primärwand eine sogenannte Sekundärwand, selten eine Tertiärwand aus.

Abbildung 20 (© DAVIDSON, 1995) zeigt den schematischen Aufbau der Zellwand einer wachsenden Pflanzenzelle. Der Aufbau der Zellwand nach Abschluss des Zellwachstums ist in Abbildung 3 (THEANDER und AMAN, 1977) dargestellt.

Abbildung 20: Schematischer Aufbau der Zellwand einer sich noch im Wachstum befindlichen Pflanzenzelle

Die Primärwand bei der Maispflanze besteht hauptsächlich aus ungeordneten Cellulose-Mikrofibrillen, Glucuronoarabinoxylanen und unterschiedlich gebundenen β-Glucanen (CARPITA et al., 2001). Hemicellulosen machen mit ca. 65% den größten Bestandteil der Primärwand aus (CARPITA, 1990). Pektine, Xyloglucane und Glucomannane kommen in geringeren Mengen in der Primärwand vor, ebenso wie polyphenolische Substanzen, die Quervernetzungen (Cross-links) zwischen den Cellulose-Mikrofibrillen herstellen können. Die Pektine der Primärwand sind zum Teil mit Ferulat verestert. *p*-Cumarsäure-Ester kommen in Gräsern nur in geringen Konzentrationen vor (JUNG, 1997). Die Primärwand schließt sich an die Plasmamembran der Zelle an und wird nach außen hin durch die Mittellamelle begrenzt.
Primär- und Sekundärwand werden durch eine Übergangslamelle verbunden. Die Sekundärwand ist dicker als die primäre Zellwand und ihre Hauptkomponenten sind Cellulose, Lignin und Hemicellulosen (ISHII et al., 1997; JUNG, 1997). Aus Abbildung 21 ist ersichtlich, dass die Sekundärwand aus drei Schichten unterschiedlich orientierter kristalliner Cellulose-Mikrofibrillen besteht. Diese sind parallel angeordnet und „verkleben“ so miteinander (Paralleltextur). Die Schichten der Sekundärwand ergeben sich aus der unterschiedlichen Streichrichtung der Mikrofibrillen (RICHTER, 1996). Neben Cellulose findet bei Gräsern auch die Einlagerung von Xylanen in die Sekundärwand statt, jedoch nicht in dem Maße, wie dies in der Primärwand der Fall ist (JUNG, 1997). Die Matrix der Sekundärwand ist stark verdichtet und besteht aus Polysacchariden (Hemicellulosen) und Proteinen (RICHTER, 1996). Weiterer wesent-

licher Nicht-Kohlenhydrat-Bestandteil der Sekundärwand ist das Lignin. Der Feinbau der Sekundärwand ist bisher weitgehend ungeklärt.

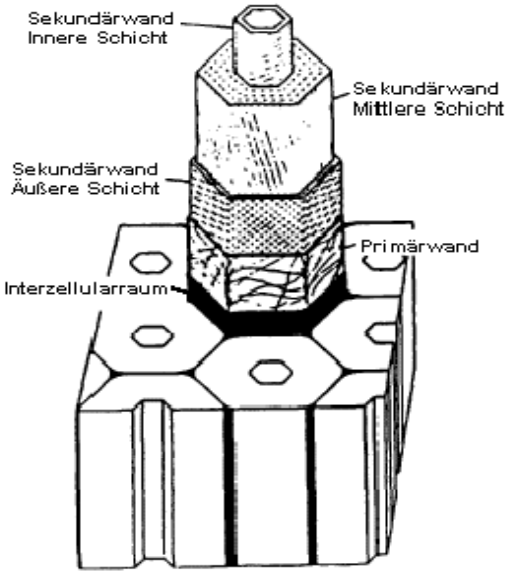


Abbildung 21: Schematischer Aufbau der Pflanzenzellwand

4.1.2 Chemische Bestandteile der Pflanzenzellwand

Die einzelnen chemischen Komponenten sollen nun genauer beschrieben werden. Dafür sind die relativen Anteile der Fraktionen, die am Aufbau der Zellwand beteiligt sind, nach PRAMOL (2002) in Abbildung 22 dargestellt.

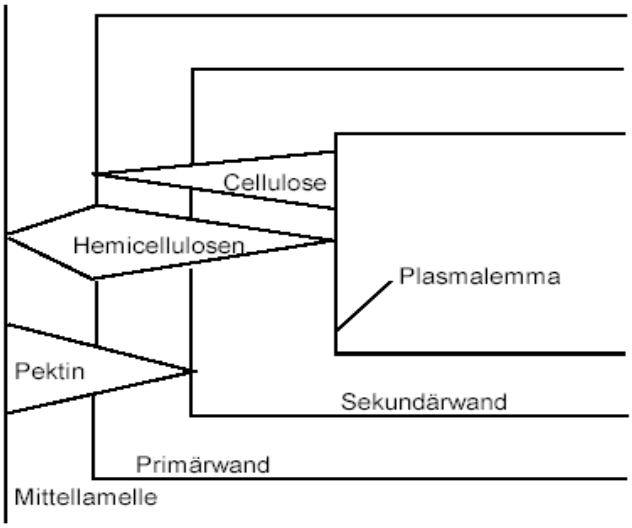


Abbildung 22: Schichtenaufbau der pflanzlichen Zellwand und relative Anteile der chemischen Bestandteile

Cellulose

Die Cellulose ist ein lineares Polymer aus Glucosemolekülen, die β-1,4-glycosidisch miteinander verknüpft sind (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Jede Glucoseeinheit in der Kette ist um 180° verdreht (MCDOUGALL et al., 1996). Cellulose ist mit einem Anteil von 15–30% der Trockenmasse am Aufbau der Primärwand beteiligt (CARPITA und MCCANN, 2000). Die β-Bindung ist nur schwer hydrolytisch spaltbar (PRAMOL, 2002). Aufgrund ihrer partiellen Kristallinität und ihres hohen Molekuralgewichts ist Cellulose in fast allen gängigen Lösungsmitteln unlöslich (ASPINALL, 1982). Auch ihre Verwertung im tierischen Organismus wird dadurch erschwert. Abbildung 23 zeigt den Ausschnitt eines Cellulosemoleküls in seinem molekularen Aufbau. Die Moleküle können aus bis zu 10 000 Glucose-Untereinheiten bestehen (FAN et al., 1987).

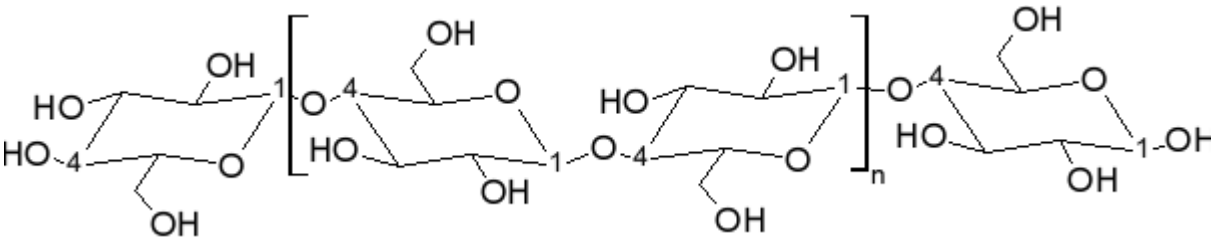


Abbildung 23: Molekularer Aufbau eines Cellulose-Moleküls (Ausschnitt)

Die Cellulosemoleküle sind durch intra- und intermolekulare Wasserstoffbrückenbindungen zu stabilen übermolekularen Strukturen (Cellulose-Mikrofibrillen) geordnet (THEANDER et al., 1993). Diese Brückenbindungen versteifen die Cellulosemoleküle und halten sie zusammen. Der schematische Aufbau der Cellulose-Mikrofibrillen wurde bereits in Abbildung 20 dargestellt. Je nach Lokalisation in der Zellwand werden unterschiedliche Polymerisationsgrade und Strukturen ausgebildet. In der sekundären Zellwand werden parallel gerichtete Cellulose-Mikrofibrillen mit bis zu 15 000 Glucoseeinheiten je Cellulosemolekül eingelagert, wohingegen die Cellulose-Mikrofibrillen in der primären Zellwand nur Polymerisationsgerade von bis zu 5000 erreichen und nicht ausgerichtet vorliegen (BUNZEL und STEINHART, 2003). Diese Unterschiede wirken sich auf die Festigkeit der Zellwand in den unterschiedlichen Schichten aus, so dass sekundäre Zellwände eine höhere Festigkeit besitzen als primäre und die Cellulose schlechter extrahiert werden kann. Die komplexere Struktur und die schlechtere Extrahierbarkeit der Sekundärzellwände hat in der Folge einen wesentlichen Einfluss auf die ruminale Abbaubarkeit und die Verfügbarkeit der Nährstoffe aus dem Material.

In der Primärwand sind die Cellulose-Mikrofibrillen in eine Matrix aus Hemicellulosen, Pektinstoffen und Wandproteinen eingelagert (CARPITA und MCCANN, 2002), wobei die Hemicellulosen den zweiten Hauptbestandteil der Zellwand darstellen (PRAMOL, 2002).

Hemicellulose

Die Hemicellulosen stellen in ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihren physikalischen Eigenschaften ein heterogenes Gemisch von Zellwandpolysacchariden dar (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989), die aufgrund ihrer ähnlichen Struktur und physikalischen Eigenschaften zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Sie dienen vor allem als flexible Kittsubstanzen zwischen den starren Cellulosefibrillen und den Lignindomänen (GRUBER, 2004). Die Hemicellulosen sind ebenfalls aus Zuckermolekülen aufgebaut, im Unterschied zur Cellulose allerdings aus verschiedenen Zuckern. Außerdem weisen sie zusätzlich funktionelle Gruppen auf und können verzweigt und weniger lang sein (GRUBER, 2004). In Abbildung 24 (CARPITA und MCCANN, 2000) werden die verschiedenen Zuckerderivate, die in Hemicellulosen vorkommen können, aufgeführt.

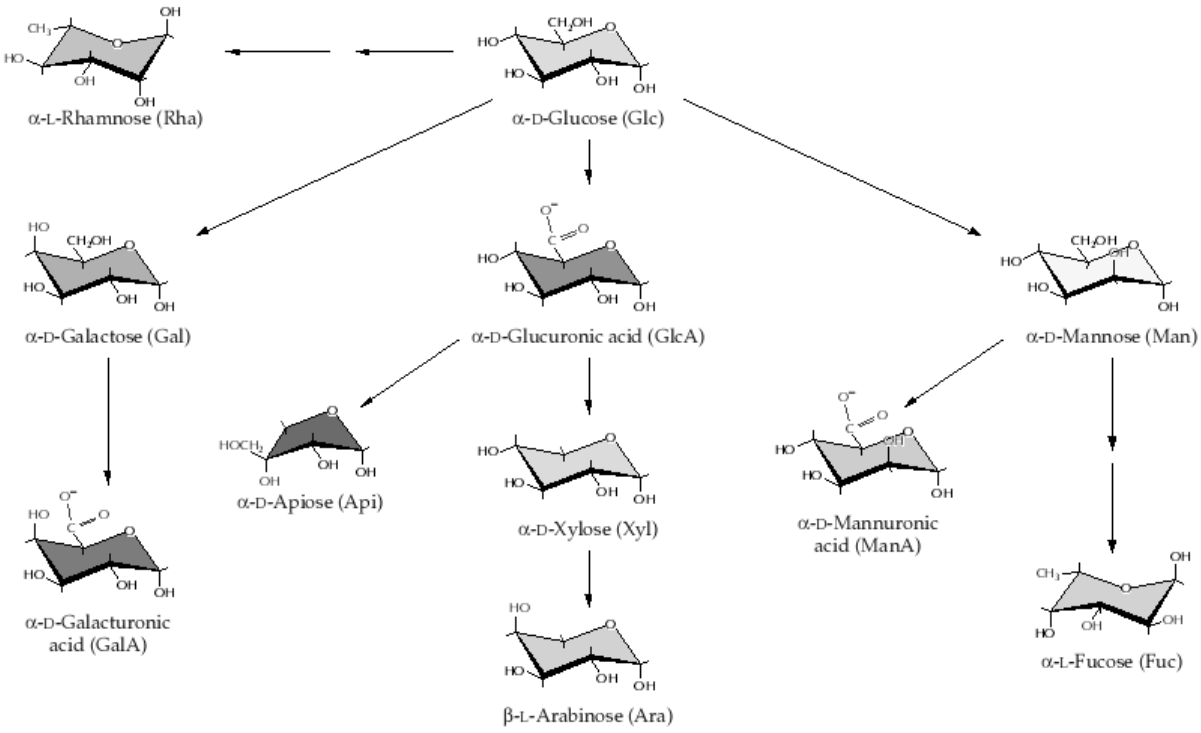


Abbildung 24: Zuckerderivate in Polyosen und ihre Umwandlungswege

Die an der Bildung von Hemicellulosen beteiligten Moleküle können in drei Untergruppen eingeteilt werden: Pentosen, Hexosen und Uronsäuren (THEANDER et al., 1993). Innerhalb der Gruppe der Pentosane sind in Futterpflanzen die Xylane, die aus Hauptketten von β-1,4-glycosidisch verknüpfter D-Xylose bestehen und an welche in unterschiedlichen Anteilen und Bindungsformen L-Arabinose, D-Glucose, D-Galaktose und D-Glucuronsäure gebunden sind, von herausragender Bedeutung (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). In monokotylen Pflanzen sind die bedeutendsten Hemicellulosen die Arabinoxylane sowie die Mixed-linked-β-Glucane (CARPITA, 1990).

Arabinoxylane machen ungefähr 15-20% der Trockenmasse von monokotylen Pflanzen aus (ASPINALL, 1982). Sie sind in der Lage, große Mengen von Wasser aufzunehmen und so der Brüchigkeit von Geweben vorzubeugen (IZYDOREZYK und BILIADERES, 1995). Abbildung 25 zeigt einen Ausschnitt eines Arabinoxylans, bestehend aus einer Hauptkette von β-1-4 verknüpften Xylopyranose-Einheiten, die an ihren O-2- und/oder O-3-Positionen mit Arabinofuranose substituiert sind.

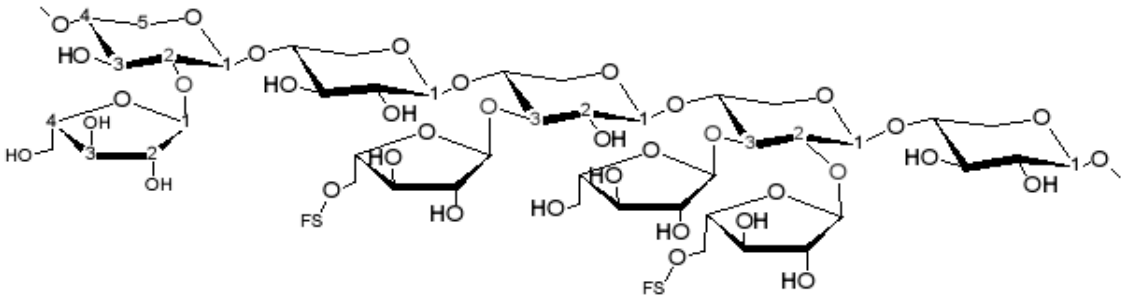


Abbildung 25: Ausschnitt eines Arabinoxylans (FS=Ferulasäure)

Einen kleineren Anteil an den Hemicellulosen haben die sauren Glucuronoarabinoxylane. Sie sind zusätzlich zu den Arabinose-Einheiten auch mit D-Glucuronsäure- und 4-O-Methyl-D-Glucuronsäure-Einheiten substituiert (BUNZEL und STEINHART, 2003). In Abbildung 26 ist nach CARPITA und MCCANN (2000) der Ausschnitt eines Glucuronoarabinoxylans dargestellt.

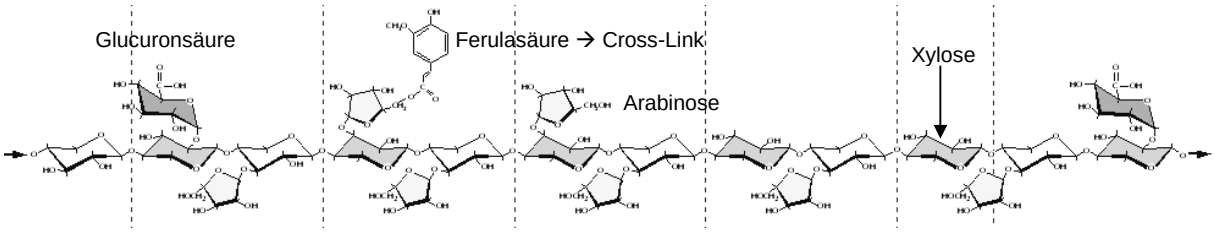


Abbildung 26: Glucuronoarabinoxylan

Mixed-linked-β-Glucane sind neben den Arabinoxylanen ein weiterer Bestandteil der Zellwandmatrix. Sie werden in wachsende Zellen eingelagert und sind somit in der Primärwand lokalisiert (CARPITA, 1990). Deren Vorkommen beschränkt sich außerdem nach bisherigen Erkenntnissen auf *Gramineen* (BUNZEL und STEINHART, 2003). Mixed-linked-β-Glucane bestehen aus β-D-Glucopyranose-Einheiten, die nur zu ca. 70% (1,4) gebunden sind. Ca. 30% der β-D-Glucopyranose-Einheiten sind 1,3-glykosidisch verknüpft, was die Regelmäßigkeit der Polysaccharidkette durchbricht (BUNZEL und STEINHART, 2003). In Abbildung 27 ist der Ausschnitt eines Mixed-linked-β-Glucans gezeigt.

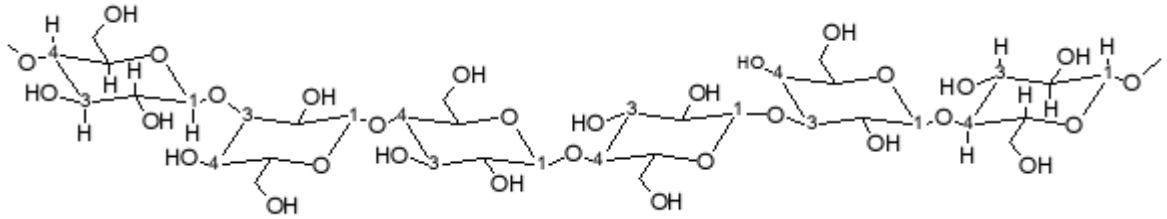


Abbildung 27: Ausschnitt eines Mixed-linked-ß-Glucans

Eine weitere Gruppe weniger verbreiteter Polysaccharide sind die Mannane (Gluco- und Galaktoglucomannane). Die Glucomannane bestehen aus linearen Ketten β-1,4-glycosidisch verknüpfter Glucose und Mannose. Bei den Galaktoglucomannanen treten zudem Seitenketten in Form von Galaktoseresten auf. Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 28 (CARPITA und MCCANN, 2000) die chemische Struktur eines Galaktoglucomannans in perspektivischer Form sowie als Abkürzungen dargestellt.

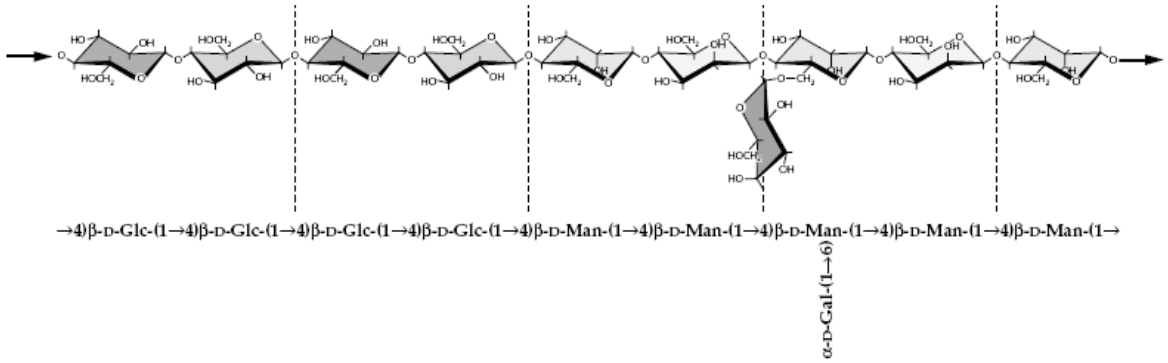


Abbildung 28: Galaktoglucomannan

Mannane können die Cellulose-Mikrofibrillen in manchen Primärzellwänden verbinden und sind in fast allen Angiospermen zu finden (CARPITA und MCCANN, 2000).

Pektine

Die dritte Gruppe der Zellwandpolysaccharide bilden die Pektinstoffe. Sie kommen hauptsächlich in der Mittellamelle aber auch in der Primärwand vor (siehe Abbildung 22), dienen als Kittsubstanz und bilden die gelartige Matrix der Zellwände (RICHTER, 1996). Ihr Gehalt in monokotylen Pflanzen ist geringer als in Dikotyledonen (BUNZEL und STEINHART, 2003). Die Pektinstoffe sind eine Gruppe sehr heterogener amorpher Polysaccharide, die sich in zwei Untergruppen einteilen lassen. Die Gruppe der Polyuronsäuren und die der neutralen Galaktose- und Arabinosepolysaccharide (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Die Gruppe der Polyuronsäuren, deren Grundbausteine D-Galaktopyranuronsäureeinheiten bilden, die über α-1,4-Bindungen miteinander verknüpft sind, stellen den größeren Anteil der Pektine dar (GIGER-REVERDIN, 1995). In Abbildung 29 ist ein Ausschnitt aus einer Galakturonsäurekette dargestellt.

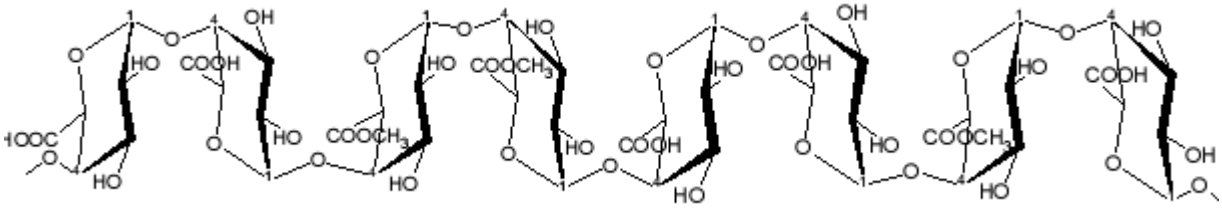
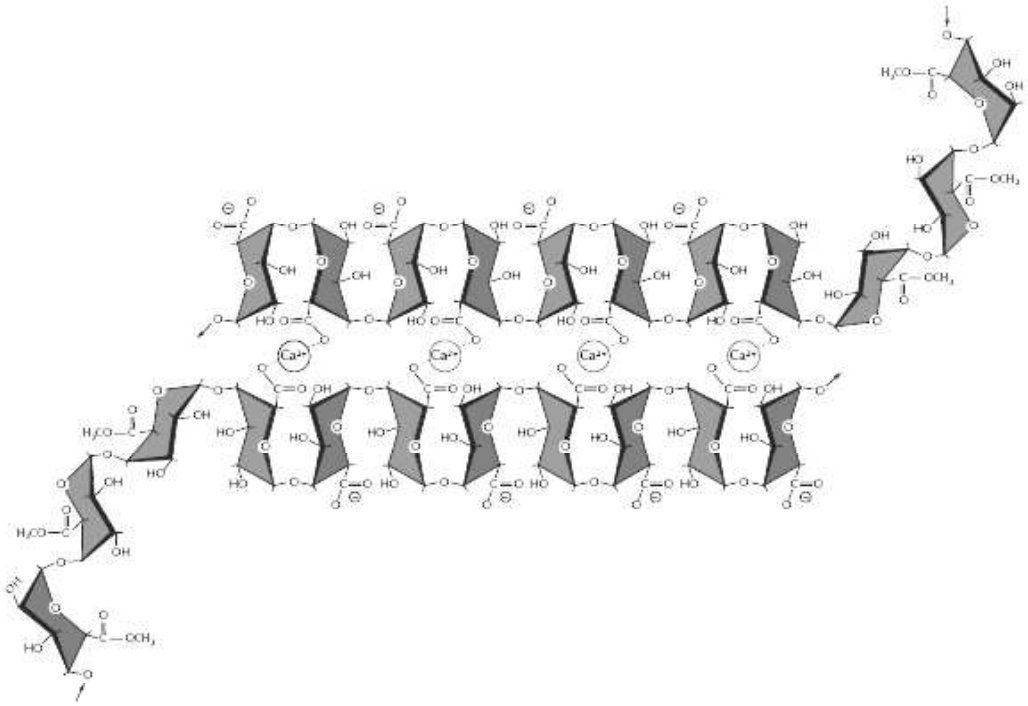


Abbildung 29: Homogalakturonan – Basiselement des Pektins

Die Polygalakturonmoleküle bestehen aus bis zu 200 Untereinheiten und können partiell durch Quervernetzung mit Ca^{2+}-Ionen zu sogenannten "Knotenpunkten" oder

„junction zones“ kondensiert sein (RICHTER, 1996). Dabei sind zwei mögliche Vernetzungstypen nachgewiesen (CARPITA und MCCANN, 2000). Zum Einen können sich Ca^{2+}-Brücken zwischen den Carboxylgruppen zweier antiparallel aneinandergelagerter Ketten bilden. Die zweite mögliche Bindungsform sind weniger starke Querbrückenbindungen zwischen Ca^{2+}-Ionen und parallel oder antiparallel aneinander liegenden Ketten. Die Vernetzungen der Polygalakturonsäureketten sind in Abbildung 30 nach CARPITA und MCCANN (2000) dargestellt.

(1)



(2)

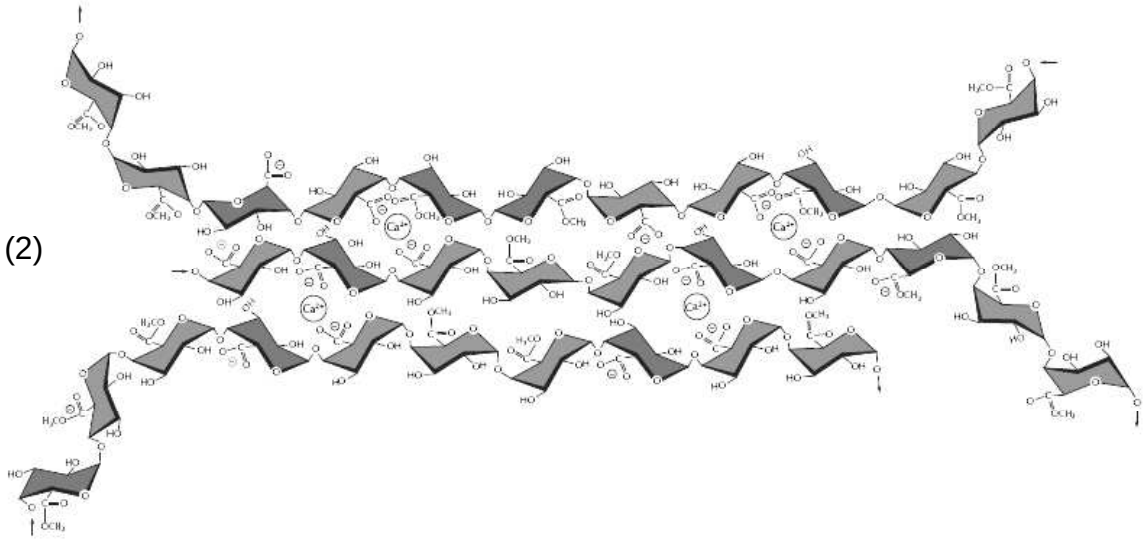


Abbildung 30: Polygalakturonsäureketten (1) in antiparalleler Vernetzung durch Ca^{2+}-Ionen und (2) in paralleler oder antiparalleler Vernetzung durch Ca^{2+}-Querbrücken

Auch kann die Galakturonsäurekette periodisch durch 1,2-Bindungen mit L-Rhamnose unterbrochen sein. Man spricht dann von einem Rhamnogalakturonan. Durch die Zwischenbindungen mit L-Rhamnose wird eine Verzweigung der Galakturonsäurekette möglich. Die Verzweigungen in der Kette durch L-Rhamnose treten nicht regelmäßig auf, sondern häufen sich in den sogenannten „hairy regions“. Im Gegensatz dazu werden die linearen Teile der Kette „smooth regions“ genannt (VINCKEN et al., 2003). In Abbildung 31 (CARPITA und MCCANN, 2000) ist ein Ausschnitt eines Rhamnogalakturonanmoleküls mit drei möglichen Gruppen von Seitenarmen dargestellt. Die Seitenverzweigungen bilden hier (1) α-1,5-verknüpfte Arabane, (2) unverzweigte β-1,4-verknüpfte Galaktane und (3) Arabinogalaktane.

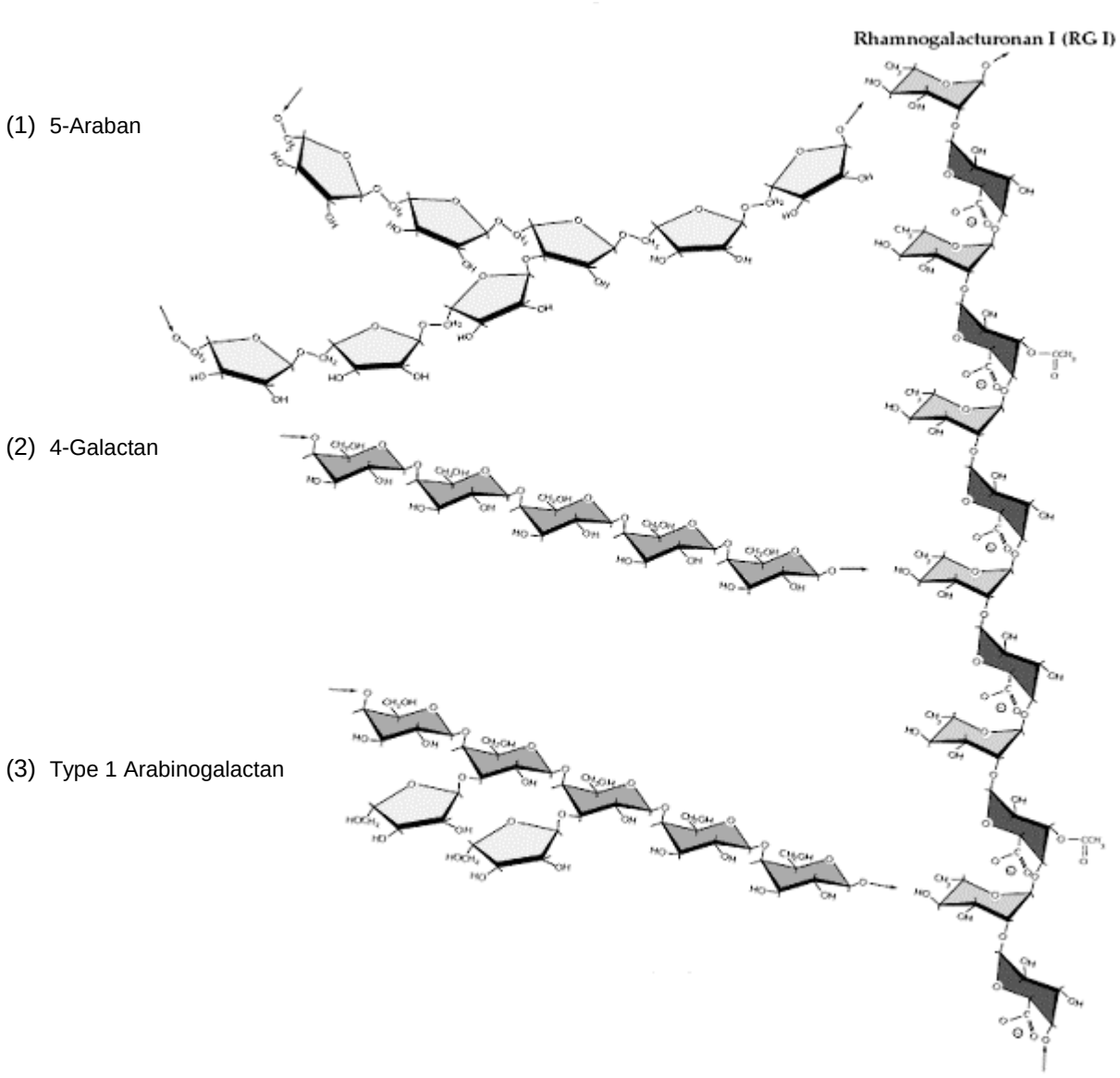


Abbildung 31: Rhamnogalakturonan I mit drei möglichen Typen von Seitenverzweigungen

Neben den Verzweigungen der Hauptkette gibt es einige weitere Merkmale des Pektinmakromoleküls. So sind die Hydroxylgruppen am C2- oder C3-Atom der Galakturonsäureeinheiten zu geringen Teilen acetyliert oder durch weitere Neutralzucker (wie D-Galaktose, D-Xylose, L-Arabinose, L-Rhamnose, D-Xylose, L-Fructose oder Glucuronsäure) substituiert (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Die Galakturonsäure-Einheiten können teilweise in Form ihrer Methylester oder in acetylierter Form vorliegen (BUNZEL und STEINHART, 2003). Der Grad der Veresterung und Acetylierung schwankt mit der Herkunft des Pektins.
Zur Gruppe der neutralen Galaktose- und Arabinosepolysaccharide gehören die Arabane, die Galaktane und auch die Galaktoarabane. Sie sind mit den Polyuronsäuren assoziiert. Abbildung 32 gibt nach CARPITA und MCCANN (2000) zusammenfassend einen Überblick über den schematischen Aufbau der verschiedenen Pektinstrukturen.

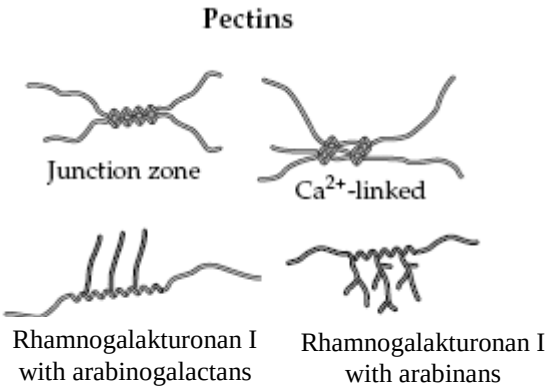
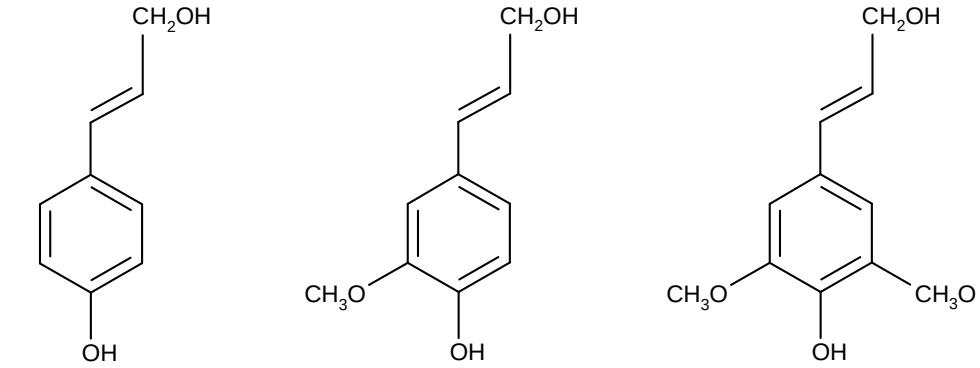


Abbildung 32: Mögliche Pektinstrukturen

Lignin

Der wichtigste Nicht-Kohlenhydrat-Bestandteil der Pflanzenzellwände ist das Lignin. Es stellt nach der Cellulose den zweithäufigsten Naturstoff der Erde dar und hat in der Zellwand als Inkrustierung zwischen den Cellulose-Mikrofibrillen vorwiegend Stützfunktion. Eine weitere wichtige Aufgabe des Lignins ist der Schutz gegen das Eindringen von Wasser in die Zellen. Außerdem schützt es das Gewebe gegen hydrolytischen und biologischen Abbau (GRUBER, 2004). Obwohl Lignin seit mehr als anderthalb Jahrhunderten Gegenstand intensiver Forschung ist, sind die nativen Ligninstrukturen nicht eindeutig geklärt. Allgemein akzeptiert ist jedoch, dass sich das Lignin aus drei eng verwandten Phenylpropanmonomeren (Monolignole), die

Produkte des Phenylpropanstoffwechsels darstellen, zusammensetzt (BUNZEL und STEINHART, 2003). Im Phenylpropanstoffwechsel werden die Monolignole aus den Phenolcarbonsäuren Ferulasäure, Sinapinsäure und *p*-Cumarsäure gebildet (siehe unten). Die Synthese der Monolignole erfolgt in den Golgi-Apparaten und im endoplasmatischen Reticulum des Cytoplasmas. Sie werden als β-Glucoside in Vesikeln aus dem Cytosol bis zur Mittellamelle transportiert, wo sie, beginnend in den Zellecken, zu Lignin polymerisiert werden (DONALDSON, 2001). In Abbildung 33 sind die Grundbausteine des Lignins in ihren Strukturformeln dargestellt.



p-Cumarylalkohol Coniferylalkohol Sinapylalkohol

Abbildung 33: Monolignole

Die drei Monomere sind zwar chemisch eng verwandt, liegen aber im Lignin in so unterschiedlichen Anteilen, Sequenzen und Bindungsformen vor, dass eine detaillierte Bestimmung unterschiedlicher Lignine anhand ihrer chemischen Zusammensetzung sehr schwierig ist (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Zudem bilden die Lignin-Polymere eine dicht vernetzte amorphe und hydrophobe Masse. Allerdings ist bekannt, dass das Lignin der Monocotyledonen (Gräser) durch einen hohen Anteil an *p*-Cumarylalkohol charakterisiert ist (PRAMOL, 2002).

In Abbildung 34 ist dargestellt, welche Bindungstypen in Lignin vorherrschen. Dies hängt auch vom Entwicklungsstadium des Lignins ab. So spielt zu Beginn des Lignifizierungsprozesses die β-β-Bindung eine wesentliche Rolle. In den späteren Entwicklungsstadien dominiert hingegen die β-O-4-Bindung zwischen den Ligninmonomeren mit ca. 50%. Zu einer Terminierung der Lignifizierung in der Zellwand kommt es möglicherweise durch die β-1-Bindung (BUNZEL und STEINHART, 2003).

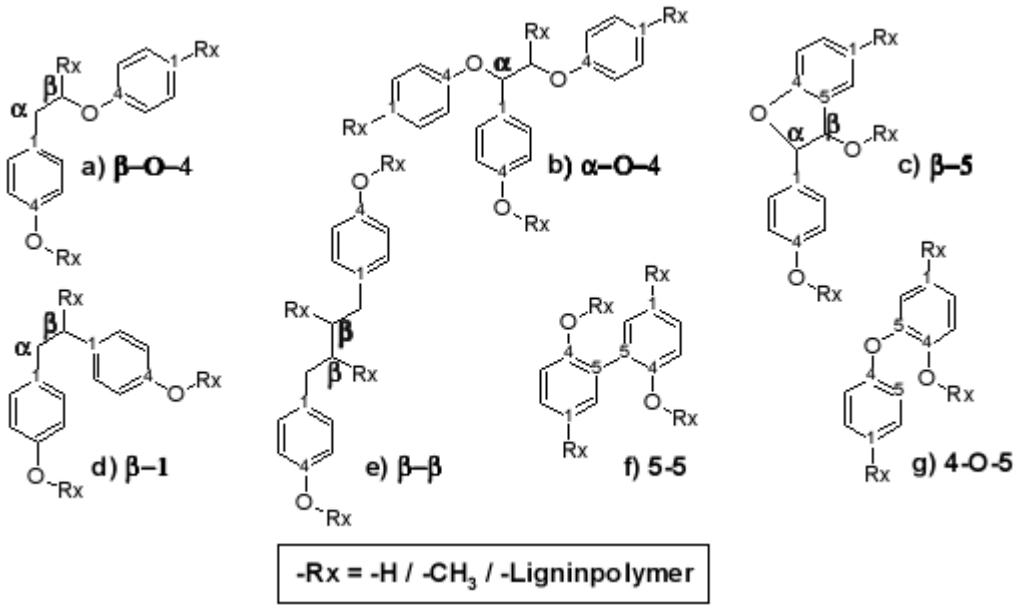


Abbildung 34: Bindungstypen im Ligninpolymer

Das Zellwandlignin ist aber nicht als isolierte Struktur zu betrachten. Es ist durch Phenolcarbonsäuren, vor allem Ferula- und *p*-Cumarsäure, über Ester- und Ether-Bindungen eng mit den Polysacchariden der Zellwand verknüpft (MÉCHIN et al., 2005).

Phenolcarbonsäuren

Des weiteren sind die phenolischen Säuren (unter anderem: *p*-Cumarsäure, Ferulasäure und Sinapinsäure) von Bedeutung, die einerseits für die Quervernetzung der hochkondensierten Phenylpropaneinheiten des Lignins mit den Zellwandkohlenhydraten (Cellulose und Hemicellulose) sorgen (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). Andrerseits dienen diese phenolischen Säuren ebenso als Ausgangssubstanzen zur Bildung der Ligninmonomere (siehe oben). Die Phenolcarbonsäuren werden auch als Hydroxyzimtsäuren bezeichnet, weshalb die beiden Begriffe in dieser Arbeit gleichwertig verwendet werden.
In Abbildung 35 ist die chemische Struktur der drei wichtigsten phenolischen Säuren dargestellt, während Abbildung 36 den vereinfachten Weg des Phenylpropanstoffwechsels zeigt.

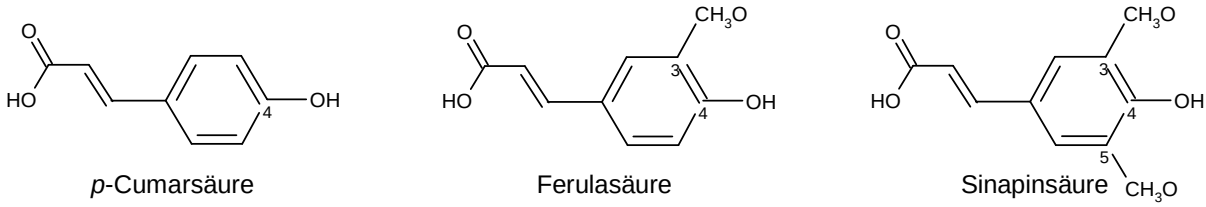
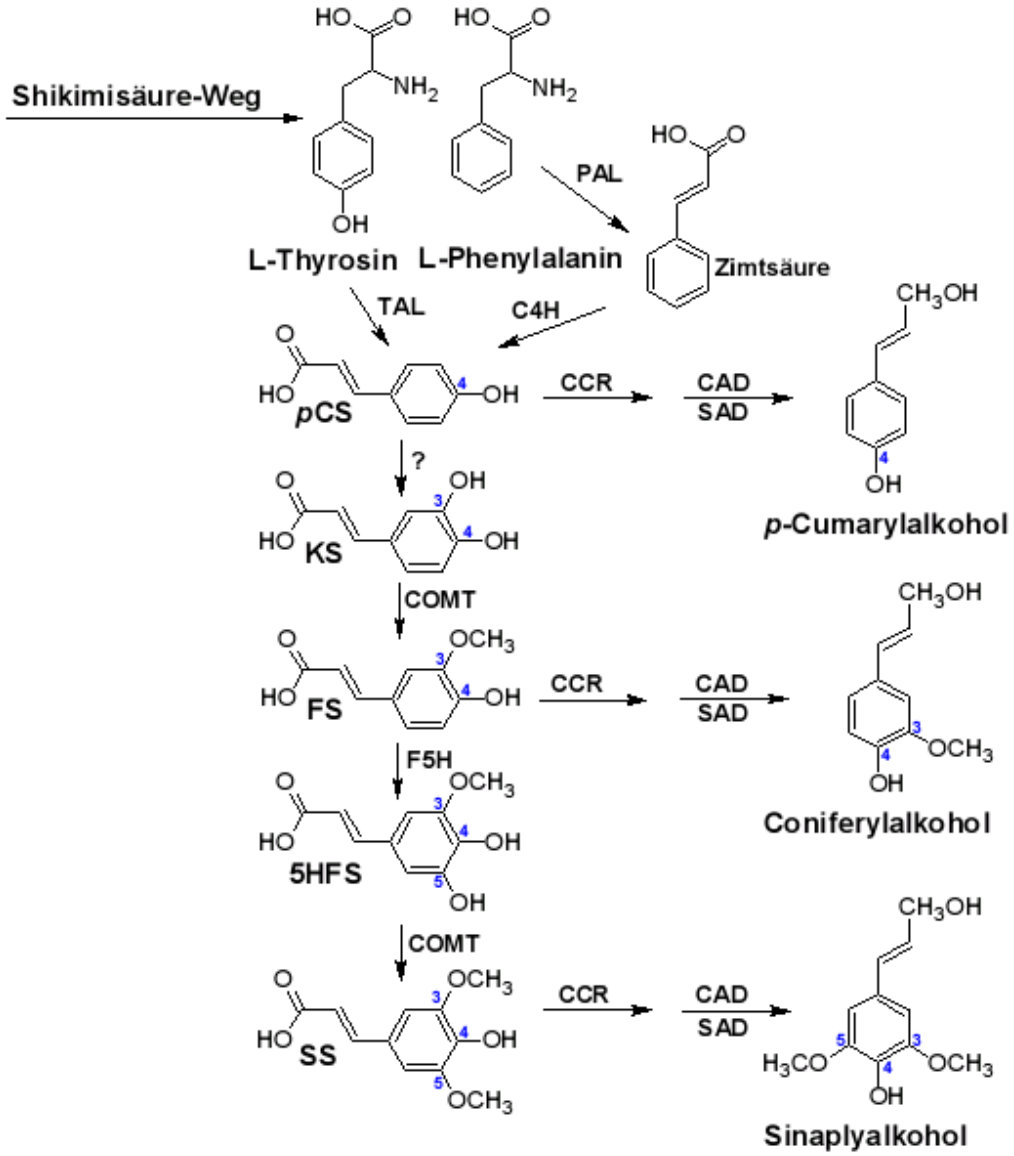


Abbildung 35: p-Cumarsäure, Ferulasäure und Sinapinsäure



5HFS = 5-Hydroxyferulasäure
C4H = Zimtsäure-4-Hydroxylase
CAD = Zimtalkoholreduktase
CCR = Zimtsäureester-CoA-Reduktase
COMT = KS-O-Methyltransferase
F5H = FS-5-Hydroxylase
FS = Ferulasäure
KS = Kaffeesäure
PAL = Phenylalanindesaminase
*p*CS = *p*-Cumarsäure
SAD = Sinapylalkoholdehydrogenase
SS = Sinapinsäure
TAL = Thyrosindesaminase

Abbildung 36: Phenylpropanstoffwechsel (vereinfacht)

Wie aus Abbildung 36 hervorgeht, kann aus *p*-Cumarsäure über die Umwandlung zu Kaffeesäure schließlich durch die Kaffeesäure-O-Methyltransferase die Ferulasäure gebildet werden. Ebenso kann die Ferulasäure über verschiedene Zwischenschritte zu Sinapinsäure umgewandelt werden, die wiederum über die Sinapinaldehydbildung zu Sinapylalkohol wird. Aus *p*-Cumarsäure kann *p*-Cumarylalkohol gebildet werden und aus Ferulasäure Coniferylalkohol. Somit ist die *p*-Cumarsäure eine wichtige Ausgangssubstanz für die Bildung von Lignin. Deshalb wird versucht, über die Gehalte an *p*-Cumarsäure und Ferulasäuren in Pflanzen einerseits Rückschlüsse auf die Ligningehalte und andrerseits auf die Menge und Art der Quervernetzungen der Zellwandkohlenhydrate in der Pflanze zu ziehen. Neben *p*-Cumarsäure und Ferulasäure konnten MARVIN et al. (1999) sieben weitere phenolische Säuren in Mais-Restpflanzen identifizieren. Die hier vorgestellten Säuren sind aber für die Abbauvorgänge und die Verfügbarkeit der Zellwandkohlenhydrate im Pansen von besonderer Bedeutung, da eine negative Korrelation zwischen dem Gehalt an *p*-Cumarsäure und Ferulasäure und der Verdaulichkeit der Mais-Restpflanze festgestellt wurde (MARVIN et al., 1999). Dies ist bei den übrigen phenolischen Säuren nicht der Fall, weshalb sie hier nicht mehr gesondert beschrieben werden sollen.

4.2 Allgemeine Hinweise zum Futterwert von Silomais

Der Futterwert von Silomais, der Eigenschaften wie Verdaulichkeit, Faser-, Lignin- und Proteinanteile in der Maispflanze berücksichtigt, ist ein äußerst wichtiges Kriterium zur Einschätzung einer Pflanze, die als Futterpflanze für den Wiederkäuer immer mehr an Bedeutung gewinnt. Silomais vereint in der Kombination von Kolben (= Stärke) und Restpflanze (= pflanzliche Gerüstsubstanzen) alle Vorteile, die ein für den Wiederkäuer günstiges Futter aufweisen kann. Mais liefert nicht nur einen hohen Beitrag zur Energieversorgung des Rindes, sondern ist durch die Restpflanze auch positiv für die Pansenmikroben, die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Werts im Pansen und damit eines günstigen Milieus für die Aktivität der Mikroorganismen. Darüber hinaus zählt Mais zum sogenannten Grundfutter, was zweierlei positive Auswirkungen hat. Zum einen liefert Grundfutter immer auch einen gewissen Anteil an Struktur und trägt so zur Wiederkäuergerechtheit der Ration und zur Gesunderhaltung des Tieres bei. Zum anderen ist es für den Landwirt positiv, da dieser das Grundfutter selbst erzeugen kann und somit nicht auf teure Zukaufsfuttermittel angewiesen ist.

In den heutigen Hochleistungsherden wird es trotz aller positiven Eigenschaften von Mais immer wichtiger, seinen Futterwert, der zum Teil ganz erheblich variiert (RUSSELL et al., 1992a; IRLBECK et al., 1993; FLACHOWSKY et al., 1993; TOLERA et al., 1998; SCHWARZ, 1998; ETTLE und SCHWARZ, 2003), richtig einzuschätzen, um so eine bedarfsorientierte und optimierte Fütterung gewährleisten zu können. Zur Beurteilung des Futterwertes ist die Kenntnis verschiedener Daten notwendig. So muss die chemische Zusammensetzung der Maispflanze (Trockenmassegehalt, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser und Stärke) bekannt sein (SCHWARZ, 1998; TOLERA und SUNDSTØL, 1999). Hier spielen die Zusammenhänge zwischen chemischer Zusammensetzung der Maispflanze und deren Abbaubarkeit eine besondere Rolle, da dies noch nicht hinreichend geklärt ist. Der Futterwert ist aber auch maßgeblich abhängig von der Genetik und dem physiologischen Reifegrad der Pflanzen (BARTLE et al., 1984; CONE und ENGELS, 1993; FLACHOWSKY et al., 1993; SCHWARZ, 1998; TOLERA et al., 1998; TOLERA und SUNDSTØL, 1999; TOLERA et al., 1999; ETTLE und SCHWARZ, 2003; KRUSE et al., 2005a und b; GRUBER und HEIN, 2006).

Genotyp und Futterwert

Frühere Arbeiten ermittelten, dass der Genotyp wesentlich die Menge und Art der Stärkeeinlagerung (PHILLIPPEAU et al., 1996) aber auch der pflanzlichen Gerüstsubstanzen (FLACHOWSKY et al., 1993) in der Maispflanze beeinflusst. Es wurde auch gezeigt, dass ein großer Anteil der genotypischen Variabilität der Maisverdaulichkeit in der Zellwandverdaulichkeit begründet liegt (DEINUM, 1988; AKBAR et al., 2002; LANGENHOFF, 2002; BARRIÈRE et al., 2003a) und deshalb in der Züchtung ein besonderes Augenmerk auf höhere Verdaulichkeiten der Zellwandbestandteile zu richten ist (GIVENS und DEAVILLE, 2001). Verglichen mit anderen Getreidearten gibt es bei der Mais-Restpflanze lediglich begrenzte Informationen darüber, wie deren Qualität von genetischen Faktoren beeinflusst wird (TOLERA et al., 1999; BARRIÈRE et al., 2003a und b). Wie sich sortenspezifische Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung und der Verwertbarkeit der Restpflanze im Verdauungstrakt des Wiederkäuers auswirken, ist noch weitgehend ungeklärt. Der Schwerpunkt des Interesses liegt hier sicherlich auf dem Pansen der Wiederkäuer, da dieser den Hauptfermentationsort der Zellwandkohlenhydrate darstellt (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989). In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage nach der quantitativen als auch qualitativen Abbaubarkeit der Strukturkohlenhydrate in der Restpflanze. Hierbei ist es wichtig, zu klären, welche Inhaltsstoffe der Restpflanze abgebaut werden, und wovon deren Abbaubarkeit abhängig ist. Auch die Frage, ob die chemischen Bestandteile der Restpflanze sich unmittelbar in der Abbaubarkeit der Trockenmasse der Restpflanze widerspiegeln, ist hier von Bedeutung.

Physiologische Reife und Futterwert

Aus dem Vorangegangenen wird deutlich, dass der Futterwert einerseits zwar vom Genotyp der Pflanzen abhängt, andererseits aber durch die physiologische Reife wesentlich beeinflusst werden kann, da insbesondere die Inhaltsstoffe der Maispflanze stark vom Erntezeitpunkt bestimmt werden (TOLERA und SUNDSTØL, 1999). Mit zunehmender Abreife ist ein Anstieg der Gesamttrockenmasse zu verzeichnen, der hauptsächlich von der vermehrten Stärkeeinlagerung in den Kolben herrührt. Der Trockenmassegehalt der Restpflanze steigt aber im Verlauf der Reifung auch an. Der relative Anteil an Zellwandbestandteilen (Restpflanze) in der Gesamtpflanze nimmt

jedoch ab (GIVENS et al., 1995; HEIN und GRUBER, 2003; GRUBER und HEIN, 2006). Aufgrund der Abreife verändert sich auch die Kohlenhydratzusammensetzung der Pflanze. So sinkt in der Restpflanze der Zuckergehalt, weil alle löslichen Kohlenhydrate in den Kolben transportiert werden (ETTLE und SCHWARZ, 2003). Gleichzeitig erhöht sich mit zunehmender Reife der Faseranteil (Lignin, Cellulose, Hemicellulose) und die ruminale Abbaubarkeit und die Verdaulichkeit sinken (BARTLE et al., 1984; CONE und ENGELS, 1993; GIGER-REVERDIN et al., 1991; TOLERA und SUNDSTØL, 1999; KRUSE et al., 2005a und b; GRUBER und HEIN, 2006). Dies kann wiederum einen gravierenden negativen Einfluss auf den Futterwert der Maispflanze haben und stellt somit ein Problem sowohl in der Fütterung als auch in der richtigen Beurteilung des Futterwerts von Silomais dar. Der Landwirt sieht sich also dem Konflikt gegenüber, einerseits eine möglichst lange Abreife der Maispflanze zuzulassen, um eine möglichst hohe Stärkeeinlagerung in den Kolben zu gewährleisten. Andrerseits darf die Restpflanze in ihrer Abbaubarkeit nicht zu stark sinken, um den Futterwert dadurch nicht negativ zu belasten (ETTLE und SCHWARZ, 2003). Wichtig wäre es von Seiten der Züchtung, die Abbaubarkeit der Restpflanze über einen möglichst langen Zeitraum in der Ernteperiode konstant zu halten, um so die Vorteile einer hohen Stärkeeinlagerung zu nutzen, ohne den Futterwert durch die Restpflanze zu beeinträchtigen. Außerdem ist danach zu streben, eine Verbesserung der Verdaulichkeit und der Energiekonzentration von Silomais durch eine erhöhte Verdaulichkeit der pflanzlichen Gerüstsubstanzen bei gleichzeitiger Erhöhung des Kolbenanteils in der Pflanze zu erreichen (SCHWARZ, 1998). WHITE et al. (1981) und FLACHOWSKY et al. (1991) konnten in Untersuchungen mit verschiedenen Getreidearten zeigen, dass mit einer höheren Qualität der Restpflanze nicht unbedingt ein geringerer Kornertrag einhergeht. Das würde bedeuten, dass ein Potenzial für die Züchtung vorhanden ist, auf eine höhere Restpflanzenqualität hin zu züchten, ohne Einbußen im Kornertrag hinnehmen zu müssen. Allerdings kann das nur gelingen, wenn sich die Forschung auf diesem Gebiet um mehr Verständnis und Wissen der Strukturkohlenhydrat- und Lignin-Synthesewege in den Pflanzenzellwänden und in der Zellwand-Biogenese bemüht. Nur so ist es für die Pflanzenzüchter möglich, die besten Zielgene für eine Verbesserung der Pflanzenverdaulichkeit zu identifizieren (BARRIÈRE et al., 2003a).

4.3 Möglichkeiten zur Beurteilung des Futterwerts von Silomais

Die Verwertung der pflanzlichen Nährstoffe durch das Tier setzt ihre Verdaulichkeit voraus. Deshalb wurden im Laufe der Zeit verschiedene Methoden entwickelt, um den Futterwert von Mais näher zu charakterisieren:

In vivo Methoden

Die klassische Methode ist der Verdauungsversuch. Dabei ist die Gesamtverdaulichkeit (Aufnahme im Futter – Ausscheidung im Kot) von der Abbaubarkeit im Pansen durch Mikroorganismen zu unterscheiden. Der klassische Verdauungsversuch erfasst entweder mittels Sammeltechnik oder mit Hilfe der Indikatormethode die verzehrte Futtermenge sowie die ausgeschiedene Kotmenge und berechnet daraus die Verdaulichkeit des Futtermittels (KIRCHGESSNER et al., 2008).

Die *mobile bag*-Technik bestimmt die Abbaubarkeit des Futtermittels im gesamten Verdauungstrakt mithilfe kleiner Nylonbeutel, in denen die Probe den Verdauungstrakt durchläuft. So können Rückschlüsse auf die Abbaukinetik sowie die Verdaulichkeit einzelner Stoffgruppen oder ganzer Futtermittel gezogen werden (MOORE-COLYER et al., 2002; MUPANGWA et al., 2003; PRESTLØKKEN und RISE, 2003; TŘINATČTVY et al., 2003;VAN RYSSEN und SCHROEDER, 2003; HYSLOP, 2006).

In situ Methoden

In situ-Abbaubarkeitsversuche mit pansenfistulierten Tieren beschränken sich auf die Bestimmung der Abbaubarkeit von Futtermitteln im Pansen. Durch den Einsatz von lebenden Tieren sind diese Methoden wesentlich aufwendiger als Labormethoden. Die *in situ*-Methode wird aber im Allgemeinen als Referenzmethode für die Beschreibung der Abbauvorgänge im Pansen betrachtet, besonders was die Bestimmung der Abbaukinetik von faserreichen Futtermitteln anbelangt (DEWHURST et al., 1995; DE BOEVER et al., 2002). HUHTANEN et al. (1995) konnten nachweisen, dass 94-96% des Faserabbaus im Pansen stattfindet. Für die Beurteilung der Restpflanzenqualität sind also die Vorgänge im Pansen von immenser Wichtigkeit. Dies ist auch der Grund, warum diese Methode als Referenzmethode in der vorliegenden Arbeit gewählt wurde. Die Klärung der Frage, wie sich die Zellwandbestandteile der Mais-

Restpflanze unter den Abbaubedingungen im Pansen verhalten, war hier von zentraler Bedeutung. Auch der Umstand, dass noch relativ wenig Forschungsergebnisse zum Thema der ruminalen Abbaubarkeit der Restpflanze von Silomais existieren, führte zur Anwendung des *in situ*-Verfahrens in der vorliegenden Arbeit.

Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass einige Vor- und Nachteile der *in situ*-Methodik existieren. Diese beeinflussen die Möglichkeit, eine quantitative Beschreibung von Rate und Ausmaß der Verdauung von Futtermitteln zu liefern (MERTENS, 1993). Die *in situ*-Technik hat beispielsweise den Vorteil, dass nicht nur der "Endpunkt" der Verdaulichkeit eines Stoffes beschrieben werden kann, sondern durch die verschiedenen Inkubationszeiten ein Überblick über die Abbaukinetik erreicht wird (DHANOA et al., 2000; SÜDEKUM, 2005). Die Abbaukinetik ist bei der Betrachtung der pflanzlichen Gerüstsubstanzen besonders interessant, da hier unter Umständen Differenzen gefunden werden, die Rückschlüsse auf die Zuchtarbeit mit Silomais zulassen könnten.
Außerdem kann durch eine mathematische Auswertung der Ergebnisse die effektive Abbaubarkeit des Futtermittels berechnet werden. Die effektive Abbaubarkeit stellt einen Wert dar, der sich auf eine bestimmte angenommene Passagerate des Futtermittels durch den Pansen bezieht. So können Futtermittel direkt verglichen und charakterisiert werden.
Es können aber bei der *in situ*-Technik auch einige Faktoren zu einer Differenzierung der Ergebnisse führen. Hier wäre unter anderem der tierspezifische Effekt zu nennen, der sich sowohl zwischen einzelnen Individuen als auch zwischen verschiedenen Spezies auswirken und so die Abbaubarkeitswerte beeinflussen kann (HUNTINGTON und GIVENS, 1995). Auch die Variation der Methodik spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle (SÜDEKUM, 2005). Hier sind vor allem die Probenvorbereitung und die Verfahrensweise mit den Beuteln nach der Inkubation als Quellen für mögliche Abweichungen in den Ergebnissen zu nennen (HUNTINGTON und GIVENS, 1995; VANZANT et al., 1998; BARRELL et al., 2000; BRODERICK und COCHRAN, 2000; COHEN und DOYLE, 2001). Abschließend bleibt anzumerken, dass die *in situ*-Technik durch die vielen potentiellen Fehlerquellen mehr als andere Methoden auf eine sehr genaue und standardisierte Arbeitsweise angewiesen ist (SÜDEKUM, 2005).
Trotz aller Vorteile, die Tierversuche für die Messung von Energiedichte und Verwertbarkeit der Futtermittel bieten, sind einige Nachteile nicht von der Hand zu weisen.

So sind Versuche am Tier immer mit viel Arbeitsaufwand verbunden und teuer. Auch sind Wiederholbarkeit und Standardisierung (siehe oben) oft ein Problem. Deshalb gibt es seit langem intensive Bemühungen, neue und verbesserte *in vitro*-Messmethoden zu etablieren.

In vitro Methoden

Hier ist die RuSiTec-Methode (Rumen Simulation Technique) am stärksten an den tierischen Organismus angelehnt. Sie stellt ein vereinfachtes Modell des Pansens dar, in dem seine ursprüngliche mikrobielle Besiedelung unter strikt kontrollierten Bedingungen über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt. So soll das Pansenmilieu künstlich nachgeahmt werden. Dies ermöglicht ein permanentes Monitoring der Fermentationsprozesse unter möglichst naturgetreuen Bedingungen (KRIVANOVA und ZELENAK, 1989).

Außerdem gibt es verschiedene andere *in vitro*- oder Labormethoden um Einblicke in die Abbaudynamik und Verdaulichkeit von Futtermitteln zu erhalten. Der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) bestimmt die Abbaubarkeit und im Weiteren die Verdaulichkeit des Futtermittels unter Einsatz von Pansensaft (siehe Kapitel 2.4.2.3). Zwar resultieren die exaktesten Ergebnisse was die Schätzung des Futterwerts über Labormethoden anbelangt aus Methoden in denen Pansensaft zur Anwendung kommt (COTTYN et al., 1986). Dies ist auf eine größere Sensitivität dieser Tests, beruhend auf der Anwesenheit von Mikroorganismen (und deren Enzymen) wie sie im Pansen auch vorkommen, zurückzuführen (MADRID et al., 1999). Jedoch gibt es dabei durchaus Probleme, was die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zwischen Laboratorien anbelangt (VAN DER MEER, 1983). Hierbei dürfte vor allem der verwendete Pansensaft ausschlaggebend sein, da er sowohl zwischen verschiedenen Tierarten als auch zwischen Individuen differiert und maßgeblich von der verfütterten Ration abhängig ist (WEISS, 1994; MADRID et al., 1999). Auch ist es kostenaufwendig und arbeitsintensiv, die für den Pansensaft benötigten fistulierten Tiere zu halten. Deshalb wurde in den letzten Jahrzehnten verstärkt nach Möglichkeiten gesucht, die Bestimmung des Futterwerts mit Hilfe enzymatischer Schätzmethoden zu verbessern (DE BOEVER et al., 1988).

Die Abbaubarkeit von Futtermitteln enzymatisch zu bestimmen ist prinzipiell über zwei Wege durchführbar (LÓPEZ et al., 1998). So kann erstens der unabgebaute

Rückstand gemessen werden. Zweitens besteht die Möglichkeit, die Fermentationsprodukte (Gase), die bei der Verdauung des Futtermittels entstehen, zu messen. Die in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz gekommene Cellulasemethode arbeitet mit einem künstlich hergestellten Enzymgemisch und vorherigem Aufschluss des Futtermittels mit HCl und bestimmt so die enzymlösliche organische Substanz (siehe Kapitel 2.4.2.3).
Abschließend bleibt festzuhalten, dass alle oben aufgeführten Methoden Vorteile, aber ebenso nicht zu unterschätzende Nachteile aufweisen. Deshalb wurde versucht, durch den Einsatz von *in situ*- und unterstützenden *in vitro*-Methoden einen möglichst genauen Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen der Methoden zur Bestimmung der Abbaubarkeit von Maiszellwänden zu erlangen.

4.4 Zur chemischen Zusammensetzung der Restpflanze und ihrer Abbaubarkeitscharakteristka in Abhängigkeit vom Genotyp

JUNG (2003) konnte zeigen, dass der Genotyp einen signifikanten Einfluss auf die Zellwandentwicklung der Maispflanze hat. Welche Auswirkungen durch den Genotyp somit auf die chemische Zusammensetzung der Restpflanze zu erwarten sind, soll im Folgenden geklärt werden.

4.4.1 Chemische Zusammensetzung in Abhängigkeit des Genotyps der Restpflanzen

Trockensubstanz

Der in der Praxis relevante TS-Bereich für Maissilage liegt zwischen 28 und 35% TS der Gesamtpflanze (JEROCH et al., 2008). Dies entspricht einem Reifestatus von Beginn der Teigreife bis Ende der Teigreife. KIRCHGESSNER et al. (2008) erwähnen zudem Maissilagen mit Kolbenanteil größer 55%. Hier steigt der TS-Gehalt der Ganzpflanze auf ca. 38%. Dies bedeutet, dass fast alle in dieser Arbeit erfassten Erntezeitpunkte (siehe Tabellen 16 und 17) sich durchaus in einem für die praktische Fütterung relevanten Bereich befanden, nämlich bei ca. 26-42% TS in der Ganzpflanze. Es war außerdem festzustellen, dass die später reifen Sorten bei

gleicher physiologischer Reife (über den Korn-TS-Gehalt bestimmt) geringfügig niedrigere TS-Gehalte in der Ganzpflanze aufwiesen. Dies kann als eindeutig genotypspezifischer Unterschied zwischen den Sorten gewertet werden, der allerdings nicht statistisch abgesichert werden konnte. Auch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im TS-Gehalt der Restpflanzen (siehe Abbildung 3). Hier war wiederum lediglich die Tendenz zu erniedrigten TS-Gehalten bei Reifegruppe III zu erkennen. Ähnliches fanden auch KRUSE et al. (2006), die in einer Simulationsstudie zum Einfluss der Witterung auf Ertrag und Futterqualität von Silomais ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den TS-Gehalten verschiedener Sorten und Reifegruppen bei gleichem physiologischen Reifestatus feststellen konnten.
Um über tatsächliche genotypische Unterschiede in den Inhaltsstoffen urteilen zu können, müssen die Sorten – wie in der vorliegenden Arbeit geschehen – mit gleichem physiologischen Reifestatus geerntet werden. Ansonsten ist zu hinterfragen, ob bei einem Vergleich unterschiedlicher physiologischer Reifestadien der Einfluss der Abreife auf die Inhaltsstoffe und im weiteren auf die Abbaubarkeit der Sorte mögliche genotypische Effekte überlagert.

Pflanzliche Gerüstsubstanzen

Die in dieser Arbeit bestimmten Zellwandbestandteile sollen nun in Abhängigkeit von den verwendeten Analysenverfahren aufgegliedert werden. Da im Rahmen dieser Arbeit vor allem die Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen von Interesse waren, wird aus den Analysenergebnissen der Weenderanalyse, nur der Rohfaser-Gehalt als Einflussparameter diskutiert.

Rohfaser

Der Vergleich zwischen den Sorten der vorliegenden Arbeit, die über drei Erntejahre getestet wurden, zeigte statistisch signifikante Differenzen der frühen (und mittleren) und der späten Reifegruppe (siehe Tabelle 25). Hier wiesen die späteren Sorten bei gleichem Reifestatus signifikant höhere Rohfasergehalte auf. Auch in einer Untersuchung von SCHWARZ et al. (1996a) wurden die Sorten verschiedener Siloreifezahlen im gleichen physiologischen Reifestatus geerntet. Bei einer Zuordnung der von SCHWARZ et al. (1996a) getesteten Sorten zu den in der eigenen Arbeit gebildeten

Reifegruppen ergaben sich für Reifegruppe I (S210-S220) Rohfasergehalte von ca. 33% wie dies auch in der eigenen Arbeit zu beobachten war. Unter Reifegruppe II (S230-S250) waren drei Sorten aus der Arbeit von SCHWARZ et al. (1996a) einzuordnen. Hier zeigte sich ebenso wie in der eigenen Arbeit eine leichte Erhöhung der Rohfasergehalte auf durchschnittlich 33,6%. Die zu Reifegruppe III (S260-S280) zugehörigen Sorten von SCHWARZ et al. (1996a) zeigten hingegen keine weitere Erhöhung der Rohfaser mehr. Sie blieb im Durchschnitt über zwei Sorten bei ca. 33%. Das deckt sich mit den eigenen Beobachtungen unter Einbeziehung aller beprobten Sorten (siehe Abbildung 5).

Detergentienanalyse

Tabelle 77 gibt eine Literaturübersicht über die Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen in Arbeiten anderer Autoren im Vergleich zu den eigenen Sorten.

Tabelle 77: Mittlere Trockensubstanzgehalte und Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen verschiedener Maissorten

Autor/Sorte	TM	NDF	ADF	ADL	CEL[1)]	HEM[2)]
Vorliegende Arbeit						
DK 233 (S220)	23.0	58.3^{AB}	36.0^{B}	5.15	30.9^{B}	22.2
DK 247 (S240)	22.3	57.2^{B}	35.7^{B}	5.32	30.4^{B}	21.4
DKc 2949 (S230)	23.1	57.9^{B}	35.9^{B}	4.90	31.0^{B}	22.0
Monumental (S260)	22.9	59.8^{AB}	38.4^{A}	5.26	33.1^{A}	21.5
DK 281 (S260)	23.1	61.6^{A}	39.4^{A}	5.43	34.0^{A}	22.2
DK 287 (S270)	21.7	61.9^{A}	39.1^{A}	5.22	33.9^{A}	22.7
Russel et al. (1992a)	[3)]					
A632xLH38 (früh)	43.0	45.7	23.4	3.5	22.3	19.9
B73xMo17 (mittel)	37.3	46.6	24.5	3.8	22.1	20.7
B73xPa91 (spät)	40.0	46.5	25.2	3.8	21.3	21.4
Cone und Engels (1993) (gemittelte Werte über vier Erntezeitpunkte)						
Eta Ipho (S100)	21,6	57.8	36.4	5.95	30.4	21.5
LG 11 (S270)	20,0	54.9	32.5	4.73	27.8	22.4

Fortsetzung Tabelle 77

Autor/Sorte	TM	NDF	ADF	ADL	CEL[1)]	HEM[2)]
Verbič et al. (1995)	[3)]		Gehalte Restpflanze			
Nadežda	31.9 ± 3.3	64.1	38.1	5.20	26.0	32.9
BC 272		71.5	41.4	5.40	30.1	36.0
BC 278		67.6	39.6	5.60	28.0	34.0
Dea		64.9	37.8	4.90	27.1	32.9
Mirna		67.7	41.3	6.10	26.4	35.2
BC 312		73.1	42.6	5.40	30.5	37.2
BC 318		69.8	39.2	4.80	30.6	34.4
Eva		68.6	39.7	5.40	28.9	34.3
Tovar-Gómez et al. (1997)	[3)]		Gehalte Restpflanze			
Ex 223 (N) (S300)	32.6	61.2	34.2	4.3	29.9	27.0
Ex 223 (bm_3) (S300)	30.0	44.2	22.6	1.2	21.4	21.6
Ex 234 (N) (S300)	28.1	53.6	34.1	4.6	29.5	19.5
Ex 234 (bm_3) (S300)	26.8	43.9	24.9	1.9	23.0	19.0
Adonis (N) (S300)	30.8	54.6	35.1	4.8	30.3	19.5
Adonis (bm_3) (S300)	29.2	53.4	29.3	3.1	26.2	24.1
Stefania (S400)	33.7	73.4	49.6	7.3	42.3	23.8
DK 265 (S260)	34.0	51.3	30.0	3.6	26.4	21.3
Gruber und Hein (2006)						
Fuxxol (S240)	27,0	66,6	39,2	4,6	34.6	27.4
Romario (S270)	24,7	66,2	38,8	4,6	34.2	27.4
Atalante (S290)	23,3	64,8	37,5	4,1	33.4	27.3
Kruse (2006)	[3)]		Gehalte Restpflanze			
Reifegruppe (früh)	33.5	69.5	40.0	6.9	33.0	28.0
Reifegruppe (mittelfrüh)	31.9	65.5	38.5	6.8	31.5	27.0
Reifegruppe (mittelspät)	28.7	62.5	37.5	6.7	30.5	25.5

[1)] Cellulose: ADF - ADL
[2)] Hemicellulose: NDF - ADF
[3)] T-Gehalt der Gesamtpflanze

Die NDF-Gehalte unterschieden sich in der vorliegenden Arbeit wesentlich mit den Reifegruppen der Sorten. Dies konnten auch RUSSEL et al. (1992) beobachten. Hier war der NDF-Gehalt bei der späteren Sorte höher, obwohl der T-Gehalt niedriger war als bei der frühen Sorte. FLACHOWSKY et al. (1993) fanden in einer Studie mit zwei

verschiedenen Mais-Genotypen (Bezemara, S190 und Boss, S250) klare genotypbedingte Unterschiede in Bezug auf die Gehalte an NDF und ADF im Material, aber auch in der ruminalen Abbaubarkeit der Restpflanze nach 48 h Inkubationszeit (siehe Kapitel 4.3.2). Hier zeigten sich aufgrund des gewählten Probenahmeschemas (beide Sorten wurden zum gleichen Zeitpunkt geerntet) höhere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen bei der physiologisch älteren, nämlich der früher reifen Sorte. Jedoch waren die Unterschiede in den Zellwandbestandteilen nicht so groß, wie zu vermuten gewesen wäre, nachdem die beiden Sorten sich deutlich in ihrer Reifezahl unterschieden (Bezemara: 71,2% NDF, 49,1% ADF, 8,62% ADL; Boss: 70,3% NDF, 46,1% ADF, 8,70% ADL). Dies spricht wiederum dafür, dass die spätere Sorte im Vergleich zur frühen bei gleicher physiologischer Reife wohl ebenso wie die Sorten in der vorliegenden Arbeit einen erhöhten Zellwandgehalt gehabt hätte. SCHWARZ und ETTLE (2000) konnten überdies eine enge Beziehung zwischen Trockenmasse- und NDF-Gehalt in der Restpflanze nachweisen.

Auch bei TOVAR-GÓMEZ et al. (1997) wies die frühere Sorte DK 265 (S260) im Gegensatz zu den späten Sorten (S300 – S400) einen viel geringeren NDF-Gehalt im Restpflanzenmaterial auf (siehe Tabelle 77). In dieser Arbeit zeigte sich außerdem der Einfluss des Genotyps auf die Inhaltsstoffe sehr gut. So hatten hier die bm_3-Hybriden wesentlich geringere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen als ihre normalen Partner-Hybriden. Allerdings wiesen die bm_3-Hybriden auch durchwegs niedrigere T-Gehalte auf. MECHIN et al. (2000) fanden in einer Studie mit 16 Mais-Linien bei gleichem physiologischen Reifestatus einen signifikanten Einfluss des Genotyps auf die Gehalte an NDF in der Restpflanze.

Auch in Untersuchungen mit 22 Inzuchtlinien konnten MÉCHIN et al. (2005) erhebliche Unterschiede in den NDF-Gehalten der Sorten feststellen, die von 45,8 bis 59,7% NDF in der Trockensubstanz variierten. Bei den von MÉCHIN et al. (2005) untersuchten Sorten waren also Typen dabei, die wesentlich geringere NDF-Gehalte aufwiesen, als das in den Sorten der vorliegenden Arbeit der Fall war (siehe Tabelle 78). ZEIN (2007) fand in seiner Arbeit, in der er zwei verschiedene Linien (Flint line und Dent line) untersuchte, unterschiedliche NDF-Gehalte von 54,7 bzw. 58,2%, die genotypischen Ursprungs waren.

In der eigenen Untersuchung ergaben sich außerdem relativ große Standardabweichungen im NDF-Gehalt bei den späteren Reifegruppen im Vergleich zu den frühen (siehe Tabelle 27 – Mittelwerte über drei Erntejahre). Das deutet darauf hin,

dass der NDF-Gehalt in den später abreifenden Sorten deutlicher vom Erntejahr und somit von der Witterung beeinflusst wurde als in den frühreifen. Diese schienen stabiler zu sein was die Witterungsverhältnisse anbelangt.

Zwar bildet der NDF-Gehalt unter Umständen nicht alle Zellwandbestandteile ab (z.B. können nicht-lignifizierte Xylane und Pektine in Lösung gehen). Für eine generelle Beurteilung des Futterwerts kann der NDF-Gehalt der Pflanze meist trotzdem herangezogen werden, da Polysaccharide, die in Lösung gehen können, schnell und vollständig im Pansen abgebaut werden. Sollen aber die Eigenschaften des Futters charakterisiert werden, um eine mögliche genetische Modifikation der Pflanze zu realisieren, so ist sorgfältig zu überdenken, welche Meßmethoden für die Pflanzenzellwände geeignet sind (JUNG und ALLEN, 1995). Der Gehalt an NDF ist aber trotzdem ein wichtiger Faktor, der die Abbaubarkeit der Restpflanze wesentlich beeinflusst (VERBIČ et al., 1995). Dies wird in Kapitel 4.3.2 noch eingehend diskutiert werden.

Sehr deutliche genotypisch bedingte Unterschiede zwischen normalen und bm_3-Hybriden ergaben sich auch in den ADF-Gehalten der Sorten (siehe Tabelle 77). Hier waren aber im Wesentlichen die gleichen Tendenzen zu beobachten wie in den NDF-Gehalten, weshalb die ADF-Gehalte nicht mehr gesondert erörtert werden sollen.

Monomere der Zellwandpolysaccharide

Laut JUNG und DEETZ (1993) ist der NDF- und ADF-Gehalt der Pflanzen stark korreliert mit der Genaktivität für die Cellulose-, Xylan- und Ligninsynthese. Um nun genauere Aussagen über die Gehalte und den Einfluss der Zellwandpolysaccharide machen zu können, wurden die in der Arbeit von DOBBERSTEIN (2008) untersuchten Monosaccharide den Polysacchariden der Maiszellwand zugeordnet.

In Maiscoleoptilen bestehen die sehr jungen Maispflanzen in absteigenden Anteilen aus Arabinoxylanen, Cellulose, mixed-linked-β-Gucanen sowie aus geringen Mengen an Pektinen und Xyloglucanen (CARPITA, 1990). Diese Angaben sind vergleichbar mit Untersuchungen von MCDOUGALL et al. (1996) an primären Zellwänden. Mit fortschreitender Zellentwicklung und der Ausbildung einer sekundären Zellwand steigt der Gehalt von Cellulose in der Pflanze und als Hemicellulosen werden verstärkt Arabinoxylane eingelagert (JUNG, 1997). Auf dieser Grundlage wurden die in der

Analytik freigesetzten Monosaccharide den entsprechenden Polysacchariden zugeordnet. Die Maispflanzen der vorliegenden Arbeit waren alle älter als vier Monate und hatten somit sekundäre Zellwände bereits ausgebildet. Daher wurde der gesamte Gehalt an Glucose hauptsächlich auf die Freisetzung aus enthaltener Cellulose zurückgeführt (siehe MENT, 2006). Die Freisetzung von Glucose aus mixed-linked-β-Gucanen und aus Xyloglucanen konnte hier vernachlässigt werden.

Verglichen mit Untersuchungen von GOTO et al. (1994) und GRABBER et al. (1998) wiesen die Sorten der vorliegenden Arbeit relativ hohe Gehalte an Glucose-Monomeren auf. Diese lagen bei um die 35% der T des Materials. MONTROSS und CROFCHECK (2004) fanden in der von ihnen untersuchten Restpflanze ebenfalls Gehalte von ca. 35% Glucose, während GRABBER et al. (1998) Werte von ca. 28% und GOTO et al. (1994) von 29,4% feststellten. JUNG (2003) zeigte in einer Untersuchung an Maisinternodien, dass Glucose (in Form von Cellulose) am meisten von allen Monomeren im Material eingelagert wurde. In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich eine Tendenz zu höheren Glucosegehalten in den frühen Sorten (ca. 36%) im Vergleich zu den späteren (ca. 34%), die genotypischen Ursprungs war (DOBBERSTEIN, 2008). ABEDON et al. (2006) verglichen die Zellwandzusammensetzung von normalen Mais-Hybriden mit Cg1-Mutanten. *Corngrass1* (Cg1) ist eine Mutation, die die juvenile (vegetative) Wachstumsphase der Pflanze verlängert. Dadurch ergaben sich große Unterschiede im Zellwandgehalt und in der Zellwandzusammensetzung. So zeigte der Wildtyp einen Gesamtgehalt an Zellwandmaterial von 57,0%, der um 6% höher lag als in der Cg1-Hybride (51,0%). Auch die Zusammensetzung der Zellwände variierte deutlich. Die Glucosegehalte waren mit 28,3% im Wildtyp deutlich niedriger als in der Mutante (30,8%). Die Arbeit von GOTO et al. (1994) über bm_3- und deren Partnerhybriden lieferte andere Ergebnisse. Die Autoren stellten in den bm_3-Hybriden weniger Cellulose (Glucose) aber höhere Hemicellulosegehalte (Xylose, Arabinose) fest als in den normalen Hybriden. Die Gehalte waren hier 26,8% Glucose für den bm_3-Typ und 29,4% für den Wildtyp (siehe oben).

Das Vorkommen von Arabinose und Xylose wurde auf die Hydrolyse von Arabinoxylanen zurückgeführt, die den überwiegenden Teil der Hemicellulosen in Gramineen stellen (GAILLARD, 1965; ASPINALL, 1982). Xylose und Lignin werden in der Zellwand in weitaus geringeren Mengen als Glucose eingelagert (JUNG, 2003). Die Xylosegehalte in der Arbeit von GRABBER et al. (1998) lagen um die 14% im Material. Dies

deckt sich sehr gut mit den Werten aus der eigenen Arbeit. Hier waren die Werte im Mittel auch bei ca. 14%. Etwas höhere Werte von 18,5% Xylose in Maisinternodien wurden von GARDNER et al. (1999) berichtet.

Die Xylosegehalte wiesen keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten auf. Jedoch differenzierten sich die Reifegruppen insofern voneinander, als dass die Tendenz zu verringerten Xylosegehalten von Reifegruppe I zu Reifegruppe III erkennbar war (siehe Abbildung 6). Dies konnte jedoch nicht statistisch abgesichert werden. GOTO et al. (1994) fanden in den Xylosegehalten nur geringe Unterschiede von 12,0% in den normalen und 12,7% in den bm_3-Hybriden. Zwar war der Unterschied zwischen den Hybriden bei GOTO et al. (1994) von der Tendenz her gegenläufig zu anderen Untersuchungen, aber nicht sehr stark ausgeprägt, da die Hybriden sich nur um 0,7% unterschieden. Bei ABEDON et al. (2006) fand sich in den Xylosegehalten eine stärkere Differenzierung der Genotypen. Hier wies der Wildtyp 17,8% auf, während die Cg1-Mutante nur 12,6% Xylose in den Zellwänden eingelagert hatte. Dies zeigt sich unter der Berücksichtigung, dass die Mutation die adulte Entwicklung (sekundäre Zellwandbildung) verzögert, in Einklang mit den Ergebnissen aus dieser und der Arbeit von DOBBERSTEIN (2008) von verringerten Xylosegehalten in den später reifen Sorten. Allerdings ist bei normalen Hybriden der Unterschied nicht so ausgeprägt.

Die Ergebnisse zu Arabinose-, Galactose-, Mannose- und Uronsäurengehalten von Mais sind in der Literatur unterschiedlich. So stellten GRABBER et al. (1998) sehr hohe Gehalte von 16,8 (Arabinose), 7,5 (Galactose) und 8,3% (Uronsäuren) fest. GOTO et al. (1994) fanden in den von ihnen untersuchten Genotypen wesentlich niedrigere Gehalte. Hier lagen die Arabinosewerte bei 1,73% für die normale und 2,17% für die bm_3-Hybride. Auch in der vorliegenden Untersuchung fanden sich deutliche Unterschiede zwischen den Genotypen. Die frühen Sorten hatten mit ca. 2% Arabinose einen signifikant höheren Gehalt als die späten mit ca. 1,5% (DOBBERSTEIN, 2008). ABEDON et al. (2006) konnten Arabinosegehalte von 4,85 für die Cg1-Mutante und 3,92% für den Wildtyp feststellen. Die Werte lagen zwar etwas höher, der gerichtete Unterschied zwischen den Genotypen war jedoch ebenfalls vorhanden. Die Mannosegehalte unterschieden sich bei GOTO et al. (1994) nicht zwischen den Genotypen. In der eigenen Arbeit fand sich wiederum eine gerichtete signifikante Verringerung der Mannosegehalte in den spätreifen Sorten. Jedoch bewegten sich Mannose- und auch Galactosegehalte im Material in einem marginalen Bereich von

unter 2% (DOBBERSTEIN, 2008). Die Uronsäuren zeigten in der vorliegenden Untersuchung keine Differenzierungen zwischen den Genotypen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von GOTO et al. (1994), die ebenfalls keine Unterschiede zwischen beiden Hybriden feststellen konnten.

Lignin

Da Lignin im Allgemeinen als der bedeutendste Faktor in Bezug auf die Restpflanzenqualität von Mais betrachtet wird, gibt es hierzu eine Fülle von Untersuchungen. Zur Bestimmung von Lignin im Zellwandmaterial können verschiedene Methoden herangezogen werden. Die drei meistgenutzten Ligninbestimmungs- Methoden wurden auch in dieser Arbeit verwendet, nämlich die Bestimmung des sauren Detergentien-Lignins (ADL), des Klason-Lignins (KL) und des acetylbromidlöslichen Lignins (ABSL). Zwischen den Methoden gibt es Unterschiede was die Ergebnisse anbelangt. So unterschätzt die ADL die Ligningehalte in Gräsern gravierend (JUNG und DEETZ, 1993; HATFIELD et al., 1994). JUNG et al. (1997) konnten aber in einer Untersuchung mit 36 Raufutterarten zeigen, dass Klason-Lignin und ADL sich zwar in der absolut gemessenen Höhe im Material deutlich unterschieden. Die Korrelation zwischen den beiden Methoden war jedoch signifikant und mit r= 0,75 sehr eng. IIYAMA und WALLIS (1990) fanden zwischen acetylbromidlöslichem Lignin und ADL sogar eine noch bessere Korrelation von r= 0,86. Auf eine Berechnung der Korrelationen zwischen den Bestimmungstechniken wurde in dieser Arbeit verzichtet, da hier nicht der Methodenvergleich im Vordergrund stehen sollte, sondern die Frage, ob die drei Methoden in gleicher Weise in der Lage sind, die genotypischen Besonderheiten der Sorten abzubilden.

Tatsächlich sind die sortenspezifischen Unterschiede im Lignin-Gehalt nicht sehr groß. Das geht aus der Literatur hervor (IRLBECK et al., 1993; GRABBER et al., 1998; VALENTIN et al., 1999; MÉCHIN et al., 2000; MARITA et al., 2003; MÉCHIN et al., 2005; ABEDON et al., 2006) und konnte auch in der eigenen Arbeit bestätigt werden. Hier wurden in den ADL-Gehalten keine Unterschiede zwischen den Reifegruppen gefunden. Die KL und die ABSL-Bestimmungen unterschieden sich davon etwas, da in diesen beiden Bestimmungen wiederum Tendenzen zu verringerten Gehalten an Lignin in der späten Reifegruppe zu beobachten waren (siehe Abbildung 6). Diese konnten jedoch nicht statistisch gesichert werden. Wurden allerdings *brown midrib-*

Hybriden in die Untersuchungen mit einbezogen, zeigten sich verstärkte Unterschiede zwischen den Genotypen. Die *bm*-Mutation hatte einen beachtlichen Effekt auf die Verringerung der Ligningehalte in den Pflanzen (EL-TEKRITI et al., 1976; CHERNEY et al., 1991; BARRIÈRE und ARGILLIER, 1993; GOTO et al., 1994; MÉCHIN et al., 2005). BARRIÈRE et al. (2003a) konnten in einer Arbeit über normale Sorten und deren bm_3-Counterparts einen hochsignifikanten Einfluss des Genotyps auf die Gehalte an ADL in den Maispflanzen zeigen (siehe auch Kapitel 4.4.2). Hier fand sich dieser Effekt allerdings nicht nur unter der Berücksichtigung von bm_3-Hybriden sondern auch zwischen normalen Hybriden unterschiedlicher Genotypen. Die von BARRIERE et al. (2003a) untersuchten Sorten wiesen Gehalte an ADL in der NDF von 3,2 bis 7,7% für die Untersuchungen unter Berücksichtigung der bm_3-Hybriden und von 5,2 bis 7,7% für die Untersuchung der normalen Sorten auf. Die eigenen Sorten hatten ADL-Gehalte von 4,1 bis 7,1%, die sich jedoch, wie oben schon erwähnt, nicht signifikant unterschieden.

Obwohl die negativen Effekte der Lignifizierung von Pflanzenzellwänden nicht zu bestreiten sind, stellt sich dennoch nach diesen Ergebnissen die Frage, inwieweit die Variabilität verschiedener Genotypen in der Futterverwertbarkeit allein durch die Ligningehalte erklärt werden kann.

So wurde auch schon festgestellt, dass nicht alle Lignintypen in gleichem Ausmaß die Zellwandverdaulichkeit beeinflussen (CHESSON, 1993; JUNG und DEETZ, 1993) und auch die Vernetzungen des Lignins mit anderen Zellwandkomponenten einen wesentlichen Einfluss auf die Abbaubarkeit der Zellwände ausüben. Diese Faktoren sollten wenn möglich in Betrachtungen über die Verbesserung der Zellwandverdaulichkeit der Restpflanzen mit einbezogen werden.

Phenolcarbonsäuren

Die Phenolcarbonsäuren heißen auch Hydroxyzimtsäuren, weshalb die beiden Begriffe im Folgenden äquivalent verwendet werden.

In der vorliegenden Arbeit konnten eindeutige Unterschiede in den Gehalten an Ferula- und *p*-Cumarsäuren zwischen den einzelnen Sorten festgestellt werden (DOBBERSTEIN, 2008). So zeigte sich eine Tendenz der späteren Sorten zu einem signifikant ($p<0.05$) erhöhten Gehalt an Ferulasäuren im Vergleich zu den frühen Sorten (frühe Sorten: 0,54%; späte Sorten: 0,70%). PROVAN et al. (1997) fanden in

den von ihnen untersuchten Maiszellwänden Gehalte an Ferulasäuren von 1,17%. Diese lagen somit etwas höher und stiegen in den bm_3-Hybriden noch an (1,27%). Einen Anstieg der Gehalte in *bm*-Hybriden im Vergleich zum Wildtyp stellten auch GOTO et al. (1994), MARITA et al. (2003) sowie BARRIÈRE et al. (2004) in ihren Arbeiten fest. LAM et al. (1996) konnten dies hingegen nicht ermitteln. Sie fanden in den normalen Hybriden etwas höhere Ferulasäuren-Gehalte als in den bm_3-Hybriden (normal: 0,81%; bm_3: 0,70%). Dies war auch bei MÉCHIN et al. (2000) der Fall. Hier wiesen die beiden normalen Hybriden im Vergleich zu den beiden bm_3-Partnern ebenfalls etwas höhere FS-Gehalte auf (normal: 0,19 bzw. 0,23%; bm_3: 0,18 bzw. 0,20%). Bei MÉCHIN et al. (2000) gingen allerdings nur die veretherten Ferulasäuren in die Untersuchung mit ein, weshalb die Gehalte hier wesentlich geringer ausfielen als in den übrigen Studien. SAULNIER et al. (1999) zeigten in aus Maiskleie isolierten Zellwänden große Mengen an Ferulasäuren von insgesamt 3,94% (Ferula- und Dehydrodiferulasäuren). Außerdem konnten sie aus der Strukturanalyse der gefundenen Dehydrodiferulasäuren den Beweis erbringen, dass die Heteroxylane in Mais-Zellwänden über cross-links mit diesen Strukturen verknüpft sind.

Den Arbeitsgruppen BUNZEL et al. (2003, 2005 und 2006) sowie FUNK et al. (2005) ist es außerdem gelungen, nicht nur die bekannten Dehydrodimere der Ferulasäure in Maiszellwänden sondern auch Tri- und Tetramere dieser Hydroxyzimtsäure nachzuweisen. Dies unterstreicht nach BUNZEL et al. (2007a und 2007b) die wichtige Rolle der Ferulasäurenoligomere als Quervernetzungskomponenten in Pflanzenzellwänden und folglich in Futtermitteln, die vom Zellwandgehalt dominiert werden.

In den Gehalten an *p*-Cumarsäuren zeigten sich ebenfalls große Unterschiede zwischen normalen und bm_3-Hybriden (GOTO et al.; 1994; LAM et al., 1996; PROVAN et al., 1997; MÉCHIN et al., 2000; MARITA et al., 2003; MÉCHIN et al., 2005). Allerdings wirkt sich die bm_3-Mutation verringernd auf die Gehalte der *p*-Cumarsäuren in den Pflanzenzellwänden aus. In der vorliegenden Arbeit ergaben sich auch für die Gehalte an *p*-Cumarsäuren im Material erhebliche Unterschiede zwischen den Reifegruppen, die statistisch abgesichert werden konnten. Hier zeigte wieder die frühe Reifegruppe die geringsten Gehalte (1,47%) während die späte Reifegruppe signifikant höhere Gehalte (1,99%) aufwies. Die Genetik scheint somit einen wesentlichen Einfluss auf die Expression von *p*-Cumarsäure im Material zu haben.

Nun stellt sich die Frage, welche Auswirkungen die in den Inhaltsstoffen eindeutig bestätigten genotypischen Unterschiede der Sorten auf Abbaubarkeit und Verfügbarkeit der Restpflanze haben.

4.4.2 Ruminale Abbaubarkeit und in vitro Verdaulichkeit in Abhängigkeit des Genotyps und deren Interaktion zur chemischen Zusammensetzung

Der Futterwert der Maispflanze wird für den Wiederkäuer vor allem durch die ruminale Abbaubarkeit der Pflanzenzellwände bestimmt. Nach MERTENS (1993) sind die Hauptfaktoren, die Futteraufnahme und Verdaulichkeit des Futters am deutlichsten beeinflussen, folgende: der Zellwandgehalt der Ration, die potentielle Verdaulichkeit der Zellwände und die Passagerate durch den Pansen. Rate und Ausmaß des Abbaus sind außerdem wichtige Bestimmungsfaktoren für die Zusammensetzung der Nährstoffe, die vom Wiederkäuer letztlich genutzt werden können.

DEWHURST et al. (1995) fanden in einer Studie mit fünfzehn verschiedenen Futtermitteln eine gute Eignung der *in sacco*-Methodik zur Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit von Futtermitteln mit hohem Fasergehalt. Auch VERBIČ et al. (1995) kamen nach umfangreichen Versuchen mit Mais-Restpflanzen zu dem Ergebnis, dass die durch die Nylonbag-Methode ermittelte Abbaubarkeit von Faserbestandteilen ein gutes Kriterium zur Differenzierung des Futterwerts verschiedener Sorten darstellt.

In Tabelle 78 sind die qualitativen Eigenschaften der in dieser Arbeit untersuchten Reifegruppen I und III gegenübergestellt, um einen Überblick über die Unterschiede zwischen früher (RG I) und später (RG III) Reifegruppe zu bekommen.

Aus Tabelle 78 ergeben sich hinsichtlich der Inhaltsstoffe und der Abbaubarkeiten interessante Zusammenhänge. Die Inhaltsstoffe zwischen den Reifegruppen weisen oft signifikante (z.B. Rohfaser- NDF- oder Cellulose-Gehalte) bzw. hochsignifikante (z.B. Mannose- und Ferulasäure-Gehalte) Unterschiede auf. Bei Betrachtung der Abbaubarkeitscharakteristika zeigen sich die gleichen Tendenzen, nämlich höhere Abbaubarkeiten bei der frühen Reifegruppe. Diese konnten aber nur beim Gasbildungspotential der Restpflanze auch statistisch abgesichert werden. So ist anzunehmen, dass die Inhaltsstoffe sich eindeutig auf die Abbaubarkeitsparameter auswirken, allerdings in dieser Arbeit nicht auf signifikantem Niveau.

Tabelle 78: Eigenschaften der Reifegruppen I und III im Vergleich

Reifegruppe	RG I (früh)	RG III (spät)	Signifikanz
TS (%)	höher	niedriger	n.s.
XF (% der T)	niedriger	höher	<0.05
NDF (% der T)	niedriger	höher	<0.05
Cellulose (ADF-ADL) (% der T)	niedriger	höher	<0.05
Hemicellulose (NDF-ADF) (% der T)	keine Unterschiede		n.s.
Glucose (% der T)[1)]	höher	niedriger	n.s.
Xylose (% der T) [1)]	höher	niedriger	n.s.
Arabinose (% der T) [1)]	höher	niedriger	<0.05
Mannose (% der T) [1)]	höher	niedriger	<0.0001
Uronsäuren (% der T) [1)]	keine Unterschiede		n.s.
ADL (% der T)	keine Unterschiede		n.s.
KL (% der T) [1)]	höher	niedriger	n.s.
ABSL (% der T) [1)]	höher	niedriger	n.s.
Ferulasäuren (% der T) [1)]	niedriger	höher	<0.0001
***p*-Cumarsäuren (% der T)** [1)]	niedriger	höher	<0.01
EDM6 (%)	höher	niedriger	n.s.
ELOS (%)	höher	niedriger	n.s.
GB (%)	höher	niedriger	<0.05
EDNDF6 (% der NDF)	höher	niedriger	n.s.

[1)] Dobberstein (2008)

Schon in früheren Arbeiten wurde herausgefunden, dass die Verdaulichkeit (und somit auch die Abbaubarkeit) der Restpflanze in Futtermitteln mit steigendem Rohfaser-, bzw. ADF-Gehalt abnimmt (VARGA und HOOVER, 1983; VAN SOEST und MERTENS, 1984, VERBIČ et al., 1995; HÖHNER, 2001). Dies konnte in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Auch SCHWARZ et al. (1996b) beschrieben in einer Studie, dass der Rohfasergehalt eng negativ mit der Verdaulichkeit der organischen Substanz des Futtermittels korreliert (r = -0,52).

ALLEN und MERTENS (1988) sprechen zwar von einer relativ schlechten Korrelation der Verdaulichkeiten von Faser und Trockensubstanz im Pansen aufgrund des großen Einflusses, den die Nicht-Faser-Kohlenhydrate auf die Gesamtverdaulichkeit haben. Dies sollte aber bei der Restpflanze von Mais eine geringere Rolle spielen, da die NFC-Fraktion hier relativ klein ist (in vorliegenden Untersuchungen um maximal

6% der TS). Die Korrelationen sollten hier also höher ausfallen als dies z.B. für eine Maissilage der Fall wäre. Somit sollte der Rückschluss vom Fasergehalt nicht nur auf die TS-Abbaubarkeit sondern auch auf die Zellwandabbaubarkeit des Materials möglich sein.

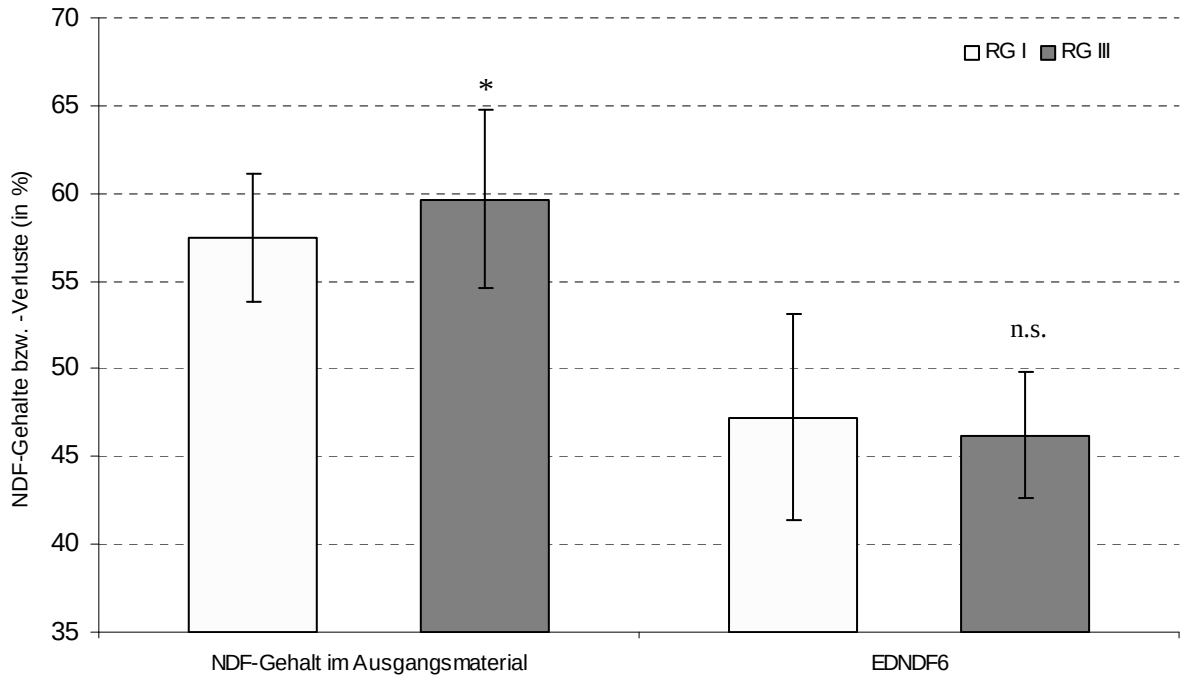
Generell sind die Unterschiede in den Gehalten an pflanzlichen Gerüstsubstanzen und deren Abbaubarkeit zwischen modernen Sorten im Vergleich zu älteren Sorten als eher gering einzuschätzen. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus einer Untersuchung von GIVENS und DEAVILLE (2001), in der zwei Maispopulationen (bestehend aus frühen Hybriden der 1970er Jahre und neueren Hybriden ab 1990) auf ihre NDF-Gehalte und die Verdaulichkeit der OM und der NDF miteinander verglichen wurden. Die Autoren fanden zwei Dinge heraus: Zum einen waren die Unterschiede zwischen den modernen Sorten wesentlich geringer als zwischen den älteren Sorten. Das bedeutet, dass die modernen Hybriden in ihrer Leistungsfähigkeit relativ nah beisammen liegen. Ein weiterer Effekt, der in dieser Studie aufgezeigt werden konnte, war, dass die Population mit den älteren Hybriden einen höheren NDF-Gehalt und einen geringeren Stärkegehalt aufwies. Das bedeutet, dass der Schwerpunkt in der Maiszüchtung in den letzten Jahrzehnten stark auf der Verbesserung der Stärkegehalte in der Silage gesetzt war. Zum anderen zeigte sich eine nur geringfügig erhöhte *in vivo*-Verdaulichkeit der OM, während die NDF-Verdaulichkeit sich gleichzeitig signifikant verringerte. Die Restpflanze ist also aus dem Blickfeld der modernen Züchtung verschwunden, was zur Folge hatte, dass die Verdaulichkeit der Silage trotz massiv erhöhter Stärkegehalte nicht wesentlich anstieg. Ähnliches fanden auch BARRIÈRE et al. (1992) beim Vergleich von 175 Maishybriden in Silomaisreife. Die genetische Varianz für den Zellwandgehalt in den Pflanzen war trotz der großen Anzahl getesteter Sorten gering. Dies legt den Schluss nahe, dass in der Restpflanzenverdaulichkeit, die in den letzten Jahrzehnten züchterisch sehr vernachlässigt wurde, ein enormes Verbesserungspotential stecken sollte. Eventuelle Ansatzpunkte hierfür sollen im Folgenden aufgezeigt werden.

Detergentienanalyse und Abbaubarkeitscharakteristika

In der ruminalen Abbaubarkeit der Restpflanze (Abbaubarkeit der Trockensubstanz und auch der NDF-Fraktion) und in den Rohnährstoffgehalten wurden schon von mehreren Autoren Unterschiede nachgewiesen (KÖHLER et al., 1989; FLACHOWSKY et

al., 1993; VERBIČ et al., 1995; TOVAR-GÓMEZ et al., 1997; TOLERA et al., 1999; PARYS et al., 2000; HÖHNER, 2001; KURTZ und SCHWARZ, 2005).

In Abbildung 37 sind die NDF-Gehalte und die effektive Abbaubarkeit der NDF bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} für die beiden Reifegruppen gegenübergestellt.



Signifikanzschwelle: * = P<0.05; n.s.= P>0.05

Abbildung 37: Gehalte an NDF im Vergleich zur effektiven Abbaubarkeit der NDF (EDNDF6) von Reifegruppe I und III

Aus Abbildung 37 wird deutlich (siehe auch Tabelle 78), dass sich die beiden Reifegruppen bei gleicher physiologischer Reife in ihren NDF-Gehalten signifikant unterschieden. Dies wirkte sich auch auf die NDF-Abbaubarkeit aus, die in Reifegruppe III tendenziell niedriger war als in RG I. Die Trockensubstanzabbaubarkeit der beiden Reifegruppen unterschied sich etwas stärker (siehe Abbildung 40), zeigte jedoch ebenfalls keine signifikanten Differenzen. BARRIÈRE et al. (1992) fanden bei den von ihnen getesteten Maissorten die gleichen Zusammenhänge. Die späten Sorten zeigten hier im Vergleich zu den frühen bei gleicher physiologischer Reife ebenfalls die Tendenz zu einer verringerten Verdaulichkeit der organischen Masse, die sich aber nicht statistisch absichern ließ. Gleiches konnten RUSSELL et al. (1992b) beobachten.

Hier zeigten sich zwischen den frühen und den späten Sorten bei gleicher physiologischer Reife signifikante Unterschiede im NDF-Gehalt und in der Abbaubarkeit der Trockensubstanz. Auch ZEIN (2007) konnte bei einem Vergleich von 40 Hybriden signifikante Differenzen zwischen den NDF-Gehalten der Sorten und – negativ damit korreliert – der *in vitro*-Abbaubarkeit der organischen Substanz und der NDF ausmachen. SHI et al. (2007) fanden außerdem bei einem Vergleich von Sorten hoher Restpflanzenqualität mit Sorten niedriger Restpflanzenqualität eine Differenz von durchschnittlich 10% niedrigerer NDF-Verdaulichkeit bei den Sorten mit niedriger Qualität.
Ebenso konnten FLACHOWSKY et al. (1993) bei dem Vergleich einer frühen mit einer späten Sorte eindeutige Sortenunterschiede nachweisen. So zeigte sich hier die ruminale NDF-Abbaubarkeit der Restpflanze nach 48h Inkubationszeit in der frühen Sorte mit 69,4% wesentlich höher als in der späten Sorte mit 67,6%. Dies entspricht in etwa den Werten aus der eigenen Arbeit für die NDF-Abbaubarkeit nach 48 Stunden (siehe Tabelle A50-A51). Die NDF-Gehalte im Ausgangsmaterial waren in der Studie von FLACHOWSKY et al. (1993) jedoch in der frühen Sorte etwas höher.

In Abbildung 38 ist die Beziehung zwischen den NDF-Gehalten und den effektiven Abbaubarkeiten der Sorten dargestellt um einen Überblick über den Einfluss zu erhalten, der durch die Zellwandinhaltsstoffe auf die Abbaubarkeit ausgeübt wird.

Aus der Abbildung geht die deutlich negative Beziehung ($P<0.0001$) zwischen NDF-Gehalt und EDM6 hervor, die mit einem Korrelationskoeffizienten von $r=-0,77$ sehr eng ist.
Allerdings ist aus Abbildung 38 auch zu ersehen, dass sich in den einzelnen Sorten steigende Gehalte an NDF unterschiedlich auf die Stärke der Abbaubarkeitsminderung auswirken. Hier ist besonders interessant, dass zwar die später reifen Sorten (Monumental, DK281 und DK287) wie schon gesagt generell höhere Gehalte an NDF aufweisen, jedoch die Depression der Abbaubarkeit durch die NDF hier geringer ausfällt (siehe auch Tabelle 79).

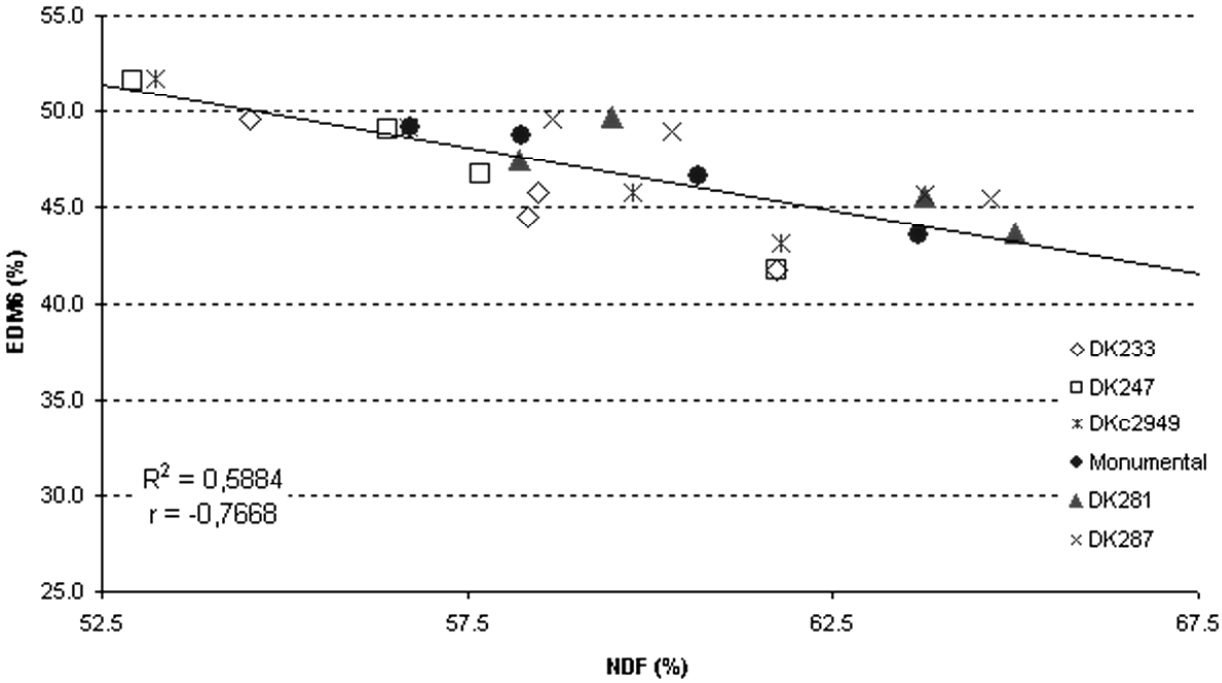


Abbildung 38: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit des Materials bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1}

In Tabelle 79 sind die Regressionsgeraden der einzelnen Sorten angeben.

Tabelle 79: Regressionsgleichungen der Einzelsorten für EDM6 in Abhängigkeit des NDF-Gehalts

DK 233	EDM6 = 104.4 - 1.012*NDF
DK 247	EDM6 = 107.7 - 1.057*NDF
DKc 2949	EDM6 = 96.2 - 0.842*NDF
Monumental	EDM6 = 84.6 - 0.627*NDF
DK 281	EDM6 = 85.2 - 0.627*NDF
DK 287	EDM6 = 87.8 - 0.652*NDF

Aus der Tabelle wird deutlich, dass die Steigung stärker negativ in den frühen als in den späten Sorten ist. Dies bedeutet in der Praxis, dass es sinnvoll ist, die späten Sorten so lange wie möglich ausreifen zu lassen, um eine möglichst hohe Stärkeeinlagerung in den Kolben zu erreichen, da bei diesen Sorten die Abbaubarkeit der Restpflanze mit zunehmendem NDF-Gehalt nicht so stark sinkt (Steigung von durchschnittlich m= -0,635) wie in den frühen Sorten. Da ist das Erntefenster aufgrund der schnell abnehmenden Abbaubarkeit (Steigung von durchschnittlich m= -0,970) wesentlich kleiner.

Die unterschiedlichen Steigungswinkel zeigen aber auch, dass nicht alleine der NDF-Gehalt für die Abbaubarkeitsdepression in der Restpflanze verantwortlich sein kann.

In Abbildung 39 ist außerdem die effektive Abbaubarkeit der NDF bei 6% h^{-1} in Abhängigkeit zum NDF-Gehalt dargestellt.

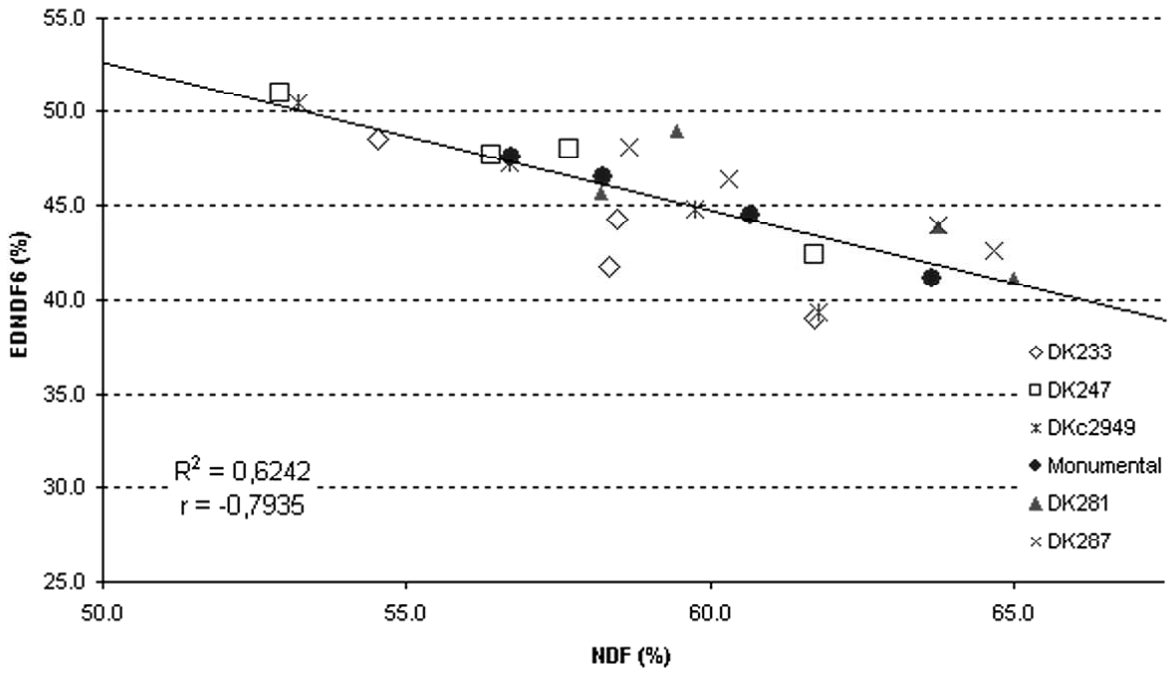


Abbildung 39: Beziehung zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der NDF bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1}

Auch zwischen effektiver NDF-Abbaubarkeit und NDF-Gehalt ergaben sich hochsignifikante Zusammenhänge. Der Korrelationskoeffizient war mit -0,79 etwas höher als für NDF-Gehalt und effektive Abbaubarkeit der Trockensubstanz. MÉCHIN et al. (2000) stellten für ihre Studie einen weitaus kleineren Korrelationskoeffizienten von -0,50 fest. ZEIN (2007) konnte für die Beziehung zwischen DNDF *in vitro* und NDF-Gehalt eine signifikante negative Korrelation von -0,32 zeigen. Für die Beziehung zwischen IVDOM und NDF ermittelte er einen Korrelationskoeffizienten von -0,75.
Die Unterschiede zwischen frühen und späten Sorten sind zwischen EDNDF und NDF nicht so stark ausgeprägt wie zwischen EDM und NDF. Dies ist auch aus dem höheren Bestimmtheitsmaß für die Regressionsgerade in Abbildung 21 zu ersehen. So zeigte zum Beispiel die Sorte DK 247 eine geringere Depression der NDF-Abbaubarkeit mit steigendem NDF-Gehalt, als das in der Trockensubstanzabbaubarkeit

dieser Sorte zu beobachten war (siehe Abbildung 38). Das bedeutet, dass bei DK 247 die Trockensubstanzabbaubarkeit stärker von einer Veränderung des NDF-Gehalts betroffen ist, als die EDNDF.

Lignin und Abbaubarkeitscharakteristika

Sowohl über Lignin als auch über die Hydroxyzimtsäuren wurde berichtet, dass sie die Zellwandverdaulichkeit vermindern indem sie den Zugang zu den Zellwandstrukturen für Enzyme oder Mikroorganismen erschweren (JUNG und DEETZ, 1993; BESLE et al., 1994). Oft wird der Ligningehalt als primär begrenzender Faktor für die Abbaubarkeit von Zellwänden betrachtet (HATFIELD et al., 1994; JUNG, 1997; MÉCHIN et al., 2000; BARRIÈRE et al., 2003a; MÉCHIN et al., 2005; GRABBER, 2005). So können laut BARRIÈRE et al. (2003a) die Lignin-Gehalte rund 20 bis 50% der Variation in der Zellwandverdaulichkeit *in vivo* erklären und oft mehr als 50% der *in vitro*-Variation. LUNDVALL et al. (1994) fanden in einer Studie mit 45 Mais-Linien eine negative Korrelation von –0,62 für ADL-Gehalt und IVNDFD.
In diesem Zusammenhang zeigen sich aber starke genetisch bedingte Unterschiede. WOLF et al. (1993) fanden in Untersuchungen an Mais-Restpflanzenmaterial negative Korrelationen zwischen IVNDFD und Ligningehalt von -0,86, -0,64 und -0,37, je nach Genotyp. Auch JUNG und CASLER (2006b) fanden einen sehr hohen Korrelationskoeffizienten zwischen IVNDFD und Klason-Lignin-Gehalt von -0,87. MECHIN et al. (1998) konnten in einer Untersuchung mit den Restpflanzen von 18 normalen Mais-Linien eine genetisch bedingte Korrelation der ADL-Gehalte mit der IVNDFD von -0,51 beobachten, welche sich auf -0,80 erhöhte, wurden vier bm_3-Hybriden in die Berechnung mit einbezogen. Selbiges wird in einer unveröffentlichten Studie der INRA (BARRIÈRE et al., 2003a) berichtet. Auch hier zeigte sich eine Erhöhung der Korrelation zwischen ADL-Gehalt und IVNDFD von -0,33 auf -0,47, wurden bm_3-Hybriden verwandt.

Untersuchungen von GRABBER et al. (1998 und 2003) an primären Maiszellwänden zeigten, dass sich bei Lignin-Einlagerung die Polysaccharidfreisetzung und somit die Abbaubarkeit der Zellwände nach Inkubation mit einem Enzymgemisch signifikant verringerte. Allerdings ist hierbei der Ligningehalt bei weitem nicht der einzige Faktor, der eine wesentliche Wirkung auf die Abbaubarkeit hat. Die Arbeitsgruppe konnte

auch einen deutlichen Einfluss der am Ligninaufbau beteiligten Bausteine ausmachen. So zeigten die Maiszellwände mit Lignin aus Coniferylaldehyd einen wesentlich stärkeren inhibitorischen Effekt auf die Abbaubarkeit der Pflanzenzellwände als dies bei Lignin aus Coniferylalkohol-Bausteinen der Fall war. Mit zunehmender Inkubationszeit verringerte sich dieser Effekt etwas.

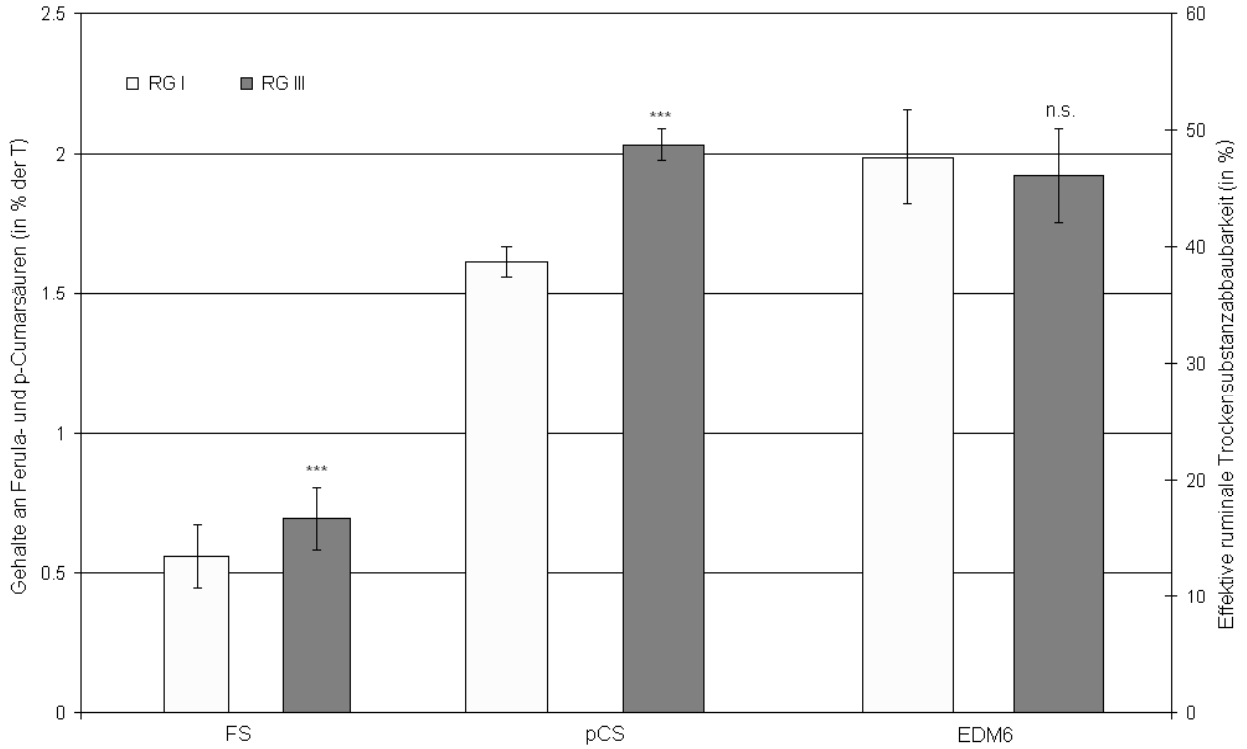
In der vorliegenden Arbeit erwies sich der Lignin-Gehalt als wenig unterschiedlich zwischen den Genotypen. Im ADL-Gehalt waren keine Unterschiede feststellbar und die beiden Bestimmungsmethoden KL und ABSL zeigten tendenziell höhere Lignin-Gehalte in den frühen Sorten (siehe Tabelle 78). Dies steht im Widerspruch zu den sonstigen analysierten Inhaltsstoffen und lässt die Frage offen, ob es sich hierbei um ein Problem der Analytik handelt, da die frühen Sorten tendenziell höhere Abbaubarkeiten aufwiesen als die späteren. Um dies allerdings erschöpfend zu klären, wäre eine eingehende Analyse des Lignins im Material vonnöten, die auch die Strukturaufklärung und die Frage nach den Gehalten an einzelnen Lignin-Bausteinen mit einbezieht (siehe hierzu DOBBERSTEIN, 2008). Es gibt bislang keine umfassenden Angaben über die genauen Beziehungen zwischen Zellwandstruktur und Abbaubarkeit. WILSON (1994) konzentrierte sich deshalb weniger auf die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Zellwände als vielmehr auf die strukturelle Anordnung der Zellwände in Bezug auf die Pflanzenanatomie. Er ging davon aus, dass die Eigenschaften von Futterpartikeln aus abgereiften Raufuttern den physikalischen Zugang der Pansenmikroben zu potentiell abbaubaren Kohlenhydraten begrenzen könnten. WILSON und MERTENS (1995) stellten daraufhin die Hypothese auf, dass die anatomischen Strukturen von Gras-Zellen und -Geweben ebenfalls in die Überlegungen für ein besseres Verständnis der Zellwandverdaulichkeit mit einbezogen werden müssten. Dies wurde von WILSON und HATFIELD (1997) in einer weiteren Untersuchung bestätigt.

Verschiedene Autoren kamen außerdem zu dem Schluss, dass der ADF-Gehalt mit der Abbaubarkeit der Restpflanzen-T enger korreliert ist als der ADL-Gehalt (MARTEN et al., 1975, JOHNSON et al., 1985; KÖHLER et al., 1989; VERBIČ et al., 1995), obwohl andere Wissenschaftler in ihren Untersuchungen gute Korrelationen zwischen den Lignin-Gehalten (KL, ABSL, ADL) und der Verdaulichkeit der NDF oder der TS *in vivo* und *in vitro* feststellten (CHERNEY et al., 1990; GOTO et al.; 1992; JUNG et al., 1997; siehe außerdem oben).

In der vorliegenden Arbeit konnten keine signifikanten Beziehungen zwischen den Ligningehalten und der Abbaubarkeit ermittelt werden.
Für die untersuchten Sorten scheint also der Ligningehalt – unabhängig von der Bestimmungsmethode – kein geeigneter Parameter für Aussagen über die Abbaubarkeit der Restpflanze zu sein.

Phenolcarbonsäuren und Abbaubarkeitscharakteristika

Wie im vorigen Abschnitt schon festgestellt, geht auch aus verschiedenen anderen Arbeiten hervor, dass nicht allein der Ligningehalt für die Zellwandabbaubarkeit verantwortlich ist (BARRIÈRE et al., 2003a und b; MÉCHIN et al., 2000; MÉCHIN et al., 2005). Art und Anzahl der Vernetzungen (cross-linking) von Lignin- und Kohlenhydrat- bzw. Proteinstrukturen über Phenolcarbonsäuren wie *p*-Cumar- und Ferulasäure spielen hier für die ruminale Verfügbarkeit des Zellwandmaterials eine entscheidende Rolle (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989; GRABBER et al., 1996; PROVAN et al., 1997; GRABBER et al., 1998).
In der vorliegenden Arbeit zeigte sich deutlich, dass die Gehalte an Ferula- und *p*-Cumarsäuren in den frühen Sorten hochsignifikant geringer waren als in den späten. Dies spiegelte sich in einer tendenziell besseren effektiven Abbaubarkeit und enzymatischen Löslichkeit und in einer signifikant höheren Gasbildungsrate wider (siehe Tabelle 78). Auch die effektive Abbaubarkeit der NDF war in den frühen Sorten tendenziell höher. Dies bestätigt die in der Literatur gefundenen Hypothesen, dass die Quervernetzungen in der Zellwandverfügbarkeit eine wesentliche Rolle spielen.
Aus Abbildung 40 wird das ebenfalls deutlich. Darin sind die Gehalte an Ferula- und *p*-Cumarsäuren der beiden Reifegruppen im Vergleich mit der effektiven Abbaubarkeit des Materials dargestellt. Anhand der Abbildung ist klar zu erkennen, wie sich die Reifegruppen in ihren Gehalten an Phenolcarbonsäuren voneinander unterscheiden und dass sich dies auch in der Abbaubarkeit widerspiegelt.



Signifikanzschwelle: *** = P<0.001; n.s.= P>0.05

Abbildung 40: Gehalte an Ferula- (FS) und p-Cumarsäuren (pCS) im Vergleich zur effektiven Abbaubarkeit (EDM6) von Reifegruppe I und III

Auch die Beziehung zwischen effektiver ruminaler NDF-Abbaubarkeit bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} (EDNDF6) und den *p*-Cumarsäuregehalten zeigt deutliche und signifikante Unterschiede zwischen den Reifegruppen. Dies ist in Abbildung 41 graphisch dargestellt.

Aus Abbildung 41 geht hervor, dass zwischen den Gehalten an *p*-Cumarsäure in der Restpflanze und der effektiven Abbaubarkeit der NDF ein negativer Zusammenhang besteht. Dieser ist mit r = -0,48 nicht so eng korreliert wie der NDF-Gehalt mit der effektiven Abbaubarkeit der Trockensubstanz und der NDF (siehe Abbildungen 38 und 39). Der Einfluss ist jedoch signifikant (P<0.001).
Auch sind aus Abbildung 41 deutliche Unterschiede zwischen den Reifegruppen ersichtlich. Reifegruppe I zeigte durchschnittlich niedrigere *p*-Cumarsäuren-Gehalte bei höherer Abbaubarkeit. Bei Reifegruppe III verhielt es sich genau umgekehrt.

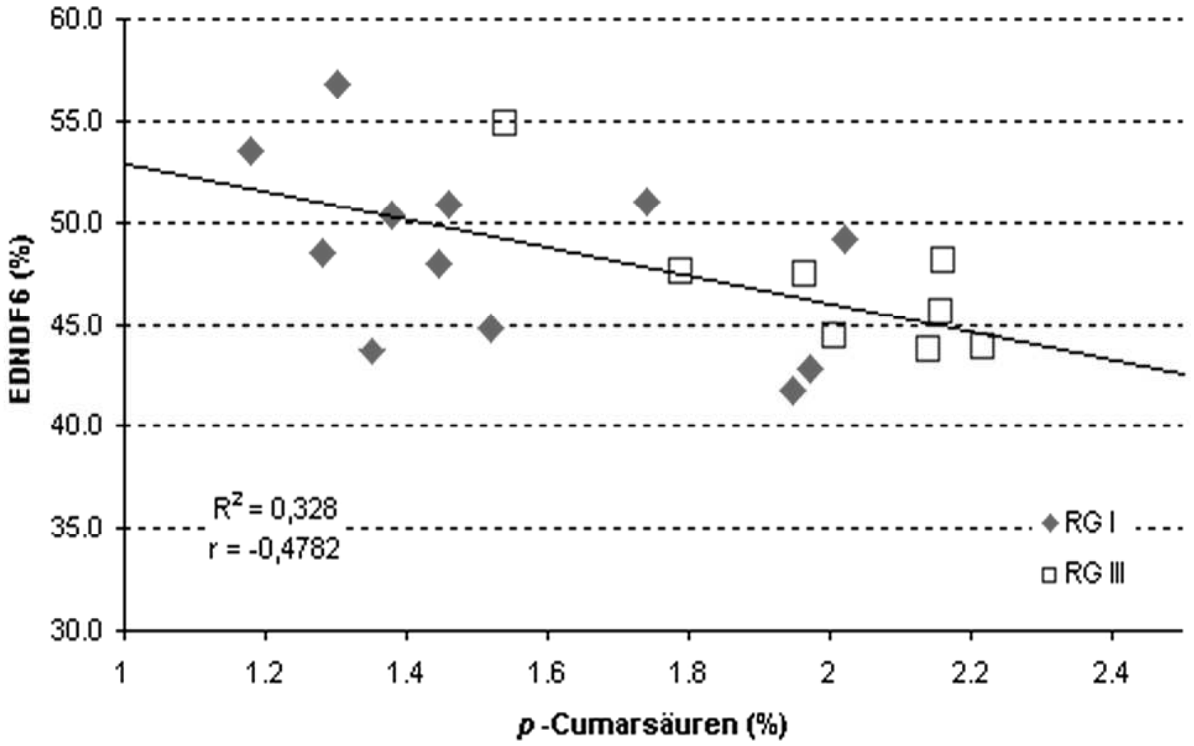


Abbildung 41: Beziehung zwischen p-Cumarsäure-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der NDF bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1}

In einer Arbeit von MÉCHIN et al. (2000) wurde ein ähnlicher Korrelationskoeffizient von -0,41 für die Beziehung zwischen *in vitro*-Verdaulichkeit der NDF und den Gehalten an *p*-Cumarsäuren in 13 verschiedenen Inzuchtlinien gefunden.
Die Korrelation zwischen der EDNDF und den Ferulasäuregehalten in der vorliegenden Arbeit war nicht signifikant und ist deshalb nicht gesondert dargestellt. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen von MÉCHIN et al. (2000), die für die Ferulasäuregehalte eine schwächere Korrelation zur EDNDF von -0,31 feststellten. Auch MARVIN et al. (1999) konnten negative Korrelationen zwischen dem Gehalt an Phenolcarbonsäuren und der Verdaulichkeit der Mais-Restpflanzen ermitteln.
Tabelle 80 gibt die Regressionsgleichungen der EDNDF6 in Abhängigkeit des *p*-Cumarsäuregehalts für die beiden Reifegruppen, sowie über alle Sorten wieder.

Tabelle 80: Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten (r) der Reifegruppen I und III für EDNDF6 in Abhängigkeit des p-Cumarsäuregehalts

RG I	EDNDF6 = 60.94 - 8.055*pCS	r = -0,5225
RG III	EDNDF6 = 73.45 - 13.239*pCS	r = -0,8447
alle	EDNDF6 = 59.74 - 6.862*pCS	

Reifegruppe I zeigt hier einen flacheren Verlauf des EDNDF-Abfalls als die Reifegruppe III. Dies ist auch in Abbildung 41 schon zu erkennen. Außerdem ist aus Tabelle 80 zu ersehen, dass die Korrelation zwischen EDNDF6 und *p*CS in Reifegruppe III bedeutend enger ist als in Reifegruppe I. In Reifegruppe III findet also eine stärkere genotypisch bedingte Beeinflussung der effektiven NDF-Abbaubarkeit durch die *p*-Cumarsäuren-Gehalte statt.

bm_3-Hybriden und Abbaubarkeitscharakteristika

Es existiert eine ganze Reihe von Arbeiten, in denen die Eigenschaften von bm_3-Hybriden (als extreme genotypische Variante) mit ihren normalen Partnerhybriden verglichen wurden. So lassen sich genotypische Varianzen besonders gut herausstellen. In vielen Arbeiten wurde eine um etwa 10% erhöhte ruminale Abbaubarkeit der bm_3-Hybriden im Vergleich zu deren normalen Partner-Hybriden berichtet (EL-TEKRITI et al., 1976; TOVAR-GÓMEZ et al., 1995; TOVAR-GÓMEZ et al., 1997; MICHALET-DOREAU und PHILIPPEAU, 1999; BAL et al., 2000; MÉCHIN et al., 2000; BARRIÈRE et al., 2003a). Dies konnte in eigenen Arbeiten bestätigt werden (FLAßHOFF, 2004; KURTZ et al., 2004). Außerdem wurde auch festgestellt, dass einige in der vorliegenden Arbeit untersuchten Sorten zum Teil ruminale Abbaubarkeiten in der gleichen Größenordnung aufwiesen, wie es für bm_3-Hybriden in anderen Arbeiten berichtet wurde (FLAßHOFF, 2005). Ähnliches stellten SCHLAGHECK et al. (2000) bei einem Vergleich von *stay-green*-Sorten mit normalen Hybriden fest. Es ist also nicht generell von einer Verbesserung der Hybriden durch solche genetischen Modifikationen auszugehen. Vielmehr existieren unter den modernen Hybriden durchaus Sorten, die mit genetisch veränderten auf einem Niveau liegen.

Verschiedene Arbeitsgruppen fanden in brown-midrib-Maispflanzen auch eine um bis zu 50% erhöhte enzymatische Abbaubarkeit der Pflanzenzellwände (THORSTENSON et al., 1992; BERNARD-VAILHE et al., 1996; PROVAN et al., 1997). Zwar ist es diesen Autoren zufolge möglich, dass die bm-Hybriden höhere Gehalte an Hydroxyzimtsäuren aufweisen, jedoch findet hier eine verringerte Bildung von *p*CS-Lignin-Estern statt (LAM et al., 1996; GRABBER et al., 1998), was sich in einer wesentlich verbesserten enzymatischen Löslichkeit auswirkt. Dies bestätigt sich in einer Untersuchung von MÉCHIN et al. (2000), bei der die untersuchten bm_3-Hybriden ca. 50% weniger *p*-

Cumarsäuren aufwiesen als ihre normalen Partnerhybriden und außerdem eine wesentlich höhere *in vitro*-Verdaulichkeit der NDF.

Regressionsmodelle und Schätzgleichungen

Natürlich wurden im Zuge der Beurteilung der Verdaulichkeit und der Verfügbarkeit der Pflanzenzellwände vielerlei Anstrengungen unternommen, die Zusammenhänge mit Hilfe von Regressionsmodellen und Schätzgleichungen unter Verwendung der gewonnenen Daten über Inhaltsstoffe und Abbaubarkeiten der Maispflanze ohne aufwendige Versuchsanstellungen vorauszusagen.

MÉCHIN et al. (2005) entwickelten ein Regressionsmodell zur Berechnung der IVNDFD unter Berücksichtigung der *p*CS, dem Verhältnis von Syringyl- zu Guaiacyl-Einheiten im Material und einigen histologischen Merkmalen der Pflanzenzellwände. Hier zeigte sich für die normalen Hybriden eine bis auf wenige Ausnahmen gute Übereinstimmung der Schätzung mit den tatsächlichen Werten. Bei den bm_3-Hybriden jedoch zeigte das Schätzmodell keine gute Aussagekraft mehr und unterschätzte die IVNDFD massiv.

GIVENS et al. (1995) stellten Untersuchungen zum Verhältnis von Verdaulichkeit der OS *in vivo* und verschiedenen Labormethoden zur Schätzung der Verdaulichkeit anhand von Maissilagen verschiedener Populationen an. Hierfür wurden die Regressionsgleichungen für die verschiedenen Methoden berechnet. Das höchste Bestimmtheitsmaß zur Vorhersage der DOM wurde bei diesen Autoren für die Cellulasemethode berechnet. Hier betrug R^2 = 64,4%. Die Rohfaser als Vorhersageparameter erreichte ein Bestimmtheitsmaß von 46,4%. NDF und ADF eigneten sich zur Berechnung der DOM ungefähr gleich gut mit einem Bestimmtheitsmaß von 44,4 bzw. 42,6%. Eine multifaktorielle Regressionsberechnung brachte in dieser Untersuchung keine Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes mit sich. Daraus wird deutlich, dass sich die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Regressionsmodelle durchaus für eine Schätzung der NDF- bzw. der TS-Abbaubarkeit eignen könnten, da hier die Bestimmtheitsmasse auch bei ca. 60% lagen (siehe Abbildungen 38 und 39).

4.5 Zur chemischen Zusammensetzung der Restpflanze und ihrer Abbaubarkeitscharakteristika in Abhängigkeit von der physiologischen Reife der Pflanze

Wie in Kapitel 4.3 schon erwähnt, spielt für die Bewertung des Futterwerts von Silomais der physiologische Reifestatus in dem die Pflanze sich bei der Ernte befindet eine entscheidende Rolle. Dies ist nicht nur für einen unmittelbaren Sortenvergleich von erheblicher Bedeutung, sondern auch für einzelne Sorten, um den optimalen Erntezeitpunkt bzw. das geeignete Erntefenster ausfindig machen zu können. Im Folgenden soll also auf die physiologische Reife der Restpflanzen und deren Auswirkungen auf die Inhaltsstoffe und die Abbaubarkeitscharakteristika der Sorten eingegangen werden.

4.5.1 Chemische Zusammensetzung der Restpflanzen in Abhängigkeit des Reifestatus

Der Reifestatus der Pflanzen kann nie getrennt vom Genotyp betrachtet werden, da die Abreife eine sortenspezifische Eigenschaft ist. Wechselwirkungen sind hier also zu erwarten, weshalb im folgenden auch immer auf sortenspezifische Eigenschaften in der Abreife eingegangen werden wird, sofern sich daraus interessante Gesichtspunkte ableiten lassen.

Pflanzliche Gerüstsubstanzen

Rohfaser

In den Rohfasergehalten lassen sich klare Veränderungen im Verlauf der Abreife der Pflanze erkennen. Die Rohfasergehalte erhöhen sich, je älter die Pflanze wird und je mehr der T-Gehalt in der Restpflanze ansteigt (siehe Tabellen 24 und 25). In einer Studie von SCHWARZ et al. (1996b) wiesen die Sorten einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem T-Gehalt der Restpflanze und den Rohfasergehalten auf. Je niedriger der T-Gehalt, desto weniger Rohfaser befand sich in der Restpflanze, was auch von GRUBER und HEIN (2006 und 2007) beobachtet wurde.
ETTLE und SCHWARZ (2003) zeigten in einer Arbeit mit zwei Genotypen (Mondeo, S210 und Achat, S240), dass die frühere Sorte Mondeo in einem frühen Reifestadi-

um (TS-Gehalt der Restpflanze von ca. 22%) niedrigere Rohfaser-Gehalte aufwies als die später abreifende Sorte Achat. Zu dem späteren Erntezeitpunkt (TS-Gehalt der Restpflanze von ca. 28%) hatte jedoch die frühe Sorte höhere Rohfaser-Gehalte. Das bedeutet, dass die frühe Sorte schneller abreifte als die spätere und somit mehr Zellwandmaterial gebildet wurde. Dies ließ sich auch in der vorliegenden Untersuchung in einzelnen Erntejahren beobachten (siehe Tabelle 24). Werden aber die Daten für die einzelnen Reifegruppen über alle drei Erntejahre gemittelt, ergibt sich das in Abbildung 42 dargestellte Bild.

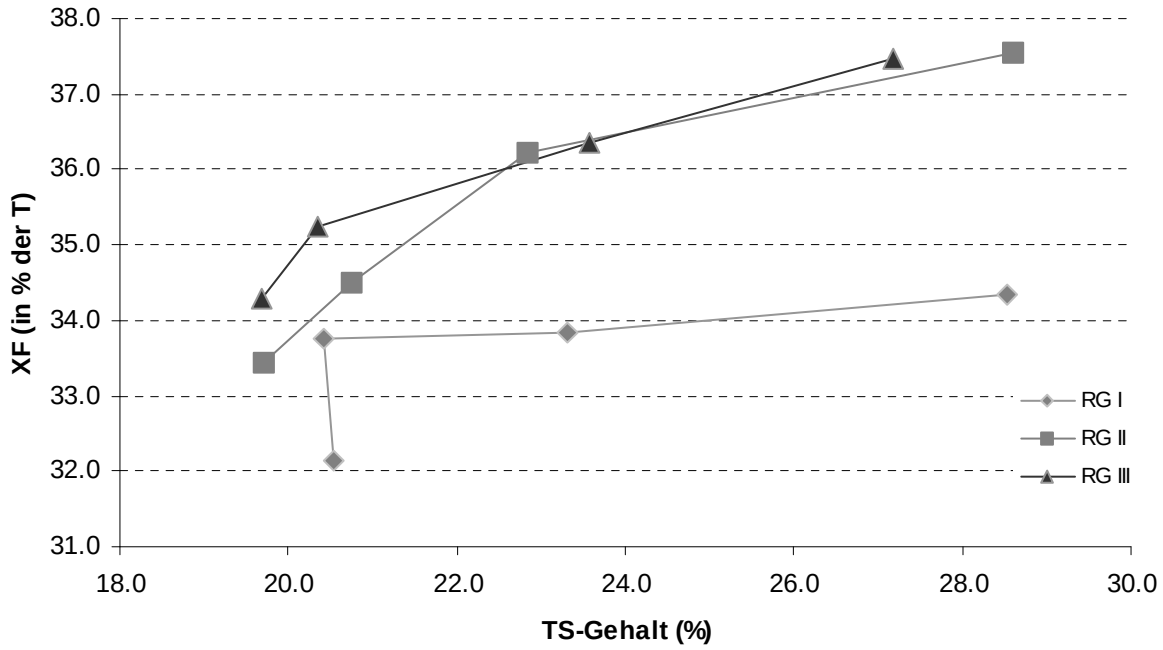


Abbildung 42: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und Rohfaser-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre (die Symbole repräsentieren die Erntezeitpunkte 1 – 4)

Aus Abbildung 42 geht deutlich hervor, dass Reifegruppe I über den gesamten beobachteten Zeitraum die niedrigsten Rohfaser-Gehalte aufwies, während RG II und III die höheren XF-Gehalte hatten. Auch ist interessant, dass in Reifegruppe I von EZP1 nach EZP2 die Rohfasergehalte massiv zunahmen, obwohl sich die Trockensubstanzgehalte der Restpflanze fast nicht änderten. Dies war bei den beiden anderen Reifegruppen nicht zu beobachten. Deutlich wird außerdem, dass die dritte Reifegruppe zum letzten Erntezeitpunkt nicht mehr den TS-Gehalt erreichte, wie die beiden anderen und dennoch im Rohfaser-Gehalt vergleichbar mit Reifegruppe II war.

Dies lässt also auf einen generell höheren Zellwandgehalt in den späteren Sorten schließen.
SCHWARZ und ETTLE (2000) fanden für die Rohfaser-Gehalte einen Korrelationskoeffizienten von +0,60 in Beziehung zum Reifestatus. In der vorliegenden Arbeit ergab sich aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Reifegruppen lediglich ein Korrelationskoeffizient zwischen Rohfaser- und TS-Gehalt von +0,25. Die Beziehungen waren innerhalb der einzelnen Reifegruppen viel enger (RG I: +0,84; RG II: +0,87 und RG III: +0,85).

Detergentienanalyse

Grundsätzlich ergibt sich ein Zusammenhang zwischen der fortschreitenden Abreife der Restpflanze und den Gehalten an Detergentienfaser. Verschiedene Autoren fanden erhöhte Gehalte an NDF, ADF und ADL mit stärkerer Abreife der Restpflanzen (RUSSEL, 1986; CONE und ENGELS, 1993; IRLBECK et al., 1993; BAL et al., 2000; MEISSNER und WEISS, 2002; KRUSE et al., 2005b; GRUBER und HEIN, 2006 und 2007). In den Sorten der vorliegenden Arbeit fand sich ebenfalls ein Anstieg der NDF und ADF-Gehalte über die Abreife. Allerdings ergab sich hier das gleiche Bild wie bei der Rohfaser. Die absolute Höhe der Veränderungen differenzierte sich nämlich sortenspezifisch. Reifegruppe I hatte durchgehend die niedrigsten Gehalte an NDF und ADF, während Reifegruppe III in allen Reifestadien einen wesentlich höheren Gehalt aufwies. In Reifegruppe II war der NDF-Anstieg zum dritten Erntezeitpunkt hin stärker als in RG III, weshalb RG II auch zum vierten Erntezeitpunkt einen höheren NDF-Gehalt aufwies. Allerdings war der Unterschied nicht groß und RG III lag vom Trockensubstanzgehalt etwas niedriger.
Dies ist in den Abbildungen 43 und 44 in Beziehung zum Trockensubstanzgehalt dargestellt.
SCHWARZ und ETTLE (2000) konnten sowohl für die NDF- als auch für die ADF-Gehalte zeigen, dass zwischen dem Reifestatus (gemessen anhand des Trockensubstanz-Gehalts der Restpflanze) und den Gehalten an pflanzlichen Gerüstsubstanzen im Material enge Beziehungen bestanden, die hochsignifikant waren. So ergaben sich in der Arbeit von SCHWARZ und ETTLE (2000) Korrelationskoeffizienten von +0,63 für die NDF-Gehalte, +0,66 für die ADF-Gehalte.

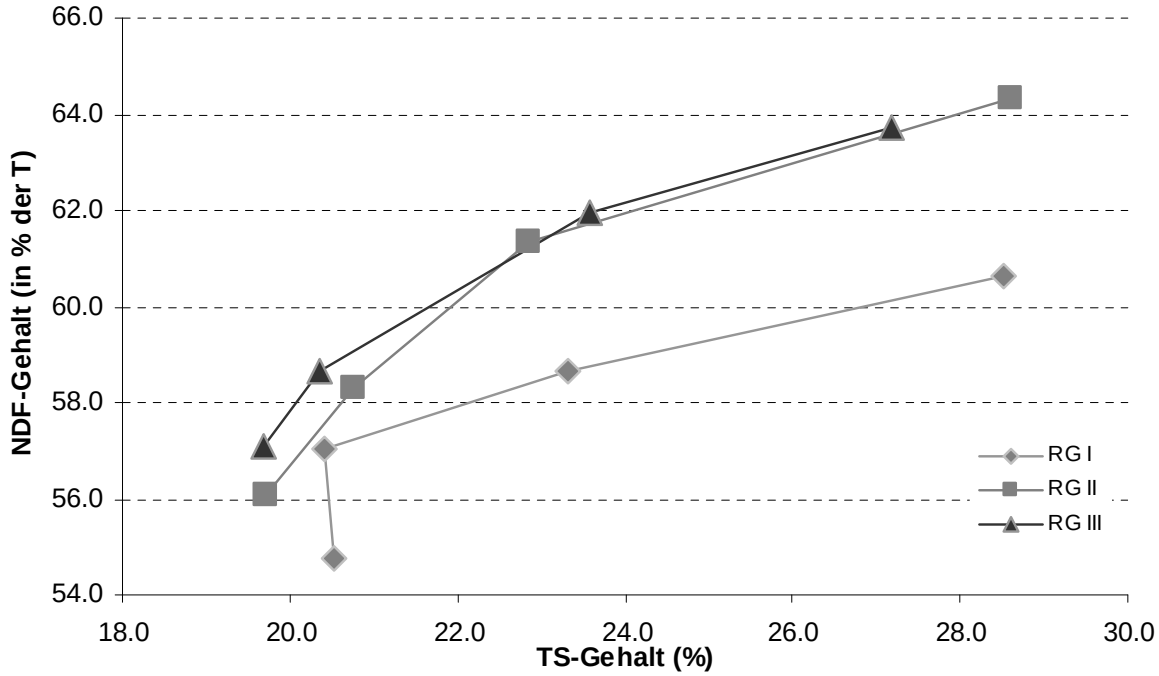


Abbildung 43: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und NDF-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre (die Symbole repräsentieren EZP1 – 4)

Allerdings sind auch die Gehalte an Detergentienfaser im Verlauf der Abreife durch die spezifisch genotypischen Eigenschaften der Pflanzen bestimmt.
FLACHOWSKY et al. (1993) konnten bei einem Vergleich zweier Sorten mit unterschiedlicher Reifezahl für die NDF-Gehalte ähnliches feststellen wie ETTLE und SCHWARZ (2003) für die Rohfasergehalte. Hier zeigte die frühere Sorte zu Beginn der Beprobung nur etwas niedrigere NDF-Gehalte als die späte. Bis zum letzten Beprobungstermin jedoch stieg der NDF-Gehalt in der späten Sorte wesentlich stärker an, so dass zum letzten Erntetermin der NDF-Gehalt in der späten Sorte weitaus höher war (früh: 70,7%; spät: 85,7%). Das ist vor allem ein interessantes Ergebnis, da bei FLACHOWSKY et al. (1993) beide Sorten zum gleichen Datum geerntet wurden, wodurch die frühe Sorte weiter in ihrer Abreife war als die späte. Auch CONE et al. (2008) ermittelten ein ähnliches Ergebnis.

In den ADF-Gehalten differenzierten sich in der vorliegenden Arbeit vor allem die Reifegruppen II und III in den ersten beiden Erntezeitpunkten (siehe Abbildung 44). Reifegruppe II hatte bei gleichem T-Gehalt weniger ADF im Material als Reifegruppe III. Im späteren Verlauf der Abreife (EZP3 und 4) gelangten die beiden Reifegruppen wieder annähernd auf ein Niveau, wobei aber Reifegruppe II durchgehend unter den

Gehalten von Reifegruppe III blieb. RG II und RG III scheinen sich also hauptsächlich im Cellulosebildungsvermögen zu Beginn der Ausreifung zu differenzieren.

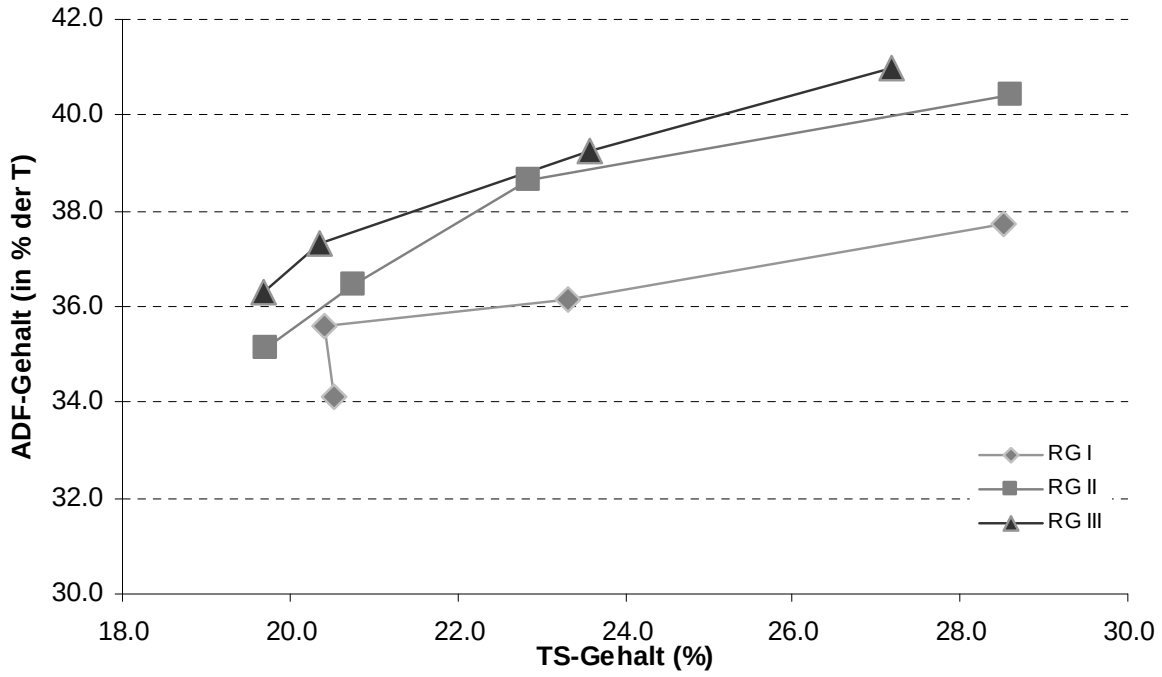


Abbildung 44: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und ADF-Gehalten der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre (die Symbole repräsentieren EZP1 – 4)

CONE et al. (2008) untersuchten zwei Sorten mit verschiedenem Abreifeverhalten in drei Erntezeitpunkten auf ihre ADF-Gehalte. Die Autoren zeigten hier im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit höhere Gehalte zu allen Erntezeitpunkten für die früher reife Sorte im Verhältnis zum T-Gehalt in der Restpflanze. Allerdings war hier auch der T-Gehalt in der späten Sorte zum zweiten Erntezeitpunkt wesentlich niedriger als in der frühen (früh: 24,2% T, 41,0% ADF; spät: 22,7% T, 38,8% ADF in EZP2). Die späte Sorte zeigte also eine erheblich stärkere Steigerung der ADF-Gehalte bei wenig Trockensubstanzzunahme.

CONE und ENGELS (1993) fanden hingegen keine gerichtete Veränderung der Cellulose-Gehalte von verschiedenen über die Vegetationsperiode hinweg beprobten Mais-Genotypen.

Monomere der Zellwandpolysaccharide

Bei Betrachtung der löslichen Kohlenhydrate im Restpflanzematerial (freie Glucose) zeigte sich für das vorliegende Material (DOBBERSTEIN, 2008) ein deutlicher Rückgang der Gehalte an freier Glucose mit fortschreitender Abreife der Pflanze. Dies entspricht Angaben von MCALLAN und PHIPPS (1977) sowie IRLBECK et al. (1993), die hierfür als Grund die im Verlauf der Abreife vermehrte Einlagerung von Nicht-Strukturkohlenhydraten in den Kolben angaben.
Bei Betrachtung der Monomere aus der Hemicellulose fanden MCALLAN und PHIPPS (1977) Anstiege der Xylose- und Arabinose-Gehalte im Material von 8,55 bzw. 1,55% Ende August auf 10,0 bzw. 1,83% Ende September. Dies deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Arbeit, die sich auch in dieser Größenordnung bewegten (siehe Tabellen 37 und 41). Entsprechendes war bei einem Vergleich der Cellulose-Gehalte beider Arbeiten festzustellen. Die Celluloseeinlagerung veränderte sich also in den letzten Jahrzehnten nicht maßgeblich. Das ist wiederum ein Zeichen für die geringe züchterische Weiterentwicklung der Restpflanzenqualität.
In einer Studie von JUNG und CASLER (2006a und b) fanden sich im Zeitraum von Ende August bis Mitte Oktober keine Veränderungen in den Monomeren der Cellulose und der Hemicellulose mehr. Hier zeigten sich zwar auch Anstiege im Zellwandmaterial, diese waren jedoch in einem weit früheren Reifestadium bis ca. Mitte Juli feststellbar. Danach blieben die Gehalte auf einem Niveau, das sich allerdings in der Größenordnung der eigenen Untersuchung bewegte (ca. 45% Glucose, ca. 22% Xylose, ca. 5% Arabinose und ca. 3% Uronsäuren). FUKUSHIMA und HATFIELD (2001) stellten in Restpflanzen im frühen Teigreifestadium Gehalte an Glucose von 50,4, an Xylose von 24,3 und an Arabinose von 2,3% fest. Die Glucose- und Xylose-Gehalte sind in dieser Studie vergleichbar mit den Werten von JUNG und CASLER (2006a), vor allem wenn der etwas frühere Reifestatus bei FUKUSHIMA und HATFIELD (2001) berücksichtigt wird.

Lignin

Die Ligningehalte veränderten sich in der vorliegenden Arbeit unterschiedlich. So zeigten ADL und Klason-Lignin einen leichten Anstieg über den Reifeverlauf hinweg, während die ABSL-Gehalte in der Restpflanze über den gesamten beprobten Zeitraum gleich blieben (siehe Tabellen 30, 31 und 38). Gleiches wurde auch in

anderen Untersuchungen festgestellt. So korrelierten die ADL-Gehalte bei SCHWARZ und ETTLE (2000) nicht eng mit dem Reifestatus der Restpflanzen (r= +0,36). Auch HATFIELD et al. (2006) fanden keine starken Veränderungen im Lignin-Gehalt von Mais-Restpflanzen unterschiedlicher Reife. In der vorliegenden Arbeit, wies der ADL-Gehalt ebenfalls eine sehr schwache Beziehung zum Reifestatus (r= +0,10) auf, die nicht signifikant war. Auch die Korrelationskoeffizienten von KL und ABSL ließen praktisch keine Beziehung zum TS-Gehalt erkennen (ABSL: r= -0,07; KL: r= +0,21).
Daraus geht hervor, dass für die untersuchten Sorten in der vorliegenden Arbeit der absolute Gehalt an Lignin wenig über den Reifestatus der Pflanze aussagt. Inwiefern sich dies in der Abbaubarkeit verschieden reifer Pflanzen widerspiegelt, ist Thema des folgenden Kapitels. Es ist aber anzunehmen, dass für die Beschreibung des Reifestatus und der Abbaubarkeit von Mais-Restpflanzen der Lignin-Gehalt wenig aussagen dürfte.
Trotzdem gibt es Studien, die einen engen Zusammenhang zwischen Ligningehalt und Abreife der Restpflanze herstellen konnten. So zeigten GARDNER et al. (1999) in einer Untersuchung mit Mais-Internodien, dass die Gehalte an Phenolen (und damit an Lignin) im Material mit fortschreitendem Wachstum der Internodien vom jüngsten zum ältesten Abschnitt zunahmen. Dies bedeutet eine vermehrte Lignifizierung der Pflanzenzellwände, nicht nur mit zunehmender Abreife der gesamten Pflanze sondern auch innerhalb einer Pflanze in den unterschiedlichen Wachstumsabschnitten.
Das stimmt wiederum mit Ergebnissen von JUNG (2003) sowie JUNG und CASLER (2006a) überein, die starke Veränderungen im Ligningehalt (KL) im Verlauf der Abreife von Maisinternodien feststellen konnten (Anreicherung von Lignin im Material von 8 auf über 20%). Allerdings fanden diese Veränderungen schon in einem sehr frühen morphologischen Stadium statt (siehe hierzu auch „Monomere der Zellwandpolysaccharide“), so dass in dem Zeitraum, in dem die Maispflanzen in der vorliegenden Arbeit beprobt wurden, sich keine Veränderungen mehr zeigten und die Lignin-Gehalte konstant auf einem Niveau von ca. 20% blieben.

Phenolcarbonsäuren

MÉCHIN et al (2005) weisen explizit auf einen Punkt hin, der unbedingt beachtet werden sollte, wird mit Mais gearbeitet. Die *p*-Cumarsäureverbindungen der Ligneinheiten spielen hier eine Rolle. Es tritt nämlich eine Häufung der *p*-Cumarsäuren und

deren Veresterung zu Hemicellulosen während der Lignifizierung der Pflanzenzellwände auf (GRABBER et al., 2004). Auch HATFIELD et al. (2006) konnten einen Anstieg der *p*-Cumarsäuren-Gehalte im Verlauf der Abreife zeigen.

Bei Arbeiten von PROVAN et al. (1997) zeigte sich beim Vergleich von sehr jungem Material mit dem Material bei Siloreife, dass die Gehalte an *p*-Cumarsäuren im Verlauf der Abreife in den normalen Hybriden von 2,25% auf 2,57% anstiegen. Ein etwas stärkerer Anstieg im Reifeverlauf war bei den bm_3-Hybriden zu beobachten, bei denen die *p*-Cumarsäuregehalte zu Reifebeginn 1,04% betrugen und zu Siloreife 1,40%. Die absoluten Anstiege sind zwar gering, hatten aber signifikante Auswirkungen auf die Abbaubarkeit des Materials (siehe Kapitel 4.4.2). Die Ferulasäuregehalte zeigten bei PROVAN et al. (1997) keine maßgeblichen Veränderungen im Verlauf der Abreife.

Die Gehalte an *p*-Cumarsäuren betrugen in einer Studie von GRABBER et al. (1998) über synthetisch lignifizierte Maiszellwände 0 bzw. 0,45% im Material, die an Ferulasäuren 0 bzw. 1,79%. Bei MÉCHIN et al. (2005) enthielten die Zellwände ausgereifter Maiszellen von normalen Hybriden ca. 2% *p*-Cumarsäureester, die hauptsächlich mit Lignin verbunden waren.

In der vorliegenden Arbeit fanden sich zwischen frühen und späten Sorten ebenfalls große Unterschiede zwischen den Gehalten an *p*-Cumarsäuren von 1,55% (früh) und 2,11% (spät). Auch ließ sich hier ein starker Anstieg der *p*-Cumarsäuregehalte über den Reifeverlauf feststellen, während die Ferulasäuren keinen Anstieg zeigten (siehe Tabelle 38).

4.5.2 Ruminale Abbaubarkeit und in vitro Verdaulichkeit in Abhängigkeit des Reifestatus und deren Interaktion zur chemischen Zusammensetzung

Ruminale Abbaubarkeit und in vitro Verdaulichkeit der TS im Reifeverlauf

Die Zellwandverdaulichkeit vermindert sich mit zunehmender Abreife der Pflanze wesentlich (GIVENS und DEAVILLE, 2001). Dies betrifft sowohl die Gesamt-Verdaulichkeit der Zellwände als auch die ruminale Verfügbarkeit der Nährstoffe. MANYUCHI et al. (1994) ermittelten in Untersuchungen mit Mais-Restpflanzen eine Abbaubarkeit bei 48 h Inkubationszeit von 42,8%. Hier zeigte sich außerdem ein deutlicher Effekt des Reifestatus der Restpflanze auf die ruminale Abbaubarkeit. TOLERA et al. (1998) sowie TOLERA und SUNDSTØL (1999) fanden bei der Untersuchung der Sorte Beletech mit drei verschiedenen Erntezeitpunkten effektive Abbaubarkeiten (Passagerate: 3% h^{-1}) von 46,0% bis 38,7%. Vergleichbare Werte fanden BAL et al. (2000) bei Versuchen mit Restpflanzen-Silage zu zwei verschiedenen Reifestadien heraus. Hier zeigte sich ein Rückgang der ruminalen Abbaubarkeit der Trockensubstanz nach 24 Stunden Inkubationszeit um 5% von 44,6 auf 39,6%. Diese Werte liegen damit weit unter dem Bereich der ruminalen Abbaubarkeit nach 24 Stunden in der eigenen Arbeit (siehe Tabellen 53 und 54). Das Ausmaß des Rückgangs jedoch zeigt die gleiche Größenordnung von ca. 5%.

Ebenso bestätigen *in vitro* Untersuchungen, dass mit fortschreitender Abreife eine Verminderung der *in vitro*-Verdaulichkeit der Trockensubstanz und der Zellwände stattfindet. Der Arbeitsgruppe um CONE et al. (2008) gelang es beispielsweise, nachzuweisen, dass der Trockensubstanzgehalt (und somit der Reifestatus der Restpflanze) einen hochsignifikanten Einfluss auf das Gasbildungspotential der Restpflanze hat. IRLBECK et al. (1993) konnten mit zunehmender Abreife der Pflanze geringere IVDDM ermitteln. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der *in vitro*-Verdaulichkeit der Restpflanzen, die zur physiologischen Reife geerntet wurden (61,4% IVDDM) und denen, die 28 Tage nach ihrer physiologischen Reife geerntet wurden (56,2% IVDDM). Ähnliches stellten auch PROVAN et al. (1997) fest. Hier lag allerdings das Niveau der *in vitro*-Verdaulichkeit vor der Siloreife bei 50,5% und sank bis zum Siloreifestadium der Pflanzen auf 42,2%, war also wesentlich geringer als in der Arbeit von IRLBECK et al. (1993). Der relative Rückgang der IVDDM war jedoch in beiden Arbeiten vergleichbar. Auch SCHWARZ (1998) stellte in einer

Studie mit drei Maissorten eine kontinuierliche Abnahme der *in vitro*-Verdaulichkeit der Restpflanze von 50,0% im ersten Erntezeitpunkt Anfang September auf 44,8% im letzten Erntezeitpunkt Mitte Oktober fest. Ähnliche Werte ließen sich in der vorliegenden Arbeit ebenfalls ermitteln (siehe Tabellen 43 und 44). Hier lag jedoch die ELOS zu Beginn der Beprobung (die im gleichen Zeitraum Anfang September stattfand) mit durchschnittlich knapp 53% etwas höher (siehe auch Abbildung 26). HARTMANN et al. (2000) ermittelten ebenfalls eine Abnahme der *in vitro*-Verdaulichkeit der Trockensubstanz in der Restpflanze über die Abreife hinweg. Von diesen Autoren wurde zum ersten Erntezeitpunkt eine mittlere Verdaulichkeit von über 50% ermittelt während im letzten Erntezeitpunkt die Restpflanzen-Verdaulichkeit nur noch ca. 46% betrug. SCHWARZ und ETTLE (2000) fanden ELOS-Werte von 48,6% bei einem TS-Gehalt der Restpflanze von <20%, die sich signifikant auf 43,3% verringerten bei T-Gehalten von >27%. Dies entspricht in etwa den Werten, die in der vorliegenden Arbeit für die ELOS zu den verschiedenen Reifestadien gefunden wurden (siehe Tabellen A38-A40).

SCHWARZ und ETTLE (2000) berechneten außerdem eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen dem Reifestatus der Restpflanze und dem Gehalt an enzymlöslicher organischer Substanz. Hier betrug der partielle Korrelationskoeffizient -0,51.

Interessant ist aber, dass für die Abbaubarkeit ebenso wie für die Inhaltsstoffe auch Studien vorhanden sind, die eine Veränderung nur im sehr jungen Material feststellen können. So zeigte sich bei CONE und ENGELS (1993) eine Verringerung der *in vitro*-Zellwandverdaulichkeit in Mais nur bis Ende August, während danach die Werte konstant blieben. JUNG und CASLER (2006a und b) ermittelten analog zur Zunahme der Inhaltsstoffe in ihrer Arbeit eine Abnahme der *in vitro*-Verdaulichkeit der Zellwandpolysaccharide im Reifeverlauf von nahezu 90% auf ca. 25%. Auch hier zeigte sich aber ab Anfang August keine wesentliche Veränderung mehr in der Abbaubarkeit (siehe auch Kapitel 4.4.1).

In Abbildung 45 sind ELOS-Gehalt und Gasbildungspotential der drei Reifegruppen gegenübergestellt.

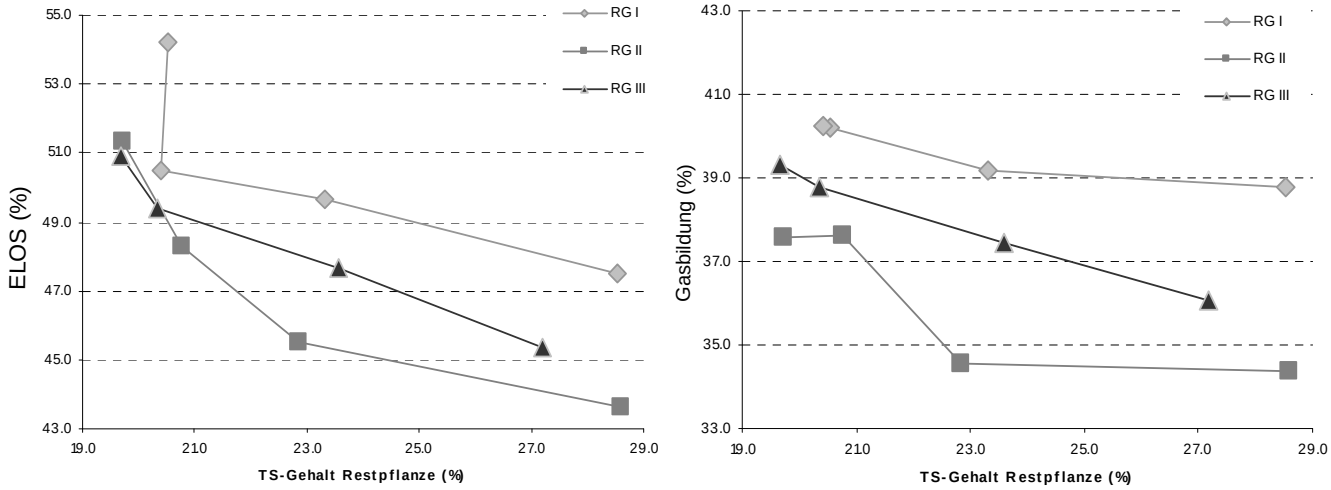


Abbildung 45: Beziehung zwischen Trockensubstanz- und ELOS-Gehalten bzw. Gasbildungspotential der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre (die Symbole repräsentieren EZP1 – 4)

Abbildung 45 zeigt deutlich, dass die ELOS-Gehalte im Material die Unterschiede in den Inhaltsstoffen (siehe Abbildungen 42, 43 und 44) zwischen den Reifegruppen sehr gut widerspiegeln. Auch war mit zunehmender Reife ein Rückgang des Gasbildungspotentials feststellbar.

Der ELOS-Gehalt zeigte in Reifegruppe I den gleichen charakteristischen Verlauf von Erntezeitpunkt 1 nach Erntezeitpunkt 2 wie dieser in den Rohfaser- und Detergentien-Gehalten festgestellt wurde: Die Trockensubstanzgehalte des Materials änderten sich nicht, jedoch die ELOS nahm massiv ab (analog zu der erheblichen Zunahme an XF und NDF im Material). Die Reifegruppen II und III unterschieden sich in den ersten beiden Erntezeitpunkten praktisch nicht in ihren ELOS-Gehalten. Ab dem dritten Erntezeitpunkt allerdings zeigte RG II viel geringere ELOS-Gehalte als RG III. Diese Unterschiede zwischen Reifegruppe II und III, die sich noch deutlicher im Gasbildungspotential der Reifegruppen finden, waren aufgrund der Inhaltsstoffe nicht nachzuvollziehen. In den pflanzlichen Gerüstsubstanzen zeigten die beiden Reifegruppen gleiche Gehalte an Rohfaser und NDF in den letzten beiden Erntezeitpunkten (siehe Abbildungen 42 und 43). Die ADF-Gehalte waren bei RG III sogar etwas höher (siehe Abbildung 44). Die ELOS-Gehalte und das Gasbildungspotential aber waren in Reifegruppe II wesentlich niedriger als in Reifegruppe III. Auch blieb das Gasbildungspotential in RG I zu Erntezeitpunkt 1 und 2 gleich und ließ überhaupt keine Veränderung erkennen.

In Abbildung 46 ist der Verlauf der effektiven ruminalen Trockensubstanz-Abbaubarkeit bei einer angenommenen Passagerate von 6% h^{-1} dargestellt.

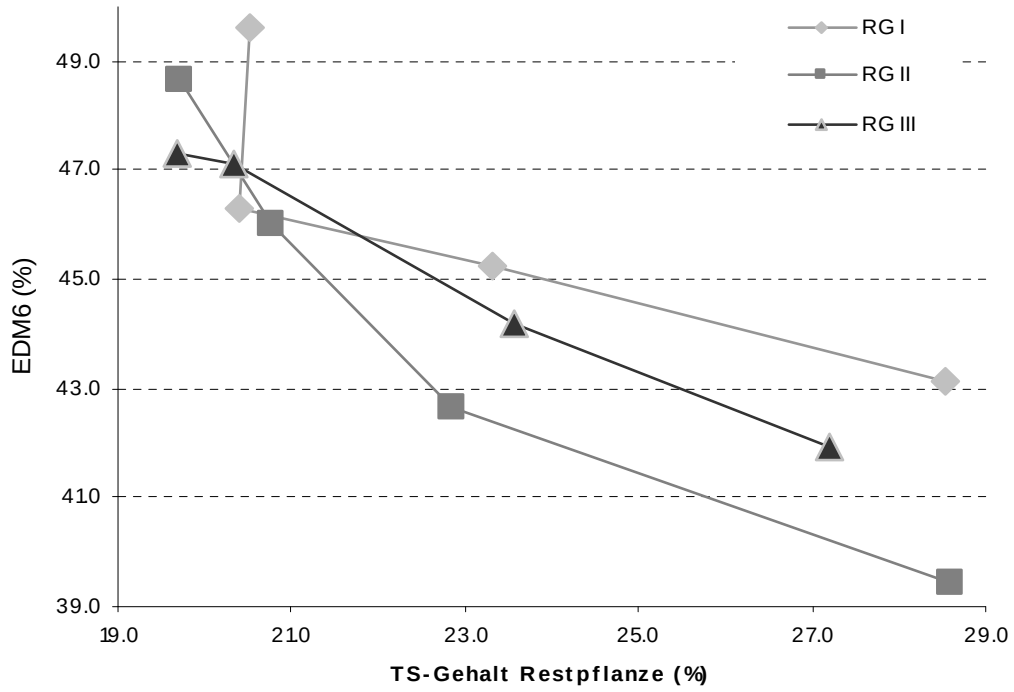


Abbildung 46: Beziehung zwischen Trockensubstanz-Gehalt und effektiver ruminaler Abbaubarkeit der Trockensubstanz der drei Reifegruppen im Mittel über drei Erntejahre (die Symbole repräsentieren EZP1 – 4)

Aus Abbildung 46 lässt sich ebenfalls die charakteristische Verminderung der Abbaubarkeit in Reifegruppe I von EZP1 nach EZP2 nachvollziehen. Außerdem ist in der effektiven Abbaubarkeit zu erkennen, dass die drei Reifegruppen vor allem im Erntezeitpunkt 2 sehr nah beieinander lagen und sich in ihrer effektiven Trockensubstanzabbaubarkeit kaum differenzierten. Dies konnte in den Inhaltsstoffen nicht nachvollzogen werden.

Die Reduktion in der effektiven Abbaubarkeit des Materials vollzog sich jedoch nicht in allen Reifegruppen kontinuierlich von einem Erntezeitpunkt zum nächsten. So ließ sich in Reifegruppe III in allen drei Erntejahren *kein* Rückgang der EDM von Erntezeitpunkt 1 auf Erntezeitpunkt 2 beobachten. Das ist prinzipiell als positiv zu erachten, da dies eine Erweiterung des möglichen Erntefensters bedeutet.

Ebenso ist in der Darstellung der Abbaubarkeitscharakteristika auffällig, dass Reifegruppe II in allen drei bestimmten Abbaubarkeitsparametern eine wesentlich niedrigere Abbaubarkeit aufwies als Reifegruppe III (siehe auch oben). Dieser Sachverhalt

konnte ebenfalls aus den Inhaltsstoffen nicht abgeleitet werden. In den pflanzlichen Gerüstsubstanzen wiesen die beiden Reifegruppen entweder ungefähr gleich hohe Gehalte auf oder Reifegruppe III hatte höhere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen. In diesem Zusammenhang bleibt zu prüfen, ob sich eventuell größere Übereinstimmungen zwischen den Lignin- bzw. Phenolcarbonsäure-Gehalten und der Abbaubarkeit im Reifeverlauf ergeben.

Abbaubarkeitscharakteristika der pflanzlichen Gerüstsubstanzen

Wichtigster Inhaltsstoff der Trockenmasse ist die Summe der pflanzlichen Gerüstsubstanzen. Daher soll im folgenden geklärt werden, wie sich NDF-Gehalte und NDF-Abbaubarkeit im Reifeverlauf verändern.
In einer Untersuchung von CONE et al. (2008) verringerte sich die NDF-Abbaubarkeit der Restpflanze während der Abreife von 52,6% auf 49,1%. Dies entspricht Ergebnissen von CONE und ENGELS (1993) (die dies allerdings nur in der vegetativen Wachstumsphase der Pflanzen feststellen konnten). DEAVILLE und GIVENS (2001) fanden in ihren Untersuchungen ähnliche Zusammenhänge. In der eigenen Arbeit ergab sich eine Reduktion der ruminalen NDF-Abbaubarkeit nach 48-stündiger Inkubationszeit von 66,9% in EZP1 auf 63,1% in EZP4. Die absoluten Werte lagen hier zwar höher, das Ausmaß der Reduktion im Verlauf der Abreife war jedoch ungefähr gleich. Auch die effektive ruminale Abbaubarkeit der NDF verringerte sich im Verlauf der Abreife signifikant von 50,6 auf 41,7%. Dies war bei verschiedenen angenommenen Passageraten (2, 4, 6 und 8% pro Stunde) jeweils gleich. Lediglich das Niveau der Abbaubarkeit veränderte sich mit zunehmender Passagerate. Abbildung 47 zeigt die effektiven Abbaubarkeiten der NDF bei den oben aufgeführten Passageraten im Vergleich.

Aus der Abbildung geht deutlich hervor, dass die effektive Abbaubarkeit der NDF durch den Reifestatus der Restpflanze beeinflusst wird.

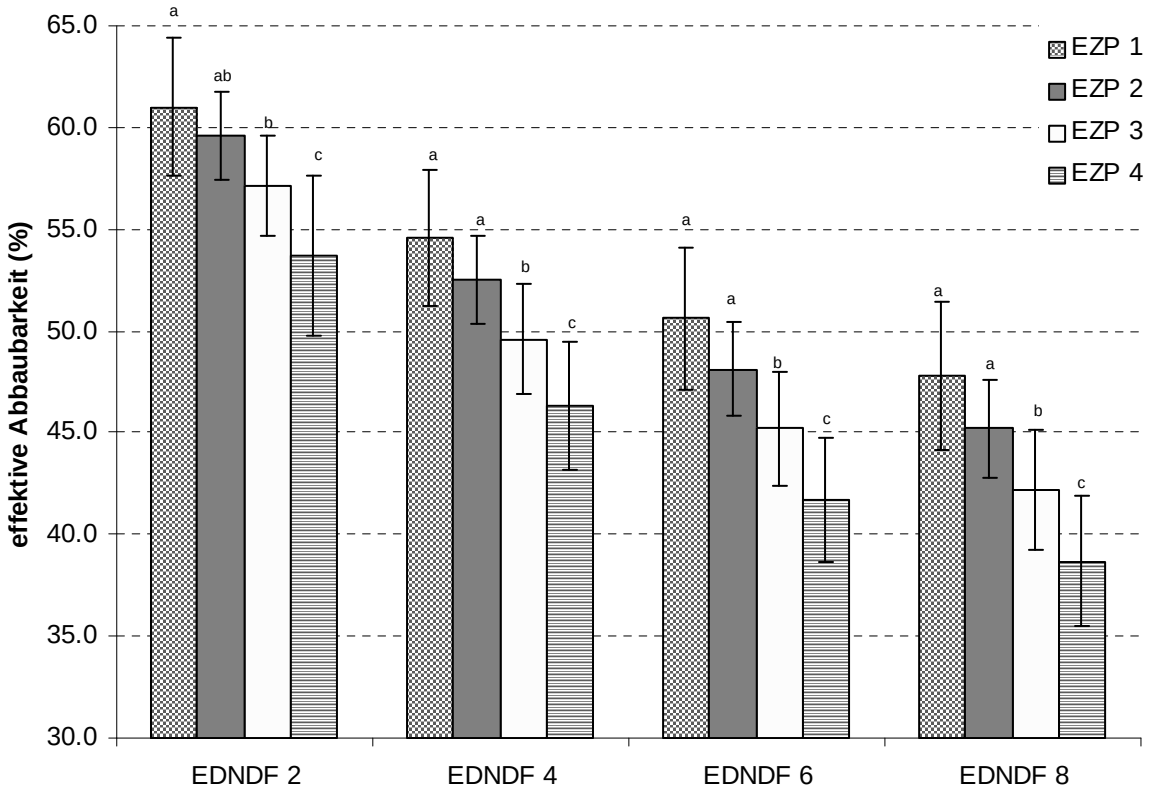


Abbildung 47: Veränderung der effektiven Abbaubarkeit der NDF (in %) bei angenommenen Passageraten von 2 (EDNDF2), 4 (EDNDF4), 6 (EDNDF6) und 8 (EDNDF8) Prozent pro Stunde im Reifeverlauf

Es gibt aber auch Arbeiten, die anderes festgestellt haben. So konnte RUSSEL (1986) in der *in vitro*-Verdaulichkeit von Restpflanzen-Silage keine signifikante Verringerung im Verlauf der Abreife feststellen. Auch BESLE et al. (1995) zeigten in Verdaulichkeitsversuchen von Maissilagen (Ganzpflanze) bei Schafen, dass sich die NDF-Verdaulichkeit im Verlauf der Abreife nicht verringerte und zwischen 60 und 68% lag. BAL et al. (2000) konnten in einer Untersuchung von Restpflanzen-Silage zu zwei verschiedenen Erntezeitpunkten sogar eine Erhöhung der ruminalen NDF-Abbaubarkeit nach 24-stündiger Inkubation von 17,3 auf 20,1% feststellen. Dies steht gänzlich im Widerspruch zu den Ergebnissen aus der vorliegenden Arbeit, in der sich eine signifikante Verringerung der NDF-Abbaubarkeit mit fortschreitender Abreife von 60,5 auf 51,8% (24 h Inkubationszeit) ergab (siehe Tabelle 72). Ein Erklärungsansatz für die steigende NDF-Abbaubarkeit bei BAL et al. (2000) wäre eventuell der Umstand, dass es sich bei den Restpflanzen-Proben um Silage handelte. Während der Silierung treten Umsetzungsprozesse im Material auf. Da die Silage im späteren Erntezeitpunkt einen sehr hohen Trockensubstanzgehalt aufwies ist davon auszugehen, dass nur noch wenig lösliche Zucker im Material vorhanden waren. Dadurch erhöhten sich

möglicherweise die Umsetzungen in der NDF-Fraktion, womit sich folglich auch die NDF-Abbaubarkeit vergrößerte.

Lignin und Abbaubarkeitscharakteristika

Lignin ist laut JUNG und DEETZ (1993) die Hauptkomponente der Pflanzenzellwand, die die Verdaulichkeit von Zellwandpolysacchariden limitiert. Hier spielt der Grad der Inkrustierung der Zellwände mit Lignin eine Rolle. Inkrustierung meint die Menge an Lignin, die mit fortschreitender Abreife der Pflanze in die Zellwand eingelagert wird. Diese hängt maßgeblich von Alter und Genotyp der Pflanze ab (SÜDEKUM und HASSELMANN, 1989; SCHNEIDER und FLACHOWSKY, 1991; CONE und ENGELS, 1993).
Lignifizierung reduzierte in einer Studie von GRABBER et al. (1997 und 1998) die Abbaubarkeit der Zellwände massiv. So fanden die Autoren für jeden Prozentpunkt mehr Lignin im Material eine Verringerung der Kohlenhydratlöslichkeit von zwei Prozent. Nicht-lignifizierte Zellwände zeigten bei GRABBER et al. (1998) einen schnellen und starken enzymatischen Abbau von 44,0% nach 6 h bzw. 76,6% nach 72 h Inkubation. Dies änderte sich durch die *in vitro* induzierte Lignifizierung der Zellwände auf ca. 12% Klason-Lignin (was ja einem Reifungsprozess entspricht) maßgeblich. Hier betrug die enzymatische Löslichkeit nach 6 h nur noch zwischen ca. 11 und 21% (je nach Zusammensetzung des Lignins) bzw. zwischen ca. 33 und 47% nach 72 h Inkubation. Ähnliche Auswirkungen zeigten sich bei der Inkubation mit Pansenmikroben.
Auch JUNG et al. (1998a) und JUNG (2005) konnten bei *in vitro* Studien bezüglich der reifegradabhängigen Abbaubarkeit von Polysacchariden in Maisinternodien unter Inkubation mit Pansensaft einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen zunehmender Reife der Internodien und deren Abbaubarkeit bestätigen. Dies wurde durch die Limitation des Zellwandabbaus durch vermehrte Lignineinlagerung in die abreifende Pflanze begründet. Allerdings wird auch angenommen, dass in Gräsern eine weitere Ursache die Ferulate sind, die mit fortschreitender Reife der Pflanze Quervernetzungen zwischen Lignin und Arabinoxylanen bilden und so den Zugang zu den Strukturen für die Pansenmikroorganismen erschweren (JUNG et al., 1998a und b; CASLER und JUNG, 1999). RALPH et al. (1995) konnten außerdem zeigen, dass Ferulasäurester als Initiationsstellen für die Lignineinlagerung in Gräsern dienen.

In einem Verdaulichkeitsversuch von BESLE et al. (1995) zeigte sich über den Verlauf der Abreife eine sehr hohe Korrelation (r= -0,96) zwischen dem Lignin-Gehalt in der Silage und der Verdaulichkeit der organischen Substanz. Die Verdaulichkeit der NDF hingegen war wesentlich schwächer von dem Gehalt an Lignin im Material beeinflusst (r= -0,70). In der eigenen Arbeit konnten keine starken Korrelationen zwischen Lignin-Gehalt und ruminaler Abbaubarkeit im Reifeverlauf festgestellt werden (siehe Kapitel 4.4.2).

Zwar ist die negative Korrelation von Ligningehalt und Zellwandabbaubarkeit wesentlich stärker, wenn Pflanzen aus verschiedenen Reifestadien untersucht werden (im Vergleich zu Pflanzen gleichen Reifestatus) (JUNG und VOGEL, 1992; JUNG und BUXTON, 1994). Allerdings weist GIGER-REVERDIN (1995) in ihrem Review über die am häufigsten genutzten Methoden zur Zellwandbestimmung darauf hin, dass innerhalb einer Pflanzenfamilie (wie es in der vorliegenden Arbeit der Fall ist) der Lignin-Gehalt keinen besonders aussagekräftigen Parameter zur Vorhersage der Zellwandverdaulichkeit darstellt. Dies kann durch die eigenen und die Untersuchungen von DOBBERSTEIN (2008) auch bestätigt werden.

Phenolcarbonsäuren und Abbaubarkeitscharakteristika

Wie oben schon erwähnt spielen die Quervernetzungen der Strukturen eine wichtige Rolle bei der Charakterisierung der ruminalen Verfügbarkeit des Zellwandmaterials. Zwar sind die absoluten Gehalte an Phenolcarbonsäuren im Material gering, der Einfluss auf die Abbaubarkeit ist dennoch unbestritten.

Wie in Kapitel 4.4.2 dargestellt, ergab sich zwischen den Gehalten an Ferulasäure im Material und der Abbaubarkeit kein enger Zusammenhang. Dies könnte nach JUNG (2005) sowie JUNG und CASLER (2006b) daran liegen, dass die Gehalte an Ferulasäuren je nach Reifestatus der Pflanze negativ (in der vegetativen Phase) oder positiv (in der Abreifephase) mit der Abbaubarkeit korrelieren. Wird also versucht, Proben aus den verschiedenen Wachstumsphasen miteinander zu korrelieren, ergibt sich ein sehr schwacher Zusammenhang. Deshalb sind die Gehalte an Ferulasäuren kein geeigneter Parameter, um Genotypen mit höherer Zellwandverdaulichkeit zu identifizieren (JUNG, 2005). Im folgenden wird darum nur auf die p-Cumarsäuren eingegangen werden.

PROVAN et al. (1997) fanden in Restpflanzen zweier unterschiedlicher Reifestadien einen Anstieg der *p*-Cumarsäuregehalte mit fortschreitender Abreife der Restpflanze (2,25 auf 2,57%) bei gleichzeitigem Rückgang der *in vitro*-Verdaulichkeit um ca. 8% (50,5% auf 42,2%). Es ist davon auszugehen, dass die Unterschiede in der Cellulase-Verdaulichkeit bei PROVAN et al. (1997) tatsächlich mit dem Gehalt an *p*-Cumarsäuren und dessen Veränderung im Verlauf der Abreife zusammenhängen. Es wurden nämlich drei Hybriden (normal, bm_1 und bm_3) getestet. Dabei zeigte sich, dass die bm_3-Hybride den geringsten Gehalt an *p*-Cumarsäure und auch die höchste Abbaubarkeit aufwies. Jedoch stieg der *p*-Cumarsäure-Gehalt in der bm_3-Hybride im Reifeverlauf genauso stark an wie in der normalen Hybride womit die Abbaubarkeiten in beiden Hybriden ungefähr gleich stark sanken (aber auf verschiedenem Niveau). In der bm_1-Hybride hingegen stieg der *p*-Cumarsäure-Gehalt fast gar nicht in der Abreife (1,50 auf 1,52%) und hier zeigte sich ein wesentlich schwächerer Rückgang der Cellulase-Verdaulichkeit (ca. 4%) als in den beiden anderen Hybriden (normal: ca. 8%; bm_3: ca. 11% Rückgang).

Der Einfluss der *p*-Cumarsäuren-Gehalte ließ sich auch in den Abbaubarkeiten des Materials in der vorliegenden Arbeit wiederfinden, wenn auch nicht mit so gravierenden Auswirkungen wie in der Literatur beschrieben. So waren Gasbildungspotential und enzymlösliche organische Substanz in den frühen Sorten um ca. 2% höher als in den späten (siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2). Auch die *in situ* Verluste der Trockensubstanz waren in den frühen Sorten bei 72 h Inkubationszeit um ca. 1% höher und lagen bei ca. 69 respektive 68%. Um hierzu genauere Aussagen treffen zu können, müssten aber noch eingehendere Untersuchungen mit mehr Probenmaterial durchgeführt werden. Diese Analysen sind aber sowohl sehr arbeitsintensiv als auch teuer, was eine generelle Miteinbeziehung der Gehalte an Hydroxyzimtsäuren in eine futtermittelkundliche Bewertung der Maispflanze schwierig machen dürfte.

5. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen, dass Genotyp und Erntezeitpunkt den Futterwert der Restpflanze von Silomais maßgeblich bestimmen. So zeigt die chemische Zusammensetzung der Restpflanze eine deutliche Beziehung zur Reifegruppe und somit zum genetischen Potential der Pflanze. Dabei konnten ausgeprägte Unterschiede zwischen den untersuchten Sorten im Zellwandgehalt in Abhängigkeit von der Reifegruppe festgestellt werden. Früher reife Sorten wiesen hier geringere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen (Rohfaser, NDF, ADF, Cellulose) auf. Gleiches traf auch auf die Gehalte an Phenolcarbonsäuren zu. Reifegruppe III erwies sich beispielsweise mit einem höheren NDF-Gehalt in der Trockenmasse in ihrer TS-Abbaubarkeit ebenso wie in ihrer NDF-Abbaubarkeit als erniedrigt. Das wirkte sich in einer stark negativen Wechselwirkung zwischen NDF-Gehalten und ruminaler Abbaubarkeit aus (EDM6: -0,77; EDNDF6: -0,79). Der ADF-Gehalt, der in der Literatur von mehreren Autoren als maßgeblich den ruminalen Abbau bestimmender Faktor benannt wurde (VERBIČ et al., 1995; HÖHNER, 2001), wies ein ähnliches Verhältnis zur ruminalen Abbaubarkeit auf wie der NDF-Gehalt. Daraus lassen sich für die in der vorliegenden Arbeit getesteten Sorten folgende Schlussfolgerungen ziehen: Die Restpflanze zeigte in den frühreifen Sorten dieser Untersuchung bei gleichem phyiologischen Reifestatus durchgehend niedrigere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen und eine höhere Abbaubarkeit. Dadurch scheinen auch aus Sicht des Futterwerts der Pflanze – nicht nur wegen einer früheren Einlagerung von Stärke in das Korn – die frühen Sorten dieser Arbeit für unsere klimatischen Verhältnisse besser geeignet zu sein als die späten. Dies ist möglicherweise überraschend, da den späteren Sorten entsprechend der in der Regel noch „grünen“ Restpflanze eine höhere Abbaubarkeit zugeschrieben wird. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass der Vergleich in der vorliegenden Arbeit bei gleicher *physiologischer Reife* und nicht kalendarisch gleich durchgeführt wurde. Grundsätzlich, da die NDF-Gehalte eng negativ mit der Abbaubarkeit der Restpflanze korreliert sind, ist immer ein möglichst niedriger NDF-Gehalt im Material anzustreben, was durch die Sortenwahl hier möglich wäre.

In dieser Arbeit konnte außerdem bestätigt werden, dass der physiologische Reifestatus der Pflanze einen wesentlichen Einfluss auf die ruminale Abbaubarkeit und somit auf den Futterwert der Restpflanze ausübt. Auch modifizierten die genotypischen Eigenschaften die Abreife der Pflanzen deutlich. So zeigte bei-

spielsweise Reifegruppe I einen deutlichen Anstieg der pflanzlichen Gerüstsubstanzen in einem frühen Reifestadium (EZP1 und 2), während die Gehalte an Trockensubstanz in der Restpflanze sich nicht veränderten. Dies war bei den beiden anderen Reifegruppen nicht zu beobachten. Die Abbaubarkeit des Restpflanzenmaterials veränderte sich entsprechend. Allerdings zeigte sich vor allem im zweiten Erntezeitpunkt praktisch kein Unterschied in der ruminalen Abbaubarkeit zwischen den Reifegruppen. Zum dritten Erntezeitpunkt hin jedoch, der in etwa der Siloreife der Pflanzen entsprach, differenzierten sich die Reifegruppen erheblich. Reifegruppe I zeigte gegenüber den Reifegruppen II und III bis zum letzten Erntezeitpunkt die höchste Abbaubarkeit. Dies bedeutet, dass das Erntefenster der frühen im Verhältnis zu den später abreifenden Sorten wesentlich weiter gesteckt werden kann. So zeigte RG I zum vierten Erntezeitpunkt eine vergleichbare Abbaubarkeit der Restpflanze wie RG III im 3. EZP. Das heißt, Reifegruppe I kann länger abreifen, ohne wesentliche Verluste in der Verfügbarkeit der Nährstoffe aus den Pflanzenzellwänden hinnehmen zu müssen. Somit ist es möglich, die Stärkeeinlagerung ins Korn länger auszunutzen als in den mittelfrühen und mittelspäten Sorten.

In der vorliegenden Arbeit wurde – wie vorausgehend bereits erwähnt – darauf geachtet, dass der physiologische Reifestatus der Pflanzen verschiedener Genotypen gleich war. Das bedeutet, dass die Reifegruppen nach ihrem tatsächlichen Reifegrad geerntet und dem gleichen Erntezeitpunkt zugeordnet wurden. So ergaben sich zwischen den einzelnen Reifegruppen zeitliche Differenzen von 7-10 Tagen für den gleichen Erntezeitpunkt. Dies ist insofern von besonderer Bedeutung, weil dadurch eine direkte Vergleichbarkeit der verschiedenen Sorten möglich wird. In der Praxis jedoch gestaltet sich die Erntesituation meist so, dass die Sorten zum gleichen Datum geerntet werden und sich somit die später abreifenden Sorten in einem physiologisch jüngeren Entwicklungsstadium befinden. Dadurch entsteht für den Landwirt der Eindruck, die spätere Sorte sei besser verwertbar und somit hochwertiger. Die Pflanzen sind aber lediglich jünger und haben weniger Trockenmasse in der Restpflanze sowie eine geringere Stärkeeinlagerung im Korn aufzuweisen.

Allerdings bleibt die Maispflanze in ihrer Gesamtheit zu prüfen. So muss noch geklärt werden, ob die Vorteile der frühen Sorten in der Restpflanze durch eventuelle Nachteile in Bezug auf die Stärkegehalte oder den Kolbenanteil in der Silage gemindert oder ganz kompensiert werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass die frü-

hen Sorten – aufgrund der verlängerten Stärkeeinlagerungsperiode – sogar höhere Stärkegehalte aufweisen sollten, als die späten Sorten. Letztere kommen oft aufgrund der Witterungsverhältnisse nicht mehr zur vollen Ausschöpfung ihres Potentials. Das wurde auch in der vorliegenden Arbeit deutlich.

Außerdem stellt sich die Frage, ob die Silierung einen positiven Einfluss auf die Abbaubarkeit der NDF in der Restpflanze ausübt und somit eine längere Abreife der Pflanze angestrebt werden kann. Hinweise hierzu sind in der Literatur vorhanden (BAL et al., 2000). Um dies für die vorliegenden Sorten zu klären, sollten vergleichende Versuche mit den Silagen der Restpflanzen verschiedener Reifegruppen angeschlossen werden.

Es muss des Weiteren noch erwähnt werden, dass verschiedene Untersuchungen anderer Autoren (CONE und ENGELS, 1993; JUNG und CASLER, 2006a und b) stärkere Veränderungen in bestimmten Inhaltsstoffen und der Abbaubarkeit feststellen konnten als dies in der vorliegenden Arbeit der Fall war. Das wurde vor allem für die Lignin-Gehalte der Pflanzen ermittelt, die sich in den genannten Studien nur in der vegetativen Wachstumsphase veränderten. In dieser Wachstumsphase wurden jedoch in der eigenen Arbeit keine Beprobungen durchgeführt. Das könnte eine Erklärung für die schwache Beziehung zwischen den Lignin-Gehalten und der Abbaubarkeit in der vorliegenden Arbeit sein, da somit eventuelle Veränderungen in dieser Periode nicht erfasst werden konnten. Allerdings fanden sich für andere Parameter wie die NDF-, ADF- oder auch die Rohfasergehalte durchaus Veränderungen über die gesamte geprüfte Vegetationsperiode.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von Genotyp und physiologischer Reife von Mais auf die chemische Zusammensetzung und die ruminale Abbaubarkeit der Restpflanze untersucht. Dadurch sollte geklärt werden, welche Inhaltsstoffe und chemische Zusammensetzung der Pflanzenzellwände für den Futterwert von Mais maßgeblich und unter Umständen auch für die Pflanzenzüchtung von Bedeutung sind.

Hierfür wurden 16 verschiedene Maishybriden (Monsanto Agrar Deutschland, GmbH) in die Untersuchung einbezogen, um genotypischen Variationen Rechnung zu tragen. Die 16 Hybriden wurden in drei Reifegruppen zusammengefasst. Zu Reifegruppe I (S210-S220) wurden die frühreifen Sorten zugeteilt, zu Reifegruppe II (S230-S250) die mittelfrühen und zu Reifegruppe III (>S260) die mittelspäten Sorten. Die Ernte der Sorten erfolgte bei gleichem physiologischen Reifestatus der Pflanzen.

Auch wurde der Anbau von sechs Hybriden über drei Erntejahre (2004, 2005 und 2006) hinweg wiederholt, um potentielle Umwelteffekte auf das Wachstum und die Zellwandentwicklung auszuschließen. Alle Hybriden wurden zu jeweils vier Zeitpunkten geerntet, die sich nach dem Trockensubstanzgehalt des Korns richteten. Die Trockensubstanz im Korn sollte im ersten Erntezeitpunkt 48-52%, im 2. Erntezeitpunkt 54-58%, im dritten 60-64% und im letzten Erntezeitpunkt 65-70% betragen. Diese Kriterien konnten für alle Sorten eingehalten werden. So wurde die physiologische Entwicklung der Restpflanze nachvollzogen.

Nach der Ernte wurde der Kolben von der Restpflanze entfernt. Die Restpflanze mit den Lieschen diente für die weiteren Untersuchungen.

Die chemischen Analysen der Proben gliederten sich in zwei Bereiche. Der eine Bereich umfasste die Bestimmung der Rohnährstoffe mit der Weender-Analyse sowie der pflanzlichen Gerüstsubstanzen mithilfe der Detergentienanalyse nach Van Soest (NDF, ADF, ADL, Cellulose, Hemicellulose). Dies erfolgte in der vorliegenden Arbeit. Darüber hinaus wurde in der Arbeit von DOBBERSTEIN (2008) eine weiterführende Analytik der Gehalte an Zellwandkohlenhydraten, Lignin und Phenolcarbonsäuren sowie Untersuchungen zur Strukturaufklärung der Zellwandbestandteile durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Proben neben der chemischen Analysen auch auf ihre ruminale Abbaubarkeit, ihre Gehalte an enzymlöslicher organischer Substanz und auf ihr Gasbildungspotential hin untersucht.

Hauptaugenmerk lag hierbei auf der ruminalen Abbaubarkeit der Restpflanze. Dazu wurde das Material in insgesamt sechs pansenfistulierten trockenstehenden Milchkühen für bis zu 96 Stunden (h) inkubiert. Aus den daraus resultierenden T-Verlusten erfolgte die Schätzung folgender Parameter des ruminalen Abbaus: a= schnell abbaubare bzw. lösliche Fraktion, b= unlösliche aber abbaubare Fraktion, c= Abbaurate von Fraktion b sowie t_0 (lag time), die die Verzögerungszeit zwischen Inkubationsbeginn und dem Start des mikrobiellen Abbaus beschreibt. Aus diesen Werten wurde die effektive ruminale Abbaubarkeit bei einer angenommenen Passagerate von 6%/h, was einer mittleren bis hohen Futteraufnahme entspricht, berechnet.

Als weiteres Messkriterium wurde in der vorliegenden Arbeit der NDF-Verlust nach definierten Inkubationszeiten, sowie der effektive NDF-Abbau im Material bestimmt. DOBBERSTEIN (2008) führte außerdem weitergehende Analysen in den Residuen nach definierten Inkubationszeiten durch (siehe hierzu DOBBERSTEIN, 2008).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Genotypisch bedingte Einflüsse

Der Einfluss des Genotyps (hier Reifegruppe) wurde vor allem in der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials der untersuchten Sorten deutlich. So wiesen die Sorten der frühen Reifegruppe bei gleicher physiologischer Reife durchgehend signifikant niedrigere Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen auf (Rohfaser, NDF, ADF, Cellulose). Die Reifegruppe I – gemittelt über alle Erntezeitpunkte – enthielt 33,5% Rohfaser, 57,5% NDF und 35,6% ADF i.d.T., während Reifegruppe III signifikant höhere Gehalte an Rohfaser, NDF und ADF von 35,5, 59,7 bzw. 38,0% i.d.T. zeigte. Auch die Gehalte an Phenolcarbonsäuren ließen eindeutige genetisch bedingte Unterschiede zwischen den Reifegruppen erkennen (DOBBERSTEIN, 2008). Hier enthielten wiederum die frühen Sorten signifikant geringere Konzentrationen von 2,17% (Reifegruppe III: 2,72%).

In der Abbaubarkeit des Materials spiegelten sich diese Unterschiede wider, konnten jedoch nicht statistisch abgesichert werden. So zeigte Reifegruppe I eine höhere effektive Abbaubarkeit – gemittelt über alle Erntezeitpunkte – von 46,1% während in Reifegruppe III die EDM6 nur 45,1% betrug.

Es konnte außerdem eine stark negative Wechselwirkung zwischen NDF-Gehalten und ruminaler Abbaubarkeit festgestellt werden (EDM6: -0,77; EDNDF6: -0,79). Der ADF-Gehalt wies ein ähnliches Verhältnis zur ruminalen Abbaubarkeit auf.
Allerdings waren die Ergebnisse zwischen den Analysenverfahren nicht immer konsistent. So ergaben sich die vorher genannten Zusammenhänge in Bezug auf die Gehalte an Kohlenhydratmonomeren im Material nicht (DOBBERSTEIN, 2008).
Die Ligningehalte (KL, ABSL und ADL) erwiesen sich in der vorliegenden Arbeit als wenig aussagekräftig und zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Genotypen. Auch ergab sich kein Zusammenhang zwischen Lignin-Gehalt und Abbaubarkeit der Restpflanze.

Reifephysiologisch bedingte Einflüsse

Außerdem konnte bestätigt werden, dass der physiologische Reifestatus der Pflanze einen wesentlichen Einfluss auf die ruminale Abbaubarkeit und somit auf den Futterwert der Restpflanze ausübt. Es zeigte sich, dass sich die ruminale Abbaubarkeit, die *in vitro*-Verdaulichkeit und der Futterwert der Mais-Restpflanze mit unterschiedlichen Erntezeitpunkten und damit unterschiedlicher Reife der Pflanze wesentlich verändern. So wiesen die Pflanzen im jungen Reifestadium eine effektive Abbaubarkeit von 48,5% auf, die sich zum 4. Erntezeitpunkt signifikant auf 41,3% verringerte. Auch modifizierten die genotypischen Eigenschaften die Abreife der Pflanzen deutlich. Reifegruppe I zeigte einen deutlichen Anstieg der pflanzlichen Gerüstsubstanzen in einem frühen Reifestadium (EZP1 und 2) von knapp 55 auf ca. 57% NDF, während die Gehalte an Trockensubstanz in der Restpflanze sich nicht veränderten. Dies war bei den beiden anderen Reifegruppen nicht zu beobachten.
Die ruminale Abbaubarkeit und die ELOS-Gehalte veränderten sich innerhalb der Reifegruppen entsprechend der Gehalte an pflanzlichen Gerüstsubstanzen. So ging in Reifegruppe I die ruminale Abbaubarkeit von EZP1 nach EZP2 um 3% zurück (EZP1: 49,1%; EZP2: 46,1%). In Reifegruppe III zeigte sich hier keine Veränderung der EDM6 (EZP1: 46,6%; EZP2: 46,7%) Das Gasbildungspotential hingegen spiegelte nicht in dem Maße die sortenspezifischen Besonderheiten in der Abreife wider. Im Gasbildungspotential liessen sich keine Unterschiede zwischen EZP1 und EZP2 ausmachen (beide ca. 41%). Im Gegensatz dazu verliefen die Erntezeitpunkte 3 und 4 in ihrer Abbaubarkeit und im Gasbildungspotential den Inhaltsstoffen entsprechend.

7. Summary

The aim of the present study was to investigate the influence of plant genotype and stage of maturity of maize on chemical composition and ruminal degradability of the plant stover, i.e. plant with husks but without the cob. The results were sought to clarify which chemical components of the plant cell walls affect the feeding value of maize and which traits are potentially important for the plant breeders to improve the overall feeding value of maize hybrids.

Sixteen different maize hybrids (Monsanto Agrar Deutschland, GmbH) were included in the investigation to adequately cover genotypic variability. The sixteen hybrids were separated into three maturity groups. The very early to early maturing varieties were assigned to maturity group I (S210-S220), the mid-early maturing varieties were assigned to maturity group II (S230-S250) and the mid-late maturing varieties to maturity group III (>S260). The harvest timing of the varieties within the different maturity groups was based upon the physiological maturity of the plants and not on a fixed date.

The cultivation of six hybrids was repeated for three harvest years (2004, 2005 and 2006) to exclude potential environmental effects on the growth and the cell wall development. All hybrids were harvested at four harvest dates which were decided by the dry matter content of the grain. The dry matter content of the grain for each harvest date was set at to be 48-52% for the 1st harvest, 54-58% for the 2nd harvest, 60-64% for the 3rd and 65-70% in the last harvest date. These criteria were kept for all varieties in all three years thereby reproducing the physiological development of the stover.

After harvest, the cob was discarded and only the stover with the corn husks were used for further investigations.

The chemical analysis of the stover was divided up into the measurement of the crude nutrients with the Weender analysis method as well as the determination of the structural cell wall components of the plants by means of the van Soest analysis method (NDF, ADF, ADL, celluloses, hemicelluloses). Furthermore, analytics of cell wall contents (carbohydrates, lignins and phenolic acids) as well as investigations into the clarification of the structural make-up of the cell wall components were carried out in another study by DOBBERSTEIN (2008).

Moreover, the samples were examined for their ruminal degradability, their content in enzymatic degradable fraction (cellulase method) as well as their potential of gas production (Hohenheimer Futterwert-Test).

For the determination of the ruminal degradability the *in situ*-technique was used. In this method feed samples were enclosed in nylon bags, which were then incubated in the rumen of six non lactating dairy cows fitted with ruminal cannulae. Thus it is possible to generate characteristic ruminal degradation curves. Additionally, by considering the rate of passage of undigested feed particles the effective ruminal degradability can be estimated. The same procedure was carried out to estimate the fraction of neutral detergent fibre.

Genotypic influences

The influence of the genotype became particularly apparent in the chemical composition of the plants. Therefore when comparing the hybrids at the same stage of physiological maturity the varieties of the early maturing group I had significantly lower plant cell wall contents than the later maturing groups II and III. Also, the phenolic acid contents showed genotypic differences between maturity groups (DOBBERSTEIN, 2008). Maturity group I also demonstrated a higher effective degradability (expressed as the overall mean of all harvest dates: 46.1%) than maturity group III (45.1%). Thus, the degradability of the plants showed the same effect as noted for the chemical composition but could not be statistically supported.

There was also a strong negative interaction between NDF content and ruminal degradability of the plants (EDM6: -0.77; EDNDF6:-0.79). The same applies for the ADF contents.

Lignin contents (using three different methods: KL, ABSL, ADL) showed no relevant relation to ruminal degradability and no significant differences between genotypes.

Influence of harvest dates

Physiological maturity plays a major role in the determination of the feeding value of maize. It appeared, that ruminal degradability and *in vitro*-digestibility reduced substantially with advancing maturities of the plants. Thus, plants in an early stage of maturity showed a ruminal degradability of 48.5% which significantly decreased to 41.3% in the 4th harvest date. Also, genotypic traits had a considerable effect on the maturity of the plants. Maturity group I showed an accumulation of the plant cell wall

contents within the first two harvest dates without any changes in dry matter contents. This caused a strong decrease of ruminal degradability and in *in vitro*-digestibility for harvest dates 1 and 2 but not in their potential of gas production. On the other hand, harvest dates 3 and 4 proceeded in their ruminal degradability according to their chemical composition.

8. Literaturverzeichnis

ABEDON, B.G.; HATFIELD, R.D.; TRACY, W.F. (2006): Cell Wall Composition in Juvenile and Adult Leaves of Maize (*Zea mays* L.). J. Agric. Food Chem. 54: 3896-3900

AKBAR, M.A.; LEBZIEN, P.; FLACHOWSKY, G. (2002): Measurement of yield and in situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 100: 53-70

ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. (1988): Evaluation constraints on fibre digestion by rumen microbes. J. Nutr. 118: 261-270

ARC (AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL) (1984): The nutrient requirements of ruminant livestock, Supplement No.1, Commonwealth Agricultual Bureaux, Farnham Royal, England

ASPINALL, G. (1982): The polysaccharides. Academic Press, New York

AUFRÈRE, J. ; MICHALET-DOREAU, B. (1983): In vivo digestibility of some by-products. E.E.C. Seminar "Feeding value of by-products and their use by beef cattle." Gontrode, Sept.: 27-29

BAL, M.A. ; SHAVER, R.D.; SHINNERS, K.J.; COORS, J.G.; LAUER, J.G.; STRAUB, R.J.; KOEGEL, R.G. (2000): Stage of maturity, processing, and hybrid effects on ruminal in situ disappearance of wholeplant corn silage. Anim. Feed Sci. Technol. 86: 83-94

BARRELL, L.G.; BURKE, J.L.; WAGHORN, G.C.; ATTWOOD, G.T.; BROOKES, I.M. (2000): Preparation of fresh forages for incubation and prediction of nutritive value. Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod. 60: 5-8

BARRIÈRE, Y. ; ARGILLIER, O. (1993): Brow midrib genes of maize, a review. Agronomie 13: 865-876

BARRIÈRE, Y. ; EMILE, J-C. ; SURAULT, F. (2003b): Genetic variation of maize silage ingestibiltiy in dairy cattle. Anim. Res. 52: 489-500

BARRIÈRE, Y. ; TRAINEAU, R.; ÈMILE, J.C. (1992): Variation and covariation of silage maize digestibility estimated from digestion trials with sheep. Euphytica 59: 61-72

BARRIÈRE, Y.; GUILLET, C.; GOFFNER, D.; PICHON, M. (2003a): Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. Anim. Res. 52: 193-228

BARRIÈRE, Y.; RALPH, J.; MÉCHIN, V.; GUILLAUMIE, S.; GRABBER, J.H.; ARGILLIER, O.; CHABBERT, B.; LAPIERRE, C. (2004): Genetic and molecular basis of grass cell wall biosynthesis and degradability. II. Lessons from brown-midrib mutants. C.R. Biol. 327: 847-860

BARTLE, S.J.; MCDONNELL, M.L.; HOEGEMEYER, T., KLOPFENSTEIN, T.J., BRITTON, R.A. (1984): Select corn for grain yield and feed value. Nebraska Beef Cattle Rep. University Press, Lincoln, NE. MP 47: 25-26

BERNARD-VAILHE, M.-A.; CORNU, A.; ROBERT, D.; MAILLOT, M.-P.; BESLE, J.-M. (1996): Cell wall degradability of transgenic tobacco stems in relation to their chemical extraction and lignin quality. J. Agric. Food Chem. 44: 1164-1169

BESLE, J.M.; CORNU, A.; JOUANY, J.P. (1994): Roles of structural phenyl propanoids in forage cell wall digestion. J. Sci. Food Agric. 64: 171-190

BESLE, J.M.; SERRE, V.; MAILLOT, M.P.; ANDRIEU, J.; DEMARQUILLY, C.; BARRIÈRE, Y. (1995): Relationships between digestibility and cell wall structure of forage maize. Ann. Zootech. 44 (Supl. 58): 58

BRODERICK, G.A.; COCHRAN, R.C. (2000): *In vitro* and *in situ* methods for estimating digestibility with reference to protein degradability. In: Theodorou, M.K.; France, J. (Eds.) (2000): Feeding Systems and Feed Evaluation Models. CAB International , Wallingford: 53-85

BUNZEL, M.; ALLERDINGS, E.; RALPH, J.; STEINHART, H. (2007b): Cross-linking of arabinoxylans via 8-8-coupled diferulates as demonstrated by isolation and identification of diarabinosyl 8-8(cyclic)-dehydrodiferulate from maize bran. J. Cereal Sci. 47: 29-40

BUNZEL, M.; DOBBERSTEIN, D.; HEUERMANN, B.; BRÜNING, P.; FUNK, C.; STEINHART, H.; HOON, K.; RALPH, J. (2007a): Ferulate Trimers and Tetramers in Cereal Grains. Proc. Eur. Food Chem. 1: 173-176

BUNZEL, M.; RALPH, J.; BRÜNING, P. STEINHART, H. (2006): Structural Identification of Dehydrotriferulic and Dehydrotetraferulic Acids Isolated from Insoluble Maize Bran Fiber. J. Agric. Food Chem. 54: 6409-6418

BUNZEL, M.; RALPH, J.; FUNK, C. STEINHART, H. (2003): Isolation and identification of a ferulic acid dehydrotrimer from saponified maize bran insoluble fiber. Eur. Food. Res. Technol. 217: 128-133

BUNZEL, M.; RALPH, J.; FUNK, C.; STEINHART, H. (2005): Structural elucidation of new ferulic acid-containing phenolic dimers and trimers isolated from maize bran. Tetrahedron Lett. 46: 5845-5850

BUNZEL, M.; STEINHART, H. (2003): Strukturmerkmale von Ballaststoffkomponenten. Chem. unserer Zeit 37: 188-196

CARPITA, N. (1990): The chemical structure of the cell walls of higher plants. In: Kritchevsky, D.; Bonfield, C.; Anderson, J. (Eds.) (1990): Dietary fibre: chemistry, physiology and health effects. Plenum Press, New York: 15-30

CARPITA, N.; DEFERNEZ, M., FINDLAY, K., WELL, B., SHOUE, D.A., CATHPOLE, G. WILSON, R.H., MCCANN, M. (2001): Cell Wall Architecture of the Elongating Maize Coleoptile. Plant Physiol., 127: 551-565

CARPITA, N.; MCCANN, M. (2000): The Cell Wall. In: Buchanan, B.; Gruissem, W; Jones, R. (Eds.) (2000): Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists: 52-108

CARPITA, N.C.; MCCANN, M.C. (2002): The functions of cell wall polysaccharides in composition and architecture revealed through mutations. Plant Soil 274: 71-80

CASLER, M.D.; JUNG, H.G. (1999): Selection and evaluation of smooth bromegrass clones with divergent lignin and etherified ferulic acid concentration. Crop Sci. 39: 1866-1873

CHERNEY, D.J.; MERTENS, D.R.; MOORE, J.E. (1990): Intake and digestibility by wethers as influenced by forage morphology at three levels of forage offering. J. Anim. Sci. 68: 4387-4399

CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.; AKIN, D.E.; AXTELL, J.D. (1991): Potential of brown midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. Adv. Agron. 46: 157-198

CHESSON, A. (1993): Mechanistic models of forage cell wall degradation. In: H.G. Jung et al. (Eds.) Forage Cell Wall Structure and Digestibility. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA: 347-376

COHEN, D.C.; DOYLE, P.T. (2001): Effect of sample preparation on in situ estimates of protein degradability for white clover herbages. Aust. J. Exp. Agric. 41: 619-624

COLLAR, C. ; SCHULTZ, T. ; WRIGHT, S. ; WEAVER, L. (1991): In situ rumen evaluation of silage corn hybrids. J. Dairy Sci. (Suppl.) 74: 185

CONE, J.W. ; ENGELS, F.M. (1993): The influence of ageing on cell wall composition and degradibility of three maize genotypes. Anim. Feed Sci. Technol. 40: 331-342

CONE, J.W. ; VAN GELDER, A.H.; VAN SCHOOTEN, H.A.; GROTEN, J.A.M. (2008): Effects of forage maize type and maturity stage on *in vitro* rumen fermentation characteristics. NJAS 55 (2): 139-154

COTTYN, B.G.; AERTS, J.V.; VANACKER, J.M. (1986): Use of new chemical and biochemical determinations in pedicting digestibility and energy value. Bulletin of the International Dairy Federation No. 196, S. 28-32

DAVIDSON, M.W. (1995): Molecular expressions. Cell biology and microscopy, structure and function of cells and viruses. The Florida State University. http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html

DE BOEVER, J.L.; COTTYN, B.G.; ANDRIES, J.I.; BUYSSE, F.X.; VANACKER, J.M. (1988): The Use of a Cellulase Technique to Predict Digestibility, Metabolizable and Net Energy of Forages. Anim. Feed Sci. Technol. 19: 247-260

DE BOEVER, J.L.; COTTYN, B.G.; BUYSSE, F.X.; WAINMAN, F.W.; VANACKER, J.M. (1986): The Use of a 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.; VANACKER, J.M.; DE BRABANDER, D.L. (2002): Rumen degradation characteristics of nutrients in maize silages and evaluation of laboratory measurements and NIRS as predictors. Anim. Feed Sci. Technol. 101: 73-86

DEAVILLE, E.R.; GIVENS, D.J. (2001): Use of the automated gas production technique to determine the fermentation kinetics of carbohydrate fractions in maize silage. Anim. Feed Sci. Technol. 93: 205-215

DEINUM, B. (1988): Genetic and environmental variation in quality of forage maize in Europe. Neth. J. Agric. Sci. 36: 400-403

DEUTSCHES MAISKOMITEE E.V. (2008): http://www.maiskomitee.de/fb_fakten/03_02.htm

DEWHURST, R.J.; HEPPER, D.; WEBSTER, A.J.F. (1995): Comparison of in sacco and in vitro techniques for estimating the rate and extent of rumen fermentation of a range of dietary ingredients. Anim. Feed Sci. Technol. 51: 211-229

DHANOA, M. S.; LOPEZ, S.; DIJKSTRA, J.; DAVIES, D.R.; SANDERSON, R.; WILLIAMS, B.A.; SILESHI, Z.; FRANCE, J. (2000): Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a descriptionof their gas production profiles observed in vitro: comparison of models. Br. J. Nutr. 83: 131-142

DHANOA, M.S. (1988): On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. Grass Forage Sci. 43, 441-444

DOBBERSTEIN, D. (2008): Charakterisierung der Zellwandstrukturkomponenten von Maisrestpflanzen als mögliche Einflussfaktoren der ruminalen Zellwandabbaubarkeit. Dissertation, Universität Hamburg

DONALDSON, L. (2001): Lignification and lignin topochemistry – an ultrastuctural view. Phytochemistry 57: 859-873

EL-TEKRITI, R.A.; LECHTENBERG, V.L.; BAUMANN, L.F.; COLENBRANDER, V.F. (1976): Structural Composition and in vitro Dry Matter Disappearance of Brown Midrib Corn Residue. Crop Sci. 16: 387-389

ETTLE, T., SCHWARZ, F.J. (2003): Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. Anim. Res. 52: 337-349

FAN, L.T.; GHARPURAY, M.M.; LEE, Y.-H. (1987): Nature of cellulosic material. In: Cellulose hydrolysis. Biotechnology Monographs 3, Springer Verlag, Berlin: 5-20

FLACHOWSKY, G.; PEYKER, W.; SCHNEIDER, A.; HENKEL, K. (1993): Fibre analyses and in sacco degradability of plant fractions of two varieties harvested at various times. Anim. Feed Sci. Technol. 43: 41-50

FLACHOWSKY, G.; SCHNEIDER, M.; OCHRIMENKO, W.I.; RICHTER, G.H.; LÖHNERT, H.-J. (1988): Methodische Hinweise zur Anwendung der Nylonbeutel-Technik beim Wiederkäuer. Schriftenreihe der Lehrgangseinrichtung für Fütterungsberatung Jena-Jemderoda 11, 20-26

FLACHOWSKY, G.; TIROKE, K.; SCHEIN, G. (1991): Botanical fractions of straw of 51 cereal varieties and in sacco degradability of various fractions. Anim. Feed Sci. Technol. 37: 279-289

FLAßHOFF, F. (2004): Vergleichende Untersuchungen zur ruminalen Abbaubarkeit von Mais-, Gras- und Luzernesilage sowie Luzerneheu. Bachelorarbeit, Technische Universität München

FLAßHOFF, F. (2005): Zum Einfluss von Genotyp und physiologischer Reife auf den Futterwert von Mais, dargestellt anhand der ruminalen Abbaubarkeit und der enzymlöslichen organischen Substanz der Restpflanze. Diplomarbeit, Technische Universität München

FUKUSHIMA , R.S.;HATFIELD, R.D. (2001): Extraction and Isolation of Lignin for Utilization as a Standard to Determine Lignin Concentration using the Acetyl Bromide Spectrophotometric Method. J. Agric. Food Chem. 49: 3133-3139

FUNK, C.; RALPH, J.; STEINHART, H.; BUNZEL, M. (2005): Isolation and structural characterisation of 8–O–4/8–O–4- and 8–8/8–O–4-coupled dehydrotriferulic acids from maize bran. Phytochemistry 66: 363-371

GAILLARD, B.D.E. (1965): Comparison of the hemicelluloses from plants belonging to two different plant families. Phytochemistry 4: 631-634

GARDNER, P.T.; WOOD, T.J.; CHESSON, A.; STUCHBURY, T. (1999): Effect of degradation on the porosity and surface area of forage cell walls of differing lignin content. J. Sci Food Agric. 79: 11-18

GEISSLER, CH., HOFFMANN, M., HICKEL, B. (1976): Ein Beitrag zur gaschromatographischen Bestimmung flüchtiger Fettsäuren. Arch. Tierern. 26, 123-129

GFE (1996): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie und Nettoenergie-Laktation in Mischfuttern. Proc. Nutr. Soc. Physio. 5: 153-155

GIGER-REVERDIN, S. (1995): Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 55: 295-334

GIGER-REVERDIN, S., SAUVANT, D., NAJAR, T., RIGAULT, M. (1991): Diet influence on biological degradation in sacco of cell walls by ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 32: 223-227

GIVENS, D.I., COTTYN, B.G., DEWEY, P.J.S., STEG, A. (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: 55-64

GIVENS, D.I., DEAVILLE, E.R. (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

GOTO, M.; MATSUOKA, J.; SATO, T.; EHARA, H.; MORITA, O. (1994): Brown midrib mutant maize with reduced levels of phenolic acids ether-linked to the cell walls. Anim. Feed Sci. Technol. 48: 27-38

GOTO, M.; OGINO, T.; KATO, S.; MORITA, O. (1992): A comparative study on lignin assay for estimating forage digestibility in warm-seasoned grassland. J. Jpn. Soc. Grassl. Sci. 38: 106-108

GRABBER, J. H.; RALPH, J.; HATFIELD, R.; QUIDEAU, S. (1997): p-Hydroxyphenyl, Guaiacyl, and Syringyl Lignins Have Similar Inhibitory Effects on Wall Degradability. J. Agric. Food Chem. 45: 2530-2532

GRABBER, J.; (2005): How do lignin composition, structure and cross-linking affect degradability? A Review of cell wall model studies. Crop Sci. 45: 820-831

GRABBER, J.; HATFIELD, R.; RALPH, J. (2003): Apoplastic pH and monolignol addition rate effects on lignin formation and cell wall degradability in maize. J. Agric. Food Chem. 51: 4984-4989

GRABBER, J.; RALPH, J.; HATFIELD, R. (1998): Ferulate cross-links limit the enzymatic degradation of synthetically lignified primary walls of maize. J. Agric. Food Chem. 45: 2530-2532

GRABBER, J.; RALPH, J.; LAPIÈRRE, C.; BARRIÈRE, Y. (2004): Genetic and molecular basis of grass cell-wall degradability. I. Lignin-cell wall matrix interactions. C. R. Biol. 327: 455-465

GRABBER, J.H.; RALPH,J.; HATFIELD,R.; QUIDEAU, S.; KUSTER, T.; PELL, A.N. (1996): Dehydrogenation Polymer-Cell Wall Complexes as a model for lignified grass walls. J. Agric. Food Chem. 44: 1453 - 1459

GRUBER, E. (2004): Chemische Technologie des Zellstoffs und Papiers. Manuskript der Technischen Universität, Darmstadt

GRUBER, L. und HEIN, W. (2006): Ertrag und Futterqualität von Silomais in Abhängigkeit von Vegetationsstadium, Sorte und Standort. In: Kongressband 2006 des 118. VDLUFA-Kongresses in Freiburg i. Br.. 244-259

GRUBER, L. und HEIN, W. (2007): Ertrag und Futterwert von Silomais. Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte und Standort. Mais 3: 102-105

HARTMANN, A., PRESTERL, T., GEIGER, H.H. (2000): Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes von Silomaissorten mit langsamer versus schneller Restpflanzenabreife. Landbauforschung Völkenrode 86-93

HATFIELD, R.; JUNG, H.; RALPH, J.; BUXTON, D. WEIMER, R. (1994): A comparison of the insoluble residues produced by the klason lignin and the acid detergent lignin. J. Sci. Food Agric. 65: 51-58

HATFIELD, R.; MARITA, J.M.; FROST, K (2006): Changes in *p*CA and Lignin Durign Corn Stem Development. U.S. Dairy Forage Research Center 2005 Research Report: 9-10

HEIN, W. und GRUBER, L. (2003): Unterschiede österreichischer Silomais-Sorten hinsichtlich Ertrag und Futterwert. In: Bericht über die 54. Tagung 2003 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs: 1-7

HERTER, U., ARNOLD, A., SCHUBIGER, F. (1996): Verdaulichkeit, das wichtigste Qualitätsmerkmal bei Silomais. Agrarforschung 3: 535-538

HÖNER, K. (2001): Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

HUHTANEN, P.; JAAKKOLA, S.; KUKKONEN, U. (1995): Ruminal plant cell wall digestibility estimated from digestionand passsage kinetics utilizing mathematical models. Anim. Feed Sci. Technol. 52: 159-173

HUNTINGTON, J.A., GIVENS, D.I. (1995): The in situ Technique for Studying the Rumen Degradation of Feeds: A Review of the Procedure. Nutr. Abstr. Rev. (Series B) 65 (2): 63-81

HYSLOP, J.J. (2006): In situ and mobile bag methodology to measure the degradation profile of processed feeds in different segments of the equine digestive tract. Livest. Sci. 100 (1): 18-32

IIYAMA, K.; WALLIS, A.F. (1990): Determination of lignin in herbaceous plants by an improved acetyl bromide procedure. J. Sci. Food Agric. 51: 145-161

IRLBECK, N.A., RUSSEL, J.R., HALLAUER, A.R., BUXTON, D.R. (1993): Nutritve value and ensiling characteristics of maize stover as influenced by hybrid maturity and generation, plant density and harvest day. Anim. Feed Sci. Technol. 41: 51-64

ISHII, T. (1997): Structure and functions of feruloylated polysaccharides. Plant Sci 127: 111-127

IZYDOREZYK, M.; BILIADERES, C. (1995): Cereal arabinoxylans: Advances in structure and physicochemical properties. Carbohydr. Polym. 28: 33-48

JEROCH, H.; DROCHNER, W.; SIMON, O. (2008): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere; Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung, 2. überarbeitete Auflage. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

JOHNSON, J. C., MONSON, W. G., PETTIGREW, W. T. (1985): Variation in nutritive value of corn hybrids for silage. Nutr. Rep. Int. 32: 953-958

JUNG, H.G. (1997): Analysis of Forage Fibre and Cell Walls in Ruminant Nutrition. J. Nutr. 127: 810-813

JUNG, H.G. (2003): Maize stem tissue: ferulate deposition in developing internode cell walls. Phytochemistry 63: 543-549

JUNG, H.G. (2005): Relationship of Lignin and Ferulate Cross-Linking with Cell Wall Degradability of Maize Stem Internodes. U.S. Dairy Forage Research Center 2004 Research Report: 18-20

JUNG, H.G., ALLEN, M.S. (1995): Characteristics of Plant Cell Walls Affecting Intake and Digestibility of Forages by Ruminants. J. Anim. Sci. 73: 2774-2790

JUNG, H.G., BUXTON, D.R. (1994): Forage quality variation among inbreed lines – relationship of cell-wall composition and in vitro degradability for stem internodes. J. Sci. Food Agric.66: 313-322

JUNG, H.G., DEETZ, D.A. (1993): Cell wall lignification and degradability. In: H.G. Jung et al. (Eds.) Forage Cell Wall Structure and Digestibility. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA: 315-346

JUNG, H.G., MERTENS, D.R., BUXTON, D.R. (1998B): Forage Quality Variation among Maize Inbreds: In Vitro Fiber Digestion Kinetics and Prediction with NIRS. Crop Sci. 38: 205-210

JUNG, H.G., MERTENS, D.R., PAYNE, A.J. (1997): Correlation of Acid Detergent Lignin and Klason Lignin with digestibility of Forage Dry Matter and Neutral Detergent Fiber. J. Dairy Sci. 80: 1622-1628

JUNG, H.G., VOGEL, K.P. (1992): Lignification of switchgrass *(Panicum virgatum)* and big bluestem *(Andropogon gerardii)* plant parts during maturation and its effect on fiber degradability. J. Sci. Food Agric.59: 169-176

JUNG, H.G.; CASLER, M.D. (2006a): Maize Stem Tissues: Cell Wall Concentration and Composition during Development. Crop Sci. 46: 1793-1800

JUNG, H.G.; CASLER, M.D. (2006b): Maize Stem Tissues: Impact of Development on Cell Wall Degradability. Crop Sci. 46: 1801-1809

JUNG, H.G.; MORRISON, T.; BUXTON, D.R. (1998a): Degradability of cell-wall polysaccharides in maize internodes during stalk developement. Crop Sci. 38: 1047-1051

KIRCHGESSNER, M.; ROTH, F.X.; SCHWARZ, F.J.; STANGL, G.I. (2008): Tierernährung – Leitfaden für Studium, Beratung, Praxis. 12. völlig neubearbeitete Auflage. DLG-Verlag Frankfurt am Main

KÖHLER, R., LEUROTH, A., JEROCH, H. (1989): Untersuchungen zum Gehalt und zur Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen in Restpflanzen verschiedener Maishybriden. Arch. Anim. Nutr. 39: 187-192

KOMAREK, A.R. (1993): An improved filtering technique for the analysis of neutral detergent fibre and acid detergent fibre using the filter bag technique. Ankom. Com. Publ. 101, Fairport

KRIVANOVA, M.; ZELENAK, I. (1989): Rusitec-fermentation equipment for the study of digestive processes in ruminants. Vet Med (Praha), 34 (2): S. 89-95

KRUSE, S. (2006): Charakterisierung und Modellierung des Abreifeverhaltens von Silomaistypen mittels futterwertbestimmender Parameter, Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

KRUSE, S.; HERRMANN, A.; KORNHER, A.; TAUBE, F. (2005a): Wetterbasierte Modellierung der Gehalte an Gerüstsubstanzen im Vegetationsverlauf von Silomais. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 7: 138-141

KRUSE, S.; HERRMANN, A.; KORNHER, A.; TAUBE, F. (2006): Modelling of fibre fractions in forage maize. Grassl. Sci. Europe 11: 565-567

KRUSE, S.; HERRMANN, A.; TAUBE, F. (2005b): Genotypbedingte Veränderungen der Gehalte an Gerüstsubstanzen im Vegetationsverlauf von Silomais. In: Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 7: 142-145

KURTZ, H., FLAßHOFF, F., SCHWARZ, F.J. (2004): Effects of brown midrib$_3$ mutation in silage corn on ruminal degradability. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 13: 82

KURTZ, H., SCHWARZ, F.J. (2005): In situ Trockensubstanzabbaubarkeit von Maisrestpflanzen in Abhängigkeit der physiologischen Reife. 59. Fachtagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) 8.-10. März 2005 Stuttgart-Hohenheim

LAM, T.B.T.; IIYAMA, K.; STONE, B.A. (1996): Lignin and Hydroxycinnamic Acids in Walls of Brown Midrib Mutants of Sorghum, Pearl Millet and Maize Stems. J. Sci. Food Agric. 71: 174-178

LANGENHOFF, M. (2002): Futtermittelkundliche Bewertung von zwei Silomaishybriden bei Wiederkäuern. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

LOPEZ, B., CARRO, M.D., GONZALES, J.S., OVEJERO, F.J. (1998): Comparison of different in vitro and in situ methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 7: 99-113

LUNDVALL, J.P.; BUXTON, D.R.; HALLAUER, A.R.; GEORGE, J.R. (1994): Forage quality variation among maize inbreeds: in vitro digestibility and cell wall components. Crop Sci. 34:1672-1678

MADRID, J., HERNANDEZ, F., MEGIAS, M.D. (1999): Comparison of in vitro techniques for predicting digestibility of mixed cereal straw and citrus by-product diets in goats. J. Sci. Food Agric. 79: 567-572

MADSEN, J., HVELPLUND, T. (1994): Prediction of in situ protein degradability in the rumen. Results of an european ringtest. Livestock Prod. Sci. 39, 201-212

MANYUCHI, B., MIKAYIRI, S., SMITH, T. (1994): Effect of treating or supplementing maize stover with urea on its utilization as feed for sheep and cattle. Anim. Feed Sci. Technol. 49: 11-23

MARITA, J.M.; VERMERRIS, W.; RALPH, J.; HATFIELD, R.D. (2003): Variations in the Cell Wall Composition of Maize *brown midrib* Mutants. J. Agric. Food Chem. 51: 1313-1321

MARTEN, G. C., GOODRICH, R. D., SCHMIDT, A. R., MEISKE, J. C., JORDAN, R. M., LINN, J.G. (1975): Evaluation of laboratory methods for determining quality of corn and sorghum silages: 2. Chemical methods for predicting in vivo-digestibility. Agric. J. 67: 247-251

MARVIN, H.J.P.; KRECHTING, C.F.; VAN LOO, E.N.; SNIJDERS, C.H.A.; LOMMEN, A.;DOLSTRA, O. (1999): Relationship between Phenolic Acids Formed During Rumen Degradation of Maize Samples and in vitro Digestibility. J. Sci. Food Agric. 71: 111-118

MCALLAN, A.B.; PHIPPS, R.H. (1977): The effect of sample date and plant density on the carbohydrate content of forage maize and the changes that occur on ensiling. J. Agric. Sci., Camb. 89: 589-597

MCDONALD, I. (1981): A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 96: 251-252

MCDOUGALL, G.; MORRISON, I.; STEWART, D.; HILLMAN; J. (1996): Plant cell walls as dietary fiber: Range, structure, processing and function; J. Sci. Food Agric. 70: 133-150

MÉCHIN, V., ARGILLIER, O., BARRIERE, Y., MENANTEAU, V. (1998): Genetic variation in stems of normal and brown-midrib3 maize inbreed lines. Towards similarity for in vitro digestibility and cell wall composition. Maydica 43: 205-210

MÉCHIN, V., ARGILLIER, O., MENANTEAU, V., BARRIERE, Y., MILA, I, POLLET, B., LAPIERRE, C. (2000): Relationship of cell wall composition to in vitro cell wall digestibility of maize inbreed line stems. J. Sci. Food Agric. 80: 574-580

MÉCHIN, V.; ARGILLIER, O.; ROCHER, F.; HÉBERT, Y.; MILA, I.; POLLET, B.; BARRIÈRE, Y.; LAPIÈRRE, Y. (2005): In search of a maize ideotype for cell wall enzymatic degradability using histological and biochemical lignin characterization. J. Agric. Food Chem. 53: 5872-5881

MEISSNER, L. und WEISS, G. (2002): Nährwert von Silomais. Agrarforschung 9: 506-511

MENKE, K.H., RAAB, L., SALEWSKI, A., STEINGASS, H., FRITZ, D., SCHNEIDER, W. (1979): The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J. Agric. Sci. Camb. 93: 217-222

MENT, S. (2006): Veränderung der Zellwandzusammensetzung ausgewählter Maissorten verschiedener Erntestadien im Verlauf ihres ruminalen Abbaus. Diplomarbeit, Universität Hamburg

MERTENS, D.R. (1993): Rate and extent of Digestion. In: Forbes M., France, (1. Eds.), Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, CAB International, Wallingford, UK: 13-51

MICHALET-DOREAU, B.; PHILIPPEAU, C. (1999): Maize silage genotype and ruminant digestion. Zb. Biotehniske fak. Univ. Ljubljani. Kmetijstvo. Zootehnika 74: 37-46

MONTROSS, M.D.; CROFCHECK, C.L. (2004): Effect of stover fraction and storage method on glucose production during enzymatic hydrolysis. Bioresour. Technol. 92: 269-274

MOORE-COLYER, M.J.; HYSLOP, J.J.; LONGLAND, A.C.; CUDDEFORD, D. (2002): The mobile bag technique as a method for determining the degradation of four botanically diverse fibrous feedstuffs in the small intestine and total digestive tract of ponies. Br. J. Nutr. 88 (6): 729-740

MUPANGWA J.F.; NGONGONI N.T.; TOPPS J.H.; ACAMOVIC T.; HAMUDIKUWANDA H. (2003): Rumen degradability and post-ruminal digestion of dry matter, nitrogen and amino acids in three tropical forage legumes estimated by the mobile nylon bag technique. Livest. Prod.Sci. 79 (1): 37-46

NAUMANN, C; BASSLER, R.; SEIBOLD, R.; BARTH, C. (1997): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch , Bd. III, 4. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt

ØRSKOV, E.R. (2000): The Rumen *In Situ* Technique for the Estimation of Forage Degradability in Ruminants. In: D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford, H.M. Omed (Eds.), Forage Evaluation in Ruminant Nutrition, CAB International, Wallingford: 175-188

ØRSKOV, E.R., MCDONALD, I. (1979): The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. agric. Sci. 92: 499-503

PARYS, C., MATTHE, A., LEBZIEN, P., FLACHOWSKY, G. (2000): Einfluss der Tierart und der Rationsgestaltung auf die in sacco Abbaubarkeit von Weizen und Mais im Pansen. 112. VDLUFA-Kongress vom 18. bis 22 September 2000. VDLUFA-Schriftenreihe 55/III: 76-83

PHILLIPPEAU, C.; CHAMPION, M.; MICHALET-DOREAU, B. (1996): Influence du génotype et du stade de maturité sur la digestion ruminale de làmidon de maïs récolté au stade ensilage. In: Proceedings of Colloque Maïs Ensilage, Nantes, 17.-19. September 1996, AGPM, Beauvais: 379-380

PRAMOL, M. (2002): Biochemische Charakterisierung von Pflanzen unterschiedlicher Nutzungsintensität zur Ableitung von Parametern für die Ermittlung des energetischen Futterwertes. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin

PRESTLØKKEN, E.; RISE, O. (2003): Protein and Amino Acid Digestibility in Dairy Cows Measured with Mobile Nylon Bags Recovered in Ileum or in Faeces. Acta Agric. Scand. A 53 (1): 11-20

PROVAN, G.J.; SCOBBIE, L.; CHESSON, A. (1997): Characterisation of lignin from CAD and OMT deficient Bm mutants of maize. J. Sci. Food Agric. 73: 133-142

RALPH, J.; GRABBER, J.H.; HATFIELD, R.D. (1995): Lignin-ferulate crosslinks in grasses: active incorporation of ferulate polysaccharide esters into ryegrass lignins. Carbohydr. Res. 275: 167-178

RICHTER, G. (1996): Biochemie der Pflanzen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

RUSSEL, J.R. (1986): Influence of harvest date on the nutritive value and ensiling characteristics of maize stover. Anim. Feed Sci. Technol. 14: 11-27

RUSSEL, J.R., IRLBECK, N.A., HALLAUER, A.R., BUXTON, D.R. (1992a): Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. Anim. Feed Sci. Technol. 38: 11-24

RUSSEL, R.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G., VAN SOEST, P.J., SNIFFEN, C.J. (1992b): A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70: 3551-3561

SATTER, L.D., ROFFLER, R.E. (1975): Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. J. Dairy Sci. 58, 1219-1237

SAULNIER, L.; CREPEAU, M.-J.; LAHAYE. M.; THIBAULT, J.-F.; GARCIA-GONESA, M.T.; KROON, P.A.; WILLIAMSON, G. (1999): Isolation and structural determination of two 5,5'-diferuloyl oligosaccharides indicate that maize heteroxylans are covalently cross-linked by oxidatively coupled ferulates. Carbohydr. Res. 320: 82-92

SCHLAGHECK, A., LÜTKE ENTRUP, N., FREITAG, M. (2000): Auswirkungen des Abreifeverhaltens ("Stay Green" / "Dry Down") auf die in vitro Verdaulichkeit von Mais-Genotypen unter Berücksichtigung verschiedener Pflanzenfraktionen. Landbauforschung Völkenrode 217: 94-101

SCHNEIDER, M., FLACHOWSKY, G: (1991): Aspekte zur Faser in der Wiederkäuerernährung. Arch. Anim. Nutr., Berlin 41 (1): 3-26

SCHWARZ F.J. (1998): Untersuchungen zum Futterwert von Maissilage. 25. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein: 81-86

SCHWARZ F.J., PEX E.J., KIRCHGESSNER, M. (1996a): Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Das wirtschaftseigene Futter 42: 161-172

SCHWARZ, F. J., ETTLE, T. (2000): Erntezeitpunkt, Sorte und deren Einfluss auf Inhaltstoffe, Verdaulichkeit und in situ-Abbaubarkeit der Stärke von Silomais. Landbauforschung Völkenrode 217: 102-115

SCHWARZ, F. J., HEINDL, U., PEX, J., KIRCHGESSNER, M. (1996b): Vergleichende Schätzung des energetischen Futterwertes von Maissilagen bei Rind und Schaf anhand von Inhaltstoffen und der Cellulase-Methode. Agribiol. Res. 49, 157-167

SHI, C; UZAROWSKA, A.; OUZUNOVA, M.; LANDBECK, M.; WENZEL, G.; LÜBBERSTEDT, T. (2007): Identification of candidate genes associated with cell wall digestibility and eQTL expression quantitative trait loci: analysis in a Flint × Flint maize recombinant inbreed line population. BMC Genomics 8: 22

SLYTER, L.L., SATTER, L.D., DINIUS, D.A. (1979): Effect of ruminal ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. J. Anim. Sci. 48, 906-912

STEINGASS, H. , MENKE, K.H. (1986): Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in Vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. I. Untersuchungen zur Methode. Übers. Tierernährg. 14: 251-270

SÜDEKUM, K.-H. (2005): Möglichkeiten und Grenzen einer Standardisierung der *in situ*-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. Übers. Tierernährg. 33: 71-86

SÜDEKUM, K.-H., HASSELMANN, A. (1989): Ausmaß und Ort der Verwandlung von Zellwandbestandteilen in Wiederkäuern. Übers. Tierernährg. 17: 191-227

THEANDER, O.; AMAN, P. (1977): The chemistry of fibre components of forage and their determination. In: Quality of forage. Proceedings of the NJF, Roughage Symposium, Upsala: 1-26

THEANDER, O.; WESTERLUND, E.; ÅMAN, P. (1993): Structure and components of dietary fibre. Cereal Foods World 38: 135-141

THORSTENSSON, E.G.M.; BUXTON, D.R.; CHERNEY, J.H. (1992): Apparent inhibition to digestion by lignin in normal and brown midrib stems. J. Sci. Food Agric. 59: 183-188

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. (1963): A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society, 18: 104-111

TOLERA, A., BERG, T., SUNDSTØL, F. (1999): The effect of variety on maize grain and crop residue yield and nutritive value of the stover. Anim. Feed Sci. Technol. 79: 165-177

TOLERA, A., SUNDSTØL, F. (1999): Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. Anim. Feed Sci. Technol. 81: 1-16

TOLERA, A., SUNDSTØL, F., SAID, A.N. (1998): The effect of stage of maturity on yield and quality of maize grain and stover. Anim. Feed Sci. Technol. 75: 157-168

TOVAR-GOMEZ, M. R., EMILE, J.C., MICHALET-DOREAU, B., BARRIERE Y. (1995): Cinétique de dégradation in sacco de tiges de maïs normal et bm3. Ann. Zootechn. (Suppl.) 44: 54

TOVAR-GOMEZ, M. R., EMILE, J.C., MICHALET-DOREAU, B., BARRIERE Y. (1997): In situ degradation kinetics of maize hybrid stalks. Anim. Feed Sci. Technol. 68: 77-88

TŘINAČTVY, J., HOMOLKA, P., ZEMAN, L., RICHTER, M. (2003): Whole tract and post ruminal digestibilty determined by in situ ruminal, intestinal mobile nylon bag and whole tract nylon capsule methods. Anim. Feed Sci. Technol. 106: 59-67

VALENTIN, S.F., WILLIAMS, P.E.V., FORBES, J.M., SAUVANT, D. (1999): Comparison of the in vitro gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure short- and long-term processes of degradation of maize silage in dairy cows. Anim. Feed Sci. Technol. 78: 81-99

VAN DER MEER, J.M. (1983): European "In vitro" ring test 1983. Statistical report, Report 155 of the Institute for Livestock Feeding and Nutrition Research, Lelystad, Niederlande, S. 36 ff.

VAN RYSSEN J.B.; SCHROEDER G.E. (2003): Effect of heat processing of protein sources on the disappearance of their selenium from mobile bags in the digestive tract of dairy cows. Anim. Feed Sci. Technol. 107: 15-27

VAN SOEST, P. J., MERTENS, D. R. (1984): The use of neutral detergent fiber versus acid detergent fiber in balancing dairy rations. Monsanto Tech. Symp., Fresno: 75

VANZANT, E.S.; COCHRAN, R.C.; TITGEMEYER, E.C. (1998): Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. J. Anim. Sci. 76: 2717-2729

VARGA, G.A., HOOVER, W.H. (1983): Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs. J. Dairy Sci. 66: 2109-2115

VDLUFA (1976): Methodenbuch, Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3.Auflg., Meth. Nr. 4.8.1, VDLUFA-Verlag, Bonn

VDLUFA (1993): Bestimmung der enzymlösbaren organischen Substanz. Methodenbuch III, 3. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt: 1-4

VDLUFA (2004): Methodenbuch, Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3.Auflg., Meth. Nr. 4.1.2, VDLUFA-Verlag, Bonn

VERBIČ J., STEKAR J.M.A., RESNIK-ČEPON, M. (1995): Rumen degradation characteristics and fibre composition of various morphological parts of different maize hybrids and possible consequences for breeding. Anim. Feed Sci. Technol. 54: 133-148

VINCKEN, J.-P.; SCHOLS, H.; OOMEN, R.; MCCANN, M.; ULVSKOV, P.;VORAGEN, A.; VISSER, R. (2003): If Homogalacturonan were a side chain of Rhamnogalacturonan I. Implications for Cell Wall Architecture. Plant Physiol. 132: 1781-1789

WEISS; W.P. (1994): Estimation of digestbility of forages by laboratory methods. In: Fahey Jr., G.C.; Collins, M.; Mertens, D.R.; Moser, L.E. (1994): Forage Quality, Evaluation and Utilization. ASA, CSSA, SSSA,Wisconsin, USA. S. 644-681;

WHITE, L.M.; HARTMANN, G.P.; BERMANN, J.W. (1981): In vitro digestibility, crude protein and phosphorous content of straw of winter wheat, barley and oat cultivars in Eastern Montana. Agron. J. 73: 117-121

WILSON, J.R. (1994): Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. J. Agric. Sci. 122:173-182

WILSON, J.R.; HATFIELD, R.D. (1997): Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fibre degradation by rumen microflora. Aust. J. Agric. Res. 48: 165-180

WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. (1995): Cell-wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. Crop Sci. 35: 251-259

WOLF, D.P.; COORS, J.G.; ALBRECHT, K.A.; UNDERSANDER, D.J. CARTER, P.R. (1993): Forage quality of maize genotypes selected for extreme fiber concentrations. Crop Sci. 33: 1353-1359

ZEIN, I. (2007): Diversity and association analysis of candidate genes for forage quality and flowering time in maize (*Zea mays* L.). Dissertation, Technische Universität München

9. Tabellenanhang

Tabelle A1: Erntedaten des Erntejahrs 2004

Sorte	**Datum**	**Datum**	**Datum**	**Datum**
DK 233	06.09.05	13.09.05	27.09.05	11.10.05
EB 2801	06.09.05	13.09.05	03.10.05	20.10.05
DK 247	20.10.47	14.09.05	27.09.05	11.10.05
DKc 2949	13.09.05	28.09.05	04.10.05	20.10.05
Monumental	13.09.05	21.09.05	03.10.05	20.10.05
EC 2907	14.09.05	28.09.05	06.10.05	20.10.05
DK 281	15.09.05	28.09.05	06.10.05	20.10.05
DK 287	14.09.05	27.09.05	06.10.05	20.10.05
GP 101001	14.09.05	21.09.05	06.10.05	19.10.05
DKc 2942	14.09.05	21.09.05	28.09.05	19.10.05
ED 3214	-	23.09.05	05.10.05	25.10.05
ED 3412	16.09.05	23.09.05	06.10.05	19.10.05

Tabelle A2: Erntedaten des Erntejahrs 2005

Sorte	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**
DK 233	06.09.04	13.09.04	27.09.04	11.10.04
EB 2801	06.09.04	13.09.04	03.10.04	20.10.04
DK 247	09.09.04	14.09.04	27.09.04	11.10.04
DKc 2949	13.09.04	28.09.04	04.10.04	20.10.04
Monumental	13.09.04	21.09.04	03.10.04	20.10.04
EA 3501	14.09.04	28.09.04	06.10.04	20.10.04
DK 281	15.09.04	28.09.04	06.10.04	20.10.04
DK 287	14.09.04	27.09.04	06.10.04	20.10.04
DK 291	21.09.04	03.10.04	11.10.04	20.10.04
DK 315	21.09.04	03.10.04	11.10.04	20.10.04

Tabelle A3: Erntedaten des Erntejahrs 2006

Sorte	**Datum**	**Datum**	**Datum**	**Datum**
DK 233	06.09.06	11.09.06	20.09.06	09.10.06
EC 2803	06.09.06	12.09.06	22.09.06	10.10.06
DK 247	31.08.06	08.09.06	19.09.06	05.10.06
DKc 2949	06.09.06	14.09.06	28.09.06	12.10.06
Monumental	06.09.06	13.09.06	25.09.06	10.10.06
DKc 2960	06.09.06	12.09.06	28.09.06	11.10.06
DK 281	07.09.06	19.09.06	28.09.06	16.10.06
DK 287	07.09.06	14.09.06	28.09.06	16.10.06
GP 101001	06.09.06	11.09.06	25.09.06	10.10.06
DKc 2942	07.09.06	12.09.06	25.09.06	09.10.06
ED 3214	07.09.06	15.09.06	29.09.06	13.10.06
ED 3412	11.09.06	19.09.06	05.10.06	17.10.06

Tabelle A4: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 1.1

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.04	7.10	6.99	6.99	6.95	7.11
07:30	6.81	6.22	6.31	6.20	6.17	6.64
08:00	6.41	6.47	6.61	6.48	6.40	6.68
08:30	6.47	6.56	6.65	6.47	6.38	6.74
09:30	6.47	6.71	6.67	6.61	6.66	6.79
10:30	6.53	6.73	6.72	6.60	6.68	6.78
11:30	6.61	6.73	6.70	6.63	6.73	6.85

Tabelle A5: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 1.2

Uhrzeit	pH-Wert				
	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.21	7.08	7.22	7.10	7.17
07:30	6.50	6.70	6.75	6.65	6.72
08:00	6.60	6.77	6.71	6.65	6.75
08:30	6.77	6.80	6.72	6.74	6.74
09:30	6.70	6.82	6.63	6.75	6.72
10:30	6.71	6.81	6.65	6.79	6.78
11:30	6.70	6.77	6.79	6.82	6.90

Tabelle A6: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 1.3

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.16	7.08	6.90	7.04	6.98	7.21
07:30	6.82	6.64	6.60	6.59	6.89	6.76
08:00	6.80	6.63	6.58	6.57	6.59	6.70
08:30	6.88	6.68	6.67	6.49	6.63	6.73
09:30	6.85	6.69	6.58	6.57	6.64	6.74
10:30	6.94	6.84	6.61	6.57	6.65	6.75
11:30	6.83	6.74	6.62	6.59	6.72	6.80

Tabelle A7: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 1.4

Uhrzeit	pH-Wert		
	Gerri	Romke	Leisa
07:00	7.04	6.94	7.10
08:00	6.81	6.66	6.84
09:00	6.81	6.59	6.72
10:00	6.74	6.65	6.66
11:00	6.73	6.66	6.66

Tabelle A8: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 2.1

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.14	6.98	6.97	7.01	6.96	7.08
07:30	6.83	6.69	6.59	6.68	6.46	6.71
08:00	6.93	6.77	6.64	6.74	6.73	6.80
08:30	6.94	6.76	6.65	6.71	6.73	6.72
09:30	6.91	6.82	6.70	6.65	6.84	6.77
10:30	6.93	6.81	6.69	6.78	6.73	6.71
11:30	6.95	6.85	6.75	6.73	6.67	6.76

Tabelle A9: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 2.2

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.08	7.02	6.90	6.91	7.02	7.01
07:30	6.72	6.68	6.60	6.53	6.55	6.75
08:00	6.79	6.75	6.66	6.54	6.57	6.73
08:30	6.75	6.76	6.68	6.55	6.47	6.69
09:30	6.77	6.68	6.63	6.54	6.56	6.66
10:30	6.80	6.66	6.64	6.52	6.66	6.56
11:30	6.83	6.76	6.60	6.49	6.82	6.61

Tabelle A10: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 2.3

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Romke	Anke	Leisa
07:00	7.06	6.90	6.96	7.06	6.77	6.94
07:30	6.70	6.72	6.58	6.74	6.48	6.59
08:00	6.73	6.72	6.67	6.79	6.58	6.65
08:30	6.74	6.71	6.67	6.83	6.60	6.72
09:30	6.74	6.73	6.66	6.74	6.61	6.71
10:30	6.75	6.82	6.70	6.73	6.62	6.74
11:30	6.80	6.84	6.67	6.71	6.55	6.66

Tabelle A11: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 3.1

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Falke	Anke	Leisa
07:00	6.98	6.92	6.75	6.79	6.70	6.89
07:30	6.58	6.53	6.39	6.34	6.26	6.58
08:00	6.63	6.62	6.54	6.34	6.40	6.53
08:30	6.64	6.65	6.59	6.46	6.45	6.63
09:30	6.66	6.67	6.52	6.33	6.49	6.59
10:30	6.71	6.68	6.46	6.43	6.45	6.55
11:30	6.73	6.68	6.81	6.40	6.40	6.66

Tabelle A12: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 3.2

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Falke	Anke	Leisa
07:00	7.14	6.94	6.80	7.11	6.99	6.95
07:30	6.77	6.67	6.63	6.45	6.42	6.57
08:00	6.82	6.75	6.67	6.56	6.49	6.64
08:30	6.92	6.69	6.67	6.46	6.47	6.75
09:30	6.95	6.76	6.84	6.62	6.65	6.81
10:30	7.00	6.78	6.73	6.59	6.67	6.87
11:30	6.89	6.80	6.80	6.56	6.67	6.81

Tabelle A13: pH-Werte im Pansensaft der Versuchstiere des Versuchs V 3.3

Uhrzeit	pH-Wert					
	Eureka	Gerri	Rabina	Falke	Anke	Leisa
07:00	7.12	7.08	6.90	6.99	6.96	6.97
07:30	6.75	6.69	6.61	6.60	6.55	6.64
08:00	6.82	6.66	6.64	6.49	6.62	6.70
08:30	6.88	6.74	6.65	6.55	6.64	6.73
09:30	6.94	6.77	6.76	6.59	6.59	6.81
10:30	6.89	6.74	6.89	6.50	6.71	6.83
11:30	6.92	6.76	6.85	6.57	6.59	6.80

Tabelle A14: Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft der Versuchstiere der Versuchsreihe VR 1

VR 1	Essigsäure (mmol/l)	Buttersäure (mmol/l)	Propionsäure (mmol/l)
Gerri	44.16	10.21	14.85
Rabina	45.00	7.94	12.82
Romke	47.50	8.51	12.15
Anke	40.00	7.38	9.45
Leisa	33.33	5.11	9.45
MW	42.00	7.83	11.74
Stabw	± 5.55	± 1.86	± 2.32

Tabelle A15: Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft der Versuchstiere der Versuchsreihe VR 2

VR 2	Essigsäure (mmol/l)	Buttersäure (mmol/l)	Propionsäure (mmol/l)
Eureka	43.33	9.08	16.20
Gerri	50.00	9.08	18.90
Rabina	51.66	10.21	21.60
Falke	36.67	10.21	16.20
Anke	43.33	10.21	21.60
Leisa	50.00	11.35	21.60
MW	46.39	10.21	19.80
Stabw	± 5.62	± 0.72	± 2.20

Tabelle A16: Flüchtige Fettsäuren im Pansensaft der Versuchstiere der Versuchsreihe VR 3

VR 3	Essigsäure (mmol/l)	Buttersäure (mmol/l)	Propionsäure (mmol/l)
Eureka	48.33	7.94	12.15
Gerri	50.00	5.67	9.45
Rabina	51.66	6.81	10.80
Falke	55.00	7.94	13.50
Anke	58.33	12.48	16.20
Leisa	53.33	9.08	13.50
MW VR3	52.78	8.32	12.60
Stabw	± 3.60	± 2.34	± 2.36

Tabelle A17: Trockensubstanzgehalte der Restpflanze (%) der Sorten im Erntejahr 2004

Sorte	**EZP1**	**EZP2**	**EZP3**	**EZP4**
DK 233	20.3 ± 0.24	19.6 ± 0.25	23.3 ± 0.20	29.4 ± 0.21
EB 2801	20.2 ± 0.09	21.6 ± 0.24	25.1 ± 0.28	29.9 ± 0.47
DK 247	21.1 ± 0.49	21.2 ± 0.27	22.6 ± 0.10	27.5 ± 0.05
DKc 2949	20.7 ± 0.63	22.5 ± 0.20	25.5 ± 0.15	29.3 ± 0.11
Monumental	21.7 ± 0.62	22.2 ± 0.21	23.7 ± 0.16	31.0 ± 0.43
EA 3501	21.0 ± 1.24	22.1 ± 0.30	24.3 ± 0.18	30.5 ± 0.78
DK 281	20.2 ± 0.14	22.6 ± 0.29	27.4 ± 0.06	30.2 ± 1.09
DK 287	20.0 ± 0.22	21.8 ± 0.15	25.8 ± 0.22	23.8 ± 0.37
DK 291	21.4 ± 0.09	23.4 ± 0.15	25.4 ± 0.24	22.6 ± 0.31
DK 315	19.8 ± 0.11	17.6 ± 1.20	27.7 ± 0.67	27.9 ± 0.08

Tabelle A18: Trockensubstanzgehalte der Restpflanze (%) der Sorten im Erntejahr 2005

Sorte	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	20.2 ± 0.17	18.5 ± 0.32	21.9 ± 0.19	28.8 ± 0.94
EB 2801	20.9 ± 0.14	19.7 ± 0.35	23.1 ± 0.31	28.4 ± 0.56
GP 101001	20.4 ± 0.19	22.2 ± 0.11	25.2 ± 0.38	29.9 ± 0.25
DKc 2942	19.7 ± 0.10	20.0 ± 0.36	21.5 ± 0.24	29.0 ± 0.33
DK 247	20.4 ± 0.12	19.3 ± 0.16	22.1 ± 0.39	27.3 ± 1.28
DKc 2949	18.1 ± 0.30	19.7 ± 0.27	20.1 ± 0.12	30.1 ± 0.67
ED 3214	- -	21.6 ± 0.53	23.9 ± 0.58	36.6 ± 0.86
ED 3412	20.0 ± 0.10	20.5 ± 0.24	24.4 ± 0.81	29.0 ± 0.20
Monumental	18.4 ± 0.12	19.7 ± 0.40	20.3 ± 0.15	27.3 ± 0.60
DKc 2960	17.8 ± 0.13	20.3 ± 0.85	23.0 ± 0.19	32.6 ± 0.97
DK 281	18.4 ± 0.71	19.6 ± 0.18	21.8 ± 0.11	30.3 ± 0.24
DK 287	17.8 ± 0.16	18.1 ± 0.34	20.8 ± 0.09	29.2 ± 0.77

Tabelle A19: Trockensubstanzgehalte der Restpflanze (%) der Sorten im Erntejahr 2006

Sorte	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	19.6 ± 0.18	20.9 ± 0.08	23.4 ± 0.41	30.5 ± 0.37
EC 2803	19.4 ± 0.28	18.7 ± 0.39	21.5 ± 0.93	26.6 ± 0.86
GP 101001	22.0 ± 0.49	22.6 ± 0.82	24.6 ± 0.36	25.6 ± 0.44
DKc 2942	22.2 ± 0.29	21.5 ± 2.30	25.3 ± 0.16	28.4 ± 0.78
DK 247	18.1 ± 0.50	19.3 ± 0.31	21.3 ± 0.47	27.2 ± 0.45
DKC 2949	19.3 ± 0.06	23.4 ± 0.54	22.3 ± 0.20	26.1 ± 0.26
ED 3214	21.9 ± 0.08	20.9 ± 0.31	23.1 ± 0.35	27.2 ± 1.81
ED 3412	19.8 ± 0.15	20.5 ± 0.27	24.9 ± 1.19	25.1 ± 0.72
Monumental	19.0 ± 0.56	19.4 ± 0.19	25.1 ± 0.52	26.7 ± 0.68
DKc 2960	19.7 ± 0.70	19.8 ± 0.29	20.9 ± 0.40	25.3 ± 0.93
DK 281	20.7 ± 0.23	20.6 ± 1.03	22.5 ± 0.31	24.9 ± 1.24
DK 287	19.1 ± 0.24	18.7 ± 0.06	20.4 ± 0.80	26.5 ± 0.71

Tabelle A 20: Rohfasergehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

Sorte	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	30.3	32.1	33.5	35.8
EB 2801	29.5	30.3	31.5	34.5
DK 247	30.1	30.7	32.7	36.5
DKc 2949	29.8	33.6	34.7	36.4
Monumental	31.2	33.3	35.0	37.2
EA 3501	30.9	32.1	32.8	32.9
DK 281	33.3	33.8	33.9	36.0
DK 287	33.3	34.7	34.6	36.6
DK 291	29.6	31.5	32.2	33.0
DK 315	33.4	33.6	37.2	37.2

Tabelle A 21: Rohfasergehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	29.4	32.7	30.8	33.4
EC 2803	28.0	30.2	30.7	30.3
DKc 2942	33.3	35.9	33.9	34.3
GP 101001	35.0	35.5	35.3	35.8
DK 247	29.8	33.2	33.6	34.1
DKc 2949	32.3	33.5	34.2	34.9
ED 3412	36.5	35.3	35.2	42.5
ED 3214	-	37.6	39.0	37.3
Monumental	35.3	35.6	34.9	35.7
DKc 2960	36.5	35.0	37.3	37.1
DK 281	38.3	36.0	38.7	40.2
DK 287	35.5	36.9	38.8	38.6

Tabelle A 22: Rohfasergehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	33.4	33.7	34.8	35.5
EC 2803	31.9	35.3	34.6	36.5
DKc 2942	33.1	34.3	36.6	32.8
GP 101001	34.9	34.0	34.4	34.7
DK 247	35.2	34.4	35.2	36.5
DKc 2949	32.7	30.8	35.2	35.2
ED 3412	36.5	38.1	40.0	40.8
ED 3214	34.0	36.0	38.5	38.2
Monumental	35.0	36.6	36.5	38.7
DKc 2960	34.3	35.9	39.2	41.2
DK 281	36.4	38.9	40.1	40.3
DK 287	35.8	36.7	38.1	38.7

Tabelle A 23: NDF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	53.2	55.6	59.5	61.4
EB 2801	51.3	51.3	54.7	60.9
DK 247	52.7	53.5	56.2	63.0
DKc 2949	51.7	59.3	62.0	65.1
Monumental	51.3	53.7	57.5	60.6
EA 3501	47.8	51.3	53.4	56.7
DK 281	54.8	55.8	56.9	61.3
DK 287	55.0	58.0	60.2	60.9
DK 291	50.2	54.5	54.8	56.8
DK 315	57.0	56.4	62.0	64.0

Tabelle A 24: NDF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	52.8	60.6	55.5	60.4
EC 2803	51.1	54.0	55.9	57.1
DKc 2942	55.8	58.3	57.9	59.3
GP 101001	58.8	58.8	61.2	63.5
DK 247	51.6	58.8	58.5	61.2
DKc 2949	54.4	57.1	60.3	62.3
ED 3412	62.3	63.1	66.2	68.9
ED 3214	-	62.3	67.0	70.2
Monumental	61.3	62.9	62.5	64.6
DKc 2960	61.9	62.2	67.0	67.5
DK 281	62.0	61.7	68.7	70.9
DK 287	62.9	62.8	68.2	69.6

Tabelle A 25: NDF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	57.6	59.2	60.0	63.4
EC 2803	55.5	59.6	60.4	64.5
DKc 2942	52.9	56.6	59.3	63.1
GP 101001	55.3	50.8	58.2	53.3
DK 247	54.5	56.9	58.3	61.0
DKc 2949	53.6	53.7	57.0	58.0
ED 3412	59.6	60.5	60.3	63.7
ED 3214	56.8	55.3	62.8	65.6
Monumental	57.6	58.1	62.0	65.8
DKc 2960	57.6	57.0	60.4	65.7
DK 281	57.8	60.9	65.7	62.8
DK 287	58.1	60.1	62.9	63.5

Tabelle A 26: ADF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	31.6	33.8	35.0	38.0
EB 2801	29.4	31.6	34.2	36.6
DK 247	30.8	31.6	34.0	38.9
DKc 2949	30.4	36.0	38.7	40.7
Monumental	32.0	34.2	36.8	41.9
EA 3501	30.2	31.8	33.9	34.7
DK 281	34.2	35.1	35.5	42.2
DK 287	34.7	36.1	38.1	38.8
DK 291	32.0	34.7	35.1	36.3
DK 315	36.2	35.5	39.5	40.6

Tabelle A 27: ADF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	32.4	38.1	34.1	37.6
EC 2803	30.6	32.3	34.0	34.3
DKc 2942	35.2	36.8	36.4	36.6
GP 101001	36.5	36.6	38.0	39.2
DK 247	32.1	37.0	36.3	37.6
DKc 2949	33.7	34.0	36.8	37.8
ED 3412	39.5	39.9	41.9	44.1
ED 3214	-	38.9	42.1	43.4
Monumental	38.8	40.4	39.9	40.0
DKc 2960	39.6	39.0	42.5	42.1
DK 281	40.1	39.2	43.3	44.5
DK 287	39.2	39.9	42.4	43.1

Tabelle A 28: ADF-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	37.0	37.6	37.4	39.6
EC 2803	35.7	38.1	38.0	41.0
DKc 2942	33.4	35.0	35.9	39.1
GP 101001	34.9	32.1	36.5	34.2
DK 247	35.6	37.7	37.9	39.4
DKc 2949	34.8	33.9	36.7	37.1
ED 3412	37.8	38.0	37.5	40.6
ED 3214	35.5	35.4	39.6	40.6
Monumental	37.1	37.7	39.4	42.1
DKc 2960	36.5	35.7	40.0	42.6
DK 281	37.5	39.2	41.6	40.7
DK 287	37.4	38.7	40.4	40.8

Tabelle A 29: Hemicellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	21.6	21.7	24.5	23.4
EB 2801	21.8	19.7	20.4	24.3
DK 247	21.9	21.8	22.1	24.1
DKc 2949	21.3	23.3	23.3	24.4
Monumental	19.3	19.5	20.7	18.7
EA 3501	17.6	19.4	19.5	22.0
DK 281	20.7	20.7	21.4	19.1
DK 287	20.3	22.0	22.1	22.0
DK 291	18.3	19.9	19.7	20.5
DK 315	20.7	20.9	22.5	23.4

Tabelle A 30: Hemicellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	20.4	22.4	21.4	22.9
EC 2803	20.5	21.8	21.9	22.8
DKc 2942	20.7	21.5	21.5	22.6
GP 101001	22.3	22.2	23.2	24.4
DK 247	19.4	21.8	22.2	23.7
DKc 2949	20.7	23.1	23.5	24.4
ED 3412	22.8	23.2	24.3	24.8
ED 3214	-	23.4	24.9	26.9
Monumental	22.5	22.5	22.6	24.6
DKc 2960	22.3	23.2	24.5	25.4
DK 281	21.9	22.6	25.5	26.4
DK 287	23.7	22.9	25.8	26.5

Tabelle A 31: Hemicellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	20.6	21.6	22.6	23.8
EC 2803	19.8	21.4	22.5	23.4
DKc 2942	19.5	21.5	23.4	24.0
GP 101001	20.5	18.7	21.7	19.1
DK 247	18.9	19.1	20.4	21.7
DKc 2949	18.9	19.8	20.3	20.8
ED 3412	21.8	22.5	22.7	23.1
ED 3214	21.3	19.9	23.3	25.0
Monumental	20.5	20.4	22.6	23.8
DKc 2960	21.1	21.2	20.5	23.2
DK 281	20.2	21.7	24.1	22.1
DK 287	20.7	21.4	22.5	22.7

Tabelle A 32: Cellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	27.2	28.7	30.2	32.4
EB 2801	25.9	27.0	29.2	31.7
DK 247	27.1	27.7	30.0	34.2
DKc 2949	26.9	31.6	34.0	35.4
Monumental	27.7	29.7	31.7	36.2
EA 3501	26.5	27.7	29.7	30.3
DK 281	30.0	30.6	30.9	37.0
DK 287	30.4	31.8	33.5	33.9
DK 291	26.5	28.8	29.1	30.1
DK 315	30.5	29.9	33.5	34.5

Tabelle A 33: Cellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	28.3	33.0	29.7	32.4
EC 2803	26.8	28.0	29.5	29.7
DKc 2942	29.8	31.4	31.1	31.3
GP 101001	31.4	31.3	32.9	33.8
DK 247	27.9	32.1	31.5	32.4
DKc 2949	29.4	29.6	32.0	32.8
ED 3412	33.5	33.8	35.7	37.2
ED 3214	.	33.6	36.4	37.8
Monumental	33.8	34.9	34.8	34.7
DKc 2960	34.1	33.7	36.6	36.2
DK 281	34.7	33.9	37.6	38.5
DK 287	34.4	34.9	37.1	37.6

Tabelle A 34: Cellulosegehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	31.3	31.9	31.7	33.6
EC 2803	30.0	32.2	32.0	34.7
DKc 2942	28.4	30.1	30.9	33.6
GP 101001	29.9	27.4	31.5	29.1
DK 247	28.5	31.0	30.4	32.3
DKc 2949	29.3	28.5	31.0	31.5
ED 3412	31.8	32.2	31.7	34.2
ED 3214	30.6	30.4	34.2	34.8
Monumental	31.8	32.3	33.9	35.8
DKc 2960	30.7	29.8	33.5	35.9
DK 281	31.6	33.2	35.6	34.4
DK 287	31.7	32.7	34.3	34.5

Tabelle A 35: ADL-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	4.40	5.13	4.80	5.61
EB 2801	3.56	4.62	5.08	4.92
DK 247	3.74	3.97	4.04	4.72
DKc 2949	3.49	4.38	4.74	5.26
Monumental	4.27	4.52	5.07	5.70
EA 3501	3.70	4.11	4.28	4.41
DK 281	4.18	4.50	4.58	5.20
DK 287	4.28	4.30	4.61	4.91
DK 291	5.43	5.88	5.97	6.17
DK 315	5.70	5.59	5.98	6.16

Tabelle A 36: ADL-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	4.06	5.13	4.36	5.17
EC 2803	3.77	4.23	4.47	4.54
DKc 2942	5.39	5.40	5.36	5.33
GP 101001	5.18	5.33	5.17	5.30
DK 247	4.19	4.95	4.82	5.16
DKc 2949	4.32	4.46	4.84	4.99
ED 3412	6.01	6.11	6.21	6.84
ED 3214		5.32	5.75	5.58
Monumental	4.96	5.57	5.13	5.22
DKc 2960	5.51	5.33	5.91	5.91
DK 281	5.47	5.24	5.66	6.07
DK 287	4.79	5.03	5.32	5.48

Tabelle A 37: ADL-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	5.71	5.69	5.75	5.96
EC 2803	5.71	5.96	5.92	6.32
DKc 2942	4.96	5.00	5.05	5.52
GP 101001	4.99	4.68	5.05	5.07
DK 247	7.03	6.78	7.46	7.03
DKc 2949	5.50	5.45	5.66	5.69
ED 3412	5.97	5.80	5.87	6.43
ED 3214	4.94	4.97	5.35	5.73
Monumental	5.33	5.45	5.56	6.29
DKc 2960	5.80	5.91	6.46	6.66
DK 281	5.91	6.01	6.07	6.24
DK 287	5.67	5.99	6.02	6.27

Tabelle A 38: ELOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	56.5	54.5	51.9	51.2
EB 2801	58.5	58.0	50.9	53.2
DK 247	57.4	57.0	55.0	43.8
DKc 2949	60.0	54.2	51.5	49.8
Monumental	56.5	53.7	50.6	47.9
EA 3501	59.1	57.7	55.1	53.2
DK 281	55.8	53.6	52.7	49.0
DK 287	54.9	54.3	51.7	50.5
DK 291	53.6	49.5	49.8	49.2
DK 315	51.2	50.1	44.7	42.7

Tabelle A 39: ELOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	53.5	47.0	52.7	46.6
EC 2803	56.2	51.5	51.3	47.0
DKc 2942	50.3	48.1	48.2	49.2
GP 101001	53.3	51.9	46.2	46.5
ED 3412	44.1	45.7	43.0	38.7
ED 3214	-	44.2	38.9	42.3
DK 247	52.4	42.7	42.4	39.0
DKc 2949	48.2	46.7	45.2	41.2
Monumental	45.5	43.2	45.8	42.5
DKc 2960	45.0	44.3	41.0	37.3
DK 281	40.4	45.2	45.6	40.7
DK 287	47.3	46.3	44.6	43.7

Tabelle A 40: ELOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	49.4	49.2	48.7	47.0
EC 2803	53.1	47.0	47.1	42.8
DKc 2942	62.2	51.3	49.7	44.9
GP 101001	53.7	54.0	51.1	52.5
DK 247	51.5	48.6	47.5	45.9
DKc 2949	54.0	54.8	49.7	49.6
ED 3412	45.9	47.0	41.2	41.4
ED 3214	53.6	45.3	43.6	47.9
Monumental	51.7	50.2	46.4	44.2
DKc 2960	52.8	49.2	47.1	46.5
DK 281	52.2	48.7	46.3	44.7
DK 287	50.9	48.6	46.0	43.6

Tabelle A 41: EULOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	38.1	40.1	42.8	43.6
EB 2801	35.9	36.7	43.7	41.6
DK 247	36.5	36.8	38.6	49.7
DKc 2949	34.4	39.9	42.5	44.5
Monumental	38.6	41.1	44.2	46.5
EA 3501	35.4	37.6	40.3	42.1
DK 281	39.7	41.6	42.2	46.1
DK 287	40.0	40.6	43.0	44.0
DK 291	40.9	44.8	45.2	45.8
DK 315	43.7	44.7	50.0	52.0

Tabelle A 42: EULOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	41.2	47.3	41.4	48.1
EC 2803	39.3	43.1	43.2	47.9
DKc 2942	44.7	47.0	46.0	45.2
GP 101001	41.7	43.5	48.6	48.9
DK 247	41.3	50.5	51.6	54.6
DKc 2949	44.9	47.0	48.0	52.2
ED 3412	49.7	48.2	50.5	56.1
ED 3214	-	48.2	50.5	56.1
Monumental	49.4	51.5	49.0	52.4
DKc 2960	49.9	50.3	53.1	56.8
DK 281	54.2	49.3	48.8	53.9
DK 287	47.5	48.6	49.6	50.4

Tabelle A 43: EULOS-Gehalte der Restpflanze (% der T) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	44.4	44.3	44.7	46.9
EC 2803	40.4	46.4	46.2	50.5
DKc 2942	32.9	43.8	44.6	50.0
GP 101001	41.2	40.9	44.0	42.4
DK 247	41.1	44.3	45.4	47.3
DKc 2949	39.7	38.7	43.5	43.6
ED 3412	47.6	45.9	51.5	51.9
ED 3214	40.7	39.4	49.2	50.6
Monumental	41.5	42.7	47.6	48.9
DKc 2960	40.6	44.5	45.5	47.2
DK 281	42.4	46.1	48.2	50.0
DK 287	43.3	45.4	48.2	50.7

Tabelle A 44: Gasbildungspotential der Restpflanze (g/100g TS) der Sorten im Erntejahr 2004

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	39.8	35.8	32.9	.
EB 2801	47.4	47.9	42.2	36.6
DK 247	40.1	40.8	31.5	33.6
DKc 2949	40.5	38.1	33.9	31.9
Monumental	41.4	41.8	34.9	31.6
EA 3501	42.8	42.2	40.7	38.6
DK 281	40.3	39.4	37.5	35.7
DK 287	39.2	40.2	37.2	36.2
DK 291	43.2	40.1	37.5	42.0
DK 315	37.4	41.2	37.4	37.4

Tabelle A 45: Gasbildungspotential der Restpflanze (g/100g TS) der Sorten im Erntejahr 2005

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	37.5	40.6	42.8	39.6
EC 2803	44.9	43.1	40.9	40.0
DKc 2942	37.8	40.7	40.9	38.7
GP 101001	41.1	41.7	38.8	38.9
DK 247	39.2	37.0	35.6	32.9
DKc 2949	38.1	41.6	33.8	34.9
ED 3412	36.2	35.9	35.0	34.3
ED 3214	-	40.7	37.5	39.1
Monumental	35.5	38.3	41.7	36.7
EC 2907	34.9	37.6	36.3	34.3
DK 281	33.5	38.1	35.9	35.2
DK 287	41.1	36.3	37.0	33.6

Tabelle A 46: Gasbildungspotential der Restpflanze (g/100g TS) der Sorten im Erntejahr 2006

	EZP1	EZP2	EZP3	EZP4
DK 233	36.0	42.7	36.0	36.8
EC 2803	39.0	34.4	35.7	36.2
DKc 2942	43.6	40.4	42.1	38.5
GP 101001	42.3	43.0	42.2	41.3
DK 247	39.0	35.3	35.2	34.0
DKc 2949	41.6	41.4	37.3	39.7
ED 3412	27.4	30.0	25.8	28.7
ED 3214	40.9	40.3	41.9	34.4
Monumental	40.9	37.0	37.9	38.0
DKc 2960	35.4	32.9	31.2	34.6
DK 281	39.4	35.2	37.3	35.4
DK 287	40.8	39.0	37.5	34.9

Tabelle A 47: Trockensubstanzverluste (%) der Sorten im Erntejahr 2004

Sorte	EZP	0h	4h	24h	48h	96h
DK 233	1	33.1 ± 0.26	37.3 ± 1.42	57.5 ± 1.43	65.8 ± 1.20	73.0 ± 1.66
	2	29.3 ± 0.40	34.6 ± 0.96	55.0 ± 2.14	63.5 ± 1.76	70.6 ± 1.41
	3	26.7 ± 0.50	30.7 ± 0.79	49.3 ± 2.83	61.9 ± 1.65	69.2 ± 1.45
	4	25.5 ± 0.35	28.7 ± 1.19	46.6 ± 2.87	59.1 ± 1.03	67.3 ± 1.29
EB 2801	1	36.1 ± 0.43	44.7 ± 2.63	61.9 ± 1.18	69.1 ± 0.96	74.2 ± 1.67
	2	37.6 ± 0.36	40.7 ± 1.04	60.8 ± 1.36	70.6 ± 1.43	75.5 ± 1.21
	3	31.4 ± 0.24	32.6 ± 1.01	53.0 ± 1.87	64.0 ± 1.48	70.9 ± 1.41
	4	25.5 ± 0.42	26.4 ± 0.57	48.0 ± 2.78	61.8 ± 0.71	68.2 ± 1.81
DK 247	1	38.0 ± 0.75	41.0 ± 2.40	59.5 ± 1.53	68.9 ± 1.48	72.4 ± 1.11
	2	35.4 ± 0.23	39.7 ± 2.56	58.1 ± 2.92	67.7 ± 1.82	72.1 ± 1.32
	3	35.8 ± 0.23	37.0 ± 2.46	57.1 ± 1.29	66.9 ± 2.54	70.6 ± 1.10
	4	25.8 ± 0.58	29.7 ± 1.27	49.1 ± 2.49	59.9 ± 3.49	66.3 ± 4.19
DKc 2949	1	34.0 ± 0.63	39.3 ± 2.03	60.6 ± 4.85	69.5 ± 1.72	72.1 ± 1.20
	2	29.7 ± 0.09	34.4 ± 2.55	55.5 ± 2.32	65.7 ± 1.49	70.0 ± 2.68
	3	27.3 ± 0.13	31.3 ± 2.43	54.2 ± 3.09	62.9 ± 1.87	68.3 ± 1.45
	4	24.8 ± 0.22	26.6 ± 1.29	50.7 ± 0.72	60.5 ± 1.10	66.3 ± 1.57
Monu-mental	1	36.6 ± 0.41	38.1 ± 0.69	64.0 ± 0.65	67.5 ± 2.02	77.6 ± 1.32
	2	33.9 ± 0.50	35.9 ± 0.79	56.5 ± 4.05	66.8 ± 3.49	74.3 ± 0.81
	3	30.9 ± 0.31	34.9 ± 1.32	51.4 ± 9.06	63.6 ± 2.37	72.4 ± 1.21
	4	26.3 ± 0.23	28.1 ± 1.00	50.2 ± 1.92	61.9 ± 2.37	67.8 ± 3.53
EA 3501	1	42.5 ± 0.60	44.4 ± 0.57	64.9 ± 0.83	73.0 ± 1.82	79.0 ± 1.15
	2	37.3 ± 0.40	39.9 ± 0.87	60.5 ± 5.09	71.3 ± 1.60	77.4 ± 1.10
	3	34.2 ± 0.12	35.6 ± 0.98	58.5 ± 2.62	66.9 ± 1.52	74.1 ± 1.23
	4	32.4 ± 0.59	33.1 ± 0.68	56.5 ± 1.94	66.0 ± 1.06	73.0 ± 1.95
DK 281	1	31.9 ± 0.04	36.7 ± 2.34	62.8 ± 1.61	68.1 ± 0.82	74.4 ± 0.35
	2	33.9 ± 0.82	34.2 ± 1.18	61.1 ± 1.54	64.9 ± 0.55	74.3 ± 0.59
	3	29.0 ± 0.50	32.4 ± 0.84	59.5 ± 0.60	65.8 ± 0.24	72.3 ± 0.60
	4	28.2 ± 0.27	31.1 ± 0.65	56.9 ± 1.51	65.2 ± 0.71	72.5 ± 0.52
DK 287	1	37.6 ± 0.36	37.4 ± 2.20	62.8 ± 1.44	71.5 ± 0.52	78.1 ± 1.09
	2	30.9 ± 0.29	33.3 ± 0.88	60.5 ± 1.66	68.3 ± 0.89	75.5 ± 0.51
	3	33.1 ± 3.75	33.5 ± 1.86	58.2 ± 1.34	65.4 ± 0.68	78.3 ± 0.91
	4	27.7 ± 0.49	31.0 ± 0.60	57.0 ± 1.47	64.3 ± 1.01	72.3 ± 0.98
DK 291	1	36.9 ± 0.31	41.4 ± 1.45	65.6 ± 0.62	72.3 ± 0.48	77.4 ± 0.66
	2	34.4 ± 2.30	41.8 ± 1.74	63.5 ± 0.55	71.2 ± 0.40	76.2 ± 0.32
	3	33.1 ± 0.83	40.0 ± 0.45	61.1 ± 1.27	69.1 ± 0.57	74.8 ± 0.23
	4	34.2 ± 1.37	37.6 ± 0.90	59.2 ± 0.96	67.3 ± 0.84	73.1 ± 0.71
DK 315	1	28.7 ± 0.11	33.5 ± 1.27	58.9 ± 0.77	69.5 ± 0.57	78.2 ± 0.48
	2	29.9 ± 1.47	35.0 ± 0.59	58.4 ± 1.50	68.8 ± 0.48	76.5 ± 0.43
	3	23.4 ± 1.04	27.8 ± 0.26	56.2 ± 1.15	66.9 ± 0.67	73.2 ± 0.34
	4	22.1 ± 1.35	27.1 ± 0.90	54.6 ± 1.76	65.9 ± 1.21	73.2 ± 0.68

Tabelle A 48: Trockensubstanzverluste (%) der Sorten im Erntejahr 2005

Sorte	EZP	0h	4h	24h	48h	96h
DK 233	1	34.5 ± 0.20	38.1 ± 1.24	61.8 ± 0.81	69.7 ± 1.60	75.6 ± 1.28
	2	26.6 ± 0.12	29.5 ± 1.23	56.2 ± 1.87	61.7 ± 2.18	68.4 ± 1.14
	3	30.1 ± 0.11	33.8 ± 1.34	56.9 ± 1.91	64.1 ± 2.59	71.2 ± 0.99
	4	28.7 ± 0.17	32.5 ± 0.38	53.1 ± 4.02	65.6 ± 0.67	71.8 ± 1.27
EC 2803	1	40.3 ± 0.95	44.7 ± 0.96	68.3 ± 1.19	73.2 ± 1.70	78.6 ± 1.99
	2	36.3 ± 0.43	40.5 ± 1.00	60.0 ± 1.25	68.9 ± 1.20	75.0 ± 1.13
	3	33.8 ± 0.37	40.1 ± 1.22	61.2 ± 0.93	69.9 ± 0.75	75.6 ± 0.88
	4	34.6 ± 0.09	38.0 ± 0.99	57.4 ± 0.75	68.1 ± 0.31	74.0 ± 1.59
DKc 2942	1	28.2 ± 0.23	33.1 ± 1.67	55.5 ± 3.04	69.0 ± 1.12	73.3 ± 1.83
	2	24.2 ± 0.62	31.0 ± 0.60	53.5 ± 1.12	66.8 ± 1.06	70.7 ± 1.70
	3	28.1 ± 1.15	32.6 ± 1.15	55.5 ± 1.65	67.6 ± 1.37	74.3 ± 1.62
	4	28.6 ± 1.47	33.0 ± 1.61	55.3 ± 1.10	67.2 ± 2.30	71.8 ± 2.82
GP 101001	1	29.7 ± 1.07	34.1 ± 1.58	68.9 ± 1.78	76.2 ± 2.82	75.5 ± 1.83
	2	26.9 ± 1.42	32.5 ± 0.54	59.1 ± 0.67	70.6 ± 2.21	75.9 ± 1.78
	3	26.0 ± 0.31	27.6 ± 0.90	52.6 ± 1.17	68.0 ± 2.56	74.6 ± 1.33
	4	24.8 ± 1.09	26.8 ± 1.02	51.5 ± 0.71	65.8 ± 1.84	73.0 ± 2.56
DK 247	1	38.2 ± 0.23	41.0 ± 1.56	62.4 ± 0.89	70.7 ± 0.84	74.3 ± 0.97
	2	32.9 ± 0.18	34.9 ± 1.65	55.2 ± 0.63	64.3 ± 0.95	69.9 ± 1.06
	3	32.1 ± 0.23	34.8 ± 0.86	56.7 ± 1.44	66.7 ± 0.37	71.2 ± 1.50
	4	29.3 ± 0.22	31.0 ± 0.96	54.4 ± 1.19	64.2 ± 0.53	69.6 ± 1.05
DKc 2949	1	34.3 ± 0.21	36.2 ± 1.51	62.3 ± 1.70	69.5 ± 0.85	73.4 ± 0.34
	2	31.3 ± 0.24	35.2 ± 0.71	59.9 ± 1.52	67.7 ± 0.84	72.8 ± 0.61
	3	29.1 ± 0.11	33.1 ± 0.41	57.3 ± 1.94	66.0 ± 0.61	70.7 ± 0.46
	4	28.1 ± 0.25	30.2 ± 0.87	55.4 ± 1.23	64.8 ± 0.47	69.0 ± 1.02
ED 3412	1	24.6 ± 1.84	29.6 ± 1.57	54.6 ± 1.73	62.6 ± 3.61	66.5 ± 0.30
	2	25.6 ± 1.44	27.3 ± 1.33	51.4 ± 0.81	62.1 ± 0.95	68.6 ± 1.12
	3	20.3 ± 0.30	23.1 ± 0.81	51.0 ± 1.49	60.4 ± 0.94	66.3 ± 0.62
	4	16.8 ± 1.40	20.3 ± 0.47	45.7 ± 0.83	56.6 ± 1.53	63.5 ± 0.58
ED 3214	1	-	-	-	-	-
	2	24.9 ± 0.93	29.4 ± 1.71	59.2 ± 2.19	68.6 ± 1.01	75.9 ± 0.75
	3	19.0 ± 0.32	23.3 ± 0.74	55.3 ± 0.91	67.2 ± 1.29	73.5 ± 0.84
	4	13.5 ± 0.58	16.2 ± 0.91	54.1 ± 0.94	65.6 ± 1.14	74.0 ± 0.80
Monu-mental	1	32.1 ± 1.23	32.2 ± 1.07	54.5 ± 1.22	63.6 ± 2.12	70.6 ± 1.29
	2	28.6 ± 0.12	31.5 ± 0.79	59.5 ± 2.09	64.7 ± 1.77	71.2 ± 0.65
	3	29.9 ± 0.23	33.3 ± 0.60	55.2 ± 1.35	64.8 ± 1.60	71.7 ± 0.80
	4	26.9 ± 0.42	28.5 ± 0.93	53.9 ± 2.71	64.1 ± 2.11	72.0 ± 0.99
DKc 2960	1	30.8 ± 0.85	33.0 ± 1.01	61.6 ± 1.18	60.6 ± 1.29	65.7 ± 1.34
	2	31.2 ± 0.31	34.1 ± 0.67	59.4 ± 1.03	64.8 ± 1.27	70.5 ± 1.06
	3	25.0 ± 0.57	28.8 ± 0.47	55.8 ± 2.89	61.0 ± 1.51	67.1 ± 0.83
	4	23.4 ± 0.32	26.3 ± 1.08	51.7 ± 1.72	62.1 ± 2.24	66.6 ± 2.05
DK 281	1	27.2 ± 0.43	29.7 ± 0.50	51.4 ± 0.50	61.5 ± 1.19	68.5 ± 0.65
	2	31.1 ± 0.40	32.7 ± 0.72	63.4 ± 1.64	68.8 ± 2.47	71.7 ± 0.61
	3	24.1 ± 0.42	27.5 ± 0.49	53.1 ± 0.90	62.7 ± 0.95	68.5 ± 0.47
	4	20.6 ± 0.18	22.1 ± 0.23	50.6 ± 1.95	60.0 ± 2.03	67.4 ± 0.45
DK 287	1	26.7 ± 0.34	32.0 ± 0.66	56.6 ± 0.76	65.7 ± 0.77	72.4 ± 0.75
	2	27.6 ± 0.06	32.6 ± 0.70	57.0 ± 0.46	64.7 ± 0.67	71.3 ± 0.51
	3	23.4 ± 0.50	28.5 ± 0.55	53.4 ± 0.80	63.9 ± 1.50	69.1 ± 0.90
	4	22.0 ± 0.45	25.3 ± 0.57	52.8 ± 1.84	62.7 ± 1.43	69.9 ± 0.65

Tabelle A 49: Trockensubstanzverluste (%) der Sorten im Erntejahr 2006

Sorte	EZP	0h	4h	24h	48h	96h
DK 233	1	33.7 ± 0.45	37.9 ± 1.92	55.5 ± 2.14	63.8 ± 1.42	71.2 ± 1.38
	2	32.1 ± 0.30	34.7 ± 1.00	52.3 ± 2.70	62.9 ± 3.28	70.2 ± 2.75
	3	28.8 ± 0.25	31.1 ± 0.60	50.9 ± 3.23	61.2 ± 2.36	69.7 ± 2.07
	4	27.6 ± 0.19	28.0 ± 0.43	48.7 ± 2.25	60.4 ± 1.58	67.4 ± 2.65
EC 2803	1	33.0 ± 0.67	35.5 ± 1.01	55.6 ± 1.85	64.8 ± 2.15	73.2 ± 1.87
	2	32.7 ± 0.06	33.2 ± 0.48	53.1 ± 1.90	60.9 ± 3.02	69.0 ± 2.41
	3	31.1 ± 0.25	30.9 ± 0.47	54.1 ± 3.18	65.6 ± 2.91	70.5 ± 1.71
	4	27.1 ± 0.50	27.0 ± 0.57	51.6 ± 1.70	62.2 ± 1.75	67.7 ± 2.83
DKc 2942	1	32.7 ± 0.47	37.8 ± 0.97	60.1 ± 1.43	69.5 ± 1.82	75.0 ± 1.04
	2	33.8 ± 0.90	38.6 ± 1.78	59.94.09	69.9 ± 1.99	77.6 ± 0.31
	3	29.3 ± 1.03	33.6 ± 1.03	58.0 ± 0.87	67.1 ± 2.08	74.7 ± 0.81
	4	30.3 ± 1.49	34.0 ± 1.63	55.9 ± 2.37	65.5 ± 1.89	73.6 ± 1.24
GP 101001	1	33.0 ± 1.79	38.4 ± 1.45	58.9 ± 3.31	69.5 ± 1.71	75.8 ± 0.71
	2	30.0 ± 1.35	34.5 ± 0.56	57.9 ± 1.03	67.7 ± 2.13	74.5 ± 1.07
	3	31.1 ± 0.15	37.1 ± 1.82	59.9 ± 0.52	68.3 ± 2.41	75.0 ± 1.46
	4	30.2 ± 0.79	36.4 ± 1.64	55.9 ± 2.29	66.1 ± 1.49	73.0 ± 1.70
DK 247	1	34.4 ± 0.10	37.0 ± 1.23	56.2 ± 0.34	66.7 ± 1.22	72.9 ± 0.83
	2	33.0 ± 0.46	35.6 ± 0.71	58.2 ± 1.07	64.4 ± 0.61	71.4 ± 0.64
	3	30.6 ± 0.61	32.3 ± 1.08	52.6 ± 1.29	61.9 ± 1.08	70.0 ± 0.88
	4	26.4 ± 0.16	27.6 ± 1.07	48.7 ± 1.38	60.1 ± 0.67	68.0 ± 1.31
DKc 2949	1	37.0 ± 0.27	38.4 ± 1.10	60.0 ± 0.84	67.4 ± 0.80	73.4 ± 0.91
	2	31.8 ± 1.77	36.4 ± 0.94	60.1 ± 1.85	68.1 ± 0.52	74.7 ± 0.41
	3	29.3 ± 0.91	33.3 ± 0.86	56.6 ± 1.23	64.7 ± 0.41	70.5 ± 0.93
	4	28.9 ± 0.27	31.5 ± 0.38	53.7 ± 1.12	64.3 ± 0.27	70.3 ± 0.48
ED 3412	1	24.6 ± 0.22	31.6 ± 1.93	53.8 ± 1.21	63.0 ± 0.78	68.9 ± 0.92
	2	21.3 ± 1.10	27.1 ± 1.01	51.4 ± 0.73	60.9 ± 0.38	67.7 ± 0.97
	3	22.1 ± 1.86	26.3 ± 0.36	48.7 ± 1.00	58.7 ± 0.60	66.3 ± 0.59
	4	19.8 ± 1.45	25.5 ± 0.43	47.2 ± 1.05	57.5 ± 0.42	64.0 ± 0.37
ED 3214	1	29.4 ± 0.67	34.6 ± 0.77	62.1 ± 1.10	72.0 ± 1.42	77.7 ± 0.62
	2	26.4 ± 1.16	31.9 ± 1.49	56.0 ± 1.24	64.5 ± 0.31	70.8 ± 0.49
	3	20.3 ± 1.04	26.2 ± 1.12	54.8 ± 1.14	65.0 ± 0.77	72.6 ± 0.52
	4	21.8 ± 1.21	27.5 ± 0.47	53.6 ± 1.70	65.1 ± 0.48	73.6 ± 0.98
Monu-mental	1	30.4 ± 0.39	35.2 ± 1.65	55.1 ± 1.13	61.6 ± 2.00	72.8 ± 1.24
	2	30.5 ± 0.35	33.7 ± 1.27	50.6 ± 1.82	58.5 ± 2.13	69.8 ± 1.59
	3	29.6 ± 0.11	30.8 ± 1.80	56.3 ± 2.03	62.7 ± 1.98	70.7 ± 1.55
	4	26.7 ± 0.49	27.3 ± 0.62	46.6 ± 2.97	59.7 ± 0.73	67.1 ± 1.01
DKc 2960	1	28.8 ± 0.30	35.5 ± 1.08	59.3 ± 1.93	66.5 ± 1.86	73.0 ± 0.85
	2	27.5 ± 0.35	32.7 ± 1.14	52.3 ± 0.89	61.3 ± 1.38	67.6 ± 1.06
	3	28.8 ± 0.35	32.3 ± 0.92	49.9 ± 0.90	57.9 ± 1.98	63.6 ± 1.80
	4	29.9 ± 0.50	30.6 ± 0.44	50.9 ± 0.61	57.5 ± 2.81	63.6 ± 1.78
DK 281	1	30.5 ± 0.28	34.7 ± 0.81	53.2 ± 0.61	65.6 ± 0.59	70.5 ± 0.65
	2	28.0 ± 0.59	30.5 ± 0.67	55.7 ± 1.27	61.8 ± 0.80	67.8 ± 0.43
	3	28.8 ± 1.39	30.7 ± 0.60	52.4 ± 1.53	62.1 ± 1.11	68.7 ± 0.65
	4	27.2 ± 0.75	29.7 ± 0.65	55.7 ± 3.48	60.6 ± 0.70	67.0 ± 0.50
DK 287	1	29.2 ± 0.35	34.8 ± 0.51	53.0 ± 0.85	62.5 ± 2.28	71.0 ± 0.84
	2	34.9 ± 1.34	37.4 ± 0.92	54.4 ± 0.59	61.0 ± 1.91	67.5 ± 0.67
	3	33.3 ± 1.28	31.8 ± 0.63	52.4 ± 1.44	62.2 ± 2.25	67.5 ± 1.28
	4	33.3 ± 1.33	33.3 ± 0.93	55.1 ± 0.66	64.9 ± 1.14	69.7 ± 0.48

Tabelle A 50: NDF-Verluste (% der NDF) der Sorten im Erntejahr 2004

Sorte	EZP	0h	4h	24h	48h	96h
DK 233	1	33.2 ± 0.00	37.3 ± 1.31	57.6 ± 1.03	-	73.0 ± 1.71
	2	29.4 ± 0.00	34.7 ± 0.96	55.0 ± 2.11	-	70.6 ± 1.36
	3	26.8 ± 0.00	30.8 ± 0.73	49.3 ± 2.71	-	69.3 ± 1.43
	4	25.6 ± 0.00	28.8 ± 0.97	46.6 ± 2.84	-	-
EB 2801	1	36.2 ± 0.00	44.8 2.33	61.9 ± 1.18	-	74.3 ± 1.61
	2	-	40.7 ± 0.84	60.8 ± 1.37	-	75.6 ± 1.21
	3	31.4 ± 0.00	32.6 ± 0.95	53.0 ± 1.89	-	71.0 ± 1.43
	4	- -	26.5 ± 0.42	48.0 ± 2.78	-	68.3 ± 1.85
DK 247	1	38.1 ± 0.00	40.8 ± 1.37	59.6 ± 2.38	-	-
	2	35.5 ± 0.00	39.4 ± 1.35	58.7 ± 3.72	-	72.0 ± 1.25
	3	35.8 ± 0.00	36.8 ± 1.18	57.3 ± 2.48	-	70.4 ± 1.04
	4	25.9 ± 0.00	29.6 ± 1.16	49.4 ± 2.56	-	-
DKc 2949	1	34.1 ± 0.00	39.2 ± 0.69	60.6 ± 4.42	-	71.9 ± 1.29
	2	-	34.1 ± 1.44	55.7 ± 2.92	-	69.7 ± 2.61
	3	27.3 ± 0.00	30.9 ± 1.51	54.2 ± 2.81	-	68.1 ± 1.44
	4	-	26.4 ± 0.93	48.7 ± 5.62	-	66.1 ± 1.39
EA3501	1	42.5 ± 0.00	44.4 ± 0.46	64.9 ± 0.89	70.4 ± 4.69	79.0 ± 1.14
	2	37.3 ± 0.00	39.9 ± 0.77	60.5 ± 5.23	69.5 ± 3.21	77.4 ± 1.20
	3	34.2 ± 0.00	35.6 ± 1.09	58.5 ± 2.77	65.7 ± 2.40	74.1 ± 1.34
	4	32.4 ± 0.00	33.1 ± 0.68	56.5 ± 1.80	63.0 ± 5.14	73.0 ± 2.15
Monu-mental	1	36.6 ± 0.00	38.1 ± 0.69	64.0 ± 0.44	64.6 ± 5.39	77.6 ± 1.32
	2	33.9 ± 0.00	35.9 ± 0.81	56.5 ± 4.47	66.8 ± 3.86	74.3 ± 0.77
	3	30.9 ± 0.00	34.7 ± 1.28	51.4 1 ± 0.11	63.6 ± 2.36	72.4 ± 1.32
	4	26.3 ± 0.00	28.1 ± 1.08	50.2 ± 1.89	59.2 ± 4.97	67.8 ± 3.92
DK 281	1	31.9 ± 0.00	36.7 2.60	62.8 ± 1.68	68.1 ± 0.41	75.7 ± 2.40
	2	33.9 ± 0.00	34.4 ± 1.12	61.1 ± 1.68	64.9 ± 0.49	74.3 ± 0.37
	3	29.0 ± 0.00	32.4 ± 0.88	59.5 ± 0.58	65.8 ± 0.13	72.3 ± 0.52
	4	28.2 ± 0.00	31.1 ± 0.62	56.9 ± 1.66	65.2 ± 0.65	72.5 ± 0.51
DK 287	1	37.6 ± 0.00	37.7 ± 1.73	62.8 ± 1.50	71.5 ± 0.53	78.1 ± 1.03
	2	30.9 ± 0.00	33.2 ± 0.74	60.5 ± 1.65	68.3 ± 0.76	75.5 ± 0.23
	3	33.1 ± 0.00	33.1 ± 1.00	58.2 ± 1.08	65.4 ± 0.66	78.3 ± 0.91
	4	27.7 ± 0.00	31.2 ± 0.47	57.0 ± 1.49	63.8 ± 0.19	72.3 ± 0.94

Tabelle A 51: NDF-Verluste (% der NDF) der Sorten im Erntejahr 2005

Sorte	EZP	0h	4h	24h	48h	96h
DK 233	1	-	38.1 ± 1.28	-	-	75.8 ± 0.00
	2	26.6 ± 0.00	29.5 ± 1.35	56.2 ± 2.08	61.7 ± 2.41	68.4 ± 0.65
	3	-	33.9 ± 1.28	-	-	-
	4	-	32.5 ± 0.38	-	-	-
EC 2803	1	40.3 ± 0.00	44.7 ± 0.90	68.3 ± 1.21	73.2 ± 1.80	78.6 ± 1.95
	2	36.3 ± 0.00	40.5 ± 0.72	60.0 ± 1.35	67.4 ± 2.67	75.0 ± 0.75
	3	33.8 ± 0.00	40.1 ± 1.36	61.2 ± 0.85	68.5 ± 2.59	75.6 ± 0.46
	4	34.6 ± 0.00	38.0 ± 1.08	57.4 ± 0.56	65.0 ± 5.35	74.0 ± 1.10
DK 247	1	-	41.0 ± 1.71	-	-	-
	2	32.9 ± 0.00	34.9 ± 1.77	55.2 ± 0.58	64.3 ± 0.20	69.9 ± 1.16
	3	-	34.8 ± 0.64	-	-	-
	4	29.3 ± 0.00	31.0 ± 0.82	54.4 ± 1.06	64.2 ± 0.51	69.6 ± 1.05
DKc 2949	1	34.3 ± 0.00	36.2 ± 1.67	62.3 ± 1.72	69.5 ± 0.32	73.4 ± 0.24
	2	31.3 ± 0.00	35.2 ± 0.75	59.9 ± 1.50	67.7 ± 0.67	72.8 ± 0.65
	3	29.1 ± 0.00	33.1 ± 0.09	57.3 ± 2.10	66.0 ± 0.65	70.7 ± 0.26
	4	28.1 ± 0.00	30.2 ± 0.48	55.4 ± 1.17	64.8 ± 0.39	69.0 ± 0.91
Monu-mental	1	32.1 ± 0.00	32.2 ± 1.11	54.5 ± 0.38	63.6 ± 2.36	70.6 ± 1.42
	2	28.6 ± 0.00	31.5 ± 0.88	59.5 ± 2.16	64.7 ± 1.93	71.2 ± 0.68
	3	29.9 ± 0.00	33.1 ± 0.56	55.2 ± 1.46	64.8 ± 1.57	71.7 ± 0.87
	4	26.9 ± 0.00	28.5 ± 0.93	53.9 ± 2.94	64.1 ± 2.33	72.0 ± 1.08
DKc 2960	1	30.8 ± 0.00	33.0 ± 0.99	61.6 ± 1.25	60.6 ± 1.44	65.7 ± 1.33
	2	31.2 ± 0.00	34.1 ± 0.53	59.4 ± 0.31	64.8 ± 1.31	70.5 ± 1.14
	3	25.0 ± 0.00	28.8 ± 0.49	55.8 ± 3.06	61.0 ± 1.64	67.1 ± 0.90
	4	23.4 ± 0.00	26.3 ± 1.10	51.7 ± 1.85	62.1 ± 2.12	66.6 ± 2.14
DK 281	1	27.2 ± 0.00	29.7 ± 0.27	51.4 ± 0.35	61.5 ± 1.27	68.5 ± 0.70
	2	31.1 ± 0.00	32.8 ± 0.29	63.4 ± 1.33	68.8 ± 1.79	71.7 ± 0.65
	3	24.1 ± 0.00	27.5 ± 0.48	53.1 ± 0.37	62.7 ± 0.93	68.5 ± 0.36
	4	20.6 ± 0.00	22.1 ± 0.24	50.6 ± 1.94	60.0 ± 1.96	67.4 ± 0.38
DK 287	1	26.7 ± 0.00	32.0 ± 0.65	56.6 ± 0.74	65.7 ± 0.75	72.4 ± 0.74
	2	27.6 ± 0.00	32.6 ± 0.24	57.0 ± 0.40	64.7 ± 0.12	71.3 ± 0.23
	3	23.4 ± 0.00	28.5 ± 0.54	53.4 ± 0.80	63.9 ± 1.47	69.1 ± 0.92
	4	-	25.3 ± 0.29	52.8 ± 1.83	62.7 ± 1.56	69.9 ± 0.68

Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Name:	Friederike Maria Elisabeth Zeller, geb. Flaßhoff
Geburtsdatum:	10.02.1978
Geburtsort:	Deggendorf
Familienstand:	verheiratet

Schulbildung

1984 - 1988	Grundschule, Neuhausen
1988 - 1997	St.-Michaels-Gymnasium der Benediktiner, Metten

Hochschulausbildung

1998 - 1999	Studium der Veterinärmedizin an der Ludwigs-Maximilians-Universität in München
1999 - 2005	Studium der Agrarwissenschaften an der Technischen Universität München in Feising-Weihenstephan Schwerpunkt: Tierproduktion
03/2004	Abschluss zum Bachelor of Science
05/2005	Abschluss zur Diplom-Agraringenieurin (Univ.)
2005 - dato	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Department für Tierwissenschaften, Lehrstuhl für Tierernährung der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan