

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
- Grünlandwirtschaft und Futterbau -
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gerüstsubstanz- und Mineralstoffmuster unterschiedlich bewirtschafteter Ackerpferch-Zwischenfrüchte

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
beim Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Dipl.-Ing. agr. **Michaela Neff**
aus Würzburg

Gießen 2005

Dekan: Prof. Dr. R. Herrmann

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld
2. Gutachter: Prof. Dr. E. Weigand

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Dezember 2005

Inhalt

1 EINLEITUNG	1
2 LITERATUR.....	2
2.1 Winteraußenhaltung	2
2.2 Winterfutter	4
2.2.1 Winterfutter "auf dem Halm"	4
2.2.2 Ackerpferch-Zwischenfrüchte	5
2.2.3 TS-Ertrag und Futterqualität	9
2.2.4 Verdaulichkeit organischer Substanz.....	11
2.3 Schätzmethode n	13
2.4 Mineralstoffe	16
2.4.1 Einflussfaktoren	16
2.4.2 Phosphor	17
2.4.3 Kalium	19
2.4.4 Natrium	20
2.4.5 Magnesium.....	21
2.4.6 Calcium	23
2.4.7 Mineralstoffimbalancen.....	24
2.5 Arbeitshypothese	26
3 MATERIAL UND METHODEN	28
3.1 Material	28
3.1.1 Standort und Witterung	28
3.1.2 Varianten	29
3.2 Methoden.....	30
3.2.1 Probenaufbereitung	30
3.2.2 TS-Ertrag	30
3.2.3 Analytik	30
3.2.4 Statistische Auswertung.....	34

4	ERGEBNISSE	35
4.1	Zellwandzusammensetzung	35
4.1.1	NDF.....	35
4.1.2	ADF.....	35
4.1.3	ADL	38
4.2	Schätzmethoden-Vergleich	40
4.3	Mineralstoffe	44
4.3.1	Phosphor	44
4.3.2	Kalium	46
4.3.3	Natrium	46
4.3.4	Magnesium.....	50
4.3.5	Calcium	50
4.3.6	Ca/P-Quotient	53
4.3.7	K/(Ca+Mg)-Quotient.....	53
5	DISKUSSION	57
5.1	Verdaulichkeit organischer Substanz.....	57
5.1.1	Zellwandzusammensetzung.....	57
5.1.2	Ergosterol-Konzentration.....	70
5.1.3	Glucosinolat-Konzentration	73
5.2	Schätzmethoden-Vergleich	75
5.3	Mineralstoffe	85
5.3.1	Phosphor	85
5.3.2	Kalium	91
5.3.3	Natrium	92
5.3.4	Magnesium.....	94
5.3.5	Calcium	95
5.3.6	Mineralstoffimbilancen.....	96
5.4	Ausblick	98
6	ZUSAMMENFASSUNG	100
7	SUMMARY	102
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	104
9	TABELLENANHANG	120

1 Einleitung

Durch die zunehmende Freisetzung marginaler Grünlandflächen gewinnt die ganzjährige Außenhaltung von Mutterkühen und Fleischrindern als eine der extensivsten landwirtschaftlichen Produktionsformen insbesondere in Grenzertragslagen an Bedeutung. Neben der Einsparung von Gebäudekosten und einem verminderten Arbeitsaufwand (VAN KEUREN 1970b, DEBLITZ et al. 1993, HOCHBERG 1998) kann durch eine Verlängerung der Weideperiode der Bedarf an kostenträchtigen Konserven reduziert werden. Winterfutter „auf dem Halm“ liefert dem Weidetier bis zum Jahresende eine Futtergrundlage in ausreichender Menge und Qualität (OPITZ v. BOBERFELD & WÖHLER 2002, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002, WÖHLER 2003, BANZHAF 2004). Auf Standorten, die aufgrund unzureichender Tragfähigkeit des Bodens keine ganzjährige Weideperiode zulassen, stellen Acker- und Strohpfersche eine kostengünstige Alternative zur Winterweide bzw. Winterstallhaltung dar (OPITZ v. BOBERFELD 1997). Neben der Nutzung von Ausfallgetreide und Stoppelresten auf Ackerpferschflächen bietet sich die Möglichkeit der gezielten Verbesserung des Futterangebots durch Zwischenfrüchte an. Diese liefern ein hochverdauliches, energiereiches Grundfutter, das je nach Bedarf durch qualitativ weniger hochwertige Konserven, wie Stroh oder Heu von überständigen Aufwüchsen, z.B. Kultur-(Natur-)Schutzflächen, ergänzt werden kann. Aufgrund mangelnder Struktur der Zwischenfrüchte, insbesondere der *Brassicaceen*, hat ein struktureller Ausgleich der Ration einen hohen Stellenwert, um einer Übersäuerung des Pansens mit der Gefahr einer Acidose vorzubeugen. Da infolge von Mineralstoffunterversorgung oder -imbalancen Krankheiten, wie Weidetetanie oder Gebärparese, auftreten können (HEIKENS 1999) und eine tierindividuelle Supplementierung in extensiven Haltungssystemen problematisch ist, sollen in dieser Arbeit die Mineralstoffkonzentrationen ausgewählter Zwischenfrüchte bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen untersucht werden. Ziel dieser Arbeit ist es darüber hinaus, Unterschiede in der Verdaulichkeit verschiedener Zwischenfrüchten anhand möglicher Ursachen, wie Verpilzungsgrad, sekundäre Inhaltsstoffe oder Zellwandanteil und -beschaffenheit, zu bewerten.

2 Literatur

2.1 Winteraußenhaltung

Die ganzjährige Außenhaltung von Mutterkühen und Fleischrindern stellt die extensivste Form agrarischer Landnutzung dar und gewinnt im mitteleuropäischen Raum v. a. in peripheren Lagen zunehmend an Bedeutung (LANGHOLZ 1992, DEBLITZ et al. 1993, OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999, OPITZ v. BOBERFELD 2001a, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2002, WOLF 2002, WÖHLER 2003, BANZHAF 2004). Ökonomische Vorteile ergeben sich bei dieser Art der Grünlandnutzung durch reduzierte Gebäudekosten (BOEKER 1957, DEBLITZ et al. 1993) und einen verminderten Arbeitszeitbedarf (VAN KEUREN 1970b). Um die Rentabilität der Winteraußenhaltung zu sichern, müssen weitere Faktoren, wie Rassenwahl, Vermarktungsstrategien und Herdengröße, optimiert werden. Durch die Nutzung von Winterfutter „auf dem Halm“ lassen sich die Futterkosten reduzieren, da durch die verlängerte Weideperiode kostenträchtige Konserven (= Silage, Heu, Stroh) eingespart werden können (HUGHES 1954, CORBETT 1957, VAN KEUREN 1970a, BARTHOLOMEW et al. 1997, FREEZE et al. 1999). Die Winteraußenhaltung stellt besondere Ansprüche an das Weidemanagement. Neben einer reduzierten Herdengröße, nach WAßMUTH (2002) ist eine Besatzstärke von $< 1,5 \text{ GVE ha}^{-1}$ anzustreben, sind windgeschützte und trockene, eingestreute Liegeplätze sowie frostsichere Tränken und ausreichend Futter wichtige Faktoren, um dem Weidetier im Winter bestmögliche Lebensbedingungen zu schaffen (VAN KEUREN 1970b, WALLBAUM 1996, OPITZ v. BOBERFELD 1997, HOCHBERG 1998, HEIKENS 1999). Im zeitigen Frühjahr sind Pflege- und Regenerationsmaßnahmen (= Abschleppen, Nachsaat) erforderlich (OPITZ v. BOBERFELD 1997). Der limitierende Faktor für eine ganzjährige Weidehaltung ist der Mangel an ausreichend trittfesten Dauergrünlandnarben (LOCKHART et al. 1969, DEBLITZ et al. 1993, OPITZ v. BOBERFELD 1997, OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999). Nach OPITZ v. BOBERFELD (1997) bieten Standorte mit flachgründigen und skelettreichen Bodentypen, wie Rendzinen, Ranker- oder Sandbraunerden, die weder stau- noch grundwasserbeeinflusst sind und auch im Winter eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen, gute Voraussetzungen. Ein hoher Sandanteil des Bodens bedingt jedoch die Gefahr einer Nährstoffverfrachtung nach Mineralisierung der Exkremente, v. a. auf stark frequentierten Weidebereichen, wie Futter-, Tränke- oder Liegeplätze (EBEL & MILIMONKA 1998, HOCHBERG & WEIß 1998, WEISE et al. 1998, OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999, EBEL et al. 2003). Durch gezielte Maßnahmen im Weidemanagement, wie regelmäßiges Versetzen der Futterraufen oder das Anlegen von Strohmatratzen im Liegebereich, kann starken Belastungen der Weide durch Nährstoffakkumulation oder Narbenschäden vorgebeugt werden (EBEL & MILIMONKA 1998). Für eine ganzjährige

Beweidung ungeeignet sind Pelosole, die durch einen hohen Anteil an Totwasser und eine schlechte Dränwirkung gekennzeichnet sind, sowie in der frostfreien Zeit Moorböden, Gleye und Pseudogleye (OPITZ v. BOBERFELD 2001b). Folgen einer Winterbeweidung solcher Standorte können neben Narbenschädigungen auch eine Beeinträchtigung der Klauengesundheit sein (WAßMUTH 2002). Auf Standorten, die wegen unzureichender Tragfähigkeit keine Winterweide erlauben, stellt die Pferchhaltung in Form eines Acker- oder Strohperches eine kostengünstige Alternative dar (ARNDT 1995, OPITZ v. BOBERFELD 1997). Die Besatzdichte in Strohperchen ist relativ hoch und erfordert Einstreumengen, einschließlich des Anteils für Futterzwecke, von etwa 20 kg Tier⁻¹ Tag⁻¹, um den Eintrag größerer Nährstoffmengen in den Boden zu vermeiden (OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999). Eine feste Einzäunung des Strohperches wird durch mobile Gatter (= Corral-Systeme) geschaffen. Die Futtergrundlage im Winter bilden in der Regel Heu und Silage, wobei ein nicht quantifizierbarer Teil des Einstreumaterials ebenfalls als Futter aufgenommen wird. Durch Weidegang während der Frostperioden kann die Anzahl der Pferchstage reduziert werden (ARNDT 1995, OPITZ v. BOBERFELD & STERZENBACH 1999). Zur Nutzung als Ackerperch wird Ackerland mit mobilen Weidezäunen schlagweise abgegrenzt, wodurch der Auslauf relativ groß bemessen ist (OPITZ v. BOBERFELD 1997). Durch eine Verlängerung der Weideperiode können auch hier teure Konserven eingespart werden. Neben der traditionellen Form der Stoppelweide, bei der die Tiere auf brachliegenden Ackerschlägen Ausfallgetreide und Stoppelreste aufnehmen, bietet sich die Möglichkeit der gezielten Verbesserung des Futterangebots durch Zwischenfrüchte an (OPITZ v. BOBERFELD 1997, ECHTERNACHT, 2004). Zwischenfrüchte liefern ein hochverdauliches Grundfutter (RENIUS 1992), das je nach Bedarf durch qualitativ weniger hochwertige Konserven (= Stroh oder Heu von überständigen Aufwüchsen) zur Strukturverbesserung ergänzt werden kann. Eine bedarfsgerechte Versorgung der Weidetiere bezieht sich neben typischen Merkmalen der Futterqualität, wie Energiedichte und Verdaulichkeit organischer Substanz (= DOM), auch auf ein adäquates Angebot essentieller Mengen- und Spurenelemente. Im Gegensatz zur intensiven Milchviehhaltung, bei der eine Supplementierung dieser Elemente über entsprechend angereichertes Kraftfutter erfolgt, ist eine tierindividuelle und gleichmäßige Versorgung extensiv gehaltener Rinder kaum möglich (UNDERWOOD & SUTTLE 2001, OPITZ v. BOBERFELD 1986, 2001a). Die Bereitstellung der nötigen Mineralstoffe sollte daher bereits über das Grundfutter erfolgen (PHILLIPS 2001, LASER 2004). Obwohl Krankheiten infolge von Mineralstoffmangel oder -imbalancen, wie Weidetetanie (= Hypomagnesämie), Gebärpause (= Hypocalcämie), Knochenerweichung (= Rachitis/Osteomalazie) oder auch „White Muscle Disease“ infolge von Selenmangel, bei Winteraußenhaltung häufig be-

schrieben werden (KEMP & T'HART 1957, GRUNES et al. 1970, MARTENS & GÄBEL 1986, KLEE 1992, WALLIS DE VRIES 1996, JUDSON & MCFARLANE 1998, SCHRAUZER 1998, HEIKENS 1999, MAYLAND & SHEWMAKER 2001, UNDERWOOD & SUTTLE 2001, OPITZ v. BOBERFELD 2001a, 2002, LASER 2004), fehlt eine systematische Untersuchung von Ackerpferch-Zwischenfrüchten im Hinblick auf ihre Mineralstoffkonzentrationen unter mitteleuropäischen Verhältnissen weitestgehend.

2.2 Winterfutter

2.2.1 Winterfutter "auf dem Halm"

Bei der ganzjährigen Außenhaltung von Mutterkühen und Fleischrindern können Futterkosten reduziert werden, indem durch die Nutzung von Winterfutter „auf dem Halm“ die Weideperiode verlängert und dadurch teure Konserven einspart werden. Die Nutzung eines stehenden Winterfutterlagers führt dazu, dass sich die Tiere die meiste Zeit verteilt auf der Fläche aufhalten, während sie bei ausschließlicher Versorgung über stationäre Futterraufen größtenteils (= bis zu 90%) in einem engen Umkreis um die Futterstellen verweilen (PRIEBE & ZUBE 1998), was zu Nährstoffakkumulationen nach Mineralisierung der Exkremente führen kann. Wichtige Eigenschaften von Pflanzenarten für die Winternutzung sind neben pflanzenbaulichen und qualitätsbestimmenden Merkmalen auch Winterhärte und die Fähigkeit, bei niedrigen Temperaturen zu wachsen (WHEELER 1968, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Winterhärte und Wachstum stehen allerdings in kalten und feuchten Mittelbreiten in Konkurrenz zueinander, da zum Schutz vor Winterschäden das Wachstum bei niedrigen Temperaturen eingestellt wird, was die Voraussetzung für Gefriertoleranz ist (BURNS & CHAMBLEE 1979, LARCHER 2001). Als Hauptbestandsbildner für Winterweiden gemäßiger und kühler Klimate wird die wintergrüne Art *Festuca arundinacea* empfohlen (BOEKER 1957, STÄHLIN & TIRTAPRADJA 1974, TAYLOR & TEMPLETON 1976, ALLEN et al. 1989, BARTHOLOMEW et al. 1997, OPITZ v. BOBERFELD 2001b), die insbesondere im Norden Amerikas unter kontinentalen Bedingungen, wo die Winterweide schon lange eine wichtige praktische Bedeutung für die Rindfleischproduktion hat (TAYLOR & TEMPLETON 1976, BALASKO 1977, MATCHES 1979, ALLEN et al. 1989, BARTHOLOMEW et al. 1997), als Winterfutter eine entscheidende Rolle spielt (COLLINS & BALASKO 1981, BARTHOLOMEW et al. 1997). Der aufrechte Wuchs von *Festuca arundinacea* lässt absterbende Blätter schneller abtrocknen, so dass Fäulnisprozesse verlangsamt werden (BOEKER 1957, CORBETT 1957). Außerdem ist die Verfügbarkeit des Futters bei Schneeeinlagen offenbar höher (WILLMS & RODE 1998). Auf Böden, die im Winter aufgrund unzureichender Tragfähigkeit keine Beweidung erlauben, kann als Alternative zur Winterweide die

Weideperiode durch den gezielten Anbau von Zwischenfrüchten in einem Ackerpferch verlängert werden.

2.2.2 Ackerpferch-Zwischenfrüchte

Der Anbau von Zwischenfrüchten hat ökologische Vorteile, wie Erosionsschutz, Wasserschutz, Humusaufbau, biologische Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung (KREMER-SCHILLINGS 1981, SCHÄFER 1991, RENIUS 1992) und vermag die Produktivität und die Ertragssicherheit von Folgefrüchten zu steigern (HEYLAND & BRAUN 1980, BAEUMER 1992). Für die Futternutzung von Zwischenfrüchten zur Verlängerung der Weideperiode in den Herbst und Winter hinein eignen sich v. a. Stoppelfrüchte, Untersaaten (RENIUS 1992) und - früh gesät - auch Winterzwischenfrüchte (KASDORFF 1955). Als Stoppelsaaten kommen v. a. *Brassicaceen*, aber auch *Lolium multiflorum* sowie *Fabaceen* in Betracht (NÖSBERGER 1986, BAEUMER 1992, RENIUS 1992). Insbesondere *Poaceen* sollten so früh wie möglich ausgebracht werden, damit bis zur Nutzung im Herbst und Winter ausreichend Masse gebildet werden kann. Auf eine Saatzeitverzögerung reagieren die verschiedenen Zwischenfrüchte unterschiedlich; Vertreter der *Brassicaceen* sind offenbar besser spätsaatverträglich als Arten der *Poaceen* (SCHUSTER 1967, SIMON 1987). In Untersuchungen von ECHTERNACHT (2004) werden die *Brassicaceen* jedoch von einer späten Aussaat stärker beeinträchtigt als die *Poaceen*. Im Vergleich zu Stoppelfrüchten weisen Untersaaten eine bessere Trittverträglichkeit auf. Ihre Beweidung fällt gewöhnlich in den Zeitraum September/Oktober, ist jedoch je nach Witterung bis Dezember möglich (RENIUS 1992). Als Untersaaten haben v. a. Kleearten, Gräser und Klee gras-Gemeuge Bedeutung, wobei der Anbau von *Lolium perenne*, *Trifolium repens* und *Trifolium pratense* insbesondere aufgrund von Lichtmangel und der Anbau von *Dactylis glomerata* aufgrund starker Deckfruchtbeeinflussung problematisch ist (SCHULTHEISS & OPITZ v. BOBERFELD 1994). Zur Begrünung eignet sich offenbar *Festuca rubra* (SCHULTHEISS & OPITZ v. BOBERFELD 1994, BRODOWSKI 2001), bei RENIUS (1992) findet als Untersaat v. a. *Lolium multiflorum* Beachtung. Nach BOEKER (1957) ist eine Winternutzung der genannten Arten aufgrund mangelnder Winterhärte jedoch nur begrenzt möglich. Winterraps, Winterrüben, Grünroggen und das Landsberger Gemeuge (SIMON 1987, RENIUS 1992) zählen zu den Winterzwischenfrüchten, die schon bei geringen Temperaturen ihr Wachstum wieder aufnehmen und so im Frühjahr das erste Grünfutter liefern (KASDORFF 1955, NÖSBERGER 1986, BAEUMER 1992, RENIUS 1992). Für eine winterliche Beweidung eignen sich im Hinblick auf eine ausreichende Frosthärte Vertreter der *Brassicaceen*. Mit steigenden Erträgen nimmt jedoch die Frostempfindlichkeit verschiedener Raps- und Kohlsorten zu (SCHLOTT 1980). Die Qualität von Winterfutter steigt – allerdings zu Lasten des Ertrages – in der Regel, je später

die letzte Vornutzung in der Vegetationsperiode erfolgt. Mit fortschreitendem Winter nehmen sowohl der Ertrag als auch die Qualität des Futters ab (OPITZ v. BOBERFELD & WÖHLER 2002, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Nach JAHN-DEESBACH (1970) und SCHLOTT (1980) liefern neben Futterraps, *Brassica napus* ssp. *napus*, im Hinblick auf Frosthärte und Standfestigkeit auch die Zweitfrüchte Markstammkohl (*Brassica oleracea* convar. *acephala* var. *medullosa*) und Blattkohl (*Brassica oleracea* convar. *acephala* var. *sabellica*) eine ausreichende Winterfuttergrundlage. Dem steht ein ausreichend früher Saattermin (= Mitte Juni) der auf Winterzwischenfrüchte folgenden Zweitfrüchte häufig entgegen (SIMON 1987, BAEUMER 1992). Des weiteren finden ONDERSCHEKA et al. (1987) bei Futterkohl im Vergleich zu Futterraps relativ hohe Gehalte an S-Methyl-L-Cystein-Sulphoxid (= SMCO), die den sogenannten Kohlanämiefaktor bedingen. JAHN-DEESBACH (1970) stellt in Großversuchen zur Winterdirektäsung für Rot- und Rehwild fest, dass Markstammkohl, im Gegensatz zum frosthärteren Blattkohl, besser für eine Vorwinterweide geeignet ist. Für die eigentliche Winter- und Nachwinterweide bietet offenbar **Winterraps** Vorteile, der auch bei höherer Schneedecke noch qualitativ hochwertiges Futter liefert. Da Winterraps erst bei Temperaturen < -3 °C sein Wachstum einstellt, werden auch im Winter noch gute Zuwachsraten und Erträge erzielt (BERENDONK 1982a). In Untersuchungen von ECHTERNACHT (2004) ist bei später Nutzung die Abnahme der Erträge bei den *Poaceen* stärker ausgeprägt, aber auch bei den *Brassicaceen* sinken die Erträge im Winter meist – insbesondere bei einer Aussaat im Juli. Die Ansaat sollte bis Mitte August erfolgen (SIMON 1987). Winterraps kommt in der Regel erst nach Überwinterung zur Blüte (RENIUS 1992) und zeigt auch mit fortschreitender Vegetationsdauer nur geringe Veränderungen im Futterwert. SHELDRIK et al. (1981) nutzen in ihren Untersuchungen im milderen, atlantisch geprägten Klima Großbritanniens Winterraps bis in den Januar hinein. Der Einfluss der Witterung spielt für den Ertrag offenbar eine bedeutende Rolle, die höchsten Erträge werden in dieser Untersuchung in den Jahren mit relativ geringen Niederschlägen und Frühfrösten erreicht, während das Versuchsjahr mit hohen Niederschlägen und milden Temperaturen die niedrigsten Erträge erbringt. Im Gegensatz zu Winterraps wird bei **Sommerraps** das Längenwachstum und die generative Entwicklung der Pflanze durch höhere Temperaturen und Langtagbedingungen gefördert, weshalb Sommerraps häufig einen, im Verhältnis zum Blatt, höheren Stängelanteil besitzt. Sommerraps neigt im Gegensatz zu Winterraps bei früher Aussaat zur Blüte (BRETSCHNEIDER-HERRMANN & SCHUSTER 1967, SIMON 1987, BAEUMER 1992, RENIUS 1992). Für die Futternutzung von Sommerraps lassen sich spezielle Sorten – bezogen auf ihr Blatt/Stängel-Verhältnis und ihre Blühneigung – differenzieren. Die beiden Sommerraps-Typen, Schnitt- und Weidetyp, unterscheiden sich hauptsächlich in ihrem unter-

schiedlich hohen Stängelanteil. Während beim Weidetyp mehr Blattmasse gebildet wird, verschiebt sich beim Schnittpf das Verhältnis zugunsten des Stängels; durch den aufrechten Wuchs werden Fäulnisprozesse verlangsamt, da die Blätter schneller abtrocknen können (BOEKER 1957; CORBETT 1957). Das Blatt/Stängel-Verhältnis korreliert mit mehreren Merkmalen der Futterqualität. Ein hoher Blattanteil bedingt offenbar höhere Rohprotein-Konzentrationen (= XP) sowie eine bessere Verdaulichkeit organischer Substanz (= DOM), während gleichzeitig der Rohfasergehalt (= XF) sinkt (BERENDONK 1982a). Nach BERENDONK (1982a) liefern Sommerrapssorten mit hohem bis mittleren Blattanteil im Hinblick auf die Nutzung als Herbstweide bis Ende November relativ sichere Erträge von guter und konstanter Qualität. Im Gegensatz zur Sortenwahl hat der Erntetermin bei Sommerraps offenbar keinen Einfluss auf die DOM der Gesamtpflanze. Der Ertrag an verdaulicher organischer Masse steigt von Ende September bis Ende Oktober an, und bleibt dann bis Ende November auf gleichem Niveau (SHELDRIK et al. 1981, SHELDRIK & LAVENDER 1981, BERENDONK 1982a). Raps liefert durch seine hohe DOM sowie seine hohen Gehalte an Energie und XP ein Grundfuttermittel guter Qualität (BERENDONK 1982b, DANIEL & ZOBELT 1986); nach der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (ANONYMUS 1997b) werden eine DOM von 88%, Energiegehalte von 11,30 MJ ME bzw. 7,00 MJ NEL und XP-Konzentrationen von 19,4% – bezogen auf die TS – erreicht; nach RENIUS (1992) liegt der XP-Gehalt von Raps im Bereich von 20%. Aufgrund des geringen XF-Gehaltes von 13,3% (ANONYMUS 1997b) muss für eine wiederkäuergerechte Ration eine Strukturergänzung erfolgen, z. B. durch Zufütterung von XF-reichem Heu oder Stroh (DANIEL & ZOBELT 1986, ZOBELT 1990, RENIUS 1992). Mangelnde Struktur in der Ration führt zu einer unzureichenden Abpufferung der Pansensäuren durch die im Speichel enthaltenen Bicarbonate (MENKE 1987, KIRCHGEßNER 2004). Um der Gefahr einer Pansenacidose vorzubeugen, ist ein XF-Gehalt von mindestens 18% erforderlich, für Mastbullen sind offenbar Werte von 14-16% noch tolerierbar (JEROCH et al. 1999, KIRCHGEßNER 2004). In Untersuchungen von BERENDONK (1982a) werden im Stängel stängelreicher Sorten zwar XF-Gehalte von bis zu 30% erreicht, Beweidungsversuche von BERENDONK (1985) zeigen jedoch, dass der Weiderest mit zunehmendem Stängelanteil deutlich ansteigt, da dieser Teil der Pflanze gemieden wird. Die **Stoppelröbe** (= *Brassica rapa* ssp. *rapa*), die auch Herbst- oder Wasserröbe genannt wird, ist ebenfalls ein Vertreter der *Brassicaceen*. Die Aussaat erfolgt Ende Juli bis Mitte August und es werden Erträge von etwa 50-60 kg TS ha⁻¹ erzielt. Die Stoppelröbe ist für eine Beweidung geeignet, wobei sowohl das Blatt als auch der Rübenkörper, der größtenteils oberirdisch wächst, aufgenommen werden (BERENDONK 1985, SIMON 1987, BAEUMER 1992, RENIUS

1992). In Beweidungsversuchen von BERENDONK (1985) mit verschiedenen *Brassicaceen* zeichnet sich die Stoppelrübe durch den geringsten Weiderest aus, in steigender Reihenfolge gefolgt von Winterrüben, Winterraps, Markstammkohl, Sommerraps, Ölrettich und Weißem Senf. Die Stoppelrübe ist ein wasserreiches und mit einer DOM von 89% hochverdauliches Futtermittel (RENIUS 1992). Sie enthält 11,98 MJ ME bzw. 7,55 MJ NEL und 19,1% XP in der Gesamtpflanze, wobei sowohl die XP- als auch die XL-Gehalte im Blatt höher sind als im Rübenkörper; der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (= WLK) in der Rübe liegt bei 38,4% (ANONYMUS 1997b). Die Stoppelrübe liefert mit 12,2% XF (ANONYMUS 1997b), ebenso wie der Raps, für eine wiederkäuergerechte Ernährung nicht genügend Struktur und muss dahingehend ergänzt werden. Bedingt durch den hohen Glucosinolatgehalt der Stoppelrübe (RENIUS 1992, STEINHÖFEL 1999) sollte die tägliche Ration auf 40-50 kg Frischmasse Tier⁻¹ Tag⁻¹ begrenzt werden (KÜRTEIN 1963, ESSER et al. 1964, RENIUS 1992), nach STEINHÖFEL (1999) sollte die Höchstmenge 25 kg Frischmasse Tier⁻¹ Tag⁻¹ nicht überschreiten. **Welsches Weidelgras** (= *Lolium multiflorum* ssp. *italicum*, Italienisches Raygras) und **Einjähriges Weidelgras** (= *Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*, Westermoldisches Raygras) werden als Zwischenfrüchte sowohl zur Herbstweide und Schnittnutzung als auch zur Gründüngung genutzt (HEYLAND & BRAUN 1980, BECKHOFF & POTTHAST 1986, LÜTKE ENTRUP 1992, RENIUS 1992). Die Aussaat sollte bis Ende Juli erfolgen (SIMON 1987), wobei für den Herbstaufwuchs neben einem möglichst frühen Saattermin auch die Witterungs- und Bodenbedingungen entscheidend sind. Welsches Weidelgras weist – bezogen auf die Fruchtfolge – keine Unverträglichkeiten auf und besitzt ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen (BECKHOFF & POTTHAST 1986); es besteht allerdings die Gefahr von Durchwuchs in der Folgefrucht. Welsches Weidelgras liefert für den Herbst ein qualitativ hochwertiges Futter, wobei Erträge bis zu 40 dt TS ha⁻¹ erreicht werden (NÖSBERGER 1986, LÜTKE ENTRUP 1992). Die Konzentration an XP liegt während des Schossens bei 21,1%, die Energiedichte bei 11,25 MJ ME bzw. 6,89 MJ NEL, die DOM bei 85% und der XF-Gehalt bei 23,1% (ANONYMUS 1997b). Mit zunehmenden Alter des Pflanzenmaterials nimmt der Anteil an XF zu, die Qualität des Futters – bezogen auf XP, Energiedichte und DOM – nimmt ab (STÄHLIN 1957, KLAPP 1971, RENIUS 1992, OPITZ v. BOBERFELD 1994b). Einjähriges Weidelgras ist unter den Weidelgräsern die kurzlebigste Art und unterscheidet sich von seiner Artengruppe durch mangelnde Winterhärte und Schossbereitschaft ohne Kältebedürfnis (LÜTKE ENTRUP 1992). Während Welsches Weidelgras im ersten Jahr nahezu nur Blattmasse bildet (NÖSBERGER 1986, BECKHOFF & POTTHAST 1986, LÜTKE ENTRUP 1992, BERENDONK 2000, ANONYMUS 2003), beginnt Einjähriges Weidelgras bei früher Saat bereits nach wenigen Wochen mit der Ährenbildung, was sowohl mit dem XF-

Gehalt als auch mit dem Ertrag positiv korreliert (BERENDONK 2000). Nach RENIUS (1992) und BERENDONK (2000) kommt Welsches Weidelgras v. a. dann bevorzugt zum Einsatz, wenn nach Nutzung im Herbst und anschließender Überwinterung eine weitere Nutzung im Frühjahr erfolgt. Soll das Welsche Weidelgras als strukturelle Ergänzung dienen, eignen sich Sorten mit früher Ährenbildung besser, da der XF-Gehalt im Aufwuchs primär von diesem Faktor beeinflusst wird. Die Nutzung von Stoppelresten und **Ausfallgetreide** verursachen, bezogen auf die Saatbettbereitung und Saatgutbeschaffung, die geringsten Kosten. Da über die Nutzung von ausgefallenem Getreide als Herbst- oder Winterfutter keine systematischen Untersuchungen vorliegen, können Werte, die sich auf die Gesamtpflanze beziehen (= Getreide bis zum Ährenschieben), grobe Anhaltspunkte für Merkmale der Futterqualität liefern (ECHTERNACHT 2004). Nach der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (ANONYMUS 1997b) erreicht die Wintergerste im EC-Stadium Beginn bis volles Ährenschieben XP-Gehalte von 18%, XF-Gehalte von 23,1%, eine Energiedichte von 11,25 MJ ME bzw. 6,89 MJ NEL und eine DOM von 81%.

2.2.3 TS-Ertrag und Futterqualität

Die Bewertung von Grünlandaufwüchsen erfolgt über Massebildung (= TS-Ertrag) und die Futterqualität (OPITZ v. BOBERFELD 1994a), wobei beide Merkmale von den Witterungsbedingungen, der Art und Häufigkeit der Nutzung sowie der Wasser- und Nährstoffversorgung beeinflusst werden (KLAPP 1971, VOIGTLÄNDER 1987). Da endogen und exogen bedingte Wachstumsprozesse im Spätsommer und Herbst hauptsächlich von der Strahlungsintensität limitiert werden, führt eine geringe Lichteinstrahlung im Winter zu reduzierten Wachstumsraten (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Die Höhe der Wintererträge ist abhängig vom Zeitpunkt der letzten Vornutzung und vom Nutzungstermin im Winter (GARDNER & HUNT 1955). In Untersuchungen von WOLF (2002) stellen der Schonungsgrad ab dem Sommer und die N-Versorgung die wichtigsten Varianzursachen sowohl für den TS-Ertrag als auch für die DOM und die XP-Konzentration dar, wobei der TS-Ertrag positiv und die Merkmale der Futterqualität negativ mit dem physiologischen Alter der Aufwüchse zu Beginn des Winters korrelieren (MATCHES 1979, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Auch nach ECHTERNACHT (2004) geht der größte Einfluss auf die Erträge von dem Faktor Saattermin aus, wobei in dieser Untersuchung Vertreter der *Brassicaceen* von einer späten Aussaat stärker beeinträchtigt werden als Arten der *Poaceen*. Mit fortschreitendem Winter nehmen sowohl Ertrag als auch Qualität des Futters ab (OPITZ v. BOBERFELD & WÖHLER 2002, OPITZ v. BOBERFELD & WOLF 2002). Das Verhalten von *Brassicaceen* und *Poaceen* differiert auch im Hinblick auf den Erntetermin; bei später Nutzung im Winter ist die Abnahme der Erträge bei den *Poaceen* deutlicher ausgeprägt

als bei den *Brassicaceen* (ECHTERNACHT 2004). Die Energiedichte bzw. die DOM sind wichtige Merkmale der Futterqualität und ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Bestandes (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Aufgrund höherer Zellwandanteile und stärkerer Lignifizierung nehmen der Anteil an verdaulichen Nährstoffen und die Energiedichte mit fortschreitender Seneszens ab (KIRCHGEßNER 2004). Im Gegensatz dazu erhöht sich die Konzentration an XF im Laufe der Vegetationsperiode um etwa 0,2% am Tag (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Für eine wiederkäuergerechte Ernährung müssen beide Faktoren – Energiedichte und XF-Gehalt – berücksichtigt werden, um sowohl ein Energiedefizit und damit einhergehende Leistungsdepressionen als auch eine Pansenübersäuerung durch einen Mangel an Struktur in der Ration zu vermeiden. Ein weiteres Merkmal, das die Qualität eines Futtermittels bestimmt, ist die XP-Konzentration. Im Hinblick auf die Proteinversorgung des Rindes ist neben dem Gehalt an XP v. a. das am Duodenum nutzbare Protein von Bedeutung, das sich aus dem unabgebauten Futterprotein und dem Mikrobenprotein zusammensetzt. Dabei hängt der Anteil des unabgebauten Proteins hauptsächlich von der Art des Futterproteins ab; die Abbaubarkeit verschiedener Futterproteine bewegt sich in einem weiten Bereich von 50% und nahezu 100%. Die Menge an Mikrobenprotein korreliert dagegen mit der Energiezufuhr (KIRCHGEßNER 2004). Zur Bewertung einer ausgewogenen Protein- und Energieversorgung des Rindes kann der Rohprotein-Energie-Quotient (= P/E-Quotient; Protein in g, Energie in MJ ME) herangezogen werden. Für Mutterkühe sollte der P/E-Quotient bei 11-12, für Mastvieh bei 10-14 liegen (MENKE 1987). Während zu niedrige Werte Zeichen einer Proteinunterversorgung sind, was zu einem Abfall der Milchleistung, einer Beeinträchtigung der Eierstocksfunction und – bei gleichzeitigem Energieüberschuss – zu Acetonämie und Leberverfettung führen kann, besteht bei zu hohen P/E-Quotienten die Gefahr einer starken Leberbelastung, was Leberschäden sowie Fruchtbarkeitsprobleme zur Folge haben kann (MENKE 1987, JEROCH et al. 1999, KIRCHGEßNER 2004). Im Hinblick auf die Tiergesundheit muss eine adäquate Versorgung der Tiere mit notwendigen Mineralstoffen gewährleistet sein. Mengenelemente, wie Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Natrium, erfüllen im Körper wichtige Funktionen im Rahmen des Skelettwachstums, des Elektrolythaushaltes sowie des Energie- und Proteinstoffwechsels, vgl. Kapitel 2.4. Da bei der Extensivhaltung von Mutterkühen und Fleischrindern eine individuelle Supplementierung der Tiere problematisch ist, ist es anzustreben, den Bedarf der Tiere über das Grundfutter zu decken. Je nach Witterungsverlauf im Herbst besteht bei extrem überständigem Pflanzenmaterial die Gefahr einer Mykotoxinbelastung. Ein Indikator für den Verpilzungsgrad ist die Ergosterol-Konzentration (OPITZ v. BOBERFELD 1996, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2000). Neben pilzlichen Giften können auch relativ hohe

Gehalte an S-Methyl-L-Cystein-Sulphoxid (= SMCO) im Futterkohl (ONDERSCHEKA et al. 1987) und die in *Brassicaceen* enthaltenen Glucosinolate futterwertmindernd und gesundheitsschädigend wirken. Durch die im Winter verminderte Qualität des Futters, insbesondere der reduzierten Energiedichte sowie einer geringeren DOM und der damit einhergehenden reduzierten Futteraufnahme, können Masseverluste bei alleiniger Fütterung der Tiere mit dem natürlichen Aufwuchs auftreten (HUGHES 1954, BOEKER 1957, WHEELER 1968, FREEZE et al. 1999). Diese saisonal auftretenden Masseverluste können jedoch in Zeiten besserer Futterversorgung ausgeglichen werden (MENKE 1987, JEROCH et al. 1999).

2.2.4 Verdaulichkeit organischer Substanz

Die DOM, die für Mutterkühe mindestens 50% betragen sollte (COLLINS & BALASKO 1981), variiert unter dem Einfluss des Standortes, der klimatischen Bedingungen, der botanischen Zusammensetzung und insbesondere des Entwicklungsstadiums der Pflanze (DEINUM 1966, KLOSKOWSKI et al. 1986, KÜHBAUCH 1987). Im Laufe der Vegetationsperiode sinkt die DOM, da mit fortschreitender Seneszens der Zellwandanteil zunimmt. Unterschiede in der DOM sind aber nicht nur durch den Zellwandanteil, sondern insbesondere durch die Zellwandzusammensetzung begründet. Die Faktoren NDF, ADF und ADL stellen die schwerer oder unverdaulichen Gerüstsubstanzen dar (OPITZ v. BOBERFELD 1994a), wobei der prozentuale Anteil dieser Fraktionen für die DOM entscheidend ist. DANIEL & OPITZ v. BOBERFELD (1988) untersuchen die Korrelationen zwischen ADF, *in vitro*-Verdaulichkeit organischer Substanz und Energiedichte - geschätzt mit dem Hohenheimer Futterwerttest - bei *Festuca pratensis* und *Dactylis glomerata*; werden ADF-Konzentration und *in vitro*-Verdaulichkeit in Beziehung gebracht, ergeben sich unabhängig von Blatt und Halm Bestimmtheitsmaße von $r^2 = 0,8$. MORRISON (1972) erreicht in seinen Untersuchungen einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,97$ zwischen der Lignin-Konzentration verschiedener *Poaceen* und der *in vitro*-Verdaulichkeit und findet den größten Lignin-Anteil in den am geringsten verdaulichen Spezies. Nach ANONYMUS (1985) liegen die Konzentrationen an ADF und NDF bei *Brassicaceen* niedriger als bei *Poaceen* und *Fabaceen* guter Qualität, nach ALÇIÇEK et al. (1994) enthalten *Brassicaceen* wenig Hemicellulose. WIEDENHOEFT & BARTON (1994) finden einen Einfluss von Frucht und Saattermin auf die ADF-Konzentration von *Brassicaceen*, wohingegen der Erntetermin als Varianzursache nicht gesichert ist; auch die NDF-Konzentration liegt beim ersten Saattermin auf dem höchsten und beim letzten Saattermin auf dem niedrigsten Niveau. Variierende Verdaulichkeiten bei den *Brassicaceen* sind oft auf unterschiedliche Blatt/Stängel-Verhältnisse zurückzuführen, wobei der Blattanteil beim Winterraps und beim Sommerraps, Weidetyp, höher ist als beim Sommerraps, Schnitttyp, was die DOM positiv

beeinflusst. Unabhängig von der Zellwandbeschaffenheit kann es zu einer Beeinflussung der DOM durch antinutritive Inhaltsstoffe kommen. In nasskalten Wintern und bei verspäteter Nutzung besteht die Gefahr von Verderbnisprozessen und Pilzbefall des Futters. Bei günstigen Witterungsbedingungen und guter Versorgung mit Kohlenhydraten sind bestimmte Pilze in der Lage, Mykotoxine zu bilden (BAATH et al. 1990). Weit verbreitete Mykotoxine sind das von Pilzen der Gattung *Fusarium* gebildete Zearalenon mit östrogenen und anabolischen Wirkung sowie das von Pilzen der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* gebildete Ochratoxin A mit nieren- und leberschädigender sowie kanzerogener Wirkung (BAUMANN & ZIMMERLI 1988; OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Mykotoxikosen bei Rindern äußern sich in geringer Fresslust, schlechter Masseentwicklung, Leistungsrückgang, Fruchtbarkeitsstörungen, erhöhtem Krankheitsrisiko bis hin zu Abmagerung, Durchfall, struppigem Haarkleid und Teilnahmslosigkeit (HÖLTERSHINKEN et al. 1996a). Nach MAIWORM et al. (1995) und HÖLTERSHINKEN et al. (1996b, 2000) wird auch die mikrobielle Fermentation im Pansen durch verschimmeltes Futter beeinträchtigt. WESTERNDOFF et al. (1993) untersuchen die Beziehung zwischen Alkaloiden in mit Endophyten infiziertem *Festuca arundinacea* und Pansenmetabolismus; sie kommen, wie andere Autoren auch (BUSH et al. 1970, BOLING et al. 1975, HANNAH et al. 1990), zu dem Ergebnis, dass die DOM durch eine Pilzinfektion reduziert wird. Sekundäre Inhaltsstoffe der *Brassicaceen* können negative Folgen für die Gesundheit der Tiere haben; neben den Spaltprodukten der Glucosinolate spielen hier auch Nitrat und SMCO eine Rolle (STÄHLIN 1957, VAN ETEN et al. 1969, ROSENBERGER 1970, KEMP et al. 1977, HUSS 1987, STEINHÖFEL 1999). Intakte Glucosinolate sind geschmacks- und geruchsneutral. Nach ihrer Spaltung durch das Enzym Myrosinase entstehen u. a. Isothiozyanate, die der Milch einen scharfen, bitteren Geschmack verleihen und die gesundheitsschädigende Wirkung der Glucosinolate bedingen, wie Hemmung der Schilddrüsenfunktion, damit verbundene Stoffwechsel- und Fruchtbarkeitsstörungen sowie Wachstumsdepressionen (HUSS 1987, SCHÖNE et al. 1997, STEINHÖFEL 1999, MITHEN et al. 2000, MITHEN 2001). LAMBERT et al. (1987) nehmen an, dass, obwohl hohe Glucosinolat-Konzentrationen im Raps vorkommen, die tierische Leistung durch den geringen Fasergehalt der *Brassicaceen* stärker beeinträchtigt wird als durch potentiell toxische Glucosinolate. Es sind keine ausreichend dokumentierten Fälle von goitrogenen Schäden bei Tieren bekannt, die primär mit *Brassica*-Wurzeln gefüttert werden, obwohl in den Wurzeln höhere Konzentrationen an Glucosinolaten vorkommen als in den Blättern (CARLSON et al. 1987). Offenbar gibt es andere hydrolytische Verbindungen, die eine reduzierende Wirkung auf die thyroide Aktivität haben, wenn *Brassicaceen* verfüttert werden. In Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989b) an ver-

schiedenen *Brassicaceen* werden zwar die toxischen Grenzen für die Thiocyanat-Konzentration nicht erreicht, die Konzentrationen sind aber hoch genug, um die Schilddrüsenfunktion zu beeinträchtigen, was v. a. bei jungen, wachsenden oder trächtigen Tieren problematisch sein kann.

2.3 Schätzmethoden

Die Energiedichte eines Futtermittels als maßgeblich futterwertbestimmender Faktor steht mit der DOM in enger Beziehung. Die DOM variiert deutlich, nicht nur zwischen verschiedenen Spezies, sondern auch innerhalb einer Spezies, so dass für die praktische Futterwertschätzung und Rationsplanung die DOM von jeder Futterprobe geschätzt werden sollte. Die exaktesten Ergebnisse werden durch Fütterungsversuche *in vivo* erzielt. Da Verdauungsversuche mit Tieren zeit- und kostenaufwendig sind, werden für die routinemäßige Praxis schnelle, kostengünstige und möglichst genaue Methoden zur Schätzung der DOM benötigt, die an den *in vivo*-Werten aus standardisierten Fütterungsversuchen kalibriert und validiert werden (MENKE & STEINGASS 1987, ANONYMUS 1997a, POTTHAST et al. 1997, KIRCHGESSNER 1998). Es steht eine große Auswahl solcher Schätzmethoden zur Verfügung, die sich in Zeit- und Kostenaufwand, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit voneinander unterscheiden (OPITZ v. BOBERFELD 1994b) und die in *in vitro*-Methoden mit Pansensaft, enzymatische, chemische und physikalische Methoden eingeteilt werden können. Zu den *in vitro*-Pansensaftmethoden zählen der Hohenheimer Futterwerttest (= HFT) und die Zwei-Stufen-Methode nach TILLEY & TERRY (1963). Der HFT (STEINGASS & MENKE 1986, MENKE & STEINGASS 1987) schließt an die Untersuchungen von TILLEY & TERRY (1963) an, die die DOM durch 48-stündige Vergärung mit Pansensaft und anschließender enzymatischer Hydrolyse bestimmen. Da die Genauigkeit der Pansensaft-Pepsin-Methode nach TILLEY & TERRY (1963) für die Schätzung der DOM von Silage und Stroh offenbar nicht befriedigend ist (KLOPFENSTEIN et al. 1972, GIVENS et al. 1995, ADESOGAN et al. 1998, ADESOGAN 2002), modifizieren GOERING & VAN SOEST (1970) diese Methode, indem sie die zweite Stufe (= Inkubation in Pepsin-Salzsäure) durch eine Behandlung der Proben mit neutraler Detergenzlösung ersetzen (VAN SOEST et al. 1966), um die postruminale Verdauung besser zu berücksichtigen. Im Unterschied zu diesen Verfahren wird im HFT nicht der unverdauliche Rückstand auf dem Filter, sondern die Gasbildung während der Vergärung (= CO₂, CH₄) gemessen (MENKE et al. 1979). Erwartungsgemäß liegen die Korrelationen zwischen diesen beiden *in vitro*-Verfahren auf recht hohem Niveau. Bei der enzymatischen Methode wird das Probenmaterial nach Inkubation in einer Pepsin-Salzsäurelösung mit Enzymen, hauptsächlich Cellulase, verdaut (ANONYMUS 1997a). Für den chemischen Ansatz werden die Rohnährstoffe nach der Weender Futtermittelanalyse be-

stimmt und die Energiedichte anhand multipler Regressionsgleichungen geschätzt. Die Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie (= NIRS) ist eine physikalische Methode, bei der die gemahlene Probe mit Licht definierter Wellenlänge (= 1400-2600 nm) stufenweise bestrahlt und die Intensität des diffus reflektierten Lichtes gemessen wird (NORRIS et al. 1976). Weder die chemischen Methoden noch die Verdaulichkeitskoeffizienten aus Tabellen sind ausreichend akkurat für eine praktische Schätzung der DOM. Mit lebenden Mikroorganismen aus dem Pansen werden offenbar deutlich bessere Ergebnisse erzielt (DEINUM & VAN SOEST 1969, VAN DER KOELEN & VAN ES 1973, TINNIMIT & THOMAS 1976, AERTS et al. 1977, KIRCHGEßNER & KELLNER 1981, OPITZ v. BOBERFELD et al. 2003). Nach MENKE et al. (1979) befriedigt die Schätzung der DOM aus der chemischen Analyse nicht, da die strukturelle Anordnung der Nährstoffe in der Pflanze einen stärkeren Einfluss auf die DOM hat als die chemische Zusammensetzung. Diese Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass – verglichen mit anderen *in vitro*-Verfahren – der HFT nicht nur wesentlich genauer, sondern auch einfacher in der Durchführung und weniger kostenaufwendig ist. Der relative Standardschätzfehler wird beim HFT gegenüber der Futterwertschätzung aus den Weender Rohnährstoffen auf etwa die Hälfte reduziert und bewegt sich bei Grundfuttermitteln aus gemäßigten Breiten zwischen 4% und 5% (WAGENER et al. 1993). Obwohl *in vitro*-Methoden mit lebenden Pansenmikroben arbeitsaufwendiger sind, da Spendertiere für den Pansensaft benötigt werden, liefern diese Verfahren genauere Schätzergebnisse, insbesondere wenn im Probenmaterial Substanzen enthalten sind, die die Aktivität der Mikroorganismen im Pansen beeinflussen können. Solche Interferenzen können durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (= Tannine, Glucosinolate u. a.) (STÄHLIN 1971, ISSELSTEIN 1994) oder durch Pilze (HÖLTERSHINKEN et al. 1996b, 2000) verursacht werden, was in Low-Input-Systemen nicht auszuschließen ist (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2003). Auch MCQUEEN & VAN SOEST (1975) kommen zu dem Ergebnis, dass die enzymatische Methode weniger exakt ist als die *in vitro*-Pansensaftmethode, um die *in vivo*-Verdaulichkeit zu schätzen; andere Autoren hingegen schätzen die Genauigkeit der Cellulase-Methode höher ein als die der *in vitro*-Pansensaftmethoden (CLARK & BEARD 1977, BUGHRARA & SLEPER 1986, AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU 1988). Nach ADESOGAN (2002) sind Cellulase-Methoden im Vergleich zu Pansensaft-Methoden einfacher, zeitsparender, besser reproduzierbar und benötigen keine fistulierten Tiere, wobei die geringe Akzeptanz der Öffentlichkeit gegenüber Tierversuchen benannt wird. BUGHRARA & SLEPER (1986) finden Korrelationen von $r = 0,84-0,93$ zwischen den verschiedenen Cellulase-Methoden einerseits und dem HFT andererseits. In Untersuchungen von AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU (1988) beträgt die Differenz zwischen Schätzwert nach der chemischen Methode und *in vivo*-

Messwert 16%, da Futtermittel, z. B. Weizenmehl und Citrustrester – mit gleichem XF-Gehalt – sich in ihrer DOM stark unterscheiden. Die hier angewendeten Schätzgleichungen unterschätzen die DOM von Futtermitteln, die einen hohen Anteil hoch verdaulicher Zellwandbestandteile besitzen, wie Erbsen, Zuckerrüben oder Citrustrester; werden solche Früchte ausgeschlossen, sinkt die Differenz von 16% auf 13%, was jedoch noch immer relativ hoch ist. Die Schätzung der DOM nach TILLEY & TERRY (1963) sowie nach der enzymatischen Methode liefert deutlich genauere Werte im Vergleich zur chemischen Methode. Beim enzymatischen Abbau werden Futtermittel, die reich an leicht verdaulicher Cellulose sind, unterschätzt. Bei einem hohen Anteil an Hemicellulose kommt es zu einer Überschätzung der DOM, wobei offenbar nicht der hohe Anteil an Hemicellulose per se für die Abweichung verantwortlich ist, sondern die Pentosane, die in manchen Früchten den größten Teil der Hemicellulose ausmachen (CERNING & GUILBOT 1974). Pentosane gelten für Wiederkäuer als gering verdaulich (HUNGATE 1966), sie werden *in vitro* jedoch durch die Salzsäure (= HCl) hydrolysiert (SALO 1957, VAN SOEST 1967, SCHALLER 1978). Die Inkubation in HCl, die dem Cellulase-Abbau vorausgeht, könnte demzufolge der Grund für die Überschätzung der DOM von pentosanreichen Futtermitteln sein (AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU 1988). Untersuchungen von OPITZ v. BOBERFELD et al. (2003) ergeben keine linearen Korrelationen sowohl bei der Gegenüberstellung der Energiedichten, geschätzt mit dem HFT und der chemischen Methode, als auch bei der Gegenüberstellung der DOM, geschätzt mit dem HFT und der enzymatischen Methode. Die Abweichung von der Winkelhalbierenden, die den Fall der totalen Übereinstimmung zweier Methoden darstellt, ist teilweise enorm. Offenbar sind die hohe Konzentration an XF sowie sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe für die schlechte Übereinstimmung der Methoden verantwortlich. Die Untersuchungen von OPITZ v. BOBERFELD et al. (2003) an ausgewählten Gräsern und Kräutern bestätigen die These, dass die *in vitro*-Methode mit Pansensaft offenbar eine recht zuverlässige Methode darstellt, um die Energiekonzentrationen in Winterweidefutter zu schätzen. Vergleichbare Untersuchungen mit *Brassicaceen* fehlen bislang, was auch auf die Validierung der verschiedenen Regressionsgleichungen zutrifft. Da in dieser Pflanzengruppe sekundäre Inhaltsstoffe, wie Glucosinolate oder S-Methyl-L-Cystein-Sulphoxid (= SMCO), enthalten sind, ist es lohnend, zu untersuchen, in wie weit sich Methoden zur Schätzung der DOM eignen, die nicht mit lebenden Pansenmikroben arbeiten und demzufolge eine Beeinflussung derer durch oben genannte Stoffe oder auch pilzlichen Befall des Futters nicht berücksichtigen.

2.4. Mineralstoffe

2.4.1 Einflussfaktoren

Die Mineralstoffkonzentrationen in Weideaufwüchsen sind abhängig vom Standort, den Witterungsbedingungen, der Nährstoffverfügbarkeit, dem Entwicklungsstadium der Pflanze und der botanischen Zusammensetzung des Bestandes (OPITZ v. BOBERFELD 1994a, KIRCHGEßNER 2004). Weiterhin besteht zwischen den verschiedenen Arten eine große Variabilität bezogen auf das Aufnahmevermögen einzelner Nährstoffe (FLEMING & MURPHY 1968, STÄHLIN & TIRTAPRADJA 1974, MENGEL 1991, ISSELSTEIN 1994, OPITZ v. BOBERFELD & BISKUPEK 1995). Besonders die Konzentration der zweiwertigen Ca- und Mg-Kationen ist bei den dikotylen Pflanzen wesentlich größer als bei den Monokotylen (ZÜRN 1951, WÖHLBIER & KIRCHGEßNER 1957, BISKUPEK 1993, MAINZ 1995). Eine N-Düngung beeinflusst die Mineralstoffkonzentrationen, indem eine hormonell bedingte Reifeverzögerung ausgelöst wird. Dies kann zu höheren Konzentrationen an K, Na, Mg und Ca in der Pflanze führen (OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WHITEHEAD 2000); gleichzeitig nehmen die P-Konzentrationen der *Poaceen* ab (GRIMME et al. 1974, RINNE 1976, COLLINS & BALASKO 1981, OPITZ v. BOBERFELD & BISKUPEK 1995, REINBOTT & BLEVINS 1997, CHERNEY et al. 2002). Nach HEMINGWAY (1961) und HOPKINS et al. (1994) verändern sich die Mineralstoffkonzentrationen in Weideaufwüchsen durch eine Extensivierung der Produktionsabläufe zum Nachteil des Weidetieres. Insbesondere eine verzögerte Nutzung oder zu frühe Schonung im Sommer bewirken ein vergleichsweise niedriges Niveau, da aufgrund der markanten wachstumsbedingten Abhängigkeit das physiologische Alter der Aufwüchse von entscheidender Bedeutung für die Mineralstoffkonzentrationen der Pflanzen ist (FLEMING & MURPHY 1968, KLAPP 1971, MÜLLER et al. 1971, ANKE et al. 1994, OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WILMAN et al. 1994). Daher muss in überständigem Material mit geringeren Mineralstoffkonzentrationen gerechnet werden (MENKE 1987), wobei nach LASER (1999) die Seneszenz insbesondere die P- und K-Konzentrationen, in geringerem Maße auch die Na- und Mg-Konzentrationen, verändert. Neben den wachstumsbedingten Veränderungen zeigen einige Mineralstoffe eine jahreszeitliche Abhängigkeit (FLEMING & MURPHY 1968, MÜLLER et al. 1971, FLEMING 1973, METSON & SAUNDERS 1978, ANKE et al. 1994, WILMAN et al. 1994, WILLMS & RODE 1998). Nach RAZMJOO et al. (1997) reduzieren niedrige Temperaturen im Herbst und Winter die Verfügbarkeit von N, P, Mg und Ca für die Pflanze. Im Winter bieten Zellschädigungen durch Frostschäden zusätzliche Angriffsflächen für parasitäre Krankheitserreger und Schädlinge, was – im Zusammenhang mit der ohnehin altersbedingt höheren Anfälligkeit gegenüber abiotischen Stressoren und Parasitenbefall (LARCHER 2001) – z. B. bei *Lolium spec.* zu Totalaus-

fällen führen kann (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Zellschädigungen der Blätter erleichtern zudem das Auswaschen (= leaching) von wertgebenden Inhaltsstoffen (WILLMS & RODE 1998). Nach RAZMJOO et al. (1997) kann durch die extremen Witterungsbedingungen im Herbst und Winter bereits der Eigenbedarf der Pflanzen nicht ausreichend gedeckt werden. Die Ansprüche von Pflanze und Tier unterscheiden sich bezogen auf Menge und Essentialität der Elemente (MENGEL 1991, JUDSON & MCFARLANE 1998, WHITEHEAD 2000, KIRCHGEßNER 2004); so ist z. B. K für die Pflanze in größerer Menge essentiell und dadurch in höheren Konzentrationen vorhanden. Na dagegen ist für die hierzulande verbreiteten Pflanzen im Gegensatz zum Tier nicht essentiell, so dass die Konzentrationen häufig nicht ausreichen, um den Bedarf des Tieres zu decken. Im Zusammenhang mit einer Mineralstoffunterversorgung kann zwischen einem primären (= absoluten) und einem sekundären Mangel – hervorgerufen durch synergetische/antagonistische Interaktionen verschiedener Elemente – unterschieden werden (TERÖRDE 1997), weshalb für eine qualitative Bewertung von Weidaufwüchsen stets das Mineralstoffmuster und nicht nur die absoluten Konzentrationen betrachtet werden sollten. Wichtige Beziehungen zwischen verschiedenen Mineralstoffen finden ihren Ausdruck in den Ca/P- und K/(Ca+Mg)-Quotienten. Die im nachfolgenden genannten Bedarfszahlen stellen lediglich grobe Anhaltspunkte dar, da der Bedarf keine konstante Größe, sondern abhängig von mehreren Faktoren wie Gravidität, Alter des Tieres und Futteraufnahme ist. Da bislang keine speziellen Empfehlungen für Mutterkühe vorliegen, werden entsprechende Angaben für Wiederkäuer (in % der TS) von OPITZ v. BOBERFELD (1994a) herangezogen.

2.4.2 Phosphor

Die Aufnahme von P in die Pflanze erfolgt abhängig von den Bodenverhältnissen als H_2PO_4^- auf sauren Böden bzw. als HPO_4^{2-} auf Böden mit höherem pH-Wert (SCHACHTSCHABEL 1992). In der Pflanze wird P in organische Phosphate überführt und ist sowohl akro- als auch basipetal gut beweglich (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Da die Pflanze auf das P-Angebot in unmittelbarer Wurzelnähe angewiesen ist (SCHACHTSCHABEL 1992), bietet das feinnetzige Wurzelnetz der *Poaceen* Vorteile bei der Aufnahme von P aus dem Boden (MENGEL 1991). Auf P-armen Böden gemäßigter und warmer Klimate hat die Symbiose von Wurzel und endotroph lebenden Pilzen (= Mykorrhiza) eine große Bedeutung, da diese die absorptionsfähige Wurzeloberfläche vergrößern und dadurch der Pflanze bei der Erschließung von Phosphat und Wasser nützlich sind (OPITZ v. BOBERFELD 1994a). P liegt in Pflanzen häufig an Phytinsäure gebunden vor, ebenso können andere Elemente wie Ca und Mg oder auch das Spurenelement Zn mit Phytinsäure schwer lösliche Komplexe bilden, aus denen sie ohne

das entsprechende Enzym (= Phytase) nicht zur Resorption freigesetzt werden. Bei Wiederkäuern ist die mikrobielle Phytaseaktivität jedoch hoch, so dass in den Vormägen die Elemente aus den Phytaten gelöst und resorbiert werden können (JEROCH et al. 1999). Der Bedarf des Weidetieres an P liegt bei etwa 0,4-0,5% (vgl. OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Die P-Konzentrationen in Weideaufwüchsen werden in der Literatur mit 0,3% (= gräserreich, physiologisch alt, Spätsommer) bis 0,5% (= kräuterreich, physiologisch jung, Frühjahr) angegeben, wonach der Bedarf der Tiere nicht immer ausreichend gedeckt wird. Mit zunehmender Seneszenz sinkt die P-Konzentration in der Pflanze (MÜLLER et al. 1971, ANKE et al. 1994, UNDERWOOD & SUTTLE 2001, KIRCHGESSNER 2004), wobei die Konzentrationen in *Poaceen* im Verlauf der Wachstumsperiode deutlicher abnehmen als in *Fabaceen* und sonstigen Kräutern (WHITEHEAD 2000, THEOBALD 2002, OPITZ v. BOBERFELD & THEOBALD 2003). Auch WIEDENHOEFT & BARTON (1994) finden in ihren Untersuchungen mit *Brassicaceen* einen Einfluss der Faktoren Frucht und Saattermin auf die Konzentrationen von Ca, Mg und P; nach JUNG et al. (1984) liegen die Konzentrationen dieser Mineralstoffe bei den *Brassicaceen* auf einem höheren Niveau als bei *Poaceen* und *Fabaceen* und erreichen ein ausreichendes Maß für die tierische Produktion (ANONYMUS 1985, GUILLARD & ALLINSON 1989a). Im Gegensatz zu Raps sind die Konzentrationen an Ca und P in der Herbstrübe höher (WIEDENHOEFT & BARTON 1994) und erreichen im Blatt der Herbstrübe in den Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989a) die höchsten P-Konzentrationen aller untersuchten *Brassicaceen*. Nach diesen Autoren liegen die P-Konzentrationen im Sommer auf einem relativ niedrigeren Niveau, da P in jungen Pflanzenteilen akkumuliert und das Wachstum in kalten Jahreszeiten langsamer ist; außerdem kann es zu einem Verdünnungseffekt aufgrund der höheren Erträge der Sommeraufwüchse kommen (JUNG et al. 1986, RAO & HORN 1986). BERENDONK (1982c) findet in ihren Untersuchungen an Sommer- und Winterrapssorten, dass sowohl im Blatt als auch im Stängel die P-Konzentrationen von September bis Oktober sinken, allerdings im Stängel in stärkerem Ausmaß, so dass die Abnahme vom ersten zum zweiten Erntetermin in der Gesamtpflanze v. a. durch den zunehmenden Stängelanteil bedingt ist. Die untersuchten Winterrapssorten weisen etwas höhere P-Konzentrationen auf als die Sommerrapssorten, da der Blattanteil höher ist und das Blatt durchschnittlich etwa 0,13% mehr P enthält als der Stängel (BERENDONK 1982c). Als Baustoff für Knochen und Zähne, Bestandteil von Nukleinsäuren und Phospholipiden sowie als wichtiger Faktor bei der Energieübertragung übernimmt P im tierischen Organismus entscheidende Funktionen, so dass es bei einer Unterversorgung an diesem Element zu typischen Symptomen wie reduzierter Futteraufnahme, geringerem Wachstum, Rückgang der Milchleistung sowie bei schwerem Mangel zu Krankheiten wie

Rachitis bei juvenilen bzw. Osteomalazie bei adulten Tieren kommen kann (MENKE 1987, WHITEHEAD 2000, KIRCHGESSNER 2004). Nach WHITEHEAD (2000) treten P-Mangelerscheinungen bei Rindern und Schafen standortabhängig (= P-arme, extrem kalkreiche oder extrem saure Böden) verstärkt in extensiven Weidesystemen am Ende der Vegetationsperiode auf; ANKE et al. (1994) beobachten typische Mangelsymptome beim Beweiden von deutlich überständigem Futter.

2.4.3 Kalium

K im Boden entstammt primären (= Glimmer, Feldspat) oder sekundären (= Vermiculit, Smectit) Tonmineralen (MENGEL 1991, SCHACHTSCHABEL 1992) und kann besonders von den *Poaceen* gut aufgenommen werden, die aufgrund ihres ausgeprägten Wurzelsystems in der Lage sind, das nicht austauschbare Zwischenschicht-K der Tonminerale zu absorbieren (STEFFENS & MENGEL 1979, MENGEL 1991). Besonders typische „cool-season grasses“ wie *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* und *Phleum pratense* nehmen bei niedrigen Temperaturen vermehrt K auf (BARNETT & REID 1961, WILKINSON & MAYS 1979, UNDERWOOD & SUTTLE 2001). Die K-Konzentrationen von Weideaufwüchsen liegen nach OPITZ v. BOBERFELD (1994a) bei 2-6%. Mit zunehmendem Alter der Pflanzen nimmt die K-Konzentration ab (KIRCHGESSNER et al. 1960, MENGEL 1991, ANKE et al. 1994, WILMAN et al. 1994). Nach FLEMING & MURPHY (1968), MÜLLER et al. (1971) und METSON & SAUNDERS (1978) sind besonders jahreszeitliche Einflüsse für die K-Konzentration von Bedeutung. Mehrere Autoren berichten über hohe K-Konzentrationen in *Brassicaceen* (JUNG et al. 1984, GUILLARD & ALLINSON 1989b), was zu einer mangelhaften Verfügbarkeit von Mg führt (GREEN et al. 1983, POE et al. 1985) und damit ein Faktor in der Etiologie einer Tetanie sein kann. GUILLARD & ALLINSON (1989b) finden K-Konzentrationen in *Brassicaceen* von 1,5-5,3%. K ist im tierischen Organismus zuständig für die Aufrechterhaltung des osmotischen Druckes der Körperflüssigkeiten und des Membranpotentials der Zellwände und steuert den Säure-Basen-Haushalt sowie die Muskel- und Nervenaktivität (KIRCHGESSNER 2004). Der Bedarf des Weidetieres liegt bei 1% (vgl. MENKE 1987, vgl. OPITZ v. BOBERFELD 1994a) und ist damit im Gegensatz zu den übrigen Mineralstoffen meist gedeckt bzw. K ist häufig im Überschuss vorhanden. Ein K-Überschuss im Boden kann durch den Ionenantagonismus die Aufnahme anderer Kationen, wie Na^+ , Mg^{2+} und Ca^{2+} , behindern sowie die Resorption dieser Elemente im tierischen Organismus reduzieren (MENKE 1987, MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WHITEHEAD 2000, KIRCHGESSNER 2004). Dadurch kann eine Überversorgung der Tiere mit K zu Stoffwechselstörungen und Erkrankungen aufgrund eines sekundären Mangels anderer Elemente (= Weidetetanie) führen (MENKE 1987, OPITZ v. BOBERFELD

1994a, WHITEHEAD 2000, PHILLIPS 2001, KIRCHGESSNER 2004). Da aber nur eine geringe Speicherfähigkeit für K besteht und ein Überschuss schnell ausgeschieden wird, ist eine regelmäßige Aufnahme mit der Nahrung wichtig, damit keine Mangelsymptome, wie Appetitlosigkeit, Wachstums- und Leistungsdepressionen oder Lebendmasseverlust, auftreten (JEROCH et al. 1999).

2.4.4 Natrium

Im Gegensatz zum tierischen Organismus, für den Na essentiell ist, ist die Pflanze, mit Ausnahme der Halophyten, nicht auf dieses Element angewiesen. Hinzu kommt, dass unter humiden Klimabedingungen aufgrund der hohen Löslichkeit der Na-Salze die Auswaschungsfahr groß ist (SCHACHTSCHABEL 1992). Nach UNDERWOOD & SUTTLE (1999) besteht bei *Poaceen* im Gegensatz zu *Fabaceen* und sonstigen Kräutern eine alterungsbedingte Abhängigkeit der Na-Konzentrationen. ISSELSTEIN (1994) stellt bei *Lolium perenne* einen Rückgang der Na-Konzentration um 50% vom Frühjahr bis zum Sommer fest. Nach WÖHLBIER & KIRCHGESSNER (1957) liegen die Na-Konzentrationen von *Lolium perenne*, das sich durch ein erhöhtes Na-Anreicherungsvermögen auszeichnet und im Vergleich zu anderen *Poaceen* hohe Na-Konzentrationen aufweist, bereits zu Blühbeginn unterhalb des Bedarfes einer Mutterkuh. FLEMING & MURPHY (1968) stellen in ihren Untersuchungen an *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* eine markante Abnahme der Na-Konzentrationen von Oktober bis Dezember auf deutlich $< 0,1\%$ fest. In Untersuchungen von BERENDONK (1982c) erreichen die insgesamt niedrigen Na-Konzentrationen bei *Brassicaceen* die höchsten Werte erst beim dritten Erntetermin Ende November und sie findet eine negative Korrelation zwischen K und Na – im Gegensatz zu P, Ca und Mg – einerseits und dem Blattanteil andererseits, wobei die Beziehungen allerdings nur teilweise gesichert sind. Nach BERENDONK (1982c) ist der Grund für diese negative Korrelation, dass K und Na mit zunehmender Seneszenz in der Pflanze noch relativ gut beweglich sind und auch basipetal aus den Blättern in den Stängel transportiert werden können (MENGEL 1991); dadurch ist es möglich, dass diese Elemente im Stängel stärker angereichert sind als im Blatt und negativ mit dem Blattanteil korrelieren. Die Aufnahme von Na in die Pflanze kann durch hohe K-Konzentrationen im Boden reduziert werden (OPITZ v. BOBERFELD 1980, MENGEL 1991), bei suboptimaler K-Versorgung wiederum kann Na bis zu einem gewissen Grad dessen Funktionen übernehmen (MENGEL 1991). Auch die Na-Resorption im tierischen Organismus wird durch ein Überangebot an K gehemmt (MENKE 1987, PHILLIPS 2001, KIRCHGESSNER 2004), so dass essentielle Funktionen des Na beim Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel, bei der Nervenfunktion und dem osmotischen Druck sowie als Bestandteil des Speichels zur Regulation des pH-Wertes im Pansen (MENKE 1987, OPITZ

v. BOBERFELD 1994a, TERÖRDE 1997, WHITEHEAD 2000, KIRCHGESSNER 2004) nicht mehr wahrgenommen werden. Der Bedarfswert der Weidetiere liegt bei 0,15-0,2% und wird durch die Weideaufwüchse häufig nicht gedeckt (MENKE 1987, OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WHITEHEAD 2000, PHILLIPS 2001). Nach KIRCHGESSNER (2004) ist bei ausschließlichem Weidegang eine Mineralstoffergänzung durch Viehsalz erforderlich; andere Autoren empfehlen bei entsprechender Zusammensetzung der Pflanzenbestände auch den Einsatz von Nachhaltigen Düngemitteln (WOLF 1971, OPITZ v. BOBERFELD 1980, CHYI & PHILLIPS 1997, OPITZ v. BOBERFELD et al. 1999, PHILLIPS 2001).

2.4.5 Magnesium

Mg im Boden stammt hauptsächlich aus Mg-haltigen Silikaten wie Olivinen oder Biotiten (SCHACHTSCHABEL 1992). Durch antagonistische Wirkungen verschiedener Kationen ($= K^+$, Na^+ , NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+}) kann sowohl die Aufnahme als auch die Verfügbarkeit von Mg beeinträchtigt werden (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Da der Transport von Mg in der Pflanze im Xylem und im Phloem stattfindet, ist eine Translokation aus alten in jüngere Blätter möglich (MENGEL 1991, LARCHER 2001). Der Bedarf der Pflanze an Mg ist geringer als der des Weidetieres (WILKINSON & MAYS 1979). Der durchschnittliche Gehalt des Weideaufwuchses liegt bei 0,2% Mg, so dass der Bedarf des Weidetieres von 0,2-0,3% nicht immer gedeckt wird (MENKE 1987, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). In Untersuchungen von FLEMING & MURPHY (1968) steigen die Mg-Konzentrationen von *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* von Mai bis September an, um anschließend bis zum Frühjahr kontinuierlich abzunehmen. Die Mg-Konzentrationen zeigen demnach eine deutlich jahreszeitliche Abhängigkeit, die durch Witterungseinflüsse, wie Temperatur und Nässe, hervorgerufen wird (FLEMING & MURPHY 1968, GRUNES et al. 1970, MÜLLER et al. 1971, ANKE et al. 1994, RAZMJOO et al. 1997, WHITEHEAD 2000). Nach WILMAN et al. (1994) und UNDERWOOD & SUTTLE (2001) sind Veränderungen in der Mg-Konzentration v. a. wachstumsbedingt. COLLINS & BALASKO (1981) sowie BANZHAF (2004) stellen in ihren Untersuchungen mit *Festuca arundinacea* fest, dass die Mg-Konzentrationen im Verlauf des Winters sinken und bereits im Dezember unterhalb des Bedarfes von 0,2% Mg liegen. Auch ISSELSTEIN (1994) berichtet über Mg-Konzentrationen von *Lolium perenne*, die schon im Juni weniger als 0,2% betragen. Die Mg-Konzentrationen in *Brassicaceen* liegen auf einem für Wiederkäuer adäquaten Niveau (ANONYMUS 1985, GUILLARD & ALLINSON 1989a, WIEDENHOEFT & BARTON 1994). Die Mg-Konzentrationen sind in den Blättern höher als in Stängel und Wurzel dieser Früchte und liegen nach Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989a) bei allen untersuchten *Brassicaceen* $> 0,2\%$ Mg, also hoch genug, um Tetanieprobleme zu vermeiden

(KEMP 1960), wenn keine Imbalancen mit anderen Elementen bestehen. Die höheren Mg-Konzentrationen in den Blättern werden nach MENGEL (1991) und OPITZ v. BOBERFELD (1994b) erreicht, da Mg wie auch Ca fast ausschließlich in akropetaler Richtung transportiert und in den Blättern im Chlorophyll eingebaut wird. Nach WIEDENHOEFT & BARTON (1994) sind die Mg-Konzentrationen der *Brassicaceen* vergleichbar mit denen von *Poaceen* und *Fabaceen*. Mg-Mangel kann neben geringen Mg-Vorräten im Boden auch durch antagonistisch wirkende Mineralstoffe hervorgerufen werden, die die Aufnahme in die Pflanze sowie die Resorbierbarkeit von Mg im tierischen Organismus beeinträchtigen können. Sowohl die Homöostase als auch die Mobilisation von Mg aus dem Skelett sind bei adulten Tieren begrenzt (PHILLIPS 2001, KIRCHGEßNER 2004). Mg dient im Körper als Enzymaktivator und ist notwendig für die Erregbarkeit der Nerven sowie für die Muskelkontraktion (MENKE 1987, PHILLIPS 2001, KIRCHGEßNER 2004). Da der Stoffwechsel und die Verteilung von Mg im Körper eng mit dem Stoffwechsel von Ca und P verbunden ist,

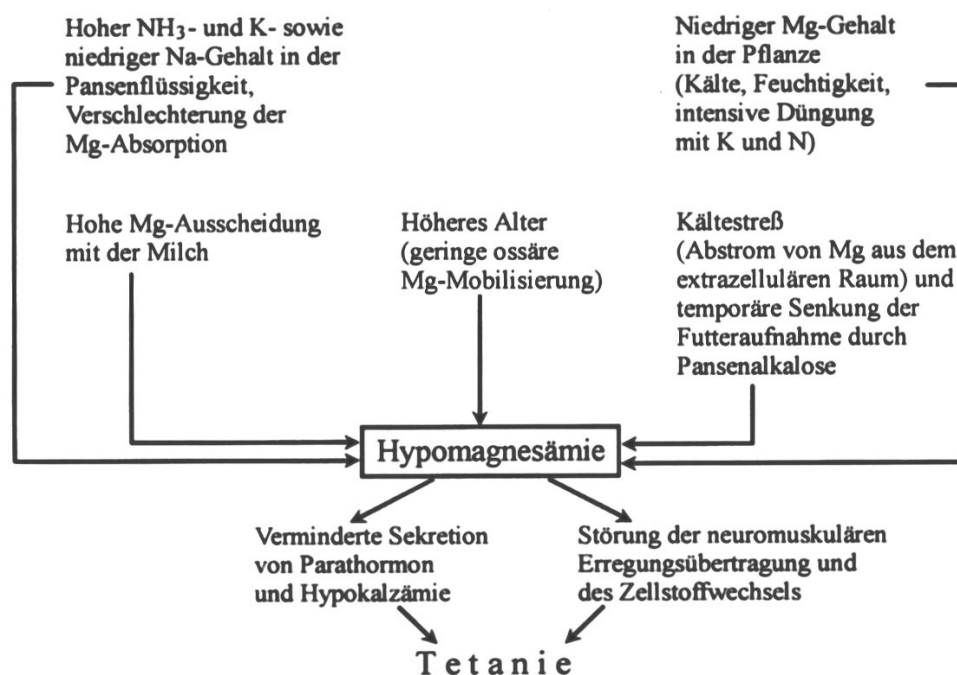


Abb. 1: Pathogenese der **Weidetetanie** des Rindes (JEROCH et al. 1999)

erhöht eine hohe Ca- und P-Zufuhr den Bedarf an Mg (JEROCH et al. 1999). Mg-Mangel verursacht Wachstumsdepressionen, Schwäche, Störungen der Erregbarkeit von Muskeln und Nerven sowie Hypocalcämie. Eine weit verbreitete Krankheit, die mit einer Hypomagnesämie in Verbindung steht, ist die Weidetetanie, wobei es sich hier um eine Faktorenkrankheit handelt, da neben einer ungenügenden Mg-Zufuhr weitere Faktoren, wie verminderte Mg-Resorption im Pansen oder Stresssituationen infolge von Weideaustrieb, Kälteeinbrüchen,

feuchter Witterung oder plötzlicher Futterumstellung, zu der Entstehung einer Tetanie beitragen (KEMP & T'HART 1957, GRUNES et al. 1970, BALASKO 1977, COLLINS & BALASKO 1981, KLEE 1992, SWEENEY et al. 1996, JEROCH et al. 1999, PHILLIPS 2001), vgl. Kap. 2.4.7 und Abb. 1. CRAWFORD et al. (1998) bezeichnen diese Krankheit als eines der häufigsten Probleme bei der Winteraußenhaltung von Rindern und Schafen.

2.4.6 Calcium

Die bedeutendsten Ca-Reserven im Boden bilden schwer lösliche und verwitterbare Minerale, meist Ca-Carbonate (= CaCO_3) (SCHACHTSCHABEL 1992, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Ca ist durch seine im Vergleich zu Mg dünne Hydrathülle nur locker gebunden und kann von der Pflanze gut aufgenommen werden, ist aufgrund dessen jedoch stark auswaschungsgefährdet (MENGEL 1991, SCHACHTSCHABEL 1992, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Für die Verfügbarkeit von Ca und dessen Aufnahme durch die Pflanze spielen neben den Reaktionsverhältnissen und der CO_2 -Konzentration im Boden auch antagonistische Interaktionen mit anderen Elementen, wie K^+ , Na^+ , NH_4^+ und Mg^{2+} , eine Rolle (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994a). Die Ca-Aufnahme und Konzentration ist weiterhin auch stark pflanzenartabhängig (WÖHLBIER & KIRCHGESSNER 1957, KIRCHGESSNER et al. 1960, SCHACHTSCHABEL 1992, ISSELSTEIN 1994, OPITZ v. BOBERFELD & BISKUPEK 1995, WHITEHEAD 2000, LASER 2001), wobei nach MENGEL (1991) und MARSCHNER (1995) *Poaceen* deutlich weniger Ca für ein optimales Wachstum benötigen als dikotyle Pflanzen. Ca wird in der Pflanze ausschließlich im Xylem transportiert, so dass eine Mobilisation aus älteren in jüngere Blätter bei Ca-Mangel nicht möglich ist (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994b, WHITEHEAD 2000). Das physiologische Alter spielt daher für die Ca-Konzentration eine große Rolle und mit zunehmender Seneszenz ist mit einer Ca-Anreicherung in den Blättern zu rechnen (MENGEL 1991, WILMAN et al. 1994, MARSCHNER 1995). Nach WIEDENHOEFT & BARTON (1994) bestehen zwar Abhängigkeiten der Ca-Konzentration von den Faktoren Frucht und Saattermin, nicht jedoch vom Erntetermin. Weiterhin werden in ihren Untersuchungen an verschiedenen *Brassicaceen* die Ca- wie auch die P-Konzentrationen durch die Witterung beeinflusst und liegen niedriger in trockenen Perioden. Auch andere Autoren sprechen jahreszeitlichen Einflüssen eine größere Bedeutung zu (FLEMING & MURPHY 1968, MÜLLER et al. 1971). Nach Untersuchungen von COLLINS & BALASKO (1981) mit *Festuca arundinacea* haben N-Düngung und Nutzungstermin im Sommer lediglich einen geringen Einfluss auf die Ca-Konzentrationen von Winterweideaufwüchsen, die während des Winters offenbar nur langsam abnehmen und dem Weidetier ein adäquates Angebot liefern. In Untersuchungen von RAZMJOO et al. (1997) kann der Bedarf der Weidetiere durch die Aufwüchse im Winter nicht

gedeckt werden. Ca ist sowohl für die Pflanze als auch für das Tier essentiell (MENKE 1987, MENGEL 1991, MARSCHNER 1995, WHITEHEAD 2000, KIRCHGESSNER 2004). Die Ca-Konzentrationen in Weideaufwüchsen variieren nach OPITZ v. BOBERFELD (1994a) zwischen 0,6% (= gräserreich, jung) und 1,2% (= kräuterreich, alt), so dass der Bedarf des Weidetieres von 0,5 bis 0,7% meist gedeckt wird (ANKE et al. 1994, TERÖRDE 1997, KIRCHGESSNER 2004). Auch bei der Fütterung von *Brassicaceen* kann der Ca-Bedarf der Tiere offenbar gedeckt werden (ANONYMUS 1985, GUILLARD & ALLINSON 1989a). In den Blättern werden – im Vergleich zum Stängel – höhere Ca-Konzentrationen erreicht (GUILLARD & ALLINSON 1989a) und in den von BERENDONK (1982c) untersuchten Winterrapssorten werden höhere Ca-Konzentrationen gemessen als in den blattärmeren Sommerrapssorten. Ca ist im tierischen Organismus wichtiger Baustein für Knochen und Zähne und dient der Enzymaktivierung sowie der Nerven- und Muskelfunktionalität (MENKE 1987, WHITEHEAD 2000, PHILLIPS 2001, KIRCHGESSNER 2004). Ca unterliegt im Körper der Homöostase und kann leicht aus dem Skelett mobilisiert werden. Bei der Mobilisation und der Resorption spielen mehrere Faktoren, wie das Parathormon, die P-Konzentration oder Vitamin D, eine Rolle, weshalb bei der Beurteilung von Weideaufwüchsen neben dem absoluten Ca-Angebot insbesondere das Verhältnis von Ca zu P berücksichtigt werden sollte, vgl. Kap. 2.4.7. Durch das große Speicherungsvermögen für Ca und P im Skelett sowie die Mobilisierbarkeit in einer Mangelsituation, führt eine vorübergehende leichte Unterversorgung nicht zu sichtbaren Mangelercheinungen. Bei einer längerfristigen oder stärkeren Hypocalcämie kann es zu Rachitis bzw. Osteomalazie kommen. Eine weitere Erkrankung, beruhend auf Störungen im Ca-Stoffwechsel, ist die Gebärpause (= Milchfieber, Hypocalcämie), die häufig bei laktierenden Tieren unmittelbar nach dem Kalben auftritt und für die Festliegen und Koma symptomatisch sind (MENKE 1987, KIRCHGESSNER 2004).

2.4.7 Mineralstoffimbalancen

Der Mineralstoffgehalt von Wirbeltieren setzt sich zu über 70% aus Ca und P zusammen, deren Stoffwechsel eng miteinander verknüpft sind (JEROCH et al. 1999). Die Resorptionsfähigkeit von Ca und P aus dem Verdauungstrakt wird neben bestimmten Regulatoren, wie dem Parathormon, Calcitonin sowie der aktiven Form des Vitamin D, v. a. durch das Verhältnis der beiden Elemente zueinander beeinflusst, wobei ein **Ca/P-Verhältnis** von 1,5-2:1 im Futter sowohl die Resorption aus dem Darmlumen als auch den Einbau ins Skelett begünstigt (MENKE 1987, JEROCH et al. 1999, KIRCHGESSNER 2004). Kommt es zu Störungen der Regelmechanismen des Ca-Stoffwechsels, kann v. a. bei hochleistenden Tieren unmittelbar nach dem Abkalben eine Gebärpause auftreten. Das Tier kann nicht genügend Ca aus dem Skelett

mobilisieren, um den erhöhten Bedarf durch die plötzlich einsetzende Milchsekretion zu decken. Ein weites Ca/P-Verhältnis vor der Geburt begünstigt das Auftreten der Gebärpause, da aufgrund der Ca-Übersorgung die Nebenschilddrüsen wenig Parathormon bilden, so dass nach der Geburt nicht ausreichend Ca aus den Körperreserven ins Blut gelangt (KIRCHGESSNER 2004). Außerhalb der Trockenstehzeit sollte ein zu enges Ca/P-Verhältnis vermieden werden. Nach KIRCHGESSNER (2004) können insbesondere auf grasreichen Intensivweiden Ca/P-Quotienten von ≤ 1 auftreten, was vom Weidetier deutlich schlechter akzeptiert wird als ein zu weites Verhältnis. Bei ausreichender Vitamin D-Versorgung und Gesamtzufuhr an Ca und P kann ein Verhältnis von 4:1 beim Rind und bei Kälbern bis zu 7:1 kompensiert werden (JEROCH et al. 1999). *Brassicaceen* enthalten häufig Konzentrationen von $> 1\%$ Ca (JUNG et al. 1984, GUILLARD & ALLINSON 1989b), was einen Mangel an P oder anderen Mineralstoffen bedingen kann (DAVIS 1959). Da die meisten Futtergräser geringere Ca-Konzentrationen enthalten als *Brassicaceen* (JUNG et al. 1984), kann die Zufütterung von frischem oder konserviertem Gras die totale Ca-Aufnahme auf ein adäquateres Maß verdünnen (GUILLARD & ALLINSON 1989b). Die „tetany ratio“ (= $K/(Ca+Mg)$ -Quotient) dient als Indikator für eine erhöhte Gefahr des Auftretens von Weidetetanie, die gegeben ist, wenn dieser Quotient den Wert 2,2 überschreitet (KEMP & T'HART 1957, MAYLAND & SLEPER 1993, CRAWFORD et al. 1998, OPITZ v. BOBERFELD 2001a, PHILLIPS 2001). Symptome einer Weidetetanie sind Appetitlosigkeit, Nervosität, starre Augen und Muskelkrämpfe sowie eine hohe Sterblichkeit, wenn keine Behandlung eingeleitet wird (JEROCH et al. 1999). Ursächlich für eine Weidetetanie ist neben einer unzureichenden Mg-Zufuhr v. a. ein Mangel an stoffwechselverfügbarem Mg infolge von Absorptionsstörungen (KIRCHGESSNER 2004), vgl. Abb. 1. Eine verminderte Resorption im Pansen kann hervorgerufen werden durch hohe K-Konzentrationen im Futter, wenig Na, hohe XP-Konzentrationen und Stressfaktoren, wie Kälteeinbrüche, nasskalte Witterung oder Weideaustrieb (KEMP & T'HART 1957, GRUNES et al. 1970, SWEENEY et al. 1996, JEROCH et al. 1999, PHILLIPS 2001, KIRCHGESSNER 2004), vgl. Abb. 1. ROSENBERGER & STÖBER (1971) stufen die Gefahr einer Tetanie besonders hoch ein, wenn die Mg-Konzentration des Aufwuchses bei $< 0,2\%$ und gleichzeitig die K-Konzentration $> 3\%$ sowie die XP-Konzentration $> 20\%$ liegen. Obwohl Hypomagnesämie nicht als übliches Problem bei mit *Brassicaceen* ernährten Tieren beschrieben wird (GUILLARD & ALLINSON 1989b), besteht laut $K/(Ca+Mg)$ -Quotient nach KEMP & T'HART (1957) und RAHMAN et al. (1960) ein Tetanie-Risiko. In Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989b) betragen die Werte für die „tetany ratio“ bei *Brassicaceen* in den Blättern

weniger als 1,0 und in der Wurzel liegen die höchsten Werte bei 2,8, wonach ein geringes Tetanie-Potential bei dieser Spezies besteht.

2.5 Arbeitshypothesen

Aus der Literatur lässt sich zusammenfassend herausstellen:

- Der Anbau von Zwischenfrüchten oder die Nutzung von Ausfallgetreide kann auf Ackerpferchen den Bedarf kostenträchtiger Konserven reduzieren.
- Zwischenfrüchte liefern ein hochverdauliches Grundfutter, müssen jedoch aufgrund ihrer geringen XF-Konzentration strukturell ergänzt werden.
- Die Qualität von Winterfutter sinkt – im Gegensatz zum Ertrag – mit steigendem physiologischen Alter der Pflanzen zu Beginn des Winters.
- Mit fortschreitendem Winter nehmen sowohl Ertrag als auch Qualität des Futters ab.
- Die DOM wird neben wachstumsbedingten Veränderungen aufgrund des steigenden Anteils an Gerüstsubstanzen sowie variierender Zellwandzusammensetzung offenbar auch durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe und/oder pilzlichen Befall beeinflusst.
- Für die Schätzung der DOM sind *in vitro*-Pansensaftmethoden anderen Verfahren, wie der enzymatischen Methode oder der Schätzung anhand der analytisch ermittelten Rohnährstoffe, offenbar überlegen. Dies ist bekannt durch Untersuchungen an *Poaceen*, *Fabaceen* sowie sonstigen Kräutern und gilt insbesondere für Aufwüchse extensiv genutzter Flächen.
- In extensiven Weidesystemen, die durch eine lange Wachstumsperiode und geringen Düngemittelaufwand gekennzeichnet sind, ist mit vergleichsweise geringen Mineralstoffkonzentrationen zu rechnen.
- Im Zuge der Seneszenz unterliegen insbesondere die Elemente P, K und Mg Remobilisationsprozessen innerhalb der Pflanze, wohingegen Ca in älteren Blättern angereichert wird.
- Häufig wird von Krankheiten aufgrund von Mineralstoffunterversorgung oder –imbalancen bei winterlichem Weidegang berichtet.
- Zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung sind neben den absoluten Konzentrationen insbesondere die Relation einzelner Elemente zueinander entscheidend, da antagonistische Wirkungen die Aufnahme in die Pflanze sowie die Resorbierbarkeit im tierischen Organismus reduzieren können.

Daraus lassen sich folgende Fragen ableiten, zu dessen Klärung diese Arbeit beitragen soll:

- Wie verändern sich bei verschiedenen Ackerpferch-Zwischenfrüchten Zellwandanteil und -zusammensetzung im Verlauf des Winters? Welchen Einfluss hat das physiologische Alter der Pflanze zu Beginn des Winters auf die Konzentrationen an NDF, ADF und ADL?
- Bestehen Unterschiede im Zellwandanteil und der Zusammensetzung zwischen den Früchten und kommt es zu Interaktionen zwischen den Faktoren Frucht, Saattermin und Erntetermin?
- Inwiefern lassen sich Unterschiede in der DOM durch seneszensbedingte Veränderungen in der Zellwandbeschaffenheit oder durch Wirkungen sekundärer Inhaltsstoffe und/oder Pilze erklären?
- Welche Werte liefern unterschiedliche Schätzmethoden für die DOM? Wie stellen sich die Schätzergebnisse auf Basis der *Brassicaceen* dar?
- Kann der Bedarf der Weidetiere an P, K, Na, Mg und Ca durch die untersuchten Zwischenfrüchte gedeckt werden und wie sind die Ca/P- und K/(Ca+Mg)-Quotienten zu beurteilen?
- Inwieweit kommt es zu Veränderungen im Mineralstoffmuster abhängig von Frucht, Saattermin, Erntetermin und Witterung (= Jahr)?

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Standort und Witterung

Die Versuchsflächen befanden sich auf dem Gelände der Versuchsstation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II – Grünlandwirtschaft und Futterbau – der Justus-Liebig-Universität Gießen, etwa 6 km südlich von Gießen, 160 m über NN. Bei dem anstehenden Bodentyp handelte es sich um einen Pseudogley aus periglazialen Fließerden über reliktschem Rotlehm (HARRACH 1987), vgl. Anhangtab. 1. Abb. 2 zeigt den Witterungsverlauf der drei Untersuchungsjahre, ergänzend dazu sind in Anhangtab. 2-4 die Witterungsdaten sowie die Anzahl der Schneetage für den Standort Linden-Forst aufgeführt.

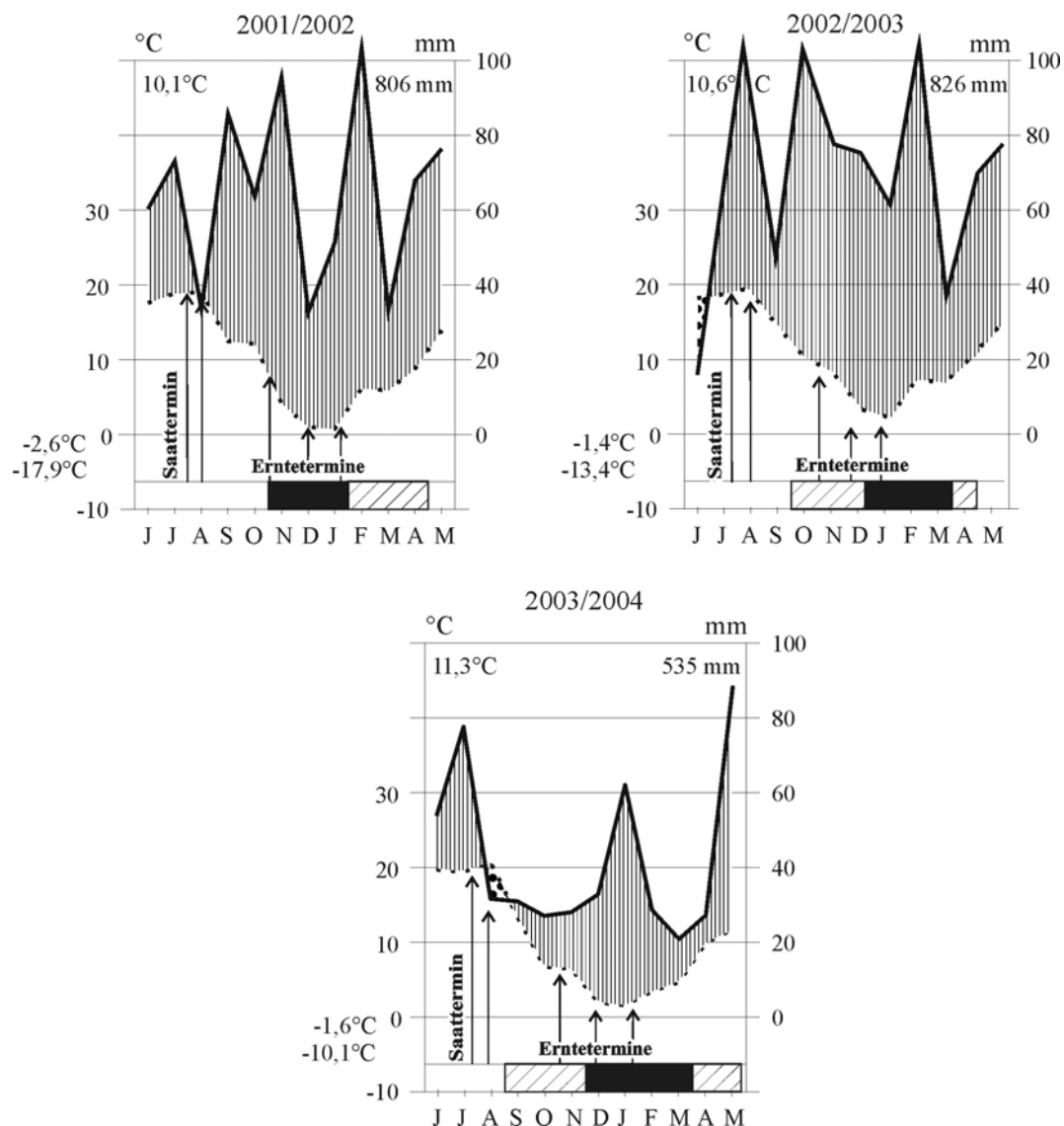


Abb. 2: Witterungsdiagramme der Versuchsstation Linden-Forst, zusammengestellt nach WALTER (1957)

Um Mangelsituationen auszuschließen, wurde jährlich eine Düngung durchgeführt; im Versuchsjahr 2001 wurden Mitte September 85 kg N, 85 kg P₂O₅ und 120 kg K₂O ha⁻¹ als Volldünger (= N/P/K) ausgebracht; im Jahr 2002 wurden die Mengen auf 60 kg N, 60 kg P₂O₅ und 90 kg K₂O ha⁻¹ – verabreicht als Volldünger (= N/P/K) – begrenzt. Im Versuchsjahr 2003 wurden nach der N_{min}-Bestimmung, vgl. Anhangtab. 5, im Juli lediglich 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ als Superphosphat sowie 50 kg K₂O ha⁻¹ als Kainit gedüngt (ECHTERNACHT 2004).

3.1.2 Varianten

Der Versuch wurde als Spaltanlage mit drei Wiederholungen angelegt, wobei der Faktor Saattermin die Hauptteilstücke, der Faktor Erntetermin die Mittelteilstücke und der Faktor Frucht die Kleinteilstücke belegte. Die Parzellengröße betrug jeweils 12,6 m². Bei einer Beobachtungsdauer von drei Jahren ergaben sich die in Tab. 1 dargestellten Faktoren und Stufen.

Tab. 1: Varianten

Faktoren	Stufen
1. Früchte	1.1 Winterraps, <i>Brassica napus</i> ssp. <i>napus</i> (AKELA (0), LIRATOP (00) – 12 kg ha ⁻¹) 1.2 Sommerraps, Weidetyp, <i>Brassica napus</i> ssp. <i>napus</i> (SPARTA (0), ORLY (00) – 12 kg ha ⁻¹) 1.3 Sommerraps, Schnitttyp, <i>Brassica napus</i> ssp. <i>napus</i> (PETRANOVA (0), LIFORUM (00) – 12 kg ha ⁻¹) 1.4 Herbstrübe, <i>Brassica rapa</i> ssp. <i>rapa</i> (AGRESSA, SILOGANOVA – 1,5 kg ha ⁻¹) 1.5 Einjähriges Weidelgras 4n, <i>Lolium multiflorum</i> ssp. <i>gaudinii</i> , spät (ANDY, JIVET – 50 kg ha ⁻¹) 1.6 Welsches Weidelgras 4n, <i>Lolium multiflorum</i> ssp. <i>italicum</i> (FABIO, ZORRO – 50 kg ha ⁻¹) 1.7 Ausfallgetreide, <i>Hordeum vulgare</i> (Wintergerste-Simulation – 500 kg ha ⁻¹)
2. Saattermin	2.1 Ende Juli 2.2 Mitte August
3. Erntetermin	3.1 Anfang November 3.2 Mitte Dezember 3.3 Ende Januar
4. Jahr	4.1 2001/2002 4.2 2002/2003 4.3 2003/2004

Die Zielgrößen wurden in Abhängigkeit von Fruchtart, Saattermin und Erntetermin untersucht. Bei den Früchten – mit Ausnahme der Simulation von Ausfallgetreide – wurden Sortengemische verwendet, um den nötigen Verallgemeinerungsgrad für Arten bzw. Sortentypen zu gewährleisten. Die verwendeten Sorten gelten als Spitzensorten (BERENDONK 2005). Von *Brassica napus* ssp. *napus* wurden jeweils eine 0- und eine 00-Sorte ausgewählt, um unter Minimierung sortenspezifischer Effekte intermediäre Werte bezogen auf die Frischmasse zu erhalten und mögliche Veränderungen der Glucosinolat-Konzentration bei verspäteter Nutzung deutlicher herausstellen zu können (ECHTERNACHT 2004). Durch die beiden Formen Sommer- und Winterraps sowie die unterschiedlichen Typen des Sommerraps – Weide- bzw. Schnitttyp – wurde das Blatt/Stängel-Verhältnis berücksichtigt, das sowohl auf die Futterqualität als auch auf die Frostempfindlichkeit einen Einfluss hat. Für eine hinreichende Differenzierung zwischen den verschiedenen Sorten von *Brassica napus* ssp. *napus* werden im Folgenden die Trivialnamen verwendet. Die verschiedenen Saat- und Erntetermine, vgl. Anhangtab. 6, wurden im Hinblick auf die für Verallgemeinerungen wichtige Interaktion Saat- × Erntetermin gewählt.

3.2 Methoden

3.2.1 Probenaufbereitung

Das geerntete Pflanzenmaterial jeder Parzelle wurde gewogen und homogenisiert. Ein aliquoter Teil wurde bei 60 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend auf einen Durchmesser von < 1 mm vermahlen.

3.2.2 TS-Ertrag

Die von ECHTERNACHT (2004) ermittelten TS-Erträge sind in Abb. 3 dargestellt, vgl. Anhangtab. 7-10. Zur Ertragsermittlung wurden die Parzellen mit einem Einachsmäher bei einer Stoppelhöhe von 6 cm geschnitten und der Frischsubstanzertrag erfasst. Anschließend wurden mit einem Probennehmer je Parzelle zwei repräsentative Proben für die TS-Bestimmung bei 103 °C gezogen.

3.2.3 Analytik

Zur Bestimmung der Mineralstoffe wurde das Pflanzenmaterial bei 550 °C trocken verascht und die Asche in 2% iger HNO₃-Lösung aufgenommen. Die Ca-, Mg-, K- und Na-Konzentrationen wurden am Atomabsorptionsspektrometer (SCHINKEL 1984) und P wurde kolorimetrisch (GERICKE & KURMIES 1952) bestimmt. Alle Ergebnisse beziehen sich auf die bei

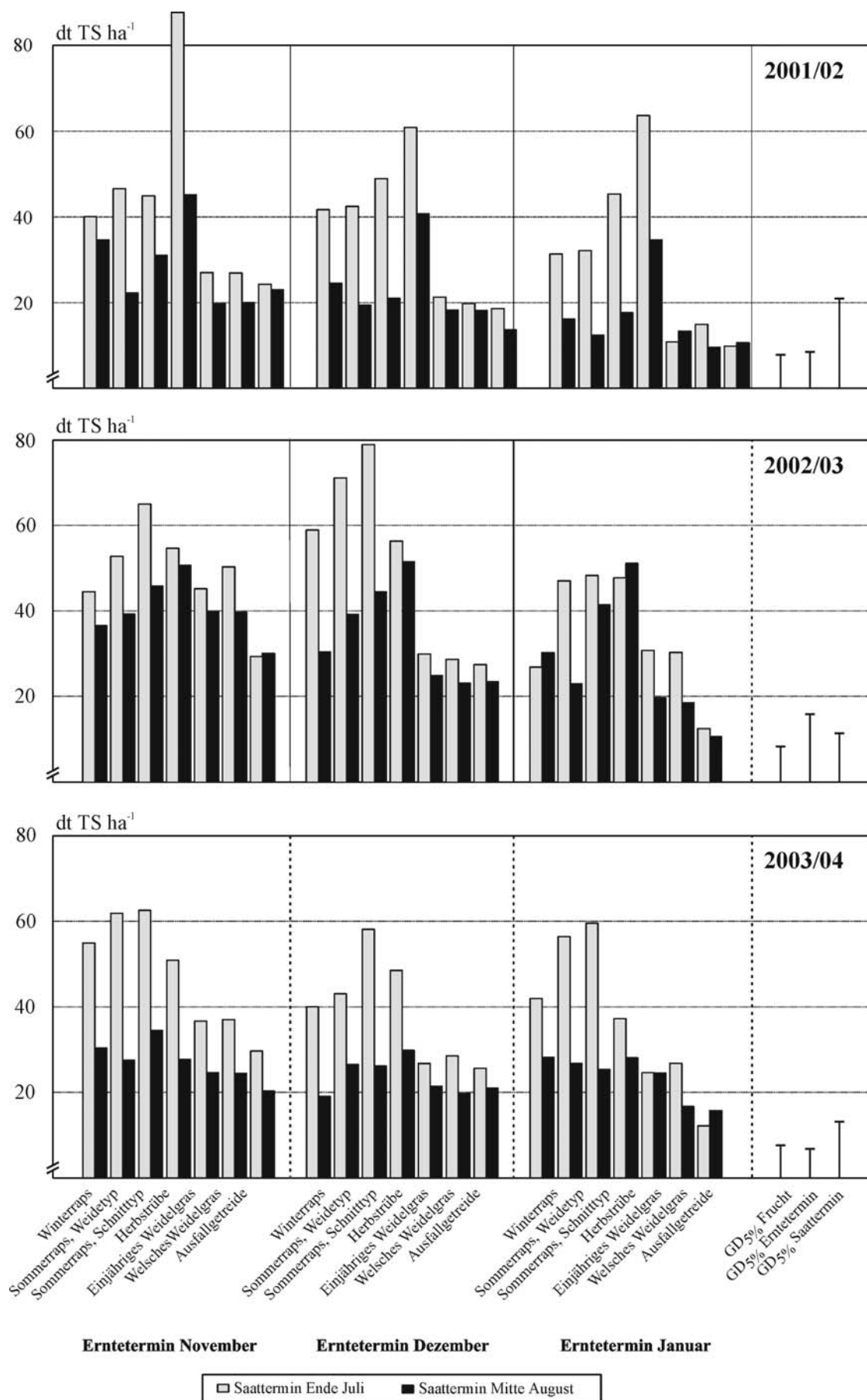


Abb. 3: TS-Ertrag in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin (nach ECHTERNACHT 2004)

103 °C ermittelte Trockensubstanz. Ergosterol wurde nach Verseifung und Extraktion in Petrolether mit der HPLC am UV-Detektor bestimmt (SCHWADORF & MÜLLER 1989, ANONYMUS 1993), vgl. Anhangtab. 23-26. Da bei der Überprüfung der von ECHTERNACHT (2004) dargestellten Ergebnisse anhand der Rohdaten des Hohenheimer Futterwerttests im Versuchsjahr 2001 Unstimmigkeiten festgestellt wurden, wurden die Varianztabellen, die 3-Wege-Tabellen sowie die Abbildungen für die Zielgrößen Umsetzbare Energie (= ME), Nettoenergie-Laktation (= NEL) und Verdaulichkeit organischer Substanz (= DOM) basierend auf den Rohdaten korrigiert. Die Ergebnisse der Jahre 2002 und 2003 wurden nach Überprüfung direkt von ECHTERNACHT (2004) übernommen, vgl. Abb. 4 und Anhangtab. 11-22. Um die Unterschiede in den Verdaulichkeiten genauer interpretieren zu können, wurden hier – anders als bei dem Methodenvergleich, vgl. Kap. 4.2. – bei der Herbstrübe die Fraktionen Blatt und Rübenkörper getrennt voneinander analysiert und später anhand der prozentualen Blatt- und Rübenanteile miteinander verrechnet, vgl. Anhangtab. 32. Die Analyse der Glucosinolate erfolgte durch ein isokratisches HPLC-Verfahren (= Hochdruckflüssigkeitschromatograph) am UV-Detektor (BUCHNER 1988, DEMES 1989, ANONYMUS 1992 und ROTHE et al. 2004), vgl. ECHTERNACHT (2004) und Anhangtab. 28-31. Zur Charakterisierung der Gerüstsubstanzen wurden die Konzentrationen von Neutraler Detergentien-Faser (= NDF), Säure-Detergentien-Faser (= ADF) und Säure-Detergentien-Lignin (= ADL) bestimmt (ANONYMUS 1988, 1993). Die Verdaulichkeit organischer Substanz wurde für einen Methodenvergleich, vgl. Kap. 4.2., anhand verschiedener Schätzverfahren ermittelt. Mit dem Hohenheimer Futterwerttest wurde über die Variablen Gasbildung, Rohfett und Rohprotein die Energiedichte nach der Formel 16e und die Verdaulichkeit organischer Substanz über die Variablen Gasbildung und Rohprotein nach der Formel 41f (STEINGASS & MENKE 1986, MENKE & STEINGASS 1987) geschätzt. Da in der Literatur keine Schätzgleichung basierend auf Hammelversuchen mit *Brassicaceen* bekannt ist, wurde die spezielle Raufuttergleichung 16e gewählt, die sowohl Dürrfutter als auch Saftfutter integriert und für Grundfutter allgemein empfohlen wurde. Eine gemeinsame Schätzgleichung für alle Futtermittel führt zu einer Überschätzung der energiearmen und zur Unterschätzung der energiereichen Futtermittel, da ihre Koeffizienten einen Kompromiss zwischen denen der Raufutter- und denen der Mischfuttergleichungen darstellen (MENKE & STEINGASS 1987). Weitere Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit waren die Pansensaft-Pepsin-Methode nach TILLEY & TERRY (1963) und die Cellulase-Methode zur Schätzung der Enzymlöslichkeit organischer Substanz (= ELOS) (ANONYMUS 1997a). Nach Analyse der Rohnährstoffe Rohprotein nach KJELDAHL, Rohfaser und Rohfett (ANONYMUS 1988, 1993) wurde die um-

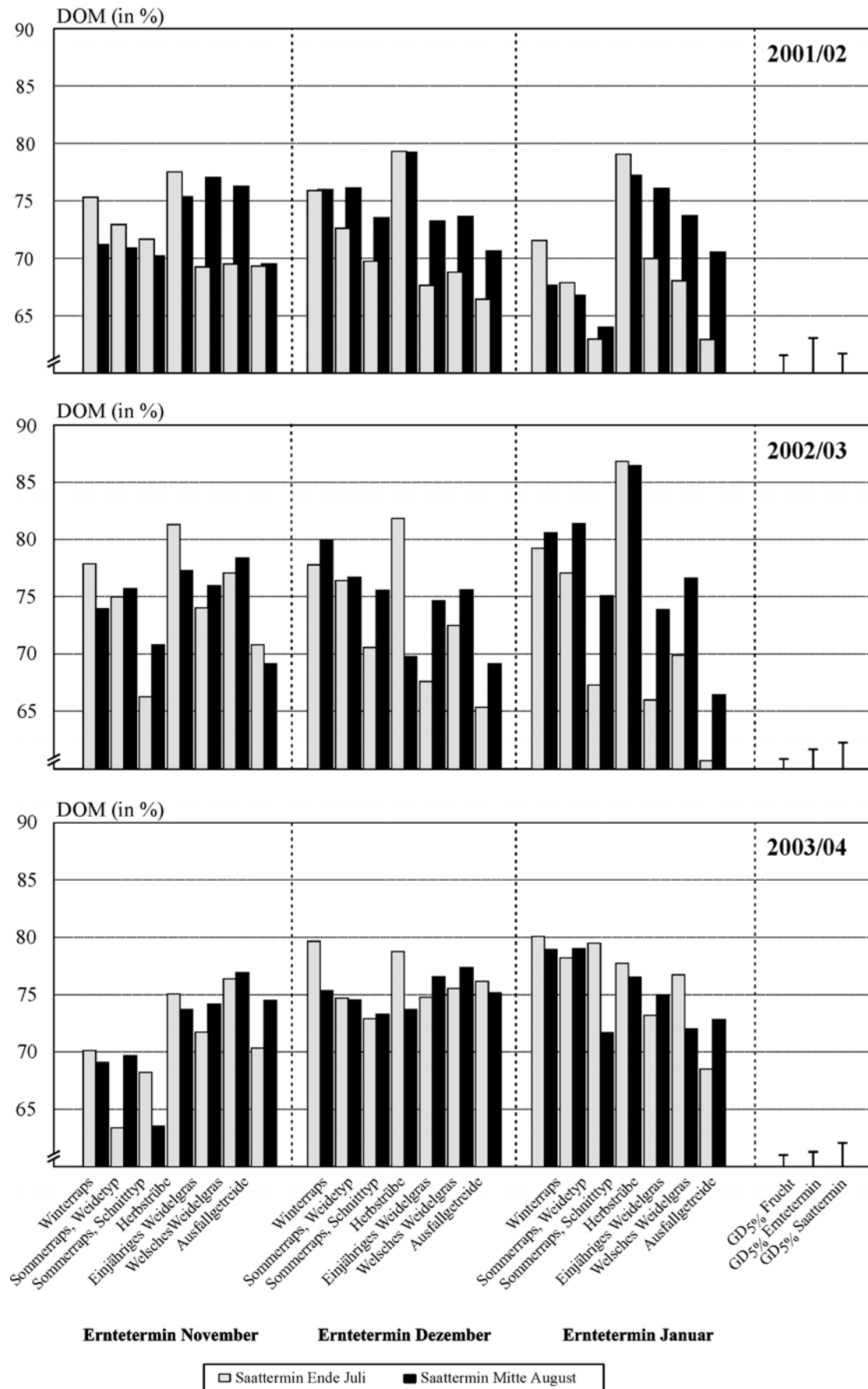


Abb. 4: Verdaulichkeit organischer Substanz, geschätzt mit dem HFT, in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

setzbare Energie (= ME) nach einer von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (ANONYMUS 1995) angegebenen Gleichung errechnet. Diese Gleichung zur Berechnung der ME geht zurück auf Ergebnisse aus Energiewechselmessungen an Ochsen mit 92 verschiedenen Rationen (HOFFMANN et al. 1971). Die Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe in % entstammen den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (ANONYMUS 1997b). Die Transformation von ME zu NEL erfolgte nach der Gleichung von POTTHAST et al. (1997).

Schätzgleichungen:

HFT:

- 16e: $ME (MJ) = 2,20 + 0,1357 Gb + 0,0057 XP + 0,0002859 XL^2$
- 41f: $DOM \% = 24,59 + 0,7984 Gb + 0,0496 XP$

Rohnährstoffe:

$$ME (MJ) = 0,0312 DXL + 0,0136 DXF + 0,0147 (DOM - DXL - DXF) + 0,00234 XP$$

$$NEL (MJ) = ME [0,48 + 1037 ME / (1000 - XA)]$$

wobei:

ME = Umsetzbare Energie in MJ kg⁻¹ TS NEL = Netto-Energie-Laktation in MJ kg⁻¹ TS

Gb = Gasbildung in ml 200 mg⁻¹ TS in 24 h D- = verdauliche Rohnährstoffe

XP = Rohprotein in g kg⁻¹ TS XF = Rohfaser in g kg⁻¹ TS

XL = Rohfett in g kg⁻¹ TS XA = Rohasche in g kg⁻¹ TS

Da die Ernte im Januar des ersten Jahres bei Tauwetter mit größeren Erdverunreinigungen des geernteten Pflanzenmaterials einherging, wurde bei diesem Erntetermin die Konzentration an säureunlöslicher Asche (~ Sand) bestimmt (ANONYMUS 1976) und bei den Ergebnissen korrigierend berücksichtigt. Weil bei der Bestimmung der Sandfraktion auch in den Pflanzen enthaltene Silikate erfasst werden können (BASSLER & PUTZKA 1985), wurde bei den Varianten der Erntetermine November und Dezember, die ohne wahrnehmbare Erdverunreinigungen geerntet wurden, auf eine Sandkorrektur verzichtet. Auch in den folgenden Jahren wurde aus Gründen der Orthogonalität nur der letzte Erntetermin um den Anteil an säureunlöslicher Asche korrigiert.

3.2.4 Statistische Auswertung

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit Hilfe des PC-Statistikprogramms SPSS für Windows (ANONYMUS 2000). Die Daten wurden als Spaltanlage, zur Begrenzung von Interaktionen höherer Ordnung für jedes Untersuchungsjahr getrennt, varianzanalytisch verrechnet.

Für die Tests wurden folgende Signifikanzniveaus gewählt:

- F- Test der Varianztabelle

Signifikanzniveau 5% in den Tabellen gekennzeichnet durch “*”

Signifikanzniveau 1% in den Tabellen gekennzeichnet durch “**”

- multipler t- Test für die Einzelwerte der Tabellen und Abbildungen
Signifikanzniveau 5%.

4 Ergebnisse

4.1 Zellwandzusammensetzung

4.1.1 NDF

Abb. 5 zeigt die NDF-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin, vgl. Anhangtab. 34-36. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist in allen Untersuchungsjahren gesichert, vgl. Anhangtab. 33. Im Winter 2001/02 kommt es bei den Rapsformen vom zweiten zum dritten Erntetermin zu einem signifikanten Anstieg an NDF, auch die NDF-Konzentrationen bei den Weidelgräsern und dem Ausfallgetreide nehmen im Laufe des Winters kontinuierlich zu. Bei der Herbstrübe dagegen ist kein Einfluss des Erntetermins auf die NDF-Konzentration vorhanden. Im Winter 2002/03 sind bei den *Brassicaceen* keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ernteterminen festzustellen, vgl. Abb. 5. Bei den Weidelgräsern steigt die NDF-Konzentration mit jedem Erntetermin an, während sich beim Ausfallgetreide nur der dritte Erntetermin durch höhere NDF-Konzentrationen abhebt. Im Winter 2003/04 hat der Erntetermin bei den drei Rapsformen keinen Einfluss auf die NDF-Konzentration, bei der Herbstrübe steigt diese jedoch zum letzten Erntetermin signifikant an; während die NDF-Konzentration des Ausfallgetreides in diesem Winter kontinuierlich zunimmt, steigt sie bei den Weidelgräsern zum letzten Erntetermin nicht mehr signifikant an. Im zweiten Untersuchungsjahr ist auch die Wechselwirkung Frucht $\times$ Saattermin gesichert, die pflanzenbaulich jedoch nicht relevant ist. Die Hauptwirkung Frucht ist die wichtigste Varianzursache, da die NDF-Konzentrationen der Gräser und des Ausfallgetreides signifikant höher liegen als die der *Brassicaceen*. Der Erntetermin ist als Varianzursache in allen Jahren signifikant, da es zu einem Anstieg der NDF-Konzentration im Laufe des Winters kommt. Der Einfluss des Saattermins auf die NDF-Konzentration im Winter 2002/03 bestätigt sich in den beiden anderen Untersuchungsjahren nicht.

4.1.2 ADF

Bei der ADF-Konzentration kommt es zur Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin, vgl. Abb. 6 und Anhangtab. 37-40. Im Winter 2001/02 liegen die Konzentrationen bei den Rapsformen, dem Welschen Weidelgras und dem Ausfallgetreide deutlich höher, wenn die Ernte erst im Januar erfolgt. Der Einfluss des Erntetermins ist bei der Herbstrübe und dem Einjährigen Weidelgras nicht gesichert. Im Winter 2002/03 beschränkt sich der Einfluss des Erntetermins auf die ADF-Konzentrationen bei den Weidelgräsern und dem Ausfallgetreide. Im dritten Untersuchungsjahr verändert sich die ADF-Konzentration der drei Rapsformen im Laufe des

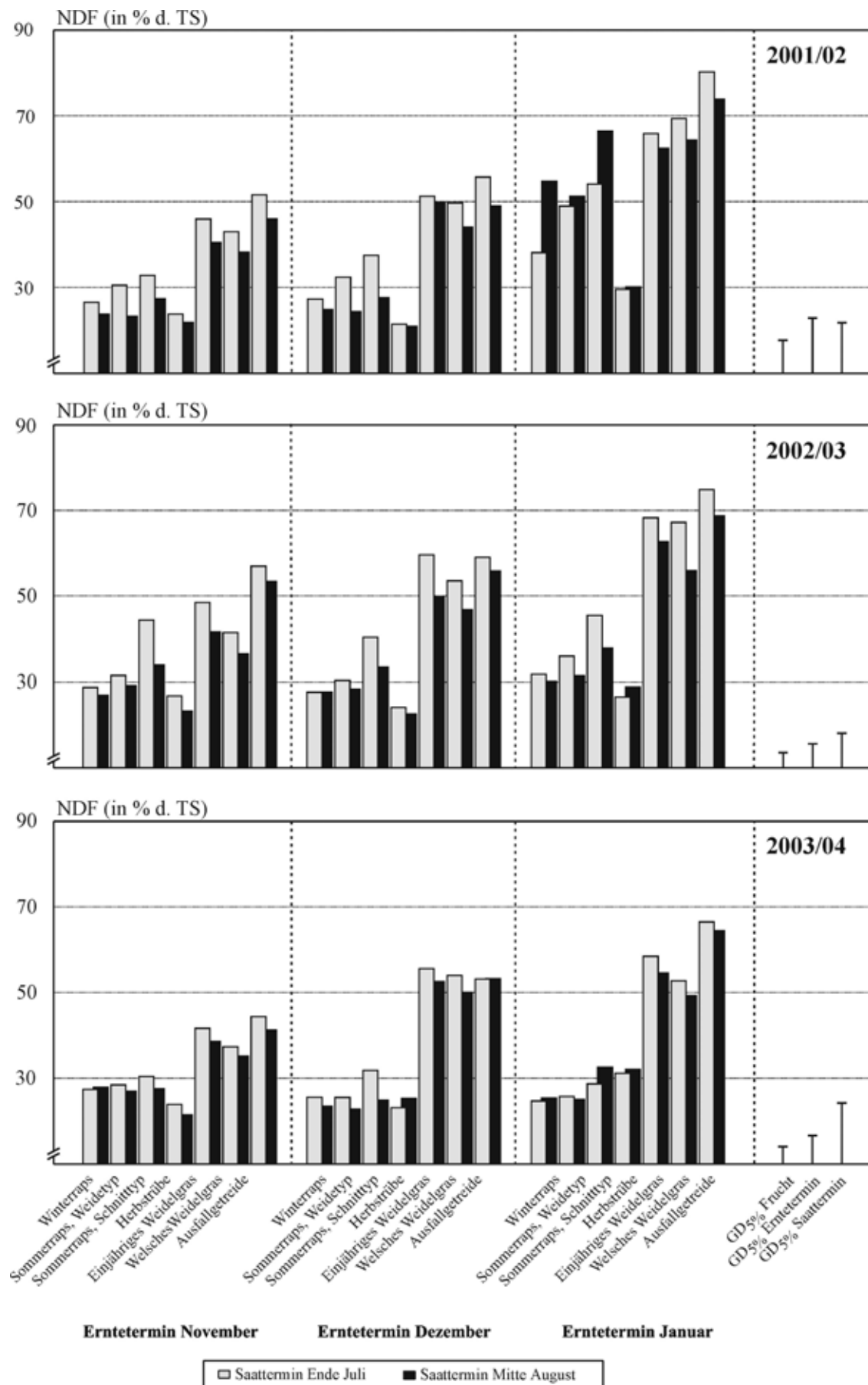


Abb. 5: NDF-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

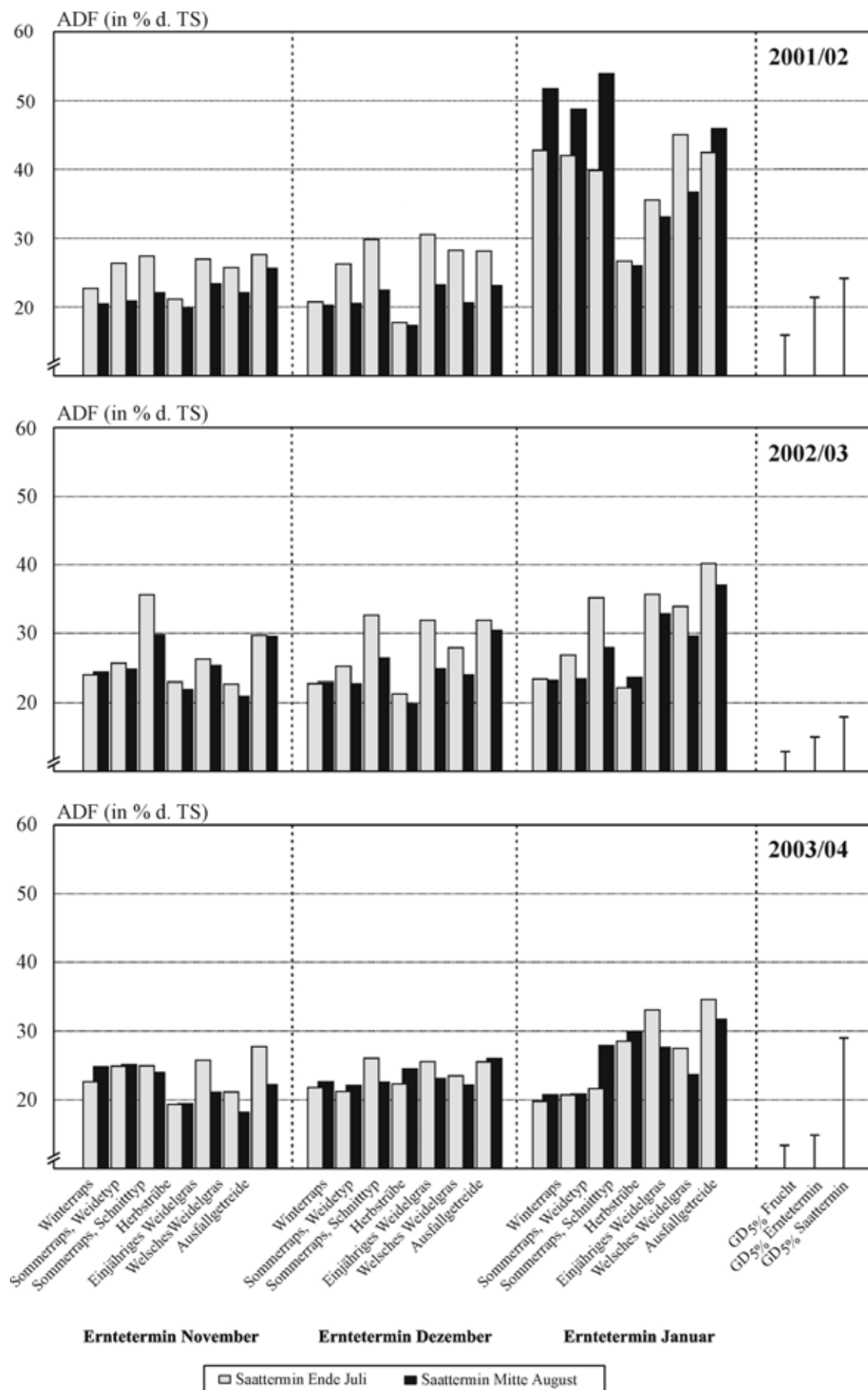


Abb. 6: ADF-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

Winters nicht, während bei den übrigen Früchten ein Anstieg dieser Zellwandbestandteile mit fortschreitendem Erntetermin gesichert ist. In den Wintern 2002/03 und 2003/04 besteht zudem die Interaktion Frucht $\times$ Saattermin, vgl. Anhangtab. 37, da sowohl bei den Gräsern als auch beim Ausfallgetreide höhere ADF-Konzentrationen erreicht werden, wenn die Aussaat Ende Juli erfolgt, so dass die Unterschiede zwischen den Früchten zum ersten Saattermin markanter sind als bei der Aussaat Mitte August. Die Faktoren Frucht und Erntetermin sind in allen drei Untersuchungsjahren signifikant. Die höchsten ADF-Konzentrationen werden stets beim Ausfallgetreide erreicht. Während im Winter 2002/03 der Faktor Frucht als bedeutendste Varianzursache ausgewiesen ist, geht in den Wintern 2001/02 und 2003/04 der größte Einfluss von der Hauptwirkung Erntetermin aus. Die im Winter 2002/03 als signifikant ausgewiesene Varianzursache Saattermin ist pflanzenbaulich nicht relevant.

4.1.3 ADL

In Abb. 7 sind die ADL-Konzentrationen der drei Untersuchungsjahre dargestellt, vgl. Anhangtab. 42-44. Die Interaktion Frucht $\times$ Saattermin ist signifikant, vgl. Anhangtab. 41, da es im Winter 2001/02 vor allem bei den Weidelgräsern und im Winter 2002/03 auch bei den beiden Sommerrapstypen zu höheren ADL-Konzentrationen kommt, wenn die Aussaat bereits Ende Juli erfolgt. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist in den Wintern 2001/02 und 2002/03 ebenfalls gesichert, vgl. Anhangtab. 41. Bei den Weidelgräsern nimmt die ADL-Konzentration im Laufe des Winters kontinuierlich zu, bei den drei Rapsformen kommt es im ersten Jahr vor allem zum letzten Erntetermin zu einem signifikanten Anstieg der ADL-Konzentration. Bei der Herbstrübe und dem Ausfallgetreide hat der Erntetermin im ersten Jahr dagegen keinen Einfluss auf die Lignin-Konzentration. Im Winter 2002/03 bleibt lediglich die ADL-Konzentration des Winterraps vom Erntetermin unbeeinflusst, während diese bei den Sommerrapstypen, den Weidelgräsern und dem Ausfallgetreide im Laufe des Winters ansteigt. Bei der Herbstrübe kommt es dagegen zu einem signifikanten Rückgang der ADL-Konzentration mit späterem Erntetermin. Im ersten Untersuchungsjahr hat der Erntetermin den größten Einfluss auf die ADL-Konzentration der Pflanzen, gefolgt von dem Faktor Frucht und anschließend von dem Faktor Saattermin, der in diesem Jahr die kleinste Varianzursache darstellt. Im Winter 2002/03 dagegen ist der Saattermin die wichtigste Varianzursache und der Erntetermin hat den geringsten Einfluss auf die ADL-Konzentration. Der Faktor Frucht nimmt auch in diesem Jahr eine Mittelstellung ein. Im dritten Untersuchungsjahr ist lediglich der Erntetermin als gesicherte Varianzursache ausgewiesen.



4.2 Schätzmethoden-Vergleich

In Abb. 8 ist der Vergleich der Verdaulichkeiten organischer Substanz (= DOM), geschätzt mit dem **Hohenheimer Futterwerttest (= HFT)** über die Variablen Gasbildung, Rohprotein und Rohfett, vgl. Tab. 2, sowie über die Zwei-Stufen-Methode nach **TILLEY & TERRY (1963)**, graphisch dargestellt. Zusätzlich sind auf der Winkelhalbierenden die Werte für die DOM aus der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997) abgetragen, wobei hier nicht zwischen den verschiedenen Rapsformen differenziert wird, so dass sowohl für den Winterraps als auch für den Sommerraps, Schnitttyp die DLG-Werte für *Brassica napus* "vor der Blüte" übernommen sind. Bei der Herbstrübe entsprechen die eingesetzten Werte denen aus der DLG-Futterwerttabelle für *Brassica rapa* var. *rapa* "mit Blättern, sauber" und für das Einjährige Weidelgras werden die Werte von *Lolium multiflorum*, "1. Aufwuchs im Schossen", gewählt, da diese den Bedingungen zum Zeitpunkt der Ernte am ehesten entsprechen. Da für Ausfallgetreide keine Werte verfügbar sind, werden in diesem Fall die Energiedichte sowie die DOM von *Hordeum vulgare* im EC-Stadium "Beginn bis volles Ährenschieben" übernommen. Die Winkelhalbierende steht für die Situation der totalen Übereinstimmung zweier Schätzmethoden. Nach TILLEY & TERRY (1963) werden meist höhere Verdaulichkeiten geschätzt als über den HFT, was insbesondere für die *Brassicaceen* gilt. Die größten Abweichungen zwischen den Schätzwerten beider Methoden sind bei der Herbstrübe und beim Winterraps festzustellen, wohingegen die Schätzungen für das Ausfallgetreide am besten übereinstimmen. Bei den Rapsformen zeigen die Werte für den Sommerraps, Schnitttyp eine bessere Anpassung als die DOM, die für den Winterraps geschätzt wird. Im Winter 2002/03 wird zwar mit $r^2 = 0,87$ das höchste Bestimmtheitsmaß im Vergleich der Jahre erreicht, die Steigungen der Regressionsgeraden und der Winkelhalbierenden differieren jedoch stärker als im ersten Winter, da insbesondere für das Ausfallgetreide nach TILLEY & TERRY (1963) niedrigere Verdaulichkeiten geschätzt werden als mit dem HFT. Im Winter 2003/04 besteht keine Beziehung zwischen den beiden Methoden.

Abb. 9 zeigt den Vergleich der *in vitro*-Schätzwerte aus dem **HFT** mit denen der **enzymatischen Methode (= ELOS)**. Auch hier entsprechen die Werte auf der Winkelhalbierenden den DOM-Werten aus der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997). In den meisten Fällen wird die DOM mit der enzymatischen Methode, verglichen mit dem HFT, überschätzt; nur im Winter 2002/03 sind die höheren Verdaulichkeiten des Ausfallgetreides auffallend, wenn mit dem HFT geschätzt wird. Insbesondere bei den *Brassicaceen* weichen die Schätzergebnisse beider Methoden deutlich voneinander ab. Im Winter 2003/04 kommt es

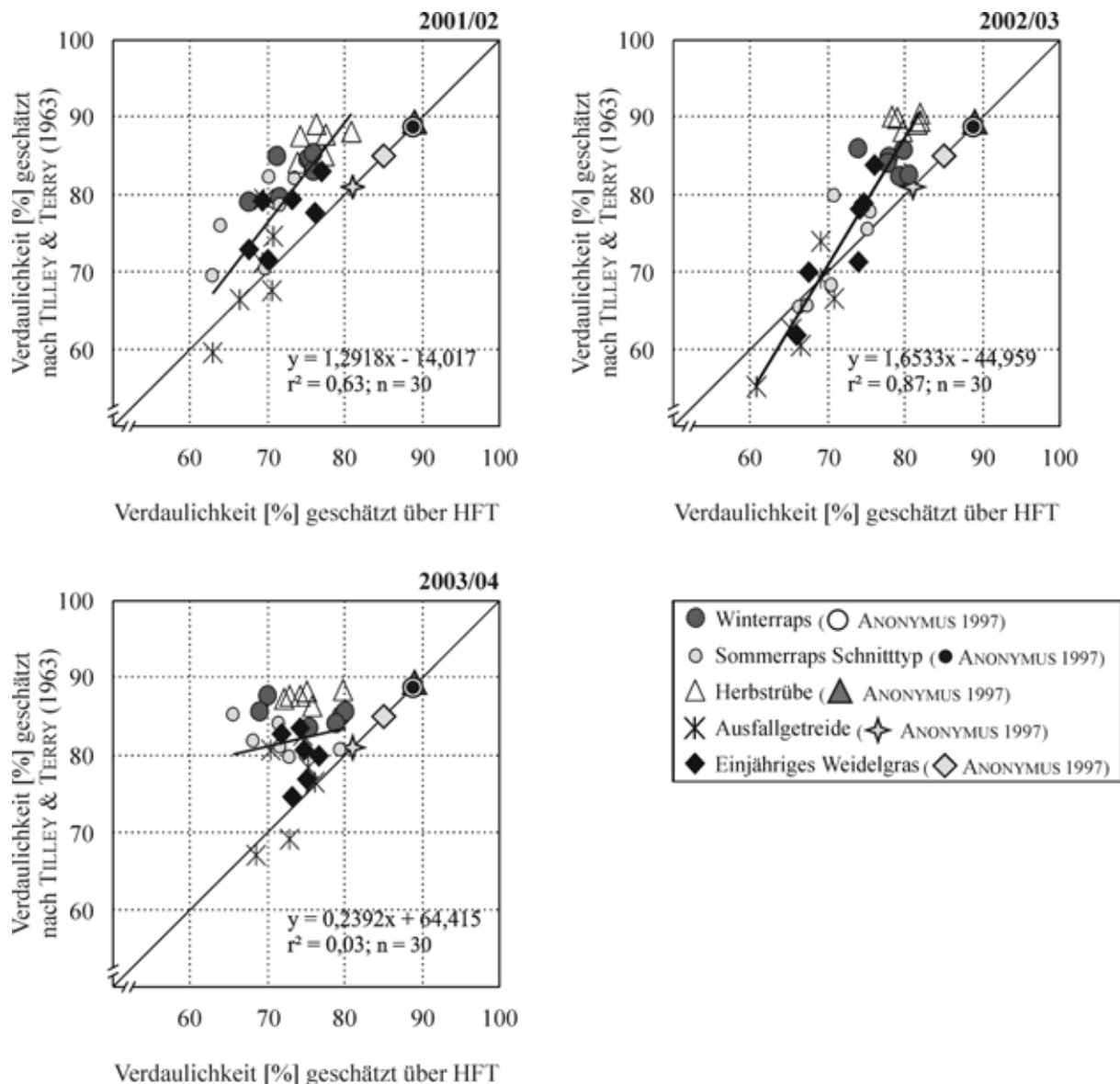


Abb. 8: Vergleich der Verdaulichkeit organischer Substanz geschätzt *in vitro* nach **TILLEY & TERRY (1963)** und mit dem **Hohenheimer Futterwerttest**

mit der enzymatischen Methode zu einer maximalen Überschätzung der DOM von annähernd 30% beim Sommerraps, Schnitttyp. Die größten Abweichungen zwischen den Schätzergebnissen treten bei der Herbstrübe und beim Winterraps auf; die beste Übereinstimmung beider Methoden wird auch hier beim Ausfallgetreide erreicht. Der Vergleich von HFT mit ELOS liefert ähnliche Ergebnisse wie die Gegenüberstellung von HFT und der Methode nach TILLEY & TERRY (1963), wobei die Differenzen zwischen HFT und ELOS deutlicher ausgeprägt sind.

Eine hohe Übereinstimmung zeigen die Schätzmethode nach **TILLEY & TERRY (1963)** einerseits und **ELOS** andererseits, vgl. Abb. 10. Die Regressionsgerade liegt dicht an der Winkelhalbierenden und verläuft nahezu parallel zu dieser. Auch hier ist die Differenz

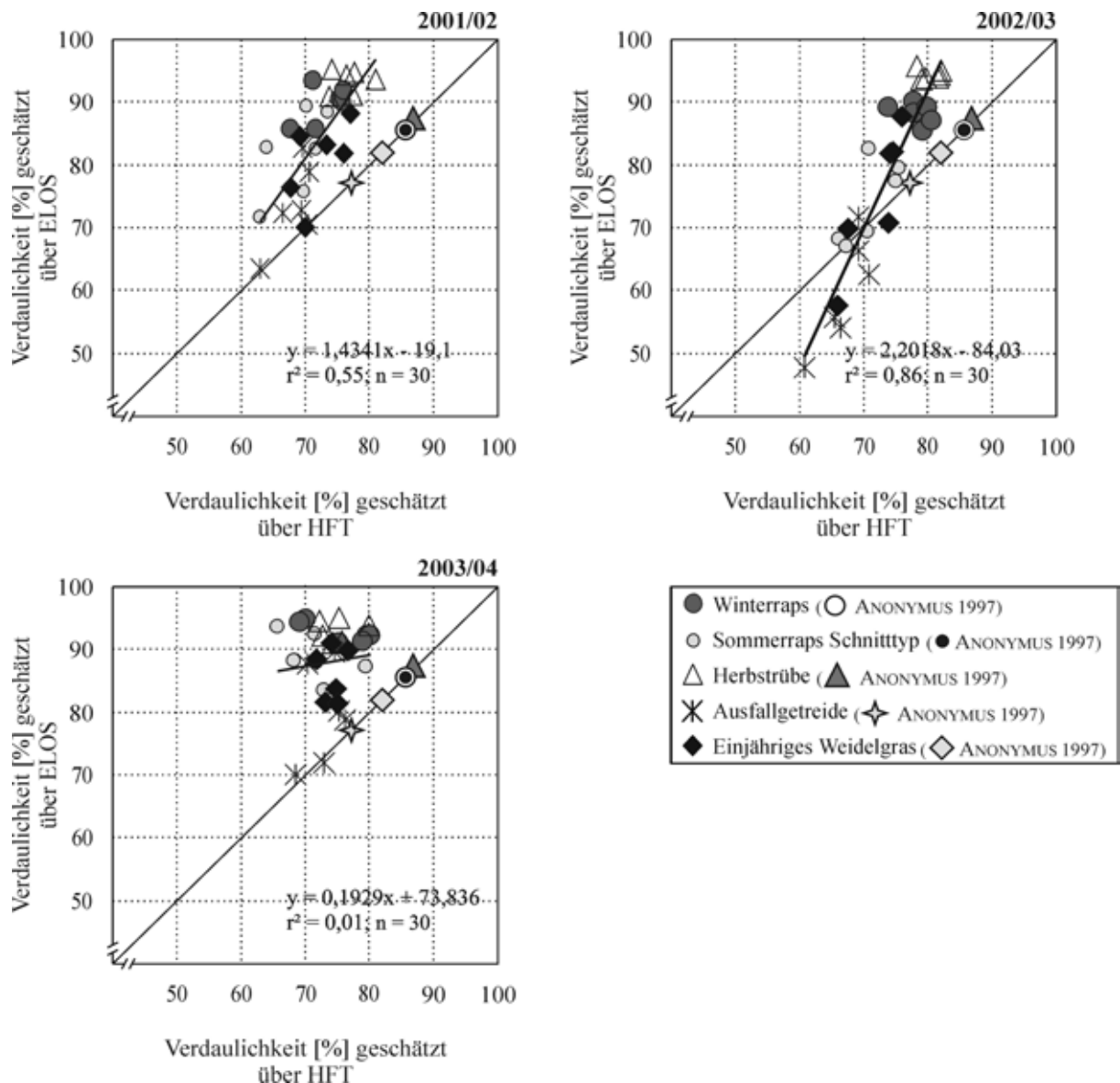


Abb. 9: Vergleich der Verdaulichkeit organischer Substanz geschätzt nach der **enzymatischen Methode** und *in vitro* mit dem **Hohenheimer Futterwerttest**

zwischen den Schätzwerten bei der Herbstrübe und beim Winterraps am größten und beim Ausfallgetreide am geringsten. Im Winter 2002/03 wird die DOM des Ausfallgetreides und von einer Variante des Einjährigen Weidelgras mit ELOS niedriger eingeschätzt als nach TILLEY & TERRY (1963), weshalb die Steigung der Regressionsgeraden in diesem Untersuchungsjahr etwas höher ist.

Zwischen dem **HFT** einerseits und der **chemischen Methode** basierend auf den Weender Rohnährstoffen, vgl. Tab. 2, andererseits besteht keine lineare Beziehung, vgl. Abb. 11. Die DOM wird mit der chemischen Methode offenbar stets überschätzt, wobei der Verlauf der Regressionsgeraden zeigt, dass auch die Relationen der Schätzergebnisse aus den Rohnährstoffen in keiner Beziehung zu den *in vitro*-Verdaulichkeiten geschätzt über den HFT

Tab. 2: Mittelwerte und Streubereiche von Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen [% d. TS], Ergosterol [= Ergo; mg kg⁻¹ TS], Glucosinolaten [= GSL; mol g⁻¹ TS] und Gasbildung [= Gb; ml 200 mg⁻¹ TS in 24 h]

	Winterraps			Sommerraps			Herbsttrübe			Weidelgras			Ausfallgetreide			
	min	$\bar{x}$	max	min	$\bar{x}$	max	min	$\bar{x}$	max	min	$\bar{x}$	max	min	$\bar{x}$	max	
2001	XA	10,3	16,0	27,2	9,2	16,0	29,3	10,4	13,8	17,9	11,9	14,4	19,2	11,2	15,7	23,4
	XP	17,2	21,5	24,4	13,3	18,7	23,9	16,8	22,0	25,5	17,5	22,7	26,4	21,8	24,4	28,0
	XL	1,6	2,3	2,8	1,3	2,0	3,4	1,1	1,5	1,9	2,4	3,4	4,9	2,0	2,7	3,4
	XF	12,5	15,1	18,5	13,6	20,2	28,2	10,6	13,1	16,4	19,0	21,6	25,4	19,2	21,5	24,3
	NDF	22,3	32,6	61,3	24,5	41,0	83,5	19,9	24,6	31,8	40,0	52,7	71,5	45,4	59,4	84,2
	ADF	16,5	29,8	52,5	20,7	32,6	70,2	15,8	21,4	32,2	21,7	28,8	44,1	21,2	32,1	49,1
	ADL	1,0	2,0	4,4	1,3	2,8	5,1	1,0	1,9	3,0	1,0	2,2	6,5	1,5	2,5	3,8
	Ergo	1,0	32,7	88,2	1,0	22,9	89,7	6,9	43,2	128,5	1,0	56,6	143,1	1,0	113,7	288,0
	GSL	2,8	8,8	18,1	2,7	6,9	11,0	6,3	18,5	33,5	-	-	-	-	-	-
	Gb	37,1	47,2	57,7	32,9	43,6	53,3	44,1	51,6	60,0	35,2	45,5	61,9	30,6	39,5	45,2
2002	XA	6,4	10,1	18,1	4,0	8,6	17,9	9,1	12,8	15,5	7,5	10,4	17,0	4,6	8,1	11,9
	XP	13,8	16,4	20,2	8,1	11,6	15,7	10,0	15,6	19,4	12,1	16,6	21,4	10,0	14,6	22,5
	XL	1,5	2,5	2,9	0,9	1,8	2,6	0,8	1,1	1,5	2,1	2,7	3,5	0,9	1,7	2,3
	XF	13,2	16,2	20,2	16,7	24,8	30,8	11,2	13,0	14,7	18,0	23,4	28,6	21,5	26,6	33,5
	NDF	24,9	28,8	33,3	29,2	39,2	47,2	21,13	25,4	31,8	40,5	55,1	68,5	52,8	61,5	83,2
	ADF	19,7	23,4	27,6	24,1	31,3	37,2	17,8	22,0	27,6	23,5	29,5	36,0	27,5	33,1	47,3
	ADL	1,8	2,3	3,0	2,5	4,4	6,5	1,1	1,9	2,7	1,3	2,9	4,9	2,8	3,9	4,9
	Ergo	7,6	47,9	101,6	2,1	21,9	53,6	3,7	28,1	55,3	0,0	130,3	376,0	27,7	102,5	251,6
	GSL	14,1	20,9	30,4	8,6	12,2	18,8	10,3	17,3	23,0	-	-	-	-	-	-
	Gb	45,8	56,9	62,7	43,7	50,6	58,8	53,3	60,3	67,6	39,9	49,3	55,9	33,6	43,8	53,5
2003	XA	10,0	15,1	24,5	9,9	15,5	24,8	13,3	16,9	23,8	10,7	14,2	20,1	10,9	14,4	19,7
	XP	13,3	21,3	26,3	14,5	19,7	25,7	16,4	20,6	24,3	15,5	21,6	26,7	16,4	23,2	26,3
	XL	2,3	3,2	4,1	2,3	2,9	3,6	0,7	1,1	1,8	2,5	3,3	5,2	2,1	2,9	4,8
	XF	9,2	11,9	15,3	10,5	14,5	20,1	10,1	11,9	13,4	13,8	18,2	22,7	15,3	20,2	24,4
	NDF	21,6	25,8	30,8	23,6	29,3	41,5	21,0	26,2	37,4	36,5	50,3	60,8	39,2	53,9	69,7
	ADF	19,5	22,0	26,8	20,2	24,5	38,3	17,3	24,0	35,8	20,2	26,0	35,5	20,5	28,0	37,0
	ADL	0,3	1,6	2,7	1,5	2,3	3,1	1,1	1,5	2,3	1,1	2,1	3,5	1,3	2,5	3,9
	Ergo	1,1	21,5	50,2	1,1	14,9	31,8	1,1	30,3	77,1	1,1	65,5	225,4	1,0	77,4	261,1
	GSL	4,4	10,6	19,2	3,6	9,0	13,0	13,3	20,9	33,3	-	-	-	-	-	-
	Gb	39,2	50,8	61,2	35,4	47,5	59,4	40,4	50,3	58,1	41,0	48,2	52,6	38,7	46,1	52,6

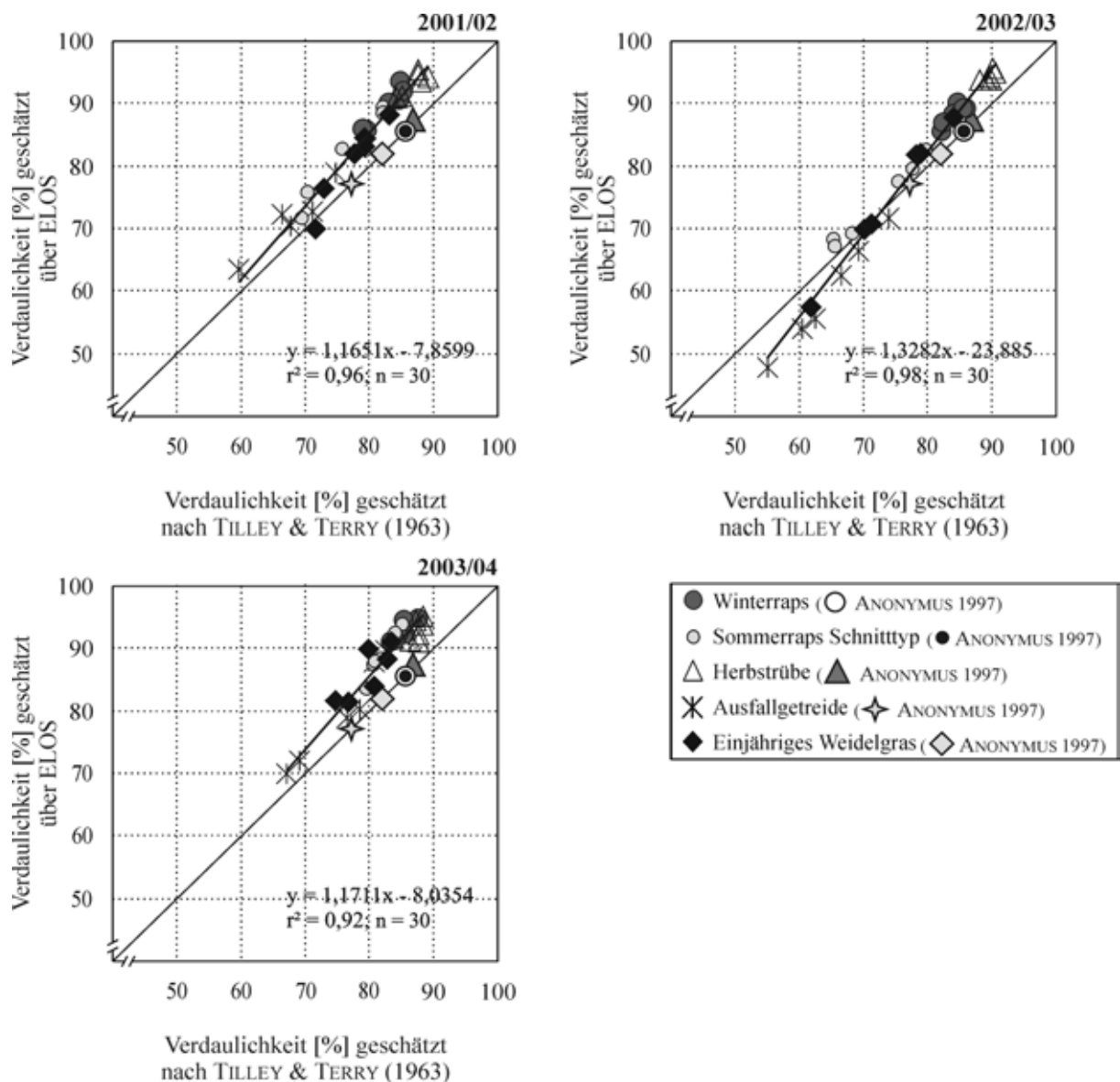


Abb. 10: Vergleich der Verdaulichkeit organischer Substanz geschätzt nach der enzymatischen Methode und *in vitro* nach TILLEY & TERRY (1963)

stehen. In Abb. 11 sind auf der Winkelhalbierenden die Energiedichten aus der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997) markiert, vgl. Abschnitt HFT vs. ELOS.

4.3 Mineralstoffe

4.3.1 Phosphor

Die P-Konzentrationen sind in Abb. 12 dargestellt, vgl. Anhangtab. 46-48. Die Interaktion Frucht × Saattermin ist in allen Untersuchungsjahren gesichert, vgl. Anhangtab. 45, da, gemittelt über die drei Rapsformen, diese Arten höhere P-Konzentrationen erreichen, wenn die Aussaat Mitte August erfolgt, während bei den anderen Früchten kein Einfluss des Saattermins besteht. Auch die Wechselwirkung Frucht × Erntetermin ist in allen Untersu-

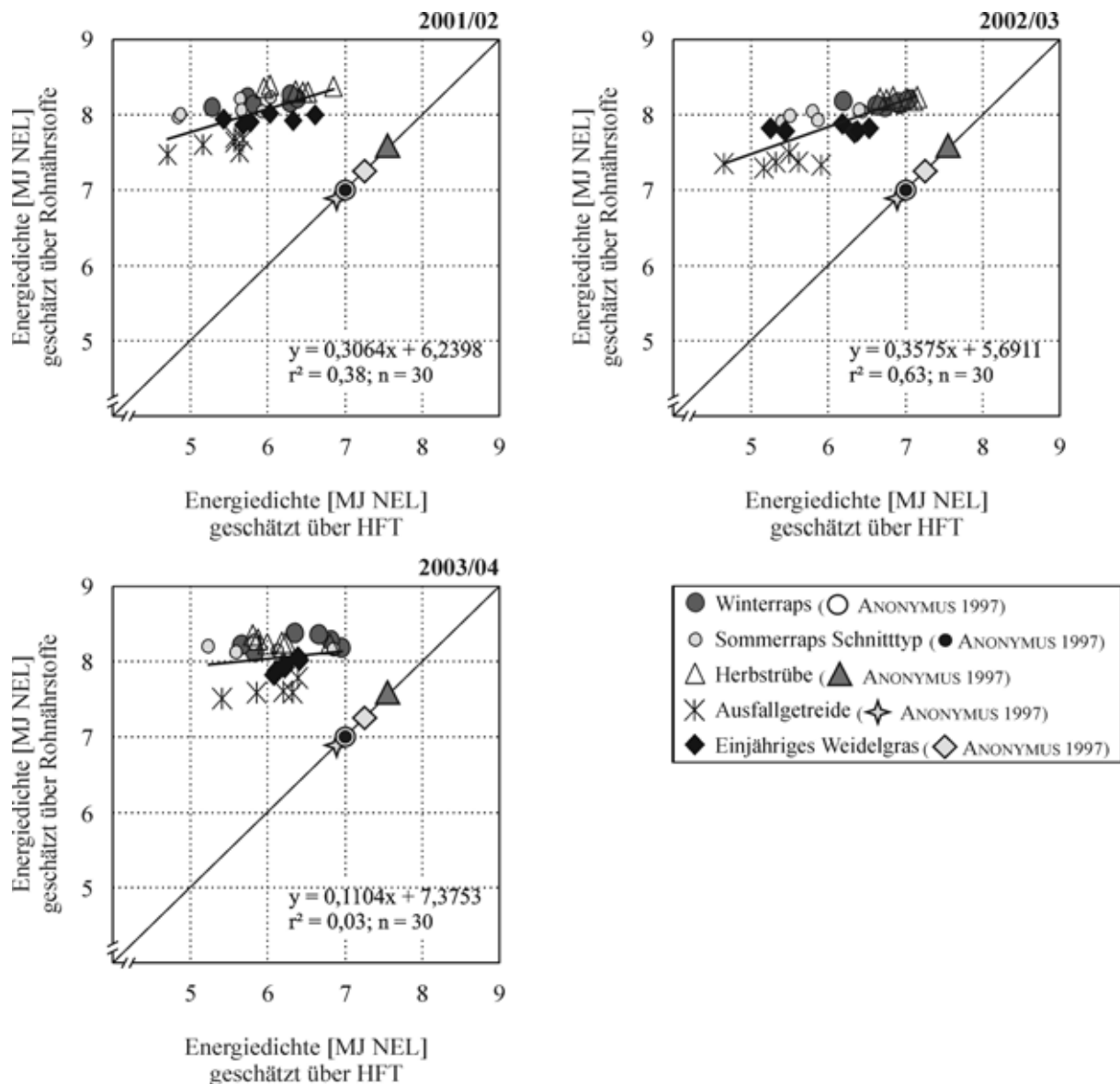


Abb. 11: Vergleich der Energiedichte geschätzt nach der **chemischen Methode** und *in vitro* mit dem **Hohenheimer Futterwerttest**

chungsjahren signifikant. Bei den Rapsformen ändert sich die P-Konzentration im Verlauf des Winters nicht; bei der Herbstrübe kommt es im ersten Jahr vom ersten zum dritten Erntetermin zu einem signifikanten Anstieg der P-Konzentration und im Gegensatz dazu fällt diese sowohl bei den Weidelgräsern als auch beim Ausfallgetreide im Verlauf des Winters ab, wobei dieser Rückgang nur im Winter 2001/02 gesichert ist. Der Faktor Frucht ist in allen Untersuchungsjahren die wichtigste Varianzursache. Die höchsten P-Konzentrationen werden in der Herbstrübe erreicht, die niedrigsten bei den beiden Sommerrapstypen. Die niedrigen Konzentrationen beim Ausfallgetreide im Winter 2002/03 stehen im Gegensatz zu den hohen Konzentrationen dieser Frucht in den beiden anderen Jahren. Während im Winter 2002/03 der Erntetermin keinen Einfluss auf die P-Konzentration hat, ist dieser Faktor in den Wintern

2001/02 und 2003/04 gesichert. Der Saattermin ist ebenfalls nur im ersten und dritten Untersuchungsjahr als signifikante Varianzursache ausgewiesen.

4.3.2 Kalium

Aus Abb. 13 gehen die K-Konzentrationen in den drei Beobachtungsjahren hervor, vgl. Anhangtab. 50-52. Die Aussaat Mitte August führt, gemittelt über diese Arten, sowohl bei den *Poaceen* als auch bei den drei Rapsformen zu höheren K-Gehalten als bei einer Aussaat Ende Juli, während der Saattermin bei der Herbstrübe keinen signifikanten Einfluss auf die K-Konzentration hat, was die Wechselwirkung Saattermin $\times$ Frucht bewirkt, vgl. Anhangtab. 49. Im dritten Untersuchungsjahr ist diese Wechselwirkung jedoch nicht gesichert. Die Interaktion Erntetermin $\times$ Frucht ist in allen Wintern signifikant. Der Rückgang der K-Konzentration im Verlauf des Winters ist bei den *Poaceen* deutlicher ausgeprägt als bei den *Brassicaceen*. Während bei der Herbstrübe kein signifikanter Einfluss des Erntetermins besteht, sind Veränderungen in der K-Konzentration bei den Rapsformen nur teilweise im Winter 2001/02 gesichert. Der Erntetermin stellt als Hauptwirkung die wichtigste Varianzursache dar, da die späte Ernte im Januar meist mit deutlich geringeren K-Konzentrationen einhergeht. Die Dynamik der K-Konzentrationen ist bei den *Poaceen* besonders ausgeprägt, so dass in dieser Gruppe sowohl die höchsten Konzentrationen zu Beginn des Winters als auch die geringsten Konzentrationen beim letzten Erntetermin auftreten. Nach dem Erntetermin geht auch von dem Faktor Frucht ein bedeutender Einfluss auf die K-Konzentrationen in den Pflanzen aus. Das physiologische Alter der Pflanze zu Beginn des Winters – und somit der Faktor Saattermin – ist nur in den Wintern 2001/02 und 2002/03 als signifikanter Einflussfaktor ausgewiesen, während im dritten Untersuchungsjahr keine Beziehung zwischen K-Konzentration und Saattermin sichtbar wird.

4.3.3 Natrium

Abb. 14 zeigt, dass die Na-Konzentration der *Brassicaceen* in den ersten beiden Untersuchungsjahren abhängig vom physiologischen Alter zu Beginn des Winters ist, was die signifikante Wechselwirkung Frucht $\times$ Saattermin bedingt, vgl. Anhangtab. 53. Beim späten Saattermin Mitte August liegen die Konzentrationen dieser Früchte signifikant höher als bei der Aussaat Ende Juli, vgl. Anhangtab. 54-56. Im Gegensatz dazu zeigen sich beim Ausfallgetreide keine Unterschiede zwischen früher und später Aussaat und bei den Weidelgräsern wirkt sich ein verzögerter Saattermin lediglich im Winter 2001/02 positiv auf die Na-Konzentrationen aus, wenn die Ernte spät erfolgt. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist lediglich in den letzten beiden Wintern gesichert. Während sich die



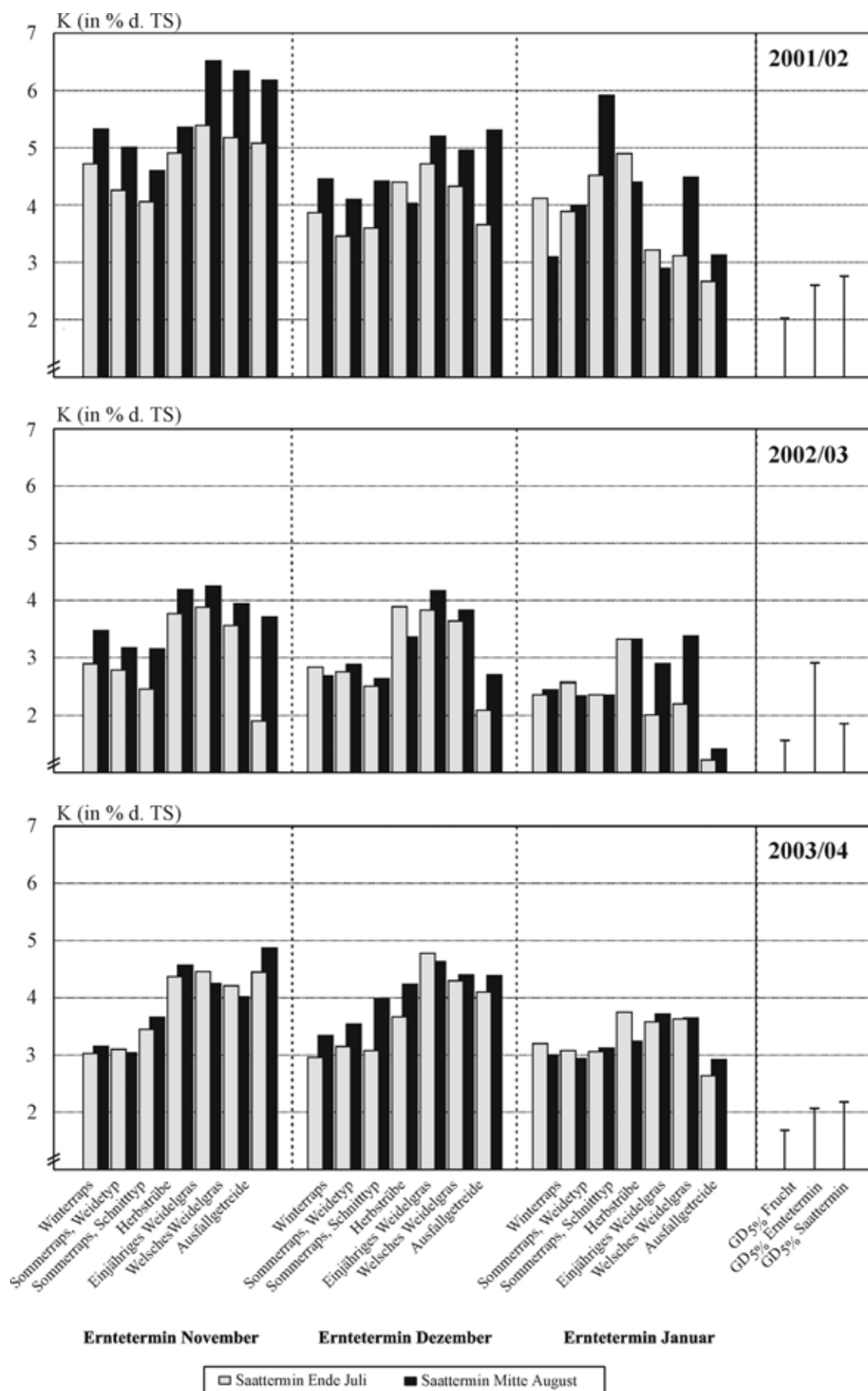


Abb. 13: K-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

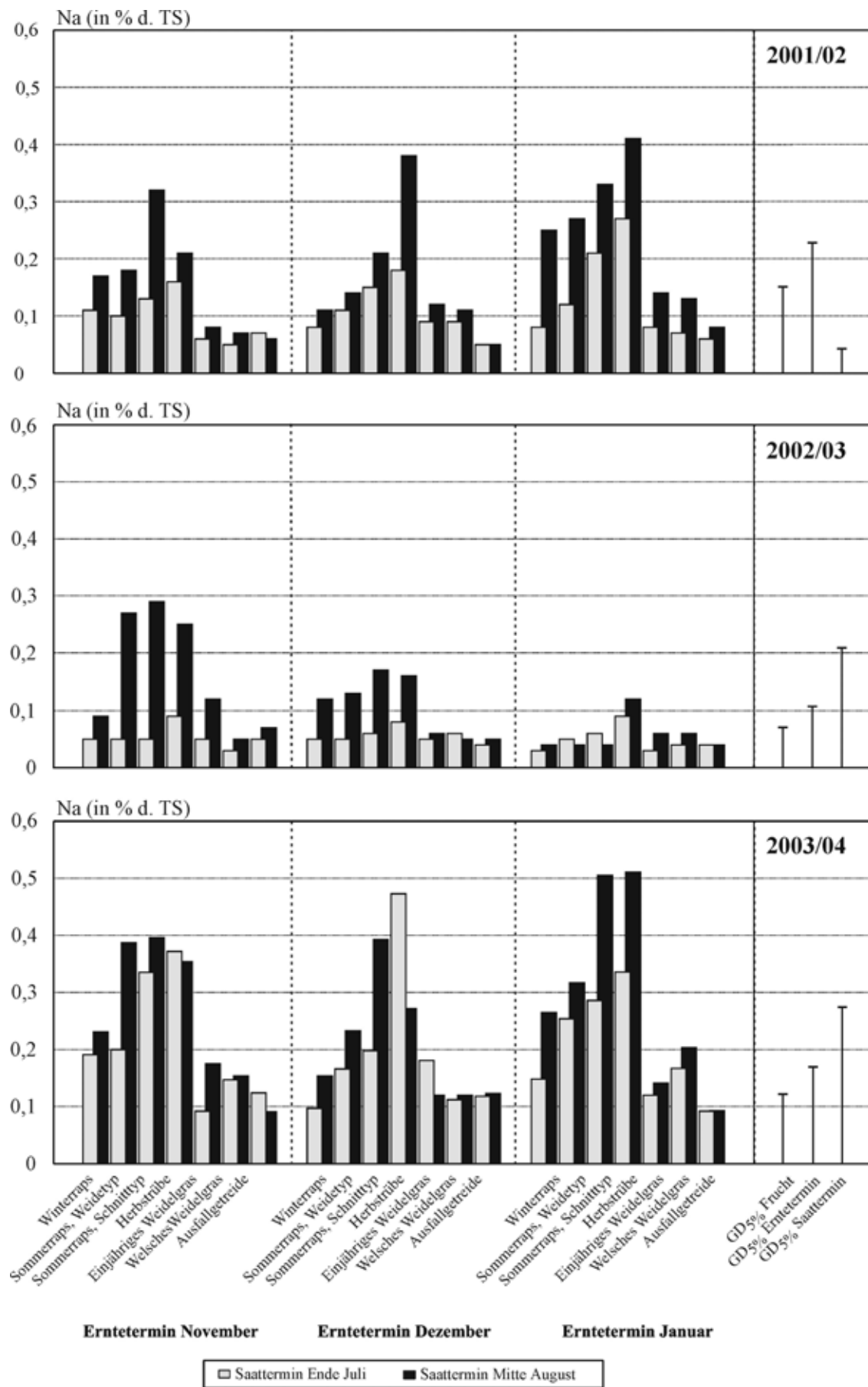


Abb. 14: Na-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

Natrium-Konzentration der *Poaceen* mit fortschreitendem Erntetermin nicht signifikant verändert, kommt es bei den *Brassicaceen* im Winter 2002/03 zu einem deutlichen Rückgang der Na-Konzentration im Winter. Da sich dieser Effekt auf den zweiten Saattermin beschränkt, ist in diesem Untersuchungsjahr auch die Wechselwirkung Saattermin $\times$ Erntetermin signifikant. Im Winter 2003/04 sinkt die Na-Konzentration der *Brassicaceen* zum zweiten Erntetermin, um zur Januarernte hin wieder anzusteigen; in diesem Jahr erfolgt im Juli eine Kainit-Düngung, vgl. Kap. 3.1.1. Die höchsten Na-Konzentrationen werden in allen drei Jahren bei der Herbstrübe und beim Sommerraps, Schnitttyp erreicht. Während der Saattermin im Winter 2001/02 als wichtigste Varianzursache ausgewiesen ist, geht im Winter 2002/03 der größte Einfluss vom Erntetermin und im letzten Winter von dem Faktor Frucht aus, wobei die *Brassicaceen* signifikant höhere Na-Konzentrationen aufweisen als die *Poaceen*.

4.3.4 Magnesium

In Abb. 15 sind die Mg-Konzentrationen dargestellt, vgl. Anhangtab. 58-60. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Saattermin ist in allen Wintern gesichert, vgl. Anhangtab. 57, da im Mittel bei den *Brassicaceen* höhere Mg-Konzentrationen erreicht werden, wenn diese spät gesät werden. Auch die Interaktion Frucht $\times$ Erntetermin besteht in allen drei Wintern. Während bei den *Poaceen* die Mg-Konzentrationen weitgehend unabhängig vom Erntetermin sind, sinken diese bei den *Brassicaceen* im Winter 2001/02 zum zweiten Erntetermin und steigen danach wieder an, bei den Rapsformen ist dieser Effekt bei der Aussaat Mitte August besonders deutlich, was die Interaktion Saattermin $\times$ Erntetermin bedingt. Im Winter 2002/03 gehen die Mg-Konzentrationen der *Brassicaceen* im Laufe des Winters kontinuierlich zurück, während die Veränderungen im letzten Winter nur noch gering sind. Durch die im Vergleich zu den Gräsern und dem Ausfallgetreide hohen Mg-Konzentrationen der *Brassicaceen*, ist der Faktor Frucht in allen drei Jahren als signifikante Varianzursache ausgewiesen. Der Einfluss des Faktors Erntetermin auf die Mg-Konzentrationen der Pflanzen ist nur in den ersten beiden Beobachtungsjahren gesichert.

4.3.5 Calcium

Abb. 16 zeigt die Ca-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin, vgl. Anhangtab. 62-64. Während die Ca-Konzentrationen der *Poaceen* weitgehend saatzeitunabhängig sind, werden im Mittel bei den *Brassicaceen* höhere Ca-Konzentrationen erreicht, wenn diese Arten Mitte August gesät werden, weshalb die Wechselwirkung Frucht $\times$ Saattermin gesichert ist, vgl. Anhangtab. 61. Dieser Effekt kommt im Winter 2002/03, in dem sich die Ca-Konzentrationen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau

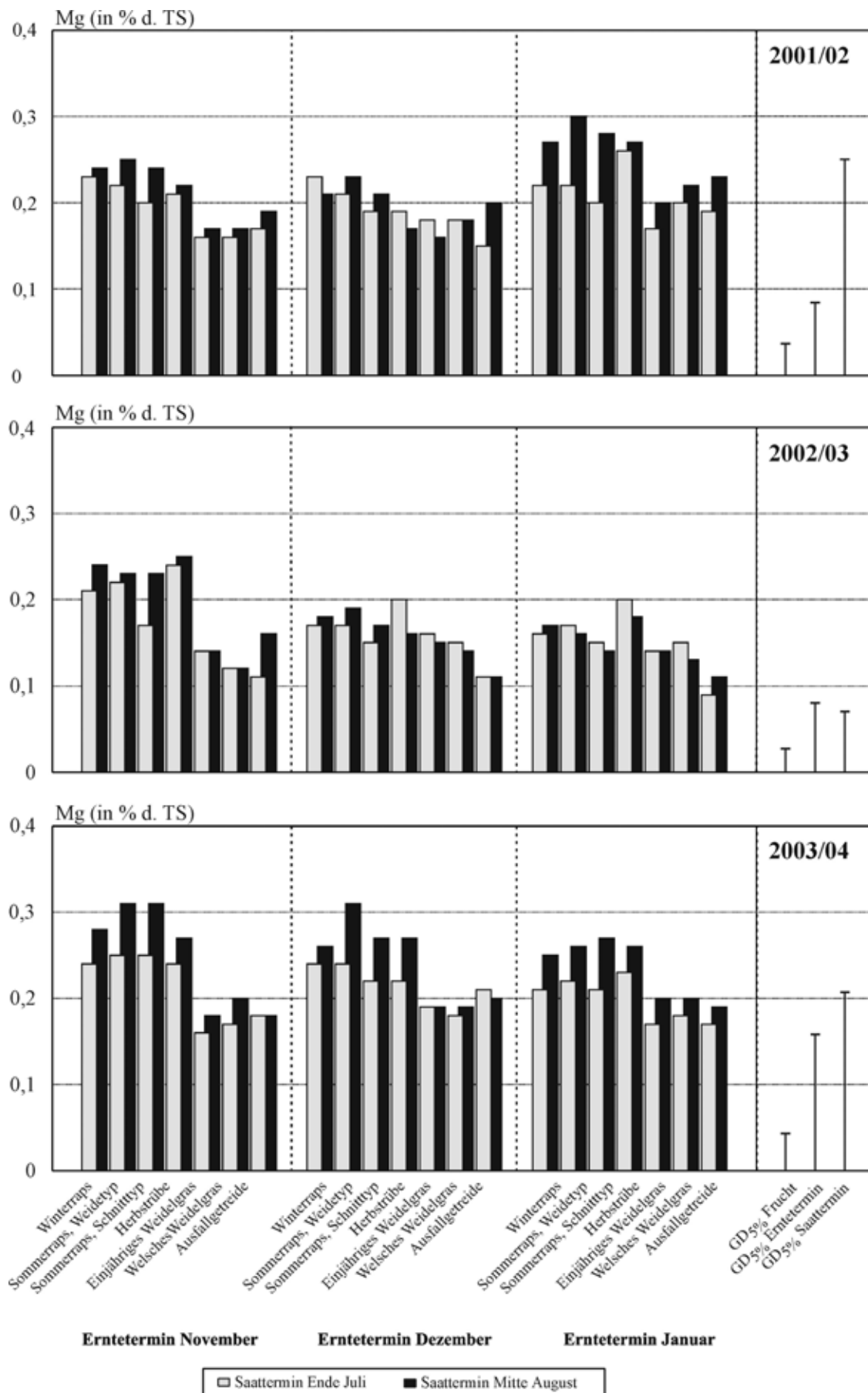


Abb. 15: Mg-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

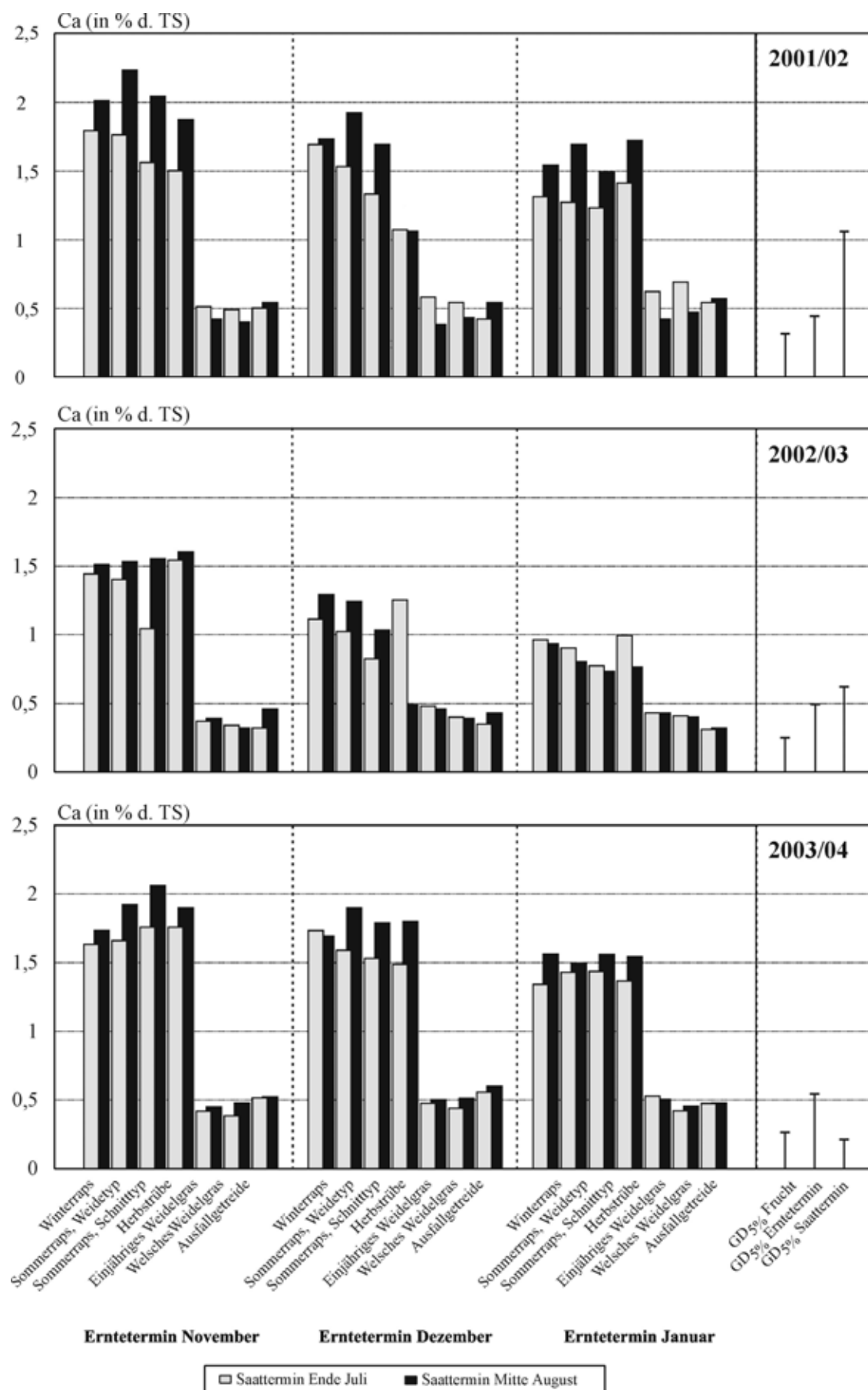


Abb. 16: Ca-Konzentrationen in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

bewegen, nicht so deutlich zum Ausdruck wie in den Wintern 2001/02 und 2003/04. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist ebenfalls signifikant, da der Erntetermin nur die Ca-Konzentrationen der *Brassicaceen* beeinflusst, die im Verlauf des Winters kontinuierlich abnehmen. Nur bei der Herbstrübe kommt es im Winter 2001/02 zu einem signifikanten Anstieg der Ca-Konzentration zum dritten Erntetermin. Den größten Einfluss auf die Ca-Konzentration übt die Hauptwirkung Frucht aus, da bei den *Brassicaceen* signifikant höhere Konzentrationen erreicht werden als bei den *Poaceen*. Unterschiede innerhalb der *Brassicaceen* sind pflanzenbaulich durchweg nicht relevant. Die Hauptwirkung Erntetermin ist in allen drei Jahren als Varianzursache gesichert. Der Saattermin hat nur im letzten Beobachtungsjahr einen Einfluss auf die Ca-Konzentration der Pflanzen.

4.3.6 Ca/P-Quotienten

Abb. 17 zeigt die Ca/P-Quotienten der drei Untersuchungsjahre, vgl. Anhangtab. 66-68. Da das Ca/P-Verhältnis bei den *Brassicaceen* im Verlauf des Winters deutlich enger wird, während bei den Weidelgräsern und dem Ausfallgetreide kein Einfluss des Erntetermins besteht, ist die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin in allen Jahren gesichert, vgl. Anhangtab. 65. Nur im Winter 2001/02 weitet sich das Ca/P-Verhältnis bei der Herbstrübe vom zweiten zum dritten Erntetermin signifikant. Die im ersten Winter als signifikant ausgewiesene Interaktion Frucht $\times$ Saattermin ist pflanzenbaulich nicht relevant. Die hauptsächliche Varianzursache ist der Faktor Frucht, wobei in allen Jahren signifikante Unterschiede zwischen den *Brassicaceen* einerseits und den *Poaceen* andererseits bestehen. Die Ca/P-Quotienten der drei *Poaceen* liegen auf annähernd gleichem Niveau; innerhalb der *Brassicaceen* werden die höchsten Werte bei den Sommerrapstypen und die geringsten Konzentrationen bei der Herbstrübe erreicht. Der Erntetermin ist als Hauptwirkung ebenfalls in allen drei Jahren eine bedeutende Varianzursache, da es, gemittelt über alle Arten, zu engeren Ca/P-Verhältnissen kommt, je später die Früchte geerntet werden. Der Saattermin ist nur im zweiten Beobachtungsjahr als gesicherte Varianzursache ausgewiesen.

4.3.7 K/(Ca+Mg)-Quotienten

Die Verhältnisse von K zu Ca und Mg sind in Abb. 18 dargestellt, vgl. Anhangtab. 70-72. Bei den K/(Ca+Mg)-Quotienten kommt es zu der Interaktion Frucht $\times$ Saattermin, vgl. Anhangtab. 69. Während bei den *Brassicaceen* kein Unterschied zwischen früher und später Aussaat besteht, liegen die K/(Ca+Mg)-Quotienten der Weidelgräser in den ersten beiden Wintern deutlich höher, wenn Mitte August gesät wird. Auch die Wechselwirkung Erntetermin $\times$ Frucht ist in allen Untersuchungsjahren gesichert, hier beschränkt sich der Ein-

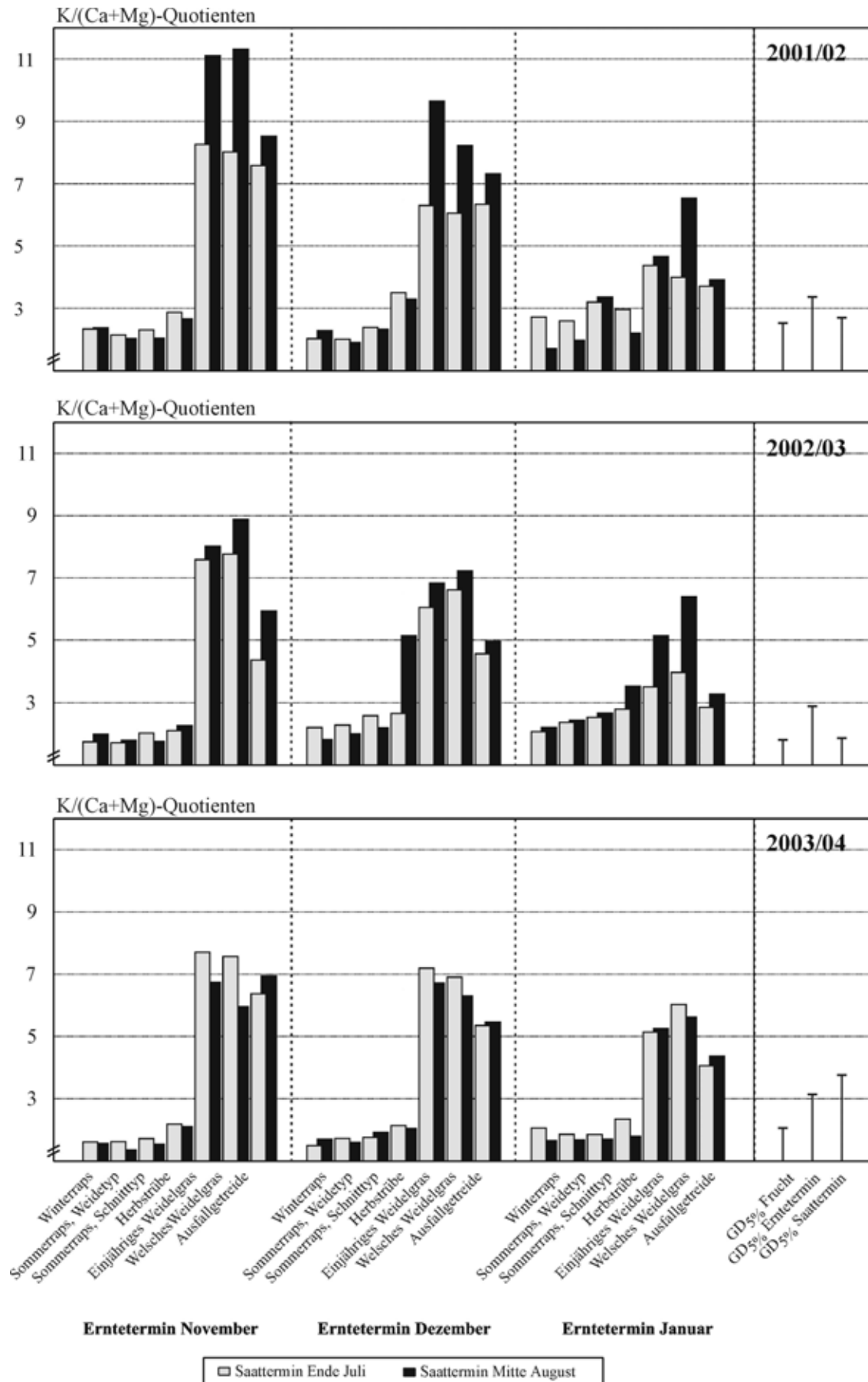


Abb. 18: K/(Ca+Mg)-Quotienten in Abhängigkeit von Frucht, Erntetermin und Saattermin

fluss des Erntetermins auf die Gräser und das Ausfallgetreide, bei denen das $K/(Ca+Mg)$ -Verhältnis im Laufe des Winters signifikant enger wird. Bei den *Brassicaceen* kommt es dagegen zu keinen Veränderungen der $K/(Ca+Mg)$ -Quotienten mit fortschreitendem Erntetermin. Der größte Einfluss geht in allen Jahren von dem Faktor Frucht aus, wobei die *Brassicaceen* ein deutlich engeres $K/(Ca+Mg)$ -Verhältnis aufweisen als die *Poaceen*; innerhalb der *Poaceen* ist das Verhältnis der Weidelgräser oft signifikant weiter als das des Ausfallgetreides, wobei dieser Effekt bei kurzer Vegetationszeit besonders deutlich ist. Der Erntetermin ist in allen Jahren als Varianzursache gesichert. Der Einfluss des Saattermins auf das $K/(Ca+Mg)$ -Verhältnis ist nur in den ersten beiden Untersuchungsjahren gesichert, in denen die Aussaat Mitte August, gemittelt über alle Arten, signifikant weitere $K/(Ca+Mg)$ -Verhältnisse bedingt als die Aussaat Ende Juli.

5 Diskussion

5.1 Verdaulichkeit organischer Substanz

5.1.1 Zellwandzusammensetzung

Wichtigste Varianzursache im Hinblick auf die Verdaulichkeit organischer Substanz (= DOM) – geschätzt mit dem Hohenheimer Futterwerttest – ist in den ersten beiden Wintern der Faktor Frucht; im Winter 2003/04 geht der größte Einfluss vom Erntetermin aus, vgl. Anhangtab. 19. Die höchste DOM erreicht in allen Wintern die Herbstrübe; der Sommerraps, Schnitttyp, und das Ausfallgetreide sind stets am geringsten verdaulich. Die blattreichen Rapsformen – Winterraps und Sommerraps, Weidetyp – sowie die Weidelgräser nehmen eine Mittelstellung ein, wobei nur im Winter 2002/03 signifikante Unterschiede in der DOM der Weidelgräser einerseits und der beiden Rapsformen andererseits bestehen, vgl. Anhangtab. 20-22. In den ersten beiden Wintern werden, über die Ernte- und Saattermine betrachtet, die niedrigsten Konzentrationen an NDF, ADF sowie ADL und gleichzeitig die höchste DOM von allen Früchten bei der Herbstrübe erreicht, wobei im Winter 2002/03 zum dritten Erntetermin im Januar der maximale Wert für die DOM mit den niedrigsten ADL-Konzentrationen bei der Herbstrübe einhergeht, vgl. Anhangtab. 33-44 und 20-22. Im Winter 2003/04 ist der Unterschied in der DOM zwischen der Herbstrübe und den blattreichen Rapsformen Winterraps und Sommerraps, Weidetyp, sowie den Weidelgräsern nicht mehr signifikant. Nach MÜLLER et al. (1994) stellen Rüben für die Mikroorganismen ein gut fermentierbares Substrat dar; in ihren Untersuchungen erhöht sich die DOM der Ration durch Fütterung von Rüben in Abhängigkeit von deren Menge. Die DOM von Rüben wird meist mit 90% und höher beschrieben (CLARK et al. 1987, ANONYMUS 1997b); diese Werte werden in dem hier untersuchten Winterfutter – insbesondere bei früher Ernte – nicht erreicht. Die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen liegen bei den blattreichen Formen Winterraps und Sommerraps, Weidetyp, etwas höher als bei der Herbstrübe. Auch die Unterschiede in der DOM sind, über die Jahre gesehen, zwischen Herbstrübe einerseits und Winterraps sowie Sommerraps, Weidetyp, andererseits am geringsten. Obwohl die Ertragsstruktur, vgl. Abb. 19, zeigt, dass die gebildete Blattmasse beim Winterraps am größten ist, ist die Rübe besser verdaulich, da an die Stelle des XF-reichen Stängels der Rapsformen der hoch verdauliche Rübenkörper tritt, der im Mittel 92% Wasser enthält (ECHTERNACHT 2004). Obwohl die Weidelgräser einen höheren Zellwandanteil besitzen, unterscheiden sie sich in ihrer DOM in den Wintern 2001/02 und 2003/04 nicht signifikant von den blattreichen

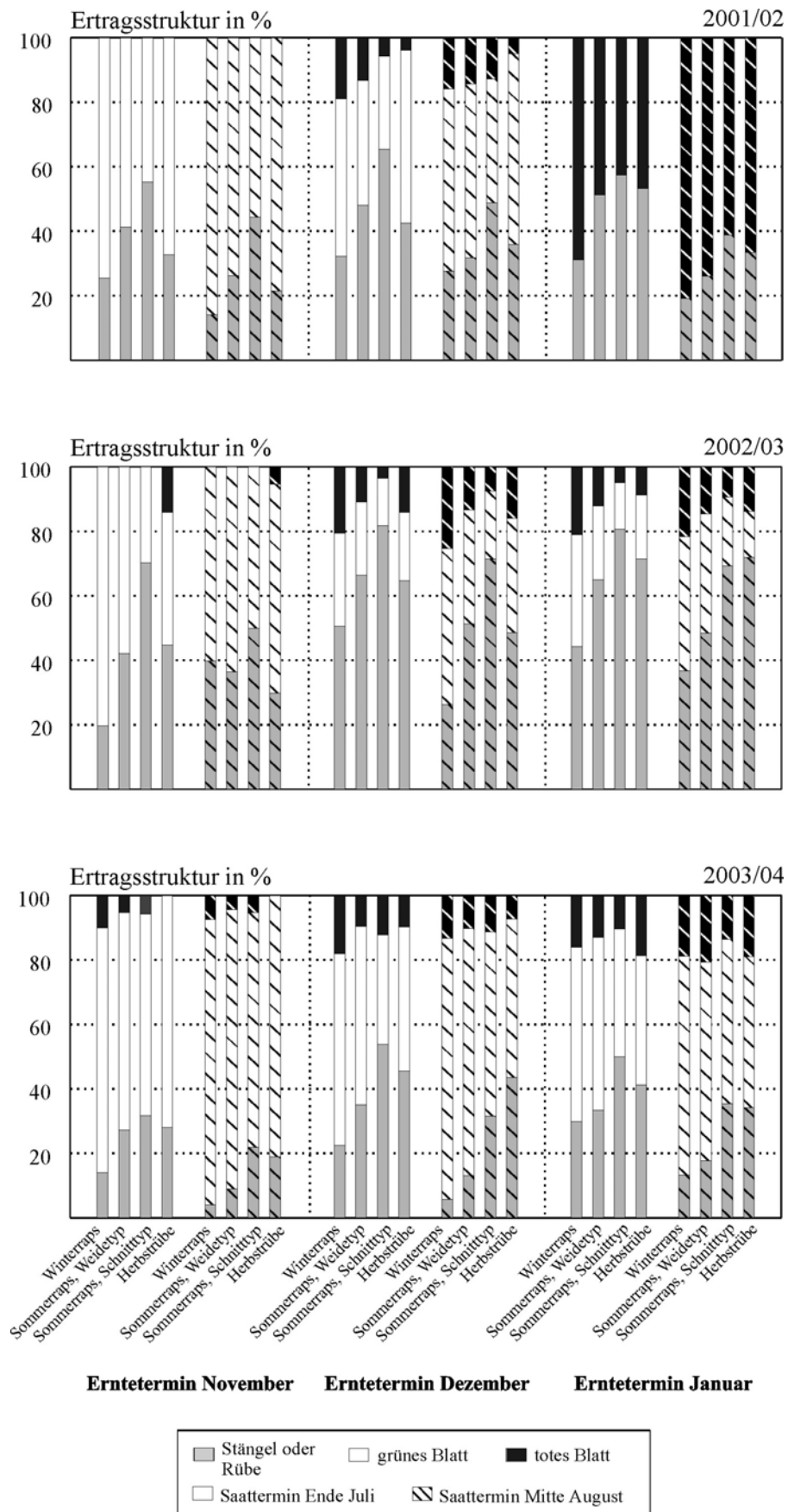


Abb. 19: Ertragsstruktur der *Brassicaceen* in Abhängigkeit von Saattermin, Erntetermin und Frucht (nach ECHTERNACHT 2004)

Rapsformen, da die Konzentrationen an ADF und ADL auf annähernd gleichem Niveau liegen, vgl. Anhangtab. 33-44 und 20-22. Der hohe Zellwandanteil kommt durch die im Vergleich zu den Rapsformen hohen Konzentrationen an Hemicellulosen bei den Gräsern zustande, die für Wiederkäuer gut verdaulich sind und somit die DOM nicht stark beeinträchtigen. Im Winter 2002/03 sind die Weidelgräser schlechter verdaulich als die blattrreichen Rapsformen; offenbar spielen in diesem Jahr für die DOM andere Faktoren, wie Pilzbefall, eine Rolle. Den geringsten Stängelanteil der Rapsformen weist in allen Jahren und zu allen Ernteterminen der Winterraps auf, gefolgt vom Sommerraps, Weidetyp. Sommerraps, Schnitttyp, erreicht in der Mehrzahl der Fälle die signifikant niedrigsten Blatterträge der Rapsformen, vgl. Abb. 19. Diese Reihenfolge ist auch auf die DOM übertragbar und somit hat für die Unterschiede zwischen den *Brassicaceen* offenbar das Blatt/Stängel-Verhältnis und damit der Anteil der Gerüstsubstanzen eine entscheidende Bedeutung. Die Konzentrationen an NDF, ADF und ADL beim Sommerraps, Schnitttyp, liegen deutlich höher als bei den anderen *Brassicaceen*, was in dem hohen Stängelanteil dieser Art begründet ist. Auch BECKHOFF (1976) und BECKHOFF & POTTHAST (1981) finden einen Einfluss des Blatt/Stängel-Verhältnisses auf die Energiedichte bzw. die DOM; in ihren Untersuchungen an Sommer- und Winterrapssilage weist die Winterrapssilage, bedingt durch den geringeren Stängelanteil, weniger XF und dadurch eine deutlich höhere Energiedichte auf. BERENDONK (1982b) findet Korrelationskoeffizienten zwischen der DOM einerseits und dem XF-Gehalt von Blatt, Stängel und Gesamtpflanze andererseits von $r = -0,23$, $r = -0,93$ bzw. $r = -0,88$; danach ist die DOM weitgehend abhängig vom XF-Gehalt des Stängels und vom Stängelanteil. Im Vergleich der Rapsformen gilt offenbar, dass mit zunehmendem Blattanteil sowohl die XP-Konzentration als auch die DOM zunehmen und die XF-Konzentration abnimmt (BERENDONK 1982b). Die höheren Konzentrationen an ADF und ADL – insbesondere in den Wintern 2001/02 und 2002/03 – des stängelreichen Sommerrapstyps gegenüber den Weidelgräsern spiegeln sich in deren höherer DOM wider. Das ältere Material des Einjährigen Weidelgrases unterscheidet sich in den Wintern 2001/02 und 2003/04, bezogen auf den Erntetermin, nur gering von dem Jüngeren. Im Winter 2002/03 sinkt die DOM dieser Art mit fortschreitendem Erntetermin, wobei mit dieser Entwicklung neben den Gerüstsubstanzen offenbar weitere Faktoren in Zusammenhang stehen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch ISSELSTEIN (1994) und THEOBALD (2002), die spätreife Sorten von *Lolium perenne* untersuchen, welche auch bei spätem Nutzungstermin nur geringe Stängelanteile aufweisen, wodurch die Bildung von unverdaulichen Gerüstsubstanzen folglich langsamer verläuft. Auch bei dem hier untersuchten Einjährigen Weidelgras handelt es sich

um eine spätreife Sorte, was die relativ geringen Unterschiede zwischen den Weidelgrasarten, betrachtet über die Saat- und Erntetermine, erklären könnte. Insbesondere bei früher Aussaat ist das Einjährige Weidelgras schlechter verdaulich als das Welsche Weidelgras, was v. a. im Winter 2002/03 zum Ausdruck kommt und offenbar nicht ausschließlich auf die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen zurückgeführt werden kann. Im Winter 2003/04 werden zwar von den *Poaceen* deutlich höhere NDF-Konzentrationen als bei den *Brassicaceen* erreicht, bezogen auf ADF und ADL sind die Unterschiede jedoch gering, was auch für die DOM zutrifft. Die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen beim Ausfallgetreide sind mit denen des Sommerraps, Schnitttyp, vergleichbar; die deutlich niedrigere DOM des Getreides im Winter 2002/03 ist offenbar auf andere Faktoren, wie eine Pilzinfektion, zurückzuführen, da in diesem Jahr die höchsten Konzentrationen an ADL nicht bei dieser Art, sondern beim stängelreichen Sommerraps erreicht werden. Im Winter 2003/04 sind die Unterschiede in der DOM zwischen *Brassicaceen* und *Poaceen* weniger deutlich, da die *Poaceen* eine relativ hohe DOM aufweisen, so dass selbst das Ausfallgetreide Werte von > 70% erreicht. In diesem Jahr liegen auch die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen auf einem relativ niedrigen Niveau. In keinem Jahr wird, unabhängig von den Bewirtschaftungsmaßnahmen, die für Mutterkühe geforderte DOM von 50% unterschritten, so dass alle Zwischenfrüchte im Hinblick auf deren DOM ein adäquates Grundfutter liefern. Die Interaktionen Frucht $\times$ Saattermin sowie Frucht $\times$ Erntetermin sind – bezogen auf die DOM – ebenfalls in allen Untersuchungsjahren gesichert, vgl. Anhangtab. 19, da zum einen v. a. die *Poaceen* bei spätem Saattermin eine höhere DOM erreichen, während die Herbstrübe bei früher Aussaat besser verdaulich ist und zum anderen bei den *Poaceen* die DOM im Laufe des Winters geringer wird, während bei den *Brassicaceen* keine bis positive Veränderungen mit fortschreitendem Erntetermin zu beobachten sind, vgl. Abb. 4 u. Anhangtab. 20-22. Im niederschlagsreichen Winter 2002/03 kommt es auch zur Interaktion Saattermin $\times$ Erntetermin, da unter diesen Witterungsbedingungen ein früher Saattermin bei den *Poaceen* zu einem besonders deutlichen Rückgang der DOM im Winter führt. Offenbar kommt in diesem niederschlagsreichen Winter dem physiologischen Alter der Pflanzen zu Beginn des Winters eine besondere Bedeutung zu, wodurch die DOM im Mittel aller Früchte beim frühen Saattermin im Laufe des Winters sinkt. Beim zweiten Saattermin hat der Anstieg der DOM bei den *Brassicaceen* größeren Einfluss, so dass diese auch im Mittel aller Früchte mit fortschreitendem Erntetermin ansteigt. Winterraps erzielt insbesondere bei früher Aussaat eine höhere DOM als Sommerraps, Weidetyp, vgl. Anhangtab. 20-22. Sommerraps reagiert stärker auf die Saatzeit als Winterraps (BERENDONK 1982a); Langtag und warme Witterung

fördern sein Längenwachstum, beschleunigen die generative und hemmen die vegetative Entwicklung (BRETSCHNEIDER-HERRMANN & SCHUSTER 1967). Dadurch weisen Sommerrapsorten stets – jedoch besonders bei früher Aussaat – einen geringeren Blattanteil am Gesamtertrag auf als Winterrapsorten, vgl. Abb. 19. Die Wechselwirkung Frucht $\times$ Saattermin kommt zustande, da die DOM der *Poaceen* bei später Aussaat auf einem signifikant höheren Niveau liegt als bei der Aussaat Ende Juli; dies trifft – betrachtet über die Erntetermine – meist auch für die Rapsformen zu. Bei diesen Arten wirkt sich ein früher Saattermin offenbar positiv auf den Stängelanteil und damit auf die Konzentration an Gerüstsubstanzen aus. Die höhere DOM der Rapsformen bei der Aussaat Mitte August im Vergleich zum frühen Saattermin steht im Einklang mit der Ertragsstruktur, vgl. Abb. 19; die früh gesäten Varianten haben in der Regel einen geringeren Blattanteil als die spät gesäten Varianten. Die Herbstrübe dagegen ist bei früher Aussaat besser verdaulich als beim späten Saattermin; zwar sinkt auch bei dieser Art der Blattanteil beim frühen Saattermin, vgl. Abb. 19, jedoch zugunsten des Rübenkörpers, der hochverdaulich ist. In Untersuchungen von MATCHES (1979), COLLINS & BALASKO (1981) und WOLF (2002) weist das jüngere Pflanzenmaterial von *Poaceen* später Vornutzung höhere Verdaulichkeiten bzw. Energiedichten auf als das entsprechend ältere Material. Auch in dieser Untersuchung werden die niedrigsten Verdaulichkeiten bei den *Poaceen* meist bei früher Aussaat und später Ernte erreicht, wobei der Einfluss des Erntetermins offenbar größer ist als der des Saattermins. Auf die Konzentration an Gerüstsubstanzen hat nach OPITZ v. BOBERFELD (1994a) neben dem Blatt/Stängel-Verhältnis auch das Entwicklungsstadium Einfluss; in der Vegetationsperiode nimmt die ADF-Konzentration täglich um etwa 0,2% zu. Mit fortschreitendem Winter wird die DOM der *Poaceen* geringer (OCUMPAUGH & MATCHES 1977, COLLINS & BALASKO 1981, HITZ & RUSSELL 1998, WOLF 2002), was sich z. T. mit dem steigenden Anteil von Gerüstsubstanzen erklären lässt (OPITZ v. BOBERFELD 1994b, 1996). WOLF (2002) findet eine enge Korrelation zwischen Energiedichte und ADL bei verschiedenen Gräsern, die jedoch hier nicht festzustellen ist, vgl. Tab. 6-7. Auch AERTS et al. (1977) und MORRISON (1980) schreiben dem Lignin einen bedeutenden Einfluss auf die DOM zu. Obwohl in allen Jahren die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen ansteigen, ist eine Abnahme der DOM bei den *Poaceen* nur im Winter 2002/03 gesichert; im Winter 2003/04 fällt die DOM nur beim Ausfallgetreide – nach einem Anstieg zum zweiten Erntetermin – signifikant ab. Offenbar haben bei den *Poaceen* weitere Faktoren Einfluss auf die DOM. Nach POWELL et al. (1967) geht die Konzentration an Reserve-Kohlenhydraten von einem Maximum zu Beginn des Winters auf ein Minimum bis zum folgenden Frühjahr zurück und es kommt vermehrt zum

Absterben von Gewebeteilen, welche sich im Vergleich zu lebendem Material durch eine deutlich geringere DOM auszeichnen (ARCHER & DECKER 1977); für die Qualität des toten Materials ist somit offenbar der Einfluss der Witterung von Bedeutung, da Inhaltsstoffe, die nicht verlagert werden, nach dem Absterben des Gewebes dem Abbau – insbesondere durch Mikroorganismen – unterliegen (YANG et al. 1998). Im Falle der *Poaceen* sind neben dem Absterben von Pflanzenteilen (ARCHER & DECKER 1977, WOLF 2002) mit fortschreitendem Winter offenbar auch Verlagerungsprozesse von Reserve-Kohlenhydraten in die Halmbasis, Rhizome und Wurzeln für sinkende Energiedichten bzw. Verdaulichkeiten verantwortlich (BROWN et al. 1963, WOLF 2002). Auch die Konzentration an wasserlöslichen Kohlenhydraten (= WLK), die nach BALASKO (1977) eng mit der *in vitro*-Verdaulichkeit im Winter korreliert ($r = 0,81$), wird wesentlich von der Witterung beeinflusst. Bei hoher Einstrahlung ist die Assimilation hoch. Ist es gleichzeitig kalt, erfolgt der Umsatz in energiereiche Phosphate oder Metabolite nur langsam, so dass es zu einer Anreicherung der WLK-Fraktion kommt (LAWRENCE et al. 1973, THOMAS & NORRIS 1979). Bei milder Winterwitterung und gleichzeitig geringer Einstrahlung werden dagegen in der Summe mehr Kohlenhydrate (= KH) dissimiliert als assimiliert (THOMAS & NORRIS 1979). Für die vergleichsweise niedrige DOM der *Poaceen* zu Beginn des Winters 2001/02 könnte die Trockenheit in diesem Jahr ursächlich sein, die das Auflaufen der Saat erschwert hat, was sich auch in den niedrigen Erträgen der Novemberernte widerspiegelt, vgl. ECHTERNACHT (2004) und Abb. 3. Die DOM verändert sich im Laufe des Winters – abhängig von den Pflanzenarten und den Witterungsbedingungen – unterschiedlich. Bei den Rapsformen zeigen sich geringe bis positive Veränderungen der DOM während des Winters. Die ADL-Konzentration steigt bei den Rapsformen mit fortschreitendem Erntetermin an, während die Konzentrationen an NDF und ADF annähernd konstant bleiben, vgl. Anhangtab. 33-44; lediglich im Winter 2001/02 kommt es zum dritten Erntetermin zu einem signifikanten Anstieg auch dieser beiden Gerüstsubstanzen, was sich in einer geringen DOM niederschlägt. Dieser Anstieg der Gerüstsubstanzen könnte mit der langanhaltenden Schneebedeckung in Zusammenhang stehen, wodurch die Stützfunktion des Stängels verbessert wird. Bedingt durch die Schneeeauflage sind im Januar 2001/02 keine intakten grünen Blätter mehr vorhanden, sondern ausschließlich Stängel und totes Pflanzenmaterial, das dem mikrobiellen Abbau unterliegt, wodurch sich Gerüstsubstanzen anreichern, vgl. Abb. 5-7. Die DOM der Herbstrübe steigt nur im Winter 2002/03 signifikant an, während sie in den beiden anderen Untersuchungsjahren ein annähernd konstantes Niveau beibehält. Im Gegensatz dazu reagieren die Gräser im niederschlagsreichen Winter 2002/03 mit einem deutlichen Rückgang der DOM, die in den

Wintern 2001/02 und 2003/04 weniger stark variiert, vgl. Anhangtab. 20-22. Auch JUNG et al. (1986) stellen fest, dass die DOM von *Brassicaceen* hoch ist und dieses Niveau über einen langen Zeitraum hält, wodurch diese Arten nutzungselastisch sind. Die *Brassicaceen* erreichen ihre höchste DOM meist im Januar, während bei den *Poaceen* die DOM mit späterem Erntetermin über die Jahre gerechnet abnimmt, wobei dieser Effekt im Winter 2002/03 besonders deutlich wird. Auch LASER (1999) und THEOBALD (2002) stellen in ihren Untersuchungen an *Festuco-Cynosuretum*- bzw. *Festuco-Brometea*-Arten bei späteren Ernteterminen und damit verbundenen längeren Wachstumszeiten deutlich geringere Energiedichten fest. In Untersuchungen von BERENDONK (1982b) nimmt die DOM der Rapsformen mit späterem Erntetermin signifikant zu, was im Winter 2003/04 in dieser Untersuchung ebenfalls beobachtet werden kann. SHELDRIK & LAVENDER (1981) und SHELDRIK et al. (1981) betonen für Winterraps die relativ geringe Veränderung des Futterwertes mit fortschreitender Vegetationszeit und finden zum Zeitpunkt des Ertragsmaximums Ende November bis Anfang Dezember ein Maximum der DOM. Der starke Anstieg der Gerüstsubstanzen im Januar 2001/02 ist offenbar aufgrund der langanhaltenden Schneebedeckung witterungsbedingt. Zum Teil ist auch ein Rückgang der Gerüstsubstanzen bei den *Brassicaceen* im Laufe des Winters zu beobachten, der möglicherweise auf einen reduzierten XF-Gehalt im Stängel, aufgrund der positiven Korrelation von Temperatur und XF, zurückzuführen ist (BERENDONK 1982b). DEINUM (1966) erklärt diese Beobachtung damit, dass aufgrund reduzierter Transpiration bei sinkenden Temperaturen die Ausbildung der Gefäßbündel eingeschränkt ist. Bei der Herbstrübe verändert sich die Zusammensetzung der Zellwand während der Vegetationsperiode. Die Fraktionen NDF und ADF nehmen zum zweiten Erntetermin hin ab, um danach – z. T. stark – anzusteigen; die ADL-Konzentration dagegen ist meist zum zweiten Erntetermin am höchsten und fällt zur Januar-Ernte wieder ab, vgl. Anhangtab. 33-44. Im Winter 2002/03 führt ein kontinuierlicher Rückgang der ADL-Konzentration offenbar zu einem Anstieg der DOM bei der Herbstrübe. HOFFMANN et al. (1972a) untersuchen 10 Futtermittel aus der Gruppe der Knollen- und Wurzelfrüchte und stellen fest, dass bei dieser Futtermittelgruppe der Gehalt an leicht löslichen bzw. leicht hydrolysierbaren KH überwiegt, was sich auch in dem Wert für die NfE-Fraktion (= 66-86%) widerspiegelt. Der Cellulose-Gehalt von Futter- und Zuckerrüben entspricht in dieser Untersuchung weitgehend der XF-Konzentration; die Ligninwerte bei dieser Gruppe sind von untergeordneter Bedeutung und analytisch nur schlecht reproduzierbar, woraus diese Autoren schließen, dass sich keine Beziehungen zwischen DOM und dem Gehalt an Gerüstsubstanzen ergeben. Diese Vermutung kann in dieser Untersuchung nicht bestätigt werden, da die

Tab. 5: Korrelationen zwischen dem Ertrag und Merkmalen der Futterqualität bei der **Herbststrübe** (n= 18)

	Gb	DOM	NEL	XP	P/E	NDF	ADF	ADL	GSL	Ergosterol
Ertrag										
2001/02	0,54*	0,22	0,41	-0,77**	-0,80**	-0,08	0,01	-0,25	0,34	-0,26
2002/03	-0,24	-0,10	-0,15	0,46	0,44	-0,07	0,10	0,36	-0,33	0,16
2003/04	0,66**	0,51*	0,59**	-0,78**	-0,69**	-0,14	-0,23	-0,32	0,47	-0,37
Gb										
2001/02	0,58*		0,69**	-0,58*	-0,69**	-0,35	-0,30	-0,05	0,57*	-0,10
2002/03	0,95**		0,98**	-0,47*	-0,65**	0,18	-0,22	-0,71**	0,16	0,52*
2003/04	0,92**		0,97**	-0,68**	-0,89**	-0,22	-0,30	-0,33	0,56*	-0,37
DOM										
2001/02		0,97**		-0,06	-0,30	-0,08	-0,01	0,53*	0,22	0,21
2002/03		0,99**		-0,16	-0,37	0,34	-0,09	-0,64**	0,12	0,62**
2003/04		0,98**		-0,47*	-0,70**	-0,01	-0,07	-0,08	0,48*	-0,13
NEL										
2001/02			0,97**	-0,30	-0,52*	-0,19	-0,09	0,43	0,36	0,11
2002/03			0,99**	-0,29	-0,49*	0,27	-0,16	-0,67**	0,13	0,59*
2003/04			0,98**	-0,63**	-0,84**	-0,15	-0,22	-0,20	0,52*	-0,28
XP										
2001/02				0,97**	0,97**	0,34	0,23	0,27	-0,49*	0,26
2002/03				0,98**	0,98**	0,37	0,42	0,42	-0,15	0,11
2003/04				0,89**	0,89**	0,46	0,55*	0,35	-0,38	0,57*
P/E										
2001/02					0,97**	0,36	0,23	0,14	-0,53*	0,21
2002/03					0,98**	0,28	0,41	0,54*	-0,17	-0,03
2003/04					0,89**	0,36	0,45	0,44	-0,47	0,50*
NDF										
2001/02					0,84**	0,84**	0,84**	0,17	-0,85**	0,54*
2002/03					0,86**	0,86**	0,86**	-0,38	0,29	0,43
2003/04					0,93**	0,93**	0,93**	0,10	-0,37	0,59*
ADF										
2001/02					0,84**	0,84**	0,84**	-0,07	-0,77**	0,47*
2002/03					0,86**	0,86**	0,86**	-0,11	0,19	0,24
2003/04					0,93**	0,93**	0,93**	0,27	-0,39	0,69**
ADL										
2001/02					0,84**	0,84**	0,84**	0,17	-0,85**	0,54*
2002/03					0,86**	0,86**	0,86**	-0,38	0,29	0,43
2003/04					0,93**	0,93**	0,93**	0,10	-0,37	0,59*
Glucosinolate										
2001/02					0,84**	0,84**	0,84**	-0,07	-0,77**	0,47*
2002/03					0,86**	0,86**	0,86**	-0,11	0,19	0,24
2003/04					0,93**	0,93**	0,93**	0,27	-0,39	0,69**
Ergosterol										
2001/02					0,84**	0,84**	0,84**	0,17	-0,85**	0,54*
2002/03					0,86**	0,86**	0,86**	-0,38	0,29	0,43
2003/04					0,93**	0,93**	0,93**	0,10	-0,37	0,59*

Tab. 6: Korrelationen zwischen dem Ertrag und Merkmalen der Futterqualität beim **Einjährigen Weidelgras und Welschen Weidelgras** (n= 36)

	Gb	DOM	NEL	XP	P/E	NDF	ADF	ADL	Ergosterol
Ertrag									
2001/02	0,13	0,01	0,14	-0,53**	-0,57**	-0,68**	-0,33	-0,21	-0,48**
2002/03	0,25	0,17	0,22	-0,53**	-0,48**	-0,43**	-0,36*	-0,17	-0,40*
2003/04	0,18	-0,11	0,10	-0,57**	-0,51**	-0,34*	0,03	-0,53**	-0,24
	2001/02	0,97**	0,99**	0,09	-0,59**	-0,45**	-0,05	-0,25	-0,38*
Gb	2002/03	0,96**	0,98**	-0,55**	-0,79**	-0,84**	-0,85**	-0,85**	-0,78**
	2003/04	0,85**	0,92**	-0,32	-0,61**	-0,24	-0,34*	-0,13	-0,22
	DOM								
	2001/02	0,98**	0,98**	0,30	-0,40*	-0,40*	-0,06	-0,27	-0,33
	2002/03	0,99**	0,99**	-0,34*	-0,63**	-0,77**	-0,77**	-0,85**	-0,70**
	2003/04	0,91**	0,91**	0,11	-0,11	-0,03	-0,34*	0,12	-0,14
	NEL								
	2001/02	0,16	0,16	-0,54**	-0,50**	-0,12	-0,12	-0,32	-0,43**
	2002/03	-0,43**	-0,43**	-0,70**	-0,80**	-0,81**	-0,81**	-0,86**	-0,73**
	2003/04	-0,15	-0,15	-0,41*	-0,38*	-0,51**	-0,51**	-0,21	-0,34*
	XP								
	2001/02	0,74**	0,74**						
	2002/03	0,94**	0,94**						
	2003/04	0,79**	0,79**						
	P/E								
	2001/02	0,50**	0,50**						
	2002/03	0,77**	0,77**						
	2003/04	0,47**	0,47**						
	NDF								
	2001/02	0,56**	0,56**						
	2002/03	0,97**	0,97**						
	2003/04	0,73**	0,73**						
	ADF								
	2001/02	0,79**	0,79**						
	2002/03	0,89**	0,89**						
	2003/04	0,63**	0,63**						
	ADL								
	2001/02	0,71**	0,71**						
	2002/03	0,85**	0,85**						
	2003/04	0,72**	0,72**						

Beziehung zwischen diesen beiden Faktoren offenbar die Ursache für Unterschiede in der DOM verschiedener *Brassicaceen* darstellt. Die zunehmende DOM im Laufe des Winters bei gleichzeitig unverändertem bzw. steigendem Zellwandanteil lässt jedoch vermuten, dass unterschiedliche Anteile an Gerüstsubstanzen bzw. Blatt/Stängel-Verhältnisse zwar die differierenden Verdaulichkeiten zwischen den *Brassicaceen* erklären, für die Veränderungen der DOM während der Vegetationszeit jedoch auch andere Faktoren entscheidend sind. Da mit fortschreitendem Winter der Anteil toter Blätter zunimmt, vgl. Abb. 19, gleichzeitig jedoch die Wachstumsraten geringer werden, ist bei zunehmender Seneszenz mit einem stärkeren mikrobiellem Abbau und dadurch mit höheren Konzentrationen der Gerüstsubstanzen ADF und ADL im Gesamtaufwuchs zu rechnen (WOLF 2002). Nach WOLF (2002) korrelieren ADF und ADL sowie ADF und Energiedichte kaum, wohingegen die Energiedichte von der Lignin-Konzentration eine deutliche Abhängigkeit aufweist. In der vorliegenden Untersuchung bestehen bei den *Poaceen* enge Beziehungen zwischen allen Gerüstsubstanzen; bei den *Brassicaceen* sind v. a. die Korrelationen zwischen NDF und ADF gesichert, während die Beziehungen zur ADL-Fraktion heterogen sind, vgl. Tab. 3-7. Nach SÜDEKUM (2001) ist Lignin über Quervernetzungen mit Hemicellulosen verbunden und beeinträchtigt damit auch die Verdauung dieser Zellwandfraktion. BEN-GHEDALIA et al. (1995) bestimmen die monomere Zusammensetzung und *in vitro*-Verdaulichkeit der Zellwand-Kohlenhydrate von Weizenganzpflanzen, Blättern, Ähren und Halmen und können die Depression in der Zellwand-Verdaulichkeit der Xylanfraktion der Hemicellulosen und der Lignifizierung der Hemicellulosen zuordnen. Da nach JUNG (1989) Lignin eine kovalente Bindung mit Hemicellulose, nicht aber mit Cellulose, eingeht, liegt die Vermutung nahe, dass die DOM von Hemicellulose durch die Lignifizierung stärker beeinträchtigt wird als die DOM der Cellulose. FORD (1978) stellt fest, dass die DOM der Hemicellulose nach einer Delignifizierung von Gras stärker ansteigt als die von Cellulose. Obwohl eine negative Beziehung zwischen Lignin-Konzentration und DOM besteht, folgert JUNG (1989), dass die räumliche Anordnung des gebundenen Lignins entscheidender ist, was die geringe bzw. positive Veränderung der DOM im Laufe des Winters bei den *Brassicaceen* trotz zunehmender seneszenzbedingter Lignifizierung erklären würde. Im Gegensatz zu den *Poaceen* besteht die Zellwand der *Brassicaceen* hauptsächlich aus Cellulose, vgl. Anhangtab. 33-40; auch ALÇIÇEK et al. (1994) finden in ihren Untersuchungen an Grünraps vernachlässigbar wenig Hemicellulose und wenig Lignin. Möglicherweise ist dies ein Grund dafür, dass der Futterwert der *Poaceen* mit zunehmender Seneszenz stärker beeinträchtigt wird als der Futterwert von *Brassicaceen*. Die Korrelationen zwischen DOM einerseits und

NDF sowie ADF andererseits bei den Rapsformen sind stets negativ und meist gesichert, vgl. Tab. 3-4. Zwischen DOM und ADL hingegen lassen sich, über die Jahre betrachtet, keine eindeutigen Beziehungen ableiten; offenbar ist für die Veränderung der DOM im Laufe des Winters die Konzentration an NDF und ADF entscheidender als die Lignin-Konzentration, was die Vermutung unterstützen würde, dass Lignin insbesondere durch Bindung an Hemicellulosen auf die DOM wirkt.

5.1.2 Ergosterol-Konzentration

Obgleich sowohl Unterschiede in der DOM zwischen verschiedenen Pflanzenarten als auch Veränderungen der DOM im Laufe der Vegetationszeit häufig auf differierende Anteile sowie unterschiedliche Zusammensetzung der Zellwand – aufgrund von Seneszenz, mikrobiellem Abbau oder unterschiedlichen Blatt/Stängel-Verhältnissen – zurückzuführen sind, haben offenbar auch andere Faktoren auf die DOM Einfluss. Im Winter 2001/02 unterscheidet sich die DOM zwischen den Weidelgräsern einerseits und dem Ausfallgetreide andererseits nur im Januar bei früher Aussaat und zur Novemberernte beim späten Saattermin, vgl. Anhangtab. 19-22. Der Rückgang der DOM beim Ausfallgetreide, wenn die Aussaat Ende Juli erfolgt, ist auffallend, da dessen NDF-Konzentrationen zu diesem Termin zwar deutlich höher liegen als bei den Gräsern und sich die ADF-Konzentrationen nicht relevant unterscheiden, die ADL-Konzentrationen der Gräser dagegen jedoch signifikant höher sind als die des Ausfallgetreides. Erwartungsgemäß wäre folglich die DOM des Ausfallgetreides höher als die der Weidelgräser, da Hemicellulosen für den Wiederkäuer gut verdaulich sind. In diesem Winter kommt es jedoch insbesondere beim Ausfallgetreide zu hohen Ergosterol-Konzentrationen, vgl. Anhangtab. 23-26, die Ausdruck eines Pilzbefalls sind. Im Gegensatz zu den Weidelgräsern steigt die Ergosterol-Konzentration beim Getreide zum dritten Erntetermin signifikant an, wenn die Aussaat Ende Juli erfolgt. Die Ergosterol-Konzentrationen liegen bei den Weidelgräsern zwar ebenfalls auf einem hohen Niveau, offenbar können diese Pflanzen eine Infektion mit Pilzen im Winter 2001/02 jedoch besser tolerieren als das Getreide. Bei einer Verpilzung des Bestandes muss mit negativen Auswirkungen auf die Pansenflora gerechnet werden (MAIWORM et al. 1995, HÖLTERSHINKEN et al. 1996b, 2000). Der hohe Korrelationskoeffizient von $r = -0,8$ im Winter 2001/02 zwischen DOM und Ergosterol-Konzentration beim Ausfallgetreide, vgl. Tab. 7, bestätigt diese Vermutung. Die Beziehung zwischen Ergosterol-Konzentration und der Konzentration an Gerüstsubstanzen ist in den meisten Fällen gesichert. Die enge Korrelation zwischen Energie, ADF und ADL einerseits und Ergosterol andererseits steht mit der Dissimilation leicht zugänglicher Pflanzeninhaltsstoffe durch die Pilze in Zusammenhang (OPITZ v.

BOBERFELD 1996, WOLF 2002), wodurch es zu einer Anreicherung der Gerüstsubstanzen kommt. Die höheren XP-Konzentrationen beim Ausfallgetreide im ersten Winter können Ausdruck eines höheren Blattanteils sein. Durch Trockenheit ist das Auflaufen der Saat im Herbst bzw. Winter 2001/02 erschwert, wobei insbesondere bei den Rapsformen und den Weidelgräsern im November deutlich niedrigere Erträge erzielt werden als im niederschlagsreichen Winter 2002/03, vgl. ECHTERNACHT (2004). Dichte Aufwüchse, die durch Selbstbeschattung die Vitalität der Pflanzen mindern und zu vermehrtem Absterben von Pflanzenteilen führen, die im Bestand ein ungünstiges Mikroklima schaffen und bei Schneeeauflagen leicht zu Boden gedrückt werden, fördern das Pilzwachstum und bedingen höhere Ergosterol-Konzentrationen (WOLF 2002). Wichtigste Varianzursache für die Ergosterol-Konzentration ist in allen Untersuchungsjahren der Faktor Erntetermin, vgl. Anhangtab. 23. Der Anstieg der Verpilzung im Laufe des Winters ist zum einen witterungsbedingt und zum anderen seneszenzbedingt, da mit dem Alter der Narbe die Vitalität der Pflanzen abnimmt (WOLF 2002). Der Faktor Frucht hat nach dem Erntetermin den größten Einfluss auf die Ergosterol-Konzentration. Im Winter 2002/03 ist die signifikant niedrigere DOM der Weidelgräser im Vergleich zu den blatreichen Rapsformen auffallend, die in den anderen beiden Jahren auf gleichem Niveau liegen. Die Gräser enthalten zwar mehr Gerüstsubstanzen, vgl. Anhangtab. 33-44, was jedoch im dritten Winter in noch stärkerem Maße zutrifft, in dem die DOM von Winterraps, Sommerraps, Weidetyp, und den Weidelgräsern auf gleichem Niveau liegen, vgl. Anhangtab. 19-22. Im Winter 2002/03 sind folglich andere Faktoren für die niedrige DOM der Weidelgräser mitverantwortlich. Die – über die Saat- und Erntetermine betrachtet – geringe DOM ist v. a. auf den starken Rückgang beim frühen Saattermin zurückzuführen, der sich bei allen *Poaceen* vollzieht. Beim späten Saattermin ändert sich die DOM der *Poaceen* nicht signifikant, obwohl auch bei der Aussaat Mitte August die Konzentrationen aller Gerüstsubstanzen zum dritten Erntetermin hin steigen. In diesem Jahr sind die Ergosterol-Konzentrationen insbesondere der Weidelgräser bei langer Vegetationszeit besonders hoch. Das Welsche Weidelgras weist den geringsten Verpilzungsgrad auf und ist gleichzeitig innerhalb der *Poaceen* am besten verdaulich. Beim Ausfallgetreide ist die schlechtere DOM im Januar zwar noch deutlicher, aber offenbar auf den hohen Anteil an Gerüstsubstanzen zurückzuführen, da der Pilzbefall in diesem Winter nicht so stark ist. Diese Vermutung spiegelt sich auch in den Korrelationen wider; im ersten Winter ist die Beziehung zwischen DOM und Ergosterol-Konzentration beim Getreide am engsten, während sich im Winter 2002/03 zwischen DOM und den Gerüstsubstanzen NDF sowie ADF die höchsten Korrelationen ergeben, vgl. Tab. 7. Bei den Weidelgräsern ist die

Korrelation in diesem Winter zwischen DOM und allen Gerüstsubstanzen mit $r = -0,77$ bis $r = -0,85$ sowie zwischen DOM und Ergosterol-Konzentration mit $r = -0,70$ signifikant, vgl. Tab. 6. Auch KRÄLING (2005) findet enge Beziehungen zwischen DOM und den Gerüstsubstanzen sowie zwischen DOM und der Ergosterol-Konzentration. Die hohen Ergosterol-Konzentrationen der Gräser im Winter 2002/03 stehen möglicherweise mit den hohen TS-Erträgen dieser Arten in Zusammenhang; dichte Narben in Verbindung mit den hohen Niederschlägen begünstigen eine Infektion mit Pilzen. Der Pilzbefall steigt bei den *Poaceen* zwar auch bei später Aussaat mit fortschreitendem Erntetermin an, was jedoch auf die DOM keinen Einfluss hat. Offenbar ist bei einer späten Aussaat die Vitalität der Narbe durch die kürzere Vegetationszeit noch gut genug, um dem pilzlichen Druck standzuhalten. Obwohl auch im dritten Winter 2003/04 die Ergosterol-Konzentrationen der *Poaceen* signifikant ansteigen, ist hier bei den Weidelgräsern kein Rückgang der DOM zu beobachten. Offenbar reagieren die Pflanzen insbesondere dann mit einer geringeren DOM, wenn zusätzliche Stressfaktoren, wie extreme Witterung, die Kampfkraft des Bestandes schwächen. Die Ergosterol-Konzentrationen der *Brassicaceen* liegen stets auf einem deutlich niedrigeren Niveau als bei den *Poaceen*, vgl. Anhangtab. 23-26. Das Ausfallgetreide und die Gräser sind bei Schnee schnell bedeckt und trocknen bei Nässe wesentlich schlechter ab (ECHTERNACHT 2004). Der aufrechtere Wuchs der *Brassicaceen*, insbesondere des Sommerraps, Schnitttyp, im Vergleich zu den *Poaceen* hat nach HOFFMANN et al. (1994) und SCHLÖSSER (1997) eine verminderte Seneszenz zur Folge, was die Besiedlung durch pathogene und saprophytische Pilze reduziert. Dieser Wuchstyp lässt absterbende Blätter schneller abtrocknen, so dass Fäulnisprozesse langsamer ablaufen (BOEKER 1957, CORBETT 1957). Auch WOLF (2002) findet in seinen Untersuchungen mit Winterweidefutter deutlich niedrigere Ergosterol-Konzentrationen bei *Festuca arundinacea* im Vergleich zu *Lolium perenne* und führt dies mit auf den aufrechten Wuchs dieser Pflanze zurück. Auch der Anteil toter Blätter steht mit dem Verpilzungsgrad in Beziehung und ist beim Sommerraps, Schnitttyp, meist am geringsten, vgl. Abb. 19. Die höchsten Ergosterol-Konzentrationen werden in den toten Blättern erreicht, während der Pilzbefall der grünen Blätter und des Stängels vernachlässigbar gering ist, vgl. Anhangtab. 27. Dies erklärt, warum die höchsten Ergosterol-Konzentrationen innerhalb der *Brassicaceen* beim Winterraps und bei der Herbstrübe erreicht werden. Der relativ geringe Anteil toter Blattmasse bei der Rübe im Winter 2002/03 äußert sich dementsprechend in einem weniger starken Pilzbefall. *Brassicaceen* sind, verglichen mit den *Poaceen*, offenbar besser in der Lage, einer Infektion mit Pilzen länger standzuhalten. Insbesondere im niederschlagsreichen Winter 2002/03, in dem die Weidelgräser im Vergleich der Jahre die

höchsten Erträge aufweisen, vgl. Abb. 3, und die Narbe am dichtesten ist, herrscht offenbar ein günstiges Mikroklima für Pilze. Die spät gesäten, physiologisch jüngeren Varianten der *Poaceen* sind anscheinend widerstandsfähiger gegenüber einer Pilzinfektion als die Varianten des ersten Saattermins, während dies bei den *Brassicaceen* umgekehrt ist. Für den signifikanten Anstieg der Spätsaatvarianten ist vermutlich ein höheres Blatt/Stängel-Verhältnis entscheidend. Der Anteil toter und abgestorbener Blätter nimmt insbesondere im Januar des ersten Winters einen großen Anteil ein, da bei dem geernteten Material nach der langen Schneeeauflage keine intakten grünen Blätter mehr vorhanden sind; zu diesem Zeitpunkt sind auch besonders hohe Ergosterol-Konzentrationen zu beobachten. Auch BANZHAF (2004) findet in ihren Untersuchungen – insbesondere bei *Lolium perenne* – im toten Pflanzenmaterial deutlich höhere Ergosterol-Konzentrationen als im grünen Blatt. Doch trotz bestehender Verpilzung wird die DOM der *Brassicaceen* nicht negativ beeinflusst, was vermuten lässt, dass hier auch andere Faktoren, wie sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, eine Rolle spielen.

5.1.3 Glucosinolat-Konzentration

Während differierende Verdaulichkeiten bei den *Brassicaceen* v. a. auf unterschiedliche Blatt/Stängel-Verhältnisse zurückzuführen sind, steht die Veränderung der DOM im Laufe der Vegetationszeit offenbar nicht in einem direkten Zusammenhang mit der Konzentration an Gerüstsubstanzen, da die Entwicklung dieser beiden Merkmale häufig gegensätzlich verläuft. Einige Autoren vermuten einen Einfluss sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe auf die DOM bzw. Energiedichte (ISSELSTEIN 1994, MAINZ 1995, THEOBALD 2002). Viele Kräuter enthalten sekundäre Inhaltsstoffe, die eine hemmende Wirkung auf die Pansenflora ausüben können. Eine reduzierte Gasbildung wird bei jungen *Plantago lanceolata*-Blättern aufgrund der antibakteriell wirkenden Iridoiden Aucubin und Catapol beobachtet (BOWERS & STAMP 1993), während nach WAGNER (1993) Gerbstoffe, Saponine und Flavonoide für eine Hemmung der Pansenmikroben verantwortlich sind. Möglicherweise besteht auch ein Zusammenhang zwischen den in *Brassicaceen* enthaltenen Glucosinolaten und der DOM. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen ist jedoch eine direkte Beziehung zwischen diesen beiden Zielgrößen nicht offensichtlich und es sind keine negativen Korrelationen gesichert, vgl. Tab. 3-5. Auch die partielle Korrelationsanalyse zeigt, dass die Glucosinolate keine direkte Wirkung auf die DOM der *Brassicaceen* haben. Wichtigste Varianzursache im Hinblick auf die Glucosinolat-Konzentration ist im ersten und letzten Winter der Faktor Frucht, wobei in diesen Untersuchungsjahren die Konzentrationen der Herbstrübe signifikant höher sind als bei den Rapsformen. Im Winter 2002/03 geht der größte Einfluss vom

Erntetermin aus, die Interaktion Frucht $\times$ Erntetermin ist ebenfalls in allen Jahren gesichert, vgl. Anhangtab. 28. Bei den blattreichen Rapsformen Winterraps und Sommerraps, Weidetyp, kommt es vom zweiten zum dritten Erntetermin stets zu einem signifikanten Anstieg der Glucosinolat-Konzentration, während die Unterschiede beim Sommerraps, Schnitttyp, meist nicht gesichert sind, vgl. Anhangtab. 29-31. Bei der Herbstrübe ist v. a. die starke Abnahme der Glucosinolate im Winter 2001/02 zur Januar-Ernte auffallend, was vermutlich auf eine Zerstörung der Zellstruktur (= Freisetzen der Myrosinase) durch den Abbau von Pflanzenmaterial zurückgeführt werden kann. In diesem Winter führt die langanhaltende Schneebedeckung dazu, dass im Januar neben der Stängelfraktion nur noch totes Material vorhanden ist, vgl. Abb. 19. ROTHE et al. (2004) stellen fest, dass die Glucosinolat-Konzentration des Stängels die des Blattes um das 10-fache übersteigt. Diese Aussage kann nach einem Vergleich mit der Ertragsstruktur, vgl. Abb. 19, nicht bestätigt werden, da hier der Stängelanteil v. a. von November bis Dezember ansteigt und anschließend annähernd konstant bleibt. Des Weiteren hat der stängelreiche Sommerraps, Schnitttyp, die niedrigsten Glucosinolat-Konzentrationen. Andere Autoren stellen in ihren Untersuchungen an *Brassicaceen* eine Zunahme der Glucosinolate während der Vegetationszeit fest und sehen dabei einen Zusammenhang mit Schädlings- oder Pilzbefall bzw. mit der Verletzung von Pflanzengewebe, wodurch das Eindringen pathogener Mikroorganismen erleichtert wird; diese toxische Wirkung der meisten Spaltprodukte der Glucosinolate auf Mikroorganismen ist für die Pflanze ein natürlicher Schutzmechanismus (BARTLET et al. 1999, MITHEN 2001). Bei einer Gegenüberstellung von Glucosinolat-Konzentration und Verpilzungsgrad ist festzustellen, dass die Pflanzen mit der höchsten Ergosterol-Konzentration stets die meisten Glucosinolate enthalten und der geringste Verpilzungsgrad mit niedrigen Glucosinolat-Konzentrationen einhergeht. Bei der Herbstrübe sind auch Parallelen zwischen Glucosinolaten und DOM sichtbar, da im Winter 2002/03 die höchste DOM und gleichzeitig die wenigsten Glucosinolate ermittelt werden; im Winter 2003/04 erreicht die Herbstrübe die höchste Glucosinolat-Konzentration und ist im Vergleich der Jahre am geringsten verdaulich. Aufgrund der partiellen Korrelationsanalyse lässt sich in dieser Untersuchung eine direkte Beziehung zwischen diesen beiden Faktoren jedoch ausschließen. Bei den blattreichen Rapsformen bewirkt offenbar ein erhöhter Verpilzungsgrad eine Zunahme der Glucosinolat-Konzentration, die möglicherweise dazu führt, dass hohe Ergosterol-Konzentrationen keine negativen Auswirkungen auf die DOM dieser Pflanzen haben. Beim Sommerraps, Schnitttyp, besteht im Winter 2001/02 eine signifikant negative Korrelation zwischen Ergosterol-Konzentration und DOM, in diesem Winter werden im Vergleich der Jahre auch die

niedrigsten Glucosinolat-Konzentrationen erreicht, was auf die Schneebedeckung bzw. den Abbau der Glucosinolate durch die freigesetzte Myrosinase zurückgeführt werden kann. Beim Winterraps kann der Rückgang der DOM im Winter 2001/02 ebenfalls mit dem hohen Pilzbefall und gleichzeitig geringer Glucosinolat-Konzentration in Zusammenhang stehen. Im Winter 2002/03 ist der Pilzdruck noch höher, die Konzentration an Glucosinolaten erreicht jedoch ebenfalls ihr Maximum, so dass es nicht zu einer Beeinträchtigung der DOM kommt. Dementsprechend sind im ersten Winter negative Korrelationen zwischen DOM und Ergosterol-Konzentration und im zweiten Winter positive Korrelationen sowohl zwischen DOM und Ergosterol-Konzentration als auch zwischen Glucosinolat- und Ergosterol-Konzentration festzustellen, vgl. Tab. 3-5. In der vorliegenden Untersuchung werden zwar z.T. hohe Glucosinolat-Konzentrationen erreicht, vgl. Anhangtab. 29-31, allerdings ist die Gefahr für die Weidetiere letztendlich gering, da aufgrund von XP-Überschuss, Strukturmangel sowie der Gefahr erhöhter Nitratakkumulation in der Pflanze, vgl. ECHTERNACHT (2004), *Brassicaceen* als alleinige Futtergrundlage weniger geeignet sind. Auch GUSTINE & JUNG (1985) empfehlen, *Brassica spec.* mit anderen Futtermitteln zu kombinieren, um das Potential gesundheitsschädigender Effekte zu minimieren.

5.2 Schätzmethoden-Vergleich

In Abb. 8 werden die Verdaulichkeiten, geschätzt mit dem **Hohenheimer Futterwerttest (= HFT)** und der *in vitro*-Methode nach **TILLEY & TERRY (1963)**, gegenübergestellt. Die Abstufung der verschiedenen Futtermittel, bezogen auf deren DOM, stimmt in den ersten beiden Untersuchungsjahren überein, während im Winter 2003/04 die DOM des Winterraps mit dem HFT im Gegensatz zu TILLEY & TERRY (1963) durchschnittlich höher eingeschätzt wird als die DOM der Herbstrübe; in diesem Winter weist die Herbstrübe im Gegensatz zu den ersten beiden Jahren etwas höhere Konzentrationen an NDF und ADF auf als der Winterraps. Im letzten Untersuchungsjahr liegen die Verdaulichkeiten aller untersuchten Arten, geschätzt mit dem HFT, auf annähernd gleichem Niveau, so dass es leicht zu einer Verschiebung der Reihenfolge kommen kann. Mit der Schätzmethode nach TILLEY & TERRY (1963) wird insbesondere die DOM der hochverdaulichen *Brassicaceen* Herbstrübe und Winterraps höher eingeschätzt als mit dem HFT, während beim Ausfallgetreide eine bessere Anpassung erreicht wird. Im Winter 2002/03 liegen auch die Schätzwerte für die DOM des Sommerraps, Schnitttyp, nahe der Winkelhalbierenden; in diesem Jahr erreichen auch die ADL-Konzentrationen bei dieser Art ein hohes Niveau; dies gilt v. a. für die Varianten des frühen Saattermins, die mehr Gerüstsubstanzen enthalten. FOREJTOVÁ et al. (2005) stellen die *in vivo* ermittelte DOM und die *in vitro* geschätzten Verdaulichkeiten gegenüber. Auf der

Basis von Heu als Futtermittelprobe werden keine Differenzen zwischen *in vivo*-Werten und der DOM nach TILLEY & TERRY (1963) festgestellt; die Schätzwerte mit ELOS sind geringer. Wird Silage untersucht, stimmen beide *in vitro*-Methoden gut überein; die *in vivo*-Werte liegen jedoch signifikant höher. Auch bei dem Vergleich zwischen HFT und TILLEY & TERRY (1963) hat die Art der untersuchten Futtermittel offenbar einen entscheidenden Einfluss auf die Übereinstimmung beider Methoden. Die reduzierte DOM nach TILLEY & TERRY (1963) im zweiten Winter gegenüber den anderen beiden Jahren könnte auch mit den geringeren Rohprotein-Konzentrationen im diesem Jahr, verglichen mit den anderen Jahren, in Zusammenhang stehen, da somit dem Abbau durch das Enzym Pepsin, der bei TILLEY & TERRY (1963) zusätzlich erfolgt, weniger Bedeutung zukommt. Abb. 20 zeigt, dass durch den Verzicht der Pepsin-HCl-Behandlung bei der *in vitro*-Methode nach TILLEY & TERRY (1963) die Verdaulichkeiten der Futtermittel stets niedriger eingeschätzt werden, wobei die Unterschiede bei den hochverdaulichen *Brassicaceen* deutlicher sind als beim Ausfallgetreide und den Varianten des Sommerraps, Schnitttyp, und des Einjährigen Weidelgrases, die höhere Konzentrationen an Gerüstsubstanzen enthalten. Beim Sommerraps, Schnitttyp, sind es die drei Varianten des zweiten Saattermins, welche nahe der Winkelhalbierenden liegen, während beim Einjährigen Weidelgras insbesondere die Schätzergebnisse bei der Variante des frühen Saattermins in Kombination mit dem dritten Erntetermin gut übereinstimmen.

Ein ähnliches Ergebnis wie die Gegenüberstellung von HFT und TILLEY & TERRY (1963) liefert der Vergleich von **HFT** mit der **enzymatischen Methode (= ELOS)**; hier sind die Differenzen jedoch deutlicher ausgeprägt. Abb. 9 zeigt, dass die Schätzwerte für die DOM nach der enzymatischen Methode (= ELOS) meist höher liegen als die Werte für die DOM, geschätzt mit dem HFT. Nur im Winter 2002/03 schneidet die Regressionsgerade die Winkelhalbierende, da insbesondere für das Ausfallgetreide die DOM mit ELOS geringer eingeschätzt wird. Die größten Differenzen zwischen den beiden Schätzmethoden bestehen auch hier bei der Herbstrübe, gefolgt vom Winterraps. Eine gleiche Reihenfolge der Pflanzen bezogen auf ihre DOM wird nur im Winter 2002/03 erreicht, im ersten und letzten Winter wird der Sommerraps, Schnitttyp, mit der enzymatischen Methode besser bewertet als das Einjährige Weidelgras; in diesen Untersuchungsjahren ist keine lineare Korrelation zwischen den beiden gegenübergestellten Methoden gegeben. Offenbar wird die DOM v. a. bei Pflanzen mit einem geringen Anteil an Gerüstsubstanzen mit ELOS höher eingeschätzt als mit dem HFT. Die Konzentrationen der Gerüstsubstanzen liegen im Winter 2003/04 insbesondere beim Sommerraps, Schnitttyp, auf einem relativ niedrigen Niveau und in diesem Jahr wird bei dieser Art, verglichen mit den anderen Jahren, auch die schlechteste Übereinstimmung beider

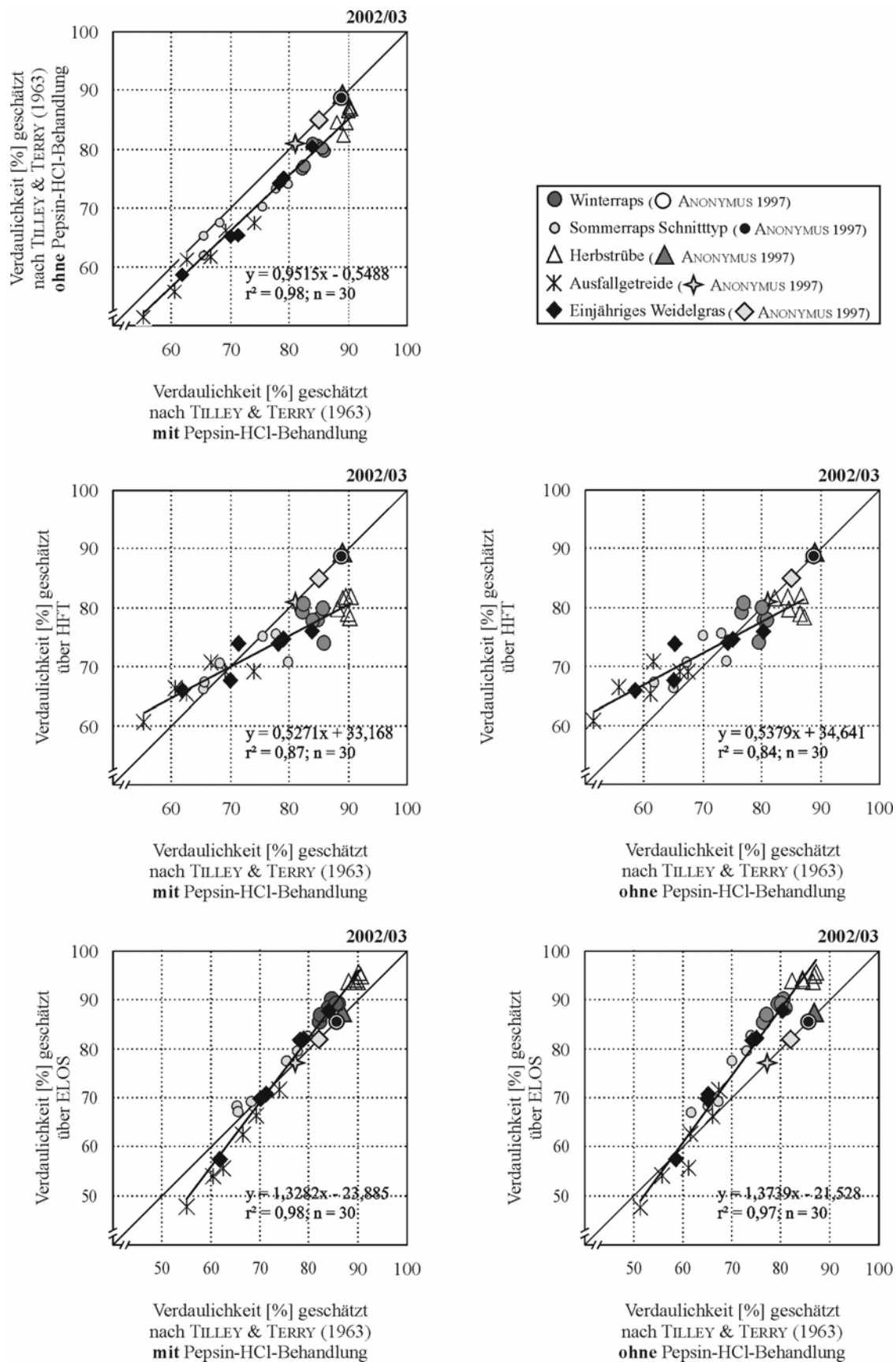


Abb. 20: Schätzung der Verdaulichkeit mit der *in vitro*-Methode nach TILLEY & TERRY (1963) mit und ohne Pepsin-HCl-Behandlung sowie Veränderung in der Anpassung zwischen dieser Methode und dem HFT bzw. ELOS

Methoden erzielt. BUGHRARA & SLEPER (1986) finden Korrelationen von $r = 0,89-0,97$ zwischen der DOM, geschätzt mit ELOS, und *in vivo*-Werten; der HFT liefert in ihren Untersuchungen ähnliche Schätzergebnisse wie ELOS. Auch ROUGHAN & HOLLAND (1977) erhalten Korrelationen von $r = 0,98$ zwischen ELOS und *in vivo*-Verdaulichkeit; sie folgern, dass die selben Faktoren, die die Cellulase-DOM limitieren auch die *in vivo*-DOM limitieren. SLEPER & ROUGHAN (1984) erkennen unter einem Lichtmikroskop, dass die Verdauung in der Cellulase-Lösung identisch abläuft wie die Verdauung im Pansensaft. Die Verdauung beginnt im Mesophyll, anschließend werden Epidermis und Phloem verdaut. Cuticula, Sklerenchym und Xylem werden in der Cellulase-Lösung nicht verdaut. Für die höheren Schätzwerte nach ELOS bzw. nach TILLEY & TERRY (1963) im Vergleich zum HFT können mehrere Erklärungsansätze herangezogen werden. Die höheren Verdaulichkeiten geschätzt über ELOS bzw. TILLEY & TERRY (1963) können in Zusammenhang mit der Pepsin-HCl-Behandlung stehen, die der Cellulase-Verdauung vorausgeht bzw. sich der Inkubation in Pansensaft anschließt. Auch in Untersuchungen von BUGHRARA & SLEPER (1986) liefert die Cellulase-Methode ohne vorige Pepsin-HCl-Behandlung die geringsten Schätzwerte für die DOM. AUFRÈRE & MICHALET-DOREAU (1988) schätzen die DOM mit ELOS nach zwei Methoden; in der ersten Analyse wird das Pflanzenmaterial in 1 N HCl inkubiert und bei der zweiten Methode wird die Salzsäure auf 0,1 N verdünnt, wonach insbesondere bei pentosanreichen Futtermitteln deutlich niedrigere Verdaulichkeiten geschätzt werden. Abb. 20 zeigt, wie sich die DOM, geschätzt nach TILLEY & TERRY (1963), verändert, wenn die zweite Stufe der Pepsin-HCl-Behandlung wegfällt und welche Auswirkungen sich im Hinblick auf die Anpassung zwischen dieser Methode und dem HFT bzw. ELOS ergeben. Für die beiden *in vitro*-Pansensaftmethoden ergibt sich nur eine geringfügige Verbesserung in der Übereinstimmung; insbesondere die hochverdaulichen *Brassicaceen* liegen nun näher an der Winkelhalbierenden. Das Ausfallgetreide und die XF-reichen Varianten des Weidelgrases und des Sommerraps, Schnitttyp, die beim Vergleich von HFT mit der konventionellen Methode nach TILLEY & TERRY (1963) die beste Anpassung erreichen, werden dagegen mit dem HFT höher eingeschätzt. Aufgrund der im Vergleich zu TILLEY & TERRY (1963) geringen Variationsbreite beim HFT kann der Wegfall der Pepsin-HCl-Behandlung die Anpassung beider Methoden nicht verbessern, da dies auf die Steigung der Regressionsgeraden nahezu keinen Einfluss hat. Bei der Gegenüberstellung von ELOS und TILLEY & TERRY (1963) weichen die Schätzwerte wie erwartet etwas deutlicher voneinander ab, wenn keine Pepsin-HCl-Behandlung erfolgt; nur die Varianten, die relativ viel Lignin enthalten, werden mit

ELOS etwas niedriger eingeschätzt. Die geringen Verdaulichkeiten, die mit dem HFT geschätzt werden, können auch in Verbindung mit der Umwandlung von Kohlenhydraten (= KH) stehen. Beim mikrobiellen Abbau XP-reicher Blätter wird ein Teil des entstehenden CO₂ durch die bei der Fermentation gebildeten Säuren gebunden (STEINGASS & MENKE 1986) bzw. ein Teil der KH für den Aufbau von Bakterieneiweiß genutzt. Diese KH erscheinen nicht als Gase und werden daher beim HFT nicht erfasst. Bei ELOS, wie auch bei TILLEY & TERRY (1963), werden diese KH jedoch gelöst und als *in vitro* verdaulich mitbestimmt, weshalb auch in Untersuchungen von DANIEL & OPITZ v. BOBERFELD (1988) mit dem HFT geringere Energiedichten geschätzt werden als mit ELOS und der Methode nach TILLEY & TERRY (1963). KH-reiche und XF-arme Rationen können leicht zu Störungen der normalen Pansenfunktion führen und sind mit größeren gärungsbedingten Energieverlusten verbunden (HOFFMANN et al. 1972b). Solche Energieverluste, die v. a. bei der Herbstrübe und beim Winterraps bedeutend sein können, werden bei ELOS nicht erfasst, was möglicherweise die hohen Schätzwerte für die DOM mit ELOS, verglichen mit dem HFT oder den DLG-Tabellenwerten, die *in vivo* ermittelt werden (ANONYMUS 1997b), erklärt, wobei Verdaulichkeiten von > 90% bei den hier untersuchten Winteraufwüchsen unrealistisch erscheinen. OPITZ v. BOBERFELD et al. (2003) finden bei der Gegenüberstellung der DOM, geschätzt mit dem HFT und ELOS, keine lineare Korrelation, was auf die hohe Konzentration an XF bis zu 40% sowie auf sekundäre Inhaltsstoffe zurückgeführt wird. OPITZ v. BOBERFELD et al. (2003) folgern, dass sowohl enzymatische als auch chemische Methoden zur Schätzung der DOM die spezifischen Effekte von Kräutern und hohen XF-Konzentrationen von *Poaceen* offenbar im Gegensatz zu *in vitro*-Verfahren mit Pansensaft nicht hinreichend reflektieren. Solche spezifischen Effekte – hervorgerufen z. B. durch Pilze oder Glucosinolate – könnten ursächlich für die im Vergleich zu den Verdaulichkeiten nach TILLEY & TERRY (1963) höheren Schätzwerte mit ELOS sein. Im Winter 2002/03 wird jedoch das Ausfallgetreide niedriger eingeschätzt, was offenbar mit den hohen ADL-Konzentrationen in Zusammenhang steht. Zwischen den in den *Brassicaceen* enthaltenen Glucosinolaten und der Gasbildung beim HFT bestehen in der vorliegenden Untersuchung jedoch keine signifikant negativen Korrelationen, vgl. Tab. 3-5. Möglicherweise kommt es bei den *Brassicaceen* durch den hohen Anteil an schnell fermentierbaren KH zu einer Depression der Zellwandverdauung (SÜDEKUM 2001), die bei ELOS nicht berücksichtigt wird. Die DOM der XF kann stark reduziert sein, wenn infolge zu hoher Gehalte an leicht löslichen KH im Futter in Verbindung mit einem Mangel an physikalischer Struktur der pH-Wert im Vormagen erniedrigt ist (ANONYMUS 1991). Die in den meisten Fällen relativ geringe Streuung zwischen den

Pflanzenarten, wenn die DOM mit dem HFT geschätzt wird, kommt offenbar durch die Anwendung der Regressionsgleichung zustande. Bei der Schätzung der Energiedichte wird auf die Anwendung einer gemeinsamen Schätzgleichung für alle Futtermittel verzichtet, vgl. Kap. 3.2.3; für die Schätzung der DOM kommt die Formel 41f zum Einsatz, die alle Futtermittelgruppen integriert, so dass es zu einer Überschätzung der energiearmen und Unterschätzung der energiereichen Futtermittel kommen kann. Die Unterschiede in der DOM der Rohnährstoffe in energiereichen und -armen Futtermitteln führen dazu, dass die „mittleren“ Regressionskoeffizienten bei Anwendung auf energiearme Futtermittel immer zu hoch liegen und umgekehrt. Zum Vergleich wird die DOM mit dem HFT über alternative Regressionsgleichungen geschätzt, vgl. Abb. 21, wobei die Formeln 40d und 43d speziell für Saftfutter und die Formeln 40f und 43f ebenfalls für alle Futtermittel empfohlen wird (MENKE & STEINGASS 1987). Abb. 21 zeigt, dass die Anpassung zwischen HFT und TILLEY & TERRY (1963) durch andere Regressionsgleichungen nicht verbessert wird. Es ist daher anzustreben, neue Regressionsgleichungen auf Basis verschiedener *Brassicaceen* zu entwickeln, da diese kohlenhydratreiche Futtermittelgruppe bei der Erstellung der Regressionsgleichungen nicht berücksichtigt werden (MENKE & STEINGASS 1987). Darüber hinaus kann auch die Verschiebung im Gärungsmuster zugunsten der Propionatbildung zur Unterschätzung energiereicher Futtermittel mit dem HFT beitragen, insofern damit eine Senkung der Methanverluste verbunden ist (MENKE & STEINGASS 1987). Je nach Futterart verschiebt sich das Fettsäuren-Muster im Pansen nach dem Abbau der KH zugunsten der einen oder der anderen Fettsäure. Stärke- und zuckerreiche Futtermittel führen zu einem Anstieg des Propionsäure- und Buttersäureanteils, während Cellulose das Fettsäuren-Muster zugunsten der Essigsäure verschiebt (KIRCHGESSNER 2004). Verschiedene Autoren zeigen, dass Futtermittel, bei denen vermehrt Propionat entsteht, eine geringere Gasproduktion verursachen als Futtermittel, durch die Acetat entsteht (BEEVER & MOULD 2000, WILLIAMS 2000). Die Schätzwerte nach ELOS liegen meist höher als die von der DLG (ANONYMUS 1997b) für die dementsprechenden Arten *in vivo* ermittelten Werte für die DOM. Insbesondere die blattrreichen hochverdaulichen *Brassicaceen* Winterraps und Herbstrübe erreichen nach ELOS eine höhere DOM, während diese Methode bei den *Poaceen* und dem Sommerraps, Schnitttyp, ähnliche Ergebnisse liefert wie die DLG (ANONYMUS 1997b). Dass die Verdaulichkeiten der hier als Winterfutter untersuchten Pflanzen höher sind als die Verdaulichkeiten aus der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997b) ist unwahrscheinlich. Es ist anzunehmen, dass das Pflanzenmaterial, das den DLG-Werten zugrunde liegt, aus Sommeraufwüchsen stammt und keine nennenswerten Ergosterol-Konzentrationen aufweist.

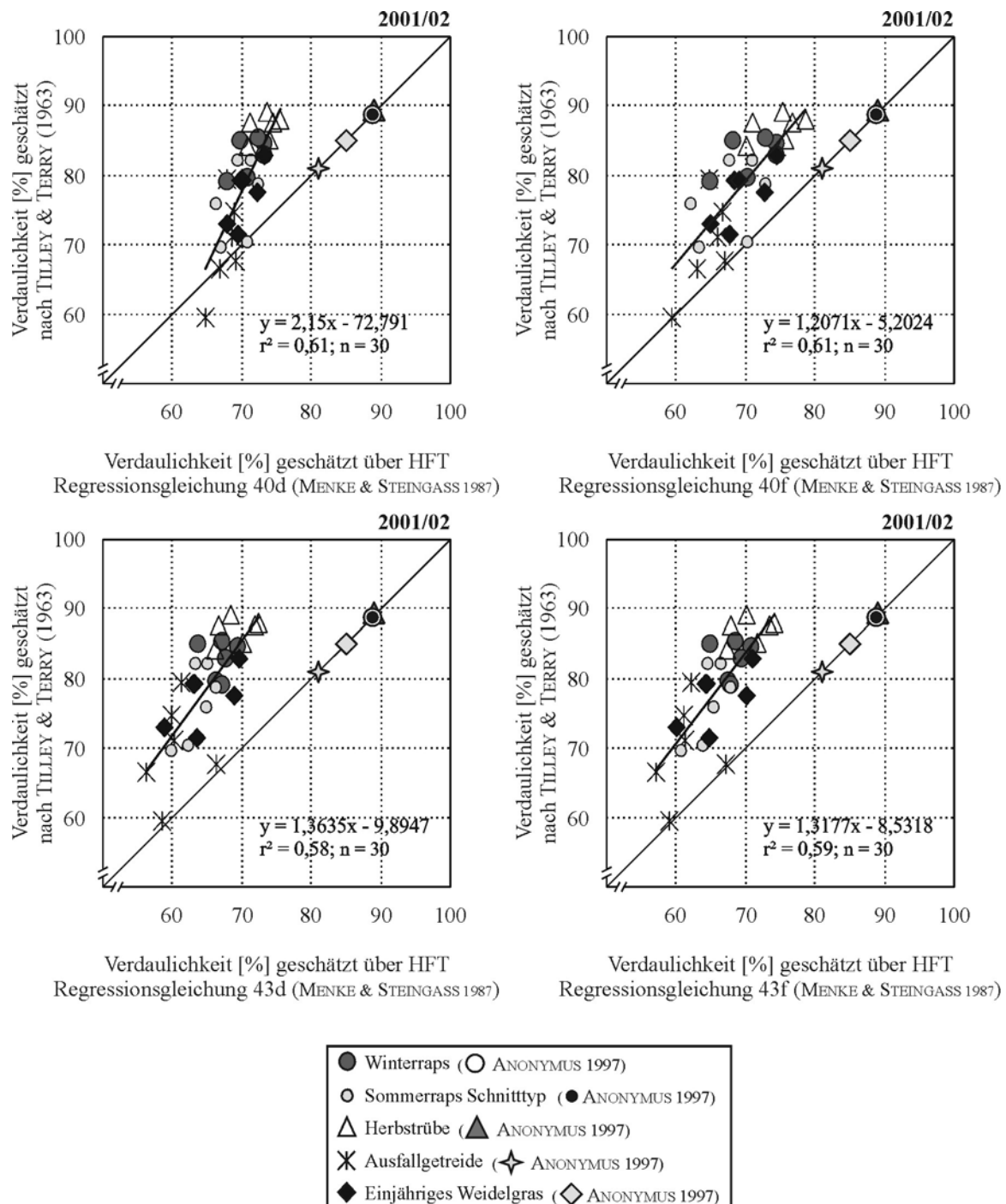


Abb. 21: Verdaulichkeit organischer Substanz, geschätzt nach TILLEY & TERRY (1963) und mit dem HFT anhand verschiedener **Regressionsgleichungen**

Die Verpülzung ist in der Vegetationsperiode deutlich niedriger als im Winter (OPITZ v. BOBERFELD 1996, WOLF 2002). Auch die XF-Konzentrationen der hier untersuchten Arten liegen höher. Im Winter 2002/03 wird die DOM der *Poaceen* und des Sommerraps, Schnitttyp, mit ELOS jedoch, verglichen mit den Werten aus dem HFT oder der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997b), teilweise geringer eingeschätzt, was offenbar mit der hohen Lignin-Konzentration bei diesen Früchten in diesem Winter in Zusammenhang steht. THEOBALD (2002) vermutet, dass ligninreiche XF durch Pansenmikroben leichter abgebaut

wird als durch Cellulase. Im Winter 2001/02 ist der Verpilzungsgrad beim Ausfallgetreide und im zweiten Winter auch beim Einjährigen Weidelgras besonders hoch, was offenbar dazu führt, dass die DOM nach ELOS im Vergleich zu den DLG-Werten (ANONYMUS 1997b) niedriger eingeschätzt wird. Auch der HFT liefert in den ersten beiden Wintern geringere Schätzwerte für die DOM als im Winter 2003/04, in dem die Ergosterol-Konzentrationen niedriger ausfallen. Da bei einer Pilzinfektion v. a. leicht zugängliche Pflanzeninhaltsstoffe dissimiliert werden, kann eine Anreicherung an Gerüstsubstanzen, vgl. Tab. 2, die geringeren Verdaulichkeiten hervorrufen; beim HFT ist auch eine direkte Wirkung auf die Pansenmikroben denkbar. Die Korrelationen zwischen Gasbildung und Gerüstsubstanzen sowie zwischen Gasbildung und Ergosterol-Konzentration sind bei den *Poaceen* stets negativ, jedoch nur teilweise gesichert, vgl. Tab. 6 und 7. Im Winter 2002/03 wird die Gasbildung beim Einjährigen Weidelgras durch die Gerüstsubstanzen und die Pilze deutlich negativ beeinflusst. Der hohe Verpilzungsgrad beim Weidelgras im zweiten Winter zum dritten Erntetermin äußert sich auch in hohen ADL-Konzentrationen, was offenbar zu der geringen DOM, geschätzt mit ELOS, führt; hier liegen die beiden Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden, vgl. Abb. 9. Auch im ersten Winter ist die Ergosterol-Konzentration beim Einjährigen Weidelgras zum dritten Erntetermin bei früher Aussaat relativ hoch und es wird eine ADL-Konzentration von 4% erreicht. Hier wird die DOM mit ELOS ebenfalls niedriger geschätzt, so dass dieser Punkt nahezu auf der Winkelhalbierenden liegt, vgl. Abb. 9. Die drei Punkte des Sommerraps, Schnitttyp, nahe der Winkelhalbierenden entsprechen den drei Varianten der frühen Aussaat, hier liegen die ADL-Konzentrationen signifikant höher als bei der Aussaat Mitte August. Bei der Herbstrübe ist der Einfluss der Gerüstsubstanzen auf die Gasbildung offenbar gering und auch zwischen Gasbildung und Glucosinolat-Konzentration bestehen keine deutlich negativen Korrelationen. Im ersten Jahr wird die Gasbildung bei den Rapsformen durch die Pilze beeinträchtigt, da offenbar in diesem Jahr aufgrund der langanhaltenden Schneebedeckung ein Großteil der Glucosinolate bereits abgebaut werden, vgl. Anhangtab. 28-31, deren Spaltprodukte toxisch auf pathogene und saprophytische Pilze wirken können (MITHEN 2001). Es kommt in diesem Jahr zwar zu einem signifikanten Anstieg aller Gerüstsubstanzen; für die Anpassung der beiden Methoden ist jedoch offenbar besonders die ADL-Konzentration entscheidend, da eine bessere Übereinstimmung nur beim Sommerraps, Schnitttyp, festzustellen ist, der v. a. bei früher Aussaat und Ernte im Dezember hohe Ligninwerte aufweist. BUGHRARA & SLEPER (1986) finden signifikant negative Korrelationen zwischen den Gerüstsubstanzen und der DOM, geschätzt mit der Cellulase-Methode, dem HFT und *in vivo*. Die höheren Schätzwerte für die

DOM bei der Herbstrübe und dem Winterraps können demzufolge auch mit dem geringen Stängelanteil dieser Arten in Zusammenhang stehen; in der Zellwand des Halmes wird im Vergleich zum Blatt mehr Lignin – bei gleichen oder sogar niedrigeren ADF-Konzentrationen – eingelagert (MORRISON 1980, DANIEL & OPITZ v. BOBERFELD 1988). Die Verdaulichkeiten, geschätzt mit dem HFT liegen generell unter den DLG-Werten (ANONYMUS 1997b), was realistisch erscheint, da es sich um Winterfutter handelt, das erwartungsgemäß weniger gut verdaulich ist als Sommeraufwüchse. Der XF-Gehalt in den von der DLG (ANONYMUS 1997b) untersuchten Futtermitteln ist stets niedriger als in den hier untersuchten Ackerpferch-Zwischenfrüchten.

Während der HFT, verglichen mit ELOS und TILLEY & TERRY (1963), insbesondere bei der Herbstrübe und dem Winterraps unterschiedliche Schätzergebnisse liefert, ergibt sich bei der Gegenüberstellung von **ELOS** und **TILLEY & TERRY (1963)** eine recht gute Übereinstimmung dieser beiden Methoden. Sowohl bei TILLEY & TERRY als auch bei ELOS findet eine saure Nach- bzw. Vorbehandlung mit Pepsin-Salzsäure statt, die offenbar für die höheren Verdaulichkeiten, verglichen mit dem HFT, mitverantwortlich ist. Durch den niedrigen pH-Wert wird die Verdauung der Proteine durch Pepsin erleichtert. Bei beiden Methoden wird nicht die Gasbildung gemessen, sondern es werden die *in vitro* fermentativ löslichen Inhaltsstoffe des Sym- und Apoplasten erfasst (DANIEL & OPITZ v. BOBERFELD 1988), weshalb zwischen diesen Methoden keine Differenzen bestehen, die die Gasbildung beeinflussen können. Die etwas höheren Werte nach ELOS stehen möglicherweise in Zusammenhang mit spezifischen Effekten sekundärer Inhaltsstoffe oder einer Pilzinfektion, auf welche das Enzym weniger stark reagiert als die Pansenmikroben bei der Methode nach TILLEY & TERRY (1963).

Bei der Gegenüberstellung der Energiedichten, geschätzt mit dem **HFT** und anhand der **Rohnährstoffe** aus der Weender Futtermittelanalyse, ergeben sich keine gesicherten Beziehungen zwischen diesen beiden Methoden. Selbst die Abstufung der fünf Pflanzenarten stimmt in keinem Untersuchungsjahr überein. Der Sommerraps, Schnitttyp, wird in allen Wintern überschätzt und erhält nach der chemischen Methode eine höhere Energiedichte als das Einjährige Weidelgras. Die Ursache liegt in den Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe, die in die Regressionsgleichung einfließen und aus der DLG-Futterwerttabelle (ANONYMUS 1997b) übernommen sind. Es wird hier nicht zwischen den verschiedenen Rapsformen unterschieden und damit dem unterschiedlichen Blatt/Stängel-Verhältnis nicht Rechnung getragen, das einen bedeutenden Einfluss auf die DOM hat. Wie für Milchleistungsfutter bereits von SCHÖNER & PFEFFER (1981) beschrieben, verbessert der HFT auch für Grundfutter

die Schätzung des energetischen Futterwertes gegenüber den Weender Rohnährstoffen (SCHÖNER & TUSCHY 1982). In die Regressionsgleichung der chemischen Methode fließt zur Berücksichtigung der KH der XF-Gehalt ein, wodurch diese Stoffgruppe nur unzureichend charakterisiert wird, vgl. Abb. 22. Durch die Bestimmung der XF wird je nach Futterstoff nur ein mehr oder weniger großer Anteil der Gerüstsubstanzen erfasst; der andere Teil bleibt in

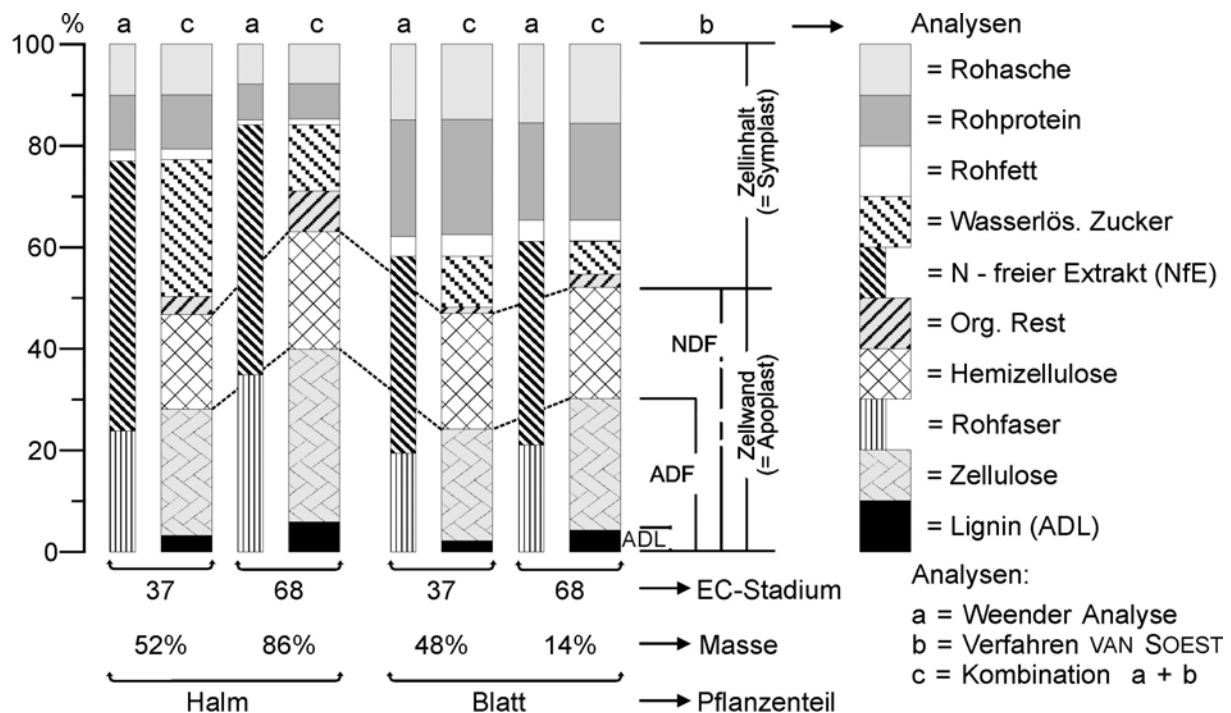


Abb. 22: Pflanzenteilspezifische Stoffgruppen (in %) verschiedener Entwicklungsstadien (EC 37 = Fahnenblatt sichtbar, EC 68 = Anthesis abgeschlossen) von *Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*, nach OPITZ v. BOBERFELD (1994a)

Lösung und wird so der Fraktion der N-freien Extraktstoffe (= NfE) zugeschrieben. Dies kann zur Folge haben, dass in Einzelfällen die DOM der XF höher liegt als die der NfE (KIRCHGESSNER 2004). Nach MENKE et al. (1979) hat die strukturelle Anordnung der Nährstoffe in der Pflanze einen stärkeren Einfluss auf die DOM als die chemische Zusammensetzung. Auch in Untersuchungen von OPITZ v. BOBERFELD et al. (2003) bestehen – unabhängig von Pflanzengesellschaft und Jahr – keine Korrelationen zwischen HFT und chemischer Methode. Die XP-Konzentration, die Menge der Gasbildung und die Ergosterol-Konzentration in dieser Untersuchung deuten darauf hin, dass Pilze leicht abbaubare Faserteile zuerst zersetzen, wodurch der Ligninanteil steigt (WOLF 2002). Die Schätzgleichungen anhand der Rohnährstoffe sind deshalb offenbar für solche Faserqualitäten nicht geeignet (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2003). Das Ergebnis, dass *in vitro*-Pansensaftmethoden besser geeignet sind, um die DOM bzw. die Energiedichte zu schätzen,

als die chemische Methode wird von vielen Autoren bestätigt (TILLEY & TERRY 1963, VAN SOEST et al. 1966, AERTS et al. 1977, KIRCHGESSNER & KELLNER 1981).

Ziel dieser Untersuchung ist es nicht, eine qualitative Bewertung der verschiedenen Schätzmethoden zu geben, da es hierfür notwendig ist, die DOM *in vivo* zu bestimmen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass beide *in vitro*-Pansensaftmethoden sowie die enzymatische Methode eine grobe Einschätzung von Futtermitteln im Hinblick auf ihre DOM erlauben.

5.3 Mineralstoffe

5.3.1 Phosphor

Wichtigste Varianzursache für die P-Konzentration ist der Faktor Frucht, vgl. Anhangtab. 45, wobei die höchsten Konzentrationen bei der Herbstrübe und die geringsten bei den beiden Sommerrapsformen erreicht werden. Auch WIEDENHOEFT & BARTON (1994) berichten, dass die P-Konzentrationen in der Stoppelrübe höher liegen als beim Raps. Nach diesen Autoren enthalten alle untersuchten *Brassicaceen* ausreichend P, um den Bedarf eines Weidetieres zu decken; auch in Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989a) liefern *Brassicaceen* ein für den Wiederkäuer adäquates Angebot an Ca, Mg, P, K, N und Fe. Bei den hier untersuchten Sommerrapsformen liegen die Konzentrationen jedoch z. T. unter der Versorgungsempfehlung von 0,4-0,5% (vgl. OPITZ v. BOBERFELD 1994a), während die übrigen Zwischenfrüchte in einem dem Bedarf des Tieres angepassten Bereich liegen, vgl. Anhangtab. 46-48. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung, in der die *Poaceen* meist höhere P-Konzentrationen aufweisen als die Rapsformen, finden JUNG et al. (1984) in *Brassicaceen* höhere P-Konzentrationen als in *Poaceen* und *Fabaceen*. Da die Pflanze auf das P-Angebot in unmittelbarer Wurzelnähe angewiesen ist (SCHACHTSCHABEL 1992), bietet das feinnetzige Wurzelwerk der *Poaceen*, einschließlich endotropher Mykorrhiza, Vorteile bei der Aufnahme von P aus dem Boden (MENGEL 1991). Innerhalb der Rapsformen werden beim Winterraps stets höhere P-Konzentrationen erreicht als bei den Sommerrapstypen, was auf den höheren Blattanteil dieser Arten zurückzuführen ist, vgl. Abb. 19; das Blatt ist im Mittel um 0,13% reicher an P als der Stängel (BERENDONK 1982c). Die hier untersuchten Pflanzen liefern in der Mehrzahl der Fälle ein adäquates P-Angebot; im Gegensatz dazu kommen MENKE (1987), OPITZ v. BOBERFELD (1994a), BANZHAF (2004) und KIRCHGESSNER (2004) zu dem Ergebnis, dass Winterweideaufwüchse lediglich ausreichende K- und Ca-Konzentrationen erreichen, während die übrigen Elemente als nicht mehr bedarfsgerecht einzustufen sind. Auch LASER (1999) und WHITEHEAD (2000) stellen für Aufwüchse von extensiv bewirtschafteten Flächen mit langer Wachstumsphase bereits in der Vegetationsperiode

vergleichsweise niedrige P- und Na-Konzentrationen fest. Nach GUILLARD & ALLINSON (1989a) führt das langsamere Wachstum in kalten Jahreszeiten jedoch dazu, dass die P-Konzentrationen höher liegen als im Sommer; JUNG et al. (1986) und RAO & HORN (1986) führen die niedrigeren Sommer-Konzentrationen auf den Verdünnungseffekt durch die höheren Erträge zurück. Die höchsten P-Konzentrationen werden im Winter 2001/02 erreicht, vgl. Abb. 12 und Anhangtab. 46-48, was offenbar in Zusammenhang mit der im Vergleich der Jahre höheren Düngungsstufe an Phosphat steht. Des weiteren ist in diesem Winter eine Anreicherung von P aufgrund der witterungsbedingt niedrigen TS-Erträge möglich, vgl. Anhangtab. 8-10. Im Winter 2002/03 liegt die P-Konzentration meist auf einem deutlich niedrigeren Niveau; das hohe Ertragsniveau in diesem Jahr kann zu einem Verdünnungseffekt (VOIGTLÄNDER 1987) führen. Während bei den Rapsformen die Aussaat Mitte August sowohl zu einem weiteren Blatt/Stängel-Verhältnis als auch zu höheren P-Konzentrationen führt, hat der Saattermin bei den anderen Arten keinen bedeutenden Einfluss. Auch im Hinblick auf die TS-Erträge ist ein Einfluss des Saattermins bei den *Brassicaceen* besonders deutlich, vgl. Abb. 3. Für die niedrigeren P-Konzentrationen bei den Rapsformen zum frühen Saattermin kann somit sowohl ein Verdünnungseffekt aufgrund der höheren Erträge als auch der niedrigere Blattanteil, vgl. Abb. 19, ursächlich sein. Ein verzögerter Erntetermin führt lediglich im Winter 2001/02 bei den *Poaceen* zu einem Rückgang der P-Konzentration, bei den Rapsformen verändert sich diese im Laufe des Winters nicht und bei der Herbstrübe ist in diesem Jahr ein leichter Anstieg zu beobachten. Während im kalten und schneereichen Winter 2001/02 Degradationsprozesse offenbar stärker zum Tragen kommen bzw. der Rückgang der P-Konzentration aufgrund des insgesamt hohen Niveaus deutlicher ist, werden durch die Frosttage in den letzten beiden Wintern möglicherweise schon vor dem Erntetermin im Dezember ablaufende Abbauprozesse verlangsamt (SCHLÖSSER 1997, WOLF 2002); dies betrifft offenbar auch alterungsbedingte Verlagerungsprozesse von Mineralstoffen (= Mg, P) in Überdauerungsorgane (MENGEL 1991, LARCHER 2001), die dadurch einem „Konservierungsprozess“ unterliegen. Auch können die vergleichsweise hohen Zuwachsraten bereits im November zu einem Verdünnungseffekt führen, so dass die Abnahme zur Januarernte weniger deutlich ausgeprägt ist (FLEMING 1973, ANKE et al. 1994, LARCHER 2001). Neben Verdünnungseffekten kann auch der Verpilzungsgrad nivellierend auf wachstums- oder witterungsbedingt abnehmende P-Konzentrationen wirken. Mikroorganismen benötigen P für ihren eigenen Stoffwechsel (= Biomembranstruktur) und bauen dieses Element in ihre Substanz ein. Insbesondere bei *Poaceen* sinkt mit zunehmender Seneszenz die P-Konzentration in der Pflanze (MÜLLER et al. 1971, ANKE et al. 1994). Auch THEOBALD(2002)

Tab. 8: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim Winterraps (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol	
P	2001/02	0,14	0,59*	0,39	0,48*	-0,35	-0,30	0,11
	2002/03	0,25	-0,01	0,26	0,04	-0,44	-0,01	0,19
	2003/04	0,33	0,16	0,28	-0,06	-0,58*	0,38	0,32
K	2001/02	-0,31	-0,34	0,58*	0,54*	0,30	-0,88**	
	2002/03	0,34	0,72**	0,59*	0,25	-0,39	-0,70**	
	2003/04	0,06	-0,02	0,14	-0,05	0,01	0,08	
Na	2001/02		0,77**	0,20	-0,61**	-0,73**	0,42	
	2002/03		0,45	0,50*	-0,15	-0,24	-0,31	
	2003/04		0,45	0,06	-0,08	-0,38	-0,22	
Mg	2001/02			0,13	-0,34	-0,73**	0,49*	
	2002/03			0,91**	0,11	-0,67**	-0,74**	
	2003/04			0,64**	-0,22	-0,55*	-0,33	
Ca	2001/02				0,37	0,17	-0,46	
	2002/03				0,21	-0,66**	-0,81**	
	2003/04				0,03	-0,48*	-0,03	
Ertrag	2001/02					0,53*	-0,51*	
	2002/03					-0,34	-0,48*	
	2003/04					-0,15	-0,18	
DOM	2001/02						-0,52*	
	2002/03						0,54*	
	2003/04						0,76**	

Tab. 9: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim Sommerraps, Weidetyp (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol	
P	2001/02	0,28	0,71**	0,75**	0,39	-0,86**	-0,29	0,35
	2002/03	0,30	0,56*	0,25	0,23	-0,61**	0,17	0,17
	2003/04	0,17	0,40	0,48*	0,25	-0,75**	0,61**	0,34
K	2001/02	0,19	0,51*	0,55*	-0,31	-0,38	-0,29	
	2002/03	0,52*	0,56*	0,59*	0,23	-0,43	-0,55*	
	2003/04	0,01	-0,07	0,35	-0,13	0,05	0,23	
Na	2001/02		0,77**	0,25	-0,54*	-0,54*	0,61**	
	2002/03		0,63**	0,71**	-0,17	-0,38	-0,52*	
	2003/04		0,35	0,41	-0,30	-0,04	0,13	
Mg	2001/02			0,32	-0,69**	-0,70**	0,51*	
	2002/03			0,95**	0,19	-0,67**	-0,80**	
	2003/04			0,74**	-0,47*	-0,17	-0,28	
Ca	2001/02				-0,35	0,14	-0,46	
	2002/03				0,16	-0,63**	-0,79**	
	2003/04				-0,41	-0,41	-0,44	
Ertrag	2001/02					0,29	-0,28	
	2002/03					-0,60**	-0,55*	
	2003/04					-0,44	-0,02	
DOM	2001/02						-0,50*	
	2002/03						0,80**	
	2003/04						0,58*	

Tab. 10: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim **Sommerraps, Schnitttyp** (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol	
P	2001/02	0,51*	0,52*	0,76**	0,67**	-0,90**	0,07	0,35
	2002/03	0,68**	0,78**	0,69**	0,66**	-0,67**	0,42	0,18
	2003/04	0,33	0,64**	0,53*	0,29	-0,89**	-0,13	0,20
K	2001/02	0,38	0,64**	0,01	-0,49*	-0,47*	0,50*	
	2002/03	0,74**	0,75**	0,78**	-0,15	0,01	-0,34	
	2003/04	0,29	0,23	0,46	-0,33	-0,29	-0,28	
Na	2001/02		0,42	0,36	-0,32	-0,12	0,36	
	2002/03		0,84**	0,85**	-0,33	0,25	-0,24	
	2003/04		0,52*	0,40	-0,72**	-0,36	-0,03	
Mg	2001/02			0,41	-0,78**	-0,36	0,66**	
	2002/03			0,98**	-0,21	-0,09	-0,45	
	2003/04			0,78**	-0,66**	-0,75**	-0,27	
Ca	2001/02				-0,44	0,43	-0,26	
	2002/03				-0,17	-0,03	-0,51*	
	2003/04				-0,34	-0,72**	-0,24	
Ertrag	2001/02					-0,04	-0,54*	
	2002/03					-0,49*	-0,36	
	2003/04					0,41	-0,02	
DOM	2001/02						-0,63**	
	2002/03						0,47*	
	2003/04						0,45	

Tab. 11: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen bei der **Herbstrübe** (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol	
P	2001/02	-0,05	0,22	0,52*	0,26	-0,40	-0,20	0,38
	2002/03	0,65**	0,15	0,43	0,35	0,37	-0,10	0,27
	2003/04	-0,08	0,04	0,39	-0,06	-0,41	-0,15	0,63**
K	2001/02	-0,50*	0,16	0,39	0,31	-0,36	-0,34	
	2002/03	0,45	0,70**	0,70**	0,38	-0,69**	-0,21	
	2003/04	-0,42	0,20	0,67**	0,14	-0,31	-0,33	
Na	2001/02		0,25	-0,01	-0,60**	0,11	0,24	
	2002/03		0,45	0,41	0,39	-0,47*	-0,34	
	2003/04		-0,28	-0,25	0,15	0,28	-0,12	
Mg	2001/02			0,65**	-0,12	-0,23	0,52*	
	2002/03			0,94**	0,27	-0,76**	-0,51*	
	2003/04			0,63**	-0,60**	-0,59*	0,20	
Ca	2001/02				-0,13	-0,67**	-0,04	
	2002/03				0,24	-0,83**	-0,56*	
	2003/04				-0,13	-0,58*	-0,20	
Ertrag	2001/02					0,22	-0,26	
	2002/03					-0,10	0,16	
	2003/04					0,51*	-0,37	
DOM	2001/02						0,21	
	2002/03						0,62**	
	2003/04						-0,13	

Tab. 12: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim **Einjährigen Weidelgras** (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol
2001/02	0,85**	-0,43	-0,23	-0,02	0,43	-0,05	-0,58*
P 2002/03	0,25	0,26	0,35	-0,04	-0,02	-0,05	0,10
2003/04	0,47	0,37	0,65**	0,46	-0,23	0,36	0,01
2001/02	-0,24	-0,38	-0,32	0,60**	0,10	-0,66**	
K 2002/03	0,44	0,20	-0,06	0,38	0,58*	-0,91**	
2003/04	0,01	-0,07	-0,19	0,37	-0,09	-0,58*	
2001/02	0,47*	-0,32	-0,30	0,26	0,09		
Na 2002/03	0,14	-0,13	0,17	0,52*	-0,43		
2003/04	0,62**	0,32	-0,30	0,24	-0,06		
2001/02	0,12	-0,58*	-0,03	0,36			
Mg 2002/03	0,42	0,05	-0,37	-0,04			
2003/04	0,59*	-0,29	0,22	0,05			
2001/02	-0,17	-0,64**	0,40				
Ca 2002/03	-0,57*	-0,40	0,21				
2003/04	-0,46	0,18	0,50*				
2001/02	0,04	-0,63**					
Ertrag 2002/03	0,11	-0,52*					
2003/04	-0,71**	-0,24					
2001/02	-0,29						
DOM 2002/03	-0,68**						
2003/04	0,05						

Tab. 13: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim **Welschen Weidelgras** (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol
2001/02	0,58*	-0,29	-0,35	-0,10	0,61**	0,06	-0,37
P 2002/03	0,08	0,55*	0,66**	0,24	-0,22	-0,25	0,32
2003/04	0,35	0,32	0,63**	0,76**	-0,35	-0,07	0,22
2001/02	-0,16	-0,49*	-0,70**	0,39	0,50*	-0,71**	
K 2002/03	0,36	-0,32	-0,44	0,16	0,65**	-0,86**	
2003/04	-0,49*	0,01	0,39	0,29	0,24	-0,55*	
2001/02	0,52*	-0,13	-0,33	0,09	0,38		
Na 2002/03	0,33	0,07	-0,20	0,17	0,02		
2003/04	0,59**	0,13	-0,22	-0,19	0,48*		
2001/02	0,58*	-0,70**	-0,33	0,50*			
Mg 2002/03	0,71**	-0,27	-0,71**	0,58*			
2003/04	0,60**	-0,49*	-0,22	0,14			
2001/02	-0,30	-0,72**	0,43				
Ca 2002/03	-0,66**	-0,73**	0,63**				
2003/04	-0,52*	-0,07	-0,09				
2001/02	-0,02	-0,34					
Ertrag 2002/03	0,26	-0,33					
2003/04	0,35	-0,26					
2001/02	-0,36						
DOM 2002/03	-0,74**						
2003/04	-0,35						

Tab. 14: Korrelationen zwischen Mineralstoffen und weiteren Qualitätsmerkmalen beim **Ausfallgetreide** (n = 18)

	K	Na	Mg	Ca	Ertrag	DOM	Ergosterol	
P	2001/02	0,77**	-0,26	-0,24	-0,05	0,73**	0,30	-0,43
	2002/03	0,84**	0,74**	0,88**	0,81**	0,27	0,38	-0,30
	2003/04	-0,30	0,16	0,51*	0,28	-0,29	0,17	0,40
K	2001/02	-0,30	-0,12	0,06	0,68**	0,58*	-0,73**	
	2002/03	0,82**	0,89**	0,81**	0,53*	0,50*	-0,67**	
	2003/04	0,38	0,24	0,50*	0,73**	0,47*	-0,94**	
Na	2001/02		0,57*	0,35	-0,15	0,14	-0,04	
	2002/03		0,78**	0,51*	0,57*	0,51*	-0,69**	
	2003/04		0,75**	0,58*	0,55*	0,09	-0,34	
Mg	2001/02			0,83**	-0,50*	0,35	-0,34	
	2002/03			0,82**	0,33	0,47*	-0,46	
	2003/04			0,72**	0,24	0,32	-0,14	
Ca	2001/02				-0,39	0,20	-0,28	
	2002/03				0,09	0,33	-0,30	
	2003/04				0,39	0,29	-0,41	
Ertrag	2001/02					0,23	-0,31	
	2002/03					0,29	-0,87**	
	2003/04					0,21	-0,73**	
DOM	2001/02						-0,80**	
	2002/03						-0,50*	
	2003/04						-0,49*	

kommt in seinen Untersuchungen an *Festuco-Brometea*-Arten zu dem Ergebnis, dass das physiologisch jüngere Pflanzenmaterial mehr P enthält als das physiologisch ältere, womit die Ergebnisse von BISKUPEK (1993) und ISSELSTEIN (1994) bestätigt werden. Nach WIEDENHOEFT & BARTON (1994), die den nutritiven Wert von *Brassica oleracea* L., *Brassica rapa* L. sowie der Hybridform *Brassica rapa* L. × *Brassica pekinensis* L. untersuchen, liefern *Brassicaceen* qualitativ und quantitativ gutes Weidefutter unabhängig von Spezies, Saat- und Erntetermin. Auch WHITEHEAD (2000) berichtet, dass die Konzentrationen an P in *Poaceen* im Verlauf der Wachstumsperiode deutlicher abnehmen als in *Fabaceen* und sonstigen Kräutern. P wird mit zunehmendem Alter in hohem Maße von der Pflanze remobilisiert (MARSCHNER 1995), weshalb in älteren Pflanzenteilen vergleichsweise geringe Konzentrationen zu finden sind (OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WILMAN et al. 1994).

5.3.2 Kalium

Die höchsten K-Konzentrationen werden bei den Weidelgräsern erreicht, insbesondere, wenn spät gesät und früh geerntet wird. Auch die Konzentrationen in der Herbstrübe liegen auf einem hohen Niveau, vgl. Anhangtab. 49-52. K kann von *Poaceen* besonders gut aufgenommen werden, da diese aufgrund ihres ausgeprägten Wurzelsystems in der Lage sind, das nicht austauschbare Zwischenschicht-K der Tonminerale zu absorbieren (MENGEL 1991). Mit fortschreitender Vegetationszeit nehmen die K-Konzentrationen ab (MENGEL 1991, ANKE

et al. 1994, WILMAN et al. 1994, BANZHAF 2004), wobei dieser Rückgang bei den *Poaceen* zum dritten Erntetermin besonders deutlich ausgeprägt ist; in den Wintern 2002/03 sowie 2003/04 sind bei den *Brassicaceen* meist keine signifikanten Veränderungen in der K-Konzentration festzustellen. Der Erntetermin stellt als Hauptwirkung in allen drei Jahren die wichtigste Varianzursache dar, vgl. Anhangtab. 49. Nach FLEMING & MURPHY (1968) sind besonders jahreszeitliche Einflüsse für die K-Konzentration von Bedeutung. Die geringen Werte im Winter 2002/03 sind möglicherweise auf Auswaschungsverluste zurückzuführen. Nach BANZHAF (2004) werden Na und K maßgeblich von Auswaschungsprozessen beeinflusst. Diese Abhängigkeit zeigt sich bei den *Poaceen* aufgrund der natürlich bedingt höheren K-Konzentration dieser Arten deutlicher. K erreicht von allen Elementen die höchsten Konzentrationen, die im Laufe des Winters auch am schnellsten abnehmen (COLLINS & BALASKO 1981, BANZHAF 2004). Durch Zerstörung der Zellwandstrukturen durch biotische (= saprophytische Pilze) und abiotische (= Frost) Stressoren oder durch eine seneszenzbedingte Erhöhung der Zellwandpermeabilität (MARSCHNER 1995) wird das – meist in leicht löslicher Form vorliegende – K in hohem Maße aus der Pflanze ausgewaschen. Zudem wird K aufgrund seiner hohen Phloemmobilität (MENGEL 1991) im Zuge der Seneszenz von der Pflanze in überwinternde Organe verlagert (MARSCHNER 1995). Betrachtet über die Saat- und Erntetermine sind die K-Konzentrationen der Weidelgräser höher als die der Rapsformen. JUNG et al. (1984) und GUILLARD & ALLINSON (1989b) berichten über z. T. hohe K-Konzentrationen in *Brassicaceen*, was für die Herbstrübe auch hier zutrifft. Unterschiede innerhalb der Rapsformen sind meist nicht gesichert. Nach BERENDONK (1982c) enthält der Stängel im Mittel 1,43% mehr K als das Blatt. Im Gegensatz zu Ca und Mg bleiben K und Na in der Pflanze noch relativ gut beweglich und können auch basipetal aus den Blättern in den Stängel transportiert werden (MENGEL 1991); dadurch ist es möglich, dass beide Elemente im Stängel stärker angereichert sind als im Blatt und negativ mit dem Blattanteil korrelieren. Diese Zusammenhänge werden jedoch in der vorliegenden Untersuchung nicht sichtbar. Das Niveau der K-Konzentrationen liegt im Winter 2001/02 auf dem höchsten Niveau, was auf die höhere Düngungsstufe zurückgeführt werden kann, vgl. Kap. 3.1.1. Im Winter 2002/03 führen auch hier offenbar die höheren TS-Erträge zu einem Verdünnungseffekt (VOIGTLÄNDER 1987). Die K-Konzentrationen der untersuchten Zwischenfrüchte bewegen sich in einem Bereich von 1,1 bis 6,5%, wobei der niedrigste Wert beim Ausfallgetreide mit langer Vegetationsperiode und der höchste Wert beim Einjährigen Weidelgras bei später Saat und früher Ernte erreicht wird. Bei den *Poaceen* sowie dem Winterraps steht die K-Konzentration v. a. in den ersten beiden Wintern in einer deutlich

negativen Beziehung zur Ergosterol-Konzentration, vgl. Tab. 8, 12, 13 u. 14. Im Winter 2003/04 ist der Rückgang der K-Konzentrationen zum dritten Erntetermin weniger deutlich; das Ausfallgetreide bildet hier eine Ausnahme und auch die Korrelation zwischen Verpilzungsgrad und K-Konzentration ist in diesem Jahr bei dieser Frucht mit $r = -0,94$ beachtlich. Der Bedarf der Weidetiere von 1% K (OPITZ v. BOBERFELD 1994a) wird somit unabhängig von der Pflanzenart und den Bewirtschaftungsmaßnahmen immer gedeckt. OPITZ v. BOBERFELD (1994a) findet K-Konzentrationen in Weideaufwüchsen von 2-6% K, BANZHAF (2004) in Winterweideaufwüchsen 1,2-1,5% K und BERENDONK (1982c) in ihren Untersuchungen an Sommer- und Winterrapssorten im Zwischenfruchtanbau Konzentrationen von 3,75-5,15% K.

5.3.3 Natrium

Während im Winter 2001/02 der Faktor Saattermin als wichtigste Varianzursache ausgewiesen wird, da insbesondere bei den *Brassicaceen* signifikant höhere Na-Konzentrationen erreicht werden, wenn die Aussaat erst Mitte August erfolgt, geht im Winter 2002/03 der größte Einfluss vom Erntetermin aus, wobei hier ebenfalls v. a. die *Brassicaceen* betroffen sind, die auf einen verzögerten Erntetermin mit geringeren Na-Konzentrationen reagieren, vgl. Anhangtab. 53-56 und Abb. 14. Da sich dies insbesondere bei spätem Saattermin zeigt, ist in diesem Winter auch die Wechselwirkung Saattermin $\times$ Erntetermin gesichert. Die hohen Na-Konzentrationen zum zweiten Saattermin stehen möglicherweise mit den TS-Erträgen in Zusammenhang, die bei den *Brassicaceen* deutlich niedriger sind, wenn die Aussaat erst Mitte August erfolgt, vgl. Abb. 3. Im Winter 2003/04 bestehen hauptsächlich zwischen den verschiedenen Arten signifikante Unterschiede in der Na-Konzentration, wobei insbesondere beim späten Saattermin bei den *Brassicaceen* höhere Na-Konzentrationen erreicht werden als bei den *Poaceen*; offenbar spielen in diesem milden Winter das physiologische Alter der Pflanze zu Beginn des Winters sowie zunehmende Seneszenz eine untergeordnete Rolle. Der Bedarf des Weidetieres von 0,15-0,2% Na (OPITZ v. BOBERFELD 1994a) wird von den *Poaceen* meist nicht gedeckt; lediglich im Winter 2003/04 wird dieser Grenzwert bei den Weidelgräsern z. T. erreicht. Auch WÖHLBIER & KIRCHGESSNER (1957) und FLEMING & MURPHY (1968) finden Na-Konzentrationen bei *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea*, die bereits früh unterhalb des Bedarfes einer Mutterkuh liegen, ebenso wie die Konzentrationen von 0,05-0,16% Na in Untersuchungen von BANZHAF (2004) an Winterweideaufwüchsen. In den ersten beiden Untersuchungsjahren wird der Bedarf bei einer Aussaat Ende Juli auch von den *Brassicaceen* oft nicht gedeckt; im letzten Winter werden von diesen Arten relativ hohe Na-Konzentrationen erzielt, die sich in einem Bereich von 0,15-

0,49% bewegen, vgl. Anhangtab. 54-56. Die höchsten Na-Konzentrationen werden bei der Herbstrübe und dem Sommerraps, Schnitttyp, erreicht. BERENDONK (1982c) findet in ihren Untersuchungen an Winter- und Sommerraps insgesamt niedrige Na-Konzentrationen von 0,07-0,16%. Die Aussaat erfolgt in dieser Untersuchung Ende Juli bis Anfang August, womit ihre Ergebnisse mit den vorliegenden Na-Konzentrationen des frühen Saattermins vergleichbar sind. In dieser Untersuchung hat der Erntetermin keinen relevanten Einfluss auf die Na-Konzentration der *Poaceen*; auch PUFFE et al. (1984) stellen keine eindeutig abnehmende Tendenz in der Na-Konzentration von Welschem Weidelgras mit fortschreitender Entwicklung fest. Im Gegensatz dazu finden ISSELSTEIN (1994) sowie UNDERWOOD & SUTTLE (2001) bei *Poaceen* eine alterungsbedingte Abhängigkeit dieses Elements. Im Winter 2001/02 und 2003/04 nehmen die Na-Konzentrationen – betrachtet über alle *Brassicaceen* – vom zweiten zum dritten Erntetermin zu; auch BERENDONK (1982c) findet die höchsten Konzentrationen erst beim dritten Erntetermin im November. Im Gegensatz zu Ca und Mg bleiben K und Na in der Pflanze relativ gut beweglich und können auch basipetal aus den Blättern in den Stängel transportiert werden (MENGEL 1991); dadurch ist es möglich, dass beide Elemente im Stängel stärker angereichert werden als im Blatt und negativ mit dem Blattanteil korrelieren (BERENDONK 1982c). Bei den *Brassicaceen* ist im Laufe der Vegetationszeit häufig ein Rückgang der Na-Konzentrationen zum zweiten Erntetermin zu beobachten, bevor diese zur Januarernte wieder ansteigen; hier wird offenbar deutlich, dass die Mineralstoffaufnahme der Substanzbildung vorausgeht (KLAPP 1967). Im Winter 2002/03 dagegen sinken die Na-Konzentrationen bei später Saat von Dezember bis Januar signifikant; in diesem nassen Winter ist aufgrund der hohen Löslichkeit der Na-Salze die Auswaschungsgefahr groß (SCHACHTSCHABEL 1992). Auch in Untersuchungen von BANZHAF (2004) werden die Mineralstoffe K und Na maßgeblich von Auswaschungsprozessen beeinflusst.

5.3.4 Magnesium

Während die *Poaceen* im Hinblick auf die Mg-Konzentrationen vom Erntetermin wie auch vom Saattermin unbeeinflusst bleiben, steigt die Mg-Konzentration der Sommerrapsformen im ersten Winter bei später Aussaat und die der Herbstrübe bei beiden Saatterminen vom zweiten zum dritten Erntetermin signifikant an, was die Interaktionen Frucht $\times$ Saattermin, Frucht $\times$ Erntetermin sowie Saattermin $\times$ Erntetermin in diesem Winter bedingt. Im Winter 2002/03 dagegen kommt es zu einem Rückgang der Mg-Konzentrationen bei den *Brassicaceen* mit fortschreitendem Erntetermin und im dritten Winter ist ein Einfluss dieser Hauptwirkung nicht mehr gesichert, vgl. Anhangtab. 57-60 und Abb. 15. Bei den

Brassicaceen werden im Vergleich zu den *Poaceen* deutlich höhere Mg-Konzentrationen erreicht. Auch in Untersuchungen von ZÜRN (1951), WÖHLBIER & KIRCHGEßNER (1957), BISKUPEK (1993) und MAINZ (1995) sind besonders die Konzentrationen der zweiwertigen Ca- und Mg-Kationen bei den Dikotyledonen wesentlich höher als bei monokotylen Pflanzen. Unterschiede zwischen den *Brassicaceen* sind nur teilweise gesichert; offenbar hält v. a. die Herbstrübe auch bei schlechter Witterung ein relativ konstantes Niveau an Mg über einen langen Vegetationszeitraum. Während in dieser Untersuchung lediglich ein Rückgang der Mg-Konzentration bei den *Brassicaceen* im Winter 2002/03 zu verzeichnen ist, sind Veränderungen nach WILMAN et al. (1994) und UNDERWOOD & SUTTLE (2001) hauptsächlich wachstumsbedingt. Auch COLLINS & BALASKO (1981) sowie BANZHAF (2004) stellen in ihren Untersuchungen an *Festuca arundinacea* fest, dass die Mg-Konzentrationen im Laufe des Winters sinken und bereits im Dezember unterhalb von 0,2% liegen. Obwohl auch bei BANZHAF (2004) die Mg-Konzentration im Laufe des Winters zurückgeht, was auf wachstumsbedingte Verlagerungsprozesse dieses mobilen Nährstoffes zurückgeführt wird (LARCHER 2001), kommt BANZHAF (2004) zu dem Schluss, dass der saisonale Einfluss auf die Mg-Konzentration im Winter offenbar bedeutender ist als wachstumsbedingte Veränderungen. Während der Bedarf eines Weidetieres von 0,2-0,3% Mg (OPITZ v. BOBERFELD 1994a) von den *Poaceen* meist nicht gedeckt wird, ist die Versorgungslage bei den *Brassicaceen* lediglich im niederschlagsreichen Winter 2002/03 ungenügend; hier werden insbesondere bei später Ernte niedrige Mg-Konzentrationen erreicht. Einflüsse der Witterung, wie Temperatur und Nässe, auf die Mg-Konzentration werden von mehreren Autoren bestätigt (FLEMING & MURPHY 1968, GRUNES et al. 1970, MÜLLER et al. 1971, ANKE et al. 1994, WHITEHEAD 2000). ISSELSTEIN (1994) berichtet ebenfalls über Mg-Konzentrationen von < 0,2% bei *Lolium perenne*. Die Mg-Konzentrationen in *Brassicaceen* liegen auf einer für Wiederkäuer adäquaten Stufe (ANONYMUS 1985, WIEDENHOEFT & BARTON 1994) und auch GUILLARD & ALLINSON (1989a) finden bei allen von ihnen untersuchten *Brassicaceen* Mg-Konzentrationen von > 0,2%. Die höheren Mg-Konzentrationen der Rapsformen bei später Aussaat stehen offenbar mit dem Blattanteil in Zusammenhang, der bei physiologisch jüngeren Pflanzen höher ist, vgl. Abb. 19. Da Mg fast ausschließlich in akropetaler Richtung transportiert und in den Blättern abgelagert wird, enthalten diese höhere Konzentrationen an diesem Element (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994b). Die im Winter 2002/03 vergleichsweise niedrigen Mg-Konzentrationen können durch einen Verdünnungseffekt aufgrund der hohen TS-Erträge verursacht werden (VOIGTLÄNDER 1987). Obwohl Mg eine relativ dicke Hydrathülle besitzt, ist es offenbar auch von Auswaschungsprozessen durch

Niederschläge betroffen (FLEMING & MURPHY 1968, MARSCHNER 1995). Der Rückgang der Mg-Konzentration im Winter 2002/03 vollzieht sich insbesondere zum zweiten Erntetermin; gegen Ende des Winters bleiben offenbar vorwiegend schwerlösliche und schwer abbaubare Mg-Oxalate in den Pflanzen zurück (MENGEL 1991, MARSCHNER 1995), weshalb es nach diesen Autoren kaum zu Veränderungen in der Mg-Konzentration kommt. In diesem Untersuchungsjahr bestehen insbesondere bei den blatreichen Rapsformen negative Beziehungen zwischen Mg-Konzentration und dem Pilzbefall, vgl. Tab. 8 u. 9.

5.3.5 Calcium

Wichtigste Varianzursache im Hinblick auf die Ca-Konzentration ist in allen Untersuchungsjahren der Faktor Frucht, gefolgt vom Erntetermin; die Wechselwirkungen Frucht $\times$ Saattermin sowie Frucht $\times$ Erntetermin sind ebenfalls stets signifikant, vgl. Anhangtab. 61. Die Ca-Konzentrationen liegen bei den *Brassicaceen* im Vergleich zu den *Poaceen* auf einem deutlich höheren Niveau, vgl. Abb. 16 u. Anhangtab. 62-64, wodurch die Ergebnisse von JUNG et al. (1984) bestätigt werden. Die Ca-Aufnahme und -konzentration ist stark pflanzenartabhängig (WÖHLBIER & KIRCHGESSNER 1957, SCHACHTSCHABEL 1992, ISSELSTEIN 1994, OPITZ v. BOBERFELD & BISKUPEK 1995, LASER 2001), wobei nach MENGEL (1991) und MARSCHNER (1995) *Poaceen* deutlich weniger Ca für ein optimales Wachstum benötigen als dikotyle Pflanzen. Innerhalb der *Brassicaceen* sind die Unterschiede heterogen, insbesondere bei früher Aussaat erreichen die blatreichen Rapstypen häufig ein höheres Niveau, bezogen auf die Ca-Konzentration, als der Sommerraps, Schnitttyp. Auch der Ca-Gehalt der von BERENDONK (1982c) untersuchten Winterrapssorten ist höher als in den blattärmeren Sommerrapssorten, da der Blattanteil höher ist und das Blatt im Mittel nahezu doppelt so viel Ca enthält wie der Stängel. Der Grund liegt nach MENGEL (1991) darin, dass Ca fast ausschließlich in akropetaler Richtung transportiert und in den Blättern abgelagert wird. Während bei den *Brassicaceen* stets eine für die Ernährung des Weidetieres adäquate Stufe erreicht wird, wird der Bedarf der Tiere von 0,5-0,7% Ca (Opitz v. BOBERFELD 1994a) bei den *Poaceen* meist nicht erreicht. Im Laufe des Winters sinkt die Ca-Konzentration der *Brassicaceen* signifikant, wohingegen bei den *Poaceen* keine Veränderung mit fortschreitendem Erntetermin festzustellen ist. Auch BERENDONK (1982c) findet sinkende Ca-Konzentrationen mit fortschreitendem Erntetermin, obwohl Ca v. a. in den älteren Blättern angereichert wird (MENGEL 1991). In der Zeit vom ersten zum zweiten Erntetermin lässt sich der Rückgang offenbar auf einen Verdünnungseffekt aufgrund des TS-Zuwachses zurückführen; bis zum dritten Erntetermin sterben die älteren Blätter bereits ab. Auch BERENDONK (1982c) findet die höchsten Ca-Konzentrationen in den untersuchten

Brassicaceen zum ersten Erntetermin, da die Mineralstoffaufnahme dem Wachstum der Pflanzen vorausgeht (KLAPP 1967). BANZHAF (2004) stellt im Laufe des Winters abnehmende Ca-Konzentrationen in Winterweidefutter fest, wobei deutlich wird, welchen Einfluss winterliche Witterungsbedingungen auf die Ca-Konzentration von Aufwüchsen haben können (FLEMING & MURPHY 1968, MÜLLER et al. 1971). In Untersuchungen von GUILLARD & ALLINSON (1989a) dagegen nehmen die Ca-Konzentrationen mit dem Alter der Pflanzen zu. Da Ca in der Pflanze fast ausschließlich im Xylem transportiert wird, ist eine Mobilisation aus alten in jüngere Blätter nicht möglich (MENGEL 1991, OPITZ v. BOBERFELD 1994a, WHITEHEAD 2000). Das physiologische Alter spielt daher für die Ca-Konzentration eine große Rolle (MENGEL 1991, WILMAN et al. 1994, MARSCHNER 1995). In der vorliegenden Untersuchung hat jedoch auch der Saattermin bei den *Poaceen* keinen gesicherten Einfluss, während im Mittel die *Brassicaceen* beim späten Saattermin höhere Ca-Konzentrationen erzielen als bei einer Aussaat Ende Juli; dies steht offenbar mit den TS-Erträgen, vgl. Abb. 3, oder mit dem Blatt/Stängel-Verhältnis in Zusammenhang, das zum späten Saattermin weiter ist, vgl. Abb. 19. GUILLARD & ALLINSON (1989a) finden im Blatt höhere Ca-Konzentrationen als im Stängel. Die niedrigen Ca-Konzentrationen im Winter 2002/03 sind demnach möglicherweise z. T. auf den besonders hohen Stängelanteil in diesem Winter zurückzuführen, wobei auch Auswaschungsverluste sowie Verdünnungseffekte aufgrund der hohen TS-Erträge als Ursache in Frage kommen.

5.3.6 Mineralstoffimbalancen

Bedeutendste Varianzursache für die **Ca/P-Quotienten** ist der Faktor Frucht, da der Quotient der *Brassicaceen* stets wesentlich höher liegt als bei den *Poaceen*, vgl. Abb. 17 u. Anhangtab. 65-68. Ursache sind die im Vergleich zu den *Poaceen* hohen Ca-Konzentrationen bei den *Brassicaceen*, während es sich bezogen auf P umgekehrt verhält, vgl. Abb. 12 u. 16. Die Ca/P-Quotienten der Herbstrübe sind aufgrund der vergleichsweise hohen P-Konzentrationen enger als bei den Rapsformen. Auch WIEDENHOEFT & BARTON (1994) stellen bei den von ihnen untersuchten *Brassicaceen* hohe Ca/P-Quotienten fest. Im Laufe des Winters werden die Ca/P-Verhältnisse der *Brassicaceen*, analog zum Rückgang der Ca-Konzentration mit fortschreitendem Erntetermin, enger, während bei den *Poaceen* kein Einfluss des Erntetermins zu erkennen ist, so dass sowohl der Erntetermin als auch die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin in allen Untersuchungsjahren gesichert sind, vgl. Anhangtab. 65. Das optimale Ca/P-Verhältnis von 1,5-2:1 wird von den *Brassicaceen* meist überschritten; die Ca/P-Quotienten der *Poaceen* sind stets zu niedrig. Nach KIRCHGESSNER (2004) können insbesondere auf grasreichen Intensivweiden Ca/P-Quotienten von ≤ 1

auftreten, was vom Weidetier deutlich schlechter toleriert wird als ein zu weites Verhältnis. Nach JUNG et al. (1984) und GUILLARD & ALLINSON (1989b) enthalten *Brassicaceen* häufig Konzentrationen von $> 1\%$ Ca, was einen Mangel an P oder anderen Mineralstoffen bedingen kann (DAVIS 1959). Anhand der Korrelationstabellen, vgl. Tab. 8-14, lässt sich jedoch keine negative Beziehung zwischen der Ca-Konzentration und einem anderen Element feststellen. GUILLARD & ALLINSON (1989b) finden bei der Stoppelrübe und Kohlrübe Ca/P-Quotienten von 3,9-5,3 während des Sommers und Quotienten von 2,2-4,1 während des Herbstes; nach diesen Autoren wird nur, wenn diese Pflanzen über einen längeren Zeitraum aufgenommen werden, eine P-Supplementierung notwendig, um zu hohe Ca-Konzentrationen auszugleichen. Da die meisten Futtergräser geringere Ca-Konzentrationen aufweisen als *Brassicaceen* (JUNG et al. 1984), kann die Zufütterung von frischem oder konserviertem Gras die totale Ca-Aufnahme auf einen adäquateren Bereich verdünnen (GUILLARD & ALLINSON 1989b).

Unterschiede in den **K/(Ca+Mg)-Quotienten** beruhen in allen Wintern hauptsächlich auf der Pflanzenart; die Quotienten der *Poaceen* liegen auf einem höheren Niveau als die der *Brassicaceen*, wobei die Unterschiede im Laufe des Winters geringer werden, so dass der Faktor Erntetermin ebenfalls in allen Untersuchungsjahren gesichert ist, ebenso wie die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin, vgl. Abb. 18 u. Anhangtab. 69-72. Vom Saattermin und der Interaktion Frucht $\times$ Saattermin gehen insbesondere in den ersten beiden Wintern ein Einfluss auf die K/(Ca+Mg)-Quotienten aus. Die höchsten Quotienten werden in allen Wintern von den Weidelgräsern erreicht, gefolgt vom Ausfallgetreide, bei dem der Quotient schon auf einem signifikant niedrigeren Niveau liegt. Die K/(Ca+Mg)-Quotienten der *Brassicaceen* sind deutlich niedriger; innerhalb dieser Arten sind die Unterschiede jedoch meist nicht gesichert. Diese deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Pflanzengruppen ergeben sich hauptsächlich durch die signifikant höheren Ca-Konzentrationen der *Brassicaceen*; diese Arten enthalten im Mittel auch mehr Mg, wobei die Differenzen hier weniger deutlich sind, vgl. Abb. 15 u. 16. Im Gegensatz dazu erreichen die *Poaceen* höhere Konzentrationen an K, vgl. Abb. 13. Die K/(Ca+Mg)-Quotienten der *Brassicaceen* bleiben während der gesamten Vegetationsperiode annähernd konstant, im Gegensatz dazu sinken sie bei den *Poaceen* mit fortschreitendem Erntetermin. Analog dazu kommt es auch bei der K-Konzentration der *Poaceen* im Laufe des Winters zu einem deutlichen Rückgang, während die Ca- und Mg-Konzentrationen der Gräser annähernd konstant bleiben. Auch BANTHAF (2004) kommt in ihren Untersuchungen an Winterweidefutter zu dem Ergebnis, dass der K/(Ca+Mg)-Quotient maßgeblich vom Verlauf der K-Konzentrationen und damit abhängig vom Erntetermin ist. In den Wintern 2001/02 sowie 2002/03 führt ein später Saattermin bei

den *Poaceen* zu signifikant höheren K/(Ca+Mg)-Quotienten als die Aussaat Ende Juli, was ebenso für die K-Konzentrationen gilt; bei den *Brassicaceen* ergeben sich keine Unterschiede zwischen den K/(Ca+Mg)-Quotienten der beiden Saattermine. Zwar liegen auch bei den *Brassicaceen* die K-Konzentrationen bei spätem Saattermin meist auf einem höheren Niveau, da dies jedoch auch für die Ca- und Mg-Konzentrationen gilt, haben die höheren K-Konzentrationen der *Brassicaceen* bei der Aussaat Mitte August keinen Einfluss auf die K/(Ca+Mg)-Quotienten. Der im Hinblick auf die Gefahr einer Weidetetanie kritische Wert für den K/(Ca+Mg)-Quotienten von 2,2 (KEMP & 'T HART 1957, MAYLAND & SLEPER 1993, CRAWFORD et al. 1998, OPITZ v. BOBERFELD 2001a, PHILLIPS 2001) wird bei den *Poaceen* stets überschritten; innerhalb der *Brassicaceen* bewegen sich die Quotienten der Herbstrübe und des Sommerraps, Schnitttyp, z. T. nahe dieser Grenze, insbesondere bei verzögertem Erntetermin. Nach GUILLARD & ALLINSON (1989b) besteht eine Tetaniegefahr bei Fütterung von *Brassicaceen* v. a. dann, wenn die Tiere für eine längere Periode im Herbst – in Verbindung mit einer hohen K-Düngungsstufe und schlechter Mg-Verfügbarkeit – auf der Weide sind. Hinzu kommt, dass bei den *Poaceen* auch der absolute Bedarf an Mg von 0,2-0,3% Mg meist nicht gedeckt ist, so dass sich antagonistische Effekte durch hohe K-Konzentrationen besonders negativ auswirken können.

5.4 Ausblick

Im Hinblick auf den Bedarf des Weidetieres an Energie und Rohfaser, ist eine Kombination von hochverdaulichem Raps und Weidelgras, das als Strukturergänzung dient, als positiv zu bewerten. Auch das Verhältnis der Mineralstoffe zueinander wird durch eine Mischung dieser Arten verbessert, was sich – im Vergleich zu einem reinen Grasbestand – sowohl in einem weiteren Ca/P-Verhältnis als auch in niedrigeren K/(Ca+Mg)-Quotienten äußert. Auch GUILLARD & ALLINSON (1989b) empfehlen bei *Brassicaceen* die Zufütterung von frischem oder konserviertem Gras, um die totale Ca-Aufnahme zu senken. Nach RENIUS (1992) dürfen Futterraps und Stoppelrüben wegen der fehlenden Struktur, geringen Trockenmasse und des geringen Rohfasergehaltes nicht unbegrenzt verfüttert werden. Die Kombination mit grasreichen Ansaatmischungen oder reinen Gräsern bietet sich zum Ausgleich an. RENIUS (1992) empfiehlt, den Tieren zwei sich ergänzende Weideflächen zur Verfügung zu stellen, wobei auf der einen Fläche Einjähriges Weidelgras mit einem hohen Anteil an Schossern die nötige Struktur in der Futterration liefert und der Energiebedarf des Tieres durch den Anbau von Winterfutterraps im Weidetyp auf der zweiten Fläche gedeckt wird.

6 Zusammenfassung

Der vorliegenden Untersuchung lagen dreijährige Freilandversuche – gelegen 160 m ü. NN, südlich von Gießen – zugrunde, die als Spaltanlage mit drei Wiederholungen angelegt waren. In dieser Untersuchung wurden zum einen die P-, K-, Na-, Mg- und Ca-Konzentrationen verschiedener Ackerpferch-Zwischenfrüchte erfasst und zum anderen Unterschiede in der Verdaulichkeit organischer Substanz dieser Pflanzen anhand der Zellwandbeschaffenheit, Glucosinolat-Konzentration sowie Verpilzung untersucht. In diesem Zusammenhang wurde der Einfluss der Faktoren Saattermin (= Ende Juli; Mitte August), Erntetermin (= November, Dezember, Januar) und Frucht (= Wintergerste als Ausfallgetreidesimulation, Winterraps, Sommerraps als Weidetyp, Sommerraps als Schnitttyp, Herbstrübe, Einjähriges und Welsches Weidelgras) geprüft. Die erzielten Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wichtigste Varianzursache für die **NDF**-Konzentrationen ist meist der Faktor Frucht, gefolgt vom Erntetermin. Die geringsten NDF-Konzentrationen werden mit 25,4% bei der Herbstrübe erreicht, gefolgt von den blattreichen Rapsformen mit 29,9% und dem stängelreichen Sommerraps mit 36,5%. Die NDF-Konzentrationen der Weidelgräser liegen – über die Jahre betrachtet – bei 51,1% und das Ausfallgetreide weist mit 58,3% stets den höchsten Zellwandanteil auf. Auch die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist signifikant, da ein verzögerter Erntetermin nur bei den *Poaceen* zu einem Anstieg der NDF-Konzentrationen führt.
2. Im Hinblick auf die **ADF**-Konzentrationen geht der größte Einfluss vom Erntetermin aus, gefolgt von dem Faktor Frucht. Auch die Wechselwirkung Frucht $\times$ Erntetermin ist in allen Wintern gesichert, da der Anstieg der ADF-Konzentrationen im Laufe des Winters bei den *Poaceen* deutlicher ist als bei den *Brassicaceen*. Mit 22,5% werden bei der Herbstrübe die geringsten und mit 31,1% beim Ausfallgetreide die höchsten Werte erreicht. Die höchsten Konzentrationen an **ADL** erreichen mit 3,2% und 3,0% der Sommerraps, Schnitttyp, und das Ausfallgetreide.
3. Die **Beziehung** zwischen Verdaulichkeit organischer Substanz einerseits und NDF, ADF sowie ADL andererseits ist jahrabhängig. Die maximalen Bestimmtheitsmaße sind bei den blattreichen Rapsformen $r^2 = 0,56$ (= NDF), beim stängelreichen Raps $r^2 = 0,71$ (= NDF), $0,72$ (= ADF), bei den Weidelgräsern $r^2 = 0,60$ (= NDF), $0,60$ (= ADF), $0,72$ (= ADL) und beim Ausfallgetreide $r^2 = 0,56$ (= NDF), $0,55$ (= ADF). Die DOM der Herbstrübe korreliert nicht mit der Konzentration an Gerüstsubstanzen. Hohe Ergosterol-Konzentrationen, wie bei den *Poaceen*, können sich direkt und indirekt – durch einen

- Anstieg der Gerüstsubstanzen – negativ auf die Verdaulichkeit auswirken, während bei den Glucosinolaten kein messbarer negativer Einfluss besteht.
4. Den größten Einfluss auf die **P**-Konzentrationen hat der Faktor Frucht, wobei mit 0,60% die höchsten Werte bei der Herbstrübe und mit 0,40% die geringsten Werte bei den Sommerraps-Typen festzustellen sind. Auf die **K**-Konzentrationen hat der Erntetermin den größten Einfluss; auch die Interaktion Frucht × Erntetermin ist gesichert, da die K-Konzentrationen bei den *Poaceen* im Laufe des Winters deutlicher sinken. Die höchsten Konzentrationen erreichen mit 4,10% die Weidelgräser und die Herbstrübe. Wichtigste Varianzursache für die **Na**-Konzentrationen ist – über die Jahre betrachtet – der Faktor Frucht, da die *Brassicaceen* mit 0,20% mehr Na enthalten als die *Poaceen* mit 0,09%. Im Hinblick auf die **Mg**-Konzentrationen besteht eine geringe Abhängigkeit zu dem Faktor Frucht, wobei die *Brassicaceen* Mg-reicher sind als die *Poaceen*. Der größte Einfluss auf die **Ca**-Konzentrationen geht stets von dem Faktor Frucht aus; die *Poaceen* sind mit 0,46% relativ Ca-arm. Da bei den *Brassicaceen* im Gegensatz zu den *Poaceen* ein Rückgang der Ca-Konzentrationen im Verlauf des Winters festzustellen ist, ist auch die Interaktion Frucht × Erntetermin jahrunabhängig signifikant. Der Faktor Frucht hat in allen Jahren den größten Einfluss auf die **Ca/P**-Quotienten, da diese – analog zu den Ca-Konzentrationen – mit 3,22 bei den dikotylen Pflanzen höher liegen als bei den Monokotyledonen mit 0,95. Da nur das Ca/P-Verhältnis der *Brassicaceen* im Laufe des Winters enger wird, ist die Wechselwirkung Frucht × Erntetermin gesichert. Auch für die **K/(Ca+Mg)**-Quotienten bestehen die größten Unterschiede zwischen den Früchten; aufgrund der hohen K/(Ca+Mg)-Quotienten der *Poaceen* ist die Tetanie-Gefahr bei diesen Früchten stets hoch. Da das Verhältnis bei den *Poaceen* mit fortschreitendem Erntetermin enger wird, während es bei den *Brassicaceen* annähernd konstant bleibt, ist die Interaktion Frucht × Erntetermin signifikant.
 5. Im Hinblick auf die **Ansprüche des Weidetieres** an Energie und Struktur ist eine Kombination von hochverdaulichem Raps und Weidelgras, das als Strukturergänzung dient, zu empfehlen. Auch das Verhältnis der Mineralstoffe zueinander wird durch eine Mischung dieser Arten verbessert.

7. Summary

Ratios of Structural Substances and Particular Mineral Nutrients of Catch Crops in Arable Land Folds Under Agronomical Management

This research is based on triennial experiments, established in a split-plot design with three replicates, located 160 m above sea-level in the south of Gießen. The research was focused on the concentrations of P, K, Na, Mg and Ca of different catch-crops cultivated on arable land; further differences in the digestibility of organic matter of these plants were analysed regarding the composition of the cell wall, concentration of glucosinolates in *Brassicaceae* and fungal infection. In this context the influence of the factors date of sowing (= end of July, middle of August), date of winter harvest (= November, December and January) and species (volunteer cereals (= *Hordeum vulgare*), winter forage rape, summer forage rape “pasture-type” and summer forage rape “cutting-type” (= *Brassica napus* ssp. *napus*), stubble turnip (= *Brassica rapa* ssp. *rapa*), annual and Italian ryegrass (= *Lolium multiflorum* ssp. *gaudini* and *Lolium multiflorum* ssp. *italicum*)) were investigated. The results can be summarized as follows:

1. The main sources of variance for **NDF** levels are the factors species and date of winter harvest. With 25.4% stubble turnip contains lowest NDF, followed by the leaf rich types of forage rape with 29.9% and the stem-rich summer forage rape, cutting type, with 36.5% NDF. The ryegrasses reach concentrations of 51.1% and with 58.3% the volunteer cereals contain highest NDF. Furthermore the interaction species $\times$ date of harvest is significant, as in contrary to *Brassicaceae* NDF in *Poaceae* increases with delayed date of harvest.
2. Regarding the **ADF** levels, date of harvest has the largest influence, followed by species. The interaction species $\times$ date of harvest is also significant through all the years, because in winter ADF in *Poaceae* increases more distinctly than in *Brassicaceae*. With 22.5% stubble turnip contains lowest and with 31.1% volunteer cereals contains highest ADF. Highest levels of **ADL** can be find in summer forage rape, cutting type, with 3.2% and in volunteer cereals with 3.0% ADL.
3. The **correlations** between digestibility of organic matter and NDF, ADF as well as ADL on the other hand are dependent on year. Highest coefficients of determination are found for leaf rich forage rapes $r^2 = 0.56\%$ (= NDF), for stem-rich forage rape $r^2 = 0.71$ (= NDF), 0.72 (= ADF), for ryegrasses $r^2 = 0.60$ (= NDF), 0.55 (= ADF), 0.72 (= ADL) and for volunteer cereals $r^2 = 0.56$ (= NDF), 0.55 (= ADF). Digestibility of stubble turnip is not correlated with structural substances. High degree of fungal infection can influence

digestibility directly or indirectly – by increasing structural substances. There is no negative influence of glucosinolates measurable.

4. Main source of variance for levels of **P** is the factor species; with 0.60% stubble turnip reaches highest and with 0.40% summer forage rapes reaches lowest concentrations. **K** concentration is most dependent on date of harvest; the interaction species $\times$ date of harvest is also significant, as with delayed date of harvest K decreases more distinctly in *Poaceae*. With 4.10% ryegrasses contain highest levels of K. For **Na** concentrations, as well as for **Mg** and **Ca**, species is most important, because *Brassicaceae* (= 0.20% Na, 0.22% Mg, 1.47% Ca) contain more Na, Mg and Ca than *Poaceae* (= 0.09% Na, 0.17% Mg, 0.46% Ca). For Ca further the interaction species $\times$ date of harvest is significant, as only in *Brassicaceae* Ca decreases in winter. Main source of variance for **Ca/P**-ratio is also species; values of *Brassicaceae* (= 3.22) are markedly higher than values of *Poaceae* (= 0.95). Because only the Ca/P-ratio of *Brassicaceae* becomes closer in winter, the interaction species $\times$ date of harvest is significant. Also differences in **K/(Ca+Mg)**-ratio are mainly connected with species. *Poaceae* include a high tetany risk; in opposition to *Brassicaceae* the K/(Ca+Mg)-ratio of *Poaceae* becomes closer in winter, causing the interaction species $\times$ date of harvest to be significant.
5. Regarding the **animal requirement** for energy and structure, a combination of highly digestible rape and structured ryegrass is recommended. This mixture also improves the mineral ratios.

8 Literaturverzeichnis

1. ADESOGAN, A.T., 2002: What are feeds worth?: A critical evaluation for selected nutritive value methods. – Proc. 13th Annual Florida Ruminant Nutr. Symposium, 33-47.
2. ADESOGAN, A.T., D.I. GIVENS & E. OWEN, 1998: Prediction of the *in vivo* digestibility of whole crop wheat from *in vitro* digestibility, chemical composition, *in situ* rumen degradability, *in vitro* gas production and near infrared reflectance spectroscopy. – Anim. Feed Sci. Technol. **74**, 259-272.
3. AERTS, J.V., D.L. DE BRABANDER, B.G. COTTYN & F.X. BUYSSE, 1977: Comparison of laboratory methods for predicting the organic matter digestibility of forages. – Anim. Feed. Sci. Technol. **2**, 337-349.
4. ALÇIÇEK, A., J. PALLAUF & O.P. WALZ, 1994: Verdaulichkeit von Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen sowie energetischer Futterwert von Grünraps (*Brassica napus* L.) und Klee gras-Gemenge (*Trifolium resupinatum* L. und *Lolium perenne* L.) als Zwischenfrucht bei Schafen. – D. wirtschaftseigene Futter **40**, 277-287.
5. ALLEN, V.G., J.P. FONTENOT, W.P. GREEN & R.C. HAMMES, JR., 1989: Year-round grazing systems for beef production from conception to slaughter. – Proc. 16th Intern. Grassl. Congr., Nice, 1197-1198.
6. ANKE, M., B. GROPPPEL & M. GLEI, 1994: Der Einfluss des Nutzungszeitpunktes auf den Mengen- und Spurenelementgehalt des Grünfutters. – D. wirtschaftseigene Futter **40**, 304-319.
7. ANONYMUS, 1976: Methodenbuch Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. – Verl. VDLUFA, Darmstadt.
8. ANONYMUS, 1985: Mineral tolerances of domestic animals. – Hrsg.: NRC, Natl. Academy Press, Washington, DC.
9. ANONYMUS, 1988: Methodenbuch Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. 2. Erg. – Verl. VDLUFA, Darmstadt.
10. ANONYMUS, 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. Hrsg.: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. – J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. **65**, 229-234.
11. ANONYMUS, 1992: Bestimmung des Ölsaaten Glucosinolatgehalts durch HPLC. -ISO 9167-1: 1992. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 170/28.
12. ANONYMUS, 1993: Methodenbuch Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. 3. Erg. – Verl. VDLUFA, Darmstadt.
13. ANONYMUS, 1995: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. – Hrsg.: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Proc. Soc. Nutr. Physiol. **4**, 121-123.
14. ANONYMUS, 1997a: Methodenbuch Band III. Die chemische Analyse von Futtermitteln. 4. Erg. – Verl. VDLUFA, Darmstadt.
15. ANONYMUS, 1997b: DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. – 7. Aufl., Verl. DLG, Frankfurt/Main.
16. ANONYMUS, 2000: SPSS für Windows, Version 10.0.7, SPSS Deutschland, München.

17. ANONYMUS, 2003: Beschreibende Sortenliste 2003; Futtergräser, Espарsette, Klee, Luzerne. – Hrsg.: Bundessortenamt Hannover, Landbuchverlagsges., Hannover.
18. ARCHER, K.A. & A.M. DECKER, 1977: Autumn-accumulated tall fescue and orchard-grass – Agron. J. **69**, 601-609.
19. ARNDT, S., 1995: Bericht über einen Praxisversuch zur Rinderfreihaltung im Pferch über Winter. – Hrsg.: Lehr- und Versuchsanstalt für Landw. Weinb. Hausw., Ahrweiler/Mayen, 1-8.
20. AUFRÈRE, J. & B. MICHALET-DOREAU, 1988: Comparison of methods für predicting digestibility of feeds. – Anim. Feed Sci. Technol. **20**, 203-218.
21. BAATH, H., O. KNABE & P. LEPOM, 1990: Vorkommen von *Fusarium*-Arten und ihren Mykotoxinen auf Silomais. – Arch. Anim. Nutr. **40**, 397-405.
22. BAEUMER, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. – 3. Aufl., Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
23. BALASKO, J.A., 1977: Effects of N, P and K fertilization on yield and quality of tall fescue forage in winter. – Agron. J. **69**, 425-428.
24. BANZHAF, K., 2004: Einfluss von Pflanzengesellschaft und Bewirtschaftungsintensität auf Muster und Konzentration ausgewählter Mineralstoffe von Winterweidefutter. – Diss. Gießen.
25. BARNETT, A.J.G. & R.L. REID, 1961: Reactions in rumen. – Edward Arnold Ltd., London.
26. BARTLET, E., G. KIDDLE, I. WILLIAMS & R. WALLSGROVE, 1999: Wound-induced increases in the glucosinolate content of oilseed rape and their effect on subsequent herbivory by a crucifer specialist. – Entomol. Exp. Appl. **91**, 163-167.
27. BARTHOLOMEW, H.M., S.L. BOYLES, B. CARTER, E. VOLLBORN, D. MILLER & R.M. SULC, 1997: Experiences of eight Ohio beef and sheep producers with year-round grazing. – Proc. 18th Intern. Grasl. Congr., Saskatoon, **29**, 127-128.
28. BASSLER, R. & H.A. PUTZKA, 1985: Kieselsäuregehalt von Haferspelzen. – Landw. Forsch. **38**, 298-305.
29. BAUMANN, U. & B. ZIMMERLI, 1988: Einfache Ochratoxin-A-Bestimmung in Lebensmitteln. – Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **79**, 151-158.
30. BECKHOFF, J., 1976: Silierung der Zwischenfrüchte Raps und Rübsen. – D. wirtschaftseigene Futter **22**, 242-252.
31. BECKHOFF, J. & V. POTTHAST, 1981: Silierung und Futterwert von blatt- und stängelreichem Zwischenfrucht-Raps. – Landw. Zeitschr. Rheinland **32**, 1886-1887.
32. BECKHOFF, J. & V. POTTHAST, 1986: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Gras aus dem Anbau als Sommerzwischenfrucht. – D. wirtschaftseigene Futter **32**, 13-19.
33. BEEVER, D.E. & F.L. MOULD, 2000: Forage evaluation for efficient ruminant livestock production. In: GIVENS, D.I., E. OWEN, R.F.E. AXFORD & H.M. OMED (eds.): Forage evaluation in ruminant nutrition. – CABI Publ., Wallingford, 15-42.
34. BEN-GHEDALIA, D., A. KABALA & J. MIRON, 1995: Composition and *in vitro* digestibility of carbohydrates of wheat plants harvested at bloom and soft-dough stages. – J. Sci. Food Agric. **68**, 111-116.

35. BERENDONK, C., 1982a: Einfluss des Erntetermins auf Ertrag und Qualität von Sommer- und Winterrapssorten im Zwischenfruchtbau. 1. Mitteilung: Ertrag, Blatt/Stängel-Verhältnis und Trockensubstanzgehalt. – D. wirtschaftseigene Futter **28**, 156-165.
36. BERENDONK, C., 1982b: Einfluss des Erntetermins auf Ertrag und Qualität von Sommer- und Winterrapssorten im Zwischenfruchtbau. 2. Mitteilung: Rohasche-, Rohfaser- und Rohproteingehalt sowie Verdaulichkeit der organischen Substanz. – D. wirtschaftseigene Futter **28**, 202-214.
37. BERENDONK, C., 1982c: Einfluss des Erntetermins auf Ertrag und Qualität von Sommer- und Winterrapssorten im Zwischenfruchtbau. 3. Mitteilung: Mineralstoffgehalte in Blatt, Stängel und Gesamtpflanze. – D. wirtschaftseigene Futter **28**, 215-224.
38. BERENDONK, C., 1985: Beweidungsversuche mit Ölrettich sowie mehreren Rapssorten unterschiedlichen Blatt/Stängel-Verhältnisses und Glucosinolatgehaltes. – D. wirtschaftseigene Futter **31**, 165-173.
39. BERENDONK, C., 2000: Zwischenfruchtbau. – Landw. Wochenblatt **23**, Westfalen Lippe, 26-30.
40. BERENDONK, C., 2005: Zwischenfrüchte für die Futternutzung. – Landw. Z. Rheinland **25**, 16-19.
41. BISKUPEK, B., 1993: Futterqualität in Abhängigkeit von interspezifischer Konkurrenz. – Diss. Gießen.
42. BOEKER, P., 1957: Ganzjähriger Weidegang in Großbritannien durch Winterweide nach dem Foggage-System. – Landw. Angew. Wiss. **67**, 85-123.
43. BOLING, J.A., L.P. BUSH, R.C. BUCKNER, L.C. PENDLUM, P.B. BURRUS, S.G. YATES, S.P. ROGOVIN & H.L. TOOKEY, 1975: Nutrient digestibility and metabolism in lambs fed added perloline. – J. Anim. Sci. **40**, 972-976.
44. BOWERS, M.D. & N.E. STAMP, 1993: Effects of plant age, genotype and herbivory on *Plantago* performance and chemistry. – Ecology **74**, 1778-1791.
45. BRETSCHNEIDER-HERRMANN, B. & W. SCHUSTER, 1967: Phytotron-Untersuchungen über den Einfluss von Temperatur und Tageslänge auf verschiedene Kruzi-ferenarten mit vergleichenden Beobachtungen zu Feldversuchsergebnissen. – J. Agron. Crop. Sci. **126**, 33-50.
46. BRODOWSKI, N., 2001: Untersaaten in Winterweizen in Abhängigkeit von Sortenwahl und Herbizideinsatz. – Diss. Gießen.
47. BROWN, R.H., R.E. BLASER & J.P. FONTENOT, 1963: Digestibility of fall grown Kentucky 31 fescue. – Agron. J. **55**, 321-324.
48. BUGHRARA, S.S. & D.A. SLEPER, 1986: Digestion of several temperate forage species by a prepared cellulase solution. – Agron. J. **78**, 94-98.
49. BURNS, J.C. & D.S. CHAMBLEE, 1979: Adaptation. In: BUCKNER, R.C. & L.P. BUSH (Publ.): Tall fescue. – Americ. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, 9-30.
50. BUSH, L.P., C. STREETER & R.C. BUCKNER, 1970: Perloline inhibition of *in vitro* ruminal cellulose digestion. – Crop Sci. **10**, 108-109.

51. CARLSON, D.G., M.E. DAXENBICHLER, H.L. TOOKEY, W.F. KWOLEK, C.B. HILL & P.H. WILLIAMS, 1987: Glucosinolates in turnip tops and roots: Cultivars grown for greens and/or roots. – J. Am. Soc. Hort. Sci. **112**, 179-183.
52. CERNING, J. & A. GUILBOT, 1974: Carbohydrate composition of wheat. In: INGLET, G.E. (Editor): Wheat – Production and utilization. – Avi. Publis. Comp., West-Port, Connecticut, 146-185.
53. CHERNEY, J.H., E.A. MIKHAILOVA & D.J.R. CHERNEY, 2002: Tetany potential of orchardgrass and tall fescue as influenced by fertilization with dairy manure or commercial fertilizer. – J. Plant Nutr. **25**, 1501-1525.
54. CHIU, P.C. & C.J.C. PHILLIPS, 1997: Effects of sodium fertiliser on the chemical composition of perennial ryegrass and white clover leaves of different physiological ages. – J. Sci. Food Agric. **73**, 337-348.
55. CLARK, J. & J. BEARD, 1977: Prediction of the digestibility of ruminant feeds from their solubility in enzyme solutions. – Anim. Feed Sci. Technol. **2**, 153-159.
56. CLARK, P., D.I. GIVENS & J.M. BRUNNEN, 1987: The chemical composition, digestibility and energy value of fodder-beet roots. – Anim. Feed Sci. Technol. **18**, 225-231.
57. COLLINS, M. & J.A. BALASKO, 1981: Effects of N fertilization and cutting schedules on stockpiled tall fescue. II. Forage quality. – Agron. J. **73**, 821-826.
58. CORBETT, J.L., 1957: Studies on the extension of the grazing season. – J. Brit. Grassl. Soc. **12**, 81-96.
59. CRAWFORD, R.J., M.D. MASSIE, H.F. MAYLAND & D.A. SLEEPER, 1998: Use of an experimental high-magnesium tall fescue to reduce grass tetany in cattle. – J. Prod. Agric. **11**, 491-496.
60. DANIEL, P. & W. OPITZ v. BOBERFELD, 1988: Zur Problematik der Schätzung des Futterwertes von Futterpflanzen. – VDLUFA-Schriftenreihe **28**, Kongressbd. 1988, II, Bonn, 737-747.
61. DANIEL, P. & U. ZOBELT, 1986: Untersuchungen über die Futteraufnahme von Futterraps (*Brassica napus* L.) und Phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.). – D. wirtschaftseigene Futter **32**, 175-182.
62. DAVIS, G.K., 1959: Effects of high calcium intakes on the absorption of other nutrients. – Fed. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol. **18**, 1119-1123.
63. DEBLITZ, C., M. RUMP, S. KREBS & U. BALLIET, 1993: Beispiele für eine standort-angepasste Mutterkuhhaltung in Ostdeutschland. – D. Tierzüchter **9**, 24-27.
64. DEINUM, B., 1966: Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. – Proc. 10th Intern. Grassl. Congr., Helsinki, 415-418.
65. DEINUM, B. & P.J. VAN SOEST, 1969: Prediction of forage digestibility from some laboratory procedures. – Neth. J. Agric. Sci. **17**, 119-127.
66. DEMES, H., 1989: Untersuchungen über Glucosinolat-, Nitrat- und Proteingehalt in der Rapsgrünmasse in Abhängigkeit von Genotyp, Umwelt und Entwicklungsstadium. – Diss. Gießen.
67. EBEL, G. & A. MILIMONKA, 1998: Stickstoffflüsse bei Freilandhaltung von Mutterkühen im Winter. – Ber. 42. Jahrest. AG Grünland u. Futterbau, Gießen, 94-97.

68. EBEL, G. & A. MILIMONKA & K. RICHTER, 2003: Räumliche und zeitliche Variabilität des mineralischen Bodenstickstoffs unter Mähstandweiden mit Mutterkühen. – Pflanzenbauwiss. **7**, 56-63.
69. ECHTERNACHT, S., 2004: Zur Masse und Qualität von Ackerpferch-Zwischenfrüchten in Abhängigkeit von Art bzw. Sortentyp, Saat- und Erntezeitpunkt. – Diss. Gießen.
70. ESSER, J., H. VOS & R. BECKER, 1964: Einfluss der Stoppelrübe auf die Milchqualität. – D. wirtschaftseigene Futter **10**, 231-235.
71. ETTEN, C.H., VAN, M.E. DAXENBICHLER & J.A. WOLFF, 1969: Natural glucosinolates (thioglucosides) in foods and feeds. – J. Agric. Food Chem. **17**, 483-491.
72. FLEMING, G.A., 1973: Mineral composition of herbage. In: BUTLER, G.W. & R.W. BAILEY (ed.): Chemistry and biochemistry of herbage. – Vol. 1, Academic Press London, New York, 529-566.
73. FLEMING, G.A. & W.E. MURPHY, 1968: The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity. – Grass Forage Sci. **23**, 174-185.
74. FORD, C.W., 1978: Effect of partial delignification on the *in vitro* digestibility of cell wall polysaccharides in *Digitaria decumbens* (Pangola grass). – Aust. J. Agric. Res. **29**, 1157-1166.
75. FOREJTOVÁ, J., F. LÁD, J. TRÍNÁCTÝ, M. RICHTER, L. GRUBER, P. DOLEŽAL, P. HOMOLKA & L. PAVELEK, 2005: Comparison of organic matter digestibility determined by *in vivo* and *in vitro* methods. – Czech J. Anim. Sci. **50**, 47-53.
76. FREEZE, B.S., W.D. WILLMS & L. RODE, 1999: Economics of maintaining cow condition on fescue prairie in winter. – J. Range Managem. **52**, 113-119.
77. GARDNER, A.L. & I.V. HUNT, 1955: Winter utilization of cocksfoot. – J. Brit. Grassl. Soc. **10**, 306-316.
78. GERICKE, S. & B. KURMIES, 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. – Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenkde., **59**, 235-247.
79. GIVENS, D.I., B.G. COTTYN, P.J.S. DEWEY & A. STEG, 1995: A comparison of the neutral detergent-cellulase method with other laboratory methods for predicting the digestibility *in vivo* of maize silages from three European countries. – Anim. Feed Sci Technol. **54**, 55-64.
80. GOERING, H.K. & P.J. VAN SOEST, 1970: Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). – USDA-ARS Agric. Handbook No. **379**, Washington, DC.
81. GREEN, L.W., J.P. FONTENOT & K.E. WEBB, JR., 1983: Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. – J. Anim. Sci. **56**, 1208-1213.
82. GRIMME, H., L.C. v. BRAUNSCHWEIG & K. NÉMETH, 1974: Beziehungen zwischen Kalium, Calcium und Magnesium bei Aufnahme und Ertragsbildung. – Landw. Forsch. **30**, II. Sonderheft, 93-100.
83. GRUNES, D.L., P.R. STOUT & J.R. BROWNELL, 1970: Grass tetany of ruminants. – Adv. Agron. **22**, 331-374.

84. GUILLARD, K. & D.W. ALLINSON, 1989a: Seasonal variation in chemical composition of forage *Brassicas*. I. Mineral concentrations and uptake. – *Agron. J.* **81**, 876-881.
85. GUILLARD, K. & D.W. ALLINSON, 1989b: Seasonal variation in chemical composition of forage *Brassicas*. II. Mineral imbalances and antiquality constituents. – *Agron. J.* **81**, 881-886.
86. GUSTINE, D.L. & G.A. JUNG, 1985: Influence of some management parameters on glucosinolate levels in *Brassica* forage. – *Agron. J.* **77**, 593-597.
87. HANNAH, S.M., J.A. PATERSON, J.E. WILLIAMS, M.S. KERLEY & J.L. MINER, 1990: Effects of increasing dietary levels of endophyte-infected tall fescue seed on diet digestibility and ruminal kinetics in sheep. – *J. Anim. Sci.* **68**, 1693-1701.
88. HARRACH, T., 1987: Schriftliche Mitteilung, Gießen.
89. HEIKENS, H.B., 1999: Gesundheit und Verhalten von Mutterkühen mit Kälbern in Winterweidehaltung. – Diss. Göttingen.
90. HEMINGWAY, R.G., 1961: Magnesium, potassium, sodium and calcium contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period. – *J. Brit. Grassl. Soc.* **16**, 106-116.
91. HEYLAND, K.-U. & H. BRAUN, 1980: Einfluss von Futter-Zwischenfruchtbaue auf den Ertrag von Sommerweizen. – *D. wirtschaftseigene Futter* **26**, 15-31.
92. HITZ, A.C. & J.R. RUSSELL, 1998: Potential of stockpiled perennial forages in winter grazing systems for pregnant beef cows. – *J. Anim. Sci.* **76**, 404-415.
93. HOCHBERG, H., 1998: Freilandhaltung von Fleischrindern im Winter. – Ber. 42. Jahrest. AG Grünland u. Futterbau, Gießen, 30-36.
94. HOCHBERG, H. & A. WEIß, 1998: Auswirkungen der Winterdraußenhaltung von Mutterkühen im Mittelgebirge auf den Pflanzenbestand, Boden-N-Gehalt und die Bodenwasserqualität. – Ber. 42. Jahrest. AG Grünland u. Futterbau, Gießen, 123-126.
95. HÖLTERSHINKEN, M., K. MAIWORM & H. SCHOLZ, 1996a: Mykotoxikosen beim Rind – Probleme auch in Norddeutschland? – *D. Praktische Tierarzt* **77**, 9-14.
96. HÖLTERSHINKEN, M., U. PLITT, F.C. TAMMEN, P. HOFFMANN, M. STÖBER & H. SCHOLZ, 1996b: Veränderungen der Thiaminkonzentration im Pansensaft während der *in vitro*-Fermentation von verschimmeltem Gras. – *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* **5**, 117.
97. HÖLTERSHINKEN, M., A. HÖHLING, D. BRUNKLAUS, P. HOFFMANN & H. SCHOLZ, 2000: Einfluss von *Epicoccum nigrum* und *Alternaria alternata* auf die Pansenfermentation des Rindes (*in vitro*). – Proc. 22nd Mykotoxin Workshop, Bonn, Mycotoxin Res. **16A**, No.2, 187.
98. HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN & W. JENTSCH, 1972a: Weitere Untersuchungen mit Einzelfutterstoffen. In: *Energetische Futterbewertung und Energienormen*, Nachdruck. – Verl. VEB, Berlin, 81-117.
99. HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN & W. JENTSCH, 1972b: Energetische Verwertung der Nährstoffe in Futterrationen. In: *Energetische Futterbewertung und Energienormen*, Nachdruck. – Verl. VEB, Berlin, 118-161.

100. HOFFMANN, G.M., F. NIENHAUS, H.-M. POEHLING, F. SCHÖNBECK, H.C. WELTZIEN & H. WILBERT, 1994: Lehrbuch der Phytomedizin. – 3. Aufl., Verl. Blackwell Wiss., Berlin.
101. HOPKINS, A., A.H. ADAMSON & P.J. BOWLING, 1994: Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 2. Effects on concentrations of Ca, Mg, K, Na, S, P, Mn, Zn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of sites. – Grass Forage Sci. **49**, 9-20.
102. HUGHES, G., 1954: The production and utilization of winter grass. – J. Agric. Sci. **45**, 179-201.
103. HUNGATE, R.E., 1966: The rumen and its microbes. – Acad. Press, New York, London.
104. HUSS, W., 1987: Futtermittel als Nährstoffträger. In: MENKE, K.H. & W. HUSS, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 170-391.
105. ISSELSTEIN, J.N.P., 1994: Zum futterbaulichen Wert verbreiteter Grünlandkräuter. – Post-doctoral thesis, Justus-Liebig-Universität Giessen.
106. JAHN-DEESBACH, W., 1970: Winterweide –Möglichkeit zu rationeller Bodennutzung in Grenzlagen? – Mitt. DLG **51**, 1590-1595.
107. JEROCH, H., W. DROCHNER & O. SIMON, 1999: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
108. JUDSON, G.J. & J.D. MCFARLANE, 1998: Mineral disorders in grazing livestock and the usefulness of soil and plant analysis in the assessment of these disorders. – Aust. J. Exp. Agric. **38**, 707-723.
109. JUNG, H.G., 1989: Forage lignins and their effects on fiber digestibility. – Agron. J. **81**, 33-38.
110. JUNG, H.G., R.E. KOCHER & A. GLICA, 1984: Minimum-tillage forage turnip and rape production on hill land as influenced by sod suppression and fertilizer. – Agron. J. **76**, 404-408.
111. JUNG, G.A., R.A. BYERS, M.T. PANCIERA & J.A. SHAFFER, 1986: Forage dry matter accumulation and quality of turnip, swede, rape, chinese cabbage hybrids and kale in Eastern USA. – Agron. J. **78**, 245-253.
112. KASDORFF, K., 1955: Frühjahrsfrüh- und Spätherbstweide. – Wiss. Z. Univ. Rostock **5**, 118-121.
113. KEMP, A., 1960: Hypomagnesaemia in milking cows: The response of serum magnesium to alterations in herbage composition resulting from potash and nitrogen dressings to pasture. – Neth. J. Agric. Sci. **8**, 281-304.
114. KEMP, A. & M.L. 'T HART, 1957: Grass tetany in grazing milking cows. – Neth. J. Agric. Sci. **5**, 4-17.
115. KEMP, A., J.H. GEURINK, R.T. HAALSTRA & J. MALESTEIN, 1977: Nitratgehalt von Grünfutter, Heu und Silage und Nitratvergiftung beim Rindvieh. – D. wirtschaftseigene Futter **23**, 53-59.
116. KEUREN, R.W., VAN, 1970a: All-season pastures for beef cows. – Ohio Agric. Res. Dev. Center. Res. Summary No. **37**, 27-31.

117. KEUREN, R.W., VAN, 1970b: All-season grazing for beef cow. – Ohio Agric. Res. Dev. Center., Res. Summary No. **43**, 1-13.
118. KIRCHGEßNER, M., 1998: Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. – Proc. Soc. Nutr. Physiol. **7**, 141-150.
119. KIRCHGEßNER, M., 2004: Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 11. Aufl. – Verl. DLG, Frankfurt/Main.
120. KIRCHGEßNER, M., M. MERZ & W. OELSCHLÄGER, 1960: Der Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Mengen- und Spurenelementgehalt dreier Grasarten. – Arch. Anim. Nutr. **10**, 414-427.
121. KIRCHGEßNER, M. & R.J. KELLNER, 1981: Schätzung des energetischen Futterwertes von Grün- und Raufutter durch die Cellulase-Methode. – Landw. Forsch. **34**, 276-281.
122. KLAPP, E., 1967: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. – Verl. Paul Parey, 6. Aufl., Berlin u. Hamburg.
123. KLAPP, E., 1971: Wiesen und Weiden. 4. Aufl. –Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg.
124. KLEE, W., 1992: Weidetetanie, auch im Herbst ein Thema. – D. Tierzüchter **44**, 32-35.
125. KLOPFENSTEIN, T.J., V.E. KRAUSE, M.J. JONES & W. WOODS, 1972: Chemical treatment of low quality roughages. – J. Anim. Sci. **35**, 418-422.
126. KLOSKOWSKI, J., W. KÜHBAUCH & G. VOIGTLÄNDER, 1986: Verdaulichkeit von Wiesenschwingel und Rotklee unter besonderer Berücksichtigung der Gerüstsubstanzen in einem Standortvergleich (435 und 1085 m über NN). – Bayer. Landw. Jb. **63**, 289-297.
127. KOELEN, C.J., VAN DER & A.J.H. VAN ES, 1973: A comparison of some laboratory techniques for the estimation of the digestibility of the organic matter in forage samples. – Neth. J. Agric. Sci. **21**, 199-205.
128. KRÄLING, M., 2005: Einfluss der Gerüstsubstanzen auf die *in vitro*-Verdaulichkeit organischer Substanz differenziert bewirtschafteter Winterweiden. – Diss., Gießen.
129. KREMER-SCHILLINGS, W., 1981: Untersuchungen zur Wirkung von Zwischenfrüchten auf Ertrag und Qualität einer Fruchtfolge. – Diss. Bonn.
130. KÜHBAUCH, W., 1987: Veränderung der Qualität von Grünlandfutter unter dem Einfluss von Standort und Bewirtschaftung. – Kali-Briefe **18**, 485-510.
131. KÜR TEN, P.W., 1963: Anbau, Ernte und Verwertung von Stoppelrüben. – D. wirtschaftseigene Futter **9**, 89-98.
132. LAMBERT, M.G., S.M. ABRAMS, H.W. HARPSTER & G.A. JUNG, 1987: Effect of hay substitution on intake and digestibility of forage rape (*Brassica napus*) fed to lambs. – J. Anim. Sci. **65**, 1639-1646.
133. LANGHOLZ, H.-J., 1992: Extensive Tierhaltung in Landschaftspflege und als produktionstechnische Alternative. – Züchtungskde. **64**, 271-282.
134. LARCHER, W., 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. – 6. Aufl., Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.

135. LASER, H., 1999: Zur Leistung einschließlich Gäreignung von Arten des *Festuco-Cynosuretum* unter variierenden Bedingungen. – Diss. Gießen.
136. LASER, H., 2001: Relevance of various legumes to the mineral concentrations in herbage of extensively managed grassland. – Grassl. Sci. Europe **6**, 133-136.
137. LASER, H., 2004: Pflanzenbauliche Ansätze zur Selen-Versorgung von Mutterkühen und Fleischrindern in Weidesystemen. – Habil.-Schr. Gießen.
138. LAWRENCE, T., J.P. COOPER & E.L. BREESE, 1973: Cold tolerance and winter hardiness in *Lolium perenne*. II. Influence of light and temperature during growth and hardening. – J. Agric. Sci. **80**, 341-348.
139. LOCKHART, D.A.S., J.B.D. HERRIOTT, J.M.M. CUNNINGHAM & R.G. HEDDLE, 1969: The effects of winter grazing on subsequent production from pasture. – J. Brit. Grassl. Soc. **24**, 146-150.
140. LÜTKE ENTRUP, N., 1992: Vorfruchtwert und Vorfruchtwirkung von Zwischenfrüchten; Artenbeschreibung; Versuchsergebnisse im Zwischenfruchtbau. In: RENIUS, W., E. & N. LÜTKE ENTRUP (Hrsg.): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. – Verl. DLG, Frankfurt/M., 144-195.
141. MAINZ, A.K., 1995: Futterqualität und Konservierungseigenschaften verbreiteter Grünlandkräuter. – Diss. Gießen.
142. MAIWORM, K., M. HÖLTERSHINKEN & H. SCHOLZ, 1995: Auswirkungen verdorbener Maissilage auf Fermentationsvorgänge im Pansensaft des Rindes (*in vitro*). – Tierärztl. Umschau **50**, 283-290.
143. MARSCHNER, H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. – 2nd edn., Academic Press, London.
144. MARTENS, H. & G. GÄBEL, 1986: Pathogenese und Prophylaxe der Weidetetanie aus physiologischer Sicht. – Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. **93**, 170-177.
145. MATCHES, A.G., 1979: Management. In: BUCKNER, R.C. & L.P. BUSH (Hrsg.): Tall fescue. – Americ. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 171-199.
146. MAYLAND, H.F. & G.E. SHEWMAKER, 2001: Animal health problems caused by silicon and other mineral imbalances. – J. Range Managem. **54**, 441-446.
147. MAYLAND, H.F. & D.A. SLEPER, 1993: Developing a tall fescue for reduced grass tetany risk. – Proc. 17th Intern. Grassl. Congr., Palmerston North, 1095-1096.
148. MCQUEEN, R. & P.J. VAN SOEST, 1975: Fungal cellulase and hemicellulase prediction of forage digestibility. – J. Dairy Sci. **58**, 1482-1491.
149. MENGEL, K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. – 7. Aufl., Verl. Gustav Fischer, Jena.
150. MENKE, K. H., 1987: Ernährungsphysiologische Grundlagen. In: MENKE, K. H. & W. HUSS, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 15-114.
151. MENKE, K. H., L. RAAB, A. SALEWSKI, H. STEINGASS & D. FRITZ, 1979: Die Bestimmung des Gehaltes an Stärkeeinheiten und umsetzbarer Energie im Hohenheimer Futterwerttest (HFT). – D. Tierzüchter **31**, 20-28.

152. MENKE, K. H. & H. STEINGASS, 1987: Schätzung des energetischen Futterwertes aus der *in vitro* mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. II: Regressionsgleichungen. – Übers. Tierern. **15**, 59-94.
153. METSON, A.J. & W.M.H. SAUNDERS, 1978: Seasonal variations in chemical composition of pasture. – N.Z. J. Agric. Res. **21**, 341-353.
154. MITHEN, R., 2001: Glucosinolates - biochemistry, genetics and biological activity. – Plant Growth Regul. **34**, 91-103.
155. MITHEN, R., M. DEKKER, R. VERKERK, S. RABOT & I.T. JOHNSON, 2000: The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. – J. Sci. Food Agric. **80**, 967-984.
156. MORRISON, I.M., 1972: A semi-micro method for the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crops. – J. Sci. Food Agric. **23**, 455-463.
157. MORRISON, I.M., 1980: Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. – Grass a. Forage Sci. **35**, 287-293.
158. MÜLLER, H.L., G. VOIGTLÄNDER & M. KIRCHGESSNER, 1971: Veränderungen des Gehaltes an Mengenelementen (Ca, Mg, P, Na, K) von Weidegras in Abhängigkeit von Wachstumsdauer und Vegetationsperiode. – D. wirtschaftseigene Futter **17**, 165-178.
159. MÜLLER, H.L., F. BIRKENMAIER, F.J. SCHWARZ & M. KIRCHGESSNER, 1994: Energetische Verwertung von Futterrüben durch Milchkühe. – J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. **71**, 234-246.
160. NÖSBERGER, J., 1986: Futterbau. In: NÖSBERGER, J. & W. OPITZ v. BOBERFELD (Hrsg.): Grundfutterproduktion. – Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg, 9-64.
161. NORRIS, K.H., R.F. BARNES, J.E. MOORE & J.S. SHENK, 1976: Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. – J. Anim. Sci. **43**, 889-897.
162. OCUMPAUGH, W.R. & A.G. MATCHES, 1977: Autumn-winter yield and quality of tall fescue. – Agron. J. **69**, 639-643.
163. ONDERSCHEKA, K., F. TATABRUCH, T. STEINECK, E. KLAUSEC, M. VODNASKY, J. WAGNER & H. ECHSEL, 1987: Gehäufte Rehwildverluste nach Aufnahme von 00-Raps. – Z. Jagdwiss. **33**, 191-205.
164. OPITZ v. BOBERFELD, W., 1980: Auswirkungen verschiedener K-Salze auf einige Eigenschaften des Aufwuchses und des Bodens in Abhängigkeit vom K- und N-Aufwand bei Mähweiden. – J. Agron. Crop Sci. **149**, 58-74.
165. OPITZ v. BOBERFELD, W., 1986: Grünlandnutzung. In: J. NÖSBERGER & W. OPITZ v. BOBERFELD (Hrsg.): Grundfutterproduktion. – Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg, 65-118.
166. OPITZ v. BOBERFELD, W., 1994a: Grünlandlehre. Biologische und ökologische Grundlagen. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
167. OPITZ v. BOBERFELD, W., 1994b: Phänotyp und Futterqualität einschließlich Konservierungseigenschaften bei Gräsern. – J. Agron. Crop Sci. **172**, 289-304.

168. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1996: Qualitätsveränderungen einschließlich Mykotoxinproblematik von Primäraufwüchsen einer Glatthaferwiese (*Arrhenatherion elatioris*). – Agribiol. Res. **49**, 52-62.
169. OPITZ V. BOBERFELD, W., 1997: Winteraußenhaltung von Mutterkühen in Abhängigkeit vom Standort unter pflanzenbaulichem Aspekt. – Ber. Landw. **75**, 604-618.
170. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2001a: Grünlandumwidmung: Von konventioneller Milch- zur ökologischen Fleischerzeugung. – Hrsg. DLG: Nachhaltige Futterproduktion auf dem Grünland. DLG-Grünlandtagung 2001, Bitburg/Eifel, 27-36.
171. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2001b: Grassland management aspects for year-round outdoor stock keeping of suckler cows. – Grassl. Sci. in Poland **4**, 137-147.
172. OPITZ V. BOBERFELD, W., 2002: Selenhaltige Mehrnährstoff-Düngergaben und ihr Effekt auf die Selen- und Schwefel-Konzentration in Abhängigkeit von Hauptbestandsbildner, Aufwuchs und Aufwand. – Z. Pflanzenbauwiss. **6**, 84-92.
173. OPITZ V. BOBERFELD, W. & B. BISKUPEK, 1995: Zum Einfluss von interspezifischer Konkurrenz in einer Kleeegrasmischung auf die Futterqualität. – J. Agron. Crop Sci. **175**, 355-364.
174. OPITZ V. BOBERFELD, W. & M. STERZENBACH, 1999: Winteraußenhaltung von Mutterkühen unter den Aspekten Standort, Umwelt und Futterwirtschaft. – Z. Kulturtechnik u. Landentwicklung **40**, 258-262.
175. OPITZ V. BOBERFELD, W., M. SCHLOSSER & H. LASER, 1999: Effekt einer kombinierten Natriumdüngung auf Futterqualität und Futterakzeptanz von *Lolium perenne* in Abhängigkeit von Düngerform und Kaliumzufuhr. – Agrobiol. Res. **52**, 261-270.
176. OPITZ V. BOBERFELD, W., H. SCHRÖDER & H. LASER, 2000: The effect of cutting date on herbage quality in extensive grassland systems. – Grassl. Sci. Europe **5**, 170-172.
177. OPITZ V. BOBERFELD, W. & K. WÖHLER, 2002: Forage quality of low input winter pastures under varying conditions in central Germany. – Grassl. Sci. Europe **7**, 222-223.
178. OPITZ V. BOBERFELD, W. & D. WOLF, 2002: Zum Effekt pflanzenbaulicher Maßnahmen auf Qualität und Ertrag von Winterfutter „auf dem Halm“. – German J. Agron. **6**, 9-16.
179. OPITZ V. BOBERFELD, W., K. WÖHLER, G. ERHARDT, M. GAULY, C. URBAN, H. SEUFERT & A. WAGNER, 2002: Nutzungsperspektiven für Grünland peripherer Regionen. – Ber. Landw. **80**, 419-445.
180. OPITZ V. BOBERFELD, W. & P. THEOBALD, 2003: Zum futterbaulichen Wert verbreiteter *Festuco-Brometea*-Arten bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität. – Z. Pflanzenbauwiss. **7**, 1-12.
181. OPITZ V. BOBERFELD, W., P.C. THEOBALD & H. LASER, 2003: Prediction of digestibility and energy concentration of winter pasture forage and herbage of low-input grassland – A comparison of methods. – Arch. Anim. Nutr. **57** (3), 167-176.
182. PHILLIPS, C.J.C., 2001: Principles of cattle production. – CABI Publ., Wallingford.

183. POE, J.H., L.W. GREENE, G.T. SCHELLING, F.M. BYERS & W.C. ELLIS, 1985: Effects of dietary potassium and sodium on magnesium utilization in sheep. – J. Anim. Sci. **60**, 578-582.
184. POTTHAST, V., R. HAVERKAMP & M. RODEHUTSCORD, 1997: Ableitung von Formeln zur Schätzung des Energiegehaltes von Grasprodukten unter Verwendung von *in vitro* Parametern (Gasbildung, Cellulose-Löslichkeit). – D. wirtschaftseigene Futter **43**, 205-216.
185. POWELL, A.J., R.E. BLASER & R.E. SCHMIDT, 1967: Physiological and color aspects of turfgrasses with fall and winter nitrogen. – Agron. J. **59**, 303-307.
186. PRIEBE, R. & P. ZUBE, 1998: Winterliche Freilandhaltung von Mutterkühen gestalten. – Ber. 42. Jahrest. AG Grünland u. Futterbau Gießen, 98-101.
187. PUFFE, D., F. MORGNER & W. ZERR, 1984: Untersuchungen zu den Gehalten an verschiedenen Inhaltsstoffen wichtiger Futterpflanzen. 2. Mitteilung: Mineralstoffgehalte; Kieselsäuregehalte. – D. wirtschaftseigene Futter **30**, 52-70.
188. RAHMAN, H., P. McDONALD & K. SIMPSON, 1960: Effects of nitrogen and potassium fertilizers on the mineral status of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). II. Anion-cation relationships. – J. Sci. Food Agric. **11**, 429-432.
189. RAO, S.C. & F.P. HORN, 1986: Planting season and harvest date effects on dry matter production and nutritional value of *Brassica* ssp. in the southern great plains. – Agron. J. **78**, 327-333.
190. RAZMJOO, K., T. IMADA, J. SUGIURA & S. KANEKO, 1997: Seasonal variations in nutrient and carbohydrate levels of tall fescue cultivars in Japan. – J. Plant Nutr. **20**, 1667-1679.
191. REINBOTT, T.M. & D.G. BLEVINS, 1997: Phosphorus and magnesium fertilization interaction with soil phosphorus level: Tall fescue yield and mineral element content. – J. Prod. Agric. **10**, 260-265.
192. RENIUS, W., 1992: Zwischenfrüchte für Bodenfruchtbarkeit, Boden-, Umwelt- und Pflanzenschutz; Ziele und Anbauformen für Zwischenfrüchte. In: RENIUS, W., E. & N. LÜTKE ENTRUP (Hrsg.): Zwischenfruchtbau zur Futtergewinnung und Gründüngung. – 3. Aufl., Verl. DLG, Frankfurt/M., 21-121.
193. RINNE, K., 1976: The chemical composition of pasture herbage affected by different levels of nitrogen fertilization. – J. Sci. Agric. Soc. Finl. **48**, 305-316.
194. ROSENBERGER, G. & M. STÖBER, 1971: Die Tetanie des Rindes. – D. Tierzüchter **15**, 427-429.
195. ROSENBERGER, G., 1970: Krankheiten des Rindes. – Verl. Paul Parey, Berlin u. Hamburg.
196. ROTHE, R., H. HARTUNG, G. MARKS, H. BERGMANN, R. GOTZ & F. SCHONE, 2004: Glucosinolate contents in vegetative tissues of winter rape cultivars. – J. App. Bot. Food Qual. **78**, 41-47.
197. ROUGHAN, P.G. & R. HOLLAND, 1977: Predicting *in vivo* digestibilities of herbages by exhaustive enzymic hydrolysis of cell walls. – J. Sci. Food Agric. **28**, 1057-1064.
198. SALO, M.L., 1957: Lignin studies. I. Investigations concerning lignin determination. – Maataloust. Aikakansk **29**, 186-193.

199. SCHACHTSCHABEL, P., 1992: Nährstoffe. In: SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. – 13. Aufl., Verl. Ferdinand Enke, Stuttgart, 219-259.
200. SCHÄFER, K., 1991: Zur Verminderung der Erosion im Maisbau durch Zwischenfrüchte und Mulchsaat. – *Feldwirtschaft* **32**, 458-461.
201. SCHALLER, D., 1978: Fiber content and structure in foods. – *Americ. J. Clin. Nutr.* **31**, 99-102.
202. SCHINKEL, H., 1984: Bestimmung von Calcium, Magnesium, Strontium, Kalium, Natrium, Lithium, Eisen, Mangan, Chrom, Nickel, Kupfer, Cobalt, Zink und Cadmium. – *Fresenius' Zeitschr. Analytische Chemie* **317**, 10-26.
203. SCHLÖSSER, E., 1997: Allgemeine Phytopathologie. – 2. Aufl., Verl. Georg Thieme, Stuttgart, New York.
204. SCHLOTT, W., 1980: Untersuchungen über die Möglichkeiten zur Erstellung von Winterweideflächen. – Diss. Giessen.
205. SCHÖNE, F., B. GROPP, A. HENNIG, G. JAHREIS & R. LANGE, 1997: Rapeseed meals, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. – *J. Sci. Food Agric.* **74**, 69-80.
206. SCHÖNER, F.J. & E. PFEFFER, 1981: Überprüfung von Methoden zur Schätzung des energetischen Futterwertes von Milchleistungsfuttern. – *Z. Tierphysiol., Tierern. u. Futtermittelkde.* **46**, 139-145.
207. SCHÖNER, F.J. & D. TUSCHY, 1982: Schätzung des Energiegehaltes von Grundfutter nach dem Hohenheimer Futterwerttest. – *D. wirtschaftseigene Futter* **28**, 173-181.
208. SCHRAUZER, G.N., 1998: Selen. – 3. Aufl., Verl. Johann Ambrosius Barth, Heidelberg u. Leipzig.
209. SCHULTHEISS, U. & W. OPITZ v. BOBERFELD, 1994: Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung der Deckfrucht Wintergerste und verschiedenen Untersaaten. – *D. Bodenkultur* **45**, 25-35.
210. SCHUSTER, W., 1967: Über die Eignung verschiedener Kruziferen für den späten Stoppelfruchtbau auf Grund von Saatzeitversuchen. – *J. Agron. Crop Sci.* **125**, 158-182.
211. SCHWADORF, K. & H.-M. MÜLLER, 1989: Determination of ergosterol in cereals, mixed feed components and mixed feeds by liquid chromatography. – *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **72**, 457-462.
212. SHELDRIK, R.D. & R.H. LAVENDER, 1981: A comparison of a hybrid stubble turnip (cv. Appin) with other cruziferous catch crops for lamb fattening. 1. Initial evaluation of dry matter yield and forage quality. – *Grass Forage Sci.* **36**, 281-289.
213. SHELDRIK, R.D., J.S. FENLON & R.H. LAVENDER, 1981: Variation in forage yield and quality of three cruziferous catch crops grown in southern England. – *Grass Forage Sci.* **36**, 179-187.
214. SIMON, U., 1987: Feldfutterbau. In: VOIGTLÄNDER, G. & H. JACOB, 1987: Grünlandwirtschaft und Futterbau. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 337-385.

215. SLEPER, D.A. & P.G. ROUGHAN, 1984: Histology of several cool-season forage grasses digested by cellulase. – N.Z.J. Agric. Res. **27**, 161-166.
216. SOEST, P.J., VAN, 1967: Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. – J. Anim. Sci. **26**, 119-128.
217. SOEST, P.J., VAN, R.H. WINE & L.A. MOORE, 1966: Estimation of the true digestibility of forages by the *in vitro* digestion of cell walls. – Proc. 10th Intern. Grassl. Congr., Helsinki, 438-441.
218. STÄHLIN, A., 1957: Methodenbuch. Bd. XII. Die Beurteilung der Futtermittel. – Verl. Neumann, Radebeul u. Berlin.
219. STÄHLIN, A., 1971: Gütezahlen von Pflanzenarten in frischem Grundfutter. – D. wirtschaftseigene Futter, Sonderh. **5**.
220. STÄHLIN, A. & H. TIRAPRADJA, 1974: Ein Vergleich von Rohrschwengel (*Festuca arundinacea* Schreb.) und Wiesenschwengel (*Festuca pratensis* Huds.) in chemischer Hinsicht. – J. Agron. Crop. Sci. **140**, 100-116.
221. STEFFENS, D. & K. MENGEL, 1979: Das Aneignungsvermögen von *Lolium perenne* im Vergleich zu *Trifolium pratense* für Zwischenschicht-Kalium der Tonminerale. – Landw. Forsch., Sonderheft **36**, Kongressband 1979, 120-128.
222. STEINGASS, H. & K.-H. MENKE, 1986: Schätzung des energetischen Futterwertes aus der *in vitro* mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. I: Untersuchungen zur Methode. – Übers. Tierern. **14**, 251-270.
223. STEINHÖFEL, O., 1999: Futtermittelkunde – Grünfutter und Grünfutterkonservate. In: JEROCH, H., W. DROCHNER & O. SIMON, 1999: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 174-190.
224. SÜDEKUM, K.-H., 2001: Fachliche Grundlagen internationaler Futterbewertungssysteme für Milchkühe und Zukunftsperspektiven für die deutschen Empfehlungen (Energie, Protein, Aminosäuren). – 28. Viehw. Facht., BAL Gumpenstein, Irdning, 1-10.
225. SWEENEY, D.W., J.L. MOYER & J.L. HAVLIN, 1996: Multinutrient fertilization and placement to improve yield and nutrient concentration of tall fescue. – Agron. J. **88 II**, 982-986.
226. TAYLOR, T.H. & W.C. TEMPLETON, JR., 1976: Stockpiling Kentucky bluegrass and tall fescue forage for winter pasturage. – Agron. J. **68**, 235-239.
227. TERÖRDE, H., 1997: Untersuchungen zur Nähr- und Mineralstoffversorgung von Mutterkuhherden auf ausgesuchten Standorten in Mecklenburg-Vorpommern. – Diss. Berlin.
228. THEOBALD, P.C., 2002: Zur Leistung von *Festuco-Brometea*-Arten unter variierenden Bedingungen. – Diss. Gießen.
229. THOMAS, H. & I.B. NORRIS, 1979: Winter growth of contrasting ryegrass varieties at two altitudes in Mid-Wales. – J. Appl. Ecol. **16**, 553-565.
230. TILLEY, J.M.A. & R.A. TERRY, 1963: A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. – J. Brit. Grassl. Soc. **18**, 104-111.
231. TINNIMIT, P & J.W. THOMAS, 1976: Forage evaluation using various laboratory techniques. – J. Anim. Sci. **43**, 1058-1065.

232. UNDERWOOD, E.J. & N.F. SUTTLE, 2001: The mineral nutrition of livestock. – 3rd edn. CABI Publ., Wallingford.
233. VOIGTLÄNDER, G., 1987: Einführung in den Futterbau – Umfang, Formen und Leistung. In: VOIGTLÄNDER, G. & H. JACOB (Hrsg.): Grünlandwirtschaft und Futterbau. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart, 17-78.
234. WAGENER, P., J. PALLAUF, F. SEVGICAN & R. ERKEK, 1993: Futterwert von Grundfuttermitteln aus dem Zweitfruchtanbau in der Westtürkei – ermittelt *in vivo* und *in vitro*. – D. wirtschaftseigene Futter **39**, 5-22.
235. WAGNER, H., 1993: Drogen und ihre Inhaltsstoffe. – 5. Aufl., Verl. Gustav Fischer, Stuttgart.
236. WALLBAUM, F., 1996: Tiergerechtheit der ganzjährigen Weidehaltung fleischbetonter Mutterkühe am Mittelgebirgsstandort. – Diss. Göttingen.
237. WALLIS DE VRIES, M.F., 1996: Nutritional limitations of free-ranging cattle: The importance of habitat quality. – J. Appl. Ecol. **33**, 688-702.
238. WALTER, H., 1957: Wie kann man den Klimatypus anschaulich darstellen? – Umschau **24**, 751-753.
239. WABMUTH, R., 2002: Wirtschaftliche Betrachtungen zur Grünlandnutzung mit landwirtschaftlichen Nutztieren. In: Ganzjährige Freilandhaltung von Fleischrindern. KTBL-Schrift **409**, 10-18.
240. WEISE, G., P. ZUBE & R. PRIEBE, 1998: Punktuelle Belastung durch tierische Exkremente bei Winteraußenhaltung. – Ber. 42. Jahrest. AG Grünland u. Futterbau, Gießen, 115-118.
241. WESTERNDORF, M.L., G.E. MITCHELL, JR., R.E. TUCKER, L.P. BUSH, R.J. PETROSKI & R.G. POWELL, 1993: *In vitro* and *in vivo* ruminal and physiological responses to endophyte-infected tall fescue. – J. Dairy Sci. **76**, 555-563.
242. WHEELER, J.L., 1968: Major problems in winter grazing. – Herb. Abstr. **38**, 11-18.
243. WHITEHEAD, D.C., 2000: Nutrient elements in grassland, soil-plant-animal-relationships. – CABI Publ., Wallingford, UK.
244. WIEDENHOEFT, M.H. & B.A. BARTON, 1994: Management and environment effects on *Brassica* forage quality. – Agron. J. **86**, 227-232.
245. WILKINSON, S.R. & D.A. MAYS, 1979: Mineral nutrition. In: BUCKNER, R.C. & L.P. BUSH (eds.): Tall fescue. – Americ. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 41-73.
246. WILLIAMS, B.A., 2000: Cumulative gas production techniques for forage evaluation. In: GIVENS, D.I., E. OWEN, R.F.E. AXFORD & H.M. OMED (eds.): Forage evaluation in ruminant nutrition. – CAB Intern., Wallingford, 189-213.
247. WILLMS, W.D. & L.M. RODE, 1998: Forage selection by cattle on fescue prairie in summer or winter. – J. Range Managem. **51**, 496-500.
248. WILMAN, D., G.H. ACUÑA & P. JOY MICHAUD, 1994: Concentrations of N, P, K, Ca, Mg and Na in perennial ryegrass and white clover leaves of different ages. – Grass Forage Sci. **49**, 422-428.
249. WÖHLBIER, W. & M. KIRCHGESSNER, 1957: Der Gehalt von einigen Gräsern, Leguminosen und Kräutern an Mengen- und Spurenelementen. – Landw. Forsch. **10**, 240-251.

250. WÖHLER, K., 2003: Zur Qualität und Masse von Winterweidefutter in Abhängigkeit von Standort, Pflanzengesellschaft und Bewirtschaftung. – Diss. Gießen.
251. WOLF, D., 2002: Zum Effekt von Pflanzenbestand, Vornutzung und Nutzungsstermin auf Qualität und Masse von Winterweidefutter. – Diss. Gießen.
252. WOLF, H., 1971: Beeinflussung des Natrium- und Magnesium-Gehaltes im Weidegras. – D. wirtschaftseigene Futter **17**, 190-197.
253. YANG, J.Z., C. MATTHEW & R.E. ROWLAND, 1998: Tiller axis observations for perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*): Number of active phytomers, probability of tiller appearance and frequency of root appearance per phytomer for three cutting heights. – N.Z.J. Agric. Res. **41**, 11-17.
254. ZOBELT, U., 1990: Der Einfluss von Glucosinolaten und anderen Inhaltsstoffen der Rapsgrünmasse auf Selektionsverhalten, Futteraufnahme und Gesundheitszustand von Schafen. – Diss. Giessen.
255. ZÜRN, F., 1951: Der Nährstoff- und Mineralstoffgehalt von Gräsern, Leguminosen und Kräutern auf Wiesen. – J. Agron. Crop Sci. **93**, 444-463.

9 Tabellenanhang

Anhangtabelle

Bodenprofilbeschreibung (HARRACH 1987).....	1
Anzahl der Tage mit geschlossener Schneedecke bis zur Ernte im Januar.....	2
Niederschlagssumme und durchschnittliche Temperatur	3
Anzahl der Schnee- und Frosttage in den Versuchsjahren.....	4
NO ₃ -N-Gehalt des Bodens in kg ha ⁻¹ im Juli 2003	5
Saat- und Erntetermine.....	6
TS-Erträge	7-10
Umsetzbare Energie (= ME)	11-14
Nettoenergie (= NEL).....	15-18
Verdaulichkeit organischer Substanz (= DOM).....	19-22
Ergosterol-Konzentration.....	23-26
Ergosterol-Konzentration in den Fraktionen Stängel, grünes Blatt und totes Blatt im Dezember 2001	27
Glucosinolatgehalte.....	28-31
Prozentuale Anteile der Fraktionen Blatt und Rübenkörper bei der Herbstrübe	32
NDF.....	33-36
ADF.....	37-40
ADL.....	41-44
Phosphor.....	45-48
Kalium.....	49-52
Natrium.....	53-56
Magnesium.....	57-60
Calcium	61-64
Ca/P-Quotienten.....	65-68
K/(Ca+Mg)-Quotienten.....	69-72

Anhangtab. 1: Bodenprofilbeschreibung (HARRACH 1987)

A _p	0 - 25 cm	Mittel humoser, sandig schluffiger Lehm, schwach kiesig (h 3 suL, g 2; Krümel- bis Subpolyedergefüge)
II S _{ew}	- 33 cm	Sandiger Lehm, stark kiesig (sL, g 4); Nassbleichung und viele Mn-Konkretionen; Prismen-Subpolyedergefüge
II S _d	- 73 cm	Lehmiger Sand bis schluffiger Lehm, mittel kiesig (IS-uL, g 3), sehr inhomogener Horizont mit Geröll, Rostflecken, Fe- und Mn-Konkretionen; teils Kohärentgefüge, teils Prismen- bis Polyedergefüge mit hoher bis sehr hoher Packungsdichte
III f B _j S _d	- 110 cm	Rosaroter Ton (T) mit Prismengefüge, die Aggregatoberflächen nassgebleicht und teils mit Carbonatausscheidungen belegt, sehr hohe Packungsdichte

Anhangtab. 2: Anzahl der Tage mit geschlossener Schneedecke bis zur Januar Ernte

Merkmal	Schneedecke > 1 cm [d]		
	2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Winter			
November	0	0	0
Dezember	11	0	0
Januar	18	0	0
Σ Jahr	29	0	0

Anhangtab. 3: Niederschlagssumme und durchschnittliche Temperatur

Jahr		2001	2002	2003
Niederschlagssumme in mm	Merkmal			
	Juli	73,6 mm	134,1 mm	77,7 mm
	August	33,5 mm	103,9 mm	31,6 mm
	September	85,7 mm	43,9 mm	30,9 mm
	Oktober	63,8 mm	119,2 mm	27 mm
	Jahr (Juli-Juni)	806 mm	826 mm	535 mm
Durchschnittliche Temperatur in °C	Merkmal			
	Juli	18,9 °C	17,8 °C	19,4 °C
	August	18,8 °C	21,2 °C	20,7 °C
	September	12,7 °C	18,2 °C	13,4 °C
	Oktober	12,1 °C	9,0 °C	6,7 °C
	Jahr (Juli-Juni)	10,1 °C	10,6 °C	11,3 °C

Anhangtab. 4: Anzahl der **Schnee- und Frosttage** bis zum letzten Erntetermin

Jahr	2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Anzahl der Schneetage	29	0	0
Anzahl der Frosttage	38	43	52

Anhangtab. 5: **NO₃-N-Mengen** des Bodens in kg N ha⁻¹ im Juli 2003

Tiefe	0 - 30 cm	30 - 60 cm	60 - 90 cm	Σ
x	104,3	74,7	53,9	232,9

Anhangtab. 6: Saat- und Erntetermine

	früher Saattermin	später Saattermin	1. Erntetermin	2. Erntetermin	3. Erntetermin
2001	31.07.01	15.08.01	05.11.01	14.12.01	21.01.02
2002	25.07.02	15.08.02	29.10.02	07.12.02	06.01.03
2003	05.08.03	25.08.03	03.11.03	08.12.03	19.01.03

Anhangtab. 7: Varianztabelle für die **TS-Erträge**

Jahr	FG	2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache		MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	21,114	54,134	180,001
Saattermin	1	6141,753 **	3547,267 **	8472,384 **
Fehler _{Saat}	2	35,533	10,750	13,858
Erntetermin	2	1562,593 **	2084,662 **	632,016 **
S x E	2	3,497	264,405	148,322 **
Fehler _{Ernte}	8	19,929	70,281	13,038
Frucht	6	3362,234 **	2465,281 **	1366,891 **
F x S	6	597,595 **	315,398 **	494,253 **
F x E	12	38,849	213,675 **	60,729 **
F x S x E	12	68,597 **	102,844 **	40,052
Fehler _{Frucht}	72	23,028	29,625	21,805
Gesamt	125			

Anhangtab. 8: TS-Erträge in dt TS ha⁻¹, Winter 2001 / 2002

Frucht		Winterraps	Sommeraps Weidetyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Saar- und Erntetermin	Früher Saattermin	November 40,1	46,6	44,9	87,7	27,0	26,9	24,3	42,5	36,2
	Dezember	41,7	42,5	48,9	60,9	21,3	19,8	18,6	36,2	
	Januar	31,3	32,1	45,3	63,7	10,8	14,9	9,9	29,7	
Saar- und Erntetermin	Später Saattermin	November	34,7	22,3	31,0	45,2	19,8	20,0	23,0	28,0
	Dezember	24,6	19,4	21,0	40,7	18,3	18,1	13,6	22,2	22,2
	Januar	16,2	12,4	17,7	34,7	13,3	9,6	10,6	16,4	
✕ Frucht		31,4	29,2	34,8	55,5	18,4	18,2	16,7	29,2	29,2

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 7,79 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 8,42 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 20,92 (n=3)**Anhangtab. 9: TS-Erträge in dt TS ha⁻¹, Winter 2002 / 2003**

Frucht		Winterraps	Sommeraps Weidetyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	✕ Ernte	✕ Saat
Saar- und Erntetermin	Früher Saattermin	November 44,5	52,8	65,0	54,7	45,2	50,3	29,3	48,8	44,6
	Dezember	58,9	71,1	78,9	56,3	29,9	28,6	27,4	50,2	
	Januar	26,8	47,0	48,3	47,7	30,7	30,3	12,5	34,8	
Saar- und Erntetermin	Später Saattermin	November	36,6	39,3	45,8	50,7	40,0	39,7	30,0	40,3
	Dezember	30,4	39,2	44,4	51,7	24,9	23,1	23,4	33,9	34,0
	Januar	30,2	22,9	41,4	51,1	19,6	18,5	10,7	27,8	
✕ Frucht		37,9	45,4	54,0	52,0	31,7	31,8	22,2	39,3	39,3

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 8,44 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 15,81 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 11,51 (n=3)**Anhangtab. 10: TS-Erträge in dt TS ha⁻¹, Winter 2003 / 2004**

Frucht		Winterraps	Sommeraps Weidetyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	✕ Ernte	✕ Saat
Saar- und Erntetermin	Früher Saattermin	November 54,9	61,9	62,6	50,9	36,7	37,0	29,7	47,7	41,1
	Dezember	40,0	43,1	58,1	48,5	26,8	28,5	25,6	38,7	
	Januar	41,9	56,4	59,6	37,3	24,6	26,8	12,2	37,0	
Saar- und Erntetermin	Später Saattermin	November	30,4	27,5	34,5	27,7	24,6	24,5	20,3	27,1
	Dezember	19,1	26,6	26,2	29,9	21,4	19,7	21,0	23,4	24,7
	Januar	28,2	26,8	25,4	28,1	24,5	16,7	15,8	23,6	
✕ Frucht		35,8	40,4	44,4	37,1	26,4	25,5	20,8	32,9	32,9

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 7,58 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 6,81 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 13,07 (n=3)

Anhangtab. 11: Varianztabelle für die **Umsetzbare Energie** (= ME)

Jahr	FG	2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache		MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,988	0,180	0,007
Saattermin	1	1,677 *	5,848 *	0,448
Fehler _{Saat}	2	0,070	0,072	0,054
Erntetermin	2	5,070 *	0,018	2,950 **
S x E	2	0,488	2,334 **	0,550
Fehler _{Ernte}	8	0,740	0,188	0,133
Frucht	6	4,957 **	14,025 **	1,416 **
F x S	6	1,633 **	0,765 **	1,179 **
F x E	12	0,879 **	1,583 **	1,908 **
F x S x E	12	0,189	0,138	0,255 *
Fehler _{Frucht}	72	0,226	0,086	0,103
Gesamt	125			

Anhangtab. 12: Umsetzbare Energie in MJ ME kg⁻¹ TS, Winter 2001 / 2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommeraps Weideltyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	10,42	10,10	9,89	10,77	9,75	9,96	9,43	10,05	9,73
	Dezember	10,57	10,00	9,53	11,04	9,24	9,49	8,85	9,82	
	Januar	9,77	9,20	8,36	10,91	9,58	9,28	8,20	9,33	
Später Saattermin	November	9,66	9,69	9,53	10,34	10,93	10,85	9,44	10,06	9,96
	Dezember	10,46	10,46	10,10	10,90	10,10	10,21	9,60	10,26	
	Januar	9,00	8,84	8,41	10,53	10,50	10,14	9,51	9,56	
✕ Frucht		9,98	9,71	9,30	10,75	10,02	9,99	9,17	9,85	9,85

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,773 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,623 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,927 (n=3)**Anhangtab. 13: Umsetzbare Energie in MJ ME kg⁻¹ TS, Winter 2002 / 2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommeraps Weideltyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	11,04	10,57	9,12	11,37	10,48	11,13	9,84	10,51	10,25
	Dezember	10,89	10,73	9,79	11,53	9,22	10,13	8,81	10,16	
	Januar	11,28	10,93	9,29	12,43	8,96	9,71	8,07	10,10	
Später Saattermin	November	10,30	10,63	9,73	10,89	10,76	11,23	9,29	10,41	10,68
	Dezember	11,31	10,80	10,61	11,94	10,52	10,67	9,45	10,76	
	Januar	11,49	11,71	10,58	12,32	10,28	10,84	9,03	10,89	
✕ Frucht		11,05	10,90	9,85	11,75	10,04	10,62	9,08	10,47	10,47

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,476 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,817 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,943 (n=3)**Anhangtab. 14: Umsetzbare Energie in MJ ME kg⁻¹ TS, Winter 2003 / 2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommeraps Weideltyp	Sommeraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	9,78	8,64	9,44	10,79	10,20	11,00	9,84	9,96	10,38
	Dezember	11,38	10,39	10,19	10,96	10,33	10,49	10,48	10,60	
	Januar	11,20	10,95	11,23	10,72	10,14	10,74	9,18	10,59	
Später Saattermin	November	9,58	9,62	8,96	10,06	10,63	11,11	10,65	10,09	10,26
	Dezember	10,56	10,60	9,82	10,35	10,61	10,74	10,32	10,43	
	Januar	10,98	11,05	9,79	10,11	10,35	9,84	9,82	10,28	
✕ Frucht		10,58	10,21	9,90	10,50	10,38	10,65	10,05	10,32	10,32

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,522 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,689 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,814 (n=3)

Anhangtab. 15: Varianztabelle für die **Nettoenergie** (= NEL)

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,491	0,095	0,005
Saattermin	1	0,747 *	2,790 *	0,330
Fehler_{Saat}	2	0,038	0,038	0,032
Erntetermin	2	2,430 *	0,008	1,579
S x E	2	0,247	1,198 **	0,254 **
Fehler_{Ernte}	8	0,370	0,091	0,070
Frucht	6	2,501 **	7,009 **	0,702 **
F x S	6	0,828 **	0,377 **	0,593 **
F x E	12	0,436 **	0,796 **	0,928 **
F x S x E	12	0,097	0,071	0,127 *
Fehler_{Frucht}	72	0,113	0,043	0,052
Gesamt	125			

Anhangtab. 16: Nettoenergie in MJ NEL kg⁻¹ TS, Winter 2001 / 2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November	6,30	6,09	5,93	6,55	5,79	5,92	5,57	6,02	5,80
	Dezember	6,39	6,00	5,68	6,74	5,43	5,61	5,17	5,86	
	Januar	5,83	5,44	4,85	6,65	5,69	5,47	4,71	5,52	
Später Saattermin	November	5,74	5,76	5,65	6,23	6,62	6,56	5,57	6,02	5,96
	Dezember	6,31	6,32	6,05	6,64	6,04	6,12	5,69	6,17	
	Januar	5,29	5,17	4,88	6,37	6,33	6,08	5,64	5,68	
X Frucht		5,98	5,80	5,51	6,53	5,98	5,96	5,39	5,88	5,88

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,547 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,148 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,687 (n=3)**Anhangtab. 17: Nettoenergie in MJ NEL kg⁻¹ TS, Winter 2002 / 2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November	6,74	6,42	5,41	6,98	6,34	6,81	5,91	6,37	6,19
	Dezember	6,65	6,53	5,88	7,10	5,45	6,10	5,18	6,13	
	Januar	6,91	6,67	5,52	7,74	5,26	5,79	4,65	6,08	
Später Saattermin	November	6,20	6,44	5,82	6,65	6,53	6,87	5,50	6,29	6,49
	Dezember	6,93	6,57	6,45	7,39	6,37	6,48	5,62	6,55	
	Januar	7,05	7,21	6,42	7,67	6,19	6,58	5,33	6,63	
X Frucht		6,75	6,64	5,92	7,26	6,02	6,44	5,36	6,34	6,34

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,336 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,569 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,683 (n=3)**Anhangtab. 18: Nettoenergie in MJ NEL kg⁻¹ TS, Winter 2003 / 2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November	5,84	5,03	5,60	6,57	6,11	6,67	5,86	5,95	6,26
	Dezember	6,97	6,27	6,14	6,69	6,22	6,33	6,33	6,42	
	Januar	6,84	6,66	6,87	6,51	6,08	6,50	5,41	6,41	
Später Saattermin	November	5,67	5,70	5,23	6,04	6,39	6,73	6,40	6,02	6,16
	Dezember	6,36	6,39	5,85	6,24	6,41	6,50	6,21	6,28	
	Januar	6,66	6,72	5,83	6,08	6,23	5,86	5,86	6,18	
X Frucht		6,39	6,13	5,92	6,35	6,24	6,43	6,01	6,21	6,21

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermin = 0,370 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,497 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,628 (n=3)

Anhangtab. 19: Varianztabelle für die **Verdaulichkeit organischer Substanz** (= DOM)

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	31,186	4,008	0,465
Saattermin	1	116,896 *	218,400 *	4,193
Fehler_{Saat}	2	2,052	3,713	3,096
Erntetermin	2	122,738 *	0,967	243,458 **
S x E	2	15,487	66,812 **	13,920
Fehler_{Ernte}	8	23,490	7,039	4,002
Frucht	6	186,624 **	498,949 **	53,961 **
F x S	6	56,538 **	30,980 **	36,315 **
F x E	12	30,304 **	49,889 **	56,014 **
F x S x E	12	7,094	3,727	8,923 **
Fehler_{Frucht}	72	8,048	2,729	3,489
Gesamt	125			

Anhangtab. 20: DOM in % der TS, Winter 2001 / 2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November		75,3	72,9	71,7	77,5	69,3	69,5	69,3	72,2	70,9
	Dezember		75,9	72,6	69,7	79,3	67,7	68,8	66,4	71,5	
	Januar		71,6	67,9	63,0	79,1	70,0	68,0	62,9	68,9	
Später Saattermin	November		71,2	70,9	70,2	75,4	77,0	76,3	69,5	72,9	72,8
	Dezember		76,0	76,1	73,5	79,2	73,2	73,6	70,7	74,6	
	Januar		67,6	66,8	64,0	77,2	76,1	73,7	70,5	70,9	
X Frucht			72,9	71,2	68,7	78,0	72,2	71,7	68,2	71,8	71,8

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 4,61 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 9,14 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 5,03 (n=3)**Anhangtab. 21: DOM in % der TS, Winter 2002 / 2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November		77,9	75,0	66,3	81,3	74,0	77,1	70,8	74,6	73,4
	Dezember		77,8	76,4	70,6	81,9	67,6	72,5	65,3	73,2	
	Januar		79,3	77,1	67,3	86,8	66,0	69,9	60,7	72,4	
Später Saattermin	November		74,0	75,7	70,8	77,3	76,0	78,4	69,2	74,5	76,0
	Dezember		79,9	76,7	75,6	83,4	74,7	75,6	69,2	76,4	
	Januar		80,6	81,4	75,1	86,5	73,9	76,6	66,4	77,2	
X Frucht			78,2	77,1	70,9	82,9	72,0	75,0	66,9	74,7	74,7

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 2,68 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 5,00 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 6,76 (n=3)**Anhangtab. 22: DOM in % der TS, Winter 2003 / 2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weideltyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	X Ernte	X Saat
Früher Saattermin	November		70,1	63,4	68,2	77,2	71,7	76,4	70,3	71,1	74,5
	Dezember		79,7	74,7	72,9	78,8	74,8	75,5	76,2	76,1	
	Januar		80,1	78,2	79,5	77,7	73,2	76,7	68,5	76,3	
Später Saattermin	November		69,1	69,7	65,6	73,7	74,2	76,9	74,5	72,0	74,1
	Dezember		75,4	76,4	71,4	75,7	76,6	77,4	75,2	75,4	
	Januar		78,9	79,0	71,7	75,0	75,0	72,0	72,8	74,9	
X Frucht			75,5	73,6	71,6	76,4	74,2	75,8	72,9	74,3	74,3

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,03 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 3,77 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 6,17 (n=3)

Anhangtab. 23: Varianztabelle für die **Ergosterol-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	1258,950	295,592	1175,594
Saattermin	1	26556,425 *	11788,918 *	3333,549 *
Fehler_{Saat}	2	441,029	350,353	117,606
Erntetermin	2	44932,508 **	152381,565 **	82081,763 **
S x E	2	2369,590	1830,870 *	695,725 *
Fehler_{Ernte}	8	1022,061	322,826	464,574
Frucht	6	17303,143 **	32851,299 **	13052,771 **
F x S	6	13150,917 **	6261,332 **	1659,933 **
F x E	12	1134,683 **	16243,968 **	11063,745 **
F x S x E	12	911,625 *	1665,603 **	641,749 **
Fehler_{Frucht}	72	386,889	381,933	63,321
Gesamt	125			

Anhangtab. 24: Ergosterol-Konzentrationen in mg kg⁻¹ TS, Winter 2001 / 2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	Σ Ernte	Σ Saat
Früher Saattermin	November	18	18	7	19	19	23	136	34	65
	Dezember	36	29	6	57	81	114	170	71	
	Januar	39	30	32	63	122	103	248	91	
Später Saattermin	November	4	2	6	8	1	1	4	4	36
	Dezember	17	15	14	23	36	38	47	27	
	Januar	83	69	72	89	81	71	78	77	
Σ Frucht		33	27	23	43	57	58	114	51	51

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 31,9 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 60,3 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 73,7 (n=3)**Anhangtab. 25: Ergosterol-Konzentrationen in mg kg⁻¹ TS, Winter 2002 / 2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	Σ Ernte	Σ Saat
Früher Saattermin	November	21	10	4	17	15	7	42	16	75
	Dezember	41	27	19	42	156	106	90	69	
	Januar	80	43	25	39	338	262	186	139	
Später Saattermin	November	10	6	7	7	3	1	28	9	55
	Dezember	47	38	28	20	19	23	68	35	
	Januar	89	72	48	45	251	152	201	123	
Σ Frucht		48	33	22	28	130	92	103	65	65

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 31,7 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 33,9 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 65,7 (n=3)**Anhangtab. 26: Ergosterol-Konzentrationen in mg kg⁻¹ TS, Winter 2003 / 2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfallgetreide	Σ Ernte	Σ Saat
Früher Saattermin	November	4	6	8	3	1	1	13	5	46
	Dezember	37	20	25	19	35	21	71	32	
	Januar	25	21	16	43	193	165	229	99	
Später Saattermin	November	3	1	1	1	1	1	1	1	35
	Dezember	25	14	16	65	11	13	30	25	
	Januar	36	28	23	50	132	126	162	80	
Σ Frucht		21	15	15	30	62	54	84	40	40

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 12,9 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 40,6 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 38,0 (n=3)

Anhangtab. 27: Ergosterol-Konzentration in den Fraktionen Stängel, grünes Blatt und totes Blatt im Dezember 2001

Saattermin	Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	X Fraktion
	Fraktion					
Früher Saattermin	grünes Blatt	2	2	1	7	3
	Stängel oder Rübe	3	7	1	1	3
	totes Blatt	180	193	96	123	148
Später Saattermin	grünes Blatt	1	1	1	3	1
	Stängel oder Rübe	1	1	1	1	1
	totes Blatt	104	97	105	89	99

Anhangtab. 28: Varianztabelle für die **Glucosinolatgehalte**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	54,138	3,481	5,290
Saattermin	1	162,390 **	1,526	74,662 *
Fehler _{Saat}	2	1,123	10,183	2,507
Erntetermin	2	26,554 *	307,103 **	178,105 **
S x E	2	6,119	12,699	27,691
Fehler _{Ernte}	8	5,866	3,577	9,773
Frucht	3	535,464 **	241,590 **	530,933 **
F x S	3	10,440 *	13,409	12,345
F x E	6	213,743 **	42,067 **	43,623 **
F x S x E	6	14,792 **	12,110	10,276
Fehler _{Frucht}	36	4,343	4,364	6,063
Gesamt	72			

Anhangtab. 29: Glucosinolatgehalte in $\mu\text{mol g}^{-1}$ TS, Winter 2001 / 2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	$\bar{x}$ Ernte	$\bar{x}$ Saat
Früher Saattermin	November	10,5	8,9	10,0	24,9	13,6	11,9
	Dezember	6,5	3,5	6,3	28,0	11,0	
	Januar	16,8	11,5	8,6	7,5	11,1	
Später Saattermin	November	7,3	6,4	6,1	18,5	9,6	8,9
	Dezember	4,5	4,2	4,1	23,5	9,1	
	Januar	7,5	9,8	6,3	8,6	8,0	
$\bar{x}$ Frucht		8,8	7,4	6,9	18,5	10,4	10,4

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,45 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 4,56 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 3,72 (n=3)**Anhangtab. 30: Glucosinolatgehalte in $\mu\text{mol g}^{-1}$ TS, Winter 2002 / 2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	$\bar{x}$ Ernte	$\bar{x}$ Saat
Früher Saattermin	November	20,2	17,1	11,5	18,1	16,7	17,4
	Dezember	17,7	15,6	12,9	13,1	14,8	
	Januar	28,6	20,3	12,7	21,2	20,7	
Später Saattermin	November	15,2	15,0	9,8	20,5	15,1	17,1
	Dezember	16,9	17,2	11,2	11,8	14,3	
	Januar	26,9	26,0	15,5	19,3	21,9	
$\bar{x}$ Frucht		20,9	18,5	12,2	17,3	17,3	17,3

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,45 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 3,55 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 11,20 (n=3)**Anhangtab. 31: Glucosinolatgehalte in $\mu\text{mol g}^{-1}$ TS, Winter 2003 / 2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbsttrübe	$\bar{x}$ Ernte	$\bar{x}$ Saat
Früher Saattermin	November	10,6	11,0	11,1	22,4	13,8	13,9
	Dezember	8,4	5,5	7,9	25,8	11,9	
	Januar	16,7	16,3	9,9	20,6	15,9	
Später Saattermin	November	11,1	13,1	9,0	22,0	13,8	11,8
	Dezember	5,0	4,2	4,9	16,4	7,6	
	Januar	12,0	14,8	11,2	18,1	14,0	
$\bar{x}$ Frucht		10,6	10,8	9,0	20,8	12,8	12,8

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 4,07 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 5,89 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 5,55 (n=3)

Anhangtab. 32: Prozentuale Anteile der Fraktionen **Blatt** und **Rübenkörper** bei der Herbstrübe

Jahr und Fraktion Saat- und Erntetermin		2001 / 02		2002 / 03		2003 / 04	
		% Blatt	% Rübe	% Blatt	% Rübe	% Blatt	% Rübe
Früher Saattermin	November	67,3	32,7	55,2	44,8	68,6	31,4
	Dezember	53,1	43,2	40,7	59,4	56,8	43,2
	Januar	46,9	53,1	26,2	73,8	54,6	45,4
Später Saattermin	November	78,4	21,6	70,5	29,5	79,8	20,2
	Dezember	42,5	51,8	41,4	58,6	69,3	30,7
	Januar	66,5	33,5	24,7	75,3	67,5	32,5

Anhangtab. 33: Varianztabelle für die **NDF-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	52,014	7,271	36,134
Saattermin	1	184,452	685,682 **	92,181
Fehler _{Saat}	2	14,153	6,689	20,929
Erntetermin	2	6260,888 **	1178,286 **	767,093 **
S x E	2	186,133	0,928	8,936
Fehler _{Ernte}	8	57,973	10,958	15,280
Frucht	6	2832,052 **	3581,589 **	2933,923 **
F x S	6	53,100	45,135 **	7,729
F x E	12	110,212 **	136,378 **	187,229 **
F x S x E	12	44,239	8,126	9,398
Fehler _{Frucht}	72	27,773	5,926	7,664
Gesamt	125			

Anhangtab. 34: NDF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		26,5	30,5	32,8	23,8	46,0	43,0	51,6	36,3	43,6
	Dezember		27,3	32,4	37,5	21,5	51,3	49,7	55,7	39,3	
	Januar		38,1	49,0	54,1	29,6	65,9	69,4	80,2	55,2	
Später Saattermin	November		23,8	23,3	27,4	21,9	40,5	38,2	46,0	31,6	41,2
	Dezember		24,9	24,4	27,6	20,9	49,9	44,1	49,0	34,4	
	Januar		54,8	51,3	66,4	30,1	62,5	64,4	73,9	57,6	
✕ Frucht			32,6	35,1	41,0	24,6	52,6	51,5	59,4	42,4	42,4

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 8,56 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 14,36 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 13,21 (n=3)**Anhangtab. 35: NDF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		28,8	31,4	44,4	26,8	48,5	41,5	57,0	39,8	44,0
	Dezember		27,7	30,4	40,4	24,1	59,6	53,6	59,1	42,1	
	Januar		31,8	36,0	45,5	26,6	68,3	67,2	74,9	50,0	
Später Saattermin	November		27,0	29,2	33,9	23,3	41,7	36,5	53,4	35,0	39,3
	Dezember		27,7	28,4	33,4	22,6	49,8	46,8	55,8	37,8	
	Januar		30,2	31,4	37,9	28,9	62,7	56,0	68,8	45,1	
✕ Frucht			28,8	31,2	39,2	25,4	55,1	50,3	61,5	41,6	41,6

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,96 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 6,24 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 9,08 (n=3)**Anhangtab. 36: NDF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		27,4	28,5	30,4	23,9	41,7	37,4	44,4	33,4	37,7
	Dezember		25,6	25,5	31,9	23,1	55,6	54,0	53,2	38,4	
	Januar		24,7	25,8	28,7	31,2	58,5	52,8	66,6	41,2	
Später Saattermin	November		27,9	27,0	27,5	21,4	38,7	35,2	41,3	31,3	36,0
	Dezember		23,4	22,8	24,9	25,3	52,6	50,1	53,2	36,1	
	Januar		25,4	25,1	32,6	32,1	54,6	49,3	64,5	40,5	
✕ Frucht			25,7	25,8	29,3	26,2	50,3	46,5	53,9	36,8	36,8

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 4,50 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 7,37 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 16,06 (n=3)

Anhangtab. 37: Varianztabelle für die **ADF-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	113,866	5,202	30,337
Saattermin	1	92,219	198,267 *	23,190
Fehler_{Saat}	2	23,284	7,321	42,212
Erntetermin	2	4112,502 **	183,514 **	136,062 **
S x E	2	188,754	8,879	5,198
Fehler_{Ernte}	8	51,833	9,932	9,734
Frucht	6	250,146 **	315,254 **	82,832 **
F x S	6	38,195	22,491 **	22,965 **
F x E	12	103,640 **	41,337 **	53,252 **
F x S x E	12	33,359	3,159	9,365
Fehler_{Frucht}	72	17,803	4,533	5,828
Gesamt	125			

Anhangtab. 38: ADF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstweizen	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		22,7	26,3	27,4	21,1	27,0	25,7	27,6	25,4	30,2
	Dezember		20,7	26,3	29,8	17,7	30,5	28,2	28,1	25,9	
	Januar		42,8	42,0	39,8	26,7	35,5	45,0	42,5	39,2	
Später Saattermin	November		20,4	20,9	22,0	19,8	23,4	22,1	25,6	22,0	28,5
	Dezember		20,2	20,5	22,4	17,3	23,2	20,6	23,1	21,0	
	Januar		51,7	48,8	53,9	26,0	33,1	36,7	45,9	42,3	
✕ Frucht			29,8	30,8	32,6	21,4	28,8	29,7	32,1	29,3	29,3

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 6,86 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 13,58 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 16,94 (n=3)**Anhangtab. 39: ADF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstweizen	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		24,0	25,7	35,6	23,0	26,3	22,7	29,7	26,7	28,5
	Dezember		22,8	25,2	32,7	21,3	31,9	27,9	31,9	27,7	
	Januar		23,3	26,8	35,2	22,2	35,7	33,9	40,2	31,0	
Später Saattermin	November		24,4	24,8	29,8	21,9	25,3	20,9	29,6	25,2	26,0
	Dezember		22,9	22,8	26,4	19,8	24,8	23,9	30,4	24,4	
	Januar		23,2	23,3	27,9	23,6	32,8	29,6	37,0	28,2	
✕ Frucht			23,4	24,7	31,3	22,0	29,5	26,5	33,1	27,2	27,2

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,46 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 5,94 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 9,50 (n=3)**Anhangtab. 40: ADF-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstweizen	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		22,6	24,9	24,9	19,3	25,7	21,1	27,8	23,8	24,7
	Dezember		21,8	21,2	26,0	22,3	25,6	23,5	25,5	23,7	
	Januar		19,8	20,7	21,6	28,5	33,1	27,5	34,6	26,5	
Später Saattermin	November		24,8	25,1	24,0	19,4	21,1	18,2	22,2	22,1	23,8
	Dezember		22,6	22,1	22,5	24,5	23,1	22,1	26,0	23,3	
	Januar		20,7	20,8	27,9	29,9	27,6	23,6	31,7	26,1	
✕ Frucht			22,0	22,5	24,5	24,0	26,0	22,7	28,0	24,2	24,2

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 3,92 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 5,89 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 22,81 (n=3)

Anhangtab.40: Varianztabelle für die ADL-Konzentrationen

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,449	0,038	492,595 **
Saattermin	1	15,774 *	20,977 **	2,436
Fehler _{Saat}	2	0,205	0,060	0,159
Erntetermin	2	22,516 **	6,123 **	0,472 *
S x E	2	3,190	0,224	0,099
Fehler _{Ernte}	8	0,737	0,269	0,091
Frucht	6	1,775 **	14,704 **	0,036
F x S	6	1,526 **	2,375 **	0,655
F x E	12	0,884 *	1,196 **	0,037
F x S x E	12	1,112 **	0,181	0,007
Fehler _{Frucht}	72	0,370	0,109	1,239
Gesamt	125			

Anhangtab. 41: ADL-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		1,6	2,0	2,1	1,5	1,4	1,8	2,4	1,8	
	Dezember		1,9	2,7	4,5	2,1	3,1	3,1	3,0	2,9	2,7
	Januar		3,2	3,2	2,8	1,8	4,0	4,7	2,8	3,2	
Später Saattermin	November		1,2	1,4	1,8	1,3	1,1	1,0	1,8	1,4	
	Dezember		1,1	1,5	1,8	2,3	1,4	1,4	1,7	1,6	2,0
	Januar		3,1	3,2	3,9	2,2	2,1	2,5	3,3	2,9	
✕ Frucht			2,0	2,3	2,8	1,9	2,2	2,4	2,5	2,3	2,3

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,99 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,62 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 1,59 (n=3)**Anhangtab. 42: ADL-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		2,0	2,4	5,2	2,5	2,7	1,8	3,5	2,9	
	Dezember		2,6	3,1	4,9	2,1	3,6	2,8	4,0	3,3	3,3
	Januar		2,6	3,5	6,1	1,4	4,5	3,7	4,4	3,8	
Später Saattermin	November		2,1	1,9	2,9	2,2	1,6	1,6	3,2	2,2	
	Dezember		2,2	2,3	3,3	2,0	1,9	1,7	3,7	2,4	2,5
	Januar		2,5	2,6	3,9	1,2	3,0	2,2	4,4	2,8	
✕ Frucht			2,3	2,7	4,4	1,9	2,9	2,3	3,9	2,9	2,9

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,54 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,98 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,86 (n=3)**Anhangtab. 43: ADL-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		1,0	1,3	2,1	1,3	1,2	1,2	1,5	1,4	
	Dezember		1,4	1,5	2,5	1,5	1,9	1,9	2,3	1,9	1,9
	Januar		2,0	2,2	2,8	1,4	3,1	2,6	3,7	2,5	
Später Saattermin	November		1,3	1,7	1,6	1,3	1,5	1,2	1,4	1,4	
	Dezember		1,5	1,8	2,0	2,0	2,5	2,4	2,7	2,1	2,0
	Januar		2,5	2,3	3,0	1,7	2,5	2,5	3,7	2,6	
✕ Frucht			1,6	1,8	2,3	1,5	2,1	1,9	2,5	2,0	2,0

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 1,81 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,57 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 1,40 (n=3)

Anhangtab.44: Varianztabelle für die **P-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,002	0,004	0,001
Saattermin	1	0,041 *	0,017	0,082 *
Fehler_{Saat}	2	0,001	0,002	0,003
Erntetermin	2	0,014 **	< 0,001	0,037 **
S x E	2	0,001	0,016	0,001
Fehler_{Ernte}	8	0,001	0,008	0,003
Frucht	6	0,143 **	0,138 **	0,044 **
F x S	6	0,007 **	0,008 **	0,003 *
F x E	12	0,009 **	0,002 **	0,002 *
F x S x E	12	0,001	0,001	0,001
Fehler_{Frucht}	72	0,001	0,001	0,001
Gesamt	125			

Anhangtab. 45: P-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,51	0,39	0,41	0,61	0,66	0,61	0,68	0,55	
	Dezember		0,49	0,40	0,38	0,66	0,61	0,55	0,63	0,53	
	Januar		0,48	0,40	0,41	0,69	0,57	0,56	0,59	0,53	
Später Saattermin	November		0,56	0,46	0,49	0,64	0,69	0,64	0,71	0,60	
	Dezember		0,52	0,47	0,49	0,63	0,60	0,56	0,62	0,56	
	Januar		0,55	0,52	0,49	0,72	0,54	0,50	0,59	0,56	
✕ Frucht			0,52	0,44	0,44	0,66	0,61	0,57	0,64	0,55	0,55

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,05 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,047 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,122 (n=3)**Anhangtab. 46: P-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,43	0,34	0,28	0,59	0,41	0,33	0,32	0,39	
	Dezember		0,42	0,33	0,30	0,63	0,50	0,42	0,36	0,42	
	Januar		0,47	0,37	0,32	0,64	0,43	0,41	0,30	0,42	
Später Saattermin	November		0,45	0,41	0,40	0,59	0,48	0,40	0,45	0,46	
	Dezember		0,43	0,37	0,35	0,55	0,43	0,41	0,38	0,42	
	Januar		0,44	0,39	0,35	0,57	0,46	0,41	0,35	0,42	
✕ Frucht			0,44	0,37	0,33	0,59	0,45	0,40	0,36	0,42	0,42

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,05 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,166 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,173 (n=3)**Anhangtab. 47: P-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,39	0,34	0,35	0,50	0,41	0,40	0,43	0,40	
	Dezember		0,43	0,39	0,35	0,48	0,49	0,43	0,52	0,44	
	Januar		0,45	0,40	0,38	0,60	0,43	0,42	0,50	0,45	
Später Saattermin	November		0,44	0,43	0,40	0,52	0,45	0,41	0,48	0,45	
	Dezember		0,51	0,49	0,47	0,56	0,51	0,47	0,51	0,50	
	Januar		0,49	0,48	0,46	0,60	0,49	0,45	0,56	0,50	
✕ Frucht			0,45	0,42	0,40	0,54	0,46	0,43	0,50	0,46	0,46

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,052 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,104 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,177 (n=3)

Anhangtab. 48: Varianztabelle für die **K-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,081	0,105	2,400 *
Saattermin	1	9,704 *	3,966 **	0,480
Fehler_{Saat}	2	0,166	0,038	0,074
Erntetermin	2	19,185 **	9,694 **	5,878 **
S x E	2	1,010	0,843	0,456
Fehler_{Ernte}	8	0,477	0,667	0,210
Frucht	6	0,997 **	5,461 **	3,777 **
F x S	6	1,050 **	0,455 **	0,133
F x E	12	3,131 **	0,499 **	0,755 **
F x S x E	12	0,451	0,275 **	0,108
Fehler_{Frucht}	72	0,264	0,080	0,117
Gesamt	125			

Anhangtab. 49: K-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	4,72	4,26	4,06	4,91	5,39	5,18	5,08	4,80	4,19
	Dezember	3,87	3,46	3,60	4,40	4,72	4,33	3,66	4,01	
	Januar	4,12	3,89	4,52	4,90	3,22	3,12	2,67	3,78	
Später Saattermin	November	5,33	5,01	4,60	5,36	6,52	6,34	6,18	5,62	4,75
	Dezember	4,46	4,10	4,42	4,03	5,20	4,96	5,31	4,64	
	Januar	3,10	3,99	5,92	4,40	2,90	4,49	3,13	3,99	
✕ Frucht		4,26	4,12	4,52	4,67	4,66	4,74	4,34	4,47	4,47

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,835 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,302 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 1,431 (n=3)**Anhangtab. 50: K-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	2,89	2,78	2,46	3,77	3,88	3,56	1,90	3,03	2,80
	Dezember	2,83	2,75	2,51	3,89	3,83	3,64	2,09	3,08	
	Januar	2,36	2,57	2,36	3,32	2,01	2,20	1,22	2,29	
Später Saattermin	November	3,47	3,17	3,15	4,19	4,25	3,94	3,71	3,70	3,16
	Dezember	2,68	2,88	2,63	3,36	4,17	3,83	2,70	3,18	
	Januar	2,45	2,34	2,35	3,32	2,89	3,38	1,41	2,59	
✕ Frucht		2,78	2,75	2,58	3,64	3,50	3,43	2,17	2,98	2,98

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,46 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,541 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,688 (n=3)**Anhangtab. 51: K-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	3,03	3,10	3,45	4,37	4,46	4,21	4,45	3,87	3,62
	Dezember	2,96	3,15	3,08	3,67	4,78	4,30	4,10	3,72	
	Januar	3,20	3,08	3,06	3,75	3,58	3,63	2,64	3,28	
Später Saattermin	November	3,15	3,04	3,66	4,57	4,25	4,02	4,87	3,94	3,75
	Dezember	3,34	3,54	3,98	4,24	4,63	4,40	4,39	4,07	
	Januar	3,00	2,94	3,12	3,24	3,72	3,65	2,92	3,23	
✕ Frucht		3,11	3,14	3,39	3,97	4,24	4,04	3,89	3,68	3,68

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,557 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,864 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,956 (n=3)

Anhangtab. 52: Varianztabelle für die Na-Konzentrationen

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,002 *	0,010	0,003
Saattermin	1	0,159 **	0,098 *	0,076 *
Fehler_{Saat}	2	0,000	0,002	0,003
Erntetermin	2	0,034 *	0,032 **	0,026 *
S x E	2	0,008	0,026 **	0,017
Fehler_{Ernte}	8	0,007	0,002	0,004
Frucht	6	0,105 **	0,020 **	0,217 **
F x S	6	0,010 *	0,008 **	0,019 **
F x E	12	0,006	0,004 **	0,006 *
F x S x E	12	0,004	0,004 **	0,011 **
Fehler_{Frucht}	72	0,004	0,001	0,003
Gesamt	125			

Anhangtab. 53: Na-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,11	0,10	0,13	0,16	0,06	0,05	0,07	0,10	
	Dezember		0,08	0,11	0,15	0,18	0,09	0,09	0,05	0,11	
	Januar		0,08	0,12	0,21	0,27	0,08	0,07	0,06	0,13	0,11
Später Saattermin	November		0,17	0,18	0,32	0,21	0,08	0,07	0,06	0,15	
	Dezember		0,11	0,14	0,21	0,38	0,12	0,11	0,05	0,16	
	Januar		0,25	0,27	0,33	0,41	0,14	0,13	0,08	0,23	0,18
✕ Frucht			0,13	0,15	0,22	0,27	0,09	0,08	0,06	0,15	0,15

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,105 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,159 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,03 (n=3)**Anhangtab. 54: Na-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,05	0,05	0,05	0,09	0,05	0,03	0,05	0,05	
	Dezember		0,05	0,05	0,06	0,08	0,05	0,06	0,04	0,06	
	Januar		0,03	0,05	0,06	0,09	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Später Saattermin	November		0,09	0,27	0,29	0,25	0,12	0,05	0,07	0,16	
	Dezember		0,12	0,13	0,17	0,16	0,06	0,05	0,05	0,11	
	Januar		0,04	0,04	0,04	0,12	0,06	0,06	0,04	0,06	0,11
✕ Frucht			0,06	0,10	0,11	0,13	0,06	0,05	0,05	0,08	0,08

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,05 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,075 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,145 (n=3)**Anhangtab. 55: Na-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittpyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,19	0,20	0,33	0,37	0,09	0,15	0,12	0,21	
	Dezember		0,10	0,17	0,20	0,47	0,18	0,11	0,12	0,19	
	Januar		0,15	0,25	0,29	0,34	0,12	0,17	0,09	0,20	0,20
Später Saattermin	November		0,23	0,39	0,40	0,35	0,17	0,15	0,09	0,26	
	Dezember		0,15	0,23	0,39	0,27	0,12	0,12	0,12	0,20	
	Januar		0,26	0,32	0,51	0,51	0,14	0,20	0,09	0,29	0,25
✕ Frucht			0,18	0,26	0,35	0,39	0,14	0,15	0,11	0,22	0,22

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,084 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,117 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,190 (n=3)

Anhangtab. 56: Varianztabelle für die **Mg-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,001	0,002	0,003
Saattermin	1	0,015	0,001	0,029
Fehler_{Saat}	2	0,002	0,000	0,002
Erntetermin	2	0,016 **	0,013 **	0,002
S x E	2	0,004 *	0,002	< 0,001
Fehler_{Ernte}	8	0,001	0,001	0,003
Frucht	6	0,012 **	0,020 **	0,025 **
F x S	6	0,002 **	0,001 **	0,002 **
F x E	12	0,001 **	0,002 **	0,001 **
F x S x E	12	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fehler_{Frucht}	72	0,001	0,001	0,001
Gesamt	125			

Anhangtab. 57: Mg-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,23	0,22	0,20	0,21	0,16	0,16	0,17	0,19	
	Dezember		0,23	0,21	0,19	0,19	0,18	0,18	0,15	0,19	
	Januar		0,22	0,22	0,20	0,26	0,17	0,20	0,19	0,21	0,20
Später Saattermin	November		0,24	0,25	0,24	0,22	0,17	0,17	0,19	0,21	
	Dezember		0,21	0,23	0,21	0,17	0,16	0,18	0,20	0,20	
	Januar		0,27	0,30	0,28	0,27	0,20	0,22	0,23	0,25	0,22
✕ Frucht			0,23	0,24	0,22	0,22	0,17	0,19	0,19	0,21	0,21

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,026 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,059 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,174 (n=3)**Anhangtab. 58: Mg-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,21	0,22	0,17	0,24	0,14	0,12	0,11	0,17	
	Dezember		0,17	0,17	0,15	0,20	0,16	0,15	0,11	0,16	
	Januar		0,17	0,17	0,15	0,20	0,14	0,15	0,10	0,15	0,16
Später Saattermin	November		0,24	0,23	0,23	0,25	0,14	0,12	0,16	0,19	
	Dezember		0,18	0,19	0,17	0,18	0,15	0,14	0,11	0,16	
	Januar		0,17	0,16	0,14	0,18	0,14	0,13	0,11	0,15	0,17
✕ Frucht			0,19	0,19	0,17	0,21	0,14	0,14	0,12	0,16	0,16

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,019 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,056 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,049 (n=3)**Anhangtab. 59: Mg-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbststrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		0,24	0,25	0,25	0,24	0,16	0,17	0,18	0,21	
	Dezember		0,24	0,24	0,22	0,22	0,19	0,18	0,21	0,21	
	Januar		0,21	0,22	0,21	0,23	0,17	0,18	0,17	0,20	0,21
Später Saattermin	November		0,28	0,31	0,31	0,27	0,18	0,20	0,18	0,25	
	Dezember		0,26	0,31	0,27	0,27	0,19	0,19	0,20	0,24	
	Januar		0,25	0,26	0,27	0,26	0,20	0,20	0,19	0,23	0,24
✕ Frucht			0,25	0,26	0,25	0,25	0,18	0,19	0,19	0,22	0,22

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,03 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,110 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,144 (n=3)

Anhangtab. 60: Varianztabelle für die **Ca-Konzentrationen**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,032	0,053	0,058 *
Saattermin	1	0,572	0,064	0,451 **
Fehler_{Saat}	2	0,043	0,015	0,002
Erntetermin	2	0,511 **	1,152 **	0,399 **
S x E	2	0,035	0,100	0,010
Fehler_{Ernte}	8	0,026	0,033	0,040
Frucht	6	6,368 **	2,967 **	7,064 **
F x S	6	0,233 **	0,051 **	0,041 **
F x E	12	0,203 **	0,174 **	0,069 **
F x S x E	12	0,013	0,020	0,012
Fehler_{Frucht}	72	0,017	0,011	0,013
Gesamt	125			

Anhangtab. 61: Ca-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2001/2002

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		1,79	1,76	1,56	1,50	0,51	0,49	0,50	1,16	
	Dezember		1,69	1,53	1,33	1,07	0,58	0,54	0,42	1,02	
	Januar		1,31	1,27	1,23	1,41	0,62	0,69	0,54	1,01	
Später Saattermin	November		2,01	2,23	2,04	1,87	0,42	0,40	0,54	1,36	
	Dezember		1,73	1,92	1,69	1,06	0,38	0,43	0,54	1,11	
	Januar		1,54	1,69	1,49	1,72	0,42	0,47	0,57	1,13	
✕ Frucht			1,68	1,73	1,56	1,44	0,49	0,50	0,52	1,13	1,13

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,213 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,307 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,731 (n=3)**Anhangtab. 62: Ca-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2002/2003**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		1,44	1,40	1,04	1,54	0,37	0,34	0,32	0,92	
	Dezember		1,11	1,02	0,82	1,25	0,48	0,40	0,35	0,78	
	Januar		0,97	0,90	0,78	0,99	0,43	0,41	0,33	0,69	
Später Saattermin	November		1,51	1,53	1,55	1,60	0,39	0,32	0,46	1,05	
	Dezember		1,29	1,24	1,03	1,06	0,46	0,39	0,43	0,84	
	Januar		0,93	0,80	0,73	0,76	0,43	0,40	0,32	0,63	
✕ Frucht			1,21	1,15	0,99	1,20	0,43	0,38	0,37	0,82	0,82

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,173 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,341 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,432 (n=3)**Anhangtab. 63: Ca-Konzentrationen in % d. TS, Winter 2003/2004**

Saar- und Erntetermin		Frucht	Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnittyp	Herbsttrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidelgras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November		1,63	1,66	1,76	1,76	0,42	0,38	0,52	1,16	
	Dezember		1,73	1,59	1,53	1,49	0,48	0,44	0,56	1,12	
	Januar		1,34	1,43	1,44	1,37	0,53	0,42	0,48	1,00	
Später Saattermin	November		1,74	1,92	2,06	1,90	0,45	0,48	0,52	1,30	
	Dezember		1,69	1,90	1,79	1,80	0,50	0,51	0,60	1,26	
	Januar		1,56	1,50	1,56	1,54	0,50	0,45	0,48	1,09	
✕ Frucht			1,62	1,67	1,69	1,64	0,48	0,45	0,53	1,15	1,15

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,185 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,378 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,148 (n=3)

Anhangtab. 64: Varianztabelle für die Ca/P-Quotienten

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,278	0,083 *	0,293
Saattermin	1	0,022	0,034 *	0,345
Fehler_{Saat}	2	0,032	0,001	0,089
Erntetermin	2	1,985 **	6,394 **	5,771 **
S x E	2	0,059	0,227	0,024
Fehler_{Ernte}	8	0,101	0,086	0,097
Frucht	6	34,375 **	17,461 **	39,811 **
F x S	6	0,186 *	0,037	0,196
F x E	12	0,968 **	0,986 **	0,712 **
F x S x E	12	0,026	0,041	0,088
Fehler_{Frucht}	72	0,069	0,046	0,089
Gesamt	125			

Anhangtab. 65: Ca/P-Quotienten, Winter 2001/2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall- Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	3,55	4,58	3,80	2,47	0,78	0,79	0,73	2,39	2,19
	Dezember	3,45	3,83	3,50	1,63	0,95	0,98	0,68	2,15	
	Januar	2,72	3,20	3,00	2,06	1,07	1,23	0,91	2,03	
Später Saattermin	November	3,59	4,83	4,19	2,90	0,60	0,62	0,76	2,50	2,21
	Dezember	3,31	4,12	3,45	1,66	0,62	0,77	0,87	2,11	
	Januar	2,79	3,25	3,04	2,40	0,79	0,94	0,97	2,03	
✕ Frucht		3,24	3,97	3,50	2,19	0,80	0,89	0,82	2,20	2,20

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,428 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,598 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,632 (n=3)**Anhangtab. 66: Ca/P-Quotienten, Winter 2002/2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall- Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	3,37	4,10	3,67	2,62	0,90	1,01	1,01	2,38	1,98
	Dezember	2,64	3,06	2,78	2,01	0,97	0,96	0,98	1,92	
	Januar	2,08	2,41	2,41	1,55	0,99	1,00	1,10	1,65	
Später Saattermin	November	3,33	3,72	3,82	2,68	0,82	0,81	1,03	2,32	1,95
	Dezember	3,02	3,31	2,91	1,90	1,09	0,96	1,12	2,04	
	Januar	2,12	2,03	2,09	1,33	0,94	0,98	0,93	1,49	
✕ Frucht		2,76	3,11	2,95	2,02	0,95	0,95	1,03	1,97	1,97

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,347 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,552 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,112 (n=3)**Anhangtab. 67: Ca/P-Quotienten, Winter 2003/2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall- Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	4,22	4,89	5,07	3,50	1,02	0,97	1,19	2,98	2,63
	Dezember	4,03	4,08	4,32	3,08	0,97	1,02	1,07	2,65	
	Januar	2,95	3,58	3,83	2,28	1,23	1,00	0,96	2,26	
Später Saattermin	November	3,99	4,50	5,10	3,66	1,01	1,16	1,09	2,93	2,53
	Dezember	3,31	3,88	3,85	3,24	0,99	1,09	1,18	2,50	
	Januar	3,17	3,10	3,43	2,58	1,03	1,01	0,85	2,17	
✕ Frucht		3,61	4,01	4,26	3,06	1,04	1,04	1,06	2,58	2,58

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,484 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 0,588 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 1,046 (n=3)

Anhangtab. 68: Varianztabelle für die **K/(Ca+Mg)-Quotienten**

Jahr		2001 / 2002	2002 / 2003	2003 / 2004
Varianzursache	FG	MQ/F-Test	MQ/F-Test	MQ/F-Test
Block	2	0,524	0,056	2,397
Saattermin	1	13,483 **	7,120 **	1,810
Fehler_{Saat}	2	0,135	0,037	0,358
Erntetermin	2	35,779 **	8,655 **	5,322 *
S x E	2	2,271	1,208	0,177
Fehler_{Ernte}	8	0,901	0,586	0,754
Frucht	6	108,927 **	74,199 **	98,878 **
F x S	6	7,158 **	1,598 **	0,701 *
F x E	12	11,141 **	5,824 **	2,191 **
F x S x E	12	0,594	0,330 *	0,218
Fehler_{Frucht}	72	0,507	0,148	0,245
Gesamt	125			

Anhangtab. 69: K/(Ca+Mg)-Quotienten, Winter 2001/2002

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	2,34	2,15	2,31	2,87	8,26	8,02	7,58	4,79	4,08
	Dezember	2,03	2,01	2,39	3,50	6,30	6,05	6,34	4,09	
	Januar	2,72	2,60	3,20	2,96	4,38	4,00	3,71	3,37	
Später Saattermin	November	2,38	2,03	2,05	2,66	11,10	11,31	8,52	5,72	4,74
	Dezember	2,29	1,91	2,33	3,30	9,65	8,22	7,31	5,00	
	Januar	1,71	1,98	3,37	2,21	4,66	6,53	3,92	3,48	
✕ Frucht		2,24	2,11	2,61	2,92	7,39	7,35	6,23	4,41	4,41

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 1,157 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,79 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 1,292 (n=3)**Anhangtab. 70: K/(Ca+Mg)-Quotienten, Winter 2002/2003**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	1,76	1,73	2,06	2,12	7,62	7,82	4,38	3,93	3,56
	Dezember	2,20	2,29	2,60	2,67	6,05	6,62	4,58	3,86	
	Januar	2,07	2,38	2,55	2,80	3,53	3,96	2,86	2,88	
Später Saattermin	November	2,04	1,84	1,78	2,31	8,04	8,88	5,94	4,40	4,03
	Dezember	1,82	2,01	2,21	2,72	6,84	7,27	5,09	3,99	
	Januar	2,21	2,44	2,74	3,53	5,19	6,45	3,29	3,69	
✕ Frucht		2,02	2,12	2,32	2,69	6,21	6,83	4,36	3,79	3,79

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,625 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,444 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 0,673 (n=3)**Anhangtab. 71: K/(Ca+Mg)-Quotienten, Winter 2003/2004**

Frucht Saat- und Erntetermin		Winterraps	Sommerraps Weidetyp	Sommerraps Schnitttyp	Herbstrübe	Einjähriges Weidelgras	Welsches Weidegras	Ausfall-Getreide	✕ Ernte	✕ Saat
Früher Saattermin	November	1,61	1,62	1,72	2,19	7,71	7,57	6,37	4,11	3,75
	Dezember	1,49	1,72	1,76	2,14	7,20	6,91	5,36	3,80	
	Januar	2,06	1,86	1,86	2,34	5,14	6,03	4,06	3,34	
Später Saattermin	November	1,56	1,36	1,54	2,10	6,74	5,96	6,95	3,75	3,53
	Dezember	1,71	1,60	1,93	2,05	6,72	6,30	5,46	3,68	
	Januar	1,65	1,68	1,71	1,79	5,26	5,62	4,37	3,15	
✕ Frucht		1,68	1,64	1,75	2,10	6,46	6,40	5,43	3,64	3,64

GD_{5%} Früchte innerhalb der Saat- und Erntetermine = 0,804 (n=3)GD_{5%} Erntetermine innerhalb der Früchte = 1,638 (n=3)GD_{5%} Saattermine innerhalb der Erntetermine und Früchte = 2,101 (n=3)

LEBENS LAUF

Name	Michaela Neff
Geburtsdatum	18.03.1979
1985 – 1989	Grundschule in Castrop-Rauxel
1989 – 1992	Gymnasium in Schwäbisch Hall
1992 – 1998	Gesamtschule in Rotenburg an der Fulda Abschluss: Abitur
1998 – 1999	Berufspraktische Studien an der HLLF Eichhof in Bad Hersfeld Abschluss: Praktikantenprüfung
09/1999 – 04/2004	Studium der Agrarwissenschaften an der Justus-Liebig- Universität Gießen, Fachrichtung: Tierproduktion Abschluss: Diplom In dieser Zeit für drei Semester Studentische Hilfskraft am Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie sowie für ein Semester am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II – Grünlandwirtschaft und Futterbau –
WS 2001/02	Landwirtschaftliches Praktikum in Frankreich
Seit 06/2004	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II – Grünlandwirtschaft und Futterbau – der Justus-Liebig-Universität Gießen Anfertigung der vorliegenden Arbeit

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Opitz v. Boberfeld für die Überlassung des Themas, die fachliche Beratung und jederzeit gewährte Unterstützung dieser Arbeit;

Herrn Prof. Dr. Weigand für die freundliche Übernahme des Korreferats;

allen Mitarbeitern des Instituts und der Versuchsstation Linden-Forst für die gute Zusammenarbeit;

meinen Kollegen und Freunden Katja Elsebach, Markus Kräling, Harald Laser, Edwin Mandler, Przemyslaw Mazur, Judith Oerlemans, Gerhard Schlimbach, Jörg Simon, Maik Sterzenbach für die technischen und fachlichen Hilfen, das angenehme Arbeitsklima und die schöne gemeinsame Zeit;

meinen Eltern, meiner Schwester und meinem Freund Jens.